PROGRAM PASCASARJANA
JURUSAN TEKNIK SIPIL

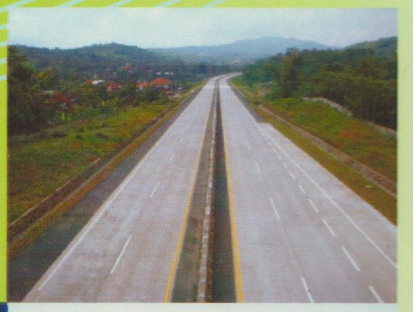
PROSIDING

VOLUME II

SEMINAR NASIONAL TEKNIK SIPIL IX 2013

"Peran Industri Konstruksi dalam Menunjang MP3EI (Masterplan Percepatan & Perluasan Pembangunan Ekonomi Indonesia)"

Surabaya, 6 Februari 2013



ISBN : 978-979-99327-8-5

PROSIDING
SEMINAR NASIONAL
TEKNIK SIPIL IX-2013

VOLUME II

ISBN 978-979-99327-8-5

PERAN INDUSTRI KONSTRUKSI DALAM MENUNJANG MP3EI (MASTERPLAN PERCEPATAN DAN PERLUASAN PEMBANGUNAN EKONOMI INDONESIA)

PROGRAM STUDI PASCASARJANA
JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA

SEMINAR NASIONAL TEKNIK SIPIL
IX – 2013

TEMA :

PERAN INDUSTRI KONSTRUKSI DALAM MENUNJANG MP3EI (MASTERPLAN PERCEPATAN DAN PERLUASAN PEMBANGUNAN EKONOMI INDONESIA)

SURABAYA, 06 FEBRUARI 2013

PT. HUME SAKTI INDONESIA
PRESTRESSED SPUN PILES-PILING-POLE
AND OTHER CONCRETE PRODUCTS MANUFACTURER
Jl. MANYAR KERTOARJO V/42 SURABAYA
Telp. (031)5946787-8 Fax. (031)5946788

adhi
beyond construction

SEMEN INDONESIA
PT Semen Indonesia (Persero) Tbk

WASKITA

PP

GEOSISTEM

ITS ECO CAMPUS

JASAMARGA
Indonesia Highway Corporation

JAYA KONSTRUKSI
Strive for the Best !

PROGRAM STUDI PASCASARJANA
JURUSAN TEKNIK SIPIL FTSP-ITS SURABAYA

Mengucapkan terima kasih dan penghargaan yang sebesar-besarnya atas dukungan yang diberikan pada penyelenggaraan

Seminar Nasional Teknik Sipil IX - 2013

6 Februari 2013

Kepada :

PT. HUME SAKTI INDONESIA

PT. SEMEN INDONESIA (PERSERO) TBK

PT. ADHI KARYA

PT. WASKITA KARYA

PT. JASA MARGA (PERSERO) TBK

PT. JAYA KONSTRUKSI MANGGALA PRATAMA TBK

PT. PEMBANGUNAN PERUMAHAN (PERSERO) TBK

PT.TEKNINDO GEOSISTEM UNGGUL

PROGRAM SARJANA ITS

PROGRAM PASCASARJANA ITS

LABORATORIUM MEKANIKA TANAH & BATUAN TEKNIK SIPIL ITS

LABORATORIUM BETON & BAHAN BANGUNAN TEKNIK SIPIL ITS

LABORATORIUM PERHUBUNGAN TEKNIK SIPIL ITS

PARA PEMAKALAH DAN PESERTA

YANG TELAH BERPARTISIPASI DALAM SEMINAR INI

Susunan Panitia Seminar Nasional Teknik Sipil IX-2013

Pelindung	: Dekan FTSP-ITS
	Ketua Jurusan Teknik Sipil FTSP-ITS
	Sekjur I Teknik Sipil FTSP-ITS
	Sekjur II Teknik Sipil FTSP-ITS
	Koordinator PPs T. Sipil FTSP-ITS
Ketua	: Tri Joko Wahyu Adi, ST., MT., Ph.D
Wakil Ketua	: Data Iranata ST., MT., Ph.D
Sekretaris	: Yusroniya Eka Putri R.W., ST., MT
Bendahara	: Ir. Retno Indryani, MT
Koord. Sie Dana	: I Putu Artama Wiguna, M.T. Ph.D.
	Farida Rahmawati, S.T. M.T.
Sie Editor	: Trihanyndio Rendy Satrya, S.T. M.T.
	Mahendra Andiek Maulana, S.T. M.T.
	Bambang Winarta, S.T. M.T. Ph.D.
Sie Publikasi dan Dokumentasi	: Cahyono Bintang Nurcahyo, ST., MT
Sie Konsumsi	: Endang Trismiati, A.Md.
	Ferna Anis T.S
Sie Acara	: Dr. Ir. Edijatno
	Farida Rahmawati, S.T. M.T.
Sie Perlengkapan	: Istiar, S.T. M.T.
Kesekretariatan dan	
Pembantu Umum	: Robin
	Achmad Fauzi
	Debby Lusy F. T. H., SE
	Wisang Adji Rasmana
	Ferry Tri Laksana
	Tasrul
	Ijum Kanedi
Reviewer	: Prof. Dr. Ir. Indarto, DEA
	Prof. Dr. Ir. Triwulan, DEA
	Endah Wahyuni, ST., M.Sc., Ph.D
	Ir. Putu Artama W., MT., Ph.D
	Dr. Ir. Ria AA Soemitro, M.Eng
	Ir. Hera Widyastuti, MT., Ph.D
	Bambang Winarta, ST., MT., Ph.D

KATA PENGANTAR

Sebagai sebuah institusi pendidikan, ITS yang dalam hal ini adalah Program Pasca Sarjana Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknologi Sipil dan Perencanaan juga memiliki tanggung jawab terhadap penyebaran informasi melalui deseminasi yang hal ini sudah lama disadari. Hal ini terbukti dengan diadakannya Seminar Nasional Teknik Sipil ke IX dengan tema "Peran Industri Konstruksi Dalam Menunjang MP3EI" yang diadakan pada tanggal 6 Februari 2013. Selain tujuan tersebut di atas, seminar ini bertujuan untuk memberikan sarana bagi mahasiswa dosen dan praktisi dari seluruh penjuru Indonesia untuk berkontribusi dalam pengembangan ilmu pengetahuan dan pemberian solusi terhaddap permasalahan-permasalahan terkait dunia ketekniksipilan.

Pada seminar kali ini jumlah makalah yang masuk ke panitia sebanyak 121 makalah, dimana semua makalah telah mengalami proses review oleh tim penilai makalah yang kompeten di bidang masing-masing dan mempresentasikan makalah.

Atas semua bantuan dan dukungan baik secara material maupun immaterial dari semua pihak, panitia mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya dan akhir kata semoga semua makalah yang bermanfaat bagi banyak pihak.

Surabaya, 06 Februari 2013

Ttd

Panitia

SAMBUTAN KETUA PANITIA SEMINAR NASIONAL TEKNIK SIPIL IX-2013 ITS

Assalamualaikum Wr.Wb

Yang saya hormati bpk direktur pascasarjana ITS atau yang mewakili, bapak Dekan FTSP-ITS, bapak ketua jurusan Teknik Sipil, para pembicara utama, para pemakalah, peserta, dan panitia Seminar Nasional Teknik Sipil IX, 2013.

Para hadirin yang saya hormati, Peluncuran Masterplan Percepatan dan Perluasan Pembangunan Ekonomi Indonesia (MP3EI) oleh pemerintah, telah memacu pertumbuhan ekonomi Indonesia; dan sektor industri konstruksi merupakan salah satu sektor yang memiliki peran sangat penting dalam mendukung pembangunan infrastruktur di Indonesia.

Memang bukan merupakan pekerjaan yang sederhana untuk mewujudkan keberhasilan peningkatan peran industri konstruksi. Diperlukan kesatuan sudut pandang, terobosan pemikiran, keselarasan ide, dan riset dari pelaku industri konstruksi Indonesia beserta seluruh stakeholders yang terkait didalamnya seperti pemerintah pusat, pemerintah daerah, BUMN, swasta, dan akademisi, guna menunjang keberhasilan program MP3EI.

Seminar Nasional Teknik Sipil ITS 2013 ini dilaksanakan untuk memfasilitasi para akademisi, peneliti, birokrat dan masyarakat umum untuk berkontribusi menyumbangkan ide, bertukar pemikiran, konsep dan risetnya dalam rangka memperluas wawasan terkait pengembangan dan implementasi program MP3EI. Diharapkan para peserta mendapatkan manfaat untuk menjalin hubungan kerjasama dan kolaborasi riset lebih lanjut.

Tak lupa ucapan terima kasih yang sedalam dalamnya kami haturkan terhadap seluruh pihak yang telah membantu terlaksananya kegiatan ini, baik dari ITS, pihak Sponsor, partisipan dan panitia pelaksana. Semoga kegiatan ini berjalan dengan lancar dan membawa kemaslahatan bagi kita semua.

Wassalamualaikum Wr.Wb.

Ketua Panitia

Tri Joko Wahyu Adi, Ph.D

DAFTAR ISI

Halaman Judul i
Susunan Panitia iv
Kata Pengantar v
Sambutan Ketua Panitia vi
Daftar Isi vii

VOLUME I

MANAJEMEN PROYEK KONSTRUKSI

Menuju Indeks Biaya Konstruksi Rumah Sejahtera Murah (IBK-RSM) I-1
Andreas Wibowo, Arief Sabaruddin, Edi Nur dan Rian Wulan Desriani

Konsep *Wholesale Infrastructure* Berbasis *Modified Shadow Toll* untuk Pembangunan Jalan Tol Nasional I-9
Andreas Wibowo

Analisis Risiko pada Pelaksanaan Proyek *Fly-Over* Pasar Kembang Surabaya I-17
Cahyono Bintang Nurcahyo, M. Arif Rohman dan Bernadus Bayu Baskoro

Penentuan Harga Produk Perumahan (Wilayah Kabupaten Sidoarjo) I-25
Lila Ayu Ratna Winanda, Ripkianto dan Ekky Cahya Ramadhan

Ketahanan Tenaga Kerja Proyek Konstruksi dengan Menggunakan Survival Analysis I-35
Feri Harianto dan Andik Widiyanto

Pengaruh Porsi IDR dan USD Terhadap Eskalasi Harga Kontrak Konstruksi I-45
Suhariyanto

Analisa Penetapan Tarif Sewa Asrama Balai Pendidikan dan Pelatihan Pekerjaan Umum (Studi Kasus pada Balai Diklat PU Wilayah VIII Banjarmasin) I-51
Kristo Putranto, Tri Joko Wahyu Adi dan Retno Indryani

Metode Sistem Pengukuran dan Penilaian Kinerja Industri Konstruksi I-61
Elizar

Kajian Kerangka Legislatif Penerapan *Green Construction* dalam Proyek Bangunan Gedung di Indonesia. I-71
Wulfram I. Ervianto, Biemo W. Soemardi, Muhamad Abduh dan Surjamanto

Kajian Potensi Penerapan Asuransi Gempa Bumi untuk Rumah Tinggal di Indonesia. I-83
Vetivera Kumala Dewi

ISBN 978-979-99327-8-5

Tinjauan Penerapan Manajemen Resiko pada Industri Jasa Konstruksi di Indonesia I-93
Tampanatu P. F. Sompie , Syanne Pangemanan dan Geertje E. Kandiyoh

Isu-Isu Utama yang Menjadi Kontrak Psikologis di Industri Konstruksi I-103
Anton Soekiman

Studi Jejak Karbon pada Rantai Pasok di Proyek Konstruksi I-113
Hermawan, Puti Farida Marzuki, Muhamad Abduh dan R. Driejana

Perkembangan Joint Operation pada Proyek Infrastruktur di Indonesia I-125
Arman Jayady, Krishna S. Pribadi, Muhamad Abduh, dan Senator Nur Bahagia

Perancangan Arsitektur Perangkat Lunak untuk Perhitungan Rencana Anggaran Biaya (RAB) Pembangunan Gedung dengan Metode UML I-137
Kamaludin

Analisa Kompetensi Kerja Mandor dan Tukang Berdasarkan Persyaratan Jabatan Kerja dalam Standar Kompetensi Kerja Nasional Indonesia I-145
Irika Widiasanti, Rizal Z Tamin, dan Deni Haryanto

Kajian Keandalan Bangunan Gedung Terhadap Bahaya Kebakaran di Kota Surakarta I-155
Widi Hartono, Agus P Saido

Identifikasi Risiko Bencana pada Jaringan Jalan di Indonesia I-163
Mona Foralisa dan Krishna S. Pribadi

Identifikasi Indikator *Green Construction* pada Proyek Konstruksi Bangunan Gedung di Indonesia I-173
Wulfram I. Ervianto, Biemo W. Soemardi, Muhamad Abduh dan Surjamanto

Analisa Penetapan Harga Jual Unit Rumah (pada Perumahan Grand Meridian, Manado) I-181
Alland Adrian Josep dan Retno Indryani

Kajian Kelayakan Finansial Investasi Gedung Parkir Bertingkat pada Pusat Perbelanjaan di Kota Malang I-191
Ripkianto Tiong Iskandar dan Hamim Mufijar

Indeks Pengaruh Pemangku Kepentingan dalam Keberhasilan Proyek Apartemen di Surabaya I-201
Herry Pintardi Chandra dan I Putu Artama Wiguna

Pengaruh Sistem Pemberian Upah terhadap Produktivitas Buruh Konstruksi pada Perusahaan Kontraktor di Surabaya I-211
Thahiril Lazib, Retno Indryani dan Yusroniya Eka Putri

Pengukuran Tingkat Kepuasan Owner Terhadap Penerapan Manajemen Proyek oleh BUJK Asing di Indonesia I-223
Tri Joko Wahyu Adi

Pengaruh Iklim Organisasi dan Kepuasan Kerja Terhadap Niat Berhenti Staf Proyek pada Perusahaan Konstruksi di Surabaya I-233
Krisna Adi Utama dan Putu Artama W.

Model 'Demand' Pengguna 'Shelter' Evakuasi pada Zona Rawan Tsunami di Kota Padang I-243
Purnawan dan Widya Retno

Penggunaan Skala Kondisi untuk Inspeksi Keandalan Struktur Gedung Beton Bertulang I-253
Wahyu Wuryanti

Analisa Perbandingan Biaya dan Waktu Bekisting Metode Konvensional dengan Sistem PERI(Studi Kasus Proyek Puncak Kertajaya Apartemen) I-263
Farida Rahmawati, Yusroniya Eka Putri dan Aditya Febrian

MANAJEMEN ASET DAN INFRASTRUKTUR

Evaluasi Kinerja Sistem Irigasi pada Daerah Irigasi Bareng Kabupaten Jombang Propinsi Jawa Timur II-1
Novi Agung Kurniawan dan Edijatno

Optimalisasi Sistem Pengoperasian dan Pengelolaan TPA Regional Gapuk Regional Gapuk sebagai Aset Daerah II-11
I Wayan Andi Suryantara dan Joni Hermana

Strategi Pengelolaan Pusat Perkulakan Sepatu Trowulan (PPST) Kabupaten Mojokerto II-25
Firman Syah dan I Putu Artama Wiguna

Analisis Finansial Pengelolaan Infrastruktur Pelabuhan Soekarno-Hatta Makassar II-37
Muhammad Aksar, M. Isran Ramli, M. Alham Djabbar, dan M. Saleh Pallu

Studi Karakteristik Infrastruktur dan Operasional Pasar Tradisional di Kota Makassar II-45
Mubassirang Pasra, M. Isran Ramli, S. Adji Adisasmita, dan M. Saleh Pallu

ISBN 978-979-99327-8-5

MANAJEMEN DAN REKAYASA TRANSPORTASI

Studi Bangkitan Pergerakan Komuter pada Perumahan Berlokasi di Pinggiran Kota Makassar III-1
Rais Rachman, M. Isran Ramli, Nur Ali, dan Herman Parung

Analisis Kinerja Jalan Raya Serpong akibat Pengaturan Waktu Operasi Angkutan Barang di Jalan Tol dalam Kota DKI Jakarta III-9
Sylvia Indriany dan Yogyawan Semanding

Perancangan Strategi Pemeliharaan Jalan dengan Menggunakan Metode *Scraping Filling Overlay* III-17
Suherman dan Wati Widawati

Metode Kuantitatif Penentuan Lokasi Bandar Udara Banyuwangi III-27
Amalia Firdaus M, Djoko Sulistiono dan Ami Asparini

Perkembangan dan Analisis Kepuasan Pengguna Publik Transport Monorel di Kuala Lumpur III-35
Amsori Muhammad Das

Analisis Ketidakrataan, Kekesatan dan Prosentasi Kerusakan Perkerasan Jalan Tol Jagorawi Ruas Gunung Putri-Cibinong Km 24,300-27,500 III-45
Suherman, Iis Inayah, dan Risman Cahya Ginanjar

Prospek Penggunaan Campuran Aspal Beton dengan Penggunaan Limbah dari Pabrik Pengecoran Baja (ISPAT INDO, Surabaya) sebagai Bahan Campuran Agregat III-53
Recnaldo Angyanan dan Indrasurya B. Mochtar

Analisis Pemodelan Penentuan Urutan Prioritas Pemeliharaan Jalan Nasional dengan Metode Bayes di Propinsi Bali III-63
Gd Arya Mahendra Putra, A. Agung Gde Kartika, Soemino

Manajemen Lalu Lintas Kawasan Boulevard dan Simpang Masjid Kampung Ujung Kabupaten Belitung III-73
Ardi Pradana dan Djoko Setijowarno

Studi Evaluasi Angkutan Umum Lyn JSP Ditinjau dari Karakteristik Operasional dan Optimalisasi Armada III-83
Ari Widayanti dan Edi Sugianto

Studi Eksperimental Pengaruh Genangan Banjir Air Laut terhadap Kekuatan Infrastruktur Perkerasan Jalan Berbasis Campuran Aspal Berpori III-95
M. R. Zachraini, A. B. Muhiddin, M. W. Tjaronge, M. I. Ramli

ISBN 978-979-99327-8-5

Studi Perilaku Percepatan - Perlambatan Kendaraan Sepeda Motor pada Kondisi Lalu Lintas Heterogen III-101
M. Andry Azis, M. Isran Ramli, dan S. Hamid Aly

Tinjauan Penataan Media Reklame Elektronik pada Ruang Milik Jalan (*Studi Kasus Jln Merdeka Kota Bandung)* III-111
A. Sundara dan M.Azhar

Studi Kelayakan Angkutan Penyeberangan Belitung-Mendanau III-121
Djoko Setijowarno, Teguh Tuhu P, Prioutomo Puguh P, dan Anatasia Yulianti

Studi Sistem Parkir Badan Jalan pada Kawasan Wisata-Belanja di Kota Makassar III-133
Anugrah Yasin, M. Isran Ramli, S. Hamid Aly, dan Lawalenna Samang

Studi Model Biaya Operasi Kendaraan Penggunaan Sepeda Motor di Kota Makassar III-143
Arifin Asri, M. Isran Ramli, Nur Ali, dan Lawalenna Samang

Prospek dan Tantangan Pengembangan Infrastruktur Sistem Angkutan Barang di Provinsi Sulawesi Selatan III-151
Hakzah, M. Isran Ramli, S. Adji Adisasmita, dan Lawalenna Samang

Analisa Waktu Tempuh *U-Turn* Jalan Borobudur Kota Malang III-159
Dwi Ratnaningsih

Studi Distribusi Headway Kendaraan Penumpang pada Lalu Lintas Heterogen di Kota Makassar III-165
M. Thahir Azikin, M. Isran Ramli, Muralia Hustim, dan Lawalenna Samang

Studi Karakteristik Operasional Angkutan Umum Informal di Kota Makassar III-173
A. Yauri Yunus, M. Isran Ramli, Nur Ali, dan Herman Parung

Model Asal Tujuan Orang dalam Pergerakan Harian di Kota Yogyakarta III-181
J.Dwijoko Ansusanto, Achmad Munawar, Sigit Priyanto dan Bambang Hari Wibisono

Kinerja Campuran Aspal Berpori dengan Menggunakan Aspal Polimer Starbit Jenis E-55 III-191
Muh. Nashir T, Herman Parung, Nur Ali dan Tri Hariyanto

Studi Potensi Pendapatan dari Sektor Parkir Jalan Umum Kota Surabaya III-201
A. Agung Gde Kartika dan Anggoro Himawan

Analisis Kualitas Pelayanan Operasional Sisi Darat Bandar Udara Nabire III-211
Asner Silalahi, Hera Widyastuti, Catur Arif Prastyanto

Penentuan Jumlah Exit Taxiway Berdasarkan Variasi Jenis Pesawat dan Kerapatan Jadwal Penerbangan pada Bandara Internasional Juanda Surabaya — III-219
Hera Widyastuti, Anak Agung Gde Kartika, Wahyu H, Catur A.P, Budi Rahardjo, Cahya Buana, Istiar, Aldila Riana P, Zadly Andi P dan Mareta Uci

VOLUME II

MANAJEMEN DAN REKAYASA SUMBER AIR

Sistem Peringatan Dini Banjir Perkotaan untuk Mengantisipasi Kemacetan Kendaraan — IV-1
Suwito, Amin Widodo, Ari Mazharuddin S

Studi Elevasi Muka Air Sungai Marmoyo Pasca Pengoprasian Syphon Sudetan Pengendali Banjir — IV-11
Saiful Arfaah, Nadjadji Anwar, Abdullah Hidayat S. A.

Studi Optimalisasi Waduk Rea dan Tanggul Banjir dari Tepas ke Muara untuk Penanggulangan Banjir di Kota Taliwang — IV-21
Affan Rabbani, Nadjadji Anwar dan Edijatno

Studi Analisa Muka Air Banjir Kali Kedunglarangan akibat Adanya Rencana Sudetan Kali Kedunglarangan Menuju Kali Kalanganyar di Kabupaten Pasuruan — IV-31
M. Hafiizh Imaaduddiin, Bambang Sarwono dan Mahendra Andiek

Analisis Pengaruh Breakwater trhadap Pola Gelombang dan Arus di Pelabuhan Bakauheni dengan Menggunakan Model Numerik 2 Dimensi — IV-41
A. A. Ngr. Satria Damarnegara, Bambang Sarwono dan Bambang Winarta

Rekayasa Pengembangan Sumber Daya Buatan Berbasis Kinerja DAS Baubau — IV-51
Mz. Amirul Tamim, Saleh Pallu, Shirly Wunas dan Sumbangan Baja

Kajian Sistim Pengembangan Sumber Daya Air di Daerah Kering Pulau-Pulau Kecil NTT — IV-61
Didik Kresnohadi dan Denik Sri Krisnayanti

Ketelitian Perhitungan Evapotranspirasi Fao Penman-Monteith dengan Data Klimatologi Terbatas — IV-71
Ulfa Fitriati

Studi Optimasi Sistem Operasi Intake Bendung Gerak Benteng untuk Memenuhi Kebutuhan Daerah Irigasi Sadang — IV-79
Fathur Rahman Rustan, Nadjadji Anwar dan Abdullah Hidayat

Pengembangan Model Desa Konservasi di Kawasan Hulu Das Brantas — IV-89
Kustamar, Togi H. Nainggolan, Agung Witjaksono

Pemodelan Pola Pengoperasian Waduk Wonorejo untuk Produksi Energi Menggunakan ANFIS — IV-99
Oni Febriani, Nadjadji Anwar dan Pujo Aji

Analisa Input Parameter Klimatologi dalam Pemodelan Evapotranspirasi Potensial Harian Menggunakan *ANN* — IV-107
Danayanti Azmi Dewi Nusantara, Edijatno dan Pujo Aji

Kalibrasi Koefisien Ketersediaan Air dengan Metode Mock (Studi Kasus pada AWLR di Pulau Lombok) — IV-117
Galuh Rizqi Novelia dan Achmad Rivani

Perancangan *Detached Breakwater* di Pulau Giliketapang sebagai Upaya Mempermudah Sandar Perahu Nelayan — IV-121
Hasan Ikhwani, Erdina Arianti, Irawati dan Firra Hasita

Pemanfaatan Beda Energi pada Bangunan Terjun untuk Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) — IV-131
Abdullah Hidayat SA, Nadjaji Anwar, dan Mahendra Andiek M.

Perencanaan Konsep Ekodrainase (Studi Kasus Jalan Pramuka Kota Banjarmasin) — IV-143
Novitasari

Numerical Study on Low Reynolds Number Dynamic Stall of The Flow Over Wind Turbine Airfoil — IV-153
Galih S.T.A. Bangga

Studi Optimasi Sistem Operasi Intake Bendung Gerak Benteng untuk Memenuhi Kebutuhan Daerah Irigasi Sadang — IV-161
Fathur Rahman Rustan, Nadjadji Anwar dan Abdullah Hidayat

Simulasi Aliran pada Ruas Tenggarang Sampai Klopo Sawit di Kali Sampean — IV-171
Rosita Ardila, Soetoyo dan Bambang Sarwono

ISBN 978-979-99327-8-5

STRUKTUR

Bambu Lapis sebagai Alternatif Material Rangka Atap Ramah Lingkungan V-1
Sumargo dan Sindy Agnesty

Pengaruh Kuat Tekan Beton Normal akibat Substitusi Partial *Fly Ash* dan Bubuk Bata Merah terhadap Semen V-11
Ambar Susanto, Heri Kasyanto dan Andri Budiadi

Vertical Velocity Profile Improvement of Oscillatory Boundary Layer V-19
Andi Rusdin

Studi Perilaku Portal Isi Dinding Bata dengan Program Bantu Berbasis Metode Elemen Hingga V-27
Aniendhita Rizki Amalia dan Data Iranata

Analisa Perilaku Gedung Tinggi yang Menggunakan Sistem *Base Isolation* akibat Beban Gempa *Nonlinier Time History Analysis* V-39
Yudha Lesmana dan Endah Wahyuni

Evaluasi Perilaku Sistem *Staggered Truss Framing* (STF) dengan Menggunakan Analisis Nonlinier Beban Dorong dan Riwayat Waktu V-49
Yoga C. V. Tethool dan Endah Wahyuni

Pengaruh Getaran akibat Kereta Api di Rencana *Double Track* Sekitar Lamongan V-61
Ananta Sigit Sidharta,Triwulan, dan Dwa Desa Warnana

Identifikasi Kerentanan pada Praktek-Praktek Konstruksi Bangunan Gedung Menggunakan Teknik DELPHI V-69
M. Heri Zulfiar, Rizal Z. Tamin, Krishna S. Pribadi dan Iswandi Imran

Pengaruh Gaya Prategang Awal terhadap Efektifitas Penggunaan *Wire Rope* sebagai Perkuatan Daerah Momen Negatif Balok Beton Bertulang Tampang T V-81
Yanuar Haryanto, Nanang Gunawan Wariyatno dan Gathot Heri Sudibyo

Pemodelan Respons Non-Linear Material Beton akibat Beban Biaksial dengan Menggunakan Software Berbasis *Finite Element Analysis* V-91
Sylvya Anggraini, Endah Wahyuni dan Data Iranata

Analisa Tidak Linear Struktur Beton: dari Seismologi sampai Pemodelan Struktur V-101
Ade Faisal

ISBN 978-979-99327-8-5

Lumpur Sidoarjo Bakar, Fly Ash sebagai Substitusi Semen dan Kapur ($Ca(OH)_2$) untuk Campuran Beton Ringan dengan Menggunakan Bubuk Alumunium sebagai Bahan Pengembang V-113
Boby Dean Pahlevi, Triwulan, dan Januarti Jaya Ekaputri

Perilaku Lumpur Sidoarjo (Lusi) sebagai Agregat Ringan Buatan untuk Bahan Dasar Beton Ringan (AAC) V-123
Rizqi A Perdanawati, Farid R S Nasir, Januarti J Ekaputri dan Triwulan

Potensi Agregat *ALWA* sebagai Bahan Dasar Beton Geopolimer Berbahan Lumpur Sidoarjo V-133
M. Shofi'ul Amin, M. Diky F., Januarti Eka P.dan Triwulan

Perilaku Fisik Campuran Lumpur Sidoarjo dan Abu Sekam sebagai Bahan Dasar Campuran Pembuatan Agregat Ringan V-143
Massruroh Ika A., Boby Dean P., Triwulan.dan Januarti Jaya EP.

Studi Perilaku Web Post Buckling dan Viereendel Mechanism pada Hexagonal Castellated Beams V-153
Tri Widya Swastika, Hidajat Soegihardjo dan Budi Suswanto

Perilaku Fisik Lumpur Sidoarjo sebagai Bahan Dasar *Alwa* dan Beton Ringan dengan Tambahan Limbah Gypsum dan Foam V-165
Nanin M.Utami, Winda A.Septiawardani, Januarti J.Ekaputri., dan Triwulan

Rekayasa Struktur Peninggian Stack Baja Bangunan Industri (Studi Kasus Stack Raw Mill Pabrik Semen Gresik di Tuban) V-175
Djoko Irawan , Ibnu Pudji Rahardjo dan Chomaedhi

Studi Percepatan Gempa Maksimum di Beberapa Wilayah dengan Intensitas Gempa Tinggi di Indonesia V-187
Iman Wimbadi, Tavio dan Yella

Studi Perilaku Non Linear Perbandingan Panjang Link pada Eccentrically Braced Frame dengan Finite Element Analysis V-195
Budi Suswanto, Data Iranata, dan Harun Alrasyid

Evaluasi Kerentanan Gedung Sekolah Dasar Beton Bertulang Dua Lantai Pascagempa V-205
Endah Wahyuni, Data Iranata, Amien Widodo dan Djoko Irawan

Duktilitas Penampang Tiang Pancang Beton Pratekan Pratarik Bulat Berongga Hasil Pemadatan Sentrufugal V-213
(Ductility Of Pretension Spun Concrete Piles Section)
I Gusti Putu Raka

ISBN 978-979-99327-8-5

GEOTEKNIK

Penelitian Stabilitas Lereng Tanah Tower PLN Gresik VI-1
Musta'in Arif dan Trihanyndio Rendy S.

Tinjauan Potensi Kembang Susut, Tekanan Pengembangan dan Konsolidasi Tanah Lempung Kalioso Karanganyar VI-13
Qunik Wiqoyah, Untung Achmad Rifai

Aplikasi *Fuzzy Logic* untuk Memperkirakan Jumlah dan Kedalaman Pondasi Tiang Berdasarkan Friction Pile untuk Tipe Pile Cap Persegi VI-21
Suwarno

Perbandingan Parameter Hasil Uji Konsolidasi antara Tanah yang Distabilisasi dengan Kapur dan dengan Semen VI-39
Desiana Vidayanti dan Muhammad Sholehuddin

Pengaruh Penambahan Abu Gergaji Kayu Terhadap Kekuatan dan Pengembangan (*Swelling*) pada *Subgrade* dari Tanah Lempung Berplastisitas Tinggi VI-49
Syahril. dan Koeswahono.

Karakteristik Resapan pada Lapisan Tanah dan Pasir Material Timbunan pada Lahan Pembangunan Infrastruktur VI-61
Halidin Arfan

Studi Stabilisasi Material Sedimen Pengerukan Sungai Jeneberang dengan Semen sebagai Material Subgrade Infrastruktur Jalan VI-69
M. Isran Ramli, S. Hijraini Nur, Hamzah Yusuf dan Lawalenna Samang

Pemodelan Pergerakan Mudflow di Laboratorium VI-79
Budijanto Widjaja dan Shannon Hsien-Heng Lee

Perilaku Tanah Ekspansif di Zona Aktif VI-85
Denny Hosen dan Indarto

TATA RUANG DAN WILAYAH

Pengaruh Tata Letak Permukiman Tepian Air terhadap Pembentukan Pola Jalan Kasus : Permukiman Tepi Laut Mariso Makassar VII- 1
Edward Syarif, Endang TS Darjosanjoto, I Gusti Ngurah Antaryama

Pemahaman Tentang Aksesibilitas dalam Konteks Morfologi Perkotaan pada Lahan Berkontur Kota Donggala, Sulawesi Tengah sebagai Referensi Lokasi VII-11
Asyra Ramadanta, Endang T.S. Darjosanjoto, I Gusti Ngurah Antaryama

ISBN 978-979-99327-8-5

Penataan Kawasan Industri Kebomas Gresik dalam Upaya Meningkatkan Identitas Kawasan dengan Penekanan Perancangan Berkelanjutan VII-21
Samira, Ispurwono Soemarno dan Bambang Soemardiono

Optimasi Sistem Pengangkutan Sampah di Kota Gorontalo VII-33
Olis Bakari, Joni Hermana dan Wahju Herijatno

Kajian Kelayakan Penerapan Tempat Pengolahan Sampah Terpadu (TPST) untuk Meningkatkan Cakupan Pelayanan Sampah di Kota Bengkulu VII-39
Kurniawan dan Joni Hermana

Penerapan Kolam Retensi dalam Pengendalian Debit Banjir akibat Pengembangan Wilayah Kawasan Industri VII-47
Albert Wicaksono, Doddi Yudianto, Bambang Adi Riyanto dan Gneis Setia Graha

Kebenaran Toponimi Peta Surabaya Karya Enrique dengan Metode *Ground Truth* VII-57
Satriana Fitri

Pengukuran Tingkat Keberlanjutan Struktur Ruang Kota Malang (Studi Kasus: Kecamatan Lowokwaru dan Kecamatan Kedungkandang) VII-63
Septiana Hariyani, Endang Titi Sunarti Darjosanjoto, dan Haryo Sulistyarso

Pemahaman Tentang Aksesibilitas dalam Konteks Morfologi Perkotaan pada Lahan Berkontur Kota Donggala, Sulawesi Tengah sebagai Referensi Lokasi VII-73
Asyra Ramadanta, Endang T.S. Darjosanjoto dan I Gusti Ngurah Antaryama

Zona Potensi Airtanah Cekungan Airtanah (Cat) Palu Sulawesi Tengah Berdasarkan Karakteristik Airtanah pada Setiap Satuan Hidromorfologi dan Hidrogeologi VII-83
Zeffitni

Kajian Ruang Terbuka Hijau Perkotaan (Studi Kasus Kawasan Sultan Adam Banjarmasin) VII-93
Nurfansyah

Studi Karakteristik Emisi Kendaraan Sepeda Motor di Kota Makassar VII-105
Muhammad Arafah, M. Isran Ramli, S. Hamid Aly, dan Mary Selintung

Peranan Ibu-Ibu dalam Pengelolaan Komprehensif Sampah Berbasis Masyarakat di Kelurahan Sukomulyo Kabupaten Lamongan (Pengaruhnya terhadap Kelestarian Lingkungan Hidup) VII-113
Nur Azizah Affandy dan Cicik Herlina Yulianti

ISBN 978-979-99327-8-5

MAKALAH

BIDANG MANAJEMEN DAN REKAYASA SUMBER AIR

Seminar Nasional IX 2013
Teknik Sipil FTSP-ITS

PT. PEMBANGUNAN PERUMAHAN (PERSERO) TBK

SISTEM PERINGATAN DINI BANJIR PERKOTAAN UNTUK MENGANTISIPASI KEMACETAN KENDARAAN

Suwito[1], Amin Widodo[2], Ari Mazharuddin S[3]

[1] *Dosen Jurusan Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Kampus ITS Sukolilo Surabaya, email: mas.suwito@gmail.com*
[2] *Dosen Jurusan Teknik Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Kampus ITS Sukolilo Surabaya, email: amienwidodo@yahoo.com*
[3] *Dosen Jurusan Teknik Informatika, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Kampus ITS Sukolilo Surabaya, email: ary.shiddiqi@gmail.com*

ABSTRAK

Banjir adalah salah satu permasalahan umum terutama terjadi di daerah yang padat penduduknya seperti di daerah perkotaan. Bencana ini kerap terjadi setiap tahunnya sehingga membuat masyarakat kota resah terutama para pengguna jalan yang mengalami kemacetan akibat banjir. Selama ini alat pengukur untuk mengetahui data terkini mengenai kondisi dampak banjir dilakukan di bantaran sungai, sehingga para pengguna jalan tidak dapat mengetahui kondisi terkini jalan yang banjir. Oleh karena itu dibutuhkan suatu sistem peringatan dini banjir yang dapat memberikan informasi secara langsung dan real time kepada para pengguna jalan untuk menghindari banjir.

Teknik yang digunakan yaitu memasang sistem pengukur level air di jalan yang rawan banjir, daerah ini pada umumnya berupa daerah cekungan atau landai. Sistem pengukur level air menggunakan sensor berupa infrared yang akan membaca perubahan jarak permukanaan air dengan sensor. Tegangan keluaran pada rangkaian pengkondisi sensor sebanding dengan level air yang meningkat. Tegangan dari sensor selanjutnya di akuisisi dan diolah menjadi besaran level ketinggian air menggunakan mikrokontroler. Nilai level air juga dipetakan dalam zona-zona tertentu yang mempresentasikan level bahaya banjir. Selanjutnya data level air dikirim ke stasiun yang berfungsi menerima data dari sistem pengukur level air untuk ditampilkan berupa traffic light dan angka.

Pengujian dilakukan dengan pengukuran level air dalam suatu bejana. Pengiriman data sensor dilakukan melalui wireless secara berlanjut. Mikrokontroler yang bertugas menerima dan menampilkan data dipindah secara perlahan menjauhi sensor untuk mengetahui jarak maksimal jangkauan wireless. Sedangkan pada sensor level air dilakukan perubahan ketinggian air pada bejana. Perubahan level air dipantau di stasiun penerima dan penampilan data untuk menguji keabsahan data yang dikirim melaui wireless.

Kata kunci : Peringatan dini banjir, banjir perkotaan.

1. PENDAHULUAN

Banjir adalah salah satu permasalahan umum yang terutama terjadi di daerah perkotaan. Dampak yang diakibatkan dari banjir sangat luas diantaranya adalah harta benda dan jiwa. Sebagai salah satu kota besar di Indonesia, Surabaya memiliki kerawanan dalam hal banjir sebagaimana kota-kota besar yang lainnya. Pemanfaatan lahan di Surabaya mayoritas adalah digunakan untuk perumahan yang berkisar 53,85 %, sedangkan untuk lakur hijau hanyalah 12,36 %. Hal ini menunjukkan betapa besar potensi banjir dikarenakan minimnya wilayah resapan yang tersedia.

Diperkirakan kerugian akibat banjir di Surabaya jika seperempat atau sepertiga wilayah di Surabaya tergenang banjir mencapai Rp. 400 miliar untuk durasi banjir selama kurang lebih 5 jam. Jumlah tersebut diperoleh dari perhitungan dari prediksi transaksi perhari yang mencapai 5-7 trilyun. Kerugian lain yang dapat timbul adalah menguapnya bahan bakar minyak (BBM) yang diakibatkan oleh kemacetan yang terjadi akibat banjir.

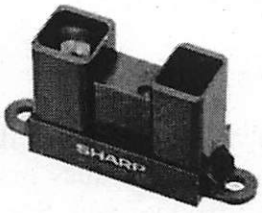
Oleh karena itu diperlukan suatu sistem yang mampu memberikan informasi tentang potensi terjadinya banjir. Informasi yang dihasilkan dari sistem ini akan digunakan untuk mengantisipasi dampak buruk yang ditimbulkan oleh banjir. Informasi yang dihasilkan akan ditampilkan pada lampu lalu lintas yang berada didaerah yang sekiranya menuju ke daerah yang berpotensi banjir. Informasi tentang kondisi tekini dari tiap-tiap wilayah yang menjadi langganan banjir setiap musimnya. Belakangan ini sudah ada sistem yang mampu memberikan informasi tentang banjir, namun sistem tersebut belum di implementasikan pada jalan perkotaan yang rawan banjir. Menurut beberapa analisa yang ada, keandalan sistem yang telah dibangun ini mempunyai kelemahan antara lain transmisi data pada sistem menggunakan SMS (Short Message Service) yang masih berada pada second layer dalam arti masih tergantung pada keandalan provider penyedia layanan jaringan. Jadi sistem ini tidak real time. Oleh karena itu diperlukan suatu alat yang mampu mendeteksi adanya bahaya banjir secara real time dan continuous pada wilayah perkotaan.

Pada penelitian ini akan dirancang sebuah alat untuk mendeteksi ketinggian air sehingga bisa memberi peringatan dini ketika ketinggan air telah mencapai kondisi waspada. Hasil pengukuran ketinggian air tersebut kemudian dikirimkan melalui media transmisi wireless dan akan diterima pada alat yang akan menampilkan level ketinggian air tersebut yang berada pada lampu lalu lintas. Pada setiap lampu lalu lintas akan dipasang sebuah display berupa seven segment yang menampilkan khusus kondisi terkini level air dijalan yang menjadi langganan banjir.

2. TEORI PENUNJANG

2.1 Tranduser *Infrared* GP2Y0A0

Infrared GP2Y0A0 merupakan unit sensor pengukur jarak, yang terdiri dari kommbinasi yang terintegrasi dari PSD (*Position Sensitive Detector*), IRED (*Infrared Emiting Diode*), dan rangkaian pemrosesan sinyal. Suhu sekitar dan lamanya pengoperasian tidak dapat dengan mudah mempengaruhi refleksivitas yang digunakan sebagai pengukuran jarak pada sensor ini, karena *Infrared* GP2Y0A0 mengadopsi metode triangulasi. Hasil keluaran dari perangkat ini berupa perubahan tegangan dari setiap perubahan jarak hasil dari refleksi pengukuran jarak suatu objek.[4]



Gambar 2. 1 Tranduser infrared GP2Y0A0

2.2 Komunikasi *Wireless* dengan Gelombang Radio

Sistem komunikasi *wireless* merupakan sistem penyampaian informasi (data, suara, gambar) tanpa media kabel sebagai perantaranya, tetapi menggunakan media yang lain berupa udara yang dibawa lewat sebuah gelombang.

Salah satu media komunikasi wireless adalah menggunakan gelombang radio. Radio adalah teknologi yang digunakan untuk pengiriman sinyal dengan cara modulasi dan radiasi elektromagnetik (gelombang elektromagnetik). Gelombang ini melintas dan merambat lewat udara dan bisa juga merambat lewat ruang angkasa yang hampa udara,

karena gelombang ini tidak memerlukan medium pengangkut. Gelombang radio ini berada pada jangkauan frekuensi 10 hertz (Hz) sampai beberapa gigahertz (GHz), dan radiasi elektromagnetiknya bergerak dengan cara osilasi elektrik maupun magnetik.
Xbee-Pro merupakan modul *transceiver* dan *receiver* menggunakan gelombang radio. Salah satu modul komunikasi wireless dengan frekuensi 2,4 Ghz yang memenuhi standar IEEE 802.15.4. Modul XBee-PRO memberikan konektifitas nirkabel ke perangkat jaringan ZigBee mesh. Dengan memanfaatkan set fitur ZigBee, modul ini dapat dioperasikan dengan perangkat ZigBee lain. Berikut beberapa fitur dari XBee-PRO:

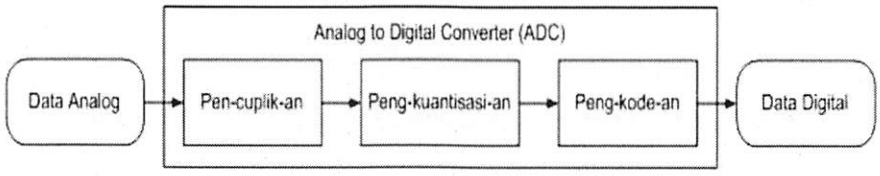
- Supply Voltage : 2.8-3.4V
- Jangkauan dalam ruangan mencapai 90m
- Jangkauan pada ruang terbuka mencapai 1500m
- Transmit Power: 63mW (18dBm)
- TX Peak Current: 250mA
- RX Current : 55 mA (@3,3V)
- RF data rate :250.000 bps

XBee-PRO RF modul antarmuka untuk perangkat *host* device melalui level-logika asynchronous port serial. Melalui port serial, modul dapat berkomunikasi dengan setiap logika dan tegangan yang kompatibel dengan UART, atau melalui penerjemah ke perangkat serial, contohnya: digi milik RS-232 atau USB antarmuka.

Gambar 2. 2 XBee-PRO[4]

2.3 *Analog to Digital Converter* (ADC)

Sebuah ADC (*Analog to Digital Converter*) berfungsi untuk mengkodekan tegangan sinyal analog waktu kontinu ke bentuk sederetan bit digital waktu diskrit sehingga sinyal tersebut dapat diolah oleh komputer atau DSP. ADC internal yang disediakan mikrokontroler ATmega32 ada 8 channel yang berada pada port A dimulai dari port A.0-port A.7. Rangkaian internal ADC ini memiliki catu daya tersendiri, yaitu pada pin A_{VCC}. Nilai tegangan A_{VCC} harus sama dengan nilai tegangan VCC ± 0.3V.

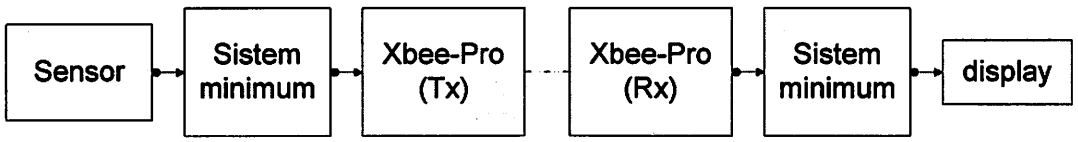


Gambar 2.3 Diagram blok proses konversi analog ke digital

3. PERANCANGAN SISTEM

Sistem pengukuran peringatan dini banjir perkotaan ini ditujukan untuk evakuasi para pengguna jalan agar tidak terjebak banjir. Tegangan keluaran dari sensor pengukur ketinggian level air akan diubah ke data digital melalui pin ADC mikrokontroler. Mikrokontroler akan mengeluarkan sinyal aktuasi yang akan diteruskan ke modul XBee-Pro dan kemudian diterima pada rangkaian sistem minimum slave yang berfungsi sebagai pengolahan data dan penampilan.

Diagram blok perangkat keras sistem peringatan dini banjir perkotaan ditunjukkan pada gambar 3.1.



Gambar 3. 1 Diagram blok *prototype* sistem peringatan dini banjir perkotaan

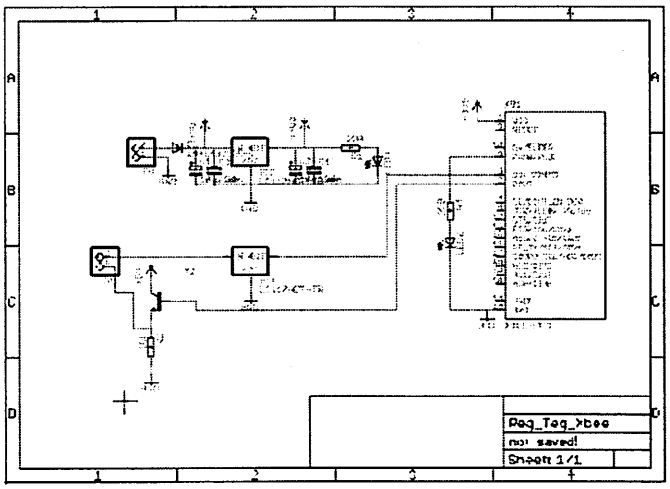
Pada dasarnya sistem ini terbagi menjadi dua bagian rangkaian, yakni bagian minimum sistem master mikrokontroler atmega32. Bagian sistem minimum *slave* yang berfungsi untuk mengolah data ADC dari master yang dikirim melalui wireless.

3.1 Perancangan Perangkat Keras (Hardware)

Perancangan perangkat keras terdiri dari perancangan rangkaian untuk komunikasi jarak jauh menggunakan modul XBee-Pro, serta rangkaian *minimum system* mikrokontroler ATmega32 sebagai rangkaian control dan pengolahan data.

3.1.1 Perancangan Rangkaian Komunikasi Jarak Jauh

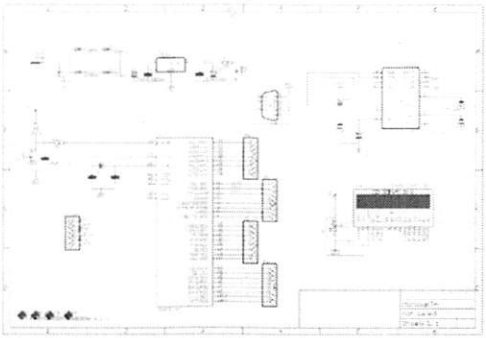
Rangkaian komunikasi jarak jauh terdiri dari XBee-PRO yang *transceiver* dan *receiver* yang berfungsi mengirim data ADC hasil dari pembacaan sensor secara serial ke mikrokontroler *slave*. *Output* dan *input* Pin PD1 (Tx) dan PD0 (Rx) pada mikrokontroler terhubung dengan rangkaian regulator tegangan sebelum dihubungkan ke XBee-PRO. Tegangan yang diterima oleh XBee-PRO sebesar 3,3Volt.



Gambar 3. 2 Rangkaian regulator tegangan XBee-Pro

3.1.2 Perancangan Sistem Minimum Mikrokontroler

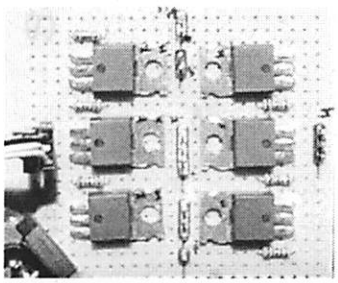
Sistem minimum mikrokontroler pada EWS banjir ini terdiri dari sistem minimum mikrokontroler *master* yang digunakan untuk pembacaan dan pengiriman data sensor. Dan sistem minimum mikrokontroler *slave* yang digunakan sebagai pengolahan data sensor dan menampilkan data tersebut ke *display.*



Gambar 3. 3 Rangkaian sistem minimum mikrokontroler ATmega32

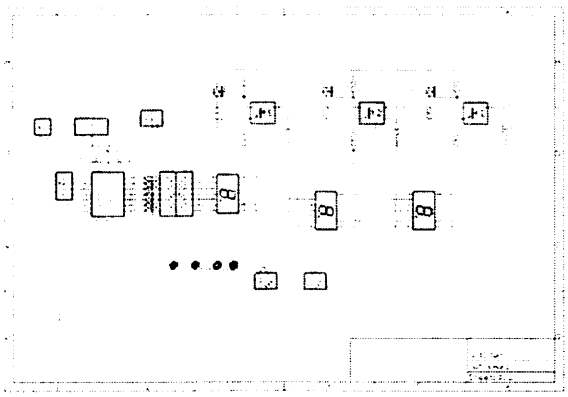
3.1.3 Perancangan *Display* Peringatan Kondisi Lapangan

Peringatan kondisi lapangan terkini menggunakan lampu *Traffic* yang terdiri dari 3 warna yaitu: warna hijau untuk menandakan bahwa kondisi jalan aman untuk dilewati, yang kedua adalah warna kuning yang berarti peringatan kepada pengguna jalan agar lebih baik untuk memilih jalan alternative lain, dan yang terakhir adalah warna merah yang menandakan bahwa kondisi banjir sudah tidak layak untuk dilewati kendaraan bermotor. Rangkaian untuk mengendalikan lampu *traffic* menggunakan transistor jenis mosfet IRFZ44.



Gambar 3. 4 *driver* LED, menggunakan mosfet IRFZ44 yang telah terangkai.

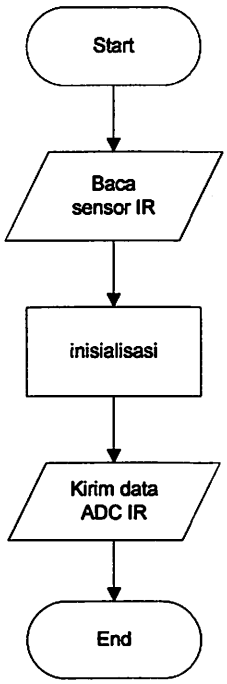
Untuk mengendalikan *seven segment* digunakan IC *decoder* BCD (*Binary Code Decimal*) 74LS47. *Input* dari IC ini adalah 4-bit kode biner dengan aktif *low.* Berikut gambar rangkaian *driver scanning seven segment.*



Gambar 3. 5 Skematik rangkaian *driver seven segment*

3.2 Perancangan Perangkat Lunak (Software)

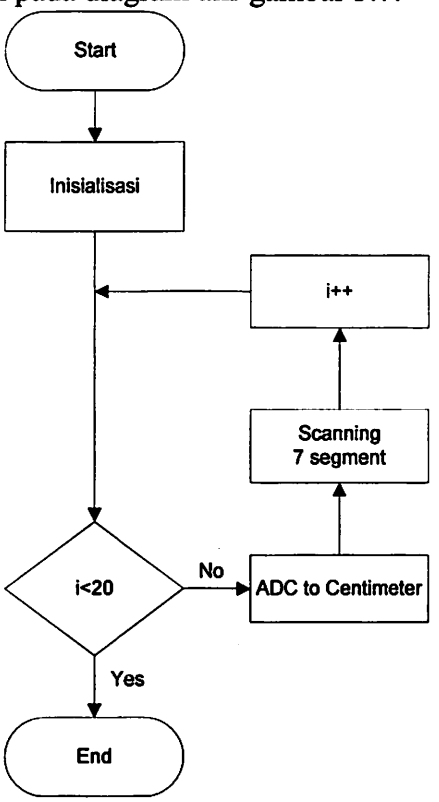
Perangkat lunak yang dirancang yaitu perangkat lunak pada mikrokontroler. Perangkat lunak pada mikrokontroler dirancang untuk melalukan proses konversi analog ke digital, pengiriman data melalui komunikasi serial, dan pengiriman data ADC dari mikrokontroler *master* ke *slave.* Perangkat lunak pada mikrokontroler *master* ATmega32 ditulis dalam bahasa C menggunakan *software* codevisionAVR sebagai media untuk *coding* dan *compiler*-nya. Fungsi – fungsi yang digunakan dalam program untuk ATmega32 diantaranya adalah komunikasi serial, fungsi I/O *port* mikrokontroler, dan ADC. Alur program secara sederhana ditampilkan pada diagram alir gambar 3.6.



Gambar 3. 6 Diagram alir sistem kerja mikrokontroler *master* atmega32.

Sedangkan perangkat lunak pada mikrokontroler *slave* atmega8 sama seperti atmega32, ditulis dengan menggunakan bahasa C dan menggunakan *software* codevisionAVR sebgai *compiler* dan *coding.* Fungsi – fungsi yang digunakan program untuk ATmega8

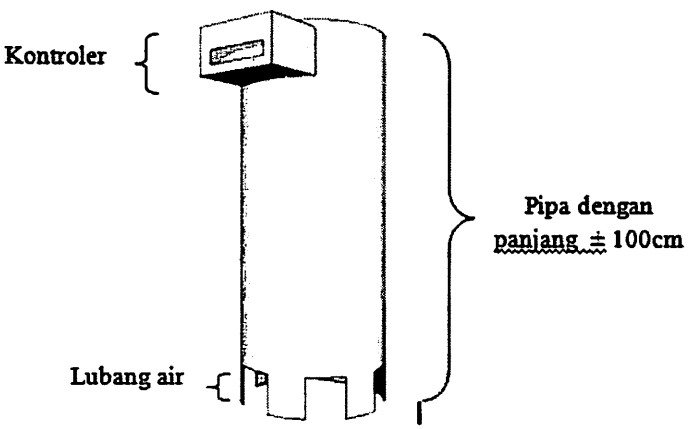
diantaranya adalah komunikasi serial dan fungsi I/O *port* mikrokontroler. Alur program secara sederhana ditampilkan pada diagram alir gambar 3.7.



Gambar 3. 7 Diagram alir sistem kerja mikrokontroler *slave* atmega 8

3.3 Perancangan Mekanik

Perancangan mekanik didesain menggunakan tabung sebagai wadah dari sensor serta pelindung atas pembacaan sensor agar tidak terganggu dengan cahaya yang ada dari luar. Tabung tersebut didesain agar dapat di bongkar pasang dengan mudah. Desain seperti ini berfungsi ketika tidak musim hujan maka tabung beserta kontroler dapat diamankan untuk menghindari pencurian dan hal-hal buruk lain. Gambar 3.12 akan menjelaskan tentang bagian-bagian dari mekanik wadah.



Gambar 3. 8 Rancangan wadah sensor pengukur level ketinggian air banjir perkotaan

3.4 Perencanaan Level Peringatan Banjir

Dari hasil pengamatan terhadap jarak terendah kendaraan yang melintasi jalan raya dapat direncanakan tingkat bahaya dari level genangan air pada jalan raya. Penentuan level bahaya,hati – hati dan aman dari genangan banjir berdasarkan ketingian sepeda motor yang paling rendah yaitu jenis matic. Penentuan level peringatan tersebut terlihat seperti pada gambar 3.9.

Gambar 3. 9 Level peringatan ketinggian banjir

4. PENGUJIAN ALAT

Pada bab menjelaskan hasil pengujian sistem beserta analisanya. Pengujian alat dilakukan pada *hardware* dan *software* dengan pengambilan data sesuai dengan fungsi dari masing-masing bagian sistem.

4.1 Pengujian Komunikasi Jarak jauh

Pengujian wireless dilakukan dengan mengirimkan data secara serial dari mikrokontroler *m+aster* ke *slave.* Pengujian dilakukan di dua area yang berbeda, yaitu di dalam ruangan dan di luar ruangan. Berikut table hasil pengujian komunikasi *wireless* menggunakan XBee-PRO.

Tabel 4. 1 Pengujian di dalam ruangan dan terhalang oleh dinding

Pengujian	Data dari mikro	Jarak	Hasil
1	ADC	10	Bagus
2	ADC	20	Bagus
3	ADC	30	Bagus
4	ADC	40	Bagus
5	ADC	50	Bagus
6	ADC	60	Bagus
7	ADC	70	Bagus
8	ADC	80	Buruk
9	ADC	90	Tidak ada
10	ADC	100	Tidak ada

Tabel 4. 2 Pengujian di luar ruangan

Pengujian	Data dari mikro	Jarak	Hasil
1	ADC	10	Bagus
2	ADC	25	Bagus
3	ADC	50	Bagus
4	ADC	75	Bagus
5	ADC	100	Bagus
6	ADC	125	Bagus
7	ADC	150	Buruk
8	ADC	175	Buruk
9	ADC	200	Tidak ada

4.2 Pengujian Sensor

Pengujian dilakukan dengan mengukur tegangan keluaran terhadap jarak dalam satuan centimeter. Sensor ini memiliki keterbatasan kemampuan dalam pengukuran jarak, yaitu batas jangkauan pengukuran jarak antara 20cm hingga 150cm. Berikut ini adalah table dan grafik hasil dari pengukuran sensor *infrared* Sharp GP2Y0A0. Diawali pada posisi jarak minimal pengukuran 20cm sampai 150cm, tegangan akan berubah dari 3Volt hingga 0.

Tabel 4. 3 Tabel pengukuran jarak sensor *infrared*

Jarak	Pengukuran pada sensor	V_{out}	Error
20	20.1	2.575	0.1%
30	30.3	2.037	0.3%
40	41.7	1.537	1.7%
50	51.5	1.23	1.5%
60	61.7	1.038	1.7%
70	71.2	0.903	1.2%
80	80.6	0.788	0.6%
90	91.3	0.749	1.3%
100	99.8	0.711	1.8%
110	111.1	0.692	1.1%
120	121.5	0.673	1.5%
130	130.4	0.653	0.4%
140	140.1	0.634	0.1%
150	149.7	0.615	0.3%
Rata-rata error			0.97%

5. KESIMPULAN

Dari perancangan, realisasi, dan pengujian alat pada penelitian ini dapat disimpulkan beberapa hal seperti berikut ini :

1. Ketinggian peletakan sensor tidak melebihi 1.5 meter dan diameter pipa sebagai penyangga sensor harus ≥ 10 inch, agar *beam infrared* tidak memantul pada dinding pipa.
2. Pengukuran level ketinggian air menggunakan sensor *infrared* Sharp GP2Y0A0 sangat baik, karena sensor ini memiliki keakurasian yang tinggi.

3. Komunikasi wireless menggunakan XBee-Pro sangat baik dan hamper tidak ada gangguan, namun hanya memiliki keterbatasan jarak hingga ± 1500 meter.

6. DAFTAR REFERENSI

1. Nurochman, Aan. "Sistem Monitoring Hidrologi *Real Time* dengan Menggunakan *Wireless Data Logger* Untuk Pengendalian Pintu Air Pada Daerah Rawan Banjir". *Proceeding* Tugas Akhir Semester Gasal, 2009/2010.
2. ATMEL, ATMEGA32, Microcontroller datasheet.
3. Barnett, Richard. "Embedded C Programming and the Atmel AVR 2nd Eition". Canada. 2006.
4. GP2Y0A02YK0F, Sharp. Product manual datasheet.
5. XBee/XBee-PRO, Product Manual v1.xEx - 802.15.4 Protocol.
6. ____,Elektron Online, *http://hme.ee.itb.ac.id/elektron/?p=32*, Maret 2009.

STUDI ELEVASI MUKA AIR SUNGAI MARMOYO PASCA PENGOPRASIAN SYPHON SUDETAN PENGENDALI BANJIR

Saiful Arfaah[1], Nadjadji Anwar[2], Abdullah Hidayat S. A.[3]

[1]*Mahasiswa Program S2 Manajemen dan Rekayasa Sumber Air, Jurusan Teknik Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, Telp. 081654924914, email: anyelirpuan@gmail.com*
[2]*Dosen Jurusan Teknik Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Kampus ITS Sukolilo Surabaya, Telp 031-5946094, email: nadjadji@ce.its.ac.id*
[3]*Dosen Jurusan Teknik Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Kampus ITS Sukolilo Surabaya, Telp 031-5946094, email: abbullah@ce.its.ac.id*

ABSTRAK

Sungai Marmoyo yang berhulu di Kabupaten Jombang mengalir sepanjang 48 km dan bermuara di Kali Surabaya yang merupakan cabang dari Sungai Brantas. Kali Bancang, Kali Kabuh dan Kali Kulak merupakan anak sungai Sungai Marmoyo. Wilayah sekitar pertemuan tiga anak sungai dengan Sungai Marmoyo merupakan daerah rawan banjir. Banjir terjadi setiap musim penghujan dengan tinggi genangan antara 50 cm – 60 cm dimana daerah genangan banjir merupakan area persawahan produktif dan perkampungan. Untuk itu diperlukan langkah-langkah penanganan untuk mengatasi banjir, yang salah satunya adalah dengan pemasangan syphon sudetan di beberapa titik pada ruas sungai yang sering terjadi banjir.

Penelitian ini adalah untuk mengkaji bagaimana profil aliran yang terjadi di sepanjang Sungai Marmoyo yang sering terjadi banjir pada kondisi aliran eksisting (tanpa pemasangan syphon) dan setelah pemasangan syphon sudetan. Analisa hidrologi dilakukan dengan bantuan program pemodelan HEC-HMS 3.5 dengan kala ulang 25 tahun untuk memperoleh hirograf banjir. Analisa hirolika dilakukan dengan bantuan program pemodelan HEC-RAS 4.1.0. untuk memperoleh profil aliran pada ruas Sungai marmoyo yang sering terjadi banjir. Simulasi dilakukan pada ruas Sungai Mrmoyo sepanjang 3,7 km pada kodisi eksisting dan pada kondisi setelah dipasang syphon sudetan dengan Ø 0,6 m, Ø 0,8 m dan Ø 1,0 m di beberapa titik.

Hasil simulasi menunjukkan elevasi muka air banjir pada kondisi eksisting berada diatas elevasi permukaan sawah yang berkisar antara 0,33 m s/d 2,09 m. Pada simulasi dengan pemasangan syphon sudetan, terjadi penurunan elevasi muka air banjir yang bervariasi. Penurunan elevasi muka air banjir yang signifikan untuk menanggulangi banjir terjadi pada simulasi pemasangan 15 syphon sudetan dengan penurunan berkisar antara 2,24 m s/d 3,00 m.

Kata kunci : Banjir, Syiphon Sudetan, HEC-HMS3.5, HEC-Ras 4.1.0.

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Wilayah Kabupaten Jombang dialiri beberapa sungai, baik yang berhulu di wilayah kabupaten lain maupun yang berhulu di wilayah Kabupaten Jombang. Salah satu sungai yang mengalir dan berhulu di Kabupaten Jombang adalah Sungai Marmoyo yang letaknya bersebelahan dengan ruas Sungai Brantas (di sebelah Selatan) . Dengan luas DPS 287,7 km^2 Sungai Marmoyo mempunyai tiga anak sungai yaitu : Sungai Kulak, Sungai Kabuh dan Sungai Bancang. Muara Sungai Marmoyo adalah Kali Surabaya yang merupakan cabang sungai dari Sungai Brantas.

Banjir yang disebabkan oleh meluapnya Sungai Marmoyo menjadi permasalahan yang serius di setiap musim penghujan. Pada tahun 2010 tidak kurang dari 21 dusun dari 8 desa tergenang banjir dengan tinggi genangan antara 50 – 60 cm, 567 ha area

persawahan di Kecamatan Ploso mengalami gagal tanam akibat tersapu banjir . Sebagai upaya untuk pengendalian banjir, Dinas PU Bina Marga Dan Pengairan Kabupaten Jombang merencanakan pembuatan sudetan berupa saluran tertutup pipa (syphon sudetan) yang akan mengalirkan sebagian debit Sungai Marmoyo ke Sungai Brantas yang diharapkan bisa mengurangi volume banjir yang terjadi. Pembuatan syphon sudetan ini perlu dikaji sejauh mana dapat menurunkan elevasi muka air di Kali Marmoyo yang ditengarai sering terjadi banjir.

1.2. Perumusan Masalah

Uraian di atas memberikan gambaran bahwa, pada dasarnya kajian ini dimaksudkan untuk menjawab permasalahan sebagai berikut :

1. Bagaimana profil aliran eksisting (tanpa pemasangan syphon) yang terjadi di sepanjang Sungai Marmoyo yang ditengarai sering terjadi banjir?
2. Bagaimana profil aliran yang terjadi di sepanjang Sungai Marmoyo yang ditengarai sering terjadi banjir setelah pemasangan Syphon Sudetan Pengendali Banjir?

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah untuk melakukan kajian penanggulangan banjir akibat luapan air Sungai marmoyo yang dapat diuraikan sebagai berikut:

1. Mengidentifikasi kemampuan pada tiap-tiap bagian (potongan melintang) Sungai marmoyo yang ditengarai terjadi luapan air pada kondisi eksisting.
2. Mengidentifikasi kemampuan Syphon Sudetan Pengendali Banjir menurunkan profil muka pada bagian-bagian pada Sungai marmoyo yang ditengarai terjadi banjir dengan variasi kala ulang debit rencana.

1.4. Batasan masalah

Beberapa hal yang menjadi kajian pada penelitian ini adalah :

1. Wilayah studi pada kajian ini hanya difokuskan pada lokasi di sepanjang Sungai Marmoyo yang ditengarai sering terjadi banjir, yaitu mulai dari pertemuan Sungai Marmoyo dengan Sungai Bancang sampai sebelum pertemuan Sungai Marmoyo dengan Sungai Kulak.
2. Dimensi dan lokasi sudetan telah ditentukan oleh Dinas PU Bina Marga Dan Pengairan Kabupaten Jombang.
3. Pemodelan hidrologi menggunakan bantuan program HEC-HMS dan pemodelan hidrolika menggunakan bantuan program HEC-RAS.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Hidrologi

2.2.1. Curah Hujan Wilayah

Data curah hujan didapat dari alat penakar hujan yang merupakan hujan yang terjadi di suatu titik saja (*point rainfall*). Untuk menggambarkan tinggi hujan di suatu wiayah maka dipasang beberapa alat penakar hujan yang akan dianalisa menjadi besaran curah hujan untuk wilayah tersebut. Curah hujan ini disebut curah hujan wilayah yang dinyatakan dalam satuan mm.

Untuk menghitung curah hujan wilayah dapat dilakukan dengan metode : cara rata-rata Aljabar, Poligon Thiessen dan Isohyet. Mengingat jumlah pos penakar hujan yang terbatas dan tidak tersebar merata maka dalam kajian ini dipakai metode Poligon Thiessen dengan rumus sebagai berikut ;

$$R = \sum_1^n \frac{A_n}{A} R_n \quad \text{.....} (1)$$

Dengan :

R = Curah hujan rata-rata

R_n = Curah hujan di tiap pos

A = Luas daerah yang mewakili pos pengamat

A_n = Luas wilayah polygon tertutup

2.2.2. Curah Hujan Rancangan Maksimum

Pada studi ini, untuk menentukan curah hujan rancangan digunakan metode analisa frekuensi *Log Pearson Type III*, karena metode ini lebih fleksibel dan dapat dipakai untuk semua sebaran data, yang mana besarnya harga parameter statistiknya yaitu koefisien kepencengan (Cs) dan koefisien kepuncakan (Ck), tidak memiliki batasan harga tertentu.

Prosedur untuk menentukan kurva distribusi log – Pearson Tipe III, adalah :

1) Tentukan logaritma dari semua nilai variat X.
2) Hitung nilai rata-ratanya :

$$\overline{\log x} = \frac{\sum \log x}{n} \quad \text{.....} (2)$$

n = jumlah data

3) Hitung nilai deviasi standar dari log X :

$$\overline{S\log x} = \sqrt{\frac{\sum(\log X - \overline{\log X})^2}{n-1}} \quad \text{.....} (3)$$

4) Hitung nilai koefisien kemencengan :

$$CS = \frac{n\sum(\log X - \overline{\log X})^3}{(n-1)(n-2)(\overline{S\log X})^3} \quad \text{.....} (4)$$

Sehingga persamaan (2.8) dapat ditulis :

$$\log X = \overline{\log X} + k(\overline{S\log X}) \quad \text{.....} (5)$$

5) Tentukan antilog dari log X, untuk mendapat nilai X yang diharapkan terjadi pada tingkat peluang atau periode tertentu sesuai dengan nilai CS nya.

2.2. Metode Perhitungan Volume Limpasan dengan HEC-HMS

HEC-HMS menganggap bahwa semua daratan dan perairan yang berada dalam suatu DAS dapat dikategorikan menjadi :

- Lapisan lolos air (*pervious surface*) dan
- Lapisan kedap air (*directly-connected impervious surface*)

Lapisan kedap air adalah bagian dari DAS yang memberikan kontribusi berupa limpasan langsung tanpa memperhitungkan infiltrasi, evaporasi ataupun jenis kehilangan volume lainnya. Sedangkan jatuhnya air hujan pada lapisan yang kedap air juga merupakan limpasan.

Didalam pemodelan HEC-HMS ini, terdapat beberapa metode perhitungan limpasan (*runoff*) yang dapat kita gunakan, yaitu (HEC-HMS Technical Reference Manual, 2000:38) :

1. The initial and constant-rate loss model,
2. The deficit and constant-rate loss model,
3. The SCS curve number (CN) loss model (composite or gridded),
4. The green and Ampt loss model.

2.2.1. Limpasan SCS Curve Number (CN)

Metode perhitungan dari *Soil Conservation Service* (SCS) *curve number* (CN) beranggapan behwa hujan yang menghasilkan limpasan merupakan fungsi dari hujan kumulatif, tata guna lahan, jenis tanah serta kelembaban. Model perhitungannya adalah sebagai berikut (HEC-HMS *Technical Reference Manual*, 2000:40) :

$$P_e = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S} \quad \text{.....} (6)$$

dengan : Pe : hujan kumulatif pada waktu t
P : kedalaman hujan kumulatif pada waktu t
I_a : kehilangan mula-mula (initial loss)
S : kemampuan penyimpanan maksimum

Hubungan antara nilai kemampuan penyimpanan maksimum dengan nilai dari karakteristik DAS yang mewakili penyimpanan maksimum dengan nilai dari karakteristik DAS yang diwakili oleh nilai CN (*curve number*) adalah sebagai berikut :

$$S = \frac{25400 - 254.CN}{CN} \quad \text{.....} (7)$$

Nilai dari CN (*curve number*) bervariasi dari 100 (untuk permukaan yang digenangi air) hingga sekitar 30 (untuk permukaan tak kedap air dengan nilai infiltrasi tinggi).

2.2.2. Hidrograf Satuan SCS

Model SCS Unit Hidrograf adalah suatu Unit Hidrograf yang berdimensi, yang dicapai puncak tunggal Unit Hidrograf..
SCS menyatakan bahwa puncak Unit Hidrograf dan waktu puncak Unit Hidrograf terkait oleh :

$$U_p = C\frac{A}{T_p} \quad \text{.....} (8)$$

dimana A = daerah aliran air; dan C=konversi tetap. Waktu puncak (juga dikenal sebagai waktu kenaikan) terkait kepada jangka waktu unit dari kelebihan hujan, seperti :

$$T_p = \frac{\Delta t}{2} + t_{lag} \quad \text{.....} (9)$$

dimana Δt : jangka waktu kelebihan hujan dan t_{lag} : perbedaan waktu antara pusat massa dari kelebihan curah hujan dan puncak dari Unit Hidrograf. Perlu dicatat bahwa untuk Δt yang kuran dari 29% dari t_{lag} harus digunakan.

Ketika waktu keterlambatan tersebut ditetapkan, HEC-HMS memecahkan persamaan untuk menentukan waktu dari puncak Unit Hidrograf dan untuk menemukan puncak Unit Hidrograf.

2.3. Pemahaman Konsep Pemodelan Aliran Sungai Dengan HEC-RAS

Hidrolic Engineering Centre-River Analysis System (HEC-RAS) versi 4 adalah paket program yang dapat digunakan untuk menghitung profil muka air satu dimensi (*one-dimensional*) untuk kondisi aliran tetap berubah lambat laun (*steady gradually varied flow*) pada saluran alam (sungai) atau saluran prismatis. HEC-RAS memiliki empat komponen model satu dimensi: 1) hitungan profil muka air aliran permanen, 2) simulasi aliran tak permanen, 3) hitungan transpor sedimen, dan 4) hitungan kualitas air. Satu elemen penting dalam HEC-RAS adalah keempat komponen tersebut memakai data geometri yang sama, *routine* hitungan hidraulika yang sama, serta beberapa fitur desain hidraulik yang dapat diakses setelah hitungan profil muka air berhasil dilakukan.

$$Y_2 + Z_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = Y_1 + Z_1 + \frac{\alpha_1 V_1}{2g} + h_e \quad \text{.....} (10)$$

Kehilangan tinggi energi antara dua penampang akibat pelebaran atau penyempitan saluran adalah sebagai berikut :

$$h_e = L\overline{S_f} + C\left|\frac{\alpha_2 V_2}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1}{2g}\right| \quad \text{.....} (11)$$

Panjang sungai rata-rata L, dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$L = \frac{L_{lob}Q_{lob} + L_{ch}Q_{ch} + L_{rob}Q_{rob}}{Q_{lob} + Q_{ch} + Q_{rob}} \quad \text{.....} (12)$$

3. METODOLGI

Metodologi yang digunakan pada studi ini dibagi menjadi beberapa tahap, sebagai berikut:

1. Melakukan survey dan indentifikasi, yang mencakup : kondisi DAS, pengukuran penampang sungai, pengukuran kecepatan aliran dan jenis tanah saluran.
2. Melakukan analisa hidrologi, yang mencakup : analisa hujan harian maksimum rata-rata, pengujian data hujan, analisis hujan rancangan, tata guna lahan, dan perhitungan debit banjir rencana dengan bantuan *software HEC-HMS 3.5.*
3. Melakukan analisa hidrolik untuk kondisi existing dan kondisi setelah ada syphon sudetan. Dalam analisa ini menggunakan *software HEC-RAS Versi 4.0* sebagai alat bantu pemodelan.
4. Membuat analisa hasil pemodelan HEC-RAS yang meliputi : elevasi muka air banjir pada kondisi eksisting dan kondisi setelah dipasang syphon sudetan, kapasitas saluran pada kondisi eksisting dan kondisi setelah dipasang syphon sudetan.
5. Merumuskan kesimpulan hasil studi

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Analisa Hidrologi

4.1.1. Menghitung Curah hujan Area Berdasarkan Hujan Maksimum

Besarnya curah hujan rata-rata dihitung dengan metode Poligon Thiessen berdasarkan besar hujan maksimum untuk tiap-tiap stasiun penakar hujan.

Tabel 1 : Curah Hujan Area Maksimum

Tahun	Stasiun Hujan			Curah Hujan Terpilih
	Kabuh	Tanjung	Ploso	
2000	70.08	41.41	47.81	70.08
2001	56.72	48.49	25.22	56.72
2002	41.96	40.41	23.30	41.96
2003	80.16	71.64	43.59	80.16
2004	31.06	78.85	62.85	78.85
2005	78.85	76.95	47.83	78.85
2006	52.88	50.42	112.75	112.75
2007	31.06	68.57	71.50	71.50
2008	78.85	81.42	58.84	81.42
2009	76.95	45.31	34.01	76.95
2010	91.62	98.68	39.85	98.68

Sumber : Hasil hitungan

Tabel di atas menunjukkan curah hujan area maksimum terpilh untuk menghitung besarnya curah hujan rencana.

4.1.2. Perhitungan Curah Hujan Metode Log Pearson Type III

Perhitungan curah hujan rancanagan menggunakan Metode Log Pearson Type III untuk periode ulang tertentu. Hasil perhitungan seperti pada Tabel 2 di bawah ini.

Tabel 2 : Curah Maksimum Rata-rata Harian DAS Marmoyo Hulu

T	Peluang (%)	S	$\bar{X}_i$	k	Log X	RT (mm)
2	50	0.113	1.874	0.013	1.876	75.128
5	20	0.113	1.874	0.837	1.969	93.144
10	10	0.113	1.874	1.282	2.020	104.602
25	4	0.113	1.874	1.751	2.073	118.215
50	2	0.113	1.874	2.054	2.107	127.939
100	1	0.113	1.874	2.326	2.138	137.347
200	0.5	0.113	1.874	2.576	2.166	146.603

4.2. Analisa Hidrograf Banjir Rencana Dengan HEC-HMS

4.2.1. Estimasi Harga Curve Number (CN)

Dalam analisa ini DAS Kali Marmoyo Hulu terbagi menjadi 3 Sub DAS. Dari hasil pengolahan data DAS Marmoyo Hulu, klasifikasi kelompok tanah dan Tabel CN diperoleh nilai CN seperti pada Tabel 3.

Tabel 3: Harga Curve Number (CN) Sub DAS

Tata Guna Lahan	Kelompok Tanah		Rata-rata	Luas (km^2)	CN
	C	D			
SUB DAS I					
Pemukiman	77	82	79.5	1.14	4.3
Sawah	78	81	79.5	5.73	21.4
Ladang	81	85	83	0.41	1.6
Semak	70	77	73.5	3.56	12.3
Hutan	73	79	76	10.47	37.3
			Jumlah	**21.31**	**77**
SUB DAS II					
Pemukiman	77	82	79.5	3.35	5.0
Sawah	78	81	79.5	28.92	43.4
Ladang	81	85	83	5.2	8.2
Semak	70	77	73.5	4.23	5.9
Hutan	73	79	76	11.24	16.1
			Jumlah	**52.94**	**79**
SUB DAS III					
Pemukiman	77	82	79.5	1.33	6.6
Sawah	78	81	79.5	10.14	50.5
Ladang	81	85	83	1.10	5.7
Hutan	73	79	76	3.39	16.1
			Jumlah	**15.96**	**79**

4.2.2. Menghitung Time Lag Sub DAS dan Sungai

Meghitung Time Lag pada masing-masing Sub DAS dengan menggunakan rumus :

$$t_L = \frac{L^{0.8} \times (S+1)^{0.7}}{1900 \times Y^{0.5}} \quad \text{.....} (13)$$

Tabel 4 : Nilai Time Lag untuk masing-masing Sub DAS

Sub DAS	A (m2)	CN	Y	S	L (m)	Lo (ft)	tL (jam)	tL (menit)
I	21310000	77	0.02	3.013	11510	3037.12	6.01	360.82
II	52940000	79	0.02	2.719	31810	2730.07	5.24	314.15
III	15960000	79	0.02	2.659	11200	4675.18	7.96	477.57

Tabel 5 : Nilai Time Lag untuk Reach

Sub DAS	Y	L (m)	Lo (ft)	tL (jam)	tL (menit)
Reach 1	0.002	1050	3444.87	8.15	488.90
Reach 2	0.001	2560	8398.92	21.19	1271.56

4.2.3. Hasil Analisa Hidrograf Banjir Rencana Dengan HEC-HMS

Dalam menganalisa debit banjir rencana digunakan bantuan program HEC-HMS dengan dua model masukan data hujan. Model menggunakan data masukan hujan maksimum harian rata-rata yang dihitung dengan Log Pearson Type III. Input data pemodelan meliputi : a) *Basin Model* (Model Daerah Tangkapan Air, b) Proses Kehilangan Air, c) *Sub-basin Transform* (Transformasi Hidrograf Satuan Limpasan), d) *Sub-basin Baseflow method* (Proses Aliran Dasar), e) *Reach* (Penghubung Antar Simpul/Junction), f) *Meteorologic Model* (Model Data Curah Hujan)

Setelah semua variabel masukan di atas dimasukkan, proses yang dilakukan adalah eksekusi data. Hasil eksekusi metode ini dapat dilihat dalam Tabel 6 nilai *output* di bawah ini. Hasil keluaran di bawah ini merupakan debit banjir rencana untuk periode ulang 25 tahunan.

Tabel 6 : Nilai Output Pemodelan Periode Ulang 25 Tahun

Hydrologic Element	Drainage Area (km2)	Peak Discharge (m3/dt)	Time of Peak	Volume (mm)
J1	37.27	40.9	01Jan2010, 18:00	61.19
J2	90.21	76.1	02Jan2010, 01:00	62.64
J3	90.21	76.1	02Jan2010, 22:00	62.64
R1	37.27	40.8	02Jan2010, 03:00	61.19
R2	90.21	76.1	02Jan2010, 22:00	62.64
Sub DAS 1	21.31	24.8	01Jan2010, 18:00	59.34
Sub DAS 2	52.94	71.7	01Jan2010, 16:00	63.66
Sub DAS 3	15.96	17.2	01Jan2010, 20:00	63.66

4.3. Analisa Elevasi Muka Air Dengan HEC-RAS

Langkah hitungan profil muka air yang dilakukan oleh aliran permanen HEC-RAS didasarkan pada penyelesaian persamaan energi (satu-dimensi). Kehilangan energi dianggap diakibatkan oleh gesekan (Persamaan Manning) dan kontraksi/ekspansi (koefisien dikalikan beda tinggi kecepatan). Persamaan momentum dipakai manakala dijumpai aliran berubah cepat (*rapidly varied flow*), misalnya campuran regime aliran sub-kritik dan super-kritik (*hydraulic jump*), aliran melalui jembatan, aliran di percabangan sungai (*stream junctions*) (Istiarto, 2011).

Langkah-langkah simulasi aliran dengan menggunakan HEC-RAS secara garis besar sebagi berikut : a) Penyiapan tempat, b) Peniruan geometri sungai, c) Peniruan

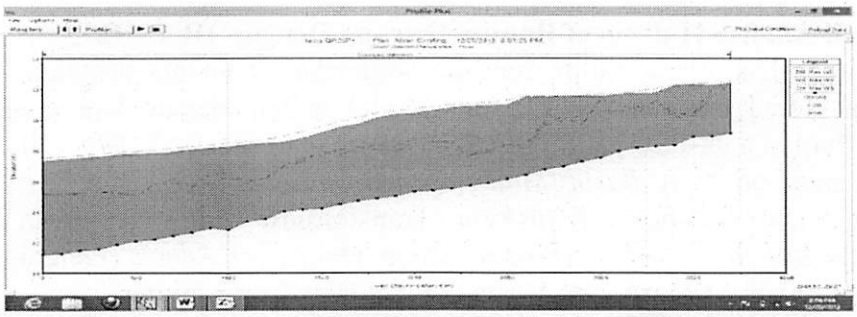
aliran, d) Pengukuran atau hitungan kecepatan dan kedalaman aliran, e) Presentasi dan interpresentasi hasil.

4.3.1. Analisa Elevasi Muka Air Kondisi Existing

Pada analisa kondisi existing simulasi dilakukan mulai dari pertemuan Kali Marmoyo dan Kali Bancang (STA 3700) sampai dengan hilir Kali Marmoyo yang sering terjadi banjir (STA 0) yang tergambar dalam skema di bawah ini.

Gambar 1 : Skema simulasi

Hasil hitungan HEC-RAS untuk untuk profil aliran existing Kali Marmyo Hulu pada ruas dimana sering terjadi banjir ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 2 : Profil muka air hasil hitungan kondisi eksisting

Pada gambar terlihat bahwa sepanjang Kali Marmyo Hulu pada ruas dimana sering terjadi banjir, kapasitas penampang sungai tidak mampu menampung debit banjir rencana Q25 tahun. Hal ini terlihat pada elevasi muka air banjir hasil hitungan HEC-RAS yang melebihi elevasi tebing kanan dan tebing kiri sungai. Tinggi elevasi muka air banjir berkisar antara 0,33 m s/d 2,09 m diatas elevasi tebing.

4.3.2. Analisa Elevasi Muka Air Dengan Pemasangan Syphon

Analisa elevasi muka air untuk kondisi setelah pemasangan syphon sudetan dilakukan dengan variasi simulasi sebagaimana Tabel 7.

Tabel 7 : Variasi simulasi

Variasi simulasi	
Simulasi	**Sta**
Dengan 5 syphon	3500, 3300, 3100, 2900, 2500
Dengan 10 syphon	3500, 3300, 3100, 2900, 2700, 2500, 2300, 2200, 2100, 2000
Dengan 15 syphon	3500, 3300, 3100, 2900, 2700, 2500, 2300, 2200, 2100, 2000, 1900, 1800, 1700, 1600,1500
Dengan 21 syphon	3500, 3300, 3100, 2900, 2700, 2500, 2300, 2200, 2100, 2000, 1900, 1800, 1700, 1600,1500, 1400, 1300,1200, 1100, 1000, 900

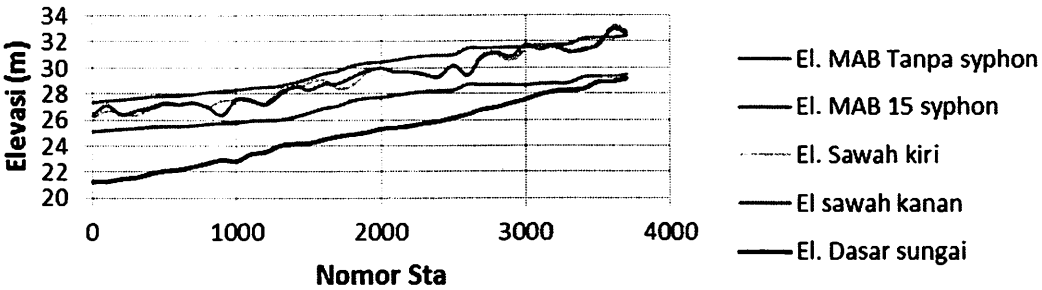
Setalah dilakukan running untuk variasi simulasi seperti pada Tabel 8 didapatkan hasil seperti pada Tabel 8.

Tabel 8: Penurunan elevasi muka air banjir pada pemasangan syphon

Penurunan muka air banjir setelah pemasangan syphon (m)				
Sta	Dengan 5 syphon	Dengan 10 syphon	Dengan 15 syphon	Dengan 21 syphon
3700	0.37	0.97	3.00	3.00
3600	0.37	0.96	3.00	2.89
3500	0.37	0.96	2.99	3.01
3400	0.37	0.96	2.99	2.95
3300	0.37	0.95	2.97	2.64
3200	0.37	0.95	2.96	2.76
3100	0.37	0.94	2.93	2.99
3000	0.36	0.94	2.90	3.07
2900	0.36	0.94	2.89	3.23
2800	0.36	0.94	2.84	3.69
2700	0.36	0.94	2.83	3.76
2600	0.36	0.94	2.78	4.27
2500	0.36	0.93	2.74	4.10
2400	0.36	0.93	2.74	4.06
2300	0.36	0.92	2.73	4.10
2200	0.36	0.92	2.73	3.99
2100	0.35	0.91	2.73	3.82
2000	0.35	0.91	2.72	3.76
1900	0.35	0.91	2.71	3.76
1800	0.35	0.90	2.69	3.73
1700	0.34	0.89	2.67	3.50
1600	0.34	0.88	2.66	3.48
1500	0.34	0.87	2.63	3.35
1400	0.33	0.86	2.62	3.13
1300	0.33	0.85	2.60	3.12
1200	0.33	0.85	2.55	3.47
1100	0.33	0.85	2.52	3.76
1000	0.33	0.85	2.52	3.61
900	0.33	0.84	2.48	3.90
800	0.32	0.84	2.43	4.24
700	0.32	0.84	2.39	4.50
600	0.32	0.84	2.35	4.79
500	0.32	0.84	2.32	5.06
400	0.32	0.84	2.31	5.07
300	0.32	0.83	2.29	5.16
200	0.32	0.83	2.26	5.37
100	0.32	0.83	2.25	5.36
0	0.32	0.82	2.24	5.33
Rata-rata	0,35	0,89	2,66	3.84

Dari Tabel 8. setelah pemasangan syphon sejumlah 5 buah, 10 buah, 15 buah dan 21 buah, terjadi penurunan elevasi muka air banjir yang bervariasi. Pada pemasangan 5 sypon penurunan terjadi berkisar antara 0.32 m s/d 0.37 m. Pada pemasangan 10 sypon penurunan terjadi berkisar antara 0.82 m s/d 0.97 m. Pada pemasangan 15 sypon penurunan terjadi berkisar antara 2,24 m s/d 3,0 m. Pada pemasangan 21 sypon penurunan terjadi berkisar antara 2,64 m s/d 5,37 m. Rata-rata penurunan elevasi muka air banjir seperti pada Gambar 4.40. dari hasil tersebut menunjukkan bahwa untuk menurunkan muka air banjir maksimum diperlukan pemasangan sejumlah 15 syphon di sepanjang Kali Marmoyo yang sering terjadi banjir.

Kondisi Kali Marmoyo setelah pemasangan 15 syphon



Gambar 3: Grafik kondisi Kali Marmoyo setelah pemasangan 15 syphon

Dari gambar 3 menunjukkan bahwa setelah dipasang sejumlah 15 syphon, di ruas Kali Marmoyo yang sering terjadi banjir, elevasi muka air banjir untuk semua Sta berada di bawah elevasi permukaan sawah. Hal ini menunjukkan bahwa di sepanjang ruas kali Marmoyo yang sering terjadi banjir tidak terjadi luberan.

5. KESIMPULAN

Dari hasil perhitungan dan analisa, beberapa kesimpulan yang dapat diambil adalah sebagai berikut :

1. Hasil analisa elevasi muka air banjir pada kondisi eksisting untuk debit kala ulang 25 tahun menunjukkan bahwa elevasi muka air banjir berada diatas elevasi permukaan sawah yang berkisar natara 0,33 m s/d 2,09 m.
2. Hasil analisa elevasi muka air banjir setelah pemasangan syphon dengan diameter 1,0 m dengan jumlah 5, 10, 15 dan 21 terjadi penurunan elevasi muka air banjir berturut-turut berkisar antara 0.32 m s/d 0,37 m, 0,82 m s/d 0,97 m, 2,24 m s/d 3,0 m dan 2,64 m s/d 5,37 m dengan penurunan rata-rata berturut-turut sebesar 0,35 m, 0,89 m, 2,66 m dan 3,86 m. Dengan demikian untuk menurunkan muka air banjir maksimum pada kondisi eksisting diperlukan pemasangan sejumlah 15 syphon.

DAFTAR PUSTAKA

1. Chow, V.T., Maidment, M.R., and Mays, L.W., 1988, *Applied Hydrology*, McGraw-Hill, New York.
2. http://istiarto.staff.ugm.ac.id/ , *Modul Pelatihan Simulasi Aliran 1-Dimensi Dengan Bantuan Paket Program Hidrodinamika HEC-RAS*
3. Rachmad Jayadi, 1993, *Hidrologi I,* Yogyakarta.
4. Sri Harto, Br., 2000, *Hidrologi: – Teori, Masalah dan Penyelesaian*, Nafiri, Yogyakarta
5. Sumarto, CD, 1987, *Hidrologi Teknik,* Usaha Nasional, Surabaya
6. US Army Corp of Engineering , 2010, *HEC-RAS River Analysis System, Hydraulic Reference Manual,* Davis, California

STUDI OPTIMALISASI WADUK REA DAN TANGGUL BANJIR DARI TEPAS KE MUARA UNTUK PENANGGULANGAN BANJIR DI KOTA TALIWANG

Affan Rabbani[1], Nadjadji Anwar[2], Edijatno[3]

[1]*Mahasiswa Program S2 Manajemen dan Rekayasa Sumber Air, Jurusan Teknik Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, Telp 087853479687, email: rabbani.affan@gmail.com*
[2] *Dosen Jurusan Teknik Sipil FTSP, ITS, Kampus ITS Sukolilo Surabaya, Telp 0811329039, email: nadjadji[at]ce.its.ac.id*
3Dosen Jurusan Teknik Sipil FTSP, ITS, Kampus ITS Sukolilo Surabaya, Telp 085850255686, email: edijatno[at]ce.its.ac.

ABSTRAK

Kota Taliwang berada di hilir pertemuan beberapa sungai antara lain:Sungai Rea, Klongkang, Jamit, Putu, Seloto, Ene, Luang dan Lamunga. Debit air komulatif dari pertemuan beberapa sungai di atas telah melebihi kapasitas pengaliran yang ada pada sungai utama sehingga membuat Kota Taliwang rentan terhadap banjir. Berbagai upaya penanggulangan telah direncanakan oleh Pemerintah untuk mengatasi banjir di kota Taliwang dengan menyusun beberapa rekayasa teknis. Rekayasa teknis tersebut diantaranya adalah pembangunan Waduk Rea yang terletak di hulu sungai Rea dan pembangunan tanggul banjir dari Tepas ke muara. Upaya penggabungan dua rekayasa teknis tersebut perlu diteliti untuk menghasilkan kombinasi bangunan yang aman dan ekonomis. Untuk analisa hidrologi menggunakan bantuan program HEC-HMS dengan debit rancangan 5, 10, 15, 20, 25, 50 dan 100 tahun. Penyebab banjir yang dianalisa dalam tesis ini adalah aliran permukaan (run off) dari hulu DAS Rea dengan adanya Waduk Rea. Waduk tersebut berfungsi sebagai penghambat sebagian aliran dari hulu DAS Rea, sehingga dapat mereduksi hidrograf aliran dan memperlambat waktu pengaliran menuju Kota Taliwang, metode flood routing yang digunakan adalah Modified Pul's Method. Flood routing dilakukan pada kondisi 100, 75, 50 dan 25% volume tampungan maksimal. Untuk menganalisa elevasi muka air banjir menggunakan bantuan program HEC-RAS. Penentuan nilai koefisien Manning yaitu dengan analisa butiran sempel lapangan dan Manning ekivalen dengan nilai (E)= 0,846 dan RMSE=0,101. Simulasi HEC-RAS dilakukan pada beberapa sknario yaitu kombinasi beberapa tinggi main dam pada kondisi 100, 75, 50 dan 25% volume tampungan maksimal dengan tanggul banjir. Dari beberapa skanario dengan batasan tanggul maksimal 3,5 m tersebut maka diperoleh Alternatif I adalah dengan Q20thn tinggi main dam 17 m dengan biaya pembangunan waduk sebesar 30,98 milliar dan pembangunan tanggul banjir sebesar 19,79 milliar, sehingga total sebesar 50,77 milliar. Alternatif II adalah dengan Q25thn, tinggi main dam 20 m dengan rencana anggaran biaya pembangunan waduk sebesar 35,57 milliar dan pembangunan tanggul banjir sebesar 22,66 milliar, sehingga total sebesar 58,23milliar.

Kata kunci : Pengendalian banjir, waduk, HEC-HMS dan HEC-RAS

1. PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Taliwang adalah ibukota Kabupaten Sumbawa Barat Provinsi Nusa Tenggara Barat yang merupakan kabupaten hasil pemekaran dari Kabupaten Sumbawa pada tanggal 18 Desember 2003. Kota Taliwang berada di hilir pertemuan beberapa sungai antara lain : Sungai Rea, Klongkang, Jamit, Putu, Seloto, Ene, Luang dan Lamunga. Skema sungai ditunjukkan pada Gambar 1. Debit air komulatif dari pertemuan beberapa sungai di atas

telah melebihi kapasitas pengaliran yang ada pada sungai utama. Kondisi ini membuat Kota Taliwang sangat rentan terhadap bahaya genangan air akibat luapan air sungai. Sungai utama yang melewati Kota Taliwang adalah Sungai Rea, dengan panjang sungai 65 km dan luas daerah pengaliran sungai 846 km2. Sungai ini setiap tahun meluap sehingga menggenangi rumah penduduk, perkantoran, dan pusat perekonomian di Kota Taliwang. Tanggal 25-28 Desember tahun 2007, Banjir terjadi di Kota Taliwang dengan ketinggian air mencapai 2 meter di daerah perkantoran dan pemukiman penduduk. Demikian juga halnya dengan kejadian banjir tanggal 3 Desember 2000, ketinggian air di kota Taliwang mencapai 3 meter. Akibat banjir ini, aktifitas Kota Taliwang jadi lumpuh.

Beberapa alternatif rekayasa teknis untuk menanggulangi banjir di Kota Taliwang diantaranya adalah pembangunan Waduk Rea yang terletak di hulu sungai Rea dan pembangunan tanggul banjir dari Tepas ke muara. Upaya penggabungan rekayasa teknis tersebut perlu diteliti untuk menghasilkan kombinasi bangunan yang aman dan ekonomis, oleh sebab itu pada penelitian ini akan dimodelkan kondisi wilayah studi untuk mengetahui pengaruh waduk Rea dan tanggul banjir dari Tepas ke muara terhadap fluktuasi muka air di sungai Rea.

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan yang terjadi di daerah studi dapat dirumuskan menjadi beberapa hal sebagai berikut :

1. Bagaimana kondisi eksisting tinggi muka air Sungai Rea sebelum adanya Waduk Rea?
2. Bagaimana kondisi tinggi muka air Sungai Rea setelah adanya Waduk Rea dan tanggul banjir dari Tepas ke muara?
3. Bagaimana kombinasi kapasitas volume efektif Waduk Rea dan tanggul banjir Sungai Rea dalam menanggulangi banjir di kota Taliwang?

1.3 Tujuan

1. Untuk mengetahui kondisi eksisting tinggi muka air Sungai Rea sebelum adanya Waduk Rea?
2. Untuk mengetahui kondisi tinggi muka air Sungai Rea setelah adanya Waduk Rea dan tanggul banjir dari Tepas ke muara?
3. Untuk mengetahui kombinasi kapasitas volume efektif Waduk Rea dan tanggul banjir Sungai Rea dalam menanggulangi banjir di kota Taliwang?

1.4 Manfaat

Dengan diketahuinya profil muka air pada Sungai Taliwang yang ditengarai terjadi banjir, dapat ditemukan bagaimana karakteristik banjir yang terjadi serta penyebabnya. Mengacu pada hal tersebut di atas maka akan lebih mudah dalam menentukan langkah-langkah yang akan diambil dalam hal pengendalian banjir yang ada. Pada akhirnya kajian ini diharapkan menjadi bahan pertimbangan pihak terkait dalam penyelesaian permasalahan banjir yang selalu terjadi setiap tahun di daerah aliran Sungai Rea yang menggenangi kota Taliwang.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini mendakup beberapa hal, yaitu :

1. Sistem pengendalian banjir adalah sistem mikro dilaksanakan dengan tinjauan wilayah terkait yaitu pada sungai utama sungai Rea yang menggenangi kota Taliwang.
2. Analisa hidrologi menggunakan program HEC-HMS

3. Melakukan pemodelan HEC RAS 4.0 untuk mengetahui kapasitas Sungai Rea dalam menerima beban banjir pada kondisi eksisting dan setelah terdapat waduk.
4. Optimalisasi volume Waduk Rea menggunakan model 100%,75%,50%,25% volume waduk

2. TINJAUAN PUATAKA

2.1 Umum

Sedikitnya ada 5 faktor penyebab banjir di Indonesia yaitu faktor hujan, faktor rusaknya retensi daerah aliran sungai (DAS), faktor kesalahan perencanaan pembangunan alur sungai, faktor pendangkalan sungai dan faktor kesalahan tata wilayah dan pembangunan sarana-prasarana.

2.2 Analisa Hidrologi

2.2.1. Curah Hujan Wilayah

Data curah hujan didapat dari alat penakar hujan yang merupakan hujan yang terjadi di suatu titik saja (point rainfall). Untuk menggambarkan tinggi hujan di suatu wiayah maka dipasang beberapa alat penakar hujan yang akan dianalisa menjadi besaran curah hujan untuk wilayah tersebut. Curah hujan ini disebut curah hujan wilayah yang dinyatakan dalam satuan mm. Untuk menghitung curah hujan wilayah dapat dikakukan dengan metode : cara rata-rata Aljabar, Poligon Thiessen dan Isohyet.

2.2.2. Analisa Distribusi Frekuensi

Analisa distribusi frekwensi bertujuan untuk menentukan besaran curah hujan dengan kala ulang tertentu. Beberapa metode yang lazim digunakan untuk menentukan distribusi frekuensi adalah Distribusi Normal, Distribusi Log Normal, Distribusi Log Pearson III, Distribusi Gumbel Tipe I.

2.2.3. Uji Kesesuaian Distribusi Frekuensi

Untuk mengetahui kebenaran analisis curah hujan terhadap simpangan data vertikal maupun simpangan data horisontal maka dilakukan uji kesesuaian (the goodness of fit test) sehingga diketahui apakah pemilihan metode distribusi frekwensi yang digunakan dalam perhitungan curah hujan diterima atau ditolak. Metode yang umum dipakai dalam hal ini adalah Uji Chi-Kuadrat (Chi-Squre Test) dan Uji Smirnov-Kolmogorof.

2.3. Penelusuran Banjir *(Flood Routing)*

Penelusuran banjir adalah suatu prosedur untuk memperkirakan waktu dan besaran banjir disuatu titik di sungai, berdasarkan data yang diketahui di sungai sebelah hulu. Flood Routing menjelesakan hubungan kurva hidrograf inflow – outflow waduk. Metode flood routing yang digunakan adalah Modified Pul's Method.

2.4. Bangunan Pengontrol Pada Kegiatan Pengendalian Banjir

2.4.1. Waduk

Perencanaan waduk erat kaitannya dengan fungsi waduk pada saat dioperasikan. Kapasitas dan juga pembuangan air dari waduk harus direncanakan dengan tepat agar dapat menampung volume air yang direncanakan. Dalam pengendalian banjir, storage waduk merupakan sejumlah air yang berasal dari debit aliran permukaan (run off) yang kemudian dapat dialihkan/ditampung pada waduk.

2.4.2. Tanggul Banjir

Tanggul adalah bangunan penahan di sepanjang aliran sungai atau saluran, untuk menahan dan menghindari luapan air banjir ke dataran atau wilayah di sekitarnya. Pembuatan tanggual ini dimaksudkan untuk meningkatkan kapasitas tampungan alur

ISBN 978-979-99327-8-5

sungai, sehingga mampu mengalirkan debit banjir dengan periode ulang tertentu. Makin tinggi elevasi muka air maka diperlukan tanggul yang semakin tinggi.

2.5 Analisis Pasang Surut

Pasang surut dapat diklasifikasikan menjadi empat macam dengan menggunakan angka pasang surut yang dinyatakan dalam persamaan berikut :

$$F = \frac{AK_1 + AO_1}{AM_2 + As_2} \qquad (2.1)$$

Klasifikasi pasang surut sebagai berikut :

F < 0.25 = pasang surut ganda *(semi-diurnal tide),*
F > 3.00 = pasang surut tunggal *(diurnal tide,)*
0.25 < F < 1.5 = pasang surut campuran condong kepasanganganda *(mixed mainly semi diurnal),*
0.25 < F < 1.5 = pasang surut campuran condong kepasangan tunggal *(mixed main diurnal).*

2.5. Pemahaman Konsep Pemodelan Hidrologi Dengan HEC-HMS

2.5.1. Definisi HEC-HMS

Salah satu transformasi hujan menjadi aliran khusunya untuk aliran rendah (*lowflow*) adalah model HEC-HMS. Model ini merupakan model hidrologi numerik yang dikembangkan oleh hydrologic engineering centre (HEC) dari US *Army Corps Of Engineers*. Program HEC-HMS merupakan program komputer untuk menghitung transformsi hujan dan proses routing pada suatu sistem DAS. Model ini dapat digunakan untuk menghitung volume *runoff, direct runoff, baseflow* dan *channel flow*.

2.5.2. Metode Perhitungan Volume Limpasan dengan HEC-HMS

HEC-HMS menganggap bahwa semua daratan dan perairan yang berada dalam suatu DAS dapat dikategorikan menjadi Lapisan lolos air (*pervious surface*) dan Lapisan kedap air (*directly-connected impervious surface*)

Didalam pemodelan HEC-HMS ini, terdapat beberapa metode perhitungan limpasan (*runoff*) yang dapat kita gunakan, yaitu (HEC-HMS Technical Reference Manual, 2000:38) The initial and constant-rate loss model, The deficit and constant-rate loss model, The SCS curve number (CN) loss model (composite or gridded), The green and Ampt loss model.

2.5.4. Limpasan SCS Curve Number (CN)

Metode perhitungan dari *Soil Conservation Service* (SCS) *curve number* (CN) beranggapan behwa hujan yang menghasilkan limpasan merupakan fungsi dari hujan kumulatif, tata guna lahan, jenis tanah serta kelembaban. Model perhitungannya adalah sebagai berikut (HEC-HMS *Technical Reference Manual*, 2000:40) :

$$P_e = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S} \qquad (2.2)$$

dengan : Pe : hujan kumulatif pada waktu t
P : kedalaman hujan kumulatif pada waktu t
I_a : kehilangan mula-mula (initial loss)
S : kemampuan penyimpanan maksimum

Hubungan antara nilai kemampuan penyimpanan maksimum dengan nilai dari karakteristik DAS yang mewakili penyimpanan maksimum dengan nilai dari karakteristik DAS yang diwakili oleh nilai CN (*curve number*) adalah sebagai berikut :

$$S = \frac{1000 - 10.CN}{CN} \quad (English\ Unit) \tag{2.3}$$

$$S = \frac{25400 - 254.CN}{CN} \quad (Metric\ Unit) \tag{2.4}$$

Nilai dari CN (*curve number*) bervariasi dari 100 (untuk permukaan yang digenangi air) hingga sekitar 30 (untuk permukaan tak kedap air dengan nilai infiltrasi tinggi).

2.5.5. Hidrograf Satuan SCS

Model SCS Unit Hidrograf adalah suatu Unit Hidrograf yang berdimensi, yang dicapai puncak tunggal Unit Hidrograf..

SCS menyatakan bahwa puncak Unit Hidrograf dan waktu puncak Unit Hidrograf terkait oleh :

$$U_p = C\frac{A}{T_p} \tag{2.5}$$

dimana A = daerah aliran air; dan C=konversi tetap. Waktu puncak (juga dikenal sebagai waktu kenaikan) terkait kepada jangka waktu unit dari kelebihan hujan, seperti :

$$T_p = \frac{\Delta t}{2} + t_{lag} \tag{2.6}$$

dimana Δt : jangka waktu kelebihan hujan dan t_{lag} : perbedaan waktu antara pusat massa dari kelebihan curah hujan dan puncak dari Unit Hidrograf.

Ketika waktu keterlambatan tersebut ditetapkan, HEC-HMS memecahkan persamaan untuk menentukan waktu dari puncak Unit Hidrograf dan untuk menemukan puncak Unit Hidrograf.

2.6. Pemahaman Konsep Pemodelan Aliran Sungai Dengan HEC-RAS

Analisis perilaku sungai merupakan suatu analisis yang bukan saja kompleks, namun juga cukup rumit, dimana dalam analisis sistem ini perlu dilakukan iterasi yang dilakukan secara berulang dengan parameter-parameter tertentu untuk mencari variabel-variabel tertentu baik pada aliran kondisi permanen (*steady flow)* maupun pada aliran kondisi tidak permanen (*unsteady flow*).

3. METODOLOGI

Pelaksanaan kegiatan penelitian ini pada dasarnya melakukan kalibrasi model dari HEC-RAS untuk mendapatkan parameter-parameter model yang sesuai dengan karakteristik data yang dianalisis dan melakukan routing waduk sehingga menghasilkan outflow yang digunakan sebagai debit rencana pada HEC-RAS. Tinggi waduk dicoba-coba dengan kapasitas volume berturut-turut adalah 100,75,50 dan 25% dengan tinggi waduk berturut-turut adalah 20,19,17 dan 14 meter. Dengan kendali parameter model yang dihasilkan maka tingkat akurasi model dapat dinilai dan simulasi debit banjir yang terjadi pada Sungai Rea kondisi eksisting dan kondisi dengan adanya Waduk Rea dan tanggul dari Tepas ke muara dapat dipelajari.

4. ANALISA DAN HASIL PENELITIAN

4.1 Analisa Hidrologi

4.1.1 Data Hujan

Data hujan yang digunakan dalam analisa hidrologi dalam penelitian ini diambil dari tiga stasiun penakar hujan ARR mewakili 11 sub das tersebut yaitu stasiun Taliwang, stasiun Jereweh dan stasiun Alas. Data hujan yang digunakan dalam analisa tersebut adalah data curah hujan harian maksimum dengan periode pengamatan tahun 1999 sampai dengan tahun 2008.

4.1.2 Analisa Curah Hujan Rata-Rata

Tabel 4.1. Perhitungan Curah Hujan Maksimum Rata-Rata DAS Rea

No	Tgl Kejadian	R. Taliwang		R. Alas		R. Jereweh		R
		R1	W1	R2	W2	R3	W3	
1	24-Jan-99	30	18.85	277	65.25	30	4.087	88.18
2	20-Jan-00	93	58.42	0	0	0	0	58.42
3	16-Jan-01	336	211.1	0	0	0	0	211.1
4	04-Feb-02	7	4.397	129	30.39	7	0.954	35.74
5	08-Sep-03	85	53.4	3	0.707	0	0	54.1
6	17-Feb-04	59	37.06	25	5.889	0	0	42.95
7	01-Des-05	69	43.35	0	0	0	0	43.35
8	30-Mar-06	106	66.59	0	0	0	0	66.59
9	27-Jan-07	85	53.4	0	0	0	0	53.4
10	04-Des-08	84	52.77	0	0	0	0	52.77

Sumber : Hasil Perhitungan

4.1.3. Analisa Curah Hujan Rencana

DAS Rea lebih cocok menggunakan distribusi Log Person Type III karena nilai koefisien Skeness dan koefisien kurtosis tidak ada yang mendekati persyaratan distribusi Gumbel dan distribusi Normal.

4.1.4. Perhitungan Hujan Rencana Metode Log Person Type III

Tabel 4.2 Perhitungan hujan maksimum harian rata-rata DAS Rea untuk beberapa periode

T	Peluang (%)	Cs	Sn	$\overline{Log\ X}$	K (tabel)	Log X	Hujan rancangan RT (mm)
1	100.00	1.871	0.218	1.787	-1.052	1.557	36.099
2	50.00	1.871	0.218	1.787	-0.290	1.723	52.883
5	20.00	1.871	0.218	1.787	0.632	1.924	83.989
10	10.00	1.871	0.218	1.787	1.312	2.073	118.174
15	6.67	1.871	0.218	1.787	1.765	2.171	148.291
20	5.00	1.871	0.218	1.787	1.940	2.209	161.890
25	4.00	1.871	0.218	1.787	2.203	2.267	184.736
50	2.00	1.871	0.218	1.787	2.871	2.412	258.337
100	1.00	1.871	0.218	1.787	3.537	2.557	360.795
200	0.50	1.871	0.218	1.787	4.201	2.702	503.308

Sumber : Hasil Perhitungan

4.1.5. Pemodelan dengan HEC-HMS

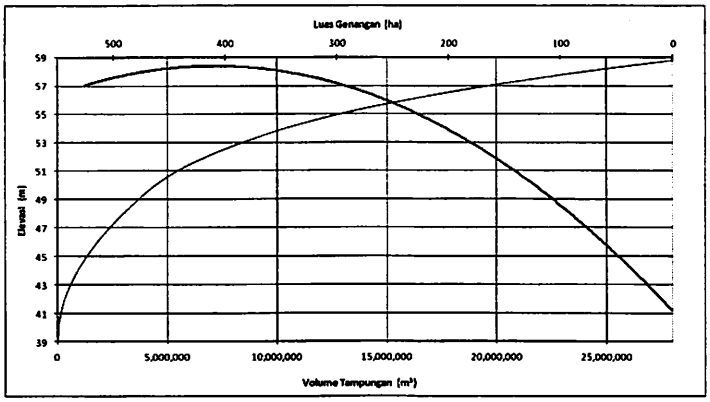
Tabel 4.3 Hasil simulasi HEC-HMS hujan rancangan 25thn

Hidrologic Element	Drainage Area (km2)	Peak Discharge (m3/s)	Time of Peak	Volume (1000m3)
S5	159,721	783,3	01Jan2011, 13:00	29385,5
S6	82,555	317,8	01Jan2011, 16:00	15187,1
J9	242,276	1065,8	01Jan2011, 14:00	44572,6
R8	242,276	1052,6	02Jan2011, 02:00	44572,6
S4	87,984	208,6	01Jan2011, 23:00	16202,4
J8	330,26	1251,6	02Jan2011, 02:00	60775
R7	330,26	1243,2	02Jan2011, 10:00	60775
S7	15,137	81	01Jan2011, 13:00	2786,8
J7	345,397	1243,5	02Jan2011, 10:00	63561,7
R6	345,397	1243,2	03Jan2011, 07:00	63561,7
S8	33,903	187,4	01Jan2011, 13:00	6243,8
J6	379,3	1243,2	03Jan2011, 07:00	69805,5
R5	379,3	1236,1	03Jan2011, 21:00	69805,5
S3	32,824	188	01Jan2011, 12:00	6047,4
J5	412,124	1236,1	03Jan2011, 21:00	75852,9
R4	412,124	1229,9	05Jan2011, 06:00	75852,9
S9	205,172	662,7	01Jan2011, 18:00	37812,7
J4	617,296	1229,9	05Jan2011, 06:00	113665,6
R3	617,296	1221	06Jan2011, 02:00	113665,6
S2	124,813452	392,6	01Jan2011, 18:00	22995,1
J3	742,109452	1221	06Jan2011, 02:00	136660,6
R2	742,109452	1220,2	06Jan2011, 19:00	136660,6
S1	36,624	244,6	01Jan2011, 11:00	6744,6
J2	778,733452	1220,2	06Jan2011, 19:00	143405,3
R1	778,733452	1205,6	08Jan2011, 13:00	143302,9
S11	21,974	167,4	01Jan2011, 11:00	4045,3
S10	18,312	138,4	01Jan2011, 11:00	3370,9
J1	819,019452	1205,6	08Jan2011, 13:00	150719,1

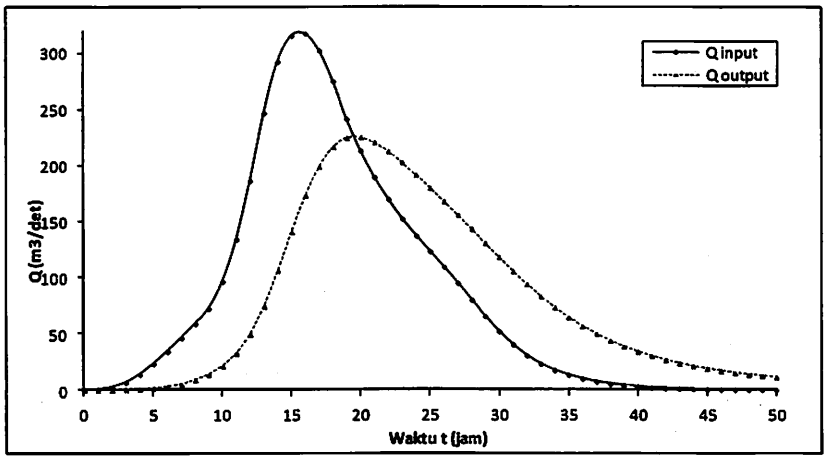
Sumber : Hasil Perhitungan

4.2. Penelusuran Banjir Lewat Waduk

Penelusuran banjir adalah suatu prosedur untuk memperkirakan waktu dan besaran banjir disuatu titik di sungai, berdasarkan data yang diketahui di sungai sebelah hulu. Flood Routing menjelesakan hubungan kurva hidrograf inflow – outflow waduk. Metode flood routing yang digunakan adalah Modified Pul's Method.



Gambar 4.1. Grafik Hubungan antara Elevasi, Luas Genangan dan Volume Tampungan Waduk Maksimal



Gambar 4.2. Grafik Routing Banjir Waduk Q_{25th} Kapasitas Volume Maksimal

4.3. Perhitungan Koefisien Manning

Harga koefisien Manning yang digunakan dalam pemodelan HEC-RAS adalah koefisien Manning ekivalen karena mempunyai uji Nash (E)= 0,846 dan RMSE=0,101 kesimpulan dan saran.

4.4. Analisa Hidrolika

Analisa hidrolika dilakukan dengan menggunakan program *HEC-RAS 4.1.* Dalam perhitungan analisa hidrolika akan dihitung pada kondisi yaitu :

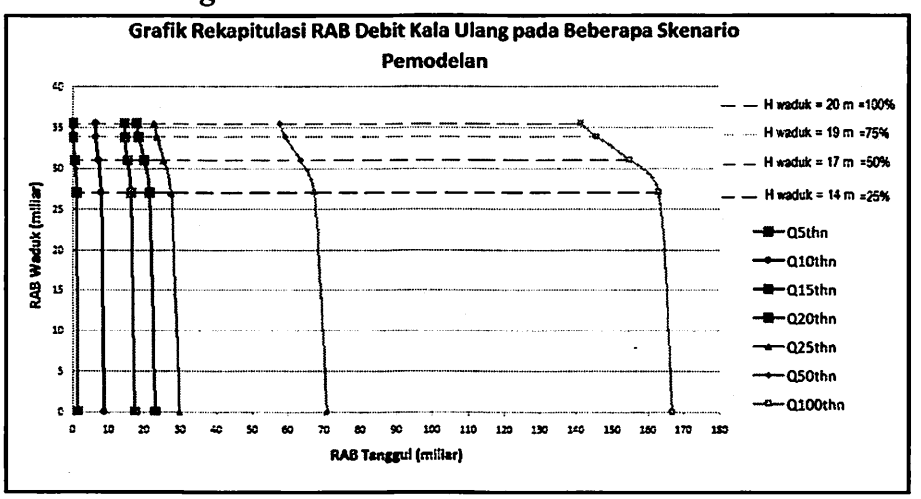
1. Kondisi eksisting dan tanggul rencana
2. Kondisi eksisting dan tanggul rencana sungai setelah ada waduk terdiri dari berbagai skenario, yaitu :
   a. Volume maksimum waduk dan tanggul banjir
   b. 75% volume maksimum waduk dan tanggul banjir
   c. 50% volume maksimum waduk dan tanggul banjir
   d. 25% volume maksimum waduk dan tanggul banjir

4.7.6. RAB Beberapa Skenario Pemodelan

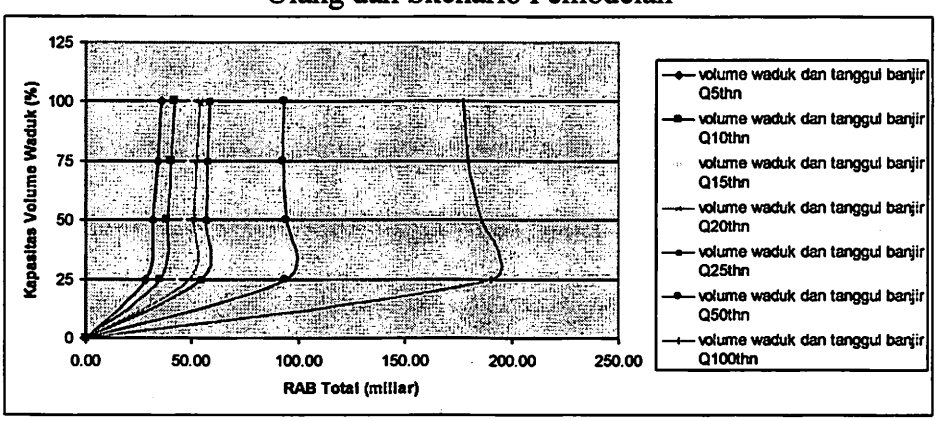
Tabel 4.5. Rekapitulasi RAB debit 25thn beberapa skenario pemodelan

No	Skenario Pemodelan	Tinggi Main Dam (m)	Tinggi Tanggul Maksimum (m)	RAB dalam miliar (Rp)		Total dalam miliar (Rp)
				Waduk	Taggul	
1	Waduk Volume Kapasitas Maksimum dan Tanggul Banjir	20	3.5	35.57	22.66	58.23
2	Waduk Volume 75% Kapasitas Maksimum dan Tanggul Banjir	19	3.6	33.81	23.43	57.23
3	Waduk Volume 50% Kapasitas Maksimum dan Tanggul Banjir	17	3.8	30.98	25.42	56.40
4	Waduk Volume 25% Kapasitas Maksimum dan Tanggul Banjir	14	3.9	27.05	27.40	54.44
5	Tanggul Tanpa ada Waduk		4.2	0.00	29.64	29.64

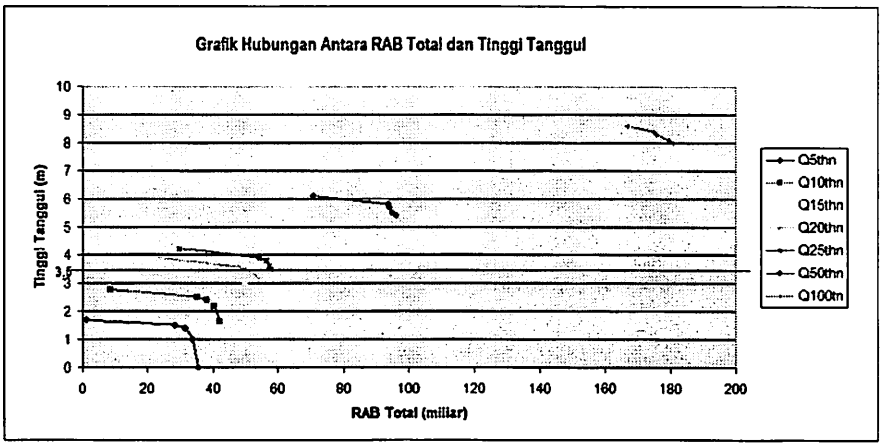
Sumber : Hasil Perhitungan



Gambar 4.2 Grafik Rekapitulasi RAB Tanggul dan Waduk pada Beberapa Debit Kala Ulang dan Skenario Pemodelan



Gambar 4.3 Grafik Rekapitulasi RAB Total dan Kapasitas Waduk pada Beberapa Debit Kala Ulang dan Skenario Pemodelan



Gambar 4.4 Grafik Rekapitulasi RAB Total dan Tanggul Maksimal 3,5 m pada Beberapa Debit Kala Ulang dan Skenario Pemodelan

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan maka dapat diambil kesimpulan kombinasi antara kapasitas volume Waduk Rea dan tanggul banjir terhadap batasan tinggi tanggul maksimum 3,5 m mempunya dua alternatif yaitu alternatif I adalah dengan Q_{20thn}, tinggi main dam 17 m dengan rencana anggaran biaya pembangunan waduk sebesar 30,98 milliar dan pembangunan tanggul banjir sebesar 19,79 milliar, sehingga total sebesar 50,77 milliar alternatif II adalah dengan Q_{25thn}, tinggi main dam 20 m dengan rencana anggaran biaya pembangunan waduk sebesar 35,57 milliar dan pembangunan tanggul banjir sebesar 22,66 milliar, sehingga total sebesar 58,23milliar.

5.2 Saran

Dari beberapa alternatif yang diberikan maka pembangunan waduk dengan tinggi main dam 20 m dan tinggi tanggul maksimum 3,5 m dapat digunakan sebagai alternatif untuk menanggulangi banjir Sungai Rea. Oleh sebab itu perlu dilaksanakan penelitian lebih lanjut mangenai teknis pelaksanaannya

6. DAFTAR PUSTAKA

Siswoko, 2002, **Masalah Banjir dan Upaya Mengatasinya**. Departemen Pemukiman dan Prasarana Wilayah, Jakarta

Soemarto, C. D., 1987, ***Hidrologi Teknik***, Usaha Nasional, Surabaya.

Soewarno, 1995, ***Hidrologi "Aplikasi Metode Statistik untuk Analisa Data"***, Nova, Bandung.

Sosrodarsono,S., dan Takeda, K., 1983, ***Hidrologi Untuk Pengairan***, Pradnya Paramita, Jakarta.

Sosrodarsono,S., dan Tominaga, M., 1985, ***Perbaikan dan Pengaturan Sungai***, Pradnya Paramita, Jakarta.

Sri Harto, Br., 1993, ***Analisis Hidrologi***, Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.

Subarkah, I, 1980, ***Hidrologi untuk Perencanaan Bangunan Air***, Idea Dharma Bandung, Bandung.

Suripin, 2004, ***Sistem Drainase Perkotaan Yang Berkelanjutan***, Andi Offset, Yogyakarta.

STUDI ANALISA MUKA AIR BANJIR KALI KEDUNGLARANGAN AKIBAT ADANYA RENCANA SUDETAN KALI KEDUNGLARANGAN MENUJU KALI KALANGANYAR DI KABUPATEN PASURUAN

M. Hafiizh Imaaduddiin[1], Bambang Sarwono[2], Mahendra Andiek[3]

[1]*Mahasiswa Pascasarjana Jurusan Teknik Sipil FTSP, ITS, Kampus ITS Sukolilo Surabaya, Telp 031-5946094, email: hafiizh_aadin@yahoo.co.id*
[2]*Dosen Jurusan Teknik Sipil FTSP, ITS, Kampus ITS Sukolilo Surabaya, Telp 031-5946094, email: bbsarwono@gmail.com*
[3]*Dosen Jurusan Teknik Sipil FTSP, ITS, Kampus ITS Sukolilo Surabaya, Telp 031-5946094, email: mahendra_andiek_m@yahoo.co.id*

ABSTRAK

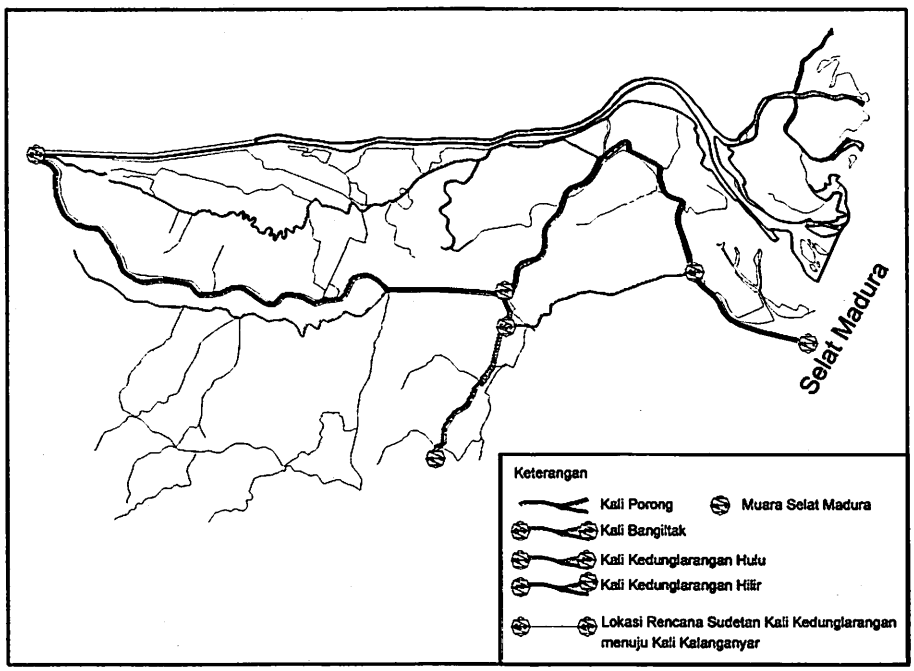
Kali Kedunglarangan adalah salah satu sungai terpanjang yang melintasi Kabupaten Pasuruan. Pada daerah hulunya, terdapat permukiman padat penduduk dan terjadi aktifitas ekonomi yang sangat tinggi. Permasalahan yang ada adalah sering kali terjadi banjir dan kelongsoran pada dinding tebing sungainya. Untuk itu muncul wacana melakukan perbaikan pada Kali Kedunglarangan ini, bertepatan dengan itu nantinya akan dialirkan debit limpahan dari Kali Porong menuju Kali Bangiltak. Dimana Kali Bangiltak ini nantinya dari arah alirannya akan bertemu dengan Kali Kedunglarangan di wilayah hulunya sebelum menjadi satu menuju Kali Kedunglarangan Hilir sampai muara di Selat Madura. Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dengan program bantu Hec-Ras, pada saat debit banjir rencana sebesar Q_{25} dialirkan melalui Kali Kedunglarangan Hulu bertemu dengan debit rencana dari Kali Bangiltak Q=390 m3/dtk dalam kondisi eksisting, terjadi peluapan sepanjang wilayah Kali Kedunglarangan dengan elevasi muka air banjir setinggi +3.2m pada *cross 380* (KL 15A). Solusi bertahap yang dilakukan adalah melakukan normalisasi pada Kali Kedunglarangan Hulu dan pembuatan sudetan. Penempatan lokasi sudetan dimulai pada Kali Kedunglarangan Hulu *cross 380* dan menghubungkannya langsung menuju Kali Kuntulan di *cross 323* sebelum menuju muara. Pada saat normalisasi Kedunglarangan Hulu dilakukan terlebih dahulu, kondisi muka air banjir Kali Kedunglarangan masih terjadi peluapan sepanjang 12.3Km dari muara dengan elevasi muka air banjir setinggi +3.0m. Dengan dilakukannya sudetan dan normalisasi, kondisi debit Q_{25} dan Q_{50} bisa dialirkan melalui sudetan yang ada dengan elevasi muka air banjirnya setinggi +1.0m. Adapun solusi yang lainnya adalah melakukan normalisasi total sepanjang Kali Kedunglarangan Hulu sampai Hilir, dengan tingkat penurunan muka air banjir setinggi +0.1m pada *cross 380*.

Kata kunci: *Hec-Ras*, Banjir, Normalisasi, Sudetan, Elevasi Muka air

1. PENDAHULUAN

Kali Kedunglarangan merupakan salah satu sungai terbesar yang melintasi Kabupaten Pasuruan yang bermuara di Kecamatan Bangil. DAS Kali Kedunglarangan secara administratif berada di 6 (enam) wilayah kecamatan diantaranya, Kecamatan Bangil, Kecamatan Prigen, Kecamatan Pandaan, Kecamatan Sukorejo, Kecamatan Rembang dan Kecamatan Gempol. Hampir setiap tahun di musim penghujan terjadi permasalahan banjir pada Kali Kedunglarangan yang disertai gerusan tebing dan putusnya tanggul dibeberapa tempat di wilayah Kabupaten Pasuruan yang berdampak terhadap terganggunya kegiatan perekonomian di daerah tersebut. Banjir yang terparah terjadi di wilayah Kecamatan Bangil. Berdasarkan arah aliran sungai ini, nantinya Kedunglarangan di wilayah hulunya akan bertemu dengan Kali Bangiltak sebelum menjadi satu menuju muara melalui Kedunglarangan Hilir. Dimana nantinya Kali

Bangiltak ini akan dialiri rencana debit sebesar Q=390 m3/dtk sebagai limpahan dari Kali Porong. Hal ini memunculkan alternatif prediksi cara mengantisipasi kondisi yang ada di Kali Kedunglarangan guna mengantisipasi kemungkinan banjir yang terjadi saat ini ataupun yang akan terjadi nantinya dikarenakan akan dialirkannya debit (Q) maksimal sebesar 390 m^3/dt dari Kali Porong menuju Kali Bangiltak. Sementara solusi yang digunakan dalam mengantisipasi permasalahan tersebut adalah dengan cara melakukan sudetan di Kali Kedunglarangan sebelum pertemuan dengan Kali Bangiltak, menuju Kali Kalanganyar dan mencoba melakukan normalisasi di beberapa ruas tertentu yang ditengarahi membutuhkan perbaikan penampang. Dari kedua cara tersebut nantinya akan dilihat kondisi permukaan air banjirnya, apakah solusi tersebut sudah cukup sesuai dengan yang diharapkan di lapangan. Untuk menganalisa muka air banjir di kali Kedunglarangan digunakan bantuan progam Hec-Ras. Dengan bantuan program ini diharapkan model yang didapatkan guna mengetahui perubahan tinggi muka air di sepanjang kali Kedunglarangan yang di studi serta profil aliran di kali tersebut mendekati / sesuai dengan kondisi yang ada di lapangan.



Gambar 1.1. Lokasi Kali Kedunglarangan

2 METODOLOGI DAN DATA PENELITIAN

Dalam penelitian ini akan dilakukan sejumlah perhitungan mulai dari menghitung curah hujan dengan cara *thiessen polygon* sampai merencanakan jumlah besaran debit dengan metode nakayasu. Setelah itu dilakukan simulasi model dengan program *Hec-Ras*, dimana persamaan yang digunakan adalah persamaan kontinuitas dan momentum aliran tidak tetap satu dimensi. Persamaan kontinuitas (Pers. 1) dan momentum (Pers. 2) aliran tidak tetap yang digunakan adalah :

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = q_l \qquad (1)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + 2\alpha \frac{Q}{A}\frac{\partial Q}{\partial x} - \alpha\left(\frac{Q}{A}\right)^2 \frac{\partial A}{\partial x} + gA\frac{\partial y}{\partial x} + gAS_f = 0 \qquad (2)$$

Dimana Q adalah debit aliran (m^3/dt), x adalah jarak memanjang sungai, A adalah luas tampang basah (m^2), t menunjukkan waktu dalam detik dan $q_{lateral}$ adalah debit lateral dari samping kanan dan kiri sungai (m^3/detik/m), α adalah koefisien koreksi kecepatan rerata tampang basah (= koefisien Coriolis), g adalah percepatan gravitasi (m/detik^2), sf adalah kemiringan garis energi, y adalah elevasi muka air (m).

Penyusunan model untuk kalibrasi data

Penyusunan model kalibrasi ini dilakukan untuk mencari nilai n-manning dimana angka kekasaran inilah yang akan menjadi parameter dari kesesuaian model yang dibangun dengan kondisi di lapangan. Pengamatan yang telah dilakukan membukukan data pencatatan terhadap kedalaman, elevasi muka air dan kecepatan aliran yang dilakukan tiap 30 menit dimulai dari pukul 08.00 sampai 17.00 WIB. Masukkan data input pada program Hec-Ras adalah data *flow/stage hydrograf* berupa pencatatan debit dan elevasi muka air pada kondisi hulu dan data *stage hydrograf* berupa nilai elevasi muka air pada kondisi di hilirnya. Hasil output dari program Hec-Ras berupa kedalaman air yang dihasilkan dibandingkan dengan data pencatatan pada titik lokasi yang sama dan dipilih model dengan hasil validasi terbaik berdasarkan nilai *RMSE* dan *Nash* yang paling mendekati kondisi idealnya. Pada tabel 1 akan ditunjukkan nilai uji validasi model untuk beberapa nilai n-manning yang telah dicobakan.

Tabel 1. Hasil uji nilai n-manning untuk kalibrasi model

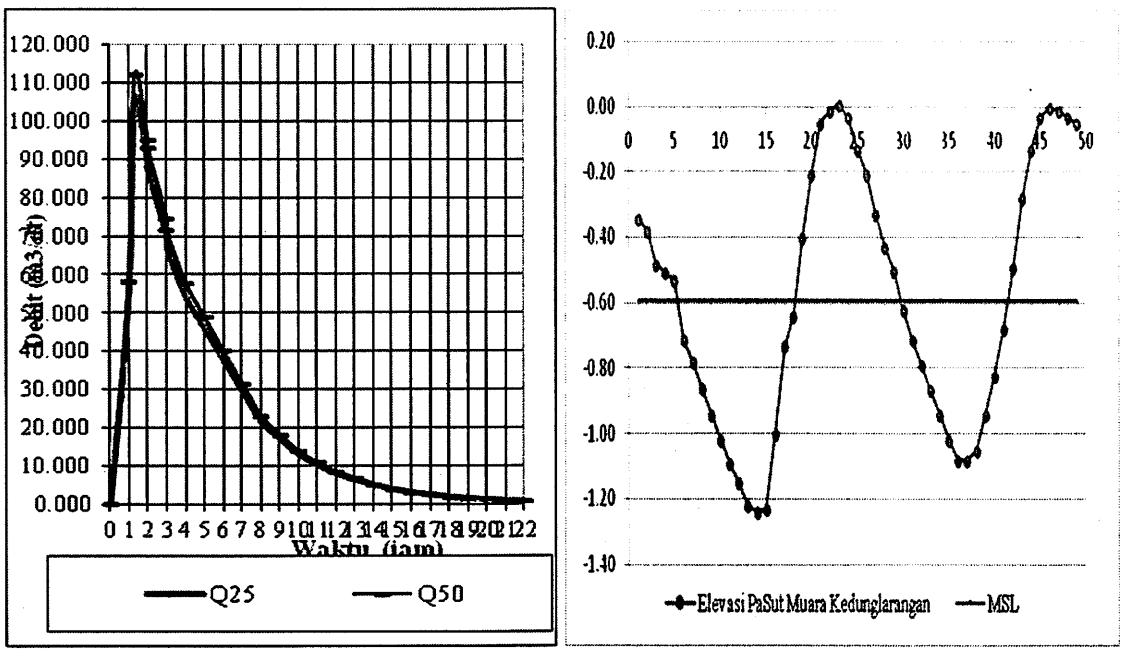
No	NILAI n manning	HASIL UJI		RANKING
1	0.035	NASH	-0.0896	1
		RMSE	0.0395	
2	0.045	NASH	-0.7398	2
		RMSE	0.0499	
3	0.05	NASH	-1.0727	3
		RMSE	0.0545	

Sumber : Hasil analisa

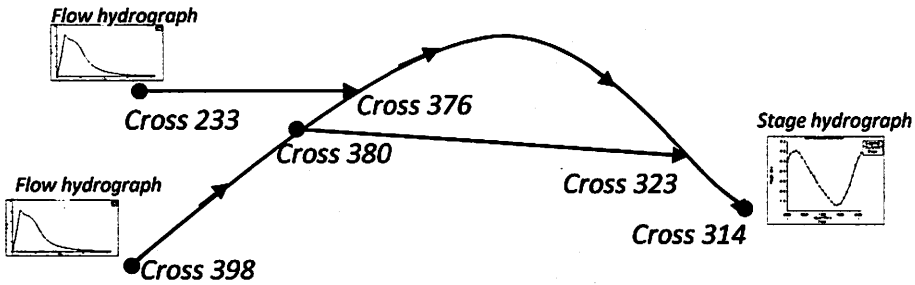
Penyusunan simulasi model analisa

Dalam penyusunan model ini, data masukkan yang digunakan merupakan data perhitungan debit rencana Q_{25} dan Q_{50} untuk input *boundary* di hulunya, sedangkan untuk batas hilirnya digunakan data pengukuran pengamatan pasang surut muka air laut rata-rata (*Mean Sea Level*) seperti pada **gambar 1**.

Simulasi yang dilakukan ada beberapa tahapan, yaitu simulasi kondisi eksisting tanpa adanya sudetan, simulasi kondisi normalisasi di Kedunglarangan Hulu saja, simulasi kondisi eksisting dengan adanya sudetan, simulasi kondisi normalisasi di Kedunglarangan Hulu dengan sudetan, dan simulasi kondisi normalisasi Kedunglarangan Hulu dan Hilir secara keseluruhan tanpa sudetan. **Gambar 2** akan mencoba menjelaskan skema permodelan yang dilakukan.



Gambar 1. Nilai data debit dan elevasi pasang surut sebagai *Boundary* dalam *Hec-Ras*



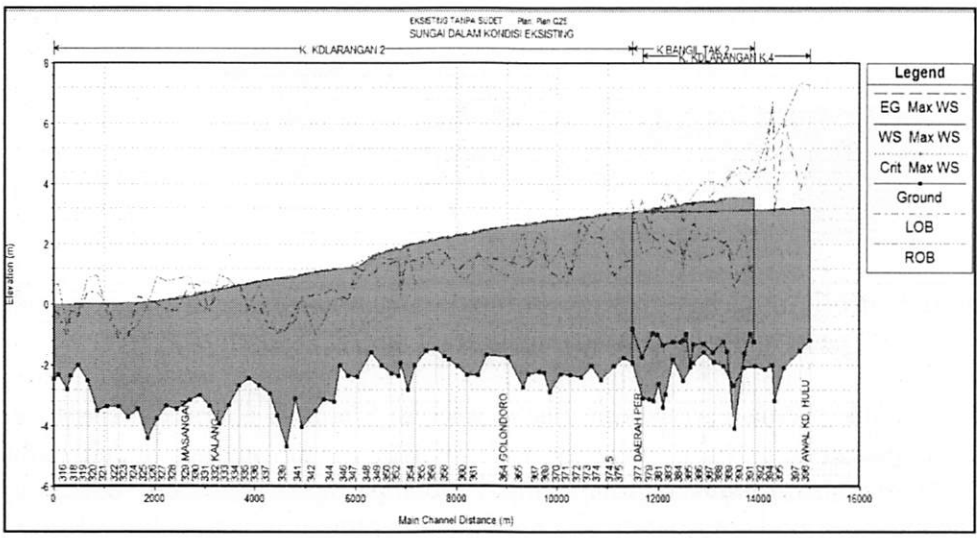
Gambar 2. Skema model simulasi kondisi di Kali Kedunglarangan

Keterangan :

cross 398	: titik awal dari Kali Kedunglarangan, *boundary* debit Q_{25}
cross 233	: titik awal dari Kali Bangiltak, *boundary* debit Q_{25}
cross 376	: titik pertemuan Kali Bangiltak dengan Kali Kedunglarangan
cross 314	: titik akhir dari Kali Kedunglarangan atau
	: Muara, *boundary* elevasi pasangsurut
cross 380	: titik awal dari rencana sudetan
cross 323	: titik akhir dari rencana sudetan
cross 398-376	: Dinamakan daerah Kali Kedunglarangan Hulu
cross 376-314	: Dinamakan daerah Kali Kedunglarangan Hilir
cross 233-376	: Dinamakan daerah Kali Bangiltak
cross 380-323	: Lokasi rencana sudetan

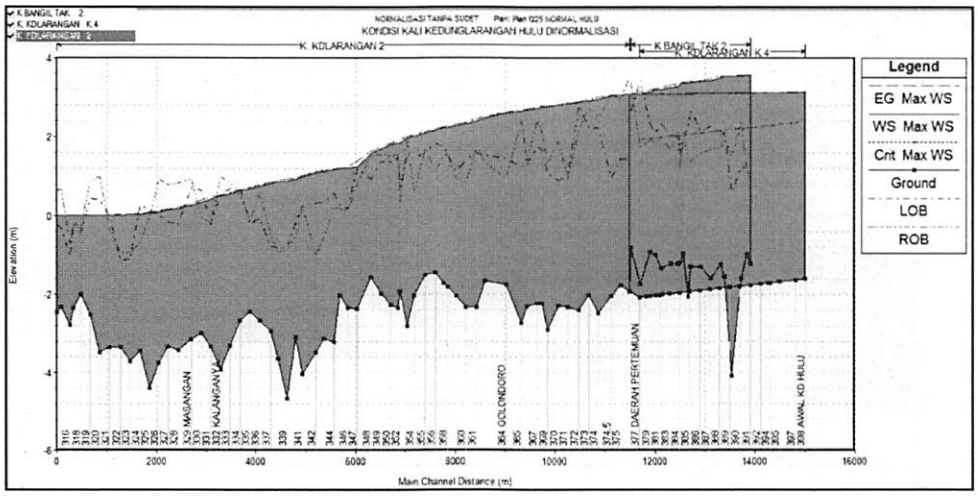
Dari penelitian yang dilakukan menghasilkan informasi mengenai elevasi muka air, kedalaman aliran, kemiringan garis energi sampai jumlah debit yang tertampung atau melimpah pada kondisi potongan melintang dan memanjang dari tiap satuan waktu yang diinginkan. Simulasi dilakukan bertahap guna mengantisipasi tingkat keefektifitasan dari tiap model yang dilakukan dan mencoba menginformasikan skala prioritas yang

berhubungan dengan biaya pelaksanaan nantinya di lapangan. Dari simulasi yang pertama dilakukan simulasi pengaliran debit rencana melalui Kali Kedunglarangan dan juga melalui Kali Bangiltak sebesar Q_{25}, hasilnya bahwa kondisi eksisting tidak cukup untuk menampung debit Q_{25} yang akan direncanakan seperti pada **gambar 3**. Hasil simulasi yang kedua juga menunjukkan bahwa normalisasi pada Kedunglarangan bagian hulu saja tetap tidak menyelesaikan masalah banjir tersebut seperti pada **gambar 4**. Pada simulasi yang ketiga menginformasikan bahwa sudetan yang dilakukan efektif menurunkan muka air banjir di Kedunglarangan Hulu namun terjadi luapan di Kedunglarangan Hilirnya dan terjadi arus backwater sampai sejauh 3.75 Km dari muara kembali ke penampang sudetan seperti pada **gambar 5.**



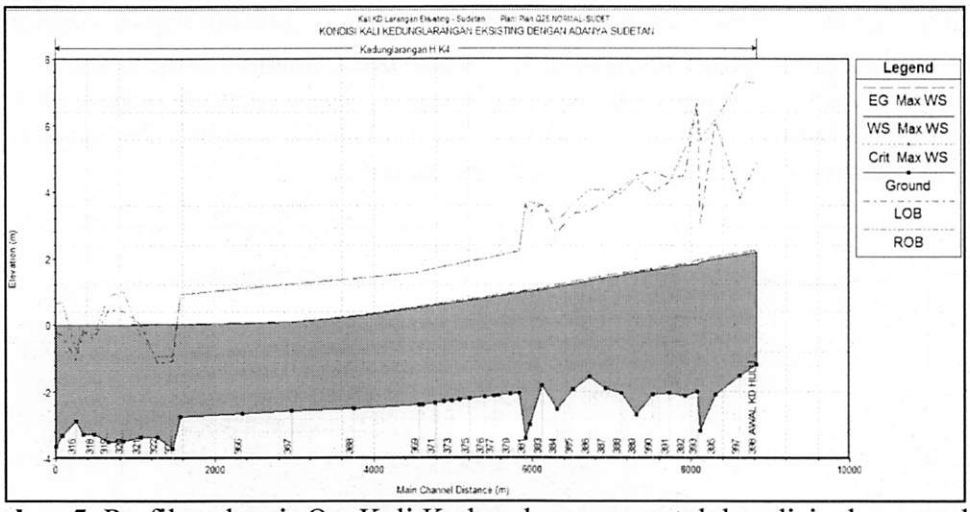
Gambar 3. Profil muka air Q_{25} kondisi eksisting Kali Kedunglarangan

Skema permodelan untuk **gambar 3** di atas adalah mengalirkan debit rencana sebesar Q_{25} melalui Kali Kedunglarangan (*cross 398 s/d cross 314*) dan juga debit Q_{25} dari Kali Bangiltak (*cross 233 s/d cross 376*) pada kondisi eksistingnya. Alternatif sudetan (*cross 380 s/d cross 323*) belum diperhitungkan.



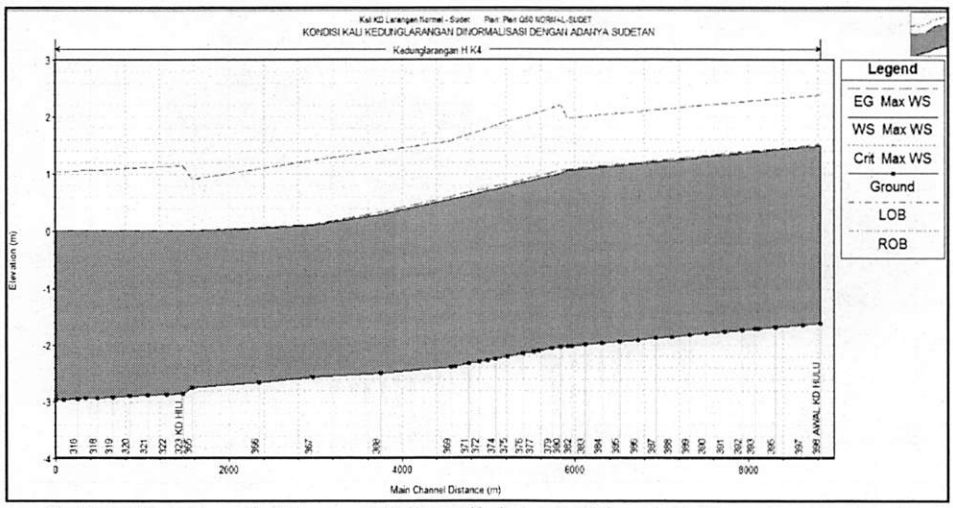
Gambar 4. Profil muka air Q_{25} di Kali Kedunglarangan kondisi Kali Kedunglarangan Hulu dinormalisasi

Skema permodelan untuk **gambar 4** adalah dengan menormalisasi Kedunglarangan Hulu saja (*cross 398 s/d cross 376*) dan mengalirkan debit Q_{25} melalui Kali Kedunglarangan dan juga Kali Bangiltak. Dimana kondisi sungai selain Kali Kedunglarangan Hulu masih kondisi awal (eksisting).



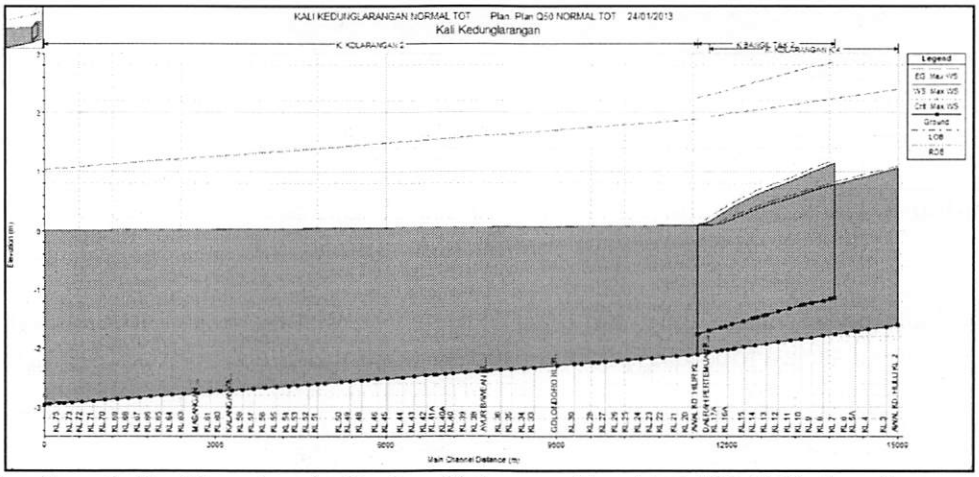
Gambar 5. Profil muka air Q_{25} Kali Kedunglarangan untuk kondisi adanya sudetan pada K. Kedunglarangan Hulu menuju K. Kalanganyar

Sedangkan untuk skema permodelan pada **gambar 5** adalah adanya alternatif sudetan dari Kedunglarangan Hulu menuju Kali Kalanganyar namun tidak dilakukan normalisasi sungai, ini untuk melihat sampai seberapa besar pengaruh sudetan tersebut dalam menurunkan muka air banjir di Kali Kedunglarangan. Penempatan lokasi sudetan dilakukan mulai dari *cross 380* di Kali Kedunglarangan Hulu sepanjang 4.5 Km sampai *cross 323* di Kali Kedunglarangan Hilir dengan justifikasi bahwa titik awal terjadinya luapan banjir adalah pada *cross 380* di Kali Kedunglarangan Hulu. Sedangkan melalui simulasi selanjutnya, yaitu simulasi kondisi normalisasi Kedunglarangan di Hulu dengan sudetan seperti pada **gambar 6,** menghasilkan kondisi penurunan muka air banjir dan tidak terjadi peluapan di Kali Kedunglarangan tersebut.



Gambar 6. Profil muka air Q_{50} untuk kondisi normalisasi Kedunglarangan dan adanya sudetan pada K. Kedunglarangan Hulu menuju K. Kalanganyar

Pada skema permodelan untuk **gambar 6** adalah dengan menormalisasi Kedunglarangan Hulu saja (*cross 398 s/d cross 380*) dan mengalirkan debit Q_{25} melalui sudetan Kali Kedunglarangan menuju Kali Kalanganyar (*cross 380 s/d cross 323*) dan menuju muara melalui Kali Kuntulan (*cross 323 s/d cross 314*). Sedangkan pada skema model untuk analisa kondisi normalisasi secara total di Kali Kedunglarangan (*cross 398 s/d cross 314*) menghasilkan kondisi penurunan muka air yang lebih signifikan dibandingkan dengan adanya sudetan. Seperti ditunjukkan pada **gambar 7**.

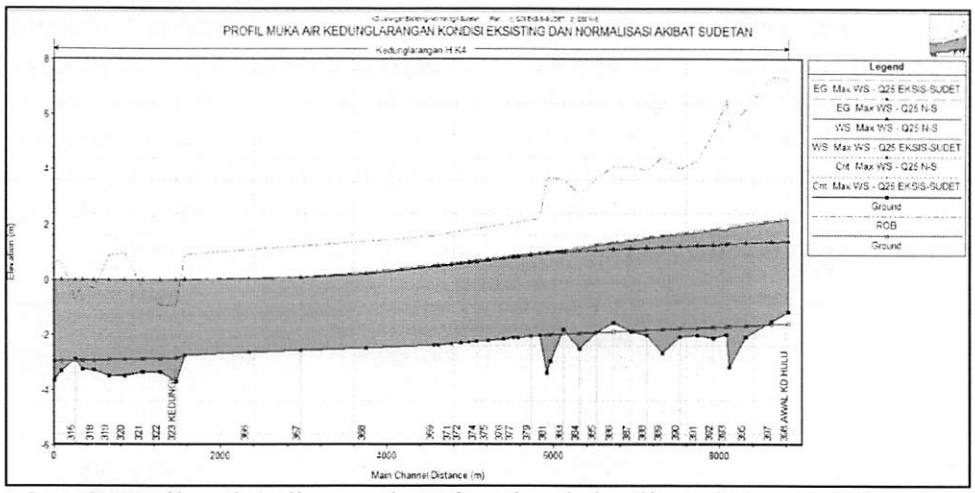


Gambar 7. Profil muka air Q_{50} kondisi normalisasi total Kali Kedunglarangan.

3 PEMBAHASAN HASIL SIMULASI MODEL

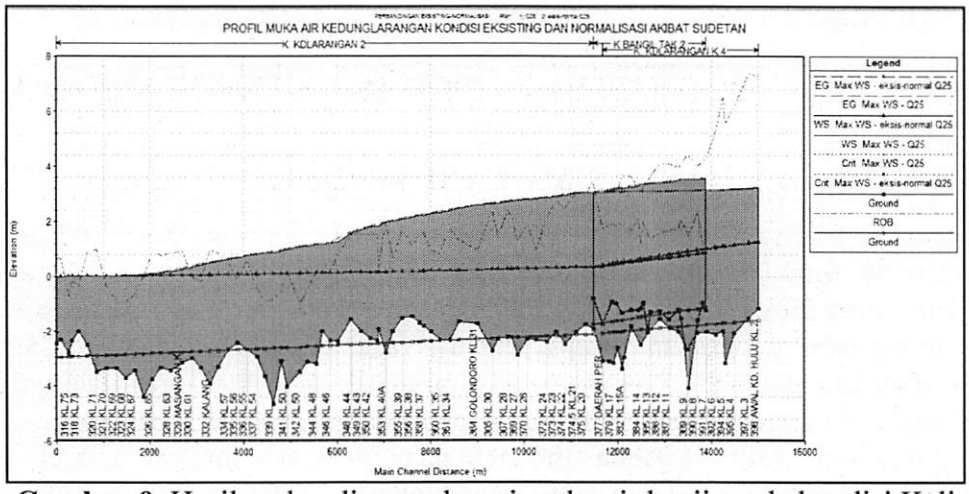
Dengan metode nakayasu didapatkan nilai besaran banjir rencana Q_{25} = 105 m^3/dt dan Q_{50} = 112 m^3/dt. Simulasi kondisi eksisting dengan adanya sudetan menunjukkan bahwa terjadi penurunan muka air banjir pada Kali Kedunglarangan yang awalnya setinggi +3.24m mengalami penurunan sampai elevasi maksimumnya adalah +2.25m pada daerah Kedunglarangan Hulu. Namun kondisi ini masih menyebabkan terjadinya luapan air di wilayah Kedunglarangan Hilir tepat pada daerah setelah penampang sudetan (muara s/d *cross 332*). Apabila dibandingkan dengan simulasi model kondisi normalisasi pada Kedunglarangan Hulu dan dilakukan sudetan menuju Kalanganyar, penurunan muka air banjirnya sampai pada elevasi maksimumnya +1.42m pada wilayah Kedunglarangan Hulu. Akan diperlihatkan pada **gambar 8** perbandingan hasil dari simulasi adanya sudetan pada kondisi eksisting dengan normalisasi. Dan pada **gambar 9** akan menunjukkan perbandingan kondisi Kali Kedunglarangan eksisting dengan setelah dilakukan normalisasi total. Dimana pada kondisi tersebut penurunan muka air banjir yang terjadi sangat signifikan dan merupakan solusi yang paling efektif untuk mengatasi permasalahan banjir yang terjadi di Kali Kedunglarangan.

ISBN 978-979-99327-8-5



Gambar 8. Hasil perbandingan elevasi muka air banjir pada kondisi eksisting dan normalisasi setelah adanya sudetan

Dan perbandingan hasil dari simulasi kondisi eksisting dan normalisasi Kali Kedunglarangan secara total tanpa adanya sudetan ditunjukkan seperti pada **gambar 9**.



Gambar 9. Hasil perbandingan elevasi muka air banjir pada kondisi Kali Kedunglarangan eksisting dan setelah dinormalisasi

4 KESIMPULAN

Kondisi dari Kali Kedunglarangan jika akan dikondisikan untuk dapat menahan debit banjir rencana Nakayasu Q_{25}th, maka dengan kondisi eksisting yang ada saat ini akan terjadi peluapan sepanjang Kedunglarangan dengan elevasi muka air banjir +3.24 m dimulai pada *cross 380 s/d cross 314* (muara). Pada saat kondisi dari Kali Kedunglarangan Hulu dilakukan normalisasi, masih terjadi peluapan sepanjang 3.2 Km dengan elevasi muka air banjir +3.0 m dimulai dari *cross 380 s/d cross 314* (muara). Dari 2 simulasi ini membuktikan bahwa jika yang dinormalisasi hanya Kali Kedunglarangan Hulu saja maka tidak akan banyak membawa perubahan untuk penurunan muka air banjirnya. Pada saat kondisi eksisting dan dilakukan sudetan sepanjang 4.2 Km dimulai dari *cross 380* menuju *cross 323* dari Kedunglarangan Hulu menuju Kalanganyar, masih terjadi peluapan melewati tanggul eksisting di Kali

Kedunglarangan Hilir dengan elevasi muka air banjir setinggi +0.00 m. Sedangkan saat kondisi Kedunglarangan Hulu dinormalisasi mulai dari *cross 398 s/d cross 380*, dan dilakukan sudetan sepanjang 4.2 Km dimulai dari *cross 380* menuju *cross 323* (Kedunglarangan bagian hilir), terjadi penurunan muka air banjir sampai dengan elevasi +1.0 m pada *cross 380* dan tidak terjadi peluapan sepanjang Kedunglarangan Hulu yang dilewati oleh debit Q_{25} dan Q_{50} tersebut. Dari hasil simulasi yang ke tiga dan empat ini menunjukkan bahwa adanya sudetan dari Kedunglarangan Hulu menuju Kalanganyar ini berpengaruh dalam menurunkan muka air banjir di wilayah Kedunglarangan Hulu khususnya. Namun saat dilakukan normalisasi secara keseluruhan pada Kedunglarangan baik di wilayah hulu maupun hilirnya tanpa dilakukannya sudetan, penurunan muka air banjirnya sampai pada elevasi +0.1 m pada *cross 380.*
Hal ini menunjukkan bahwa dengan dinormalisasinya Kedunglarangan di wilayah hilir sangat berpengaruh sekali terhadap penurunan muka air banjir yang terjadi di sepanjang Kali Kedunglarangan. Ini disebabkan karena karakteristik dari Kedunglarangan ini berbeda antara wilayah hilirnya yang landai dan cenderung berkelok – kelok dibandingkan dengan wilayah hulunya yang relatif lebih terjal kemiringannya.

5 DAFTAR PUSTAKA

1. Anggrahini .1997. *Hidrolika Saluran Terbuka* . Surabaya : Penerbit CV. Citra Media.
2. Chow Ven Te. 1992. *Hidrolika saluran Terbuka.* Jakarta, Penerbit : Erlangga
3. Jansen, Bendegon, Berg, Vries dan Zanen. 1979. *Principle of River Engineering The Non-Tidal Aluvial River,* Delft Uitgevers Maatsschappij.
4. PT. Cipta Surya Wahana . 2009. *SID Normalisasi Kali Bangiltak, Kali wrati dan Kali kedunglarangan di Kabupaten Pasuruan,* Laporan Antara.
5. Sri Harto Br. 1993. *Analisa hidrologi.* Jakarta :PT Gramedia Utama
6. Soemarto C.D. 1987. *Hidrologi Teknik.* Jakarta. Erlangga
7. US Army Corp of Enginneering, 2008. *HEC-RAS User Manual*, Davis, California.
8. Van Rijn, Leo C. 1990. *Principles of Fluid Flow and Surface Waves in Rivers, Estuaries,Seas and Ocean*, Delft Hydroulik.
9. Wahjudianto, Iwan. 2011. *Studi Muka Air Banjir Kali Wrati dan Kali Bangiltak di Kabupaten Pasuruan.* Surabaya.
10. Winarta, Bambang. 2006. *Penanggulangan Banjir Kali Kedurus Hilir dengan Menggunakan Model Matematika,* Surabaya

" Halaman ini sengaja dikosongkan "

ANALISIS PENGARUH BREAKWATER TERHADAP POLA GELOMBANG DAN ARUS DI PELABUHAN BAKAUHENI DENGAN MENGGUNAKAN MODEL NUMERIK 2 DIMENSI

A. A. Ngr. Satria Damarnegara[1], Bambang Sarwono[2], Bambang Winarta[3]

[1]*Mahasiswa Pascasarjana Jurusan Teknik Sipil FTSP, ITS, Kampus ITS Sukolilo Surabaya, Telp 031-5946094, email: damarnegara@gmail.com*
[2]*Dosen Jurusan Teknik Sipil FTSP, ITS, Kampus ITS Sukolilo Surabaya, Telp 031-5946094, email: bbsarwono@gmail.com*
[3]*Dosen Jurusan Teknik Sipil FTSP, ITS, Kampus ITS Sukolilo Surabaya, Telp 031-5946094, email: bwinarta@gmail.com*

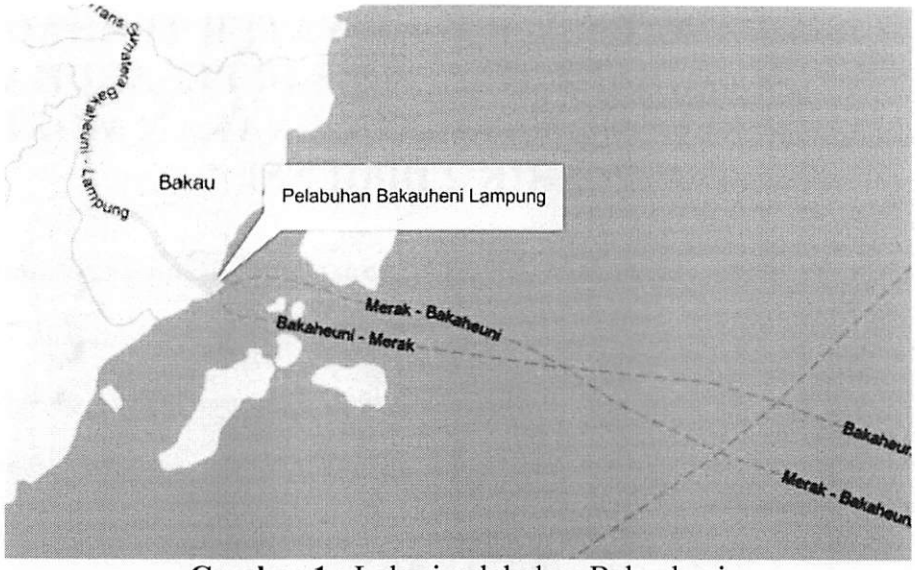
ABSTRAK

Pelabuhan Bakauheni yang terletak di selat Sunda dan dikelilingi pulau-pulau kecil (Pulau Kelapa, Pulau Rimaubalak, Pulau Kandang Balak dan Pulau Panjurit) menyebabkan kecepatan arus yang tinggi di sekitar perairan pelabuhan. Ketinggian gelombang disekitar pelabuhan masih cukup tinggi meskipun posisi pelabuhan terlindung oleh pulau-pulau kecil terutama pada musim angin barat. Hal ini menyebabkan terjadinya gangguan dalam navigasi kapal yang menyebabkan terganggunya arus transportasi di pelabuhan bakauheni. Untuk menanggulangi hal tersebut direncanakan struktur *breakwater* sebagai penahan arus dan gelombang sehingga aman untuk lalu lintas penyeberangan. Untuk mengetahui efektivitas dari struktur tersebut maka akan dibuat suatu model dalam menghitung pengaruh *breakwater* pada arus dan gelombang. Analisis dilakukan dengan membandingkan hasil analisis kecepatan arus dan gelombang yang didapat dengan menggunakan analisis numerik pada kondisi eksisting dengan hasil analisis setelah dipengaruhi *breakwater*. Dari hasil analisis didapatkan bahwa efektifitas *breakwater* sebagai penahan arus maksimum apabila panjang bangunan yang digunakan sepanjang jarak dermaga dengan pulau Kelapa dengan tingkat reduksi 42.9%. Reduksi gelombang ditinjau di tiga titik yaitu di Dermaga IV (titik 1), Dermaga II (titik 2) dan Dermaga I (titik 3). Dari hasil analisis ketinggian gelombang didapatkan reduksi terbesar yaitu sebesar 0.3 pada Dermaga IV untuk gelombang arah selatan.

Kata kunci: Teknik Pantai, *Breakwater*, Gelombang, Arus, Pelabuhan Bakauheni

1. PENDAHULUAN

Pelabuhan Bakauheni merupakan pelabuhan utama sebagai akses dari pulau Jawa menuju Sumatera yang terletak di Propinsi Lampung Selatan dan terletak di perairan selat Sunda (gambar 1). Letak pelabuhan Bakauheni yang berada di selat Sunda dan dikelilingi pulau-pulau kecil disekitarnya menyebabkan kecepatan arus disekitar pelabuhan menjadi cukup tingg. Hal ini disebabkan oleh penyempitan-penyempitan yang terjadi karena pulau-pulau tersebut dan juga kondisi arus di selat Sunda yang sudah tinggi. Walaupun dikelilingi pulau-pulau yang berperan sebagai *breakwater* alami, ketinggian gelombang disekitar pelabuhan masih cukup tinggi untuk beberapa arah tertentu. Kondisi ini sering menyebabkan terjadinya gangguan dalam kelancaran arus lalu lintas kapal. Oleh karena itu, untuk meminimalisasi gangguan tersebut, direncanakan struktur breakwater untuk meredam gelombang dan arus yang terjadi di wilayah perairan Pelabuhan Bakauheni.



Gambar 1 : Lokasi pelabuhan Bakauheni

Untuk mengetahui efektivitas dari breakwater yang akan dibangun, maka perlu dilakukan uji model yang dalam hal ini akan dilakukan dengan model matematis. Model matematis merupakan suatu pilihan yang ekonomis dan semakin sering digunakan. Dari penelitian yang dilakukan Robert R. Bottin, dkk (2002)[1], yang membandingkan model fisik dan model numerik untuk ketinggian gelombang di pintu masuk Pelabuhan di Teluk Moro, California, didapatkan hasil yang cukup memuaskan dengan menggunakan model CGWAVE dibandingkan dengan model fisik. Wu dkk (2010)[2], juga melakukan analisis numerik terhadap parameter hidrodinamik di Pelabuhan Harbor, sekitar 45 mil di utara sungai Columbia. Analisis arus dilakukan dengan menggunakan model *CMS-Flow*. Hasil dari analisis ini menunjukkan nilai elevasi muka air, kecepatan arus dan ketinggian gelombang dari perhitungan model pada stasiun-stasiun pengamatan memiliki kesesuaian yang baik. Diharapkan dengan menggunakan model matematis dapat dilakukan analisis dengan lebih cepat dan dengan biaya yang lebih murah. Dalam studi ini, model yang akan digunakan merupakan model matematis dua dimensi (2D) dengan menggunakan skema *finite difference* dengan dibantu analisis program aplikasi komersial.

2. METODOLOGI DAN DATA PENELITIAN

Dalam penelitian ini akan dilakukan dua analisis dengan menggunakan dua model, yaitu model sirkulasi arus dan model gelombang. Model sirkulasi arus yang digunakan akan menyelesaikan persamaan kontinuitas dan momentum 2 dimensi, yang diselesaikan dengan menggunakan metode beda hingga (*finite difference*). Dari persamaan ini akan didapatkan komponen kecepatan dalam 2 sumbu horizontal. Persamaan kontinuitas dan momentum yang diselesaikan dalam model ini adalah :

$$\frac{\partial(h+\eta)}{\partial t}+\frac{\partial q_x}{\partial x}+\frac{\partial q_y}{\partial y}=0 \quad \text{.....} (1)$$

$$\frac{\partial q_x}{\partial t}+\frac{\partial uq_x}{\partial x}+\frac{\partial vq_x}{\partial y}+\frac{1}{2}g\frac{\partial(h+\eta)^2}{\partial x}=\frac{\partial}{\partial x}D_x\frac{\partial q_x}{\partial x}+\frac{\partial}{\partial y}D_y\frac{\partial q_x}{\partial y}+fq_y-\tau_{bx}+\tau_{wx}+\tau_{Sx} \quad \text{.....} (2)$$

$$\frac{\partial q_y}{\partial t}+\frac{\partial uq_y}{\partial x}+\frac{\partial vq_y}{\partial y}+\frac{1}{2}g\frac{\partial(h+\eta)^2}{\partial y}=\frac{\partial}{\partial x}D_x\frac{\partial q_y}{\partial x}+\frac{\partial}{\partial y}D_y\frac{\partial q_y}{\partial y}+fq_y-\tau_{by}+\tau_{wy}+\tau_{Sy} \quad \text{.....} (3)$$

Dimana h adalah kedalaman muka air normal (*still-water depth*), η adalah deviasi elevasi permukaan air dari elevasi muka air normal, t adalah waktu, q_x dan q_y adalah debit per-unit lebar searah sumbu x dan sumbu y, u dan v adalah kecepatan arus rata-rata searah sumbu x dan sumbu y, g adalah percepatan gravitasi bumi, D_x dan D_y adalah koefisien difusi untuk arah x dan arah y, f adalah parameter koriolis, τ_{bx} dan τ_{by} adalah tegangan dasar (*bottom stress*) searah sumbu x dan y, τ_{wx} dan τ_{wy} adalah tegangan permukaan (*surface stress*) searah sumbu x dan y, τ_{Sx} dan τ_{Sy} tegangan gelombang (*wave stress*) searah sumbu x dan y.
Persamaan yang digunakan dalam model gelombang menggunakan persamaan keseimbangan aksi gelombang (*wave-action balance equation*)[3] sebagai berikut:

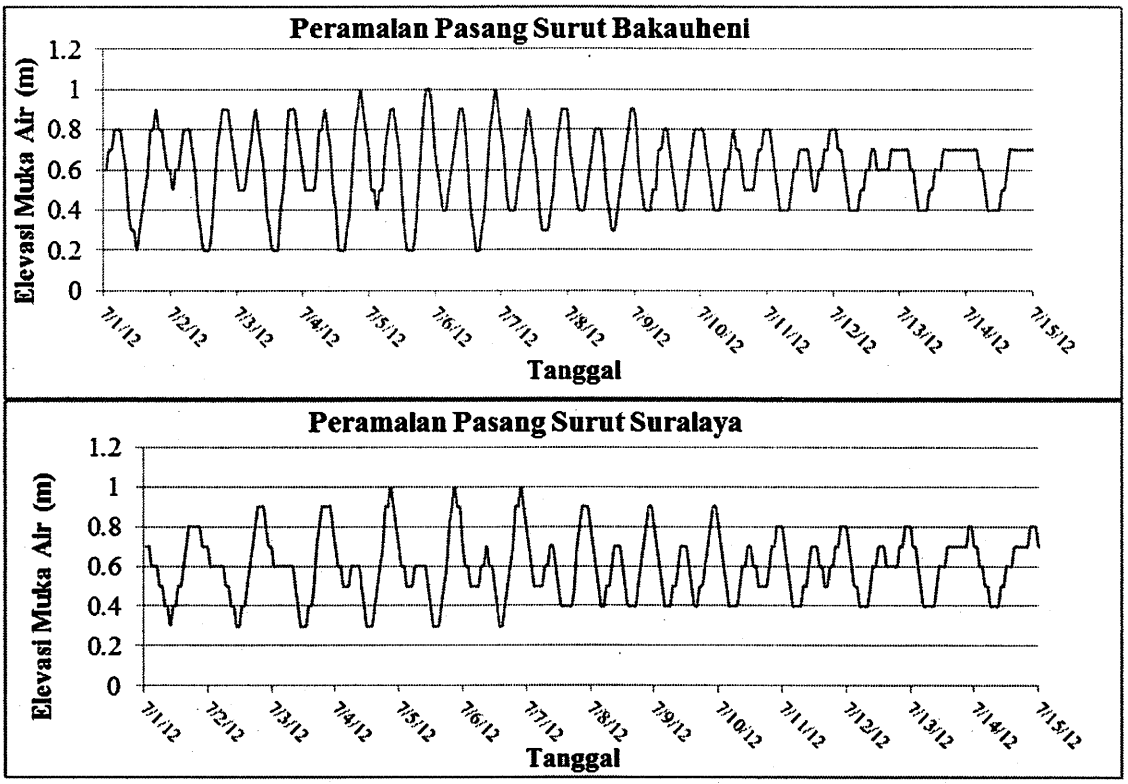
$$\frac{\partial(C_x N)}{\partial x}+\frac{\partial(C_y N)}{\partial y}+\frac{\partial(C_\theta N)}{\partial \theta}=\frac{\kappa}{2\sigma}\left[\left(CC_g\cos^2\theta N_y\right)_y-\frac{CC_g}{2}\cos^2\theta N_{yy}\right]-\varepsilon_b N-S \quad \text{.....(4)}$$

$$N=\frac{E(\sigma,\theta)}{\sigma} \quad \text{.....(5)}$$

N adalah densitas dari aksi gelombang yang akan diselesaikan dan merupakan fungsi dari frekuensi (σ) dan arah (θ). E merupakan densitas spectrum gelombang yang merepresentasikan energi gelombang per unit luas permukaan air per interval frekuensi. Baik difraksi gelombang maupun kehilangan energi diperhitungkan dalam *governing equation*. C dan C_g berturut-turut adalah *celerity* gelombang dan *group velocity*. Koordinat horizontal dinyatakan dalam x dan y. C_x, C_y dan C_θ adalah kecepatan karakterristik berturut-turut terhadap arah x,y, dan θ. N_y dan N_{yy} menunjukkan turunan dari N terhadap y. κ adalah parameter empiris yang menunjukkan intensitas difraksi. ε_b adalah parameter kehilangan energi dari gelombang pecah. S menunjukkan sumber tambahan seperti gaya angin dan interaksi gelombang nonlinear. Permodelan gelombang dilakukan secara steady state, yaitu persamaan diselesaikan dengan tidak bergantung pada waktu.
Data masukan yang digunakan merupakan data pasang surut, dalam hal ini digunakan data peramalan dari Dinas Hidro Oseanografi TNI AL tahun 2012 untuk stasiun Suralaya dan Bakauheni seperti diperlihatkan pada gambar 2, dan data gelombang yang merupakan bangkitan dari data angin di stasiun Branti. Data angin ini diolah untuk mendapatkan gelombang rencana dan digunakan periode ulang 50 tahun sebagai masukan dalam model (tabel 1).

Penyusunan Model Sirkulasi Arus 2 Dimensi
Penyusunan model arus eksisting dilakukan dengan menyusun model regional dengan domain yang lebih besar kemudian menggunakan hasil output model tersebut sebagai input pada model dengan domain yang lebih kecil. Untuk model regional, digunakan data pasang surut pada stasiun Bakauheni dan Suralaya sebagai masukan untuk membangkitkan arus pasang surut. Validasi model dilakukan dengan mengganti nilai koefisien eddy viscosity. Hasil output elevasi muka air kemudian dibandingkan dengan hasil pengukuran dan dipilih model dengan hasil validasi terbaik.
Model dengan domain regional mencakup wilayah di sekitar perairan Selat Sunda. Kondisi batas dari model ini adalah Elevasi Muka Air di Stasiun Peramalan Pasang Surut Suralaya dan Stasiun Peramalan Pasang Surut Bakauheni. Dimensi grid (Δx dan Δy) yang digunakan pada model ini adalah 300 m. Simulasi dilakukan selama 15 hari dengan beberapa nilai eddy viscosity (10^{-6} m^2/s, 10 m^2/s, 50 m^2/s, 100 m^2/s, 500 m^2/s, 1000 m^2/s, 1500 m^2/s, 2000 m^2/s, 3000 m^2/s, 4000 m^2/s dan 5000 m^2/s). hal ini

dilakukan karena turbulensi yang terjadi di laut sangat bergantung dari nilai *eddy viscosity*. Di laut, nilai dari *eddy viscosity* bervariasi dari 10 s.d. 10^5 m^2/s untuk arah horizontal dan berkisar antara 10^{-5} – 10^{-1} m^2/s untuk arah vertikal [4]. Validasi model ini dilakukan dengan membandingkan elevasi muka air hasil analisis model dengan pengamatan yang dilakukan.



Gambar 2: Data pasang surut tahun 2012 stasiun Suralaya dan Bakauheni

Tabel 1: Data Gelombang Rencana

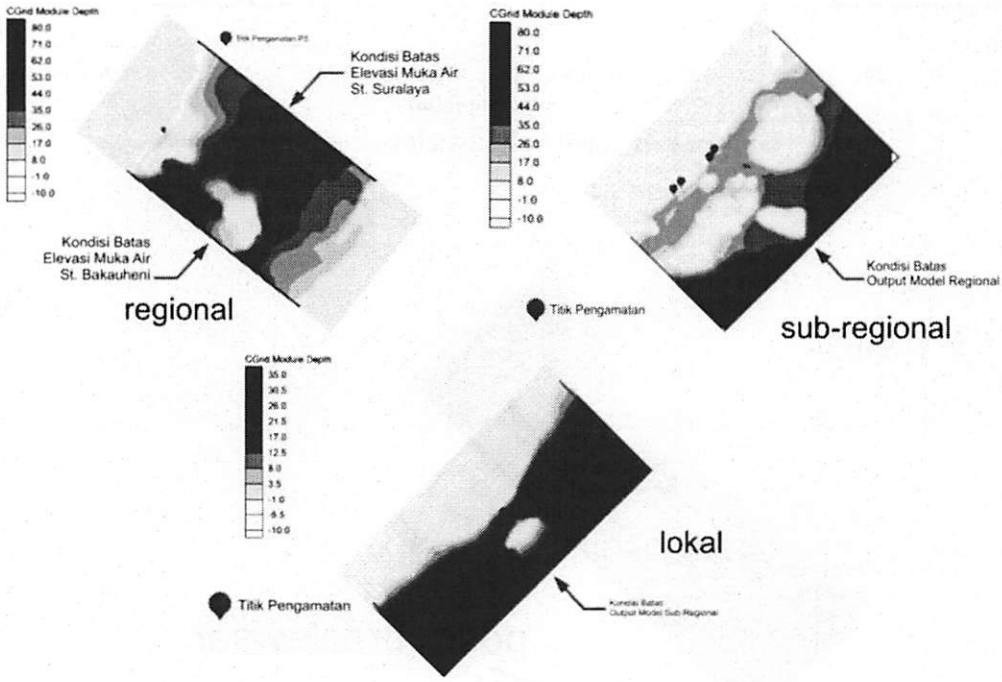
Periode Ulang (tahun)	Timur Laut		Timur		Tenggara		Selatan		Barat Daya	
	Hs (m)	T (dt)	Hs (m)	T (dt)	Hs (m)	T (dt)	Hs (m)	T (dt)	Hs (m)	T (dt)
10	2.11	6.77	3.79	9.17	2.19	6.9	3.47	8.76	2.14	6.82
25	2.77	7.8	4.32	9.82	2.35	7.16	4.11	9.57	2.46	7.33
50	**3.3**	**8.54**	**4.67**	**10.23**	**2.45**	**7.32**	**4.53**	**10.07**	**2.67**	**7.65**
100	3.86	9.26	4.98	10.57	2.55	7.47	4.9	10.48	2.86	7.93
200	4.46	9.98	5.27	10.89	2.63	7.59	5.24	10.86	3.03	8.17

Model Sub-regional memiliki cakupan yang lebih kecil yaitu hanya disekitar pelabuhan Bakauheni saja. Model sub-regional menggunakan kondisi batas yang didapatkan dari model regional, yaitu elevasi muka air dan kecepatan arus. Dimensi grid (Δx dan Δy) yang digunakan pada model ini adalah 100 m Simulasi dilakukan selama 15 hari dan hasil model dibandingkan dengan hasil pengamatan di lapangan. Model sirkulasi arus domain kecil (lokal) memiliki cakupan yang lebih kecil dari model sub-regional. Dalam model ini domain yang digunakan berada disekitar bangunan rencana. Model ini menggunakan kondisi batas yang didapatkan dari model sub-regional. Dimensi grid (Δx dan Δy) yang digunakan pada model ini bervariasi, yaitu dengan menggunakan

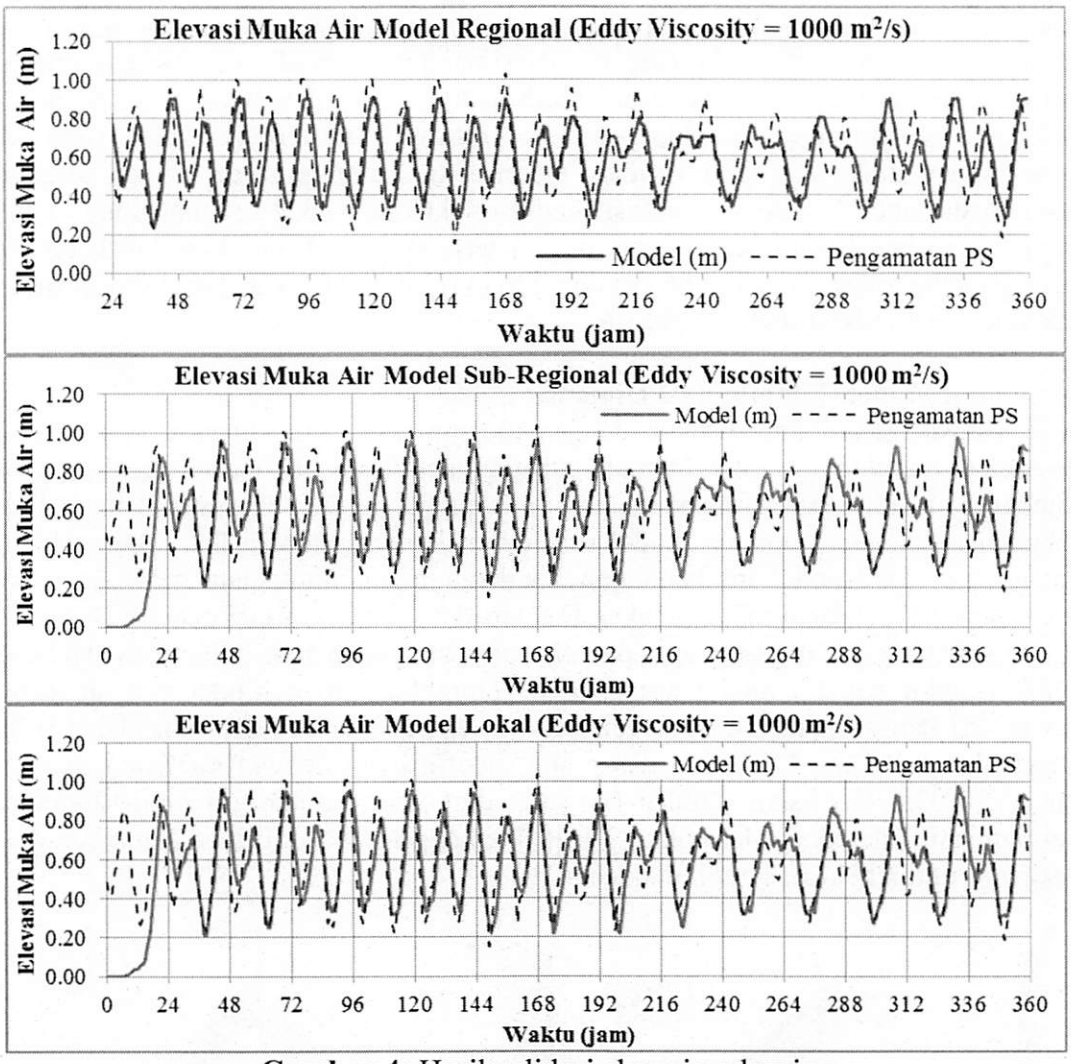
refinement point dengan dimensi paling kecil 20m. Model ini akan digunakan pada analisis selanjutnya untuk model dengan variasi bangunan *breakwater*. Domain masing-masing model arus dapat dilihat pada **gambar 3**. Dari hasil validasi yang dilakukan, nilai eddy viscosity yang memiliki parameter validasi yang terbaik adalah 1000 m^2/s. Grafik elevasi muka air hasil validasi ditampilkan pada **gambar 4** dan parameter validasi pada tabel 2. Setelah validasi model dilakukan, maka disusun model dengan menggunakan *breakwater* yang direncanakan terletak pada timur laut dan barat daya dengan panjang masing-masing 660 m dan 700 m (**gambar 5**). Hasil dari model dengan breakwater ditampilkan pada **gambar 6**.

Penyusunan Model Gelombang 2 Dimensi

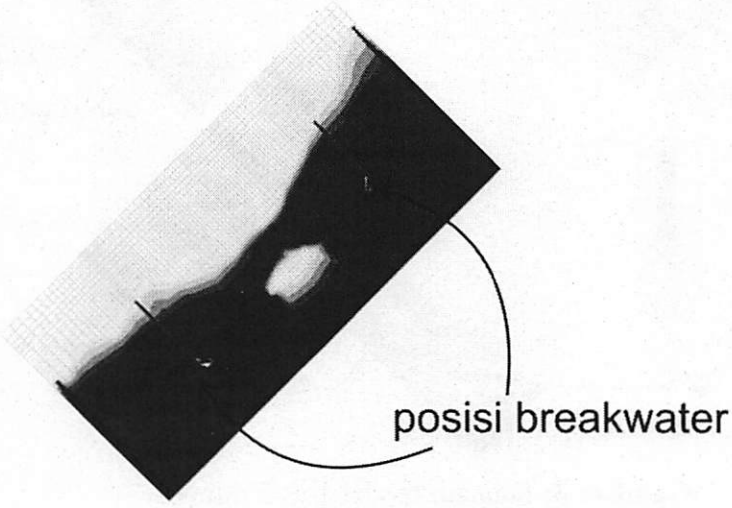
Model analisis gelombang disusun dengan menggunakan dua domain, yaitu domain sub-regional dan domain lokal. Domain sub-regional digunakan untuk membangkitkan gelombang di laut lepas, dimana belum terdapat pengaruh pulau yang mengelilingi Pelabuhan Bakauheni. Domain model sub-regional menggunakan Dx = Dy = 100 m. Hasil analisis dari model ini kemudian dijadikan input untuk data gelombang pada model lokal. Model lokal menggunakan Dx dan Dy yang bervariasi dengan Dx dan Dy minimum sebesar 20 m yang terdapat disekitar bangunan dan pelabuhan bakauheni (identik dengan domain model arus). Data gelombang dibangkitkan dengan metode Jonswap [5] dan didefinisikan sebagai pektrum energi pada model yang dapat dilihat pada gambar 10. Data kekasaran dasar laut didefinisikan dengan koefisien manning, yaitu n = 0.025. Koefisien difraksi (κ) yang digunakan adalah 2.5 berdasarkan dari penelitian yang dilakukan Mase dkk. [3][6][7] tentang simulasi difraksi gelombang pada *breakwater* untuk bukaan sempit dan lebar.



Gambar 3: Domain model arus 2 dimensi



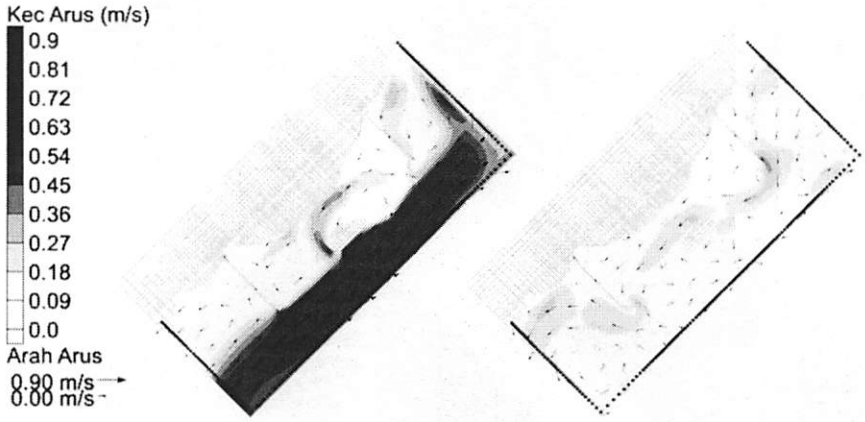
Gambar 4: Hasil validasi elevasi muka air



Gambar 5: Posisi breakwater

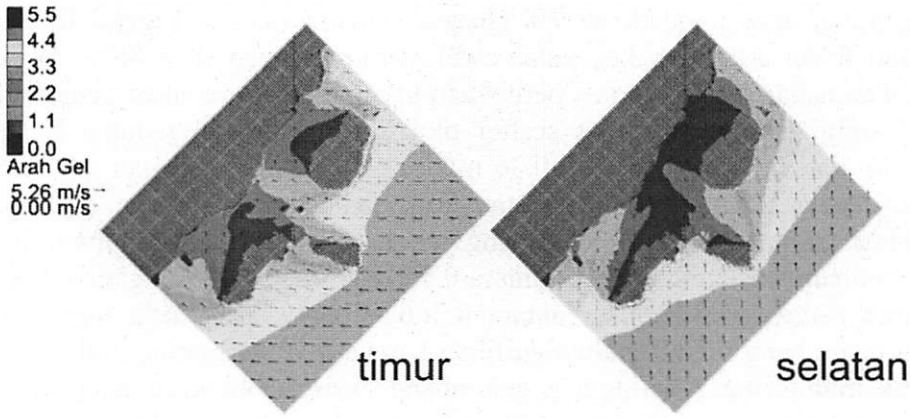
Tabel 2: Parameter validasi model sirkulasi arus

Parameter Validasi	Model Regional	Model SubRegional	Model Lokal
RMSE	0.1418	0.122	0.121
MAPE	23.47%	17.76%	17.66%
Korelasi	0.724	0.808	0.808

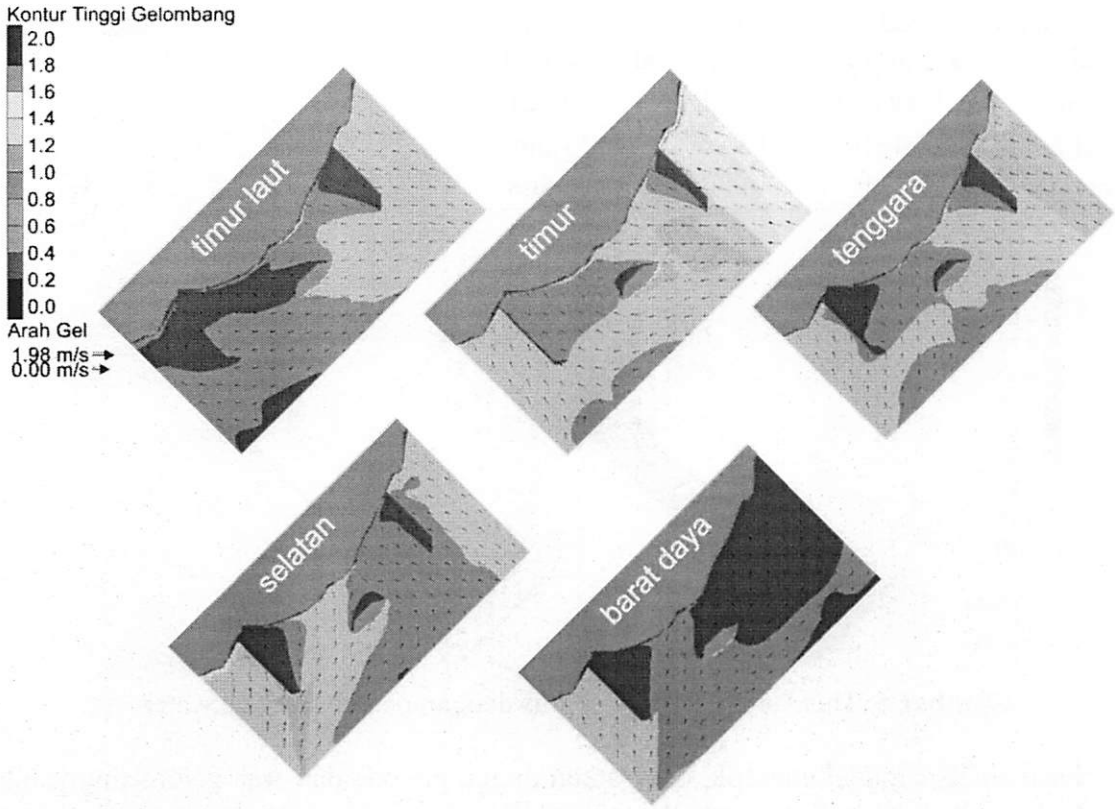


Gambar 6: Hasil simulasi model arus dengan pengaruh breakwater

Dari hasil analisis model numerik, didapatkan tinggi, periode dan arah gelombang yang terjadi di sekitar wilayah perairan Pelabuhan Bakauheni. Tinggi gelombang disekitar Pelabuhan Bakauheni cukup rendah, hal ini dikarenakan gelombang telah mengalami transformasi karena dihalangi pulau-pulau yang mengelilingi Pelabuhan Bakauheni, namun untuk gelombang dari arah timur dan selatan masih cukup tinggi. Hasil transformasi yang dihasilkan oleh model sub-regional untuk arah timur dan selatan dapat dilihat pada **gambar 7**. Dari hasil model sub-regional, kemudian dijadikan data input untuk model lokal dengan *grid* yang lebih halus. Selanjutnya dilakukan analisis dengan menggunakan *breakwater* yang sama pada model arus. Hasil simulasi model gelombang ini dapat dilihat pada **gambar 8**.



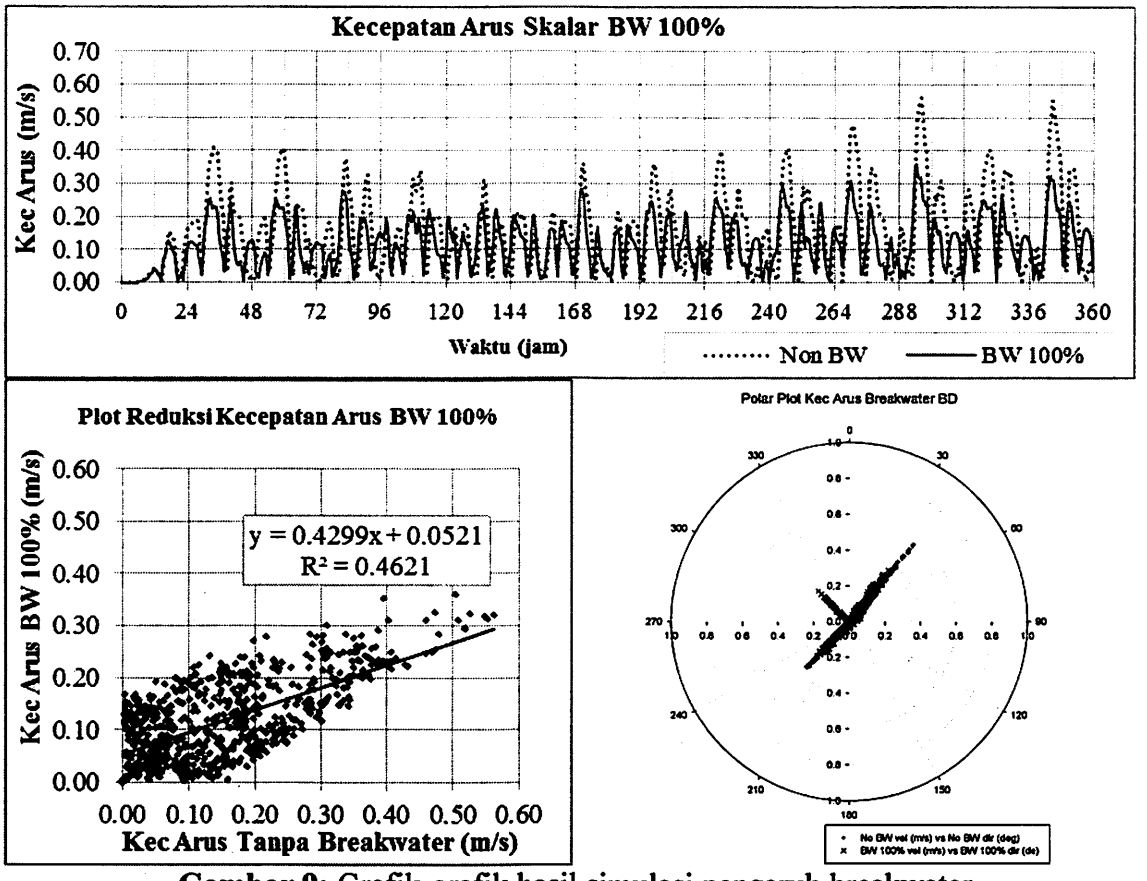
Gambar 7: Hasil simulasi model gelombang sub-regional



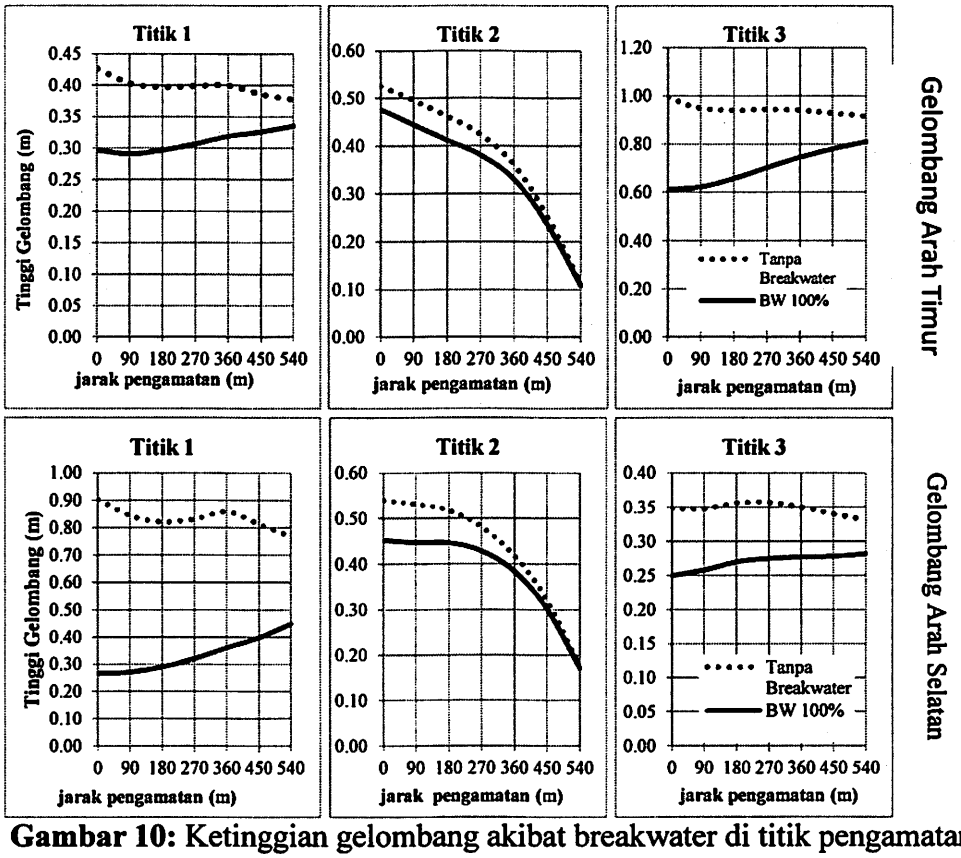
Gambar 8: Hasil simulasi model gelombang dengan breakwater

3. PEMBAHASAN HASIL SIMULASI MODEL

Tingginya kecepatan arus yang terjadi di sekitar Pelabuhan Bakauheni disebabkan karena letak Pelabuhan yang berada di Selat Sunda. Selain berada di wilayah selat, yang memiliki kecepatan arus yang tinggi, lokasi dermaga yang berada di depan Pulau Kelapa juga menyembabkan terjadinya efek *bottle neck* yang menyebabkan meningkatnya kecepatan arus. Dari hasil simulasi diketahui pengaruh *breakwater* mampu mengurangi arus menjadi 42.9% (secara statistik dengan regresi linear plot besar kecepatan skalar arus) dari kecepatan awal, namun dengan R^2 = 46%. Angka ini cukup kecil dikarenakan terjadi variasi perubahan kecepatan dikarenakan pengaruh dari *breakwater*. Namun dari grafik polar scatter plot dapat diketahui reduksi kecepatan maksimum yaitu dari 0.56 m/s menjadi 0.36 m/s (63.9%). Plot kecepatan, plot reduksi kecepatan dan polar scatter plot kecepatan arus dan arah arus dapat dilihat pada **gambar 9**. Hasil simulasi model gelombang menunjukkan pada titik monitoring 1 ketinggian gelombang eksisting berkisar antara 0.768 – 0.905 m. Ketinggian gelombang akibat pengaruh *breakwater* berkisar antara 0.266 – 0.449, pada titik monitoring 2 reduksi tinggi gelombang tidak terlalu signifikan karena telah terlindung pulau Kelapa, dan pada titik monitoring 3 ketinggian gelombang eksisting berkisar antara 0.480 – 0.497 m. Tinggi gelombang maksimum akibat breakwater sebesar 0.418 m, minimum sebesar 0.289 m. hasil reduksi gelombang untuk arah timur dan selatan pada masing-masing titik pengamatan dapat dilihat pada **gambar 10**.



Gambar 9: Grafik-grafik hasil simulasi pengaruh breakwater



Gambar 10: Ketinggian gelombang akibat breakwater di titik pengamatan

4. KESIMPULAN

Dari hasil analisis yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan bahwa kecepatan arus di Pelabuhan Bakauheni sesuai hasil analisis dengan menggunakan data pasang surut bulan Juli – Agustus 2012, didapatkan kecepatan arus maksimum antara 0.30 m/s – 0.56 m/s. Ketinggian gelombang maksimum yang didapatkan dari transformasi gelombang rencana 50 tahunan yaitu 0.991 m di titik 3 untuk gelombang arah timur dan 0.905 m di titik 1 untuk gelombang arah selatan. perbandingan kecepatan eksisting dengan setelah adanya bangunan adalah 0.429 dan dari grafik polar scatter plot dapat diketahui reduksi kecepatan maksimum yaitu dari 0.56 m/s menjadi 0.36 m/s (63.9%). Pada titik pengamatan 1 pengaruh breakwater paling efektif didapatkan untuk gelombang arah selatan dengan reduksi 0.30 kali gelombang eksisting, titik pengamatan 2 pengaruh breakwater tidak terlalu signifikan karena telah dilindungi oleh pulau Kelapa dan pada titik pengamatan 3 pengaruh breakwater paling efektif didapatkan untuk gelombang arah timur laut dan timur dengan reduksi 0.6 kali gelombang eksisting.

5. DAFTAR PUSTAKA

1. Robert R. Bottin dkk., (2002) *Comparisons of Physical and Numerical Model Wave Predictions with Prototype Data at Morro Bay Harbor Entrance, California.* Coastal and Hydraulics Engineering Technical Note. Washington.
2. Wu, Weiming. (2010) *An Implicit 2-D Depth-Averaged Finite-Volume Model Of Flow And Sediment Transport In Coastal Waters.* Proceedings International Conference of Coastal Engineering.
3. Mase, H. (2001) *Multi-directional random wave transformation model based on energy balance equation.* Coastal Engineering Journal 43(4), 317-337.
4. Open University Course Team dan Colling, Angela. (2001) *Ocean Circulation.* Butterworth Heinemann in association with the Open University. Boston.
5. Hasselmann, K., T. P. Barnett, E. Bouws, H. Carlson, D. E. Cartwright, K. Enke, J. A. Ewing, H. Gienapp, D. E. Hasselmann, P. Kruseman, A. Meerbrug, P. Muller, D. J. Olbers, K. Richter, W. Sell, and H. Walden (1973) *Measurements of Windwave Growth and Swell Decay During The Joint North Sea Wave Project (JONSWAP).* Deutsche Hydrographische Zeitschrift A80(12), 95 p.
6. Mase, H., H. Amamori, and T. Takayama (2005a) *Wave Prediction Model in Wave-Current Coexisting Field.* Proceedings 12th Canadian Coastal Conference (CD-ROM).
7. Mase, H., K. Oki, T. S. Hedges, and H. J. Li. (2005b) *Extended Energy-Balance-Equation Wave Model for Multidirectional Random Wave Transformation.* Ocean Engineering 32(8-9):961-985.

REKAYASA PENGEMBANGAN SUMBER DAYA BUATAN BERBASIS KINERJA DAS BAUBAU

Mz. Amirul Tamim[1], Saleh Pallu[2], Shirly Wunas[3], Sumbangan Baja[4]

[1]*Mahasiswa Program Studi S3 Teknik Sipil Universitas Hasanuddin, Kampus Unhas, Makassar, Telp.0811403436, email:mz@amirultamim.info*
[2]*Dosen Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin, Kampus Unhas, Makassar, Telp. 0811444983, email: salehpallu@hotmail.com*
[3]*Dosen Jurusan Teknik Arsitek, Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin, Kampus Unhas, Makassar, Telp.0811445692, email:shirly@indosat.net.id*
[4]*Dosen Jurusan Ilmu Tanah Fakultas Pertanian Universitas Hasanuddin, Kampus Unhas, Makassar, Telp.08124262988, email:sbja02@yahoo.com.au*

ABSTRAK

Kota Baubau merupakan salah satu kota yang memiliki topografi yang cukup beragam dan terletak di dalam suatu daerah aliran sungai (DAS). Salah satu masalah yang dialami Kota Baubau adalah laju pertumbuhan penduduk yang cukup pesat, yang menyebabkan timbulnya tekanan penduduk terhadap ruang yang, dan berimplikasi langsung terhadap pemanfaatan ruang/lahan kawasan perkotaan. Alih fungsi lahan hijau pada daerah-daerah tangkapan air dapat secara langsung menyebabkan erosi dan sedimentasi di bagian hilir (kawasan pusat Kota Baubau saat ini), menurunnya cadangan air tanah, dan berkurangnya debit aliran sungai utama (Sungai Baubau). Penelitian ini bertujuan untuk: (i) menganalisis kondisi tipologi fisik dan sosial ekonomi daerah aliran sungai (DAS) Baubau, dalam hubungannya dengan kinerja DAS; (ii) menganalisis bentuk tata guna lahan wilayah studi dan mensitesis pengaruhnya terhadap erosi, sedimentasi, dan parameter keairan DAS Baubau; dan (iii) mensintesis berbagai alternatif strategi rekayasa sumberdaya buatan untuk dapat mengendalikan degradasi lahan dan air, baik melalui pendekatan rekayasa sipil maupun vegetatif menuju pola infrastruktur kota hijau *(green city)*. Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif yang diintegrasikan dengan pendekatan kualitatif-deskriptif (*mixed approach*). Pendekatan kuantitatif utamanya digunakan pada komponen penelitian yang mengkaji kinerja DAS dari aspek biofisik penggunaan lahan dan tata air. Sedangkan pendekatan kualitatif digunakan utamanya untuk menganalisis parameter sosial ekonomi, berupa wawancara, penyebaran kuisioner, dan studi dokumen. Analisis rekayasa pengembangan sumberdaya buatan dilakukan berdasarkan hasil sintesis topologi DAS dan kinerja DAS. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadian acuan dalam perencanaan dan pengembangan tata guna lahan pada wilayah Kota Baubau melalui pendekatan "kota/infrastruktur hijau" *(green city)*.

Kata kunci: kinerja, sungai, sumber daya, erosi, DAS, SDA.

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar belakang

Pada kota-kota yang merupakan suatu wilayah daerah aliran sungai (DAS) yang dilewati oleh sungai-sungai utama memiliki persoalan tersendiri terhadap ekosistem (Sparovec *et al.*, 2002). Degradasi kondisi lahan kawasan DAS bagian atas (hulu) dan tengah kawasan akan memicu terjadinya erosi dan sedimentasi secara besar-besaran, dan bahkan di beberapa kota terjadi banjir. Proses sedimentasi tersebut akan

menyebabkan menurunnya kualitas dan kuantitas air sungai, dan akan memiliki efek yang cukup beragam (Auger *et al.*, 2002). Kualitas air sungai yang semakin menurun akan sangat mengganggu fungsi sungai itu sendiri bagi wilayah perkotaan, baik dari segi fungsi ekonomi, sosial, estetika maupun fungsi ekologis (Suroso dan Susanto, 2006). Pada kawasan perkotaan, degradasi ekosistem lahan seperti itu dapat menimbulkan rantai persoalan yang panjang. Perubahan penggunaan lahan di daerah hulu berimplikasi secara langsung pada daerah-daerah hilir (Seppelt and Voinov, 2002), yang umumnya merupakan kawasan pemukiman, perkantoran, fasilitas publik perkotaan lainnya, dan infrastruktur wilayah. Kota Baubau terletak dalam suatu Daerah Aliran Sungai (DAS) Baubau dengan sungai utamanya Sungai Baubau yang membelah pusat Kota Baubau. Sungai tersebut cenderung menurun kualitasnya dari waktu ke waktu akibat erosi dan sedimentasi. Kota Baubau umumnya terdiri dari lahan dengan topografi berlereng terjal dan bertingkat, sehingga berpengaruh besar terhadap tata air di dalam Daerah Aliran Sungai (DAS) Baubau bagian hulu dan bagian hilir. Kemudian, penggunaan lahan berubah sangat cepat di beberapa segmen kawasan kota, karena jumlah penduduk yang terus bertambah yang memanfaatkan ruang-ruang di semua wilayah kota. Pembukaan lahan-lahan untuk beraktivitas mempengaruhi kualitas fisik lahan (dengan dampaknya misalnya erosi dan sedimentasi) pada kualitas air, yang secara timbal balik berpengaruh pada pengelolaan ruang kota Baubau. Secara teoritis, perubahan kualitas fisik lahan harus dapat dijadikan acuan bagi rekayasa dalam pengelolaan ruang, dan begitupula sebaliknya, pengelolaan ruang (khususnya pemanfaatan) akan menyebabkan (berdampak pada) berubahnya kualitas lahan. Untuk mengantisipasi akibat yang ditimbulkan oleh kesalahan-kesalahan jangka panjang dalam penggunaan/pemanfaatan lahan yang semakin tidak terkendali maka diperlukan penelitian mengenai pengaturan tata guna lahan berbasis kinerja DAS Baubau dalam perspektif "kota hijau" *(green city)*. Penelitian difokuskan pada penggunaan lahan secara menyeluruh dan berbasis spasial (ruang), serta efek yang ditimbulkan oleh jenis penggunaan lahan saat ini terhadap lahan, utamanya erosi, sedimentasi, dan tata air (kualitas dan jumlah), untuk dapat dijadikan terbesar dari wilayah acuan dalam memperbaiki kinerja DAS Baubau yang merupakan bagian Kota Baubau.

1.2 Rumusan Masalah

Sebagaimana disebutkan sebelumnya, Kota Baubau adalah suatu kota kecil, yang merupakan wilayah tangkapan air (*catchment area*), dan karena dominan wilayah DAS adalah kawasan perkotaan maka disebut DAS kota (*urban catchment*). Selain itu, DAS Baubau yang meliputi Kota Baubau memiliki wilayah bertingkat dengan topografi yang sangat beragam, mulai dari sangat datar di pusat kota sekitar pantai (atau bagian hilir DAS Baubau) hingga sangat curam di bagian selatan yang merupakan daerah *hinterland* (bagian hulu DAS Baubau). Karena penduduk yang terus berkembang dan peningkatan kebutuhan akan ruang untuk hunian dan beraktivitas, pembangunan ruang (pengaturan tata guna lahan) mulai bergerak ke wilayah belakang yang sejak dulu digunakan untuk pertanian, dan sebahagian untuk kehutanan, bahkan terdapat hutan lindung. Di sisi hilir DAS pengaturan tata guna lahan berfokus pada penyediaan ruang untuk kegiatan perkotaan. Tipologi wilayah yang seperti ini dan kecenderungan perkembangan aktivitas yang demikian memerlukan pengaturan tata guna lahan secara efektif (van Lier and de Wrachien, 2002). Dengan demikian, beberapa permasalahan muncul, baik dari sisi ekologi maupun sosial ekonomi, dan yang cukup dominan adalah sebagai berikut: (i) kebutuhan akan ruang oleh masyarakat untuk berbagai keperluan terus meningkat,

sementara persediaan ruang yang sesuai secara ekologis terbatas; (ii) pembukaan lahan bervegetasi untuk keperluan kegiatan perkotaan meningkatkan laju erosi di bagian atas (hulu DAS) dan sedimentasi di setiap *outlet* wilayah tangkapan air serta di bagian bawah (hilir DAS), yang terletak di pusat Kota Baubau; (iii) adanya kecenderungan penurunan kualitas dan kuantitas (pendangkalan) air Sungai Baubau, yang kemungkinan disebabkan oleh peningkatan erosi dan sedimentasi sebagai akibat terus semakin menipisnya vegetasi di bagian hulu DAS; (iv) sering terjadinya genangan (banjir) secara rutin di kawasan permukiman padat penduduk di dua Kelurahan, yakni Kelurahan Tomba dan Kelurahan Bataraguru; dan (v) pengaturan tata guna lahan (melalui kebijakan penataan ruang wilayah kota) secara efektif menimbulkan implikasi sosial ekonomi masyarakat, baik positif maupun negatif.

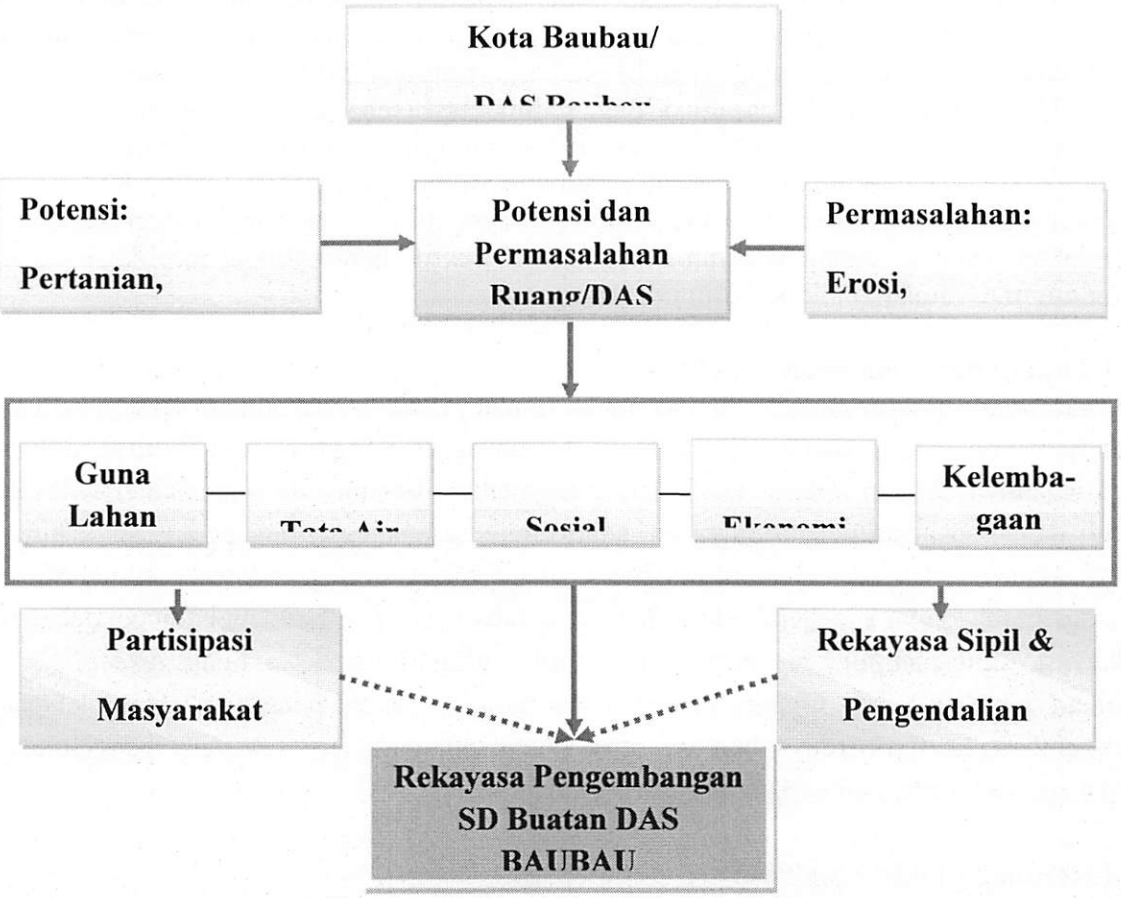
1.3 Tujuan dan Kegunaan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas, maka tujuan penelitian ini adalah: (i) enganalisis kondisi tipologi fisik dan sosial ekonomi daerah aliran sungai (DAS) Baubau, dalam hubungannya dengan kinerja DAS, (ii) menganalisis bentuk tata guna lahan wilayah studi dan mensitesis pengaruhnya terhadap erosi, sedimentasi, dan parameter keairan DAS Baubau, dan (iii) mensintesis berbagai alternatif strategi rekayasa sumberdaya buatan untuk dapat mengendalikan degradasi lahan dan air, baik melalui pendekatan rekayasa sipil maupun vegetatif menuju pola infrastruktur kota hijau *(green city)*. Tujuan penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat dalam penelitian dan rekayasa pengembangan sumberdaya buatan, serta penyusunan strategi rekayasa pengelolaan DAS secara terintegrasi dengan pengembangan kota.

1.4 Kerangka Pikir Penelitian

Kota Baubau terletak dalam Daerah Aliran Sungai (DAS) Baubau dengan sungai utama Sungai Baubau yang membelah Kota Baubau. Sungai tersebut cenderung menurun kualitasnya dan debitnya dari waktu ke waktu akibat erosi dan sedimentasi. Permasalahan lainnya adalah bahwa tejadi invasi ruang yang cukup signifikan akibat pertambahan penduduk, yang tidak dapat dihindari dan kebutuhan akan pembangunan prasarana wilayah kota. Pembangunan tersebut menyebabkan berbagai bentuk alih fungsi lahan, misalnya dari hutan dan kebun menjadi pemukiman, prasaran umum, fasilitas pemerintahan, reklamasi, dan lain-lain. Di sisi lain, potensi DAS cukup besar bagi penyediaan ruang untuk berbagai aktivitas seperti pertanian, permukiman, perdagangan/jasa, utilitas utamanya sumber air bersih, dan industri. Dalam perspektif pengembangan DAS, ada lima faktor utama yang menjadi dasar bagi penilaian kinerja, yakni guna lahan, tata air, sosial, ekonomi, dan kelembagaan. Lima faktor kinerja tersebut menjadi tolok ukur dalam upaya merencanakan strategi penanganan masalah dan rekayasa pengembangan sumberdaya buatan yang ada dalam DAS tersebut. Dari aspek sustainabilitas atau perlindungan kawasan dari kerusakan (*sustainability*), terdapat kebutuhan pengendalian kerusakan lahan akibat erosi, sedimentasi, dan banjir. Disini diperlukan adanya upaya dan partisipasi secara penuh dari masyarakat untuk mendapatkan manfaat sosial ekonomi dari kawasan DAS, sejalan dengan pengendalian melalui rekayasa sipil dan vegetatif, termasuk penambahan ruang terbuka hijau (RTH), untuk mendapatkan manfaat ekologi. Tuntutan tersebut dapat diintegrasikan melalui suatu konsep pengaturan tata guna lahan secara efektif untuk mendapatkan manfaat

sosial ekonomi dan ekologi, yang sekaligus menuju pengembangan kota hijau. Kerangka piker dapat dilihat pada Gambar 1 di bawah ini.



Gambar 1. Kerangka Pikir Penelitian

2. STUDI PUSTAKA

Studi pustaka dilakukan sejalan dengan pelaksanaan studi ini untuk dapat menambah dan memperkaya informasi penelitian ini. Dalam studi ini adalah metode analisis data yang terkait dengan pengolahan data untuk mendapatkan parameter kinerja DAS Bau-Bau. Adapun teknik analisis data dalam penelitian ini dibagi dalam 4 komponen sebagai berikut: (i) analisis kinerja yang menunjukkan tingkat kesehatan atau degradasi lahan DAS; (ii) analisis kebutuhan pengendalian terhadap degradasi menuju Kota Hijau; (iii) analisis sosial ekonomi masyarakat; dan (iv) analisis strategi pengembangan.

2.1 Analisis Kinerja Lahan DAS

Analisis kinerja yang menunjukkan tingkat kesehatan dan degradasi lahan DAS dibagi atas tiga subkomponen sebagai berikut: (i) analisis deskriptif kuantitatif penggunaan yang terdiri dari indeks penggunaan lahan (IPL) dan erosi; (ii) analisis tata air, yang meliputi debit sungai utama, sedimentasi, kualitas air, kandungan bahan cemar, dan koefisien runoff. Berikut ini uraian masing-masing subkomponen analisis. Semua analisis tersebut memerlukan unit pengelolaan lahan *(land management unit)* yang dikembangkan secara spasial (Baja *et al.*, 2002).

2.2 Analisis Penggunaan Lahan

a. Indeks penutupan lahan (IPL)

Analisis penggunaan dan penutupan lahan oleh vegetasi di DAS dilakukan melalui peta penggunaan penutupan lahan yang telah ada di wilayah studi. Indeks penutupan lahan (IPL) dihitung dari luas lahan bervegetasi permanen yang ada di DAS (Ditjen RLPS, 2009):

$$IPL = \frac{LVP}{Luas\ DAS} \times 100\% \quad \text{.....(1)}$$

Di mana: LVP = luas lahan bervegetasi permanen (ha), Luas DAS = luas DAS Baubau (ha). Vegetasi permanen yang dimaksudkan adalah tanaman tahunan seperti vegetasi hutan dan atau kebun yang dapat berfungsi lindung dan atau konservasi, dimana keberadaan vegetasi tersebut di DAS tidak dipanen dan atau ditebang. Data ini dapat diambil secara langsung dari peta penggunaan lahan yang tersedia.

b. Pendugaan erosi

Dalam penelitian ini, pendugaan erosi dilakukan dengan menggunakan pendekatan USLE (*Universal Soil Loss Equation*) (Wischmeier and Smith, 1978). USLE telah banyak diterapkan di berbagai negara dengan kondisi lingkungan fisik yang berbeda-beda, dengan penyesuaian dan/atau modifikasi faktor erosivitas hujan (faktor R). Di Indonesia, USLE telah populer digunakan untuk membantu dalam pengelolaan DAS baik perdesaan maupun perkotaan (Pertiwi and Suharnoto, 2001). Persaman dasar yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$A = K \times R \times LS \times CP \quad \text{.....(2)}$$

Di mana: A = rata-rata tahunan kehilangan tanah, R = indeks erosivitas hujan K = index erodibilitas tanah, LS = faktor lereng, L = faktor panjang lereng, dan S = faktor kemiringan, CP = faktor pengelolaan tanaman (C) dan konservasi lahan (P). Dalam penelitian ini akan digunakan metode penghitungan erosivitas hujan (R) berdasarkan indeks agresivitas hujan (*rainfall aggresivity index*, EI30), yang disarankan untuk digunakan di Indonesia oleh Bols (1974) dan (Arsyad, 2006).

c. Analisis tata air

Debit sungai utama

Kondisi aliran sungai dapat dievaluasi melalui besarnya nilai fluktuasi aliran atau debit sungai, sehingga diperlukan data hasil pengamatan dan pengukuran di lapangan secara langsung (biasanya oleh lembaga yang terkait dan datanya tersedia setiap saat). Dalam penelitian ini, fluktuasi debit dihitung untuk menentukan kinerja aliran sungai Baubau, dengan menggunakan rasio debit maksimum (Q_{max}) dan minimum (Q_{min}). Disini, kondisi aliran sungai yang dianggap masih baik adalah yang memiliki $Q_{max}/Q_{min} < 50$ (Ditjen RLPS, 2009).

- ***Analisis laju sedimentasi***

Sedimen terkait erat dengan erosi. Erosi menyebabkan atau menghasilkan sedimen. Dalam penelitian ini dihitung hasil sedimen dari nilai total erosi (yang telah dihitung di atas) dan rasio penghantaran sedimen (*sediment delivery ratio*), dengan persamaan berikut:

$$Sy = A \times SDR \quad \text{.....(3)}$$

Di mana: A = nilai erosi (mm/thn atau ton/thn), Sy = hasil sedimen di DAS (mm/thn atau ton/thn), dan SDR = rasio penghantaran sedimen.

- ***Kandungan pencemar (kualitas air)***

Selain itu dalam penelitian ini juga akan dianalisis kualitas fisik air sungai Baubau untuk mementukan kinerja daerah aliran sungai. Parameter yang dianalisis meliputi suhu, bau, kekeruhan, TDS (*total dissolve solids*), dan TSS (*total suspended solids*). Data tersebut diharapkan telah tersedia melalui berbagai penelitian yang telah dilakukan di Sungai Baubau.

- ***Koefisien limpasan (Runoff)***

Koefisien limpasan (C) adalah bilangan yang menunjukkan perbandingan (nisbah) antara besarnya limpasan terhadap besar curah hujan penyebabnya, nilainya 0<C<1. Misalnya, nilai C=0,2, artinya 20% dari curah hujan menjadi limpasan. Persamaannya adalah:

$$C = Q/P \quad \text{.....} (4)$$

Di mana: Q = tebal limpasan tahunan (mm), dan P = tebal hujan tahunan (mm).

d. Analisis sosial ekonomi

Analisis sosial ekonomi dilakukan secara deskriptif melalui hasil wawancara dan kuisioner dan data statistik. Parameter-parameter yang akan dianalisis adalah sebagai berikut: kepedulian individu, partisipasi masyarakat, tingkat pendapatan, dan produktivitas lahan.

2.3 Analisis Rekayasa Pengembangan Sumber Daya Alam dalam Perspektif Infrastruktur Hijau

Dalam penelitian ini dilakukan empat subkomponen analisis berikut: (i) analisis besaran ruang terbuka hijau (RTH) saat ini dibanding dengan standar kebutuhan ruang terbuka hijau di perkotaan; (ii) analisis kebutuhan pengendalian dengan rekayasa sipil berdasarkan tingkat erosi dan sedimentasi; dan (iii) analisis kebutuhan pengendalian dengan teknik vegetatif berdasarkan tingkat erosi dan sedimentasi. Hasil analisis tersebut kemudian dipetakan sebarannya dalam wilayah studi (yakni prioritas RTH, pengendalian dengan rekayasa sipil, dan pengendalian vegetatif), seperti Tabel 1.

Tabel 1. Pendekatan pengendalian degradasi, pola kota hijau, dan metode pengendalian

No	Pendekatan Pengendalian degradasi lahan	Pola kota hijau yang didukung	Metode pengendalian
1	Rekayasa sipil	Habitat, hidrologik dan produktif	Terasering, talud, drainase, reklamasi (*landfill*), dan lain-lain
2	Teknik vegetatif	Habitat, hidrologik dan produktif	Pertanian yang menggunakan teknik konservasi kawasan hutan lindung. Ruang terbuka hijau (non-pertanian produktif) pada kawasan budidaya

a. Analisis ruang terbuka hijau (RTH)

Ruang terbuka hijau (RTH) merupakan ciri khas utama Kota Hijau, dan menurut amanat UU No. 26 Tahun 2007 tentang Penataan Ruang, RTH minimal untuk wilayah

perkotaan adalah 30%, dari luas wilayah kota. Perbandingan antara besaran ruang terbuka hijau (RTH) saat ini dengan standar kebutuhan ruang terbuka hijau akan digunakan untuk menentukan strategi penambahan RTH yang diintegrasikan dengan model pengendalian vegetatif (dijelaskan di bawah ini).

b. Analisis kebutuhan pengendalian dengan rekayasa sipil

Dalam penelitian ini, pengendalian dengan rekayasa sipil dilakukan sekaligus untuk mengakomodasi ruang bagi kegiatan masyarakat di wilayah perkotaan. Bentuk pengendalian dalam penelitian ini disesuikan dengan stándar konservasi tanah dan air (misalnya pada Arsyad, 2006; Suripin, 2002), yang berbasis pada tingkat resiko erosi dan sedimentasi yang terjadi (dari perhitungan sebelumnya).

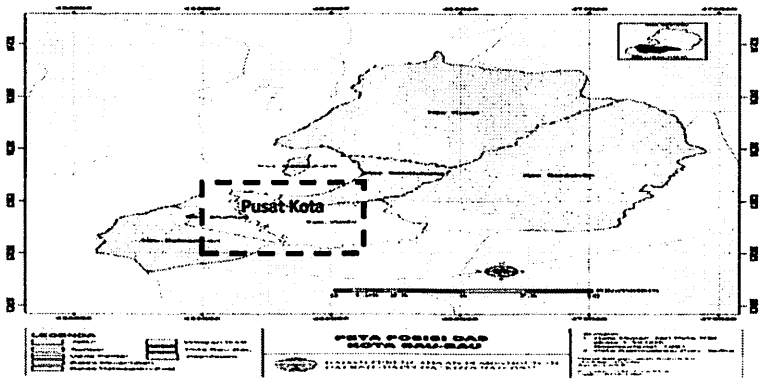
c. Analisis kebutuhan pengendalian dengan teknik vegetatif

Dalam banyak hal, teknik vegetatif lebih diutamakan, dari metode sipil dan metode kimia. Teknik konservasi vegetatif pada umumnya mempunyai manfaat ganda, selain memberikan manfaat konservasi, juga memberikan manfaat produksi pertanian, termasuk hijauan pakan ternak. Selain itu, teknik vegetatif dapat menyediakan tambahan ruang terbuka hijau (RTH) di wilayah perkotaan. Dalam penelitian ini, teknik konservasi vegetatif adalah berdasarkan berbagai stándar pada literatur (misalnya pada Arsyad, 2006; Kartasapoetra, 2000; Suripin, 2002).

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini akan dilaksanakan di Wilayah Kota Baubau dengan wilayah studi adalah daerah aliran sungai (DAS) Baubau (Gambar 2). Secara keseluruhan DAS Baubau memiliki luas 6.159, 80 ha yang terdiri dari Sehingga dengan demikian, DAS Baubau tergolong dalam DAS kecil. DAS Baubau yang berada pada wilayah administrasi Kota Baubau sendiri memiliki luas 5.648,70 ha.



Gambar 2. Lokasi Studi

3.2. Jenis dan Desain Penelitian

a. Jenis penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif yang diintegrasikan dengan pendekatan kualitatif-deskriptif (*mixed approach*). Pendekatan kuantitatif utamanya digunakan pada komponen penelitian yang mengkaji aspek biofisik DAS, termasuk perhitungan dalam pemanfaatan model yang melibatkan parameter-parameter biofisik. Sedangkan pendekatan kualitatif digunakan utamanya untuk menganalisis parameter sosial ekonomi dan kebijakan pengembangan tata guna lahan, berupa wawancara, penyebaran kuisioner, dan studi dokumen.

b. Desain penelitian

Penelitian ini didesain secara terintegrasi dan bersifat berulang-ulang (*iterative*) pada tahap tertentu. Artinya, seluruh komponen penelitian diidentifikasi dan dianalisis secara terintergrasi, dan pada saat dimana harus ada umpan balik (*feedback*) dan *review* maka dilakukan pengulangan pada tahapan tertentu untuk mendapatkan hasil yang diharapkan. Tahapan utama dalam rancangan penelitian ini adalah sebagai berikut: penetapan atas-batas spasial, identifikasi masalah, identifikasi Rresponden dan informan kunci (*key informan*), pengumpulan data dan survei lapangan, pengolahan dan analisis data, analisis dan sintesis, dan analisis strategi rekayasa pengembangan.

c. Jenis dan sumber data

Jenis data dan informasi yang yang akan dikumpulkan dan dianalisis dalam penelitian ini secara garis besar terdiri dari data primer dan data sekunder. Data primer merupakan data yang diperoleh melalui pengamatan langsung kondisi ril di lapangan, termasuk pandangan masyarakat dalam pengembangan DAS yang diberikan selama penyebaran kuisioner, dan wawancara sebagai informasi langsung dari lapangan (*first hand sources*). Sedangkan data sekunder dikumpulkan dari berbagai sumber, baik yang telah berbentuk data dasar (misalnya peta dasar, data statistic, citra satelit), maupun dalam format rencana seperti RTRW Kota Baubau dan rencana pengembangan kawasan-kawasan. Dalam penelitian ini juga digunakan format data spasial (yakni berupa peta-peta) dan data non-spasial atau atribut (yakni berupa data statistik dan data dekriptif).

3.3 Metode Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data dalam studi ini meliputi: (i) survei lapangan; (ii) wawancara dan kuisioner; dan (iii) pengumpulan data sekunder (data statistik, dokumen rencana, dan peta-peta). Survei lapangan dimaksudkan untuk melakukan pengamatan lapangan yang disesuaikan dengan data dasar yang tersedia. Informasi yang diamati meliputi: penggunaan lahan saat ini, intensitas pemanfaatan lahan sekitar sungai, kegiatan perlindungan kawasan termasuk sungai, dan kerapatan vegetasi. Wawancara mementingkan informasi yang bisa diperoleh melalui komunikasi langsung dengan penduduk setempat, yang dilakukan beberapa kali sesuai dengan keperluan penelitian. Pada metode kuisioner, hal-hal yang perlu dirangkum terformat dengan baik dan mencakup berbagai aspek yang berhubungan dengan materi penelitian (tata guna lahan, aktivitas ekonomi, produksi lahan, dan lain-lain). Desain kuisioner akan dibuat berdasarkan cakupan meteri penelitian. Kemudian, pengumpulan dokumen dilakukan pada instansi yang terkait dengan data dan substansi yang diteliti.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan kinerja DAS Baubau, ditemukan bahwa penghitungan IPL adalah hutan dan semak/belukar. Dengan demikian, maka nilai IPL DAS Baubau yaitu 51,36% atau berada pada kisaran 30<IPL<75 dan dikategorikan "sedang". Nilai IPL berada diatas 50%, sehingga dimasukkan ke dalam kategori DAS "sehat",

Tingkat erosi aktual yang tinggi yaitu pada kelas lebih besar dari 50 ton/ha/th seluas 2.163,13 ha atau (34,83%) kategori "Sangat tinggi", selanjutnya masing-masing di ikuti oleh kelas 1 – 5 ton/ha/th seluas 2.022,04 ha atau (32,56%) kategori "rendah", kelas 5 – 25 ton/ha/th seluas 922,35 ha atau (14,85%) kategori "sedang", kelas 0 – 1 ton/ha/th seluas 743,13 ha atau (11,97%) kategori "sangat rendah" dan kelas 25 – 50 ton/ha/th seluas 357,25 ha atau (5,79%).

Debit air tertinggi di Sungai Baubau adalah sebesar 3,47 m^3/detik sedangkan debit terendah 0,25 m^3/detik, yang berarti perbandingan debit tertinggi dan terendah adalah 13.88. Sehingga, DAS Baubau secara keseluruhan masih baik karena nilai perbandingan debit tertinggi dan terendah suatu DAS yang dikatakan baik adalah 50.

Tingkat sedimentasi terbesar yaitu <2 ton/ha/th dengan kriteria 'baik"seluas 29,59 ha atau (47,65%), selanjutnya masing-masing di ikuti oleh tingkat sedimentasi lebih besar dari 5 ton/ha/th dengan kriteria "jelek" seluas 2.450,87 ha atau (39,47%) dan tingkat sedimentasi antara 2 - 5 ton/ha/th dengan kriteria "sedang" seluas 799,84 ha atau (12,88%)

Kondisi rata-rata air sungai Baubau dengan batas maksimum diperbolehkan, yaitu: suhu air 28,5°C dari 30°C, tidak bau, kekeruhan 2,75 NTU dari 5 NTU, TDS 480,25 mg/l dari 1000 mg/l, dan TSS 3,77 mg/l dari 50. Dengan demikian, kualitas air sungai masih baik atau belum melampaui ambang batas baku mutu lingkungan.

Nilai koefisien aliran permukaan DAS Baubau tertinggi yaitu pada tingkat kelas sedang yaitu pada interval 0,25 - 0,50 seluas3.736,01 ha atau (60,16%), selanjutnya di ikuti oleh nilai koefisien aliran permukaan yang kurang dari 0,25 dengan kelas "baik" seluas 1.386,45 ha atau (22,33%), dan nilai koefisien aliran permukaan yang lebih dari 0,50 kelas "tinggi" seluas 1.087,44 ha atau (17,51%)

Hasil analisis kriteria dan indikator penggunaan lahan dan tata air dapat dilihat pada Tabel 1 berikut. Dengan menggunakan sistem penskoran 1 = baik, 2 = sedang, dan 3 = buruk, maka terlihat bahwa capaian untuk indikator penggunaan lahan IPL tergolong baik (skor kumulatif 1,03), sedangkan erosi tergolong sedang (skor kumulatif = 1,90). Demikian pula terhadap kriteria tata air, dimana capaian indikator berkisar pada kategori sedang dan baik. Hasil penilaian keseluruhan indikator DAS Baubau menunjukkan skor kumulatif 1,47, yang berarti bahwa nilai tersebut berada antara kisaran sedang (2,0) dan baik (1,0).

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian di lapangan, kajian dan sintesis secara mendalam, dan analisis spasial maka pada keseluruhan penelitian ini dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Tipologi dan keadaan biofisik DAS Baubau secara keseluruhan berkinerja antara "baik" dan "sedang" (skala 1,47 dari 3,0), dengan rincian indeks penggunaan lahan berkinerja "baik", 65,2% wilayah DAS memiliki erosi dengan tingkat kinerja "baik" dan "sedang" (34,8% "buruk"), debit sungai utama "baik", 60,6% wilayah DAS Baubau memiliki sedimentasi dengan tingkat kinerja kinerja "baik" dan "sedang"

(39,4% "buruk"), 88,5% wilayah DAS Baubau memiliki aliran permukaan dengan tingkat kinerja "baik" dan "sedang" (21,5% "buruk"), dan kualitas air keseluruhannya masih baik.

2. Jenis, distribusi (letak secara spasial) dan luas tata guna lahan saat ini (*exisiting land use*) secara signifikan mempengaruhi kinerja DAS Baubau, baik pada area belum terbangun *(non built-up area)* utamanya pertanian dan kehutanan di wilayah hulu DAS, area terbangun *(built up area)* pada kawasan perkotaan, dan kawasan *buffer* 500 meter.
3. Rekayasa pengembangan sumber daya alam dan buatan yang paling efektif untuk memperbaiki kinerja DAS Baubau adalah melalui integrasi teknik vegetatif dan teknik rekayasa sipil yang dapat meningkatkan proporsi luas wilayah DAS dengan tingkat sedimentasi < 2 ton/ha/tahun (kriteria "baik") dari 42,2% menjadi 89,9%. Pendekatan terintegrasi antara rekayasa sipil maupun vegetatif tersebut menjamin terbentuknya pola infrastruktur kota hijau *(green city),* baik dari aspek ekologis sosial ekonomi, maupun estetika.

6. DAFTAR PUSTAKA

1. Arsyad S. (2006). *Konservasi Tanah dan Air*. Bogor: IPB Press.
2. Auger, P., S. Charles, M. Viala, and J. C. Poggiale. (2000). *Aggregation and emergence in ecological modelling: Integration of ecological levels*. Ecological Modeling 127:11–20.
3. Baja, S., Chapman, D. M., and Dragovich, D. (2002). *A conceptual model for defining and assessing land management units using a fuzzy modelling approach in GIS environment*. Environmental Management, Volume 29: 647-661.
4. Kartasapoetra G., Kartasapoetra A.G., Mul Mulyani S. (2000). *Teknologi Konservasi Tanah dan Air.* Edisi kedua. Rineka Cipta, Jakarta.
5. Pertiwi, S. and Suharnoto, Y. (2001). *Decision support on management of conservation upland farming through internet*. Proccedings of SEAG Symposium: Resource Management: Private-Public Partnership and Knowledge Sharing, 27.-31 August, Los Baños, The Philippines.
6. Seppelt, R. and Voinov, A. (2002). *Optimization methodology for land use patterns using spatially explicit landscape models*. Ecological Modelling 151: 125–142
7. Suroso dan Susanto, H.A. (2006). *Pengaruh perubahan tata guna lahan terhadap debit banjir Daerah Aliran Sungai Banjaran*. Jurnal Teknik Sipil Vol. 3: 75-80.
8. Van Lier, H.N., and de Wrachien, D. (2002). *Land use planning: a key to sustainable development*. Proceedings of International Symposium Actual Tasks on Agricultural Engineering, 12-15 March, Opatija.
9. Wischmeier, W.H. and Smith, D.D. (1978). *Predicting Rainfall Erosion Losses: A Guide to Conservation Planning*. USDA Agriculture Handbook No 537. U.S. Department of Agriculture, Washington D.C.

KAJIAN SISTIM PENGEMBANGAN SUMBER DAYA AIR di DAERAH KERING PULAU-PULAU KECIL NTT

Didik Kresnohadi[1], Denik Sri Krisnayanti[2]

[1]*Ketua Jurusan Teknik Sipil, Akademi Teknik Kupang, Kupang, Telp. 081-1383-748, email: archillogic_ntt@yahoo.co.id*
[2]*Dosen Jurusan Teknik Sipil, Universitas Nusa Cendana, Kupang, Telp 081-2379-4142, email: denik219@yahoo.com*

ABSTRAK

Nusa Tenggara Timur merupakan provinsi kepulauan yang terdiri dari tiga pulau besar, yakni P.Timor,P.Sumba dan P.Flores,selebihnya terdapat pulau-pulau kecil yang berjumlah sekitar 1192 buah,dimana 1150 pulau tak berpenghuni,sementara itu pulau kecil tersebut memiliki potensi sumber daya alam yang cukup besar. Untuk cadangan air,selain pulau besar,di pulau-pulau kecil juga mempunyai cadangan air tawar relatif kecil ,karena disekitar pulau tersebut dikelilingi oleh air laut yang dengan mudah terjadi proses penyusupan air laut ke darat yang disebut intrusi.
Curah hujan yang terjadi di pulau kecil relatif lebih rendah dari pada curah hujan yang jatuh di pulau besar yang mempunyai daratan yang lebih luas.Ini disebabkan karena siklus hidrologis yang terjadi di pulau kecil termasuk siklus sedang dan harus mendapat perhatian yang khusus karena besarnya air limpasan atau air permukaan dan cadangan air tanah tegantung pada besarnya intensitas curah hujan,bentuk kofigurasi topografi,porositas tanah dan vegetasi.
Untuk mengatasi keterbatasan akan air baku bagi masyarakat di daerah kering pulau-pulau kecil NTT maka perlu digunakan teknologi tepat guna (*appropriate technology*). Kriteria teknologi tepat guna antara lain: bahan/ material setempat ; *skill*/ketrampilan setempat dan peralatan setempat. Adapun itu dilakukan dengan cara pengembangan SDA seperti : Penampungan Air Hujan (PAH) dari ferocement atau bak tampung , pengolahan air payau /air laut menjadi air baku, pengolahan air limbah untuk mendapatkan air baku, pasokan air baku yang berasal dari pulau-pulau sekitarnya, penampungan air baik yang dilakukan di permukaan dalam bentuk reservoir terbuka atau berupa pembuatan tandon ataupun kolam-kolam di bawah permukaan berupa Akuifer Buatan dan Simpanan Air Hujan (ABSAH), ekploitasi air tanah seperti pembuatan sumur pengumpul berupa sumur dangkal dan parit pengumpul dibawah permukaan, konstruksi embung kecil dimungkinkan bila memenuhi persyaratan teknis geologis.

Kata Kunci : daerah kering, air baku, pengembangan SDA

1. PENDAHULUAN

Kawasan pulau-pulau kecil memiliki potensi sumberdaya alam dan dapat dijadikan modal dasar pelaksanaan pembangunan Indonesia di masa yang akan datang.Kawasan ini menyediakan sumber daya alam yang produktif seperti hutan mangrove,terumbu karang dan kawasan konservasi.Pulau-pulau kecil ini juga menyediakan jasa lingkungan yang tinggi karena keindahan alam yang dapat menggerakkan industri pariwisata bahari. Di lain pihak,pulau-pulau kecil yang berpenghuni tentunya membutuhkan suatu fasilitas sarana dan prasarana pendukung demi kenyamanan dan keamanan dalam kehidupan menghuni pulau-pulau tersebut terutama penyediaan sumber air.Kondisi alam yang begitu terbatas sehingga terdapat beberapa batasan-batasan atau parameter yang tidak bisa disamakan dengan batasan dan parameter di pulau besar.
Ada beberapa cara lain yang dalam pendayagunaan sumber daya air melalui kegiatan penyediaan sumber air yang dapat dikembangkan selain embung kecil. Dengan harapan pengembangan cara - cara tersebut dapat dijadikan pelengkap bagi penyediaan air

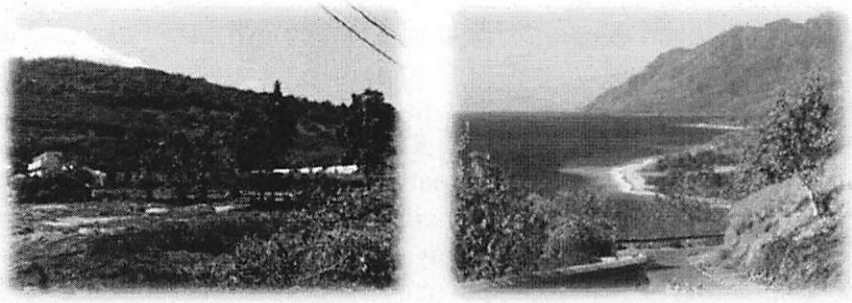
selain embung manakala dilokasi tertentu sulit dibangun. Alternatif pengembangan sumber daya air di pulau kecil dan pada daerah kering yang mengalami masalah antara lain tidak tersediannya sumber-sumber air yang cukup untuk dapat memenuhi kebutuhan konsumsi air baku (skala prioritas, minum, mandi, cuci dan tanamanan). Kelebihan air di musim penghujan dengan intensitas curah hujan yang tinggi sedangkan durasi hujan yang pendek menyebabkan air hujan tidak sempat meresap kedalam tanah sehingga terbuang secara sia-sia ke laut. Alternatif pengembangan ke depan bisa dilakukan dengan konstruksi pengumpul air atau jebakan-jebakan air yang bisa menahan dan menampung air,sementara itu aliran limpasan perlu ditahan agar cukup waktu untuk meresap kedalam tanah yang pada akirnya menambah devisa jumlah air didalam tanah (konservasi) .Selain dari pada itu alternatif lainnya juga diharapkan untuk membuat sarana dan prasarana penampung kelebihan air selama musim penghujan tersebut yang selanjutnya dimanfaatkan untuk berbagai keperluan tatkala air tersebut dibutuhkan.

2. GAMBARAN UMUM WILAYAH STUDI

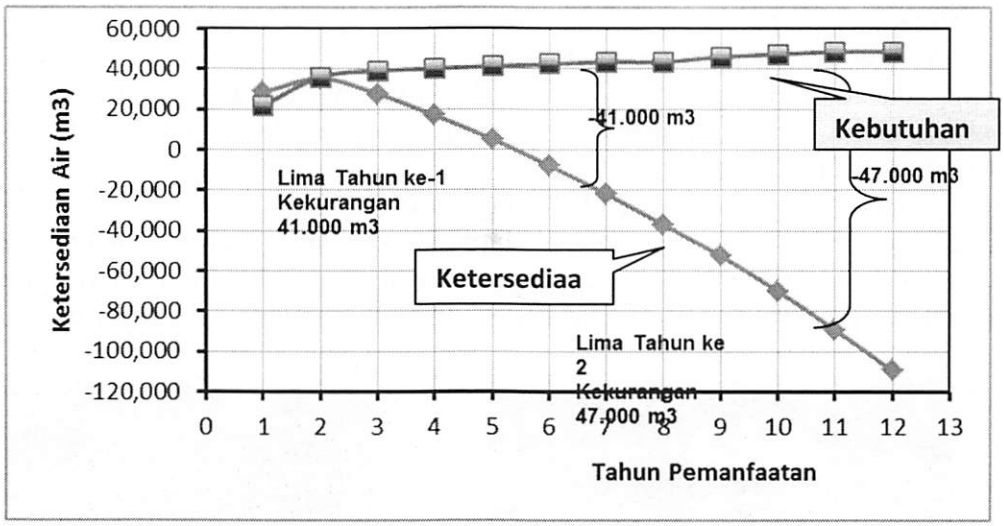
Pulau-pulau kecil umumnya didefinisikan berdasarkan luasan pulau dan jumlah penduduk yang menghuni pulau tersebut.Tetapi ada juga definisi pulau kecil didasarkan atan luasannya saya.Semua itu tergantung dari beberapa kepentingan dalam mengelola pulau-pulau kecil tersebut,seperti kepentingan Hankamnas, kepentingan ekologis, kepentingan pengembangan sumber daya air dan sebagainya.
Provinsi Nusa Tenggara Timur memiliki 1.192 pulau dimana 1.150 pulau tidak berpenghuni. Khusus untuk lingkup pekerjaan studi pulau-pulau kecil tersebut yang terletak di wilayah 4 Kabupaten dan masih memiliki pulau kecil lainnya yakni:

2.1. Pulau Alor

Alor adalah merupakan pulau yang terletak di ujung timur Kepulauan Nusa Tenggara Timur. Pulau ini dibatasi oleh Laut Flores dan Laut Banda di sebelah utara, Selat Ombai di Selatan (memisahkan dengan Pulau Timor), serta Selat Pantar di Barat (memisahkan dengan Pulau Pantar). Pulau Alor adalah satu dari 92 pulau terluar Indonesia karena berbatasan langsung dengan Timor Leste di sebelah selatan.
Pulau Alor merupakan salah satu dari dua pulau utama di Kabupaten Alor, Provinsi Nusa Tenggara Timur. Di pulau ini terdapat Kota Kalabahi, ibukota Kabupaten Alor.



Gambar 1. Topografi P. Alor



Gambar 2. Grafik Ketersediaan vs Kebutuhan di Teluk Mutiara

Pulau Alor yang masih termasuk katagori pulau besar mempunyai sumber air alami yang cukup banyak,seperti sumber air permukaan berupa aliran sungai-sungai, beberapa lokasi mata air.Walaupun demikian masih terdapat dibeberapa lokasi masih memanfaatkan air hujan untuk keperluan domestik.

Pengembangan sumber daya air di pulau Alor masih dimungkinkan dengan memanfaatkan sumber-sumber air alami tersebut dengan membuat embung-embung,bendung untuk irigasi dan air tanah dengan mebuat sumur bor dalam.

2.2. Pulau Pantar

Pulau Pantar merupakan salah satu pulau kecil yang mempunyai luas 754,53 Km^2 ,termasuk wilayah Kabupaten Alor .Pulau ini dibatasi oleh Laut Flores dan Laut Banda di sebelah utara, Selat Pantar di Timur, Selat Ombai di Selatan, serta Selat Alor di Barat. Pulau Pantar merupakan bentukan tektonik vulkanik,dengan topografi berbukit .

Pengembangan Sumber Air di Pulau Pantar untuk keperluan domestik masih didominasi dengan sumber air hujan.Sedangkan untuk pertanian,masyarakat masih mengharapkan air hujan untuk kebun dan perladangan mereka.Sawah tadah hujan atau disebut sawah ladang terdapat dikawasan Pantar Tengah dan Pantar Timur

Khususnya di Kecamatan Pantar Tengah,merupakan wilayah yang sulit sumber air permukaan,oleh karenanya dapat dikembangkan sumber air hujan dengan membuat embung-embung.Lokasi yang cukup dapat diharapkan antara lain desa Aramaba,Kecamatan Pantar Tengah. Didaerah tersebut sudah ada embung alam yang bisa dikembangkan bangunan embung.

Gambar 3. Embung alam di Aramaba

Selain dari pada itu,dibeberapa tempat terdapat mata air yang potensi untuk dimanfaatkan hanya kondisinya tidak terawat seperti di Kecamatan Baranusa. Diperlukan perbaikan bangunan *captering* untuk mengoptimasi pemanfaatan mata air tersebut.

2.3. Pulau Adonara

Pulau Adonara terletak pada posisi: S 8°20'8,6" E 123°12'18,3". Luas wilayah pulau 556 km², dan titik tertingginya 1.676 m. Pulau ini dibatasi oleh Laut Flores di sebelah Utara, Selat Solor di Selatan (memisahkan dengan Pulau Solor), serta Selat Lowotobi di Barat (memisahkan dengan Pulau Flores). Topografi di pulau Adonara ini merupakan pegunungan, berbukit-bukit dan lembah yang curam.

Terdapat beberapa mata air sudah dimanfaatkan masyarakat dengan membuat perpipaan.Akan tetapi pengaturan belum tertata dengan baik sehingga menimbulkan konflik diantara masyarakat itu sendiri di desa Puhu,Kecamatan Adonara Timur.

Gambar 4.a. PAH di ds Adobala Kecamatan Kiblagolit

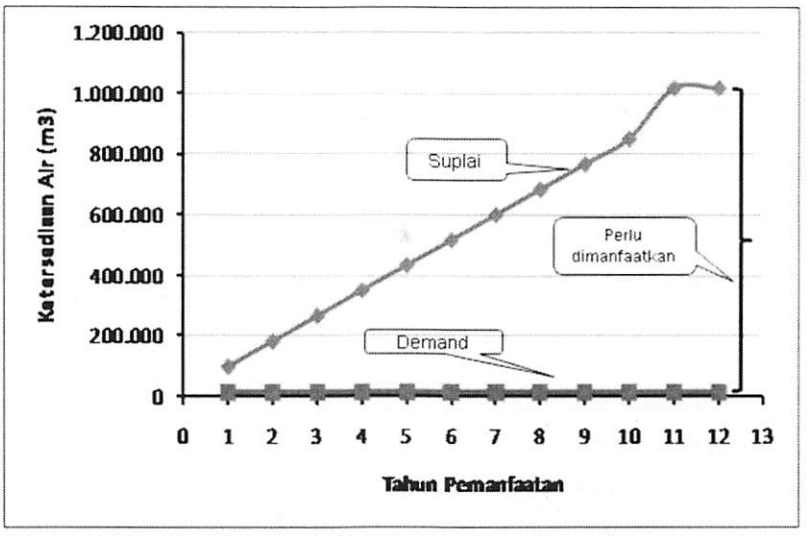
Gambar 4.b. Sumur payau di desa Nelereren, Adonara dipakai untuk mandi/cuci

Setiap rumah masyarakat umumnya terdapat PAH dari pasangan batu dan ferosemen. Menurut informasi dari Kepala Dinas Pekerjaan Umum Kabupaten Flores Timur bahwa untuk air bersih Pulau Adonara tidak mengalami kesulitan yang signifikan.Terdapat tiga sumber mata air yang cukup besar apabila dikelola dengan baik akan mencukupi kebutuhan sebagian besar masyarakat Adonara,walau sebagian lain masih menggunakan air hujan untuk minum.Terdapat beberapa bangunan embung yang dibangun oleh Pertanian,akan tetapi tidak berfungsi dengan baik.

2.4. Pulau Palue

Kecamatan Palue adalah salah satu wilayah administrasi kecamatan di Kabupaten Sikka yang letaknya ± 93 Km dari Ibukota Maumere. Untuk pulau Palue mempunyai siklus hidrologi sedang. Dari data stasiun hujan yang ada menunjukkan bahwa curah hujan yang jatuh di pulau cukup tinggi. Pemanfaatan air hujan belumlah optimal.Hal tersebut tergambar pada gambar 5.

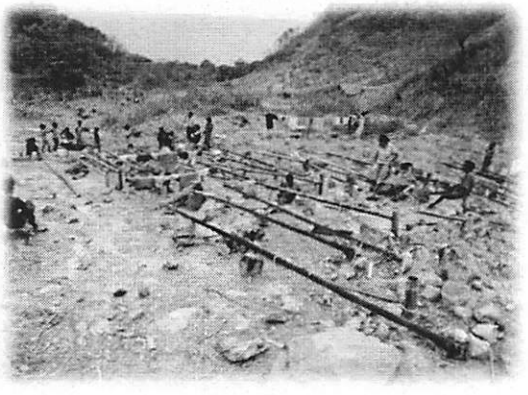
Kualitas air tanah sangat tidak memenuhi standar baku mutu, payau dan kadang-kadang berwarna kuning.Hal ini karena pulau Palue terdapat gunung api yang masih aktif, gunung Rokatenda yang sekali-sekali menggetarkan gempa tremor.



Gambar 5. Grafik Potensi Hujan Antara Suplai vs Kebutuhan

Pulau Palue merupakan pulau vulkanik yang tidak memiliki sumber air alami kecuali air hujan. Kondisi topografi yang terjal dan curah hujan yang relatif jarang memungkinkan tidak ada aliran sungai pada alur-alur bukit. Data pada stasion hujan di pulau tersebut tercatat bahwa curah hujan terjadi pada bulan Nopember sampai April,dengan jumlah hari hujan rata-rata hanya 54 hari per tahun,dan rata-rata tinggi curah hujan 956 mm/tahun. Masyarakat hanya memanfaatkan air hujan untuk kebutuhan air minum,sedangkan untuk kebutuhan lainnya mereka menggunakan sumur-sumur gali yang airnya payau. Terdapat bangunan Penyimpan Air Hujan (PAH) pada masing-masing rumah,akan tetapi air yang tertampung belum dapat mencukupi untuk kebutuhan domestik mereka.Untuk mengatasi kekurangan air terutama di desa Kesokoja,Reruwaerere,masyarakat memanfaatkan uap geothermal yang disuling dengan memakai bambu,yang bisa menghasilkan 5 – 10 liter air sulingan sehari semalam.

Gambar 6.a. Bangunan PAH



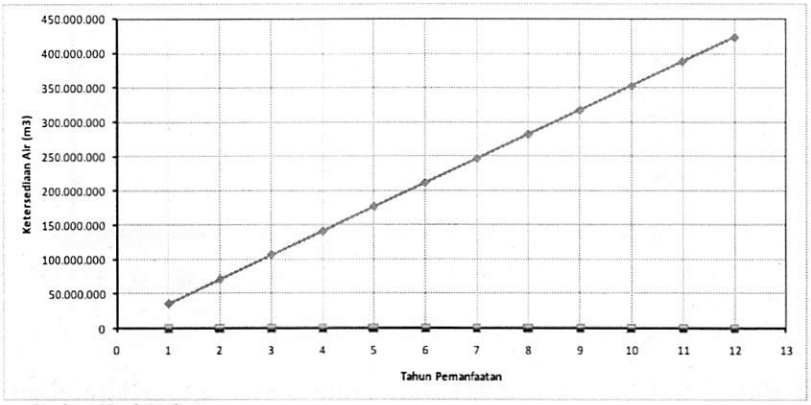
Gambar 6.b. Salah satu alternatif air minum,uap geothermal

2.5. Pulau Ende

Sebuah pulau yang terletak di perairan sebelah selatan Pulau Flores. Secara administratif, pulau ini termasuk wilayah Kabupaten Ende, Provinsi Nusa Tenggara Timur, Indonesia. Luas Pulau Ende adalah 63,03 km² dan dihuni oleh 8.016 jiwa yang tersebar di tujuh desa yang berada di dataran pantai dan di dataran tinggi. Dari ke tujuh desa ini desa Pu'utara memiliki populasi tertinggi yaitu 1.516 jiwa padahal desa ini

merupakan desa yang paling rawan air. Di bagian utara pulau ini terdapat gunung Umbu Ra Mbatu.

P.Ende juga mempunyai siklus hidrologi sedang.



Sumber: Hasil Analisis

Gambar 7. Grafik curah hujan vs kebutuhan

Sumber air yang dapat diandalkan di pulau Ende adalah sumber air hujan,yang ditampung pada Penampung Air Hujan (PAH). Pulau Ende saat kini memiliki julukan baru, yakni pulau 1.000 penampung air hujan. Setidaknya sejak tiga tahun lalu, masyarakat tidak terlalu susah soal air bersih karena cukup terpenuhi dari teknologi penampung air hujan,yang dulunya sulit mendapatkan air bersih untuk minum dan memasak.Untuk memperoleh air minum yang sehat, mereka harus mencarinya hingga Numba atau Kota Ende di daratan Flores.

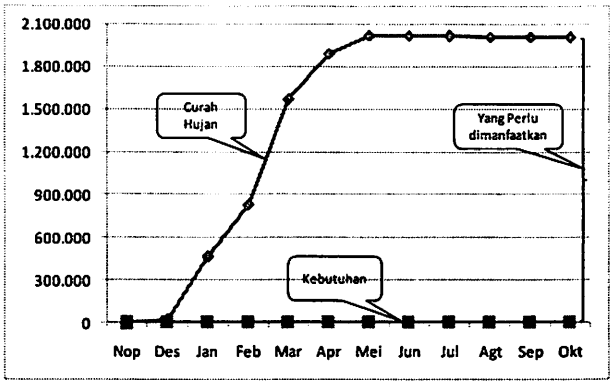
Gambar 8. Sumur Tawar di desa Ajeti

Waktu dulu mereka mengonsumsi air sumur di sini sering sakit perut dan diare karena mungkin memasak air tidak terlalu matang.Terdapat di beberapa lokasi sumur terdapat airnya tawar. Air dari sumur kalau makin lama dimasak rasanya semakin asin.Pulau Ende secara topografi merupakan daerah kepulauan dengan tekstur tanah berpasir dan tandus.

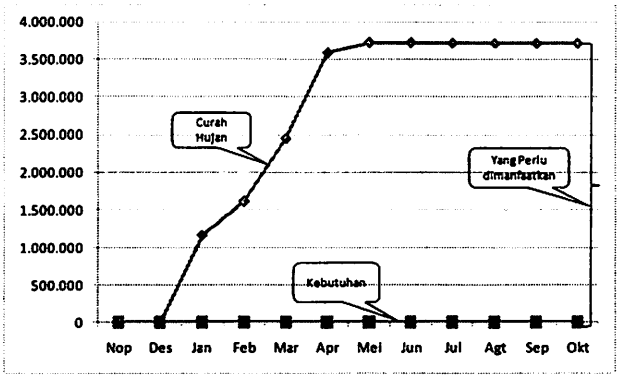
Secara hidrologi, di Pulau Ende tidak terdapat air tanah yang memenuhi syarat kesehatan, baik secara fisik maupun bakteriologis. Hal itu termasuk sumur-sumur gali.Berbagai upaya pemerintah pusat, provinsi, maupun kabupaten bersama lembaga donatur telah dilakukan guna melayani kebutuhan air bersih melalui pemboran air tanah, eksploitasi air dari daratan Pulau Flores, serta penyulingan air laut dengan sistem tenaga surya.

3. ANALISIS ASPEK HIDROLOGI

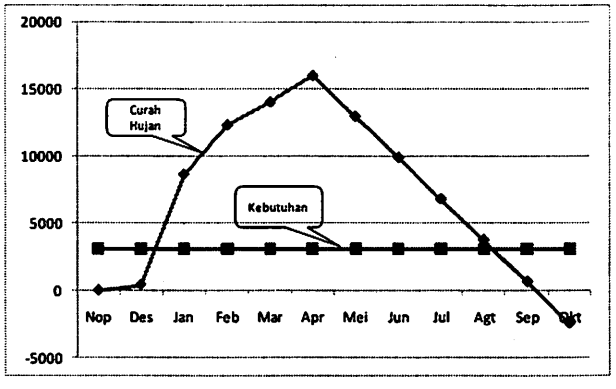
Dari data yang diperoleh dan telah dianalisis pada setiap lokasi maka dapat dilihat pada Gambar 9 sampai dengan Gambar 12, tercantum dibawah ini:



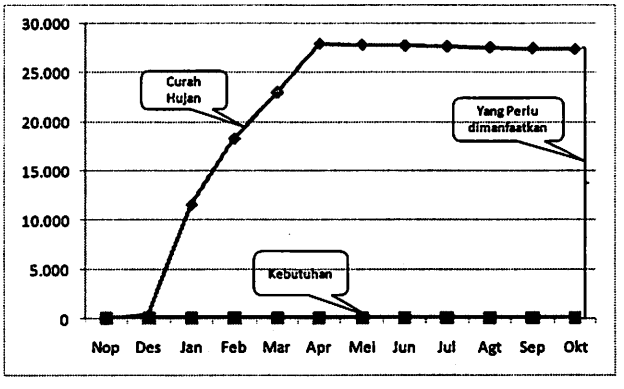
Gambar 9.1. Curah Hujan vs Kebutuhan untuk Kecamatan Adonara Timur



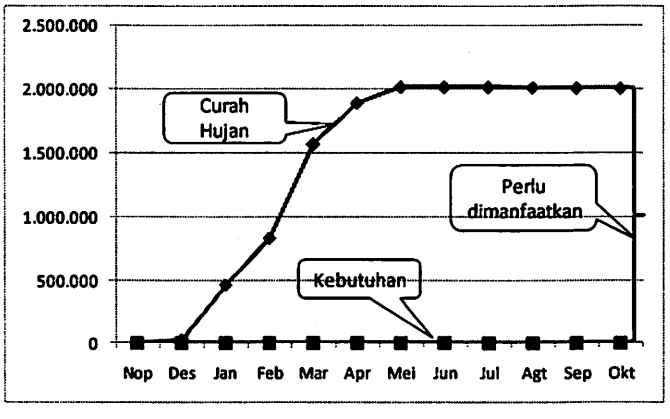
Gambar 9.2. Curah Hujan vs Kebutuhan untuk Ds. Rokilole Kec. Palue



Gambar 9.3. Curah Hujan vs Kebutuhan untuk Teluk Mutiara, Alor



Gambar 9.4. Curah Hujan vs Kebutuhan untuk Pantar Timur



Gambar 9.5. Curah Hujan vs Kebutuhan untuk di Pulau Ende

Tabel 1. Hujan Rerata Tahunan

No	*LOKASI*	*HUJAN RERATA TAHUNAN*
1	*Larantuka*	*141 mm*
2	*Palue*	*956 mm*
3	*Alor*	*802 mm*
4	*Pantar*	*802 mm*
5	*Ende*	*45 mm*

Dari hasil analisis curah hujan di pulau-pulau kecil yang ada, tampak bahwa potensi sumber air hujan cukup banyak untuk dapat dikembangkan sebagai alternatif sumber air guna memenuhi kebutuhan air baku di pulau kecil.Konstruksi yang dapat dibangun untuk menampung air hujan antara lain: embung,PAH,ABSAH,dan tentunya bangunan

tersebut direncanakan dengan mempertimbangkan kondisi geologi,topografi dan kearifan lokal dalam menerima penerapan teknologi tersebut.
Analisis kebutuhan air bersih berdasarkan perhitungan sarana sumber air dari data yang ada pada saat ini.Sarana sumber air tersebut berupa PAH,mata air,embung dan sumur bor.Dalam hal ini sumber air permukaan seperti sungai tidak dimasukkan karena belum ada pengelolaan khusus pengambilan air untuk air bersih.Namun hal tersebut menjadikan cadangan dalam pengelolaan air bersih dimasa mendatang.

4. BANGUNAN ALTERNATIF SUMBER DAYA AIR

4.1. Konsep Perencanan Bangunan Penyediaan Sumber Air

Perencanaan bangunan alternatif sumber daya air dipulau Alor, P.Pantar, P.Adonara, P.Palue dan P.Ende ini dibuat berdasarkan kemampuan daya dukung sumber daya air yang terdapat di pulau-pulau tersebut. Kondisi lokal yang dimaksud antara lain adalah:

- Kondisi iklim dan hidrologi kawasan pulau yang terkait dengan pemilihan alternatif potensi sumber air yang bisa diandalkan.
- Kondisi geoteknik pada lokasi rencana bangunan dan kuantitas dan kualitas material lokal.
- Kondisi topografi pada permukiman penduduk.
- Kondisi bangunan sumber air yang ada termasuk sistim pemanfaatan yang sudah dianut oleh masyarakat setempat.
- Jumlah penduduk .

Dari kondisi tersebut masih terdapat beberapa hal yang menjadi pertimbangan perencanaan diantaranya:

- Menekan sebesar mungkin pemakaian material non lokal ,terutama penggunaan air untuk P.Palue dan P.Ende.
- Sejauh mana pembangunannya nanti bisa menyerap tenaga lokal dengan ketrampilan lokal,yang berarti menggunakan teknologi yang sederhana,peralatan ringan dan material setempat.

Selain membangun konstruksi penyedia sumber air,diperlukan juga konstruksi untuk menjaga kelangsungan keberadaan,daya dukung,daya tampung dan fungsi sumber daya air yang berarti melakukan kegiatan perlindungan dan pelestarian sumber daya air dengan mengacu kepada pola pengelolaan sumber daya air yang ditetapkan pada wilayah sungai termasuk didalamnya pulau-pulau kecil.

4.2. Perencanaan Bangunan Sumber Air

Dari konsep dan kriteria perencanaan tersebut,maka disajikan beberapa konstruksi alternatif dengan prioritas penyediaan air baku untuk keperluan domestik yang bisa diterapkan di lokasi yang terpilih,antara lain:

a. Bangunan Penampung Air Hujan (PAH)

Bangunan tersebut dibuat dan berfungsi sebagai penyedia air baku domestik dengan memanfaatkan sumber air hujan dengan membuat atap miring sebagai tempat tangkapan hujan. Perhitungan hidrologis sangat sederhana dengan menghitung rerata curah hujan yang jatuh pada luasan atap sehingga dapat memanen sejumlah volume tampungan.

b. Bangunan Akuifer Buatan Simpanan Air Hujan (ABSAH)

Akuifer Buatan Simpanan Air Hujan , (*Bambang Soenarto,2002,LitBang PU*) merupakan bangunan penyedia air mandiri,yaitu diartikan yang terlepas dari sistim

penyediaan air baku yang umum dan yang memungkinkan untuk diselenggarakan secara berswadaya.Bangunan ini merupakan hasil modifikasi dari bangunan bak penampung hujan,yang tersusun atas empat bak,yakni bak pemasukan air,bak akuifer buatan,bak tampungan air dan bak pengambilan air media / lapisan tanah yang dibuat atau ditata ulang untuk menyimpan dan mengalirkan air di dalam tanah sehingga dapat menjadi sumber air yang berkelanjutan.

c. **Bangunan Embung**
Embung adalah suatu bangunan untuk menampung air dari limpasan hujan yang terletak pada lereng /alur bukit . Pembuatan embung direncanakan dibangun di desa Ojoporo, Kecamatan pulau Palue.Kondisi tanah dilokasi tersebut mempunyai porositas tinggi sehingga kolam embung harus diberi pelindung geomembran.

5. KESIMPULAN

a. **Aspek Konservasi Sumber Daya Air**
Untuk di lokasi 5 pulau kecil ,Konservasi SDA belum dilakukan sepenuhnya ,yang baru dilakukan adalah kegiatan konservasi pada kawasan pesisir pantai dengan melakukan penanaman mangrove (P.Pantar dan P.Adonara).

b. **Aspek Tata Ruang**
Sampai saat ini belum ada penataan ruang pulau kecil yang mengarah kepada pengelolan sumber daya air yang ada secara detail.Pola Pengelolaan Wilayah Sungai yang ada baru membahas tentang pola pengelolaan di pulau besar.

c. **Aspek Sosial Ekonomi**
Masyarakat yang bermukim di pulau kecil merupakan penduduk asli kepulauan tersebut.Umumnya permukiman penduduk yang padat berada di ibukota kecamatan.Kehidupan nelayan menjadi mata pencaharian pokok ,sedangkan pertanian lahan basah hanya di P.Alor,dan P.Adonara dengan luasan areal yang tidak begitu besar.
Masyarakat mengkonsumsi sumber air hujan,satu-satunya sumber air untuk minum (Palue dan P.Ende),sehingga pada musim kemarau air minum sangat sulit didapat.Sedangkan di P.Alor,Pantar dan P.Adonara masih ada alternatif sumber air lain seperti air permukaan,dan air tanah.

d. **Aspek Hidrologi**
Hidrologi di pulau Palue , P. Ende dan P.Pantar memiliki siklus sedang,sehingga air limpasan hujan tidak sempat meresap untuk imbuhan air tanah.Akibatnya kebanyakan air di di dalam sumur-sumur gali tingkat kegaramannya tinggi atau payau.Analisis curah hujan pada lima pulau menunjukkan adanya signifikansi curah hujan,dan belum dimanfaatkan secara optimal.
Potensi air tanah dalam dapat dimungkinkan adanya kegiatan eksplorasi di kawasan Pantar Tengah,Adonara bagian Timur dan Alor .

e. **Aspek Pengembangan Sumber Daya Air**
Pengembangan sumber daya air di pulau kecil umumnya masih mengandalkan sumber air hujan.Oleh karenanya kebutuhan masyarakat akan air minum ditujukan kepada sumber air yang terdapat di pulau tersebut Sesuai dengan potensi sumber air yang bisa diandalkan.

f. **Aspek Pengendalian Daya Rusak Air**
Perlindungan dan pelestarian sumber air dapat dilakukan dengan kegiatan fisik dan non fisik. Untuk mendukung kebijakan pemerintah dalam upaya meningkatkan

kegiatan pemberdayaan dan peran serta masyarakat dan dalam upaya menyeimbangkan fungsi sosial, lingkungan dan ekonomi pengembangan SDA. Untuk pulau-pulau kecil dan terpencil belum tersentuh adanya kegiatan konservasi.

6. DAFTAR PUSTAKA

1. Asdak, Chay, 2002b, Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai (edisi revisi), Yogyakarta : Gadjah Mada University Press.
2. Badan Pusat Statistik Kabupaten Alor, 2010 : Alor Dalam Angka Tahun 2010, Kabupaten Alor
3. Badan Pusat Statistik Kabupaten Ende, 2010 :Kabupaten Ende Dalam Angka Tahun 2010, Kabupaten Ende.
4. Badan Pusat Statistik Kabupaten Sikka, 2010 : Kabupaten Sikka Dalam Angka Tahun 2010, Kabupaten Sikka.
5. Badan Pusat Statistik Kabupaten Flores Timur 2009,Kabupaten Flores Timur Dalam Angka,2009,Kabupaten Flores Timur.
6. Balai Hidrologi,2003,Departeman Permukiman Dan Prasarana Wilayah,Pusat Penelitian Dan Pengembangan Sumber Daya Air,Teknologi Penyediaan Air Baku
7. Balai Hidrologi,2003,Departeman Permukiman Dan Prasarana Wilayah,Pusat Penelitian Dan Pengembangan Sumber Daya Air,Penyediaan Air Baku di Pulau Kecil.
8. Balai Hidrologi,2003,Departeman Permukiman Dan Prasarana Wilayah,Pusat Penelitian Dan Pengembangan Sumber Daya Air,Filosofi Dan Perhitungan Ukuran Bangunan Akuifer Buatan Dan Simpanan Air Hujan (ABSAH)
9. Dinas Pekerjaan Umum Provinsi Nusa Tenggara Timur,Rencana Strategis (RENSTRA) Tahun Anggaran 2009 – 2013
10. Kementrian Pekerjaan Umum,2011,Badan Penelitian Dan Pengembangan, Desiminasi dan Sosialisasi Standar,Pedoman dan Manual Bidang Sumber Daya Air
11. Balai Wilayah Sungai Nusa Tenggara II,2009,Laporan Akhir, Penyusunan Pola Pengelolaan SDA Wilayah Sungai Aesesa di Pulau Flores.
12. National Academy Of Sciences Washington,DC,1974,More Water for Arid Lands
13. Pemerintah Provinsi Nusa Tenggara Timur,2010,Rencana Tata Ruang Wilayah Provinsi Nusa Tengara Timur Tahun 2010-2030
14. Pemerintah Daerah Kabupaten Alor,Rencana Strategis (RENSTRA) Kabupaten Alor 2009-2014.
15. Pemerintah Daerah Kabupaten Flores Timur,Rencana Strategis (RENSTRA) Kabupaten Flores Timur,
16. Pemerintah Kabupaten Sikka ,Kecamatan Palue tahun 2011,Profil Kecamatan Palue
17. Pemerintah Kabupaten Sikka,Rencana Strategi (RENSTRA) tahun 2008-2013 Kabupaten Sikka
18. Pemerintah Daerah Kabupaten Ende,Hasil Sensus Penduduk 2010,Data Agregat Per Kecamatan
19. Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 78 Tahun 2005,tentang Pengelolaan Pulau-Pulau Kecil Terluar
20. Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 54 Tahun 2010 Tentang Pengadaan Barang/Jasa Pemerintah,Jakarta,Indonesia

KETELITIAN PERHITUNGAN EVAPOTRANSPIRASI FAO PENMAN-MONTEITH DENGAN DATA KLIMATOLOGI TERBATAS

Ulfa Fitriati[1]

[1]*Dosen Program Studi Teknik Sipil, Universitas Lambung Mangkurat, Telp 0511-4773868, email: ulfa_fitriatist@yahoo.co.id*

ABSTRAK

Dalam setiap perencanaan dan perancangan pengembangan sumberdaya air beberapa besaran kuantitatif dan kualitatif tentang air diperlukan sebagai informasi awal untuk analisis selanjutnya, termasuk didalamnya variabilitas ruang dan waktu. Informasi hidrologi yang disajikan harus merupakan informasi yang optimal yang dapat diperoleh, dan bersifat mewakili (representative). Untuk dapat menyajikan informasi yang optimal, maka analisis terhadap data hidrologi yang tersedia harus dilakukan dengan prinsip menggunakan cara (method) terbaik yang tersedia, dan urutan (procedure) yang benar meskipun mungkin data yang tersedia sangat kurang atau tidak tersedia sama sekali. Tujuan dari penelitian ini adalah menghitung evapotranspirasi tanaman acuan dengan Metode FAO Penman-Montheit dengan data yang lengkap dan data terbatas.

Data Klimatologi yang digunakan dari Stasiun Sungai Tabuk Desa Gudang Tengah Kec. Sungai Tabuk Kab. Banjar dengan posisi geografis 3°18"47" LS dan 114°40'23" BT selama 8 tahun (1999 – 2006). Data klimatologi tersebut digunakan untuk menghitung evapotranspirasi tanaman acuan dengan menggunakan metode FAO Penman-Monteith dengan data terbatas dibandingkan dengan data lengkap yaitu data kecepatan angin, radiasi sinar matahari, suhu maksimum dan minimum, dan kelembaban relatif maksimum dan minimum.

Evapotranspirasi tanaman acuan dengan data lengkap berkisar 3 – 5 mm/hari, dengan data suhu saja memiliki prediksi yang rendah sekitar 1 – 3 mm/hari. Namun jika data suhu dikombinasikan dengan data klimatologi lainnya, kombinasi suhu dan radiasi memberikan hasil paling mendekati dengan data lengkap yaitu berkisar 3 – 5 mm/hari. Jika dengan satu parameter suhu saja nilai rata-rata evapotranspirasi tanaman acuan masih memiliki selisih lebih dari 40% jika dibandingkan dengan menggunakan data lengkap. Namun dengan menggunakan dua parameter, maka kombinasi suhu dan radiasi merupakan kombinasi yang paling mendekati dengan nilai evapotranspirasi dengan data lengkap ini terlihat dengan rata-rata selisihnya hanya 7%. Ini menunjukkan bahwa selain suhu, parameter radiasi matahari memiliki pengaruh signifikan terhadap besarnya nilai evapotranspirasi tanaman acuan. Oleh karena itu kelengkapan data dan ketelitian metode perhitungan amat berperan dalam memprediksi besarnya nilai evapotranspirasi.

Kata kunci : evapotranspirasi tanaman acuan, FAO Penman-Monteith, suhu

1. PENDAHULUAN

Dalam setiap perencanaan dan perancangan pengembangan sumberdaya air beberapa besaran kuantitatif dan kualitatif tentang air diperlukan sebagai informasi awal untuk analisis selanjutnya, termasuk didalamnya variabilitas ruang dan waktu. Informasi hidrologi yang disajikan harus merupakan informasi yang optimal yang dapat diperoleh, dan bersifat mewakili (*representative*). Untuk dapat menyajikan informasi yang optimal, maka analisis terhadap data hidrologi yang tersedia harus dilakukan dengan prinsip menggunakan cara (*method*) terbaik yang tersedia, dan urutan (*procedure*) yang benar meskipun mungkin data yang tersedia sangat kurang atau tidak tersedia sama sekali.

Analisis hidrologi dilakukan untuk dapat menterjemahkan perilaku alam yang digunakan untuk mengartikan, menetapkan dan memperkirakan besaran-besaran alam tersebut dalam berbagai keadaan dan rentang waktu tertentu. Dalam hal ini berarti bahwa analisis hidrologi akan didasarkan pada data yang tersedia, yang memberikan gambaran perilaku sistem, dan akan menggunakan hasil analisis untuk mengekstrapolasikan informasi hidrologi tersebut untuk masa-masa berikutnya. Disisi lain dipahami, meskipun sampai pada batas-batas tertentu dapat diperhitungkan, akan tetapi teori dan cara yang dapat dikembangkan, hanya dapat digunakan dalam lingkup dan rentang waktu yang sangat terbatas.

Dengan demikian sangat sulit untuk dapat memperkirakan besaran hidrologi tertentu untuk masa-masa yang akan datang. Kalau pun hal tersebut dapat dihitung dengan berbagai cara, hal itu masih sangat dibatasi dengan syarat-syarat mengikat. Memahami keadaan seperti itu, maka sebenarnya semua teori, cara dan urutan yang digunakan dalam analisis semata-mata didasarkan dan dikembangkan berdasar kejadian-kejadian yang telah lalu. Keberlakuan (*validity*) hasil analisis yang didasarkan pada teori, cara dan urutan tersebut masih merupakan tanda tanya, meskipun dalam batas-batas tertentu sering dapat disajikan dalam bentuk ketelitian statistik (*statistical accuracy*). Oleh sebab itu, untuk mendapatkan informasi yang terbaik, maka semua data hidrologi yang terekam harus dianalisis dengan menggunakan teori, cara, dan urutan terbaik yang dikenal sampai saat ini (oleh yang bersangkutan) karena dengan menempuh cara ini pun, masih terdapat ketidakpastian (*uncertainties*) dan ketidak-telitian (inaccuracies) yang cukup besar. Pengertian terbaik hendaknya tidak diartikan harus dengan menggunakan perangkat lunak (*software*) yang canggih dan mahal, akan tetapi hendaknya ditekankan pada pemilihan teori, cara dan urutan yang paling sesuai dengan keadaan lapangan. Hal yang terakhir ini sangat ditentukan oleh ketersediaan data, kebutuhan dan tingkat ketelitian yang dapat diterima atau yang terpaksa dapat diterima.

Pada dasarnya, data hidrologi untuk salah satu unsur hidrologi yang terkumpul dan dapat diperoleh kembali, mempunyai keterbatasan baik waktu dan tempat. Dengan demikian, maka makin banyak data yang tersedia, baik dalam penyebaran tempat maupun dalam rentang waktunya, data tersebut akan dapat memberikan informasi yang lebih baik.

Tujuan dari penelitian ini dimaksudkan meliputi 3 cakupan berikut ini.

a. Menghitung evapotranspirasi tanaman acuan dengan Metode FAO Penman-Montheit dengan data yang lengkap.
b. Menghitung evapotranspirasi tanaman acuan dengan Metode FAO Penman-Montheit dengan data terbatas.
c. Membandingkan hasil kedua perhitungan untuk mengetahui tingkat ketelitiannya.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Konsep dasar yang digunakan dalam hidrologi sebenarnya ada dua buah yaitu konsep Siklus Hidrologi (hydrologic cycle) dan konsep Neraca Air (water balance). Siklus hidrologi dimulai dari penguapan terkumpul menjadi awan. Akibat berbagai sebab klimatologis, awan tersebut dapat menjadi awan hujan. Air hujan yang jatuh dipermukaan terbagi menjadi dua bagian, pertama sebagai aliran limpasan dan kedua bagian air yang terinfiltrasi. Air limpasan selanjutnya mengisi tampungan-cekungan. Apabila tampungan ini telah terpenuhi, air akan menjadi limpasan-permukaan yang

selanjutnya ke laut. Air yang terinfiltrasi, sebagian dapat mengalir lateral di lapisan tidak kenyang air sebagai aliran antara. Sebagian yang lain mengalir vertikal, perkolasi yang akan mencapai lapisan kenyang air. Air dalam akifer ini akan mengalir sebagai aliran air tanah, sungai atau ke tampungan dalam. Konsep neraca air pada dasarnya menunjukkan keseimbangan antara jumlah air yang masuk ke, yang tersedia di, dan yang keluar dari sistem (sub-sistem) tertentu. Neraca air dimaksudkan merupakan perhitungan jumlah masukan (inflow) dan keluaran (outflow) dalam tinjauan periode waktu tertentu pada suatu subsistem hidrologi (Sri Harto, 2000).

Penguapan merupakan salah satu mata rantai proses dalam siklus hidrologi. Penguapan merupakan proses alami berubahnya molekul cairan menjadi molekul gas/uap. Penguapan dapat saja terjadi dari semua permukaan yang lembab (moisture), baik dari permukaan tanah, permukaan tanaman (transpiration from vegetated surface) maupun dari permukaan air seperti rawa, danau dan lautan. Besarnya laju penguapan mempunyai peran berbeda untuk berbagai kepentingan analisis hidrologi. Untuk satu kasus tertentu, penguapan dapat mempunyai nilai yang sangat penting seperti irigasi dan waduk, sehingga besarannya sama sekali tidak dapat diabaikan. Akan tetapi untuk kasus lainnya seperti banjir, besar penguapan umumnya diabaikan, karena peran/pengaruhnya sangat kecil. Meskipun demikian berbagai cara pendekatan untuk mengukur dan memperkirakan nilai penguapan perlu dicermati benar.

Faktor-faktor yang berpengaruh terhadap penguapan cukup banyak, baik faktor fisis maupun faktor meteorologis, meskipun faktor panas merupakan faktor utama. Faktor-faktor lain yang tidak sangat menonjol seperti kualitas air dan bentuk permukaan air. Dari banyak penelitian ditemukan bahwa upaya untuk memisahkan pengaruh masing-masing faktor sangat sulit, karena tingginya ketergantungan sifat antar faktor tersebut. Faktor-faktor meteorologis yang dimaksudkan tersebut diantaranya suhu, kelembaban (humidity), tekanan udara (barometer), angin. Dengan diperlukannya data fisis dan meterorogis yang banyak sedangkan ketersediaan data yang lengkap amat terbatas terutama di Kalimantan Selatan maka FAO Penman-Monteith memberikan solusi untuk perhitungan evapotranspirasi dengan data yang tidak lengkap.

Penguapan (evaporation) adalah proses perubahan dari zat cair atau padat menjadi gas. Lebih spesifik dapat ditakrifkan bahwa penguapan adalah proses transper air dari permukaan bumi ke atmosfer. Transpirasi adalah penguapan air yang terserap tanaman, tidak termasuk penguapan dari permukaan tanah. Evapotranspirasi adalah penguapan yang terjadi dari permukaan bertanaman. Evapotranspirasi tanaman acuan adalah evapotranspirasi yang terjadi apabila kandungan air tidak terbatas. Beberapa pendekatan teoritik yang digunakan dalam memperkirakan besarnya penguapan yaitu:

a. Persamaan-persamaan empirik (*Empirical equations*)
b. Keseimbangan air (*Water balance method*)
c. Aerodynamic method
d. Energy balance method
e. Combination method
f. Priestley-Taylor method

Dalam prakteknya besaran penguapan tidak dapat diperoleh dengan rumus-rumus yang ada, misalnya karena keterbatasan data, sehingga diperlukan upaya lain untuk memperoleh besaran laju penguapan yang diperlukan. Hal ini dapat dilakukan dengan pengukuran laju penguapan secara langsung, terdapat paling tidak tiga kelompok yaitu :

a. Panci penguapan (*evaporation pan*)
b. Atmometer

c. *Lysimeter*

Evapotranspirasi tanaman acuan adalah evapotranspirasi tanaman yang dijadikan acuan, yakni rerumputan pendek. ETo adalah kondisi evapotranspirasi berdasarkan keadaan meteorologi seperti temperatur, sinar matahari, kelembaban dan angin dimana tersedia cukup air untuk pertumbuhan tanaman. Untuk perhitungan evapotranspirasi, dianjurkan untuk menggunakan rumus FAO Penman-Montheit. Metode FAO Penman-Montheit dalam hitungannya menggunakan data iklim secara maksimum seperti data temperatur, kelembaban udara, radiasi matahari dan kecepatan angin, maka prakiraan besarnya evapotranspirasi dianggap mempunyai derajat ketelitian yang cukup tinggi dibandingkan dengan metode lainnya. Metode FAO Penman-Montheit juga menggunakan beberapa kalibrasi lokal sesuai daerah setempat. Selain itu Metode FAO Penman-Montheit juga menyediakan alternatif perhitungan untuk data terbatas (*under standard conditions*). Bentuk persamaan FAO Penman-Montheit yang telah dimodifikasi berikut ini.

$$ET_o = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma\frac{900}{T+273}u_2(e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1+0.34u_2)}$$

Keterangan:

ETo	:	evapotranspirasi tetapan (mm/hari),
Rn	:	radiasi netto pada permukaan lahan (MJ/m2.hari),
G	:	fluks panas tanah (MJ/m2.hari),
T	:	rata-rata suhu udara harian pada ketinggian 2 m (°C),
u2	:	kecepatan angin pada ketinggian 2 m (m/detik),
es	:	tekanan uap air jenuh (kPa),
ea	:	tekanan uap air nyata (kPa),
es-ea	:	penurunan tekanan uap air (kPa),
Δ	:	kemiringan kurva tekanan uap air (kPa/°C),
γ	:	konstanta psychrometric (kPa/°C).

3. METODE PENELITIAN

Pengumpulan data sekunder berupa data klimatologi Stasiun Sungai Tabuk dari tahun 1999 – 2006. Studi pustaka dilakukan dengan mempelajari buku atau literatur lain yang berhubungan dengan judul dan mengumpulkan data-data dari buku tersebut yang diperlukan sebagai referensi

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data Klimatologi yang digunakan dari Stasiun Sungai Tabuk Desa Gudang Tengah Kec. Sungai Tabuk Kab. Banjar dengan posisi geografis 3°18"47" LS dan 114°40'23" BT selama 8 tahun (1999 – 2006).

Data klimatologi tersebut digunakan untuk menghitung evapotranspirasi tanaman acuan dengan menggunakan metode FAO Penman-Monteith dengan data terbatas dibandingkan dengan data lengkap yaitu data kecepatan angin, radiasi sinar matahari, suhu maksimum dan minimum, dan kelembaban relatif maksimum dan minimum. Hasil selengkapnya dapat dilihat pada gambar 1 dan rekapitulasi hasil pehitungan dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pehitungan Evapotranspirasi dengan Beberapa Kombinasi Data

Data	ETo minimum (mm/hari)	ETo maksimum (mm/hari)	Eto rata-rata (mm/hari)
Data lengkap	3,30	5,40	4,07
Suhu	1,43	2,99	2,34
Suhu & radiasi	3,05	5,02	3,95
Suhu & kelembaban	2,28	3,77	2,89
Suhu & angin	1,45	2,97	2,33

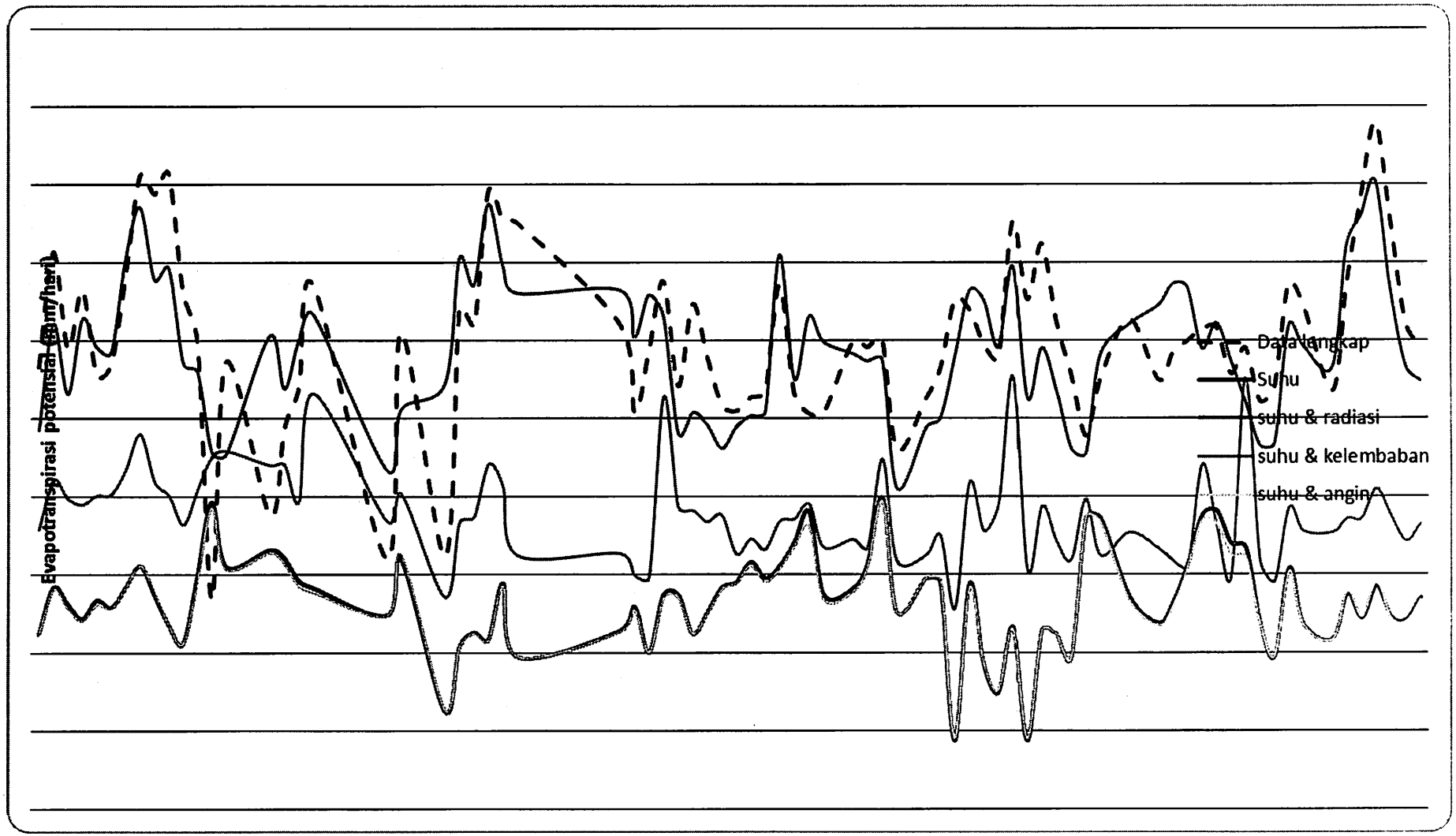
Dari tabel terlihat evapotranspirasi tanaman acuan dengan data lengkap berkisar 3 – 5 mm/hari, dengan data suhu saja memiliki prediksi yang rendah sekitar 1 – 3 mm/hari. Namun jika data suhu dikombinasikan dengan data klimatologi lainnya, kombinasi suhu dan radiasi memberikan hasil paling mendekati dengan data lengkap yaitu berkisar 3 – 5 mm/hari. Persentase selisih antara data lengkap dengan data terbatas selengkapnya dapat dilihat pada gambar 2 dan rekapitulasinya dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Persentase Selisih Evapotranspirasi Data Lengkap dengan Data Terbatas

Data	Minimum (%)	Maksimum (%)	Rata-rata (%)
Suhu	13,34	66,39	41,62
Suhu & radiasi	0,51	17,73	7,01
Suhu & kelembaban	4,90	46,45	28,38
Suhu & angin	14,56	66,08	41,96

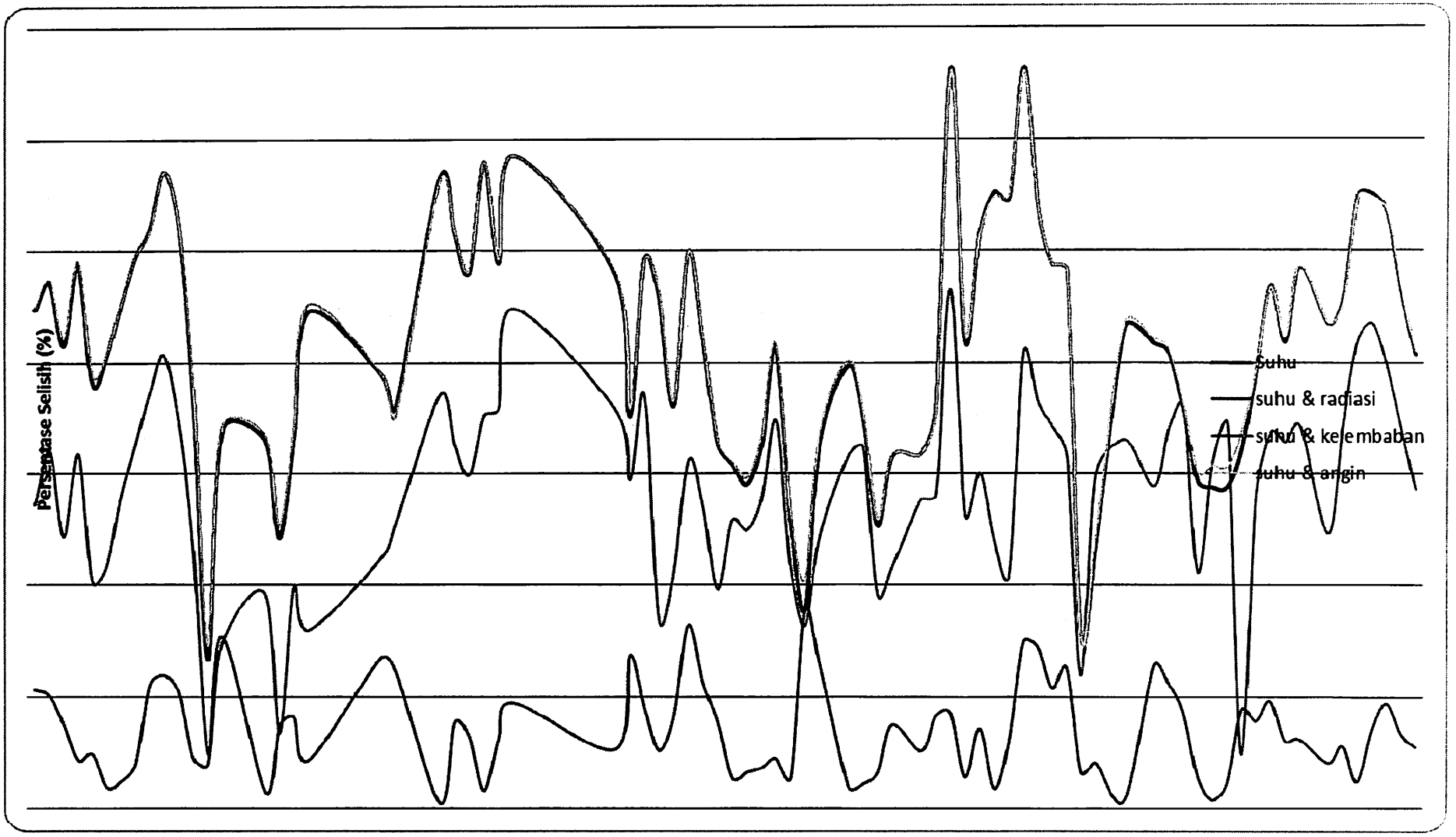
Dari tabel 2 terlihat bahwa dengan satu parameter suhu saja nilai rata-rata evapotranspirasi tanaman acuan masih memiliki selisih lebih dari 40% jika dibandingkan dengan menggunakan data lengkap. Namun dengan menggunakan dua parameter, maka kombinasi suhu dan radiasi merupakan kombinasi yang paling mendekati dengan nilai evapotranspirasi dengan data lengkap ini terlihat dengan rata-rata selisihnya hanya 7%. Ini menunjukkan bahwa selain suhu, parameter radiasi matahari memiliki pengaruh signifikan terhadap besarnya nilai evapotranspirasi tanaman acuan.

Selisih 2 mm/hari antara data lengkap dengan data suhu saja, jika dikalikan dengan luas daerah irigasi atau luas genangan suatu waduk, misalnya luas Waduk Riam Kanan sebesar 92 km^2 maka akan ada perbedaan volume sebesar 184.000 m^3. Oleh karena itu kelengkapan data dan ketelitian metode perhitungan amat berperan dalam memprediksi besarnya nilai evapotranspirasi.



Gambar 1. Evapotranspirasi tanaman acuan harian rata-rata tiap bulan (mm/hari) dengan Metode FAO Penman-Monteith

ISBN 978-979-99327-8-5



Gambar 2. Persentase selisih nilai evapotranspirasi tanaman acuan antara data lengkap dengan data terbatas

ISBN 978-979-99327-8-5

5. KESIMPULAN

Evapotranspirasi tanaman acuan dengan data lengkap berkisar 3 – 5 mm/hari, dengan data suhu saja memiliki prediksi yang rendah sekitar 1 – 3 mm/hari. Namun jika data suhu dikombinasikan dengan data klimatologi lainnya, kombinasi suhu dan radiasi memberikan hasil paling mendekati dengan data lengkap yaitu berkisar 3 – 5 mm/hari. Jika dengan satu parameter suhu saja nilai rata-rata evapotranspirasi tanaman acuan masih memiliki selisih lebih dari 40% jika dibandingkan dengan menggunakan data lengkap. Namun dengan menggunakan dua parameter, maka kombinasi suhu dan radiasi merupakan kombinasi yang paling mendekati dengan nilai evapotranspirasi dengan data lengkap ini terlihat dengan rata-rata selisihnya hanya 7%. Ini menunjukkan bahwa selain suhu, parameter radiasi matahari memiliki pengaruh signifikan terhadap besarnya nilai evapotranspirasi tanaman acuan.

Oleh karena itu kelengkapan data dan ketelitian metode perhitungan amat berperan dalam memprediksi besarnya nilai evapotranspirasi.

6. DAFTAR PUSTAKA

1. Allen, R G, Pereira, L S, Raes, Dirk and Smith, Martin (1998) *FAO: Irrigation and Drainage Paper No. 56*. Rome: FAO.
2. Sri Harto (2000) *Hidrologi: Teori, Masalah, Penyelesaian*. Yogyakarta: Nafiri Offset.

STUDI OPTIMASI SISTEM OPERASI INTAKE BENDUNG GERAK BENTENG UNTUK MEMENUHI KEBUTUHAN DAERAH IRIGASI SADANG

Fathur Rahman Rustan[1], Nadjadji Anwar[2], Abdullah Hidayat[3]

[1]*Mahasiswa Program S2 Manajemen dan Rekayasa Sumber Air, Jurusan Teknik Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, Telp. +6285756665000, email: ath_ran@yahoo.com*
[2]*Dosen Jurusan Teknik Sipil FTSP, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Kampus ITS Sukolilo Surabaya, email: nadjadji@ce.its.ac.id*
[3]*Dosen Jurusan Teknik Sipil FTSP, ITS, Kampus ITS Sukolilo Surabaya, email: abdullah@ce.its.ac.id*

ABSTRAK

Bendung Benteng merupakan bendung gerak yang terletak di kelurahan Benteng, kecamatan Patampanua, kabupaten Pinrang. Bendung ini dimanfaatkan sebagai pengambilan utama bagi daerah irigasi Sadang yang memiliki areal potensial adalah 55.769 Ha. Secara umum luas areal fungsional yang diusahakan dari wilayah sistem irigasi Sadang adalah 47.474 Ha. Dalam rangka peningkatan efisiensi penggunaan air irigasi, perlu dilakukan kajian terhadap pembagian air dan penerapan pola tanam yang tepat yang bisa meningkatkan efisiensi air irigasi dengan melakukan analisis pola tanam dengan beberapa alternatif awal tanam sehingga dapat menghasilkan keseimbangan air yang maksimal dan efisien serta intensitas tanam yang meningkat dari kondisi eksisting. Oleh karena itu akan dikaji lebih dalam tentang model sistem operasi intake bendung gerak untuk memenuhi kebutuhan daerah irigasi Sadang.

Optimasi yang dilakukan menggunakan program linier dengan program bantu *Quantity Methods for Windows 3.* Fungsi batasan/kendala dalam permodelan ini adalah debit andalan, kebutuhan air irigasi dan luasan potensial daerah irigasi Sadang. Model optimasi yang disusun dengan memaksimumkan keuntungan produksi yang diperoleh.

Dari hasil optimasi dengan berbagai pola tanam dan awal tanam, dapat diketahui besarnya intensitas tanaman dan pendapatan yang paling maksimum berada pada awal tanam November I dengan pendapatan sebesar ***Rp. 1.131.897.000.000,-*** sedangkan pendapatan pada kondisi eksisting yaitu sebesar ***Rp. 681.088.116.600,-*** dengan intensitas tanaman meningkat dari 170,2% menjadi 300,0%. Hal ini membuktikan bahwa perubahan pola tanam dan awal tanam meningkatkan pendapatan produksi petani pada daerah irigasi Sadang. Berdasarkan analisis keseimbangan air dan pemberian air secara terus menerus masih menunjukkan terjadi defisit air 10 harian pada awal Musim Tanam I dan akhir musim Tanam III. Oleh sebab itu untuk periode tersebut, cara pemberian air sebaiknya tidak dilakukan secara terus menerus melainkan bergiliran.

Kata Kunci : *keseimbangan air, sistem operasi intake, linear programming.*

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Salah satu cara untuk meningkatkan hasil pertanian pada tiap satuan luasnya yaitu dengan menggunakan cara pemberian air irigasi yang baik, namun pemberian air saat ini sering terjadi tanpa adanya pengaturan yang baik sehingga terjadi pemberian air yang berlebih tanpa memperhatikan ketersediaan air itu sendiri. Bendung Benteng merupakan bendung gerak yang terletak di kabupaten Pinrang, Propinsi Sulawesi Selatan. Bendung ini dimanfaatkan sebagai pengambilan utama bagi daerah irigasi Sadang. Daerah Irigasi Sadang memiliki areal potensial adalah 55.769 Ha yang terletak pada 3 (tiga) wilayah kabupaten yaitu Kab. Pinrang, Kab. Sidenreng Rappang dan Kab. Wajo. Secara umum luas areal fungsional yang diusahakan dari wilayah sistem irigasi

Sadang adalah 47.474 Ha. Bendung Benteng dilengkapi dengan 3 (tiga) buah saluran induk masing-masing: saluran induk Sawitto, saluran induk Rappang, saluran induk Pekkabata. Pembagian air dan penerapan pola tanam saat ini tanpa memperhatikan ketersediaan air setiap tahunnya menyebabkan penggunaan air irigasi yang kurang efisien. Karena itu dalam rangka peningkatan efisiensi penggunaan air irigasi, perlu dilakukan kajian lebih lanjut terhadap pembagian air dan penerapan pola tanam yang tepat yang bisa meningkatkan efisiensi air irigasi dengan melakukan analisis pola tanam dengan beberapa alternatif sehingga dapat menghasilkan keseimbangan air (*water balance*) yang maksimal dan efisien air irigasi serta intensitas tanam (*cropping intensity*) yang meningkat dari kondisi eksisting.

1.2. Perumusan Masalah

Permasalahan yang terjadi dapat dirumuskan sebagai berikut :

1. Bagaimana kondisi ketersediaan dan kebutuhan air pada bendung gerak Benteng saat ini?
2. Bagaimana bentuk model keseimbangan air pada pengoperasian bendung gerak Benteng untuk memenuhi kebutuhan air di hilir bendung yang efisien?
3. Bagaimana pola pengoperasian hasil pemodelan keseimbangan air bila dibandingkan dengan kondisi yang sudah dilaksanakan?

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah :

1. Mengidentifikasi ketersediaan dan kebutuhan air pada bendung untuk daerah irigasi Sadang agar diperoleh angka yang optimum untuk keseimbangan air sesuai dengan kondisi real time di lapangan, sehingga antara kebutuhan dan ketersediaan air akan mendekati angka yang paling optimal;
2. Mendapatkan suatu bentuk model keseimbangan air pada pengoperasian bendung gerak Benteng untuk memenuhi kebutuhan air di hilir bendung yang efisien.
3. Mengidentifikasi pola pengoperasian hasil pemodelan keseimbangan air yang dihasilkan bila dibandingkan dengan kondisi yang sudah dilaksanakan.

1.4. Manfaat Penelitian

Dengan adanya penelitian ini, selain menambah wawasan tentang permasalahan-permasalahan yang ada di bendung gerak Benteng, juga di harapkan model yang dihasilkan dapat menjadi salah satu alternatif acuan yang bisa digunakan menunjang operasional yang tersedia di bendung gerak Benteng. Pada akhirnya kajian ini diharapkan menjadi bahan pertimbangan dalam pengambilan kebijaksaan pola operasi intake bendung gerak secara efektif dan efisien.

1.5. Batasan Masalah

Untuk lebih memfokuskan pada studi yang dilakukan dan untuk menghindari terjadinya pembahasan yang keluar dari studi penelitian ini maka dilakukan pembatasan masalah sebagai berikut :

1. Penelitian ini mengambil lokasi pada bendung gerak Benteng sebagai obyek penelitian yang dimanfaatkan sebagai pengambilan utama bagi daerah Irigasi Sadang dengan luas baku sawah 55.769 Ha, di mana air yang didapatkan dari 3

(tiga) saluran induk yang kemudian didistribusikan pada tiap-tiap bangunan bagi, sadap, dan bagi sadapnya.
2. Data-data yang dipergunakan adalah data sekunder hasil pencatatan di lapangan.
3. Analisis data sekunder yang mencakup data-data hidroklimatologi;
4. Tidak memperhitungkan pengaruh perubahan sedimen yang terjadi di bendung Benteng maupun pada saluran lainnya;
5. Data debit yang dianalisis terbatas pada data debit intake Bendung Gerak Benteng selama 11 tahun terakhir, yaitu mulai 2000 – 2011.
6. Optimasi model operasi intake bendung Benteng dibuat menggunakan program linier.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pengertian Operasi

Operasi (eksploitasi) adalah usaha-usaha untuk memanfaatkan prasarana irigasi secara optimal. Usaha-usaha tersebut merupakan kesatuan proses pengumpulan dan perencanaan, penyediaan, pembagian, pengaturan air irigasi, dan membuang kelebihan air irigasi, agar dapat mencapai sasaran secara optimal. Sedangkan menurut pasal 1 (23) UU RI No. 7 Tahun 2004, "operasi adalah kegiatan pengaturan, pengalokasian serta pengelolaan air dan sumber air untuk mengoptimalkan pemantapan prasarana SDA".

Adapun ruang lingkup operasi irigasi terdiri dari : (a) pengukuran dan pengumpulan data; (b) pengolahan dan analisa data; (c) kalibrasi alat ukur debit; (d) rencana tata tanam (global dan detail) serta golongan; (e) rencana pembagian air (terus menerus, giliran, putus-putus); (f) pelaksanaan pembagian air; (g) pengoperasian pintu air untuk membagi air, mengontrol drainase, dan menjaga keamanan saluran dan bangunan; (h) pengoperasian pintu bendung untuk pengaturan air ke saluran induk; (i) pemantauan (monitoring) dan evaluasi [1].

2.2. Analisa Hidrologi

2.2.1. Analisa Curah Hujan Efektif

Curah hujan efektif merupakan curah hujan yang jatuh pada suatu daerah dan dapat digunakan tanaman untuk pertumbuhannya. Analisa curah hujan efektif diawali dengan perhitungan curah hujan rata– rata dari stasiun pengamatan.

a. Curah hujan rata-rata wilayah/daerah

Cara perhitungan untuk mencari curah hujan rata-rata daerah, yaitu :

1) *Arithmatic Mean Method*

Salah satu cara perhitungan curah hujan rata-rata ini dengan menggunakan rumus cara rata-rata aljabar. Metode ini merupakan metode yang paling sederhana dalam perhitungan hujan kawasan. Cara ini cocok untuk kawasan dengan topografi rata atau datar [2]. Adapun rumusan cara rata-rata aljabar sebagai berikut:

$$\overline{R} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^{n} Ri \quad \text{.....} \quad (1)$$

dimana : $\overline{R}$ = Curah hujan daerah (mm);
Ri = curah hujan pada stasiun ke-i
n = jumlah stasiun pengamat;

2) *Thiessen Method*

Cara ini dengan memperhitungkan luas daerah yang diwakili oleh stasiun yang bersangkutan (luas daerah pengaruh), untuk digunakan sebagai faktor dalam menghitung hujan rata-rata. Luas daerah pengaruh masing-masing stasiun dibagi dengan luas daerah aliran disebut koefisien Thiessen masing-masing stasiun (*weight factor*). Metode Thiessen sesuai untuk daerah dengan jarak penakar hujan yang tidak merata.

3) *Isohyet Method*

Isohyet adalah garis yang menunjukkan tempat-tempat yang mempunyai tinggi hujan yang sama. Cara ini adalah cara yang paling teliti, tetapi cukup sulit pembuatannya. Pada umumnya digunakan untuk hujan tahunan, karena terlalu banyak variasinya, sehingga Isohyet akan berubah-ubah.

b. Curah hujan efektif

Ada berbagai cara untuk mencari curah hujan efektif yang telah dikembangkan oleh beberapa ahli, diantaranya seperti berikut ini :

1) Cara empiris

Harza Engineering Comp. Int. menghitung besarnya curah hujan efektif berdasarkan R_{80} = *Rainfall equal or exceeding in 8 years out of 10 years*. Bila dinyatakan dengan rumus adalah sebagai berikut :

$$R_{80} = \left(\frac{n}{5}\right)+1 \quad \text{.....} \quad (2)$$

dimana : R_{80} = curah hujan efektif 80 % (mm/hari);
$\frac{n}{5}+1$ = rangking curah hujan rata-rata dihitung dari curah hujan terkecil;
n = jumlah data.

2) Cara statistik

Dengan menghitung probabilitas curah hujan efektif yang 80% disamai atau dilampaui. Metode yang dapat dipakai antara lain adalah dengan metode Distribusi Normal, Log Normal, Person tipe III, dsb.

2.2.2. Debit Andalan

Debit andalan berguna untuk menentukan debit yang diharapkan tersedia di sungai untuk memperkirakan luas daerah irigasi dan daya terpasang pembangkit listrik tenaga air. Misalnya ditetapkan debit andalan 80% berarti akan dihadapi resiko adanya debit-debit yang lebih kecil dari debit andalan sebesar 20% dari banyaknya pengamatan [3]. Untuk menentukan kemungkinan terpenuhi atau tidak terpenuhi, debit yang sudah diamati disusun dengan urutan besar ke kecil. Dengan demikian diharapkan debit tersebut cukup untuk keperluan penyediaan air.

Perhitungan debit andalan di bendung gerak Benteng menggunakan metode Weibull. Persamaan yang digunakan adalah:

$$P = \frac{m}{(N+1)} \quad \text{.....} \quad (3)$$

dengan:

P = Probabilitas kejadian (%),
m = Nomor urut data debit dari besar ke kecil,
N = Jumlah data

Debit andalan dihitung berdasarkan data debit intake pada bendung gerak benteng. dari perhitungan debit andalan yang didapat, dapat ditentukan besarnya debit andalan yang nantinya akan dipakai sebagai batasan dalam melakukan optimasi.

2.2.3. Analisa Klimatologi

Bentuk persamaan metode Penman Modifikasi untuk menghitung evapotranspirasi potensial ini, dapat dirumuskan sebagai berikut [4]:

$$ETo = c \cdot [W \cdot Rn + (1 - W) \cdot f(u) \cdot (ea - ed)] \quad \text{.....} \quad (4)$$

dimana :
- ETo = Evapotranspirasi potensial (mm/hari);
- c = Faktor penggantian kondisi cuaca akibat siang dan malam;
- W = Faktor berat yang mempengaruhi penyinaran matahari;
- (1-W) = Faktor berat sebagai pengaruh angin dan kelembaban;
- Rn = Radiasi penyinaran matahari dalam perbandingan penguapan atau radiasi matahari bersih (mm/hari);
- f(u) = Fungsi angin relatif;
- ea = tekanan uap jenuh (mbar);
- ed = tekanan uap nyata (mbar) dimana ed = ea x kelembaban (RH);
- (ea - ed) = Perbedaan tekanan uap air (mbar).

2.3. Analisa Kebutuhan Air

Kebutuhan air untuk tanaman pada suatu jaringan irigasi merupakan air yang dibutuhkan untuk pertumbuhan tanaman yang optimal tanpa kekurangan air yang dinyatakan dalam Netto Kebutuhan Air Lapangan (*Net Field Requirement* atau NFR).

Adapun kebutuhan air di sawah di pengaruhi oleh faktor – faktor sebagai berikut : curah hujan efektif, perencanaan golongan, perkolasi dan rembesan, kebutuhan penyiapan lahan, kebutuhan air untuk konsumtif tanaman, pergantian lapisan air, efisiensi irigasi, kebutuhan air di sawah (NFR)

Kebutuhan air dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$DR = \frac{NFR}{8{,}64 \times EI} \quad \text{.....} \quad (5)$$

dimana :
- DR = Kebutuhan air di pintu pengambilan (lt/dt/ha);
- NFR = Kebutuhan air di sawah (mm/hari);
- EI = Efisiensi irigasi secara total (%);
- 8,64 = Angka konversi satuan dari mm/hari ke lt/dt/ha.

2.4. Ketersediaan Air

Analisis ketersediaan air (*water availability*) tujuannya untuk menentukan besarnya air yang tersedia atau disebut juga sebagai debit andalan yaitu debit dari sungai yang bisa diandalkan dapat terjadi pada waktu-waktu tertentu.

Perhitungan banyaknya air yang tersedia tersebut dimaksudkan untuk mengetahui apakah air yang tersedia bisa dimanfaatkan untuk berbagai keperluan seperti untuk air pertanian, air baku maupun PLTA atau untuk kebutuhan lain seperti penggelontoran dan lain-lain. Tujuan perhitungan ketersediaan air ini akan dipergunakan sebagai variabel kendala dalam optimasi program Linier, dalam hal ini batasan berupa volume air untuk irigasi.

2.5. Neraca Air

Dalam perhitungan neraca air, kebutuhan pengambilan yang dihasilkan untuk pola tanam yang dipakai akan dibandingkan dengan debit andalan untuk tiap setengah bulan dan luas daerah yang bisa diairi. Apabila debit sungai melimpah, maka luas daerah irigasi ialah tetap karena luas maksimum daerah layanan direncanakan sesuai dengan pola tanam yang dipakai. Bila debit sungai tidak berlimpah dan kadang-kadang terjadi kekurangan debit, maka ada 3 pilihan yang bisa dipertimbangkan [5] : (a) luas daerah irigasi dikurangi, (b) melakukan modifikasi dalam pola tanam, dan (c) rotasi teknis/golongan.

2.6. Optimasi Dengan *Linear Programming*

Program linier dapat digunakan untuk persoalan optimasi yang mempunyai bentuk ketidaksamaan dengan syarat fungsi tujuan dan fungsi kendala merupakan persamaan linier. Seperti pada persoalan optimasi yang lain pada program linier juga perlu ditentukan fungsi tujuan dan fungsi kendalanya [6].

3. METODOLOGI PENELITIAN

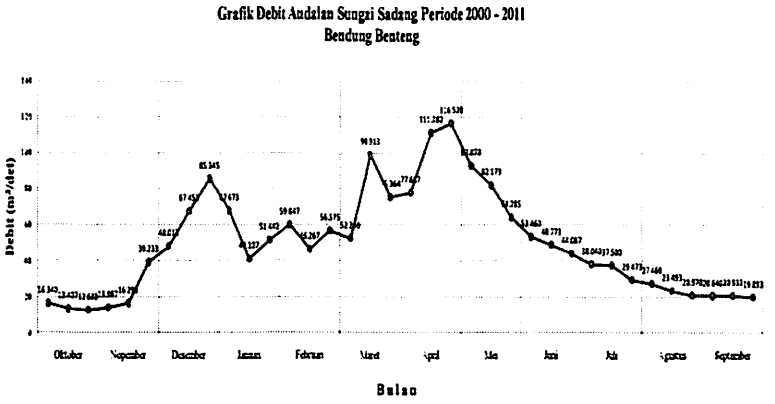
Metodologi yang digunakan pada studi ini dibagi menjadi beberapa tahap, sebagai berikut:

1. Melakukan survey pendahuluan dan studi literatur, tujuannya untuk mengetahui dengan jelas permasalahan yang terjadi.
2. Setelah mengidentifikasi dari permasalahan yang ada di lapangan maka langkah selanjutnya adalah mencari data pendukung yang diperlukan, yang mencakup : data curah hujan, data kondisi daerah irigasi, data pencatatan debit intake pada bendung Benteng, data klimatologi.
3. Melakukan analisa data, yang mencakup analisis hidrologi, analisis ketersediaan air, analisis kebutuhan air, dan neraca air.
4. Menyusun suatu model optimasi pola tanam dan awal tanam untuk memperoleh keuntungan yang optimal. Dalam analisa ini menggunakan *software QM for Windows 3* sebagai alat bantu pemodelan.
5. Merumuskan kesimpulan hasil studi.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Analisis Ketersediaan Air Sungai

Besarnya ketersediaan air dari bendung benteng di analisa dengan perhitungan debit andalan (*dependable flow*). Data debit digunakan untuk menentukan debit yang tersedia untuk mencukupi kebutuhan air irigasi pada suatu wilayah, sehingga dari data debit ini dapat diketahui apakah daerah irigasi tersebut kekurangan atau kelebihan air irigasi.



Gambar 1: Grafik Debit Andalan Sungai Sadang

4.2. Analisa Kebutuhan Air Irigasi

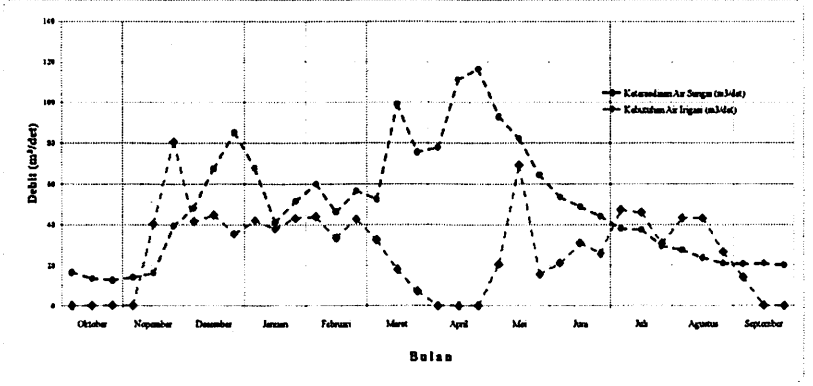
Perhitungan kebutuhan air untuk di analisa dengan menggunakan parameter-parameter antara lain evapotranspirasi potensial (ETo), curah hujan efektif (Re), perkolasi (P), pengolahan tanah (PL), pergantian lapisan air (WLR), koefisien tanaman dan efisiensi irigasi. Perhitungan kebutuhan air pada sawah kondisi eksisting yang mendapat air dari bendung Benteng untuk Daerah Irigasi Sadang dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1: Kebutuhan Air Tanaman

Bulan	Periode	Padi	Palawija	Bulan	Periode	Padi	Palawija
	I	0,343	0,000		I	0,000	0,000
Oktober	II	0,108	0,000	April	II	0,000	0,000
	III	0,105	0,000		III	0,000	0,000
	I	0,089	0,000		I	1,637	0,000
November	II	2,547	0,000	Mei	II	2,663	0,196
	III	2,551	0,000		III	0,411	0,000
	I	0,874	0,000		I	0,523	0,030
Desember	II	0,940	0,000	Juni	II	0,742	0,294
	III	0,745	0,000		III	0,642	0,207
	I	0,883	0,000		I	1,114	0,601
Januari	II	0,799	0,000	Juli	II	1,143	0,393
	III	0,912	0,000		III	0,806	0,112
	I	0,921	0,000		I	1,133	0,169
Februari	II	0,704	0,000	Agustus	II	1,131	0,055
	III	0,897	0,000		III	1,051	0,000
	I	0,683	0,000		I	1,114	0,000
Maret	II	0,561	0,000	September	II	0,186	0,000
	III	0,429	0,000		III	0,245	0,000

4.3. Analisa Keseimbangan Air

Dalam perhitungan keseimbangan air, kebutuhan air irigasi yang dihasilkan untuk suatu pola tata tanam akan dibandingkan dengan debit andalan untuk tiap periode.



Gambar 2: Grafik Neraca Air dengan Pola Tanam Eksisting

4.4. Pembahasan Hasil Penelitian

4.4.1. Identifikasi Ketersediaan dan Kebutuhan Air Saat Ini

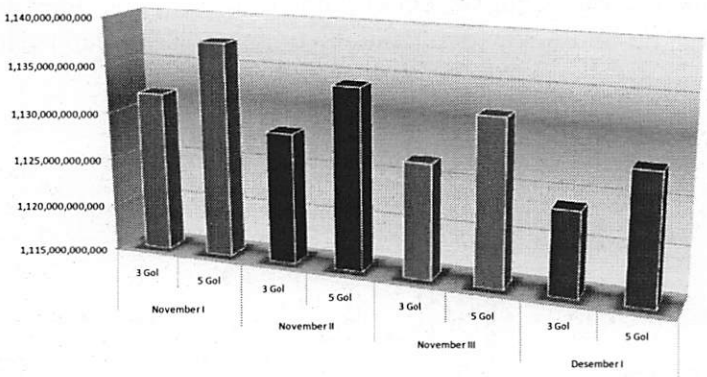
Dari hasil analisa ketersediaan dan kebutuhan air saat ini, diketahui bahwa ketersediaan air pada bendung gerak Benteng masih sangatlah melimpah untuk memenuhi kebutuhan air irigasi namun pemanfaatan airnya kurang optimal karena masih terdapat kekurangan air pada awal musim tanam I yaitu pada bulan November dan pada akhir musim tanam II yaitu bulan Juli dan Agustus. Salah satu alternatif pemecahan masalah adalah dengan menggunakan debit yang tersedia di saluran secara optimal. Agar debit yang tersedia dapat digunakan secara optimal, maka perlu mengubah kombinasi luas tanaman dan jenis tanaman. Dengan cara seperti ini, diharapkan mendapatkan luasan optimum setiap jenis tanaman untuk masing-masing periode tanam.

Untuk dapat meningkatkan sistem operasi bendung dalam hal ini efisiensi pemakaian air irigasi terutama dalam keadaan debit terbatas, maka perlu diadakan pengaturan pola tanam dan awal tanam. Alternatif yang diusulkan adalah memodifikasi pola tanam dan awal tanam yang ada.

4.4.2. Model Keseimbangan Air Hasil Optimasi

Hasil analisis optimasi terhadap masing-masing alternatif awal tanam dan pola tanam menunjukkan bahwa awal tanam November I memberikan solusi yang terbaik untuk diterapkan di daerah irigasi Sadang. Hal ini disebabkan karena nilai intensitas tanam dan keuntungan maksimal yang diperoleh lebih tinggi dibanding kondisi alternatif yang lain. Terpilihnya awal tanam dan pola tanam November I menggambarkan bahwa kebiasaan petani mengolah lahan pada pertengahan bulan November bergeser pada awal bulan November.

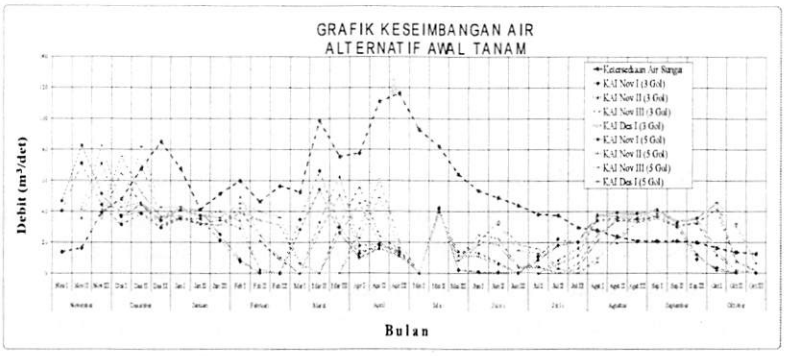
Analisis keuntungan maksimal yang dapat diperoleh dengan jadwal dan pola tanam berdasarkan komposisi luas tanam untuk setiap komoditi pada kondisi ketersediaan air (debit andalan) terpenuhi. Jumlah keuntungan maksimum tiap tahun merupakan jumlah keuntungan seluruh musim tanam dengan keuntungan maksimal hasil optimasi, sehingga keuntungan maksimal yang paling tinggi diperoleh pada awal tanam November I dengan pola tanam Padi – Padi – Padi/Palawija untuk 3 golongan dan Padi – Padi/Palawija – Padi/Palawija untuk 5 golongan. Hasil analisis keuntungan maksimal setiap alternatif awal tanam dapat dilihat pada gambar 3.



	November I		November II		November III		Desember I	
	3 Gol	5 Gol	3 Gol	5 Gol	3 Gol	5 Gol	3 Gol	5 Gol
Keuntungan (dalam milyar rupiah)	1,131,897,000,000	1,137,640,000,000	1,128,845,000,000	1,134,156,000,000	1,127,117,000,000	1,132,367,000,000	1,123,925,000,000	1,128,525,000,000

Gambar 3: Hubungan Antara Awal Tanam dan Pendapatan Produksi

Dari hasil optimasi ini kemudian dihitung keseimbangan air dari tiap alternatif awal tanam dan pola tata tanamnya. Berikut ini disajikan gambar 4 yang merupakan hasil perhitungan kebutuhan air dan keseimbangan air hasil optimasi.

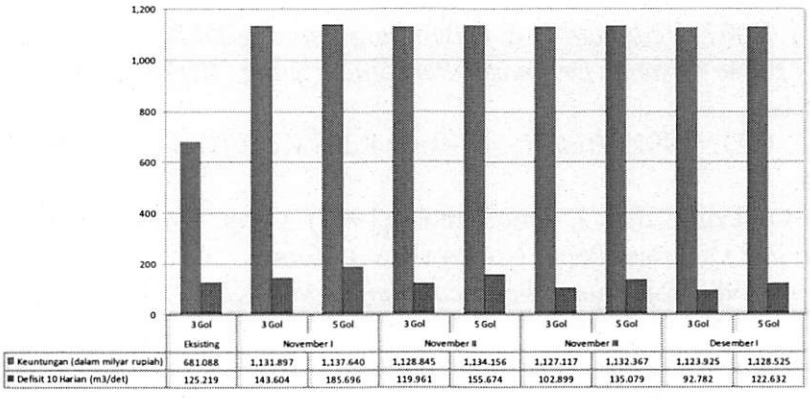


Gambar 4: Grafik Keseimbangan Air Berbagai Alternatif Awal Tanam

Keseimbangan antara kebutuhan dan ketersediaan air ditunjukkan oleh faktor K dimana faktor K adalah perbandingan antara debit yang tersedia di bendung dengan debit kebutuhan (DR) masing alternatif awal tanam. Hasil optimalisasi berdasarkan analisis neraca air dan pemberian air secara terus menerus dengan menggunakan faktor "K" masih menunjukkan terjadi defisit air 10 harian pada awal Musim Tanam I begitupula pada akhir musim Tanam III. Oleh sebab itu untuk periode bulan tersebut, cara pemberian air sebaiknya tidak dilakukan secara terus menerus melainkan bergiliran.

4.4.3. Identifikasi Model Hasil Optimasi dengan Kondisi Eksisting

Dari hasil optimasi dengan berbagai pola tanam dan awal tanam, dapat diketahui besarnya intensitas tanaman dan pendapatan yang paling maksimum berada pada awal tanam November I dengan pendapatan sebesar ***Rp. 1.131.897.000.000,-*** sedangkan pendapatan pada kondisi eksisting yaitu sebesar ***Rp. 681.088.116.600,-*** sehingga keuntungan yang diperoleh sebesar ***Rp. 450.808.833.400,-*** dengan intensitas tanaman meningkat dari 170,2% menjadi 300,0%. Hal ini membuktikan bahwa perubahan pola tanam dan awal tanam meningkatkan pendapatan produksi petani pada daerah irigasi Sadang.



Gambar 5: Grafik Perbandingan Kondisi Eksisting vs Optimasi

Gambar 5 menunjukkan hasil optimasi menunjukkan kenaikan dari segi keuntungan yang diperoleh dibandingkan dengan kondisi eksisting saat ini. Namun masih terdapat defisit 10 harian tiap tahunnya. Hal ini dikarenakan dalam pengoptimasiannya tidak memperhitungkan ketersediaan air dari periode 10 harian tetapi menggunakan ketersediaan air per musim tanam.

5. KESIMPULAN

a. Hasil analisa ketersediaan dan kebutuhan air saat ini, diketahui bahwa ketersediaan air pada bendung gerak Benteng masih sangatlah melimpah namun pemanfaatan airnya kurang optimal karena masih terdapat kekurangan air pada awal musim tanam I dan pada akhir musim tanam II. Untuk dapat meningkatkan sistem operasi intake bendung dalam hal ini efisiensi pemakaian air irigasi, maka perlu diadakan pengaturan pola tanam dan awal tanam.
b. Hasil analisis optimasi terhadap masing-masing alternatif awal tanam dan pola tanam menunjukkan bahwa awal tanam November I memberikan solusi yang terbaik untuk diterapkan di daerah irigasi Sadang. Hal ini disebabkan karena nilai intensitas tanam dan keuntungan maksimal yang diperoleh lebih tinggi dibanding kondisi alternatif yang lain.
c. Hasil optimalisasi berdasarkan analisis neraca air dan pemberian air secara terus menerus dengan menggunakan faktor "K" masih menunjukkan terjadi defisit air 10 harian pada awal musim tanam I begitupula pada akhir musim tanam II. Oleh sebab itu untuk periode bulan tersebut, cara pemberian air sebaiknya tidak dilakukan secara terus menerus melainkan bergiliran.
d. Dari hasil optimasi dengan berbagai pola tanam dan awal tanam, dapat diketahui besarnya intensitas tanaman dan pendapatan yang paling maksimum berada pada awal tanam November I dengan pendapatan sebesar *Rp. 1.131.897.000.000,-* sedangkan pendapatan pada kondisi eksisting yaitu sebesar *Rp. 681.088.116.600,-* sehingga keuntungan yang diperoleh sebesar *Rp. 450.808.833.400,-* dengan intensitas tanaman meningkat dari 170,2% menjadi 300,0%. Hal ini membuktikan bahwa perubahan pola tanam dan awal tanam meningkatkan pendapatan produksi petani pada daerah irigasi Sadang.

DAFTAR PUSTAKA

1. Anonim 1 (2007) *Pedoman O & P Bendung Benteng DI Sadang*. Makasar.
2. Suripin (2004) *Sistem Drainase Perkotaan yang Berkelanjutan*. Yogyakarta: ANDI Offset.
3. Soemarto, C.D. (1992) *Hidrologi Teknik* Edisi Ke-2 (Dengan Perbaikan), Jakarta: Erlangga.
4. William O. Pruitt dan J. Doorenbos (1977) *Crop Water Reqiurement*, FAO Irrigation and Drainage Paper No. 24 (Rev.), Rome.
5. Anonim 4 (1986) *Standard Perencanaan Irigasi KP-01*. Bandung: CV. Galang Persada.
6. Sidharta S.K. (1997) *Pengembangan Sumber Daya Air*, Jakarta: Guna Darma.

PENGEMBANGAN MODEL DESA KONSERVASI DI KAWASAN HULU DAS BRANTAS

Kustamar[1], Togi H. Nainggolan [2], Agung Witjaksono[3]

[1] Teknik Sumberdaya Air/ Teknik Sipil S-1 ITN Malang
[2] Teknik Sipil S-1 ITN Malang
[3] Teknik Planologi ITN Malang
Jl. Bendungan Sigura-gura No. 2, Malang
Tel : (0341) 551431 ; Hp. (08123313994 ; Fax : (0341) 553015
Email: kustamar@yahoo.co.id

Abstrak

Hulu Daerah Aliran Sungai (DAS) Brantas merupakan kawasan konservasi untuk melindungi potensi sumber daya air yang digunakan oleh sebagian besar masyarakat di Jawa Timur. Potensi sumber daya air tersebut tersimpan dalam bentuk: mata air, air tanah dan air permukaan yang ditampung dalam beberapa waduk besar di sepanjang Kali Brantas. Ancaman yang terjadi berupa: banyaknya mata air yang mati, berkurangnya debit sungai di musim kemarau, dan pendangkalan waduk yang pada akhirnya terakumulasi dalam wujud bahaya banjir dan kekurangan air. Konservasi merupakan bagian penting dari kegiatan pengelolaan sumber daya air, yang hingga saat ini telah dilakukan dalam berbagai bentuk upaya. Dalam kawasan hulu DAS Brantas, upaya konservasi dilakukan dalam bentuk kombinasi antara metode vegetatif, mekanis, dan konstruktif. Berbagai instansi, Lembaga Swadaya Masyarakat (LSM), masyarakat sekitar, dan perguruan tinggi telah banyak terlibat dalam berbagai kegiatan. Namun karena tingkat keberhasilan dinilai masih rendah, maka timbul berbagai upaya baru. Upaya melibatkan masyarakat semakin digeser ke upaya pemberdayaan masyarakat, sehingga keberhasilan konservasi juga diukur dengan peningkatan pendapatan penduduk setempat. Kegiatan parsial dalam bentuk proyek percontohan pada akhirnya diperbaiki dengan upaya yang lebih mengedapankan kebersamaan, yaitu pembentukan desa konservasi. Berbagai bentuk desa konservasi telah dikembangkan oleh berbagai instansi, sesuai dengan tujuan dan konsepnya. Variasi kondisi fisik DAS dan Sosial masyarakat di hulu DAS Brantas tentu sangat mempengaruhi bentuk desa konservasi yang sesuai. Oleh karena hal tersebut dilakukan penelitian untuk menemukan formulasi bentuk desa konservasi di hulu DAS Brantas yang mengkondiskan terbentuknya budaya "konservasi merupakan bagian dari kegiatan sehari-hari". Kegiatan penelitian memerlukan waktu 3 tahun, yaitu: tahun ke-1, dalam tahap memilihan desa percontohan yang akan dikembangkan sebagai Model Desa Konservasi, tahun ke-2 adalah tahap penyusunan program dan kegiatan dalam pengembangan Model Desa Konservasi, sedangkan tahun ke 3 adalah tahap sosialisasi dan desiminasi hasil. Mengingat Kota Batu memiliki visi menjadi Kota Wisata Agro, maka pembangunan desa tentu diarahkan untuk mendukung tercicapainya visi tersebut. Hasil analisa data pada penelitian tahun ke-1 menunjukkan bahwa di Kota Batu terdapat 3 desa yang potensial untuk dikembangkan menjadi Model Desa Konservasi, yaitu : (1). Desa Sumber Brantas, mewakili desa yang memiliki mayoritas lahan budidaya pertanian dalam kawasan konservasi, (2). Desa Bumiaji, mewakili desa dengan kawasan mayoritas lahan untuk budidaya pertanian pada kawasan pertanian, (3). Desa Sisir, mewakili desa dengan mayoritas kawasan berupa area perdagangan dan wisata desa.

Kata kunci: Hulu DAS Brantas, Desa Konservasi, Pemberdayaan masyarakat

1. PENDAHULUAN

Hulu Daerah Aliran Sungai (DAS) Brantas merupakan kawasan konservasi untuk melindungi potensi sumber daya air (SDA) yang digunakan oleh sebagian besar masyarakat di Jawa Timur. Potensi sumber daya air tersebut tersimpan dalam bentuk: mata air, air tanah dan air permukaan yang ditampung dalam beberapa waduk besar di sepanjang Kali Brantas. Ancaman terhadap potensi SDA tersebut berupa: banyaknya

mata air yang mati, berkurangnya debit sungai di musim kemarau, dan pendangkalan waduk yang pada akhirnya terakumulasi dalam wujud bahaya banjir dan kekurangan air.

Konservasi merupakan bagian penting dari kegiatan pengelolaan sumber daya air, yang hingga saat ini telah dilakukan dalam berbagai bentuk upaya. Dalam kawasan hulu DAS Brantas, upaya konservasi dilakukan dalam bentuk kombinasi antara metode vegetativ, mekanis, dan konstruktif. Berbagai instansi, Lembaga Swadaya Masyarakat (LSM), masyarakat sekitar, dan perguruan tinggi telah banyak terlibat dalam berbagai kegiatan. Namun karena tingkat keberhasilan dinilai masih rendah, maka timbul berbagai upaya baru.

Upaya melibatkan masyarakat semakin digeser ke upaya pemberdayaan masyarakat, sehingga keberhasilan konservasi juga diukur dengan peningkatan pendapatan penduduk setempat. Kegiatan parsial dalam bentuk proyek percontohan pada akhirnya diperbaiki dengan upaya yang lebih mengedapankan kebersamaan, yaitu pembentukan desa konservasi. Berbagai bentuk desa konservasi telah dikembangkan oleh berbagai instansi, sesuai dengan tujuan dan konsepnya.

Oleh karena hal tersebut perlu adanya penelitian tentang pengembangan model desa konservasi. Mengingat wilayah Kota Batu mayoritas berupa kawasan konservasi dan terdapat ratusan mata air (termasuk di dalamnya mata air Sumber Brantas), maka tepat jika model desa konservasi mulai dikembangkan dari kawasan ini.

2. DASAR TEORI

2.1. MDK Direktorat Jenderal Perlindungan Hutan dan Konservasi Alam

Pengembangan desa konservasi merupakan salah satu program yang dirintis oleh Direktorat Jenderal Perlindungan Hutan dan Konservasi Alam (Ditjen PHKA), Departemen Kehutanan, Direktorat Jenderal PHKA telah berencana mengembangkan 132 Model Desa Konservasi (MDK) di sekitar 77 Unit Pelaksana Teknis Balai Konservasi Sumberdaya Alam atau Balai Taman Nasional.

Upaya mewujudkan komitmen tersebut, sejak tahun 2007, Ditjen PHKA bersama Environmental Services Program (ESP) yang didanai *United State Agency for International Development* (USAID), mengembangkan desa konservasi di 16 kawasan konservasi yang terletak di lima (5) provinsi prioritas, yaitu Jawa Barat, Jawa Tengah/DI Yogyakarta, Jawa Timur, Aceh, dan Sumatera Utara.

Sebagian besar desa konservasi tersebut dipilih yang berada di hulu Daerah Aliran Sungai (DAS) dan menjadi salah satu bentuk pendekatan untuk mewujudkan pengelolaan DAS terpadu. Kegiatan-kegiatan yang dilakukan antara lain pemilihan lokasi dengan pendekatan *development pathways*, pengembangan unit sekolah lapang di desa-desa yang terletak di wilayah hulu dan dekat dengan kawasan konservasi.

Pengembangan rencana aksi dan penggalangan dukungan para pihak dalam implementasi rencana aksi konservasi. Desa konservasi merupakan sebuah inisiatif upaya konservasi yang partisipatif dengan pola pemberdayaan masyarakat. Inisiatif ini sangat penting dan relevan dengan karakter masyarakat Indonesia.

2.2. MDK Balai Besar Wilayah Sungai Brantas

Konsep pemberdayaan masyarakat sejauh ini diyakini sebagai cara yang paling efektif untuk mengajak masyarakat secara bersama-sama melanjutkan pembangunan yang berkelanjutan. Dengan konsep ini, masyarakat diberikan pengertian, kesadaran dan pelatihan tentang pentingnya nilai-nilai keberdayaan mereka baik secara ekonomi, sosial, maupun lingkungan. Karena itu, konsep pemberdayaan masyarakat oleh Balai

Besar Wilayah Sungai Brantas dijadikan sebagai salah satu pilar di antara lima pilar yang ada sebagai pondasi arah kerja dan gerak Balai Besar Wilayah Sungai Brantas sendiri. Lima pilar tersebut meliputi: Konservasi, Pendayagunaan SDA, Pengendalian Daya Rusak, Peran Serta Masyarakat dan Swasta, SISDA.

Untuk memujudkan pilar bidang pemberdayaan dan peningkatan peran serta masyarakat para pemilik kepentingan di bidang SDA tersebut, Balai Besar Wilayah Sungai Brantas telah membuat beragam program pemberdayaan masyarakat di daerah hulu sungai tepatnya di Kota Batu dan Kabupaten Malang. Program itu diharapkan mampu meningkatkan peran serta masyarakat di daerah hulu sungai untuk ikut serta melestarikan sumber daya air Sungai Brantas. Selain itu, program-program yang dibuat diharapkan mampu meningkatkan kesejahteraan ekonomi masyarakat di sekitar Hulu Sungai Brantas.

3. METODE

Penelitian direncanakan dalam 3 tahap, yang dilakukan pada 3 tahun yaitu: tahap pemilihan desa percontohan yang digunakan sebagai model serta identifikasi masalah dan potensi yang dapat dikembangkan, penyusunan program dan kegiatan pengembangan desa, serta tahap sosialisasi dan desiminasi hasil.

Pada tahun ke 1, kegiatan penelitian meliputi: Pengumpulan data, Pemilihan Desa, dan Identifikasi Masalah serta Potensi dalam Pengembangan Model. Tahapan penelitian tersebut diperjelas dengan gambar sebagai berikut:

Pengumpulan Data

Data yang diperlukan dalam pengembangan model dikumpulkan dengan 2 cara, yaitu: dengan cara menutip data yang telah ada (skunder) atau dengan mengamatan langsung di lapangan (primer).

Data yang dikutip dari sumber pengelola meliputi data: jumlah dan perekonomian penduduk, luas setiap jenis penggunaan lahan, kondisi tutupan lahan, hidrologi dan klimatologi, topografi dan jenis tanah kegiatan dan hasil budidaya pertanian, serta system pemasaran hasil panen.

Sedangkan data yang diperoleh secara langsung di lapangan adalah: sifat kimia tanah, kebutuhan penduduk, pengetahuan penduduk terhadap konservasi.

Kegiatan konservasi yang pernah dilakukan dan kondisi keberlanjutannya perlu diidentifikasi, untuk masukan dalam menyusun program dan kegiatan berikutnya.

Identifikasi Masalah dan Potensi

Permasalahan dan potensi dalam kaitannya dengan konservasi dan pemberdayaan masyarakat di seluruh desa yang berada di hulu DAS Brantas dan berada di wilayah administrative Kota Batu diidentifikasi. Sebagai indicator dalam identifikasi digunakan: kondisi kekritisan lahan, kondisi (debit) air permukaan dan kedalaman air bawah permukaan, sumber perekonomian, pendapatan dan kebutuhan penduduk.

Pemilihan Desa

Berdasarkan permasalahan dan potensi yang terrekam, dilakukan pengelompokan desa untuk memperludah dalam menyusun pola dan strategi konservasi

dan pemberdayaannya. Setiap kelompok diwakili sebuah desa untuk dianalisa dan dikembangkan sebuah model desa konservasi.
Pengelompokan dilakukan berdasarkan factor-faktor yang berpengaruh terhadap aktivitas ekonomi masyarakat, sehingga dalam hal ini model desa dikembangkan dalam 3 type yaitu:

Type I: Desa yang mayoritas lahan pertanian dengan kemiringan terjal sehingga termasuk dalam kawasan konservasi, dengan demikian banyak masyarakat yang aktifitas ekonominya sebagai petani di lahan konservasi.

Type II: Desa dengan kawasan mayoritas lahan untuk budidaya pertanian, dan mayoritas masyarakatnya sebagai petani dan agro idustri

Type III: Desa dengan mayoritas kawasan berupa area perdagangan dan wisata desa, sehingga masyarakatnya dalam beraktifitas ekonomi memiliki ketergantungan tinggi dengan kondisi lingkungan tempat tinggalnya.

4. HASIL

Berdasarkan hasil analisa data, terpilih 3 desa yang dianggap tepat mewakili kondisi desa lain dalam kelompoknya, yaitu: Desa Sumber Brantas sebagai Model Desa Konservasi Type I, Desa Bumiaji sebagai Model Desa Konservasi Type II, dan Desa Sisir sebagai Model Desa Konservasi Type III.

Model Desa Konservasi Type I

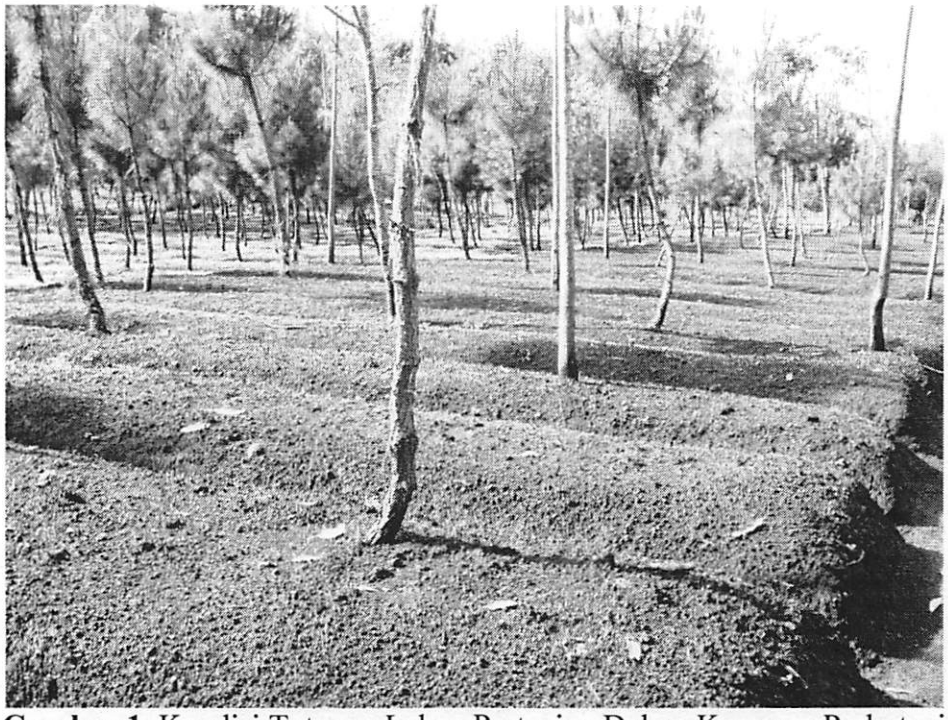
Model Desa Konservasi Type I adalah model desa konservasi yang mewakili desa-desa dengan kondisi: mayoritas lahan budidaya pertanian dalam kawasan konservasi. Sebagai masukan dalam identifikasi dilakukan klasifikasi kemiringan lereng pada lahan budidaya pertanian, pada seluruh desa di wilayah Kota Batu.

Berdasarkan hasil analisa dan klasifikasi tersebut dilakukan pengurutan dari besar ke kecil, dan ditemukan Desa Sumber Brantas sebagai urutan I sehingga ditetapkan sebagai desa yang akan dikembangkan sebagai Desa Konservasi Type I.

Potensi kegiatan ekonomi masyarakat Desa Sumber Brantas yang dapat disrtai kegiatan konservasi ialah: budidaya pertanian di lahan milik Perhutani dan di lahan milik warga. Budidaya pertanian di lahan milik Perhutani dilakukan oleh Petani Penggarap/ pesanggem yang terorganisir dalam Lembaga Masyarakat Desa Hutan (LMDH). Sedangkan budidaya pertanian di lahan milik warga dilakan petani, baik yang berasal dari dalam maupun luar Desa Sumber Brantas.

Permasalahan mendasara yang timbul dalam aktifitas Pesanggem adalah adanya kontradiktif antara tuntutan Perhutani (untuk konservasi) dan tuntutan kepentingan Pesanggem. Perhutani member amanat agar tumbuhan (tanaman keras) yang ditanam harus dirawat dan tidak diganggu sehingga dapat tumbuh subur dengan tajuk yang lebar dan daun yang lebat.

Hal tersebut sesuai dengan konsep konservasi bahwa tutupan lahan yang baik akan melindungi permukaan lahan dari gempuran energy hujan, serta meningkatkan kapasitas resapan air hujan. Namun kondisi ini tentunya tidak menguntungkan bagi para pesanggem, karena pohon yang berfungsi sebagai teduhan jika tumbuh seperti tuntutan Perhutani akan menyulitkan tumbuh kembangkanya tanaman yang ditanam di bawahnya. Dengan demikian, timbul upaya bagaimana agar tumbuhan pelindung tidak tumbuh subur dan memeiliki tajuk serta daun yang baik. Periksa Gambar 1.



Gambar 1. Kondisi Tutupan Lahan Pertanian Dalam Kawasan Perhutani

Beberapa permasalahan dalam budiadaya pertanian di lahan wilik warga, antara lain ialah:

1. Pemahaman bahwa tanah/lahan sebagai media tumbuh tanaman sayuran harus sesedikit mungkin tergenang air hujan sehingga dikondisikan dibuat teras gulud yang tegak lurus arah kemiringan lereng.
2. Tanaman sayuran memerlukan penyinaran matahari yang maksimal, sehingga tidak cocok jika terdapat tanaman pelindung.

Oleh karena hal tersebut, maka petani selalu mengkondisikan lahannya sesuai dengan pemahaman di atas. Kondisi ini diperlihatkan pada gambar 2 berikut:

Jika pemahaman di atas dapat direduksir dengan konsep pengolahan lahan dalam kaidah konservasi (Gambar 3), pada dasarnya dapat dilakukan dan tidak akan mengurangi produktifitasnya, bahkan dalam jangka panjang akan lebih baik.

Gambar 2. Teras Gulud dengan Arah yang Kurang Tepat

Gambar 3. Cara Olah Tanah Sesuai Dengan Kaidah Konservasi

Model Desa Konservasi Type II

Model Desa Konservasi Type II adalah model desa konservasi yang mewakili desa-desa dengan kondisi: kawasan mayoritas lahan untuk budidaya pertanian pada kawasan pertanian. Identifikasi luas lahan pertanian di luar kawasan konservasi di setiap desa dalam wilayah Kota Batu menghasilkan bahwa Desa Bumiaji cocok untuk dikembangkan menjadi Desa Konservasi Type II.

Pada awalnya lahan [pertanian di Desa Bumiaji dikenal dengan kawasan penghasil Apel kualitas terbaik. Penggunaan pupuk kimia yang berlebih mengakibatkan produktifitas dan kualitas apel cenderung terus menurun. Dengan kualitas rendah, secara ekonomis petani apel tidak dapat eksis lagi, apalagi dengan kehadiran apel import.

Kondisi budidaya tamanam apel saat ini dalam tahap pemulihan kembali, seiring dengan upaya penggunaan pupuk non-kimia. Produktifitas dan kualitas apel mulai membaik. Kesempatan terbuka semakin lebar manakala upaya menggeser sentra apel ke daerah Poncokusumo Kabupaten Malang kurang berhasil, terutama dari segi kualitas rasa dan tampilan buahnya. Hal ini disebabkan karena jenis tanahnya lebih cocok di kawasan Kota Batu, serta pengaruh abu semburan dari Gunung Semeru yang rutin terjadi.

Kehadiran tanaman tebu telah menimbulkan permasalahan baru dalam upaya meingktkan kebangkitan petani apel tersebut. Tanaman tebu lebih menjanjikan secara ekonomis, namun harus diantisipasi dampak yang timbul akibat pemberian pupuk kimia yang cenderung berlebihan.

Model Desa Konservasi Type III

Model Desa Konservasi Type III adalah model desa konservasi yang mewakili desa-desa dengan kondisi: mayoritas kawasan berupa area perdagangan dan wisata desa. Identifikasi desa yang cocok untuk dikembangkan menjadi Desa Konservasi Type III dilakukan berdasarkan jumlah penduduk yang memiliki profesi sebagai pedagang yang berjualan di dalam desanya, dan terdapat banyak potensi wisata di dalam kawasan desa tersebut. Berdasarkan diskusi tim dengan Kantor Lingkungan Hidup Kota Batu disepakati bahwa Desa Sisir dipilih sebagai desa yang dikembangkan menjadi Desa Kosnervasi Type III.

Permasalahan sanitasi merupakan masalah utama dari aktifitas ekonomi masyarakat Desa Sisir berkaitan dengan konservasi. Genangan dan pengolahan limbah rumah tangga, baik limbah rutin (kotoran) maupun limbah dari kegiatan home industry. Mengingat aktifitas ekonomi masyarakat Desa Sisir sebagai pedagang dan komponen pengelola wisata desa maka sanitasi menjadi masalah penting.

Oleh karena hal tersebut, maka kehadiran sumur resapan, dan pengolah limbah komunal kemungkinan besar dapat diterima masyarakat.

5. PENUTUP

Kesimpulan

Berdasarkan analisa data dan pembahasan, maka disimpulkan sebagai berikut:

1. Desa Sumber Brantas, mewakili desa dengan mayoritas lahan pertaniaannya berada pada kawasan konservasi, sehingga banyak masyarakat yang aktifitas ekonominya berkitan langsung dengan lahan konservasi, baik di dalam hutan maupun di luar hutan, yang selanjutnya disebut sebagai Model Desa Konservasi Type I.
2. Desa Bumiaji, mewakili desa dengan kawasan mayoritas lahan untuk budidaya pertanian, dan mayoritas masyarakatnya sebagai petani, yang selanjutnya disebut sebagai Model Desa Konservasi Type II.
3. Desa Sisir, mewakili dengan mayoritas kawasan berupa area perdagangan dan wisata desa, sehingga masyarakatnya dalam beraktifitas ekonomi memiliki ketergantungan tinggi dengan kondisi lingkungan tempat tinggalnya, yang selanjutnya disebut sebagai Model Desa Konservasi Type III.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Kopertis Wilayah VII, DP2M DIKTI yang telah membiayai penelitian ini, dan Kantor Lingkungan Hidup Kota Batu yang telah banyak member bantuan fasilitas, serta Pemerintah Desa: Sumber Brantas, Sisir, dan Bumiaji, yang telah bersedia bekerja sama dengan baik sehingga penelitian tahap I ini dapat berjalan sesuai dengan rencana.

DAFTAR PUSTAKA

[1] BAKOSURTANAL. **Peta Rupa Bumi,** Blom Narcon Cooperation. Bandung. 2001

[2] Pemerintah Kota Batu. 2011. Batu Dalam Angka. Tidak diterbitkan.

[3] Departemen Kehutanan RI. 1998. **Pedoman Penyusunan Rencana Teknik Lapangan Rehabilitasi Lahan dan Konservasi Tanah Daerah Aliran Sungai,** Direktorat Jenderal Reboisasi Dan Rehabilitasi Lahan. Jakarta.

[4] Departemen Kehutanan RI. 2011. **Pedoman Umum Program Nasional Pemberdayaan Masyarakat Mandiri Kehutanan Aliran Sungai,** Direktorat Jenderal Reboisasi Dan Rehabilitasi Lahan. Jakarta.

[5] Kustamar. **Simulasi Penggunaan Lahan Untuk Mengendalikan Fluktuasi Debit Kali Lesti**. Naskah disampaikan dalam "Seminar Nasional Teknik Sumberdaya Air 2008". UNJANI-UNPAR-ITENAS-PUSSDA-HATTI. Bandung.

[6] Kustamar; **Konsep dan Contoh Pemodelan Hidrologi DAS**, Malang, *UM Press*.2009.

[7] Kustamar, Suharto,B., Sumarno, Budikusuma, W.; **Pengembangan Model Simulasi Penggunaan Lahan Untuk Mengendalikan Fluktuasi Debit Sungai**. *Jurnal Rekayasa*. Fakultas Teknik Sipil, Universitas Jember. 6 (1), pp. 1-15. 2009.

[8] Kustamar, Hirijanto. **Peningkatan Peran Masyarakat Kota Batu Dalam Mitigasi Bencana Di Hulu DAS Brantas**. Naskah disampaikan dalam "Seminar Nasional Teknik Sumber Daya Air 2009", UNJANI-UNPAR-ITENAS-PUSSDA-HATTI. Bandung.

[9] Kustamar. **Konservasi Sumberdaya Air di Kabupaten Sumba Timur**. Naskah disampaikan dalam "Seminar Nasional: Aplikasi Teknologi Prasarana Perkotaan 2009", ITS Surabaya

[10] Kustamar, Yulianti, E. **Model Hidrologi DAS ITN-1**, *Jurnal Pusair*, PULITBANG PU Bandung. Vol.5 No.9, pp. 1-15. November 2009.

[11] Kustamar, Yulianti, E. Model Hidrologi DAS ITN 2, **Mengakomodasi Pengaruh Penggunaan Lahan dalam Analisa Potensi Sumberdaya Air**. Naskah disampaikan dalam "Seminar Nasional: Apects 2009", ITS. Surabaya.

[12] Kustamar, Lilya DSW, Nugroho S. 2010. **Pengembangan Model Hidrologi Das Konservasi Sumber Air Berbasis Partisipasi Masyarakat Di Kota Batu Jawa Timur.** Jurnal Dinamika Teknik Sipil. Vol 10 No 2.

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

ISBN 978-979-99327-8-5

PEMODELAN POLA PENGOPERASIAN WADUK WONOREJO UNTUK PRODUKSI ENERGI MENGGUNAKAN ANFIS

Oni Febriani [1], Nadjadji Anwar [2], Pujo Aji [3]

[1]*Mahasiswa Pascasarjana MRSA, Jurusan Teknik Sipil FTSP, ITS, Kampus ITS Sukolilo Surabaya, email : onifebri@yahoo.com*
[2]*Dosen Jurusan Teknik Sipil FTSP, ITS, Kampus ITS Sukolilo Surabaya, email : nadjadji@ce.its.ac.id*
[3]*Dosen Jurusan Teknik Sipil FTSP, ITS, Kampus ITS Sukolilo Surabaya, email : pujo@ce.its.ac.id*

ABSTRAK

Keterbatasan ketersediaan air di waduk akan menyebabkan berkurangnya efektifitas waduk dalam melayani dan memenuhi kebutuhan energi, maka perlu dilakukan pemanfaatan air waduk sebaik-baiknya dengan menggunakan suatu model pola pengoperasian waduk yang tepat dan sesuai dengan karakteristik waduk. Waduk yang dijadikan objek dalam penelitian ini adalah waduk Wonorejo yang mengalami ketidakoptimalan fungsi terutama pada musim kemarau.
Dalam penelitian ini akan menggunakan data *inflow*, elevasi, evaporasi dan *outflow* dari tahun 2004 sampai dengan tahun 2011 sebagai variabel input sedangkan produksi energi waduk sebagai variabel output model. Metode yang digunakan adalah *Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System* (ANFIS) yang merupakan penggabungan mekanisme *Fuzzy Inference System* (FIS) yang digambarkan dalam arsitektur *Artificial Neural Network* (ANN).
Hasil penelitian menunjukkan bahwa model ANFIS dengan jenis fungsi keanggotaan Double Sigmoid dan fungsi keanggotaan variabel input 2232 dapat mensimulasi data observasi secara akurat. Model mampu menghasilkan nilai RMSE 9.58 dan tingkat efektifitas 91.38 % sebagai indikator pembanding antara output model dengan historis, sehingga dapat disimpulkan bahwa model tersebut sangat potensial untuk diterapkan dalam pemanfaatan Sumber Daya Air (SDA) Waduk Wonorejo untuk produksi energi di masa datang.

Kata Kunci : *ANFIS, Energi, Pola Operasi Waduk.*

1. PENDAHULUAN

Waduk merupakan sarana pemanfaatan SDA yang berfungsi sebagai penyimpan dan penyedia air yang digunakan untuk berbagai kebutuhan seperti PLTA. Keterbatasan ketertersedian air di waduk akan menyebabkan berkurangnya efektifitas waduk, maka diperlukan suatu model pola pengoperasian yang tepat dan sesuai dengan sistem dan karakteristik waduk.
Waduk yang dijadikan objek dalam penelitian ini adalah waduk Wonorejo yang memiliki kapasitas debit 122.000.000 m^3 dan berfungsi sebagai pembangkit energi listrik (PLTA) sebesar 6,3 MW. Waduk Wonorojo terletak di Sungai Brantas Hulu di Kali Gondang tepatnya di desa Wonorejo, kecamatan Pagerwojo. Pada musim kemarau terjadi defisit air sehingga fungsi waduk untuk produksi energi tidak optimal.
Dalam manajemen waduk wonorejo parameter hidrologi yang memperngaruhi dalam proses produksi energi dapat dinyatakan dalam bentuk persamaan :

$$R_t = S_t - S_{t+1} + I_t - E_t \qquad (1)$$

R_t : Release/Outflow pada tahap ke-t
S_t : Tampungan awal pada tahap ke-t

S_{t+1} : tampungan akhir pada tahap ke $_{t+1}$
I_t : Inflow pada tahap ke-t
E_t ; Evaporasi pada tahap ke-t

Release air dari waduk akan memiliki hubungan dengan jumlah produksi energi yang dibangkitkan melalui persamaan :

$$E = 9{,}81.\ R_t.\ H_t.\ Eff.\ t \qquad (2)$$

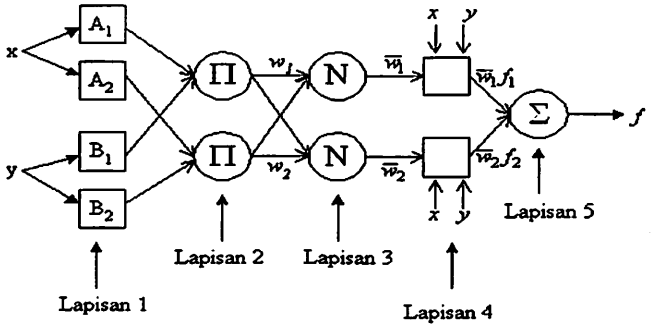
E : Energi listrik
H_t : Tinggi jatuh efektif
Eff : Effisiensi
T : Waktu

Berdasarkan persamaan di atas, produksi energi sangat dipengaruhi oleh parameter-parameter hidrologi seperti *inflow, outflow*, evaporasi dan elevasi muka air waduk. Parameter hidrologi ini yang akan digunakan sebagai *input* dan produksi energi yang menjadi *output* dalam pemodelan berbasis ANFIS.
Penerapan ANFIS untuk berbagai aspek permodelan telah banyak dilakukan dalam sejumlah kajian pada beberapa tahun terakhir diantaranya model temporal curah hujan dan debit (Ruminta, 2008), peramalan *inflow* waduk (Rosyadi, 2011). Hasil penerapan ANFIS untuk permodelan telah menunjukkan bahwa ANFIS merupakan metode permodelan terbaik untuk menganalisis data numerik, karena dalam proses *training* didasarkan minimalisasi nilai kesalahan atau *root mean square error* (RMSE) dari *output*-nya.
Tujuan dari penelitian ini adalah diharapkan model mampu mengidentifikasi dan mensimulasi data observasi secara akurat dan mampu meminimalisasi bias (RMSE) sehingga model sangat potensial untuk diterapkan dalam pemanfaatan Sumber Daya Air (SDA) waduk untuk produksi energi di masa datang.

2. LANDASAN TEORI

ANFIS adalah metode *hybrid* gabungan antara *Fuzzy Inference System* (FIS) model Sugeno dan Tsukamoto dengan *Artificial Neural Network* (ANN) dan dalam melakukan pengaturan aturan digunakan algoritma pembelajaran terhadap sekumpulan data. Pada ANFIS juga memungkinkan aturan-aturan untuk beradaptasi.
Struktur ANFIS terdiri dari dua bagian, bagian pertama terdiri dari dari pendahuluan dan bagian kedua kesimpulan yang secara keseluruhan dihubungkan satu dengan yang lain dengan aturan *fuzzy* dalam bentuk jaringan. Jumlah fungsi aktivasi ANFIS harus sama dengan jumlah aturan *fuzzy (IF – THEN)* termasuk juga jumlah fungsi aktivasi *input* harus sama dengan jumlah fungsi keanggotaan tiap-tiap *input*nya.
ANFIS terdiri dari lima lapisan jaringan yang menggambarkan jaringan syaraf berlapis-lapis dan memiliki fungsi yang berbeda tiap lapisnya. Tiap lapis terdiri dari beberapa simpul yang dilambangkan dengan kotak atau lingkaran. Lambang kotak menyatakan simpul adaptif artinya nilai parameternya bisa berubah dengan pembelajaran dan lambang lingkaran menyatakan simpul nonadaptif yang nilainya tetap.
Lapisan pertama merupakan proses *fuzzifikasi,* lapisan kedua melaksanakan *fuzzy* dengan operator AND pada bagian pendahuluan dari aturan *fuzzy,* lapisan ketiga untuk normalisasi, lapisan keempat melaksanakan bagian kesimpulan dari aturan *fuzzy* dan

lapisan terakhir menghitung keluaran dari sistem *fuzzy* dengan menjumlahkan keluran dari lapisan keempat yang dinamakan proses *defuzzifikasi.* Deskripsi masing-masing layer sebagai berikut :



Gambar 1. Struktur ANFIS
Sumber : Neuro-Fuzzy and Soft Computing (1997)

Lapisan 1: Berfungsi untuk membangkitkan derajat keanggotaan. Layer ini disebut layer input. Simpul dari layer ini akan terhubung dengan nilai keanggotaan *fuzzy* dengan x dan y adalah input bagi simpul ke i.

$$O_{1,i} = \mu_{Ai}(x),\ i = 1,2 \ldots\ldots \quad (3)$$

$$O_{1,i} = \mu_{Bi}(y),\ i = 3,4 \ldots\ldots \quad (4)$$

Lapisan 2 : Tiap output simpul menyatakan derajat pengaktifan *(firing strength)* tiap aturan fuzzy. Fungsi ini dapat diperluas apabila bagian premise memiliki lebih dari dua himpunan *fuzzy.* Banyaknya simpul pada lapisan ini menunjukkan banyaknya aturan yang dibentuk.

$$O_{2,i} = w_i = \mu_{Ai}(x) * \mu_{Bi}(y), \quad (5)$$

Lapisan 3 : Menormalkan *firing strength.* Lapisan setiap simpul pada lapisan ini adalah simpul nonadaptif yang menampilkan fungsi derajat pengaktifan ternormalisasi *(normalized firing strength)* yaitu rasio output simpul ke-i pada lapisan sebelumnya terhadap seluruh output lapisan sebelumnya, dengan bentuk fungsi simpul :

$$O_{3,i} = \overline{w}_i = \frac{w_i}{w_1 + w_2},\quad i = 1,2 \ldots \quad (6)$$

Lapisan 4 **:** Menghitung output kaidah berdasarkan parameter *consequent* (pi, qi dan ri)

$$O_{4,i} = \overline{w}_i f_i = \overline{w}_i(p_i x + q_i y + r_i) \quad (7)$$

Lapisan 5 : Menghitung sinyal output ANFIS dengan menjumlahkan semua sinyal yang masuk.

$$O_{5,i} = \sum_i \overline{w}_i f_i = \frac{\sum_i w_i f_i}{\sum_i w_i} \quad (8)$$

3. DATA DAN METODOLGI

Penelitian ini menggunakan data-data observasi yang diperoleh dari PT. Perum Jasa Tirta I Malang meliputi besaran debit masuk waduk, data pelepasan air untuk

kepentingan pembangkitan listrik, data energi yang dibangkitkan, data evaporasi dan data elevasi muka air waduk. Data tersebut dibagi menjadi tiga bagian yaitu data *training* sebanyak 202 data, data *checking* sebanyak 43 data dan data *testing* sebanyak 43 data.

Langkah analisa menggunakan model ANFIS sebagai berikut :

1. Menentukan variabel input dan output sesuai dengan sistem pengoperasian waduk. Variabel yang digunakan sebagai variabel input sesuai urutan adalah *inflow,* elevasi, evaporasi dan *outflow* sedangkan variabel outputnya adalah energi.
2. Menentukan banyak fungsi keanggotaan. Dalam penelitian ini menggunakan beberapa kombinasi jumlah fungsi keanggotaan seperti tertera pada Tabel 1.
3. Menentukan tipe fungsi keanggotaan. Tipe fungsi keanggotaan *input* yang digunakan adalah *Gaussian, Bell Shaped Gaussian dan Double Sigmoid* dan fungsi keanggoataan *output* adalah *constant.*
4. Menentukan *epoch* untuk mendapatkan parameter-parameter ANFIS yang akan meminimumkan MRSE. Batasan *epoch* yang dipakai adalah 1000 dengan tingkat toleransi *error* 0.05. Dalam poroses pembelajaran ini akan menggunakan kombinasi *bacpropogation* dan RLSE yang dikenal dengan *hybrid.*
5. Menjalankan setiap fungsi pada tiap lapisan ANFIS.
6. Kemudian dilanjutkan dengan menvalidasi hasil pembelajaran untuk mendapatkan pemodelan terbaik. Model yang paling baik jika mempunyai nilai RMSE paling kecil. Nilai MRSE dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{t=1}^{N}(Yt' - Yt)^2} \qquad (9)$$

di mana *Y't* adalah output model ANFIS, *Yt* adalah data hasil observasi; dan *N* adalah banyaknya data deret yang dianalisis.

Indikator pembanding lainnya yang digunakan dalam penelitian ini untuk mengetahui keandalan model dalam mengenal prilaku pola pengoperasian untuk produksi energi adalah Kriteria NASH, persamaannya :

$$EF = \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^{N}(E_{model,i}{}' - E_{obs,i})^2}{\sum_{i=1}^{N}(E_{obs,i} - \overline{E_{obs}})^2}\right] x\ 100\ \% \qquad (10)$$

EF : Tingkat Efektifitas (%)
E_{model} : Energi yang dihasilkan dari model (MWh)
E_{obs} : Energi Observasi (MWh)
$\overline{E_{obs}}$: Energi Observasi Rata-rata (MWh)
i : Periode awal (10 Harian)
n : Periode akhir (10 Harian)

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

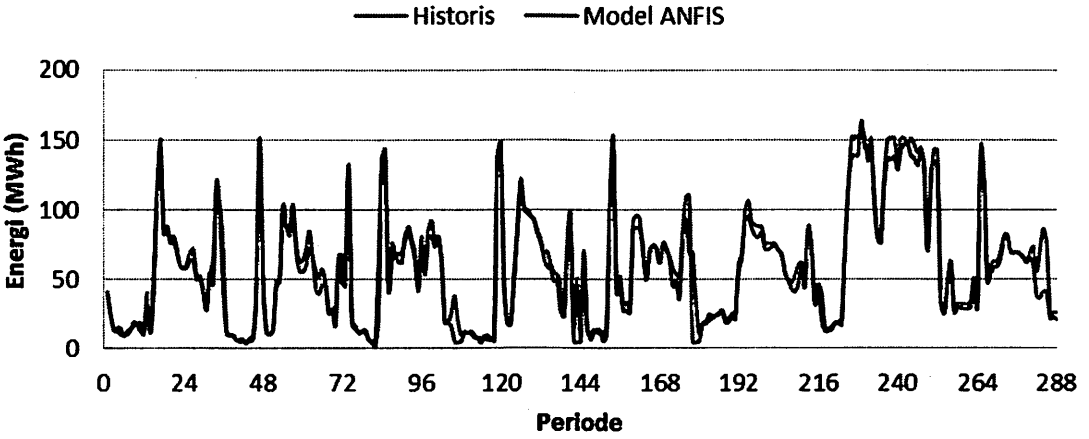
Dalam proses pembelajaran ANFIS digunakan data *training* dan *checking* untuk mendapatkan pemodelan terbaik dengan melakukan pengujian terhadap beberapa fungsi keanggoatan. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa model ANFIS sangat baik untuk mengidentifikasi produksi energi observasi. Hal ini dapat dilihat pada Tabel 1 berikut :

Tabel 1. Perbandingan Nilai MRSE beberapa Jenis dan Jumlah Fungsi Keanggotaan

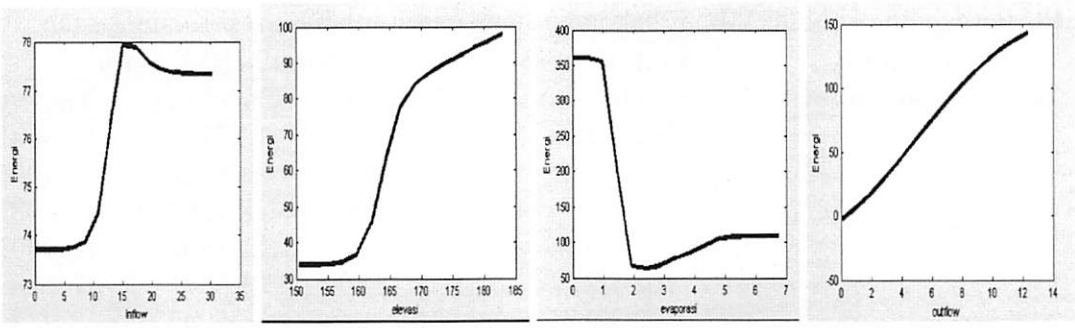
No	Jenis Fungsi Kanggotaan Input	Jumlah Fungsi Kanggotaan Input	Nilai MRSE Data		
			Training	Checking	Testing
1	Gaussian	3 2 2 3	8.3509	10.7153	19.8532
2		3 2 3 2	9.4130	23.1738	16.9095
3		2 2 3 3	9.6748	18.7208	15.4087
4		2 2 2 3	6.9150	11.1502	13.0007
5		2 2 3 2	11.4840	13.5341	13.1893
6		2 3 3 2	10.2095	13.5943	13.9274
7	Bell Shaped Gaussian	3 2 2 3	7.1344	10.0699	96.4766
8		3 2 3 2	9.3250	20.7344	16.3354
9		2 2 3 3	5.5396	16.3660	71.3680
10		2 2 2 3	10.7837	10.7984	15.2176
11		2 2 3 2	9.7824	9.0902	14.2699
12		2 3 3 2	9.3865	11.7255	14.5099
13	Double Sigmoid	3 2 2 3	6.4528	9.7644	51.5851
14		3 2 3 2	9.0210	25.5878	22.7347
15		2 2 3 3	9.4862	15.3043	23.0812
16		2 2 2 3	9.0421	13.4062	35.1792
17		2 2 3 2	10.0024	8.3185	11.8487
18		2 3 3 2	10.4616	15.4678	24.3255

Berdasarkan hasil pada Tabel 1 terlihat bahwa perbedaan fungsi keanggotaan akan memberikan hasil yang berbeda. Hasil terbaik yang memiliki nilai MRSE terkecil adalah model 17 dengan jenis fungsi keanggotaan Double Sigmoid dan jumlah fungsi keanggotaan 2232.

Grafik yang menggambarkan perbandingan hasil pemodelan ANFIS dengan data observasi dapat dilihat pada Gambar 2. Gambar 3 sampai dengan Gambar 6 menunjukkan hubungan antara variabel input invidual terhadap output model.



Gambar 2. Perbandingan Energi Historis dan ANFIS (Model 17)



Gambar 2. Hubungan Individual *Input* dengan Energi

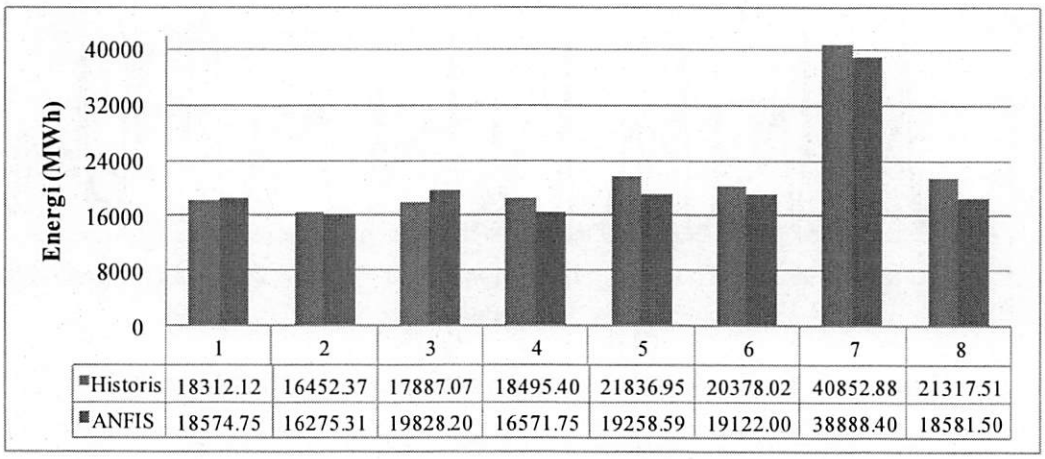
4.1 EVALUASI MODEL

Evaluasi model dilakukan untuk mengetahui keandalan model, yaitu dengan cara membandingkan keluaran model terhadap hasil pengamatan. Parameter pembanding dinyatakan dalam RMSE dan nilai efektifitas model. Besarnya nilai RMSE dan efektifitas dari keseluruhan tahun periode sebesar 9.58 dan 91.38% yang dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2 Nilai RMSE dan Tingkat Efektifitas Model tiap Tahun Operasi

No	Tahun Periode	Keandalan Model		Rata-rata	
		RMSE	EF (%)	RMSE	EF (%)
1	2004	7.39	95.33	9.58	91.38
2	2005	6.68	96.13		
3	2006	10.44	92.14		
4	2007	10.06	94.41		
5	2008	15.41	82.22		
6	2009	5.26	96.08		
7	2010	8.91	96.88		
8	2011	12.49	77.87		

Hasil perhitungan energi hasil perhitungan model ANFIS dan historis dapat dilihat pada Gambar 3 di bawah ini.



Gambar 3. Perbandingan Energi Tahunan Historis dengan Model ANFIS

Berdasarkan Gambar 3 dapat diketahui bahwa hasil keluaran model ANFIS memiliki estimasi yang tinggi (*over estimate*) atau estimasi yang rendah (*under estimate).* Pada tahun 2004 dan 2006 model ANFIS memiliki estimasi yang lebih tinggi dari historis sebesar 262.63 MWh dan 1941.13 MWh, hal ini menunjukkan bahwa pada tahun tersebut produksi energi masih bisa ditingkatkan. Sedangkan untuk tahun operasi lainnya, hasil keluaran model ANFIS memiliki estimasi yang rendah dari produksi energi historis, hal ini menggambarkan bahwa waduk dalam proses produksi energi sudah bekerja dengan baik.

4.2 APLIKASI MODEL

Model ANFIS yang telah diperoleh akan digunakan untuk memprediksi produksi energi 5 tahun (60 bulan) mendatang. Dalam hal ini akan menggunakan data bangkitan *inflow* dan *outflow* Waduk Wonorejo hasil studi terdahulu dan kemudian akan dibandingkan dengan target produksi yang telah ditetapkan oleh pihak pengelola Waduk (Sumber Data : PJB UP Brantas). Hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 4.3

Tabel 4.3 Hasil Prediksi Energi

Bulan	Energi (MWh) Tahun Ke					Target Produksi Energi (MWh)
	1	2	3	4	5	
Januari	1578.50	3256.43	1171.90	541.54	1249.39	943.93
Februari	355.60	482.53	345.87	335.92	294.79	355.46
Maret	2278.95	1114.50	2570.84	2427.88	1998.24	774.36
April	3110.08	1885.94	4137.15	4311.00	4721.18	1871.87
Mei	3876.44	2743.85	4008.19	2835.08	2489.22	1086.59
Juni	2655.05	2452.05	3967.85	2619.73	2617.18	2350.03
Juli	2137.56	3423.80	3028.76	3356.95	3298.74	2591.58
Agustus	2037.97	3206.90	3802.30	2808.84	3853.09	2074.95
September	1912.52	1968.33	2872.15	2492.53	2658.79	1927.81
Oktober	2119.85	2104.97	2901.23	2866.72	3030.83	1672.69
November	2029.19	3768.36	2883.49	1994.36	1756.91	1323.46
Desember	4326.15	3633.22	3906.15	2444.43	2294.59	1873.79

Hasil prediksi energi secara keseluruhan menunjukkan estimasi yang lebih tinggi dari pada target produksi energi, namun pada bulan Januari, Februari, Juli, Agustus dan September masih menunjukkan hasil estimasi yang lebih rendah. Sehingga dapat dikatakan bahwa pada bulan tersebut akan terjadi kekurangan energi. Untuk menghidari terjadinya kekurangan energi, perlu dilakukan pengaturan pengeluaran debit *outflow* yang menggerakkan turbin.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian yang disampaikan dalam penelitian ini, diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Metode ANFIS memberikan hasil yang cukup baik jika digunakan dalam pemodelan.
2. Perubahan fungsi keanggotaan akan mempengaruhi hasil pemodelan.

3. Model dengan jenis fungsi keanggoatan Double Sigmoid dan jumlah fingsi keanggoatam 2232 memberikan nilai MRSE yang paling minimum dan merupakan model terbaik dalam penelitian ini.

Saran yang disampaikan untuk pengembangan penelitian ini adalah perlunya dilakukan pelatihan dengan menggunakan jumlah data yang lebih banyak pada pemodelan ANFIS untuk meningkatkan keakuratan hasil pemodelan.

DAFTAR PUSTAKA

Afrizal, (2003), *Optimasi Waduk Menggunakan Program Dinamik Stokastik* , Jurnal PILAR Vol 12 No 1 Hal 8 -6.

Halik, Gusfan, (2002), *Pemodelan Pola Pengoperasian Waduk Sutami untuk Produksi Energy dengan menggunakan ANN* , Teknik Sipil, ITS, Surabaya

Indriyani, Dwi, (2008), *Optimasi Operasional Waduk Wonorejo sebagai Waduk serbaguna menggunakan Program Dinamik,* Teknik Sipil, ITS, Surabaya.

Jang, J-S Roger, (1997), *Neuro – Fuzzy and Soft Computing,* Prentice –Hall International, Inc

Jannah. Noor, (2004), *Sistem Pengoperasian Waduk menggunakan Jaringan Syaraf Tiruan (Artificial Neural Network)*, Tesis, ITB, Bandung.

Karaboga, Dervis dkk, (2008), *Controlling Spillway Gates of Dams by Using Fuzzy Logic Controller with Optimum Rule Number*, Journal Applied Soft Computing 8.

Kurniawan, Aprianto, (1998), *Pengoperasian PLTA Wonorejo ditinjau dari Ketersediaan Air pada Waduk Wonorejo,* Teknik Sipil, ITS, Surabaya

Kusumadewi, Sri , (2002), *Analisis dan Design Sistem Fuzzy menggunakan Toolbox Matlab*, Graha Ilmu, Yogyakarta.

Kusumadewi S, Hartati S, (2010), *Neuro –Fuzzy: Integrasi Sistem Fuzzy dan Jaringan Syaraf*, Graha Ilmu, Yogyakarta.

Linsley JR, Ray K, Kohler, Max A dan Paulhus, Joseph L.H, (1982), *Hidrologi untuk Insinyur*, Terjemahan, Edisi ketiga, Erlangga, Jakarta.

Mays, Larry W dan Yeou Koung tung, (1992), *Hydrosystem Enggineering and Management*, Mc Graw-Hill Company Inc, Singapore.

Naba, Agus, (2009), *Belajar Cepat Fuzzy Logic Menggunakan MATLAB*, ANDI, Yogyakarta.

Pangestu, Dwi, (2008), *Optimasi Operasional Waduk-waduk Besar di Kali Brantas untuk Produksi Energi menggunakan Data Debit Real Time*, Teknik Sipil, ITS, Surabaya.

Riska, Fahmi, (2007), *Pemodelan Optimasi Pengoperasian Waduk Tunggal dengan Menggunakan Fuzzy Program Linier*, Teknik Sipil, ITB, Bandung.

Ruminta, (2008), *Model Temporal Curah Hujan dan Debit Sungai Citarum Berbasis ANFIS,* Jurnal Sains Dirgantara Vol 6 No. 1.

Rosyadi, Imron, (2011), *Peramalan Aliran Masukan Waduk Mrica menggunakan Model Thomas-Fiering dan Jaringan Syaraf Tiruan ANFIS*, Jurnal Dinamika Rekayasa Vol 7 No.2.

Soemarto, C.D, (1995), *Hidrologi Teknik*, Edisi ke-2, Erlangga. Jakarta.

ANALISA INPUT PARAMETER KLIMATOLOGI DALAM PEMODELAN EVAPOTRANSPIRASI POTENSIAL HARIAN MENGGUNAKAN *ANN*

Danayanti Azmi Dewi Nusantara[1], Edijatno[2], Pujo Aji[3]

[1]*Mahasiswa Pascasarjana Manajemen dan Rekayasa Sumber Air, Jurusan Teknik Sipil FTSP, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Kampus ITS Sukolilo Surabaya, Telp 031-5946094, email: azmidewi@gmail.com*
[2]*Dosen Jurusan Teknik Sipil FTSP, ITS, Kampus ITS Sukolilo Surabaya, Telp 031-5946094, email: edijatno@ce.its.ac.id*
[3]*Dosen Jurusan Teknik Sipil FTSP, ITS, Kampus ITS Sukolilo Surabaya, Telp 031-5946094, email: pujo@ce.its.ac.id*

ABSTRAK

Evapotranspirasi potensial (ETp) dideskripsikan sebagai laju kehilangan air maksimum yang ditentukan oleh kondisi iklim pada keadaan penutupan tanaman dipengaruhi oleh parameter-parameter iklim seperti radiasi matahari, kecepatan angin, kelembaban relatif, suhu udara, lama penyinaran matahari, tekanan uap jenuh, dan lain sebagainya.
Saat ini telah banyak dikembangkan model ETp mulai dari yang sederhana sampai dengan model yang kompleks untuk menaksir besarnya evapotranspirasi yang terjadi. Di Indonesia model ETp yang sering dipakai adalah model ETp Penman termasuk dalam model kompleks yang membutuhkan banyak parameter dan perhitungan yang rumit. Untuk itu diperlukan suatu model berbasis *data driven* seperti ANN (*Artificial Neural Networks*) sehingga akan didapatkan model yang bisa mengestimasi dan bahkan meramalkan besarnya ETp dengan hasil model yang mendekati besarnya evapotranspirasi yang sebenarnya terjadi dengan lebih sederhana. Dengan pemodelan menggunakan *data driven* tersebut, akan dilakukan penelitian terhadap parameter klimatologi mana saja yang berpengaruh terhadap evapotranspirasi yang terjadi di daerah lokasi studi dengan melakukan variasi input parameter terhadap pemodelan.
Dari hasil analisa terhadap enam parameter klimatologi yang telah dilakukan diharapkan dapat diketahui parameter yang paling berpengaruh sehingga dapat dijadikan input dalam pemodelan selanjutnya.
Urutan parameter klimatologi yang berpengaruh dalam model Etp dari paling besar ke paling kecil adalah: kecepatan angin, kelembapan relatif, lama penyinaran matahari, temperatur, curah hujan, evaporasi.

Kata kunci: Evapotranspirasi, Evapotranspirasi Potensial, *Artificial Neural Networks*

1. PENDAHULUAN

Saat ini telah banyak dikembangkan model ETp mulai dari yang sederhana sampai dengan model yang kompleks untuk menaksir besarnya evapotranspirasi yang terjadi. Model ETp yang sederhana dengan prosedur perhitungan yang mudah dan hanya membutuhkan beberapa parameter iklim, seperti model Lowry-Johnson, model Thorntwaite, model Blaney-Criddle yang hanya memakai parameter suhu udara rata rata harian. Dan model yang lebih kompleks, seperti model Penman, model Christiansen, model Van Bavel yang membutuhkan banyak parameter-parameter iklim dengan prosedur perhitungan yang lebih rumit[1].
Penggunaan pemodelan berbasis data driven yaitu pemodelan yang didasarkan atas hubungan variabel input dan output pada bidang hidrologi sudah mulai dikembangkan mulai dari pemodelan hujan-debit, debit-debit sungai, dan lain sebagainya. Masih menjadi keengganan sebagain komunistas di bidang hidrologi untuk menggunakan

pemodelan berbasis data driven sebagai alternatif dari pemodelan tradisional. Dalam paper ini dilakukan penelitan terhadap model evapotranspirasi potensial menggunakan pemodelan berbasis data driven yaitu ANN (*Artificial Neural Networks*) untuk mengetahui input parameter klimatologi yang .paling berpengaruh terhadap model ETp. Di Indonesia model ETp yang sering dipakai adalah model ETp Penman yang kompleks dan membutuhkan banyak konversi-konversi, apabila digunakan untuk menghitung ETp harian untuk ETp satu tahun akan membutuhkan waktu yang lama, apalagi perhitungan ETp harian untuk beberapa tahun kedepan. ETp dapat diprediksi dengan menggunakan ANN dengan hasil yang sangat memuaskan. Proses pembelajaran yang digunakan adalah metode penjalaran balik menggunakan input parameter suhu udara, kelembaban relative, kecepatan angin dan lama penyinaran matahari[8].

2. LANDASAN TEORI

2.1. Evapotranspirasi Potensial

Di lapangan, tidak mungkin bisa membedakan antara proses evaporasi dengan transpirasi jika tanahnya ditutup oleh tumbuh-tumbuhan. Kedua proses tersebut saling berkaitan sehingga dinamakan evapotranspirasi. Untuk menghitung besarnya evapotranspirasi pada tipe tanaman tertentu bisa menggunakan dua jalan yaitu menggunkan *lysimeters* atau menggunakan *field plots*.

Adanya ketidaktersediaan data lapangan yang dapat diandalkan sehingga telah memunculkan sejumlah metode untuk memprediksi besarnya evapotranspirasi potensial dengan menggunakan data klimatologi. Salah satu model Etp yang telah dikembangkan adalah model Etp Penman.

$$ETP = C\,[\,W \,.\, R_n + (1 - W) \,.\, f(U) \,.\, (e_s - e_a)] \quad (1)$$

Dimana:

ETP = evapotranspirasi (mm/hr)
W = faktor pembobot
R_n = radiasi netto, ekivalen dengan evaporasi (mm/hr)
F (U) = fungsi kecepatan angin
$(e_s - e_a)$ = selisih antara tekanan uap jenuh dan tekanan uap aktual rata-rata pada temperatur rata-rata (mbar)
C = "*adjustment factor*" untuk kompensasi pengaruh kondisi cuaca pada siang dan malam hari.

2.2. *Artificial Neural Networks* (ANN)

Artificial Neural Network (ANN) atau umumnya hanya disebut *neural network* (NN) adalah jaringan dari sekelompok unit pemroses kecil yang dimodelkan berdasarkan jaringan saraf manusia. NN merupakan system adaptif yang dapat mengubah strukturnya untuk memecahkan masalah berdasarkan informasi eksternal maupun internal yang mengalir melalui jaringan tersebut[1].

Sebuah jaringan dalam ANN merupakan kombinasi dari beberapa neuron. Jaringan tersebut terdiri dari :

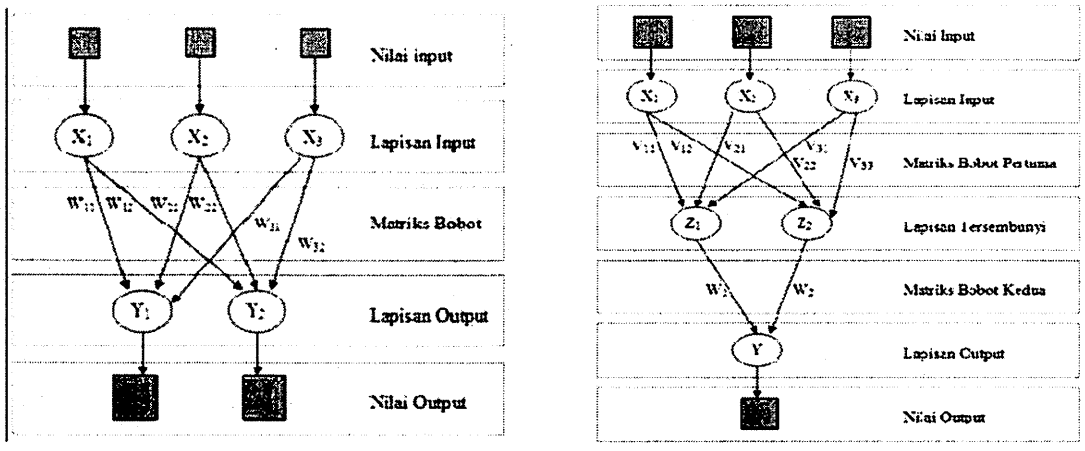
a. Sebuah lapisan masukan (*input layer*),
   Unit-unit di dalam lapisan input disebut unit-unit input. Unit-unit input tersebut menerima pola inputan data dari luar yang menggambarkan suatu permasalahan.
b. Sebuah lapisan keluaran (*output layer*)
   Unit-unit di dalam lapisan output disebut unit-unit output. Output dari lapisan ini merupakan solusi *ANN* terhadap suatu permasalahan.

c. Lapisan tersembunyi (*hidden layer*)
   Unit-unit di dalam lapisan tersembunyi disebut unit-unit tersembunyi. Dimana outputnya tidak dapat secara langsung diamati.

Setiap *layer* terdiri dari beberapa neuron dan neuron-neuron ini terhubungkan dengan neuro-neuron lain pada layer terdekat. Neuron-neuron tersebut terkumpul dalam lapisan-lapisan yang disebut *neuron layer*.

Arsitektur sebuah jaringan akan menentukan keberhasilan target yang akan dipakai karena tidak semua permasalahan dapat diselesaikan dengan arsitektur yang sama [2]. *ANN* memiliki beberapa arsitektur jaringan yang sering digunakan dalam berbagai aplikasi. Arsitektur jaringan tersebut antara lain :

a) Jaringan dengan layar tunggal (*single layer network*)
   Jaringan dengan layar tunggal hanya memiliki satu lapisan dengan bobot terhubung, 1 *layer* input dan 1 *layer* output. Jaringan ini hanya menerima input, kemudian secara langsung akan mengolahnya menjadi output tanpa harus melalui layar tersembunyi seperti ditunjukkan pada Gambar 1a.



(a) (b)

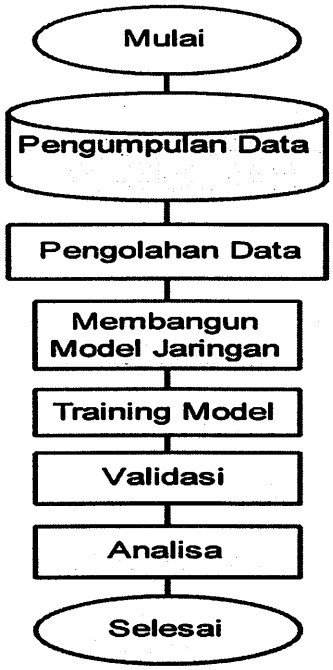
Gambar 1. Arsitektur jaringan ANN

b) Jaringan dengan layar jamak (*multi layer network*)
   Jaringan dengan lapisan jamak memiliki ciri khas tertentu yaitu memiliki 3 jenis *layer* yakni *layer input, layer output* dan *layer* tersembunyi seperti ditunjukkan pada Gambar 1b. *Layer* tersembunyi dapat terdiri dari satu atau lebih lapisan yang terletak di antara lapisan input dan lapisan output. Jaringan dengan layar jamak ini dapat menyelesaikan masalah yang lebih kompleks dibandingkan dengan layar tunggal, meskipun kadang kala proses pelatihan lebih kompleks dan lama [2].

Algoritma pelatihan *backpropagation* merupakan algoritma yang sering digunakan dalam menyelesaikan masalah-masalah yang rumit. Hal ini dimungkinkan karena jaringan dengan algoritma ini dilatih dengan menggunakan metode belajar terbimbing (*supervised learning*). Pada jaringan diberikan sepasang pola yang terdiri atas pola masukan dan pola yang diinginkan. Ketika suatu pola diberikan kepada jaringan, bobot-bobot diubah untuk memperkecil perbedaan pola keluaran dan pola yang diinginkan. Latihan ini dilakukan berulang-ulang sehingga semua pola yang dikeluarkan jaringan dapat memenuhi pola yang diinginkan [2].

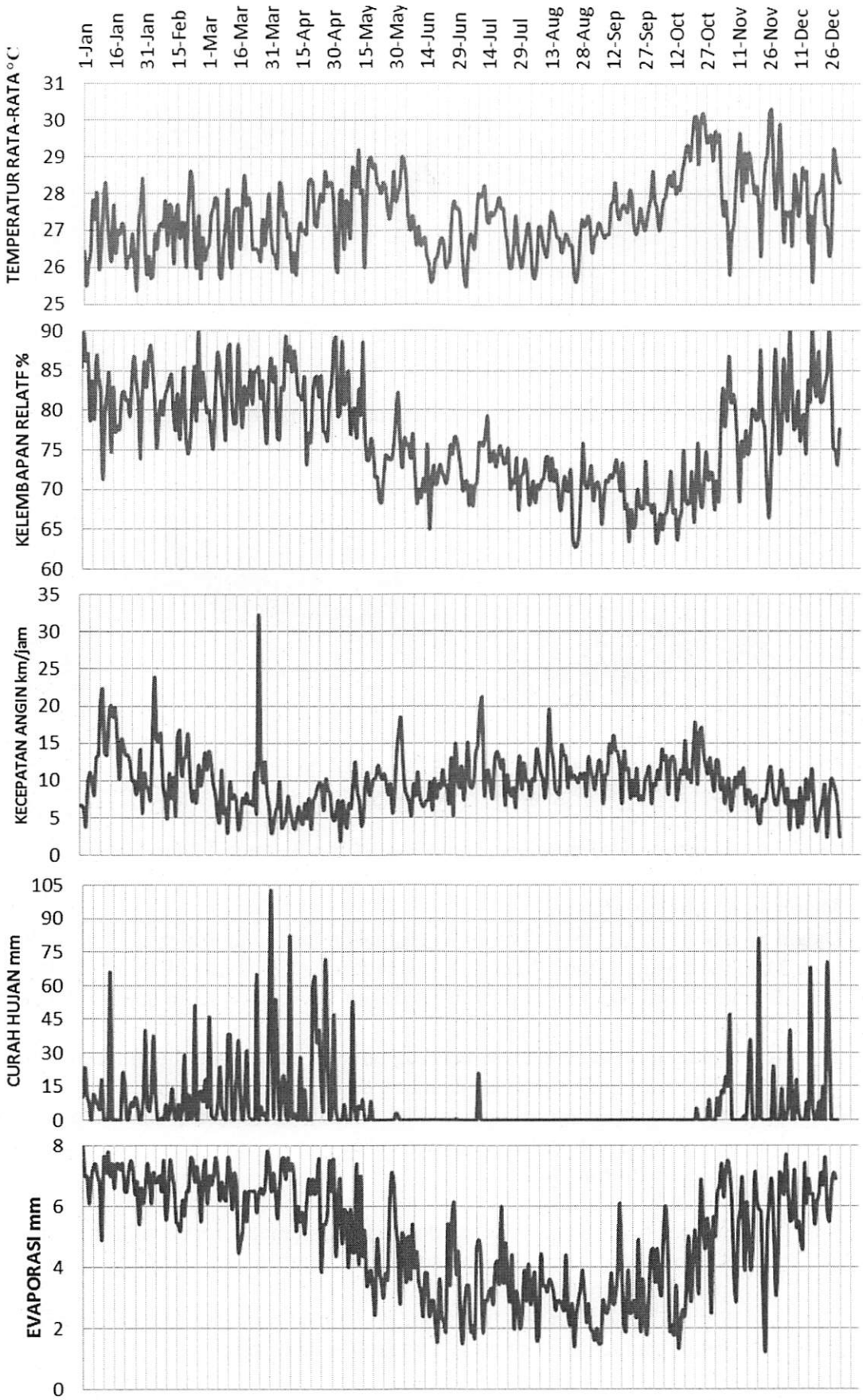
3. DATA DAN METODOLOGI

Penelitian ini mengunakan input data parameter klimatologi berupa data pencatatan iklim harian dari stasiun BMKG Juanda Surabaya tahun 2011, antara lain: temperatur, kelembapan udara, kecepatan angin, curah hujan, evaporasi, dan lama penyinaran matahari. Dalam melakukan pemodelan akan dilakukan identifikasi terhadap parameter input mana yang paling memberikan pengaruh terhadap hasil output.
Secara umum ada 5 langkah dasar yang harus dilakukan untuk membangun model ETp dengan menggunakan ANN, yaitu:

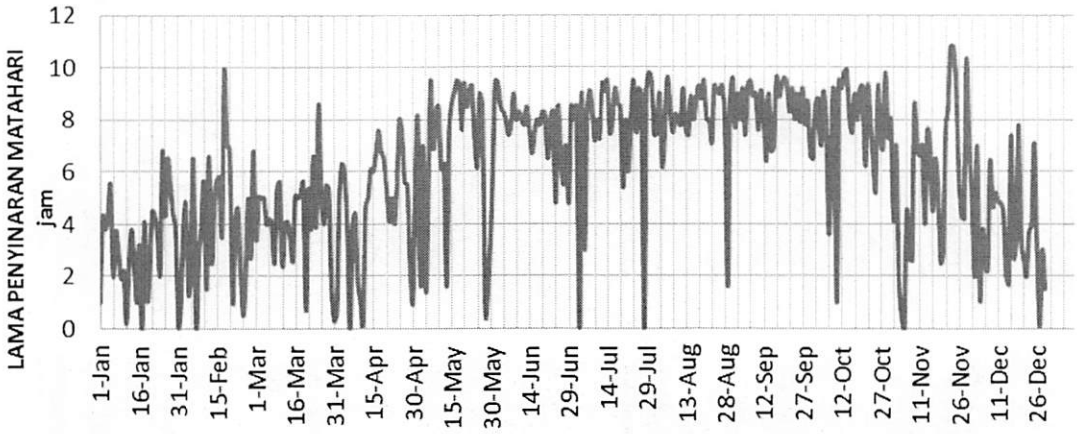


Gambar 2. Bagan Alir Pemodelan ANN

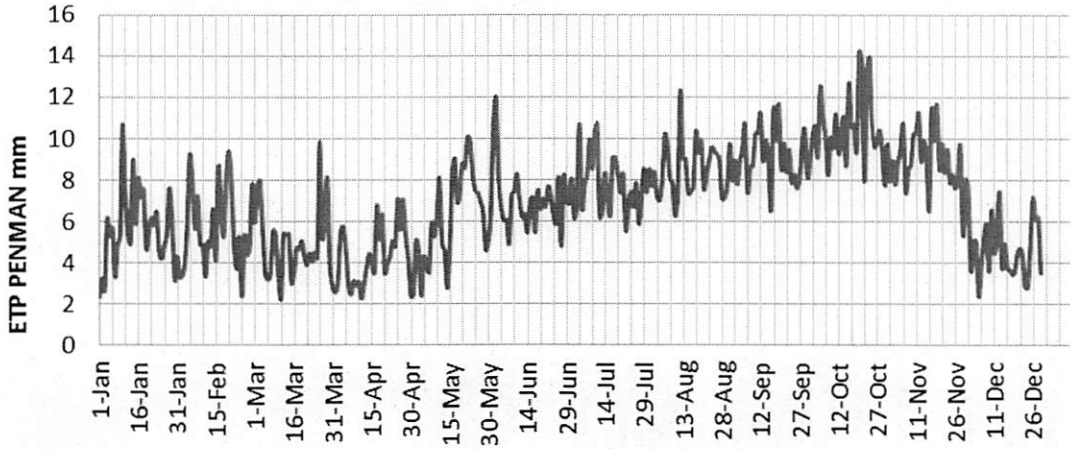
a. Mengumpulkan Data
   Tahapan ini adalah langkah pertama dalam membuat model ANN. Seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya diatas, maka diperlukan data sebagai input model ANN yaitu data harian temperatur rata-rata (°C), kelembapan relatif rata-rata (%), kecepatan angin (km/jam), curah hujan (mm), evaporasi (mm), dan lama penyinaran matahari (jam) selama kurun waktu tahun 2011 yang didapat dari pencatatan BMKG Juanda Surabaya.
b. Mengolah Data
   Dalam data yang diperoleh masih terdapat beberapa data yang hilang sehingga sebelum digunakan sebagai input pemodelan maka terlebih dahulu mengganti data tersebut dengan mengambil rata–rata nilai yang berdekatan yang masih dalam minggu yang sama sehingga data siap dipakai sebagai input model dirunjukkan pada gambar 3.
   Sebagai input target pemodelan Etp dengan ANN adalah menggunakan data hasil model Etp Penman sehingga perlu dilakukan perhitungan Etp Penman dari data klimatologi yang ditunjukkan pada gambar 4.


1-Jan
16-Jan
31-Jan
15-Feb
1-Mar
16-Mar
31-Mar
15-Apr
30-Apr
15-May
30-May
14-Jun
29-Jun
14-Jul
29-Jul
13-Aug
28-Aug
12-Sep
27-Sep
12-Oct
27-Oct
11-Nov
26-Nov
11-Dec
26-Dec
TEMPERATUR RATA-RATA °C
31
30
29
28
27
26
25
KELEMBAPAN RELATF %
90
85
80
75
70
65
60
KECEPATAN ANGIN km/jam
35
30
25
20
15
10
5
0
CURAH HUJAN mm
105
90
75
60
45
30
15
0
EVAPORASI mm
8
6
4
2
0

Lanjutan gambar



Gambar 3. Grafik Data Input Paramater Klimatologi Tahun 2011



Gambar 4. Grafik Data Input Target Etp Penman Tahun 2011

c. Membangun Model Jaringan

Dalam membangun model ANN ini menggunakan bantuan toolbox *Neural Network* pada MATLAB yaitu nftool (*Neural Network Fitting Tool*). Langkah-langkahnya:

1. Mempersiapkan data input dan target dalam *workspace* sehingga bisa langsung di*import*.
2. Menentukan jumlah persentase pembagian data, dalam penelitian ini ditentukan 70% untuk *training*, 15% untuk *validasi*, dan 15% untuk *testing*.
3. Menentukan arsitektur jaringan model. Untuk melakukan analisa parameter klimatologi yang paling berpengaruh dalam pemodelan ANN ini akan dibuat beberapa arsitektur model.
   a. Model 6

      Model 6 ini adalah model dengan 6 parameter input yaitu temperatur, kelembapan udara, kecepatan angin, curah hujan, evaporasi, dan lama penyinaran matahari.

      Dalam penelitian ini dilakukan kombinasi terhadap *hidden layer* model sehingga menjadi beberapa arsitektur model yaitu

i. Model 6-1-1
Jumlah hidden layer pada model ini adalah 1.
ii. Model 6-2-1
Jumlah hidden layer pada model ini adalah 2.
iii. Model 6-3-1
Jumlah hidden layer pada model ini adalah 3.
dst.

b. Model 5
Model 5 ini adalah model dengan 5 parameter input dengan mengurangi salah satu parameter untuk dianalisa parameter mana yang paling memberikan pengaruh terhadap model. Dengan arsitektur model 5 dipilih dari arsitektur model yang memberikan hasil terbaik.

i. Model 5A
Input parameter yang digunakan adalah kelembapan udara, kecepatan angin, curah hujan, evaporasi, dan lama penyinaran matahari tanpa parameter klimatologi **temperatur**.
ii. Model 5B
Input parameter yang digunakan adalah temperatur, kecepatan angin, curah hujan, evaporasi, dan lama penyinaran matahari tanpa parameter klimatologi **kelembapan udara**.
iii. Model 5C
Input parameter yang digunakan adalah temperatur, kecepatan angin, curah hujan, evaporasi, dan lama penyinaran matahari tanpa parameter klimatologi **kecepatan angin**.
iv. Model 5D
Input parameter yang digunakan adalah temperatur, kelembapan udara, kecepatan angin, evaporasi, dan lama penyinaran matahari tanpa parameter klimatologi **curah hujan**.
v. Model 5E
Input parameter yang digunakan adalah temperatur, kelembapan udara, kecepatan angin, curah hujan, dan lama penyinaran matahari tanpa parameter klimatologi **evaporasi**.
vi. Model 5F
Input parameter yang digunakan adalah temperatur, kelembapan udara, kecepatan angin, curah hujan, dan evaporasi tanpa parameter klimatologi **lama penyinaran matahari**.

4. Melakukan train network sampai mendapatkan nilai eror yang kecil, jika *eror* yang didapat masih tinggi maka bisa di *retrain* kembali.
5. Melakukan validasi hasil pembelajaran untuk mendapatkan pemodelan terbaik. Model yang paling baik jika mempunyai nilai MSE paling kecil dan jika 0 maka tidak ada *eror* sama sekali. Nilai MSE dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$MSE = \frac{1}{N}\sum_{t=1}^{N}(Yt' - Yt)^2 \quad \text{.....(2)}$$

di mana *Y't* adalah output model ANN, *Yt* adalah data hasil Etp Penman; dan *N* adalah banyaknya data deret yang dianalisis.

Selain nilai MSE, juga dengan melihat hasil regresi R yaitu hubungan kolerasi antara output dan target. Nilai R=1 berarti adanya hubungan yang dekat sedangkan jika 0 maka berarti tidak ada korelasi antara output dan target.

6. Menganalisa hasil model 6 dibandingkan dengan model 5 sehingga diketahui parameter klimatologi yang paling berpengaruh dan paling tidak berpengaruh dalam pemodelan Etp. Hasil analisa diharapkan bisa dijadikan pertimbangan dalam menentukan input parameter klimatologi dalam pemodelan yang lebih lanjut.

4. HASIL DAN ANALISA

Dalam pembelajaran ANN didapatkan pemodelan terbaik dengan melakukan pengujian terhadap beberapa arsitektur model. Hasil perhitungan untuk pemodelan 6 input parameter menunjukkan bahwa model dengan asitektur 6-5-1 menunjukkan hasil yang terbaik dibandingkan model dengan arsitektur lain. Hal ini dapat dilihat pada tabel 1 berikut:

Tabel 1. Perbandingan Nilai MSE dan R untuk berbagai arsitektur model 6

ARSITEKTUR MODEL 6	TRAINING		VALIDATION		TESTING		ALL
	MSE	R	MSE	R	MSE	R	R
6 - 1 - 1	1.24764	0.89697	0.45723	0.96002	2.00013	0.82402	0.89483
6 - 2 - 1	1.26107	0.90039	0.60584	0.93953	1.34534	0.86185	0.90005
6 - 3 - 1	1.18977	0.89289	0.52396	0.95741	1.23716	0.91212	0.90758
6 - 4 - 1	1.12481	0.90796	0.36490	0.97526	1.50121	0.85305	0.91017
6 - 5 - 1	1.20107	0.89346	0.30471	0.98085	1.73123	0.87468	0.90321
6 - 6 - 1	1.28441	0.88950	0.82608	0.95100	0.59499	0.94820	0.90694
6 - 7 - 1	1.39341	0.88058	0.46997	0.96335	0.50579	0.96755	0.90593
6 - 8 - 1	1.28129	0.88535	0.74297	0.95396	1.47900	0.88529	0.89693
6 - 9 - 1	0.91231	0.92020	0.61629	0.94957	1.31120	0.90986	0.92232
6 - 10 - 1	1.01185	0.91229	0.33703	0.97663	2.35330	0.80532	0.90650
6 - 11 - 1	0.67676	0.94398	0.58575	0.94542	3.06202	0.78177	0.91459
6- 12 - 1	0.89077	0.92569	0.82403	0.94657	2.03089	0.74758	0.09115

Didapat model 6 dengan arsitektur 6-5-1 akan dibandingkan dengan model 5. Hasil perbandingan berbagai model 5 yang memiliki input yang berbeda dengan model 6 dapat di lihat pada tabel 2.

Tabel 2. Perbandingan Nilai MSE dan R untuK Model 6 dan Model 5

ARSITEKTUR MODEL 6	TRAINING		VALIDATION		TESTING		ALL
	MSE	R	MSE	R	MSE	R	R
MODEL 6	**1.20107**	**0.89346**	**0.30471**	**0.98085**	**1.73123**	**0.87468**	**0.90321**
MODEL 5A	1.47655	0.8729	0.51449	0.94659	1.33345	0.90820	0.88878
ΔA	0.275	(0.021)	0.210	(0.034)	(0.398)	0.034	(0.014)
MODEL 5B	1.80727	0.85324	0.64924	0.92573	0.83459	0.93658	0.87275
ΔB	0.606	(0.040)	0.345	(0.055)	(0.897)	0.062	(0.030)

MODEL 5C	2.20010	0.79192	1.065212	0.90823	2.28982	0.85256	0.82036
ΔC	0.999	(0.102)	0.761	(0.073)	0.559	(0.022)	(0.083)
MODEL 5D	0.8984	0.9212	0.2492	0.9812	2.8246	0.8134	0.9028
ΔD	(0.303)	0.028	(0.055)	0.000	1.093	(0.061)	(0.000)
MODEL 5E	0.92175	0.92484	0.27661	0.98217	2.64310	0.74843	0.90885
ΔE	(0.279)	0.031	(0.028)	0.001	0.912	(0.126)	0.006
MODEL 5F	1.3538	0.8796	0.6431	0.9526	1.3229	0.9134	0.8947
ΔF	0.153	(0.014)	0.338	(0.028)	(0.408)	0.039	(0.009)

Dengan Δ merupakan selisih nilai MSE dan R antara model 6 dengan model 5, maka dapat diketahui bahwa nilai Δ yang terbesar berarti menunjukkan bahwa model dengan tanpa salah satu parameter klimatologi tersebut menunjukan pengaruh terbesar dalam input pembangunan model Etp. Berdasarkan tabel 2 urutan model dengan Δ terbesar ke terkecil adalah:

1. Model 5C dengan tanpa input parameter klimatologi kecepatan angin
2. Model 5B dengan tanpa input parameter klimatologi kelembapan relatif
3. Model 5F dengan tanpa input parameter klimatologi lama penyinaran matahari
4. Model 5A dengan tanpa input parameter klimatologi temperatur
5. Model 5D dengan tanpa input parameter klimatologi curah hujan
6. Model 5E dengan tanpa input parameter klimatologi evaporasi

Sehingga dapat disimpulkan parameter klimatologi yang paling besar ke kecil pengaruhnya dalam pemodelan ETp harian menggunakan ANN adalah:

1. Parameter klimatologi kecepatan angin
2. Parameter klimatologi kelembapan relatif
3. Parameter klimatologi lama penyinaran matahari
4. Parameter klimatologi temperatur
5. Parameter klimatologi curah hujan
6. Parameter klimatologi evaporasi

Dengan mengetahui pengaruh suatu input parameter kedalam sebuah pemodelan data driven maka akan lebih memudahkan kita untuk menentukan input parameter mana yang akan dipilih dalam penentuan model yang lebih baik.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang disampaikan dalam penelitian ini, diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Perubahan arsitektur jaringan akan mempengaruhi hasil pemodelan.
2. Urutan parameter klimatologi yang berpengaruh dalam model Etp dari paling besar ke paling kecil adalah: kecepatan angin, kelembapan relatif, lama penyinaran matahari, temperatur, curah hujan, evaporasi.

5.2. Saran

Saran yang perlu disampaikan untuk pengembangan penelitian ini adalah perlunya dilakukan pemodelan dengan mencoba semua kombinasi input. Serta adanya perbedaan antara model saat musim basah dan saat musim kering sehingga dapat meningkatkan keakuratan dalam hasil pemodelan.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Capece, J.C., etc, (2002), *Comparison of Evapotranspiration Estimation Methods*, http/www.southernDataStream.com
[2] Hermawan, Arief. (2007), *Artificial Neural Network* Teori dan Aplikasi, Andi, Yogyakarta
[3] Izadifar, Zohreh. (2010), *Modeling and Analysis of Actual Evapotranspiration using Data Driven and Wafelet Techniques*, Tesis Master, University of Saskatchewan, Canada.
[4] Savitri, Yang Ratri, (2011), *Pengembangan Model Prediksi Operasional Pintu Air Dam Lengkong Menggunakan Neural Network*, Teknik Sipil, ITS, Surabaya
[5] Siang, J.J., (2009), Jaringan Syaraf Tiruan dan Pemogramannya Menggunakan MATLAB, Penerbit Andi, Yogyakarta.
[6] Soemarto, C.D., (1993), *Hidrologi Teknik*, Penerbit Erlangga, Jakarta.
[7] Subramanya, K.,(1989), *Engineering Hydrology*, Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited, Delhi.
[8] Suprayogi, Slamet, dkk. (2003), *Estimasi Evapotranspirasi Potensial Menggunakan Jaringan Syaraf Tiruan*, Jurnal

KALIBRASI KOEFISIEN KETERSEDIAAN AIR DENGAN METODE MOCK (STUDI KASUS PADA AWLR DI PULAU LOMBOK)

Galuh Rizqi Novelia[1], Achmad Rivani[2]

[1]*Mahasiswa Pascasarjana Bidang Manajemen dan Rekayasa Sumber Daya Air, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Telp 081-703903929, email: noveliaf@yahoo.com*
[2]*Balai Informasi Sumber Daya Air, Departemen Pekerjaan Umum, Nusa Tenggara Barat, Telp 081-915958483, email: acmad.rivani@yahoo.com*

ABSTRAK

Sungai merupakan objek yang penting bagi suatu daerah dalam memenuhi berbagai kebutuhan untuk masyarakat. Wilayah Sungai Lombok memiliki sungai dan anak sungai dengan jumlah 314 buah, sebagian besar aliran sungai menuju Barat dan Timur bersifat kontinyu, menuju Utara bersifat fluktuatif dan menuju Selatan cenderung intermitten dan tidak terdapat potensi air tanah. Dalam penelitian ini, data ketersediaan air di beberapa sungai yang tidak memiliki stasiun AWLR atau dengan kondisi AWLR yang terganggu, dikalibrasi dengan sungai lain yang memiliki kondisi AWLR lebih baik. Kalibrasi ini menggunakan metode FJ Mock yang telah di modifikasi. Sungai yang dijadikan sebagai observasi adalah sungai Lantan Daya. Kalibrasi dilakukan untuk memperoleh nilai koefesien laju infiltrasi, resesi, SMC dan GWS Awal. Dengan mempertimbangkan nilai *error* terkecil dan keseimbangan kurva terbaik, maka kalibrasi dapat dinyatakan optimal. Nilai dari koefesien yang telah diperoleh digunakan untuk mencari nilai debit di titik tinjau lainnya dengan syarat memiliki karakteristik DAS yang serupa dengan titik observasi.

Kata kunci: ketersediaan air, kalibrasi, koefesien, Mock

1. PENDAHULUAN

Air memiliki peranan yang sangat penting bagi keberlangsungan hidup manusia dan makhluk lainnya. Dalam pendayagunaan sumber daya air, air dibedakan menjadi air hujan, air tanah dan air permukaan. Sungai merupakan sumber air permukaan yang merupakan fungsi dari air hujan dan kelembaban tanah. Dalam memenuhi berbagai kebutuhan untuk masyarakat, sungai merupakan objek penting bagi suatu daerah. Pada Wilayah Sungai (WS) Lombok terdapat 314 buah sungai dan anak sungai. Sebagian besar sungai yang mengalir menuju Barat dan Timur bersifat kontinyu, sungai yang mengalir menuju Utara cenderung fluktuatif sedangkan sungai yang mengalir menuju Selatan lebih bersifat intermitten dan tidak memiliki potensi air tanah. Besar ketersediaan air di sungai dapat diketahui dengan menggunakan *Automatic Water Level Recorder* (AWLR) di beberapa Stasiun Duga Air yang terdapat di WS Lombok. Namun tidak semua sungai memiliki AWLR. Terlebih terdapat beberapa AWLR yang dianggap terganggu, salah satunya adalah AWLR Kr. Anyar yang berada di hilir sungai Srigangga (DAS Dodokan). Data observasi dianggap terganggu karena besar debit sungai yang terukur di AWLR Kr. Anyar sudah dipengaruhi oleh *main intake* yang tersebar di bagian hulu sungai Srigangga, sehingga tidak dapat langsung digunakan dalam

perhitungan ketersediaan air. Adapun *main intake* tersebut berupa bendung, embung dan waduk. Oleh karena itu, dalam perhitungan ketersediaan air pada prinsipnya dapat digunakan berbagai cara yang berdasar pada pendekatan rasional. Sebagaimana yang disarankan dalam pustaka FAO-1973 metode Mock merupakan hasil penelitian di Bogor yang dipandang dapat digunakan untuk memperkirakan ketersediaan air di setiap titik di dalam DAS dengan meninjau neraca air pada bagian permukaan tanah sampai kedalaman *top soil* (tanah dangkal). Dalam pendekatan ini, model Mock digunakan untuk mengetahui koefisien-koefisien tertentu yang digunakan untuk mengetahui besar ketersediaan air. Pada dasarnya, koefesien-kofisien ini merupakan komponen yang mewakili karakteristik DAS. Namun dengan asumsi karakteristik DAS yang serupa, koefisien ini dapat digunakan untuk mendapatkan besar ketersediaan air di sungai lain.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Pada penelitian yang berlangsung di Bogor pada tahun 1973, dalam "*Land Capability Availibility Appraisal*" (UNDP, FAO) FJ Mock memperkenalkan cara perhitungan aliran sungai dengan menggunakan data curah hujam, evapotranspirasi dan karakteristik hidrologi daerah pengaliran untuk menaksir besar debit sungai jika data debit yang tersedia tidak dapat digunakan atau tidak cukup panjang yang dikenal dengan nama simulasi debit Mock. Model ini khusus digunakan untuk sungai-sungai yang ada di Indonesia (Nurdin, 2002)

Model Mock merupakan model simulasi *water balance* yang sederhana. Model ini dapat digunakan untuk menaksir besar debit pada setiap periode dengan kurun waktu rerata tahunan atau *time series*. Model ini menggunakan data hujan, data evapotranspirasi potensial, data luas DAS dan data yang berkaitan dengan karakteristik tanah dangkal (*top soil)*. Dalam penerapannya, kesulitan yang umum dijumpai adalah penaksiran nilai-nilai parameter DAS yang dapat mewakili kondisi DAS sebenarnya. Hal ini karena parameter DAS tersebut beberapa diantaranya tidak mudah dilakukan pengukuran langsung di lapangan. Maka untuk mengatasi hal tersebut, dilakukan simulasi debit aliran sungai dengan mengkalibrasi model Mock , yaitu dengan menentukan nilai-nilai parameter DAS yang dapat memberikan keluaran nilai debit hitungan yang serupa dengan debit terukur di lapangan.

Adapun bentuk umum *water balance* dijelaskan pada persamaan berikut:

$$P = Ea + \Delta GS + SRO + Bf \quad (1)$$

dimana:

P = Presipitasi

Ea = Evapotranspirasi Potensial

ΔGS = Perubahan *Groundwater Storage*

SRO = *Surface runoff*

Bf = Aliran dasar (*baseflow*)

TRO = Total *runoff*

Dalam proses analisa *rainfall-runoff* pada model Mock terdapat beberapa parameter penentu yang merupakan karakteristik DAS yaitu nilai koefisien infiltrasi (I), kapasitas

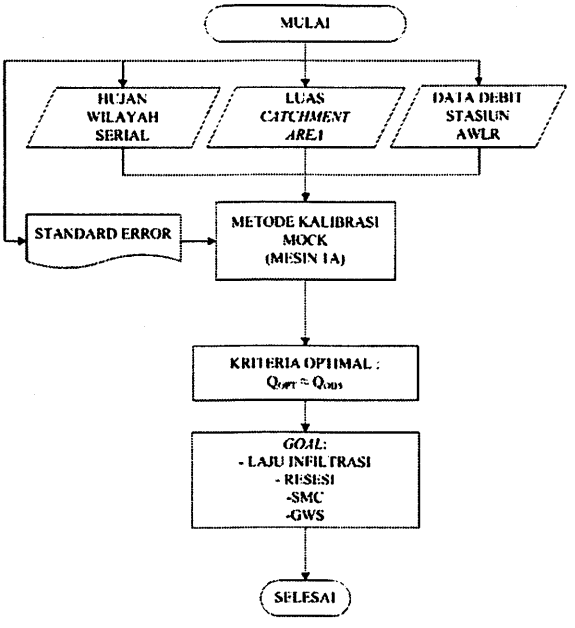
kelembaban tanah (SMC), tampungan air tanah pada kondisi awal (GWS) dan faktor resesi aliran air tanah (K). Sedangkan untuk mengetahui besar debit sungai, ditentukan berdasarkan komponen pembentuk debit yaitu *baseflow*, *direct runoff* dan *storm runoff*. Ketiga komponen tersebut dijumlah menjadi *total runoff*. Dalam perhitungan besar debit sungai, *total runoff* dikalikan dengan luas DAS (km^2) dan dengan suatu angka konversi tertentu untuk memperoleh besaran debit aliran sungai dalam satuan m^3/detik.

3. METODOLOGI

Analisa besar ketersediaan air dengan menggunakan pendekatan model Mock, ditentukan sebagai berikut:

1. Menetapkan AWLR tertentu yang akan digunakan dalam kalibrasi. Dalam kajian ini, AWLR yang dijadikan sebagai AWLR observasi adalah AWLR Lantan Daya dan Kr. Makam. AWLR observasi digunakan untuk mengetahui koefisien-koefisien yang mewakili suatu DAS tertentu yang kemudian digunakan untuk mengetahui besar ketersediaan air di sungai lain dengan asumsi karakteristik DAS yang serupa.
2. Mengkalibrasi data ketersediaan air pada AWLR yang telah ditentukan menggunakan model Mock, dengan menetapkan suatu nilai kesalahan maksimum. Dalam proses kalibrasi, untuk membatasi nilai *error* yang terjadi ditetapkan besar *error* maksimum.
3. Memperoleh koefisien Mock dari kalibrasi, yaitu I, SMC, GWS dan K, dengan terpenuhinya kriteria optimal ($Q_{OPT} \approx Q_{OBS}$).

Adapun *flowchart* kalibrasi model Mock disajikan pada gambar berikut:



Gambar 1 *Flowchart* Kalibrasi Model Mock

Dalam simulasi kalibrasi model Mock, ditetapkan terlebih dahulu besar *standard error* agar *trend* grafik hasil kalibrasi serupa dengan bentuk *trend* data observasi pada AWLR Lantan Daya dan AWLR Kr. Makam. Nilai *standard error* yang dimaksud ditetapkan

sebesar 40%. Kemudian data hidrologi seperti evapotranspirasi, luas wilayah, luas *catchment* dan debit stasiun AWLR dijadikan sebagai masukan (*input*) untuk melakukan kalibrasi. Kalibrasi dilakukan dengan mengiterasi koefisien Mock hingga memenuhi kriteria optimal yang sesuai dengan *standard error* yang telah ditetapkan. Dalam kalibrasi, nilai koefisien dibangkitkan dari bilangan *random* pada Microsoft Office 2010 dengan menggunakan bantuan Visual Basic 7.0 untuk melakukan iterasi.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada AWLR Lantan Daya, yang berada pada DAS Babak, WS Lombok, diperoleh besar korelasi 87% dengan kesalahan (*error*) 24%. Sedangkan pada AWLR Kr. Makam yang berada di Sungai Dalem, DAS Dodokan , WS Lombok, diperoleh korelasi sebesar 87% dengan kesalahan (*error*) 27%.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan besar korelasi dan kesalahan yang diperoleh dari kalibrasi, mengindikasikan bahwa model Mock mampu menunjang analisa ketersediaan air serta dapat merepresentasikan kondisi DAS pada AWLR observasi. Besar nilai korelasi dan kesalahan (*error*) serta koefisien yang dihasilkan dari kalibrasi, dapat berubah-ubah setiap kali iterasi dijalankan. Hal ini disebabkan oleh pembangkitan bilangan *random* yang dilakukan. Namun selama kriteria optimal dapat terpenuhi, besar korelasi dan kesalahan (*error*) yang berubah-ubah dapat ditoleransi begitu pula dengan nilai koefisien yang dihasilkan tetap dapat digunakan.

6. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Anang M. Farriansyah, ST., MT. yang senantiasa membimbing dalam ilmu keairan pada kajian ini. Terima kasih kepada pihak BWS Nusa Tenggara I yang telah memberikan bantuan dalam pemerolehan data dan segala hal penunjang lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

Mock, F.J., (1973), *Land Capability Appraisal Indonesia Water Availibility Appraisal*, Food and Agriculture Organization of The United Nations, Bogor, Indonesia.

Soemarto, CD., (1987), *Hidrologi Teknik*, Usaha Nasional, Jakarta.

Soewarno, (1995), *Hidrologi, Aplikasi Metode Statistik Untuk Analisa Data*, Jilid 2, NOVA, Bandung.

Sosrodarsono, Suyono. (1987). *Hidrologi Untuk Pengairan*, PT. Pradnya Paramita, Jakarta

PERANCANGAN *DETACHED BREAKWATER* DI PULAU GILIKETAPANG SEBAGAI UPAYA MEMPERMUDAH SANDAR PERAHU NELAYAN

Hasan Ikhwani[1], Erdina Arianti[2], Irawati[3], Firra Hasita[4]

[1]*Dosen Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan , Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Kampus ITS Sukolilo Surabaya 60111, email: hikhwani@oe.its.ac.id*
[2, 3, 4]*Mahasisawa, Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan , Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Kampus ITS Sukolilo Surabaya,60111*

ABSTRAK

Pulau Gili Ketapang merupakan pulau kecil di wilayah Kabupaten Probolinggo, Jawa Timur yang sarat dengan jumlah penduduk yang sebagaian besar berprofesi sebagai nelayan. Ketergantungan dengan daratan induk (*maindland)* mengharuskan prasarana yang memadai berupa struktur pantai untuk bongkar dan muat. Stuktur pantai yang ada saat ini berupa *jetty*, yang berfungsi sekaligus sebagai sandar perahu/kapal nelayan. Kondisi gelombang yang langsung menerpa jetty dan pasang surut yang tinggi, menyebabkan ketidak nyamanan dalam aktifitas bongkar dan muat perahu/kapal nelayan tersebut. Untuk itu melalui penelitian ini diusulkan secara teknis keberadaaan struktur pantai berupa *detached breakwater*. Struktur tersebut dimaksud untuk mempermudah aktifitas bongkar muat perahu/kapal nelayan, sekaligus sebagai pelindung garis pantai di Pulau Gili Ketapang. Perhitungan dimulai dengan pencarian data sekunder berupa data angin, kemudian *survey* lokasi, dan dilanjutkan dengan analisis periode ulang, gelombang pecah, perubahan garis pantai, dan pasang surut untuk menentukan dimensi breakwater. Dari perhitungan didapatkan hasil bahwa untuk pantai bagian utara Pulau Gili Ketapang seharusnya dibangun 2 *breakwater* pada kedalaman 5 meter dengan jarak antar *breakwater* 23.64 meter, tinggi 8.5 meter, lebar puncak 1 meter, tebal lapis lindung 0.6 meter dan berat lapis lindung 45 kg. Tinggi gelombang di ujung dan tengah *jetty* sebelum di bangunnya *breakwater* adalah 0.68 dan 0.62 meter, sedangkan setelah *breakwater* tersebut dibangun tinggi gelombang menjadi 0.22 dan 0.14 meter.

Kata kunci : Pulau Gili Ketapang, Probolinggo, *detached breakwater*

1. PENDAHULUAN

Pulau Gili Ketapang merupakan pulau kecil yang terletak di Kabupaten Probolinggo [1]. Pulau ini terbentang di Selat Madura, tepatnya 8 kilometer di lepas pantai utara Probolinggo. Pulau ini tergolong pulau kecil. Karena letaknya di lepas pantai, maka secara otomatis pantai di pulau ini dikelilingi oleh laut dan memiliki garis pantai yang mengitari daratannya. Struktur pelindung pantai yang dimiliki pulau ini masih sangat minim, bahkan dari survey lapangan hanya ada *seawall* dan *jetty*, hanya saja *jetty* yang ada di sana difungsikan untuk tambat perahu dan juga sarana penghubung berpindahnya barang dari perahu ke dalam pulau. Minimnya struktur pelindung pantai yang ada di pulau ini, membuat Pulau Gili Ketapang sangat rentan terhadap erosi dan abrasi.

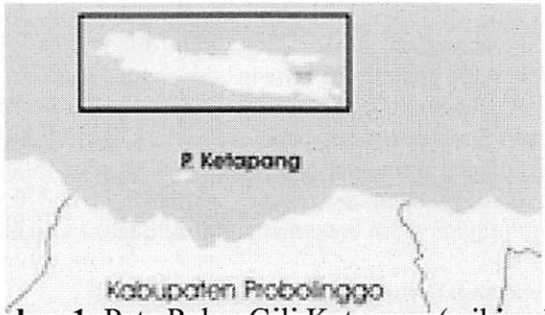
Pantai dengan tingkat erosi dan abrasi yang tinggi akan memberi pengaruh secara langsung terhadap perubahan garis pantai. Gelombang datang yang besar akan mencapai pantai dengan energi besar dan mengakibatkan kerapuhan pada material pantai. Material pantai yang rapuh akan sangat mudah tererosi. Dengan adanya proses erosi yang terakumulasi setiap harinya, maka akan menyebabkan garis pantai terkikis. Terkiskisnya garis pantai akan berdampak buruk bagi kehidupan sosial ekonomi penduduk dan infrastruktur daerah itu sendiri. Permasalahan yang tidak kalah penting adalah masih sulitnya perahu merapat ke *jetty* dan sulitnya pemindahan dari perahu ke

atas *jetty* yang dikarenakan gelombang yang cukup besar. Dari permasalahan tersebut bisa diketahui bahwa wilayah pantai di Pulau Gili Ketapang khususnya pantai sebelah utara membutuhkan struktur pelindung pantai. Struktur pelindung pantai yang dianggap sesuai untuk permasalahan di atas adalah *Detached Breakwater*.

2. LOKASI STUDI DAN DATA

2.1. Lokasi Studi

Lokasi studi yang dipilih dalam penelitian ini adalah wilayah pantai sebelah utara di Pulau Gili Ketapang, Kecamatan Sumberasih, Kabupaten Probolinggo, Jawa Timur. Pulau Gili Ketapang merupakan salah satu pulau kecil dari 445 pulau yang ada di Jawa Timur [2]. Pulau Gili Ketapang ini terletak kurang lebih 3.8 mil laut dari Pelabuhan Mayangan, Probolinggo, yang dapat ditempuh kurang lebih 30 menit dengan perahu. Dimensi Pulau Gili Ketapang bahkan dapat dikategorikan pulau yang sangat kecil. Jumlah penduduk di pulau yang sangat kecil tersebut mempunyai angka kerapatan penduduk yang paling tinggi di Jawa Timur [1]. Dengan angka kerapatan penduduk yang tinggi tersebut di satu sisi, dan ketersediaan sumberdaya alam yang terbatas di sisi lain, mengakibatkan banyak permasalahan yang dihadapi oleh penduduk di sana, terutama infrastruktur yang minim dan kerusakan lingkungan.



Gambar 1. Peta Pulau Gili Ketapang (wikipedia.com)

Gambar 2. Pulau Gili Ketapang (probolinggokab.go.id)

2.2. Jenis Data yang Digunakan

Data yang digunakan adalah data sekunder berupa angin dan data pasang surut yang diperoleh dari BMKG (Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika). Pengukuran data angin yang dilakukan adalah pengukuran angin yang dilakukan di darat dengan alat pengukur angin (anemometer). Peta bathimetri tahun 1993 yang diperoleh dari BMKG. Peta yang digunakan untuk perhitungan *fetch* dan layout diperoleh dari *google earth*.

3. TAHAPAN PENELITIAN

Penelitian dilakukan dengan langkah-langkah pengerjaan sebagaimana berikut ini:

- Pengumpulan data
  Data diperoleh dari BMKG (Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika) berupa data angin (1 November 2008 – 31 Oktober 2010), data pasang surut (1 – 31 Oktober 2010) dan peta bathimetri (edisi tahun 1993), sedangkan peta yang dipakai untuk pembuatan fetch adalah peta dari Google Earth kondisi terkini (2012).
- Pengolahan data
  Pengolahan data dan perhitungan dilakukan terbagi menjadi 2 jenis yaitu:
  1. Pengolahan data secara global.
     Pengolahan data secara global merupakan proses pengolahan data yang merupakan proses pengolahan secara garis besar data-data yang didapat. Pada proses ini diawali dengan mendapat data angin, pasang surut, peta bathimetri, serta peta pada Google Earth. Dari kesemua data yang didapat diolah menjadi *windrose*, panjang *fetch*, penambahan kontur di peta bathimetri dengan tujuan untuk mendapatkan kondisi nyata pada refraksi. Kemudian dilakukan pengolahan data pasang surut dengan Visual Fortran dan pembuatan *layout* di AutoCAD.
  2. Pengolahan data secara khusus (dengan Ms. Excel).
     Seluruh pengolahan pada Ms. Excel dilakukan untuk mendapatkan panjang fetch, tinggi gelombang signifikan, periode gelombang signifikan, periode ulang, analisis refraksi, transpor sedimen sepanjang pantai, analisis perubahan garis pantai, pengolahan pasang surut, analisis dimensi, dan analisa difraksi.
- Pembuatan *layout*
  Setelah menentukan bangunan pelindung pantai yang sesuai untuk menyelesaikan masalah pada perairan utara Pulau Gili Ketapang, maka yang dilakukan selanjutnya adalah membuat *layout* (peletakan struktur *breakwater*). *Detached breakwater* dibangun sebelum gelombang pecah.
- Perencanaan dan penggambaran detail struktur
  Hasil perhitungan yang didapat dari Ms. Excel digunakan dalam perencanaan detail struktur untuk mendapatkan nilai elevasi, tinggi, dan lebar puncak *breakwater*, tebal lapis lindung, berat butir lapis lindung dan jumlah butir lapis lindung tiap satuan luas. Kemudian dilakukan penggambaran detail struktur menggunakan nilai yang didapat tersebut dengan menggunakan AutoCAD.
- Analisa difraksi
  Untuk mengetahui dampak dari pembangunan *detached breakwater* perlu dilakukan analisa difraksi, yang menghasilkan tinggi gelombang di sekitar *jetty* setelah dibangunnya *detached breakwater* tersebut.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan pengolahan data yang dilakukan, telah didapatkan hasil-hasil sebagai berikut:

1. Tinggi gelombang signifikan dan periode gelombang signifikan
   Fetch efektif didapatkan dengan menghitung hasil konversi data angin ke data gelombang. *Fetch* efektif didapat dari persamaan dalam CEM [3], sehingga diketahui bahwa *fetch* efektif untuk arah angin dominan yaitu arah barat laut Pulau Gili Ketapang adalah 51.41 km. *Fetch* efektif selanjutnya digunakan untuk mencari tinggi

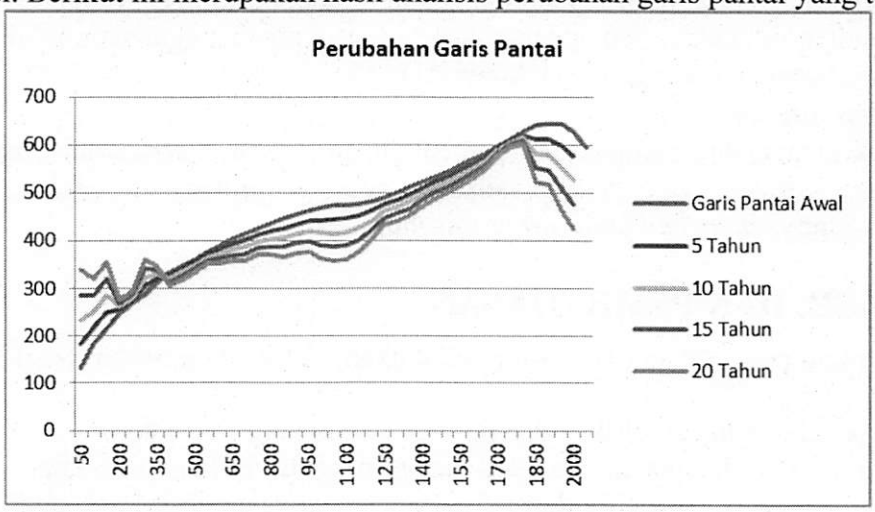
dan periode gelombang signifikan. Didapatkan hasil tinggi dan periode gelombang signifikan adalah 0.934 m dan 5.7 detik.

2. Periode ulang
   Periode ulang dihitung untuk mengetahui pola gelombang yang mungkin akan terjadi dalam kurun waktu tertentu. Untuk Pulau Gili Ketapang dilakukan perhitungan periode ulang untuk selang waktu 5 tahun, 10 tahun, 15 tahun, dan 20 tahun. Hasil perhitungannya adalah H_{s5}=1.261 m, H_{s10}=1.445 m, H_{s15}=1.551 m, H_{s20}=1.626 m.
3. Refraksi dan gelombang pecah
   Analisis refraksi dilakukan dengan membuat pias-pias pada arah datang gelombang dominan. Pada penelitian ini digambarkan 4 pias untuk mewakili keseluruhan gelombang datang pada Pulau Gili Ketapang. Hasil dari analisis refraksi adalah koefisien refraksi, koefisien shoaling, sudut datang gelombang dan tinggi gelombang tiap kedalaman pada ke-4 pias yang dibuat. Selanjutnya hasil analisis refraksi tersebut digunakan untuk mengetahui kedalaman (d_b), cepat rambat (C_b) dan tinggi (H_b) gelombang pecah.

Tabel 1. Hasil analisis gelombang pecah

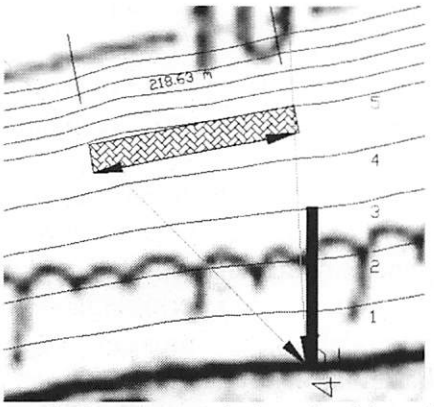
Pias	H_b	C_b	d_b
1	1.55017	4.29903	1.88396
2	1.54885	4.29555	1.88091
3	1.54132	4.2509	1.84201
4	1.54885	4.2185	1.81404

4. Transpor sedimen dan perubahan garis pantai
   Dalam perhitungan transpor sedimen rumus angkutan sedimen dan komponen fluks energi gelombang sepanjang pantai menggunakan persamaan CERC [4]. Hasil perhitungan transpor sedimen menunjukkan bahwa besar sedimentasi yang terjadi di pantai bagian utara Pulau Gili Ketapang ialah sebesar 1.11 m^3/hari. Transpor sedimen ini terjadi pada pias ketiga. Setelah diketahui transpor sedimen, selanjutnya dihitung perubahan garis pantai berdasarkan data pasang surut air laut dan hasil sedimentasi. Berikut ini merupakan hasil analisis perubahan garis pantai yang terjadi.



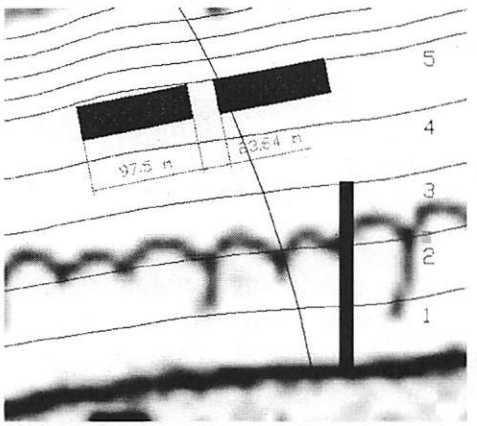
Gambar 3. Grafik perubahan garis pantai Pulau Gili Ketapang

5. Analisis pemilihan bangunan pelindung pantai dan pembuatan layout
   Selain bertujuan untuk mengurangi tinggi gelombang di sekitar jetty agar kegiatan kapal atau perahu yang ingin merapat pada *jetty* aman dan melindungi jetty dari hantaman gelombang yang besar, penelitian ini juga bertujuan untuk mengurangi erosi yang terjadi di sepanjang pantai utara Pulau Gili Ketapang. Maka dipilihlah *detached breakwater*.



Gambar 4. *Layout* awal *detached breakwater*

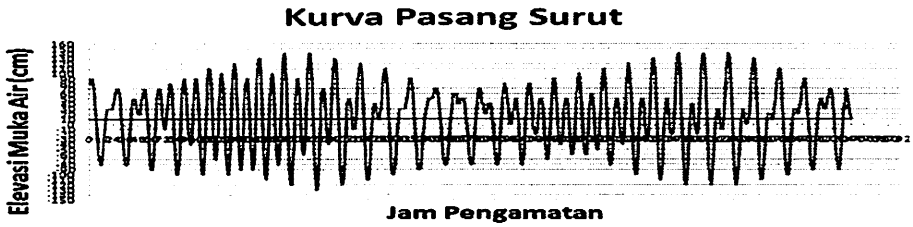
Menurut Triatmodjo [5] *detached breakwater* digunakan sebagai pelindung pantai terhadap erosi dengan menghancurkan energi gelombang sebelum mencapai pantai. Perairan di belakang bangunan menjadi tenang sehinggga terjadi endapat didaerah tersebut. Endapan ini dapat menghalangi transpor sedimen sepanjang pantai.
Panjang *breakwater* adalah 218.63 m yang diperoleh dari teori daerah pembentukan gelombang (*fetch)* seperti yang tampak pada gambar diatas, dalam hal ini daerah pembentukan gelombangnya adalah 42^0 sebelah kanan arah angin dominan (dari arah barat laut). Karena 218.63 meter untuk satu *breakwater* terlalu panjang maka dibuat dua *breakwater* dengan celah antar *breakwater* besarnya sama dengan panjang gelombang di lokasi peletakan *detached breakwater*, maka didapat panjang tiap *breakwater* adalah 97.5 meter dan celah 23.64 meter.



Gambar 5. *Layout detached breakwater*

6. Dimensi *detached breakwater*
   Untuk perhitungan dimensi *detached breakwater*, dibutuhkan data elevasi muka air tertinggi (HHWL). Oleh karena itu dilakukan pengolahan data pasang surut Pulau

Gili Ketapang selama 31 hari pada Bulan Oktober. Berikut ini merupakan kurva pasang surut yang didapat dari pengolahan data pasang surut di Ms. Excel:



Gambar 6. Kurva pasang surut bulan Oktober 2010

Pengolahan data pasang surut dilakukan dengan *software* Visual Fortran. Dari keluaran Visual Fortran didapatkan harga HHWL adalah 1.71 m. Menurut Triatmodjo [5] elevasi puncak pemecah gelombang adalah penjumlahan HHWL, *run up* dan tinggi kebebasan dengan memperhitungkan tinggi kebebasan sebesar 0.5 meter. Tinggi kebebasan adalah tinggi limpasan yang diijinkan. *Run up* tergantung pada bentuk dan kekasaran bangunan, kedalaman air pada kaki bangunan, kemiringan dasar laut di depan bangunan dan karakteristik gelombang. Nilai *run up* didapat dari grafik *run up* gelombang (terlampir) yaitu 1.02 meter. Dari tabel koefisien stabilitas dan koefisien lapis (terlampir) didapat nilai koefisien stabilitas, koefisien lapis dan porositas berturut-turut adalah 4, 1.12, dan 37 dengan jenis lapis lindung batu pecah bersudut kasar, jumlah susunan butir batu dalam lapis lindung adalah 2 (n=2) dan kemiringan (cot ɵ) 2. Berikut merupakan hasil perhitungan dimensi *detached breakwater*:

Tabel 2. Dimensi dan Jumlah Batu Pelindung

	Ukuran
Elevasi *breakwater*	3.5 m
Tinggi *breakwater*	8.5 m
Kemiringan sisi *breakwater*	1:2
Lebar puncak *breakwater*	1 m
Berat lapis lindung	45 kg
Tebal lapis lindung	0.6 m
Jumlah butir batu lapis lindung	219 batu

7. Analisa difraksi

Analisa difraksi dilakukan untuk mengetahui dampak pembangunan *detached breakwater* terhadap tinggi gelombang di sekitar *jetty*. Menurut Triatmodjo [5] apabila gelombang datang terhalang oleh suatu rintangan seperti pemecah gelombang atau pulau, maka gelombang tersebut akan membelok di sekitar ujung rintangan dan masuk di daerah terlindung di belakangnya. Tinggi gelombang di suatu tempat di daerah terlindung tergantung pada jarak titik tersebut terhadap ujung rintangan β, dan sudut antara arah penjalaran gelombang dan rintangan ɵ. Perbandingan antara tinggi gelombang di titik yang terletak di daerah terlindung dan tinggi gelombang datang disebut koefisien difraksi K'. Titik tinjauan yang ingin diketahui tinggi gelombangnya adalah di daerah ujung dan tengah *jetty* dengan tinggi gelombang

datang sebesar 0.82 meter. Tinggi gelombang di ujung dan tengah *jetty* sebelum di bangunnya *detached breakwater* adalah 0.68 dan 0.62 meter, sedangkan setelah *breakwater* tersebut dibangun tinggi gelombang menjadi 0.22 dan 0.14 meter.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan kondisi wilayah Pulau Gili Ketapang maka bangunan pelindung pantai yang dibutuhkan adalah *detached breakwater*. Hal ini dimaksudkan untuk mempermudah sandar perahu atau kapal nelayan serta bongkar muatnya. Dari hasil perhitungan yang telah dilakukan, telah didapatkan dimensi *detached breakwater* yang dibangun pada kedalaman 5 meter dengan tinggi 8.5 m, lebar puncak 1 m, kemiringan sisi 0.5, banyak lapis lindung 3, tebal lapis pelindung 0.6 m, berat lapis pelindung 45 kg. Hasil dari analisis difraksi diperoleh tinggi gelombang di ujung dan tengah *jetty* setelah adanya *detached breakwater* adalah 0.22 dan 0.14 m. Tinggi gelombang ini jauh tereduksi apabila dibandingkan dengan tinggi gelombang sebelum adanya *detached breakwater* yaitu 0.68 dan 0.62 meter.

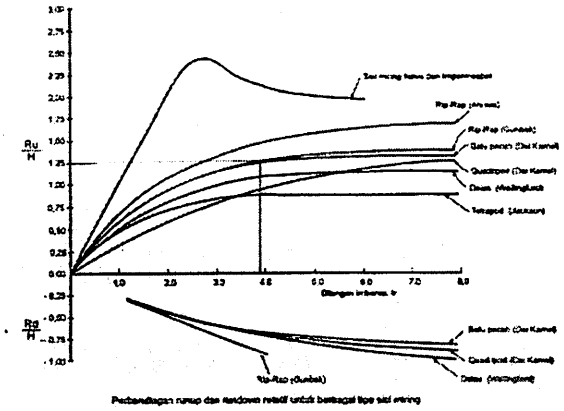
DAFTAR PUSTAKA

1. Dinas Perikanan dan Kelautan Kabupaten Probolinggo, (2009), *Profil Pulau Gili Ketapang.*
2. Dinas Perikanan dan Kelautan Propinsi Jawa Timur, (2010), *Profil dan Program Pembangunan Kelautan, Pesisir, dan Pulau-Pulau Kecil di Jawa Timur.*
3. CEM, (2002), *Coastal Groins and Nearshore Breakwaters Engineering and Design,* Washington DC: Department of The Army US, Army Corps of Engineers.
4. CERC, (1984), *Shore Protection Manual*, Washington: US Army Coastal Engineering Research Center.
5. Triatmodjo, B., (1999), *Teknik Pantai*, Yogyakarta: Beta Offset.

LAMPIRAN

Perhitungan Dimensi *Detached Breakwater*

Karena banyaknya variabel yang berpengaruh, maka besarnya *run up* sangat sulit ditentukan secara analitis. Berbagai penelitian tentang *run up* gelombang telah dilakukan di laboratorium. Hasil penelitian tersebut berupa grafik-grafik yang dapat digunakan untuk menentukan tinggi *run up*. Berikut ini merupakan grafik *run up* gelombang pada bangunan dengan permukaan miring untuk berbagai tipe material sebagai fungsi bilangan Irribaren yang didapat dari perhitungan adalah 3.94 untuk jenis lapis lindung yang digunakan adalah batu pecah:



Gambar Lampiran 1. Grafik run up gelombang (diolah dari Triatmodjo 1999)

Dari grafik diatas didapat *run up* sebesar 1.02 meter. Dengan diketahuinya HHWL, *run up* dan tinggi kebebasan, maka didapat elevasi puncak *breakwater* sebesar 3.23 meter yang kemudian dibulatkan menjadi 3,5 meter. *Breakwater* dibangun pada kedalaman 5 meter dan elevasi puncak 3.5 meter diatas permukaan air, maka tinggi *breakwater* dari *seabed* adalah 8.5 meter. Menurut Triatmodjo (1999) lebar puncak tergantung pada limpasan yang diijinkan. Pada kondisi limpasan diijinkan, lebar puncak minimum adalah sama dengan lebar dari tiga butir batu pelindung yang disusun berdampingan (N=3). Nilai Koefisien stabilitas, koefisien lapis dan porositas diperlukan dalam perhitungan dimensi *breakwater*. Koefisien stabilitas, koefisien lapis dan porositas didapat dari tabel berikut ini dengan jenis lapis lindung batu pecah bersudut kasar, jumlah susunan butir batu dalam lapis lindung adalah 2 (n=2) dan kemiringan (cot ɵ) 2:

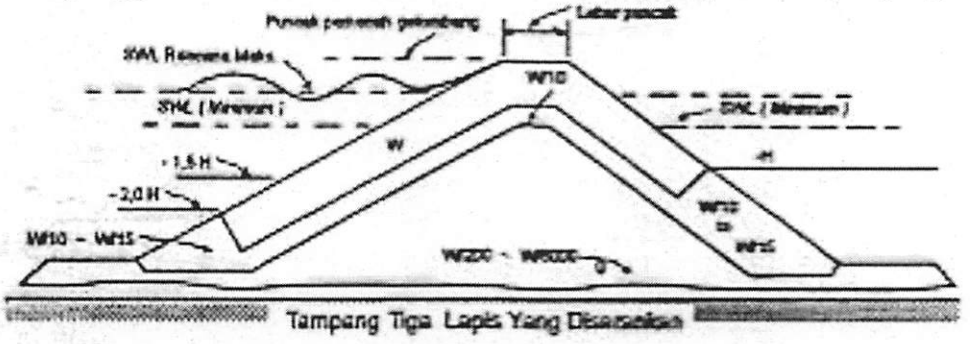
Lapis Lindung	n	Penempatan	Lengan Bangunan		Ujung (kepala) bangunan		Kemiringan
			K_D		K_D		
			Gelombang Pecah	Gelombang Tidak Pecah	Gelombang Pecah	Gelombang Tidak Pecah	Cot θ
Batu pecah							
Butir halus	2	Acak	1,2	2,4	1,1	1,9	1,5 - 3,0
Butir halus	>3	Acak	1,6	3,2	1,4	2,3	-[3]
Bersudut kasar	1	Acak	-[1]	2,9	-[1]	2,3	-[2]
Bersudut kasar	2	Acak	2,0	4,0	1,9 1,6 1,3	3,2 2,8 2,3	1,5 2,0 3,0
Bersudut kasar	>3	Acak	2,2	4,5	2,1	4,2	-[3]
Bersudut kasar	2	Khusus -[3]	5,8	7,0	5,3	6,4	-[3]
Paralelepipedum	2	Khusus	7,0-30,0	8,5-34,0	-	-	
Tetrapod dan Quadripod	3	Acak	7,0	8,0	5,0 4,5 3,5	6,0 5,5 4,0	1,5 2,0 3,0
Tribar	2	Acak	9,0	10,0	8,3 7,8 6,0	9,0 8,5 6,5	1,5 2,0 3,0
Dolos	2	Acak	15,8	31,8	8,0 7,9	16,0 14,0	2,0 3,0
Kubus dimodifikasi	2	Acak	6,5	7,5	-	3,0	-[3]
Hexapod	2	Acak	8,0	9,5	5,0	7,0	-[3]
Tribar	1	Seragam	12,0	13,0	7,5	9,5	-[3]
Batu pecah (Kasar) (gradasi angular)	-	Acak	2,2	2,5	-	-	

Gambar Lampiran 2. Tabel koefisien stabilitas (CERC 1984)

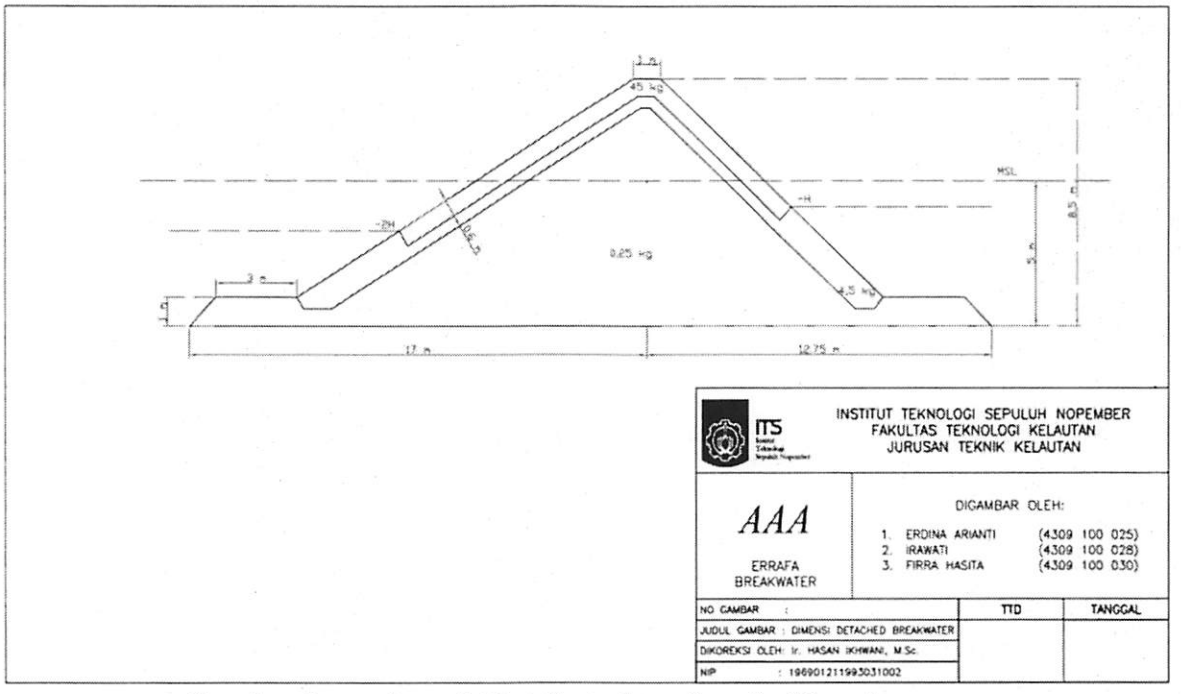
Batu Pelindung	n	Penempatan	Koef. Lapis (k_Δ)	Porositas P(%)
Batu alam (halus)	2	random (acak)	1,02	38
Batu alam (kasar)	2	random (acak)	1,15	37
Batu alam (kasar)	>3	random (acak)	1,10	40
Kubus	2	random (acak)	1,10	47
Tetrapod	2	random (acak)	1,04	50
Quadripod	2	random (acak)	0,95	49
Hexapod	2	random (acak)	1,15	47
Tribard	2	random (acak)	1,02	54
Dolos	2	random (acak)	1,00	63
Tribar	1	seragam	1,13	47
Batu alam		random (acak)		37

Gambar Lampiran 3. Tabel koefisien lapis (Triatmodjo 1999)

Dari tabel diatas didapat nilai koefisien stabilitas, koefisien lapis dan porositas adalah 4, 1.12 dan 37. Berat butir lapis lindung tergantung oleh tinggi gelombang, koefisien stabilitas, kemiringan bangunan, berat jenis batu dan berat jenis air laut. Semua variabel tersebut telah didapat nilainya dalam perhitungan sebelumnya, sehingga didapat berat butir lapis lindung adalah 45 kg. Nilai jumlah lapis lindung, jumlah susunan butir batu dalam lapis lindung, koefisien lapis, berat jenis batu dan berat butir lapis lindung telah diketahui, sehingga didapat lebar puncak gelombang adalah 0.89 meter yang nantinya nilai ini dibulatkan menjadi 1 meter dan tebal lapis lindung adalah 0.6 meter. Jumlah butir batu pelindung tiap satuan luas dihitung dengan jumlah susunan butir batu dalam lapis lindung, koefisien lapis, berat jenis batu, berat butir lapis lindung dan porositas. Setelah dilakukan perhitungan didapat 219 butir batu pelindung tiap 10 m^2. Berikut merupakan penggambaran detail struktur breakwater beserta pedoman yang digunakan:



Gambar Lampiran 4. Pemecah gelombang sisi miring dengan serangan gelombang pada satu sisi (Triatmodjo 1999)



Gambar Lampiran 5. Detail struktur *detached breakwater*

" Halaman ini sengaja dikosongkan "

ISBN 978-979-99327-8-5

PEMANFAATAN BEDA ENERGI PADA BANGUNAN TERJUN UNTUK PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKRO HIDRO (PLTMH)

Abdullah Hidayat SA[1], Nadjadji Anwar[1], dan Mahendra Andiek M.[1]

[1]*Dosen Jurusan Teknik Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Kampus ITS Sukolilo Surabaya, Telp 031-5946094, email: abdullah@ce.its.ac.id, nadjadji@ce.its.ac.id, mehendra_andiek_m@yahoo.co.id*

ABSTRAK

Selama ini untuk mengatasi masalah Gerusan di Bangunan Terjun ini, diarahkan pada daerah disebelah bawah dari bangunan terjun tersebut, jangan sampai kecepatan yang terjadi di hilir (di bawah) bangunan terjun itu menyebabkan erosi di saluran bawah, sehingga dibuat / direncanakan bangunan peredam energi. Selama ini perubahan muka air secara tiba-tiba pada Bangunan Terjun, belum dimanfaat kan secara maksimum, Padahal perbedaan muka air ini menghasilkan perbedaan energi potensial pada Bangunan Terjun.Yang bisa dimanfaatkan untuk menghasilkan energi. Karena energi yang dihasilkan sangat dipengaruhi oleh H dan Q, Sedagkan H dan Q ada di Daerah Irigasi, Sebagai mana Rumunya PLTA, D = ηTG* 9,8*Q*H .Penerapan teknologi mikrohidro sebagai pembangkit listrik setempat adalah salah satu solusi terbaik bagi pemecahan masalah tersebut. Teknologi ini merupakan salah satu bentuk dari PLTA, namun dengan skala yang lebih kecil yang disebut dengan PLTMH. Selain merupakan tenaga listrik yang dapat diperbarui (renewable) dan bebas dari polutan (white energi), juga karena yang digunakan hanya energi potensialnya saja, sehingga massa air akan tetap. Hal ini sangat cocok, mengingat bangunan yang akan menjadi dasar desain merupakan bangunan irigasi. Dari debit andalan yang ditentukan dari data irigasi dan tinggi efektif yang ada, dapat menghasilkan energi listrik .Bangunan teknik Sipil yang lain, akan melengkapi bangunan yang diperlukan. Perbedaan energy pada upstream dan downstream biasanya tidak terlalu besar Sehingga akan menghasilkan daya maksimum dibawah 100 kW.Alternatif I (17,23 kw) dan Alternatif II (23,19 kw). Energy setahun yang di peroleh penulis dari dua alternatf tersebut adalah 142.249,26 kwh, untuk yang 17,23kw, dan 183.693,2 kwh, untuk yang 23,19 kw. dan dari beaya pembangkitannya untuk 17,23 KW = Rp.293,81/kwh yang dihasilkan dan beaya pembangkitannya untuk 23,19 kw = Rp.308,32 / kwh yang dihasilkan.. Dari beaya tersebut, dipilih yang pertama karena lebih kecil/lebih murah.

Kata kunci: Beda Energi,Bangunan Terjun,PLTMH.

1. PENDAHULUAN

Bangunan Terjun adalah Bangunan yang melintang di Saluran Yang Berfungsi Mengatasi hambatan perjalanan air yang terhalang oleh perubahan muka tanah yang turun secara mendadak akibat kemiringan lahan yang besar. Sedangkan tenaga Air adalah proses perubahan enersi, dari enersi Kinetik Menjadi enersi Mekanik dengan bantuan Turbin Air.

Salah satu pemanfaatan Sumber Daya Air, adalah pemanfaatan Beda Enersi pada Bangunan Terjun untuk pembangkit Listrik tenaga Mikro Hidro (PLTMH). Selama ini untuk mengatasi mengatasi masalah Gerusan di Bangunan Terjun ini, diarahkan pada daerah disebelah bawah dari bangunan terjun tersebut, jangan sampai kecepatan yang terjadi di hilir (di bawah) bangunan terjun itu menyebabkan erosi di saluran bawah, sehingga dibuat/direncanakan bangunan peredam energy (stalin Bazin). Selama ini perubahan muka air secara tiba-tiba pada Bangunan Terjun, belum dimanfaat kan secara maksimum, Padahal perbedaan muka air ini menghasilkan perbedaan enersi

potensial pada Bangunan Terjun.Yang bisa dimanfaatkan untuk menghasilkan energi. Karena energi yang dihasilkan sangat dipengaruhi oleh H dan Q, Sebagai mana Rumusnya:

$D = \eta TG * 9{,}8 * Q * H$.

Pada kondisi yang lain, Penggunaan pembangkit listrik dengan bahan bakar fosil bukanlah solusi terbaik. Selain harganya yang semakin melonjak karena tidak dapat diperbaruhi juga menghasilkan polutan berbahaya dari proses pembakaran. Penerapan teknologi mikrohidro sebagai pembangkit listrik setempat adalah salah satu solusi terbaik bagi pemecahan dua masalah tersebut. Teknologi ini merupakan salah satu bentuk dari PLTA, namun dengan skala yang lebih kecil yang disebut dengan PLTMH. Selain merupakan tenaga listrik yang dapat diperbarui (renewable) dan bebas dari polutan (white energi), juga karena yang digunakan hanya energi potensialnya saja, sehingga massa air akan tetap. Hal ini sangat cocok, mengingat bangunan yang akan menjadi dasar desain merupakan bangunan irigasi.

Dari debit andalan yang ditentukan dari data irigasi dan tinggi efektif yang ada, dapat menghasilkan energi listrik .Bangunan teknik Sipil yang lain, akan melengkapi bangunan yang diperlukan. Perbedaan energy pada upstream dan downstream biasanya tidak terlalu besar Sehingga akan menghasilkan daya maksimum dibawah 100 kW.
Penerapan teknologi mikrohidro ini akan memberikan keuntungan, baik untuk pihak pelaksana Investor, Penjualan listrik ke PLN, maupun masyarakat konsumen PLTMH sendiri.

Semula dalam menetapkan data yang digunakan oleh penulis adalah data baru, yaitu di daerah Malang, tapi selama mendapat kan data tersebut, selalu saja banyak kendala nya, antara lain petugas nya yang tidak sambung/singkron dengan penulis, dilain hal penulisan ini harus segera dimulai, sehingga di ambil data dari bibimbingan penulis sendiri, yaitu daerah Irigasi Padi Pomahan, desa Padi, Kecamatan Gondang Kabupaten Mojokerto yang berada pada saluran sekunder nya atas nama Alfi Fadhli NRP. 3107 100 0108 versi penulis, disamping itu skala yang digunakan ialah skala 1:1 dilapangan, dan dipilih kapasitas mana dari dua alternatif yang dipilih berdasar beaya pembangkitannya.

2. METODE PENELITIAN

Dalam penelitian ni, akan didasarkan pada tinjauan pustaka dan data-data sekunder yang telah didapatkan sebelumnya. Adapun langkah-langkah yang akan dilakukan adalah sebagai berikut:

Survei Pendahuluan dan Studi Literatur

Survei dan studi literatur akan sangat membantu sebagai acuan dan gambaran awal dari daerah yang akan ditinjau.

- Meninjau daerah studi
- Wawancara petugas dan warga sekitar tentang kondisi dan sejarah bangunan irigasi
- Melakukan studi literatur tentang teknologi mikrohidro

Pengumpulan Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder yang diperoleh secara tidak langsung berupa catatan maupun hasil penelitian dari pihak lain. Data yang digunakan juga berupa hasil survei dan pengukuran langsung di lokasi dengan dibantu oleh petugas.

Adapun data-data tersebut meliputi:

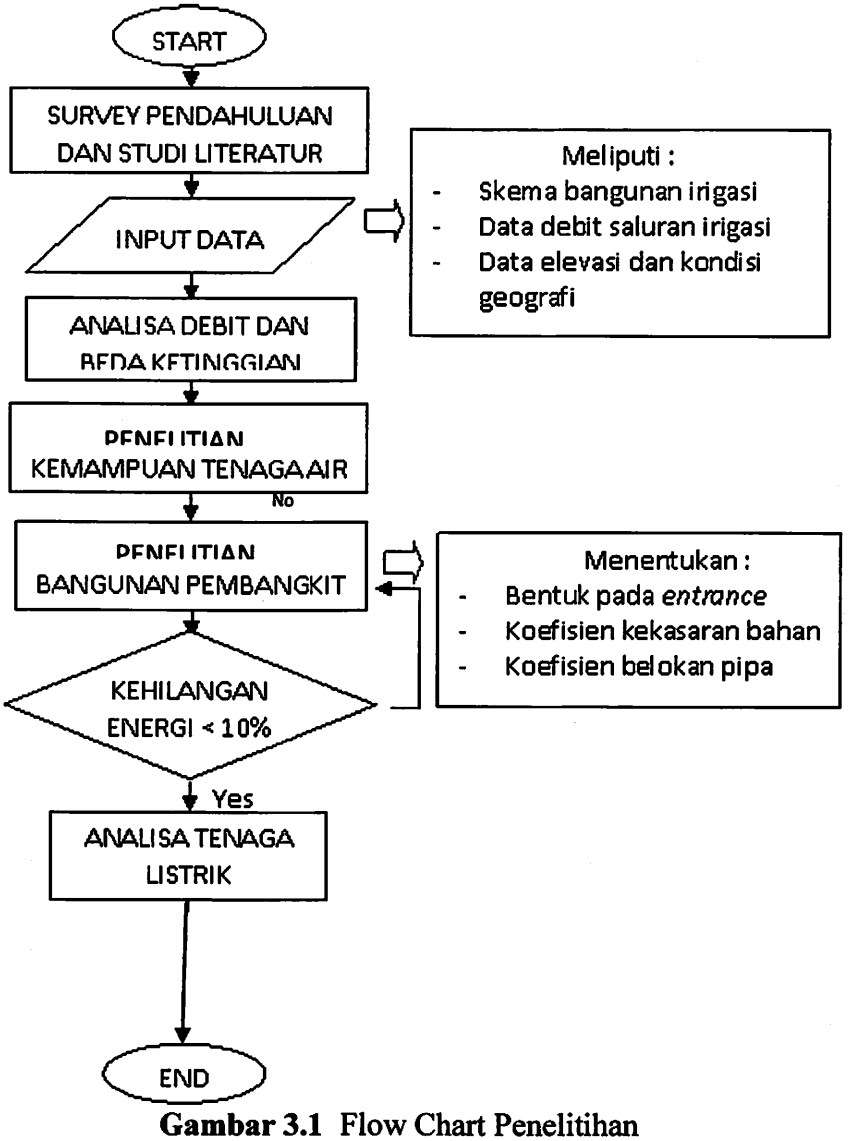
- Skema DI
- Data debit minimal 10 tahun pada saluran irigasi
- Data elevasi dan kondisi geografi

Analisa Data dan Proses Perhitungan

Tahapan analisa data dan proses perhitungan yang meliputi:

- Menghitung debit dan beda ketinggian
- Menghitung kemampuan tenaga air
- Menentukan desain dan perencanaan bangunan pembangkit
- Menghitung besarnya kehilangan energi
- Menghitung tenaga listrik yang dapat dihasilkan

Diagram Alir Pengerjaan Penelitian



Gambar 3.1 Flow Chart Penelitihan

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisa Debit

Data yang akan digunakan dalam analisa merupakan data dari lokasi saluran sekunder Gondang, Daerah Irigasi Padi Pomahan, Desa Padi, Kecamatan Gondang, Kabupaten Mojokerto. Data ini di ambil dari data debit operasional dan pemeliharaan (OP) yang berupa debit 10 harian selama 10 tahun. Langkah – langkah yang akan diambil adalah:

Merangking data dari yang terbesar sampai terkecil

1. Mencari selisih data terkecil (Q_{min}) dan terbesar (Q_{max}) sebagai jarak data (R)
   R= 0,795 –0,073 = 0,722 m^3/detik = 722 l/dt.
2. Mencari jumlah data yaitu n = 360 Bulan
1. Mencari jumlah kelas data (k)
   K = 1 + 3,3322 log n = 1+ 3,3322 log 360 = 9,518
2. Mencari kelas interval (i)
   i = R / k = 722/9.518 = 75,8 ≈ 76

Tabel 4.1. Rekapitulasi data debit dalam 10 tahun

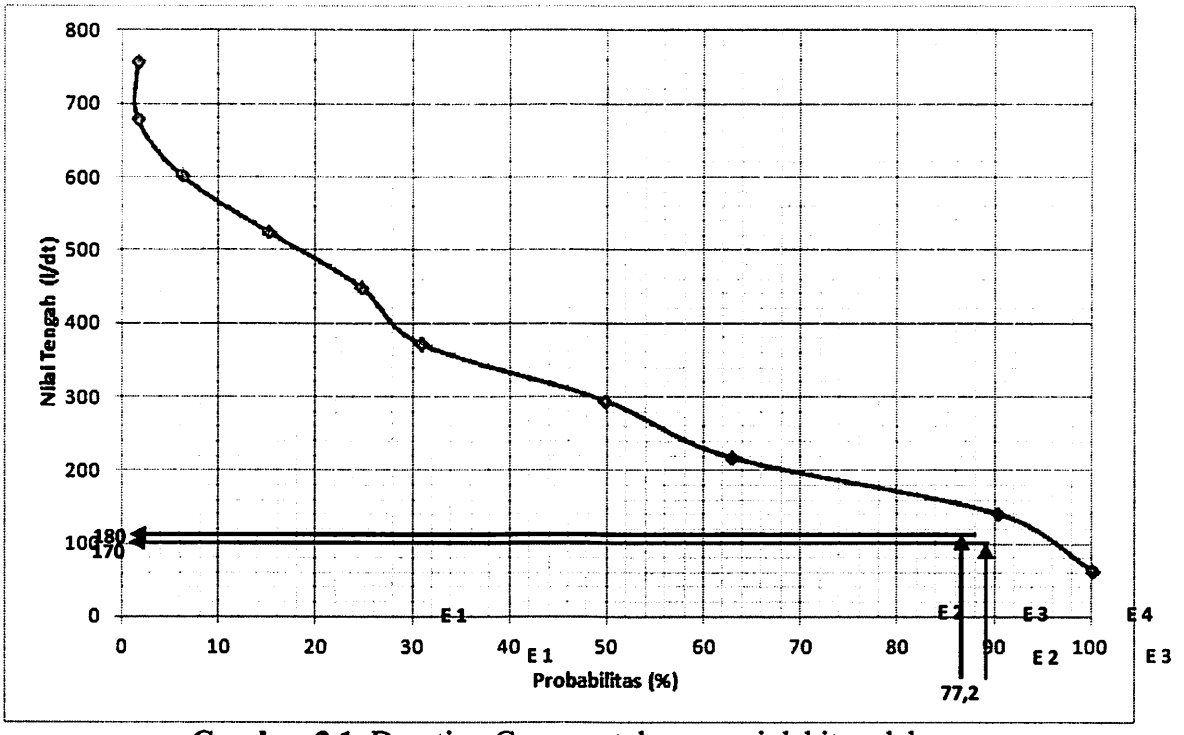
Interval (l/dt)	Nilai Tengah	Frekuensi	Frekuensi Komulatif	Probabilitas (%)
795 - 719	757	6	6	1,67
718 - 642	680	0	6	1,67
641 - 565	603	16	22	6,11
564 - 488	526	32	54	15,00
487 - 411	449	35	89	24,72
410 - 334	372	22	111	30,80
333 - 257	295	68	179	49,72
256 - 180	218	47	226	62,78
179 - 103	141	99	3 25	90,28
102 - 026	064	35	360	100,00

Untuk mendapatkan nilai debit andalan, umumnya diambil 80% yaitu pada letak debit 0,170 m^3/dt. Nilai terkecil yang masih sanggup menggerakan turbin mikrohidro (yang dipakai yaitu Cross Flow T15) adalah nilai 20% dari debit andalan, Nilai tersebut yaitu :

Q = 20% x 0,170 m^3/dt = 0,034 m^3/dt, debit ini menghasilkan listrik.karena < Q_{MIN}.dari data debit, diketahui debit minimal adalah 0,053 m^3/dt, jadi 0,034 m^3/dt < debit Q_{Min} = 0,053 m^3/dt. Oleh sebab itu, dalam penelitihan ini, unit Turbin ter kecil dibuat = (0,170/0,053 = 3,212,125 buah unit), sehingga di pilih 3 unit = 3 x unit turbin = 3 x 0,057 m3/dt. = 0,170 m^3/dt (Q_R).

0,057 m^3/dt > 0,053 m^3/dt, atau 4 unit turbin = 4x 0,057 m^3/dt = 0,255 m^3/dt, (77,2 %).

Dalam penelitian ini hanya diambil 2 pilihan saja untuk membandingkan hasil dari pilihan tersebut. Yaitu berdasar 3x unit Turbin atau 4 x unit Turbin, mana yang lebih murah harganya, dilihat dari beaya pembangkitan nya.



Gambar 3.1. Duration Curve untuk mencari debit andalan

Perencanaan Kapasitas Tenaga Air

Kapasitas daya ditentukan oleh debit yang mengalir dalam saluran dan tinggi jatuh yang ada.

Tinggi jatuh efektif

Tinggi jatuh efektif didapat dengan memperhitungkan kehilangan energi. Dalam penelitian ini diperoleh :

H_{Bruto} = 15,06 m

H_{losses} = 10% x H_{Bruto}

=1,506 m

Sehingga perkiraan awal tinggi jatuh efektif akan diperoleh sebesar

H_{eff} = H_{Bruto} - H_{losses} =

= 13,554 m

Daya yang dihasilkan

Dari data debit andalan (gambar 3.1) dan tinggi jatuh efektif akan didapat daya yang dihasilkan.D

P_1 = 9,81 x $Q_{andalan}$ x H_{eff}

= 23,269 kW Untuk alternatif I dan

P_2 = 9,81x$Q_{andalan}$x 13,554

= 32,37 KW Untuk alternatif II

dimana:

P = daya yang dihasilkan generator (kW)

$Q_{andalan}$ = debit andalan (m^3/dt)

H_{eff} = tinggi efektif (m)

Perencanaan Bangunan Pembangkit
Perhitungan muka air

Dari data *existing* di lapangan dapat dihitung tinggi muka air saat debit rencana yaitu sebesar debit andalan.

Diketahui :

Lebar dasar saluran (B) = 2,50 meter
Kemiringan dasar saluran (S) = 0,00038
Koefisien manning (n) = 0,02

Untuk menghitung kecepatan aliran dan debit saluran digunakan rumus :

$A = b \times h$

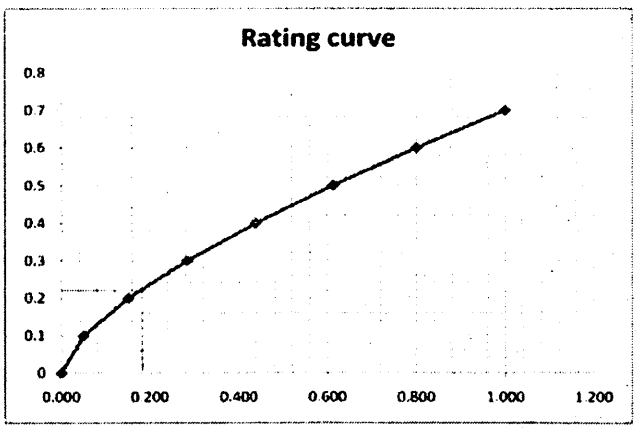
$P = b + 2h$

$R = A/P$

$v = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2}$

$Q = v \times A$

Sehingga didapat perbandingan kedalaman muka air dan debit sebagai berikut :.



Gambar 3.2. Grafik rating curve

Dari grafik rating curve didapat kedalaman muka air pada saat Qandalan sebesar 0,22 meter.

3.3.4.Perhitungan saluran pengarah

Saluran pengarah adalah saluran yang menghubungkan intake dengan bak pengendap. Debit yang mengalir pada saluran adalah sebesar debit andalan. Adapun perencanaan saluran pengarah direncanakan sebagai berikut:

Bentuk penampang saluran = segi empat b= h Q=0,170m3/detik n= 0,02 i= 0,0004

Dari hasil coba-coba didapat h= 0,455 m. Jadi hasil perencanaan saluran pengarah adalah sebagai berikut:

Tabel 3.3. Hasil perencanaan saluran pengarah

Debit saluran	Q	0.17 m^3/detik
Kecepatan aliran	v	0.385 m/detik
Lebar dasar saluran	b	1 m
Kedalaman saluran	h	0.455 m
Kemiringan saluran	i	0.0004
Koefisien manning	n	0.02

3.3.5. Perehitungan pelimpah samping

Pelimpah samping berfungsi untuk melimpahkan debit berlebih sehingga debit yang masuk pada saluran pengarah tidak melebihi debit rencana.

$$H_o = h_o + \frac{v^2}{2.g}$$
$$= 0.22 + \frac{0{,}325^2}{2.9{,}8}$$
$$= 0.225 \text{ m}$$

3.3.6. Perhitungan alat ukur

Alat ukur terletak pada saluran pengarah. Alat ukur berfungsi untuk mengukur debit pada saluran pengarah.

Setelah didapat perhitungan drempel, maka dicek dengan menggunakan debit minimum saluran yang masuk, yaitu Qmin = 53 liter/detik

Q = 1,71 .b.h3/2 h = 0,099 m = 9 cm > 5 cm.

3.3.7.Perhitungan angkutan sedimen

Perhitungan angkutan sedimen diperlukan untuk menghitung jumlah sedimen yang terangkut pada aliran.

Untuk pembangkit listrik tenaga mikrohidro maka diambil diameter maksimum yang diijinkan masuk ke dalam turbin sebesar 0,2 mm.

3.3.8. Perencanaan bak pengendap sedimen

Untuk perhitungan jumlah angkutan sedimen digunakan data sebagai berikut:

diameter sedimen d = 0,2 mm
Q = 0,170 m3/detik
vsaluran = 0,31 m/detik
h = 1 m

Setelah didapat kecepatan turun butiran, maka langkah berikutnya adalah menghitung dimensi bak pengendap. Menurut Welikanow, dengan menetapkan
W = 0,95 maka λ = 1,2, sehingga:

$$Q = b.h.v$$
$$b = \frac{Q}{h.v}$$

$V = 1/n.\ R^{2/3}.i^{1/2}$

n = 0,02 (beton)

I = 0,00006

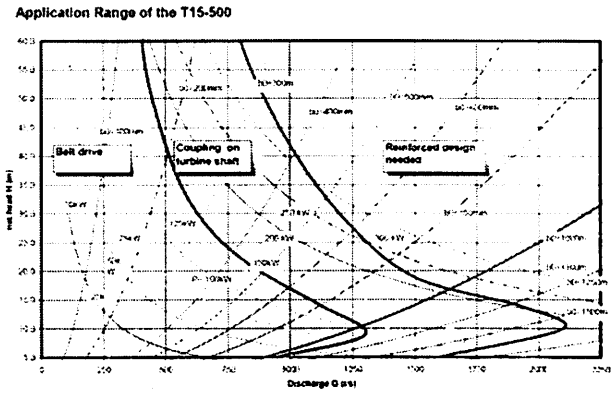
4.3.9. Perhitungan kantong pasir

Asumsi awal untuk menghitung kemiringan dasar kantong pasir digunakan kecepatan aliran ntuk pembilasan Vs= 1 m/detik.

4.3.10. Perhitungan turbin

a. Pemilihan jenis turbin

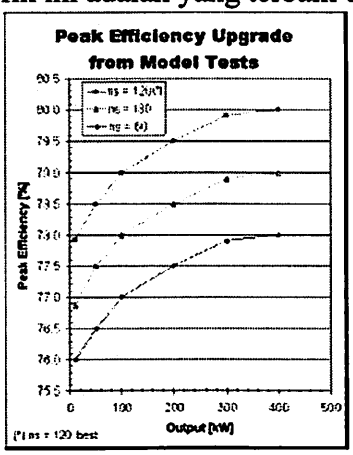
Pada saat merencanakan jenis turbin, faktor yang paling menentukan adalah besar debit dan beda tinggi yang tersedia. Dengan debit andalan sebesar 0,17 m^3/dt dan 0,255 m^3/dt serta tinggi jatuh efektif 13,557 meter, maka jenis turbin yang digunakan adalah Cross Flow T-15 500 yang memiliki spesifikasi dengan tinggi jatuh efektif 5 – 100 meter dan debit 300 – 2.000 liter/detik.



Gambar 3.3 Grafik turbin T15-300

b. Putaran spesifik dan putaran jenis turbin

Turbin jenis Cross Flow T-15 diusahakan bekerja dengan menggunakan putaran spesifik turbin 120. Karena menurut penelitian dari Entec Consulting & Engineering Switzerland nilai putaran spesifik ini adalah yang terbaik untuk jenis T-15.



Gambar 3.4. Grafik efisiensi puncak turbin T15

Sehingga dari rumus putaran spesifik (Ns), dapat diketahui nilai putaran jenis turbin (N), yaitu :

$$N = \frac{120}{1{,}01} = 119 \text{ rpm}$$

Dengan putaran jenis turbin yang telah ditentukan dan dari daftar standar kecepatan putar sinkron, jumlah katup dan frekwensi yang digunakan yaitu:

$$N = \frac{120\,f}{p}$$

Dengan cara coba-coba, dari daftar standar kecepatan putaran didapat nilai frekwensi (f) 50 Hz dan jumlah katup (P) 52.

dimana :

N = Kecepatan putaran jenis (rpm)
F = Frekuensi (Hz)
p = Nomor dari pasangan katup generator

3.11 Kehilangan energi total :

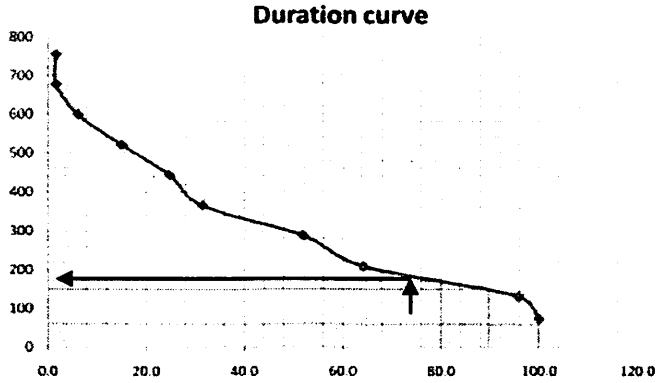
Dari perhitungan beberapa faktor kehilangan energi pada pipa pesat dapat diketahui kehilangan energi total, yaitu:

$H_{total} = H_e + H_f + H_l$
$= 0{,}0074 + 0{,}532 + 0{,}032$
$= 0{,}571$ meter

Nilai ini lebih kecil dari asumsi awal kehilangan energi sebesar 10% dari tinggi bruto sebesar 1,506 m. Sehingga penelitan ini dapat digunakan.

3.12 Perhitungan Energi Listrik

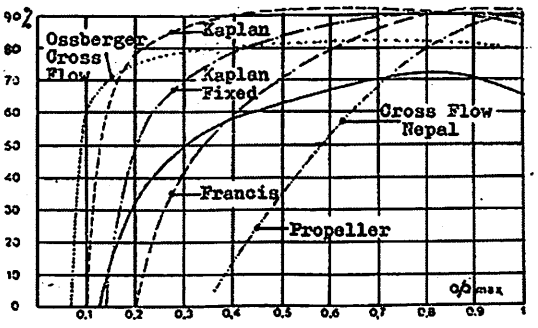
3.12.1 Perhitungan Energi Listrik Energi listrik total yang didapat dalam satu tahun dibagi dalam dua altarnatip I dan II. Perhitungan alternatip I dilakukan dalam tiga perhitungan. Perhitungan pertama berdasarkan pada Q80 selama 80% dari satu tahun. Sedangkan 10% selanjutnya direncanakan diantara Q80 dan Q90, 10% sisanya diantara Q90 dan Q100. Serta alternatif ke II $Q_{(R)77,2}$ = 0,23 m^3/dt. Perhitungan alternatip II dilakukan dalam empat perhitungan. Perhitungan pertama berdasarkan pada Q_{77} selama 77% dari satu tahun. Sedangkan 08 % selanjutnya direncanakan diantara Q_{77} dan Q_{80}, dan 10%, Q_{80} dan Q_{90}, 10% sisanya diantara Q_{90} dan Q_{100}. Serta Sehingga pembagian tersebut pada duration curve adalah:



Gambar 3.5 Duration Curve untuk mencari debit andalan

Dari grafik diketahui nilai Q yaitu :

$Q_{77,2}$ = 0,230 m^3/detik
Q_{80} = 0,170 m^3/detik
Q_{90} = 0,140 m^3/detik
Q_{100} = 0,053 m^3/detik



Gambar 4.9. Grafik efisiensi turbin

Efisiensi yang digunakan adalah : efisiensi turbin (ηt) = 0,786
efisiensi generator (ηg) = 0,95
efisiensi transformator (ηtr) = 0,95

sehingga efisiensi total yang digunakan adalah:

ηtot = 0,786 x 0,95 x 0,95 = 0,7094

Dengan menggunakan

H_{eff}=13,553 m

daya yang didapatkan adalah:

$D_{77,2}$=9,81 x ηtot x $Q_{77,2}$ x H_{eff}
= 9,81 x 0,7094 x 0,230 x 14,489 = 23,19 KW

D_{80} = 9,81 x ηtot x Q_{80} x H_{eff}
= 9,81 x 0,7094 x 0,170 x 14,489 =17,13 KW

D_{90} = 9,81 x ηtot x Q_{90} x H_{eff}
= 9,81 x 0,7094 x 0,14 x 14,489 = 14,11KW

D_{100}= 9,81 x ηtot x Q_{100} x H_{eff}
= 9,81 x 0,7094 x 0,053 x 14,489 = 5,34 KW

Energi yang diperoleh adalah :

E_1 = D_{80} x 80% x 365 x 24
= 17,13 x 80% x 360 x 24
= 120.047,04 kWh

E_2 = (D_{80}+D_{90})/2 x 10% x 365 x 24
= (17,13 + 14,11)/2 x 10% x 365 x 24
= 13.683,12 kWh

E_3 = (D_{90}+D_{100})/2 x 10% x 365 x 24
= (14,11 + 5,34)/2 x 10% x 365 x 24
= 8.519,1 kWh

Jadi energi keseluruhan yang diperoleh :

E_{total}= E_1 + E_2 + E_3
= (120.047,04 + 13.683,12 + 8.519,1) KWH
= 142.249,26 KWH.

Untuk beaya per KW = $1.500,-/KW x 17,13 KW = $ 25.695,- dengan harga dollar Rp.10.000,-/dollar = Rp.256.950.000,-dengan bunga i = 10%, beaya pengembalian selama 10 th CRF = $\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n-1} = \frac{0.1(1+0.1)^{10}}{(1+0.1)^{10}-1}$ = 0,16275, maka beaya satu tahun = 0,16275 x Rp. 256.950.000 = 41.818.612,5. Sedangkan E_{total} setahun =142.296,26 kwh, maka beaya pembangkitan = E_{total} setahun /beaya 1th = Rp.293,81/KWH.

4. KESIMPULAN

- Pembangunan pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH), merupakan salah satu alternatif untuk memanfaatkan kehilangan energi pada bangunan terjun.
- Penelitihan PLTMH pada bangunan terjun ini di lakukan di bangunan terjun saluran sekunder Gondang, Pacet, Mojokerto .

5. DAFTAR PUSTAKA

1. Anggrahini 2005, Hidrolika Saluran Terbuka Surabaya Srikandi.
2. Dandekar, M.M, dan K.N. Sharma 1991. Pembangkit alistrik Tenaga Air. Jakarta: Universitas Indonesia.
3. Entec Consulting and Engineering. The Entec Cross Flow Turbin T 15. St. Gallen, Switzerland.
4. Himerl, L.A. 1960. The Cross Flow Turbin. Jerman Baratt.
5. NPS Berdasarkan ASME B36. 10m & B36. 19M.
6. Patty, O.F, 1960 Tenaga Air, Jakarta Erlangga
7. Pemerintah Kota Surabaya Standard Satuan Harga Belanja Daerah Kota Surabaya 2010 Surabaya 2010.
8. Pemanfaatan Beda Energi Pada Bangunan Terjun Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (Studi kasus saluran irigasi sekunder Gondang, Daerah Irigasi Padi Pomahan, Desa Padi, Kecamatan Gondang, Kab. Mojokerto), Fadhli, A. dan Hidayat, A., Tugas Akhir S1, Surabaya, 2010.
9. Peraturan Menteri ESDM No 07 Th.2010, Tarif Tenaga Listrik Yang Disediakan oleh PLN.
10. Standart Perencanaan IrigasiKP-02 .
11. Standart Perencanaan Irigasi KP-04.

" Halaman ini sengaja dikosongkan "

PERENCANAAN KONSEP EKODRAINASE (STUDI KASUS JALAN PRAMUKA KOTA BANJARMASIN)

Novitasari[1]

[1]*Dosen Jurusan Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Lambung Mangkurat, Jl. A. Yani KM 35,5 Banjarbaru, Telp 0511-4773868, email: novitasari.st.mt@gmail.com*

ABSTRAK

Perkembangan kota yang sangat pesat mengakibatkan Kota Banjarmasin khususnya di kawasan Jalan Pramuka, bermasalah terhadap air hujan yang menggenangi di beberapa ruas jalan yang menuju terminal induk provinsi Kalimantan Selatan, sehingga dibutuhkan perencanaan sistem ekodrainase yang sesuai dengan kondisi Kota Banjarmasin yang merupakan wilayah rawa dengan permasalahan permeabilitas tanah yang kecil. Metode yang digunakan adalah metode kolam resapan sebagai salah satu penerapan konsep drainase yang berwawasan lingkungan untuk wilayah rawa dengan metode Sunjoto. Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan di Jalan Pramuka kondisi saluran eksisiting dan saluran yang direncanakan oleh Pekerjaan Umum tidak mampu menahan beban air hujan yang jatuh di wilayah tersebut, sehingga dibutuhkan kolam resapan. Kolam resapan dibuat pada ruas kanan dan kiri Jalan Pramuka. Salah satu titik lokasi penelitian di ruas kanan adalah Dinas Pemuda Olah Raga Kebudayaan dan Pariwisata dengan merancang 2 kolam resapan, dengan dimensi kolam resapan 2 x 2 meter dan kedalaman 2 meter dengan air yang terinfiltrasi sebesar $6{,}208 \times 10^{-8}$ $m^3/dt/m$. Sedangkan pada ruas kiri diambil titip lokasi penelitian pada Ditjen Sumberdaya dan Perangkat Pos dan Informatika Loka Manitor Spektrum Frekuensi Radio yang direncanakan kolam berdimensi 2 x 2 meter dengan kedalaman 1,5 meter sebanyak 1 buah, dengan jumlah air terinfiltrasi kedalam tanah sebesar $2{,}328 \times 10^{-8}$ $m^3/dt/m$.

Kata kunci: kolam konservasi, ekodrainase, infiltrasi, Banjarmasin

1. PENDAHULUAN

Perkembangan perkotaan dipengaruhi oleh sarana transportasi yang baik, dimana semakin mudah suatu wilayah untuk dijangkau dengan sarana yang memadai semakin lancar pembangunan yang dapat dilakukan pada daerah tersebut. Sebaliknya, apabila sarana transportasi yang menghubungkan suatu daerah dengan daerah lainnya mengalami kerusakan maka kemajuan dan perkembangan pembangunan daerah tersebut akan mengalami gangguan secara keseluruhan.

Adapun salah satu penyebab rusaknya suatu jalan dapat juga diakibatkan belum adanya drainase yang memadai atau kurang berfungsinya lagi saluran drainase yang ada secara baik akibat perkembangan kota yang sangat pesat tanpa memperhitungkan daya tampung drainase yang sudah ada. Jika hal tersebut tidak ditanggulangi dengan cepat akan berdampak negatif bagi masyarakat sekitar, seperti timbulnya wabah penyakit dan banjir.

Jalan pramuka adalah jalan dengan aksesibilitas tinggi di Kota Banjarmasin yang menuju ke terminal induk provinsi Kalimantan Selatan, yang merupakan wilayah rawa sehingga untuk mengatasi air pasang dan curah hujan yang tinggi dibutuhkan sistem drainase alternatif dengan drainase ramah lingkungan (ekodrainase). Drainase ramah lingkungan didefinisikan sebagai upaya mengelola kelebihan air dengan cara sebesar-besarnya diresapkan ke dalam tanah secara alamiah untuk meningkatkan kandungan air tanah untuk cadangan pada musim kemarau atau mengalirkan ke sungai dengan tanpa melampaui kapasitas sungai sebelumnya.

Salah satu drainase ramah lingkungan yang dapat dipakai di wilayah rawa pasang surut adalah kolam konservasi atau kolam resapan. Kolam resapan merupakan kolam terbuka yang dibuat khusus untuk menampung air hujan dan meresapkannya ke dalam tanah. Model kolam ini cocok untuk kawasan dimana air tanahnya dangkal namun tersedia lahan yang cukup luas. Model ini dapat dipadukan dengan pertamanan atau hutan kota/hutan masyarakat. Dengan demikian kolam resapan dapat mempunyai fungsi ganda, konservasi udara dan air, sekaligus mempunyai nilai estetika.
Rumusan masalah yang dapat diangkat meliputi analisis terhadap saluran yang sudah ada dijalan Pramuka yang mengalami kelebihan membebanan air hujan, sehingga harus ditambah dengan penerapan konsep ekodrainase dibeberapa lokasi untuk melihat pengurangan pembebanan terhadap saluran drainase.
Tujuan dari penelitian ini adalah memperhitungkan pengaruh pemakaian ekodrainase dalam mengurangi masalah genangan dan mengurangi pembebanan terhadap sistem drainase yang ada saat ini, terkait dengan jumlah air yang dapat terinfiltrasi ke dalam tanah.
Manfaat yang bisa diambil dari penelitian ini adalah dengan drainase ramah lingkungan yang direncanakan agar dapat dimanfaatkan masyarakat sekitar sebagai tempat rekreasi dan bersantai, serta akan mempercantik tampilan ruas jalan tersebut.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Sistem Kolam Konservasi

Kolam resapan merupakan salah satu dari metode drainase ramah lingkungan yang dapat dipakai di Indonesia. Metode kolam resapan dilakukan dengan membuat kolam-kolam air, baik di perkotaan, permukiman, pertanian, atau perkebunan. Kolam resapan ini dibuat untuk menampung air hujan terlebih dahulu, diresapkan dan sisanya dapat dialirkan ke sungai secara perlahan-lahan. (Maryono, 2005)
Kolam resapan dapat dibuat dengan memanfaatkan daerah-daerah dengan topografi rendah, daerah-daerah bekas galian pasir atau galian material lainnya, atau secara ekstra dibuat dengan menggali suatu areal atau bagian tertentu.
Kolam resapan juga sangat menguntungkan jika dikaitkan dengan kebutuhan rekreasi masyarakat. Misalnya pada pembangunan real estate, pemerintah dapat mewajibkan pengelola real estate untuk membangun kolam konservasi air hujan di lokasi perumahan, sekaligus ditata sebagai areal rekreasi bagi masyarakat perumahan.
Kolam resapan memiliki fungsi dan cara perhitungan yang sama dengan sumur resapan. Oleh karena itu, persyaratan kolam resapan tidak jauh beda dengan sumur resapan. Perbedaannya hanya pada bentuk dimensinya saja. Untuk perhitungannya kolam konservasi dapat digunakan Metode Sunjoto (1988). Metode Sunjoto tersebut adalah metode yang sama dengan yang digunakan untuk menentukan sumur resapan.

$$H = \frac{Q}{FK}\left[1 - e^{-\frac{FKT}{\pi R^2}}\right] \quad \text{.....} \quad (1)$$

Faktor geometrik dan kehilangan air yang terinfiltrasi yang diambil untuk kolam resapan adalah saluran dengan dasar porous dengan kedua sisi tebing kedap air atau saluran dengan dua sisi linings.

$$q = 4\,KH_W\sqrt{2\lambda W_b} \quad \text{.....} \quad (2)$$

3. METODOLOGI

Metodologi yang dilaksanakan dalam analisis ini adalah studi literatur, pengumpulan data sekunder dan analisis. Dalam penelitian ini menggunakan metode deskriptif dan studi literatur, yaitu dengan cara mengumpulkan data-data yang diperlukan berkaitan dengan evaluasi perencanaan saluran drainase yang ada saat ini untuk menilai kecukupannya serta mempelajari literatur-literatur yang berkaitan dengan hal tersebut dengan menambahkan konsep ekodrainase dengan melakukan analisis terhadap data-data sekunder yang ada.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambaran Umum

Secara umum Kota Banjarmasin yang merupakan ibukota Provinsi Kalimantan Selatan terletak di daerah dataran rendah dan relatif datar yang sebagian besar terdiri dari rawa-rawa dengan ketinggian topografi rata-rata sekitar 0,16m di bawah permukaan air laut. Luas wilayah mencapai $\pm$ 98,46km^2 atau 0,22% dari luas wilayah provinsi Kalimantan Selatan, terdiri dari 5 kecamatan dengan jumlah total kelurahan sebanyak 50 kelurahan.

Kota Banjarmasin dekat muara Sungai Barito dan dibelah dua oleh Sungai Martapura, sehingga seolah-olah Kota Banjarmasin menjadi 2 bagian. Kemiringan tanah rata-rata 0,13% dan susunan geologi terutama di bagian bawahnya didominir oleh lempung dengan sisipan pasir halus dan endapan alluvium yang terdiri dari lempung hitam keabuan dan lunak. Kondisi tanah sebagian berawa tergenang air, di samping pengaruh musim hujan dan musim kemarau, sehingga iklimnya bersifat tropis. Suhu udara rata-rata antara 25°C sampai 38°C.

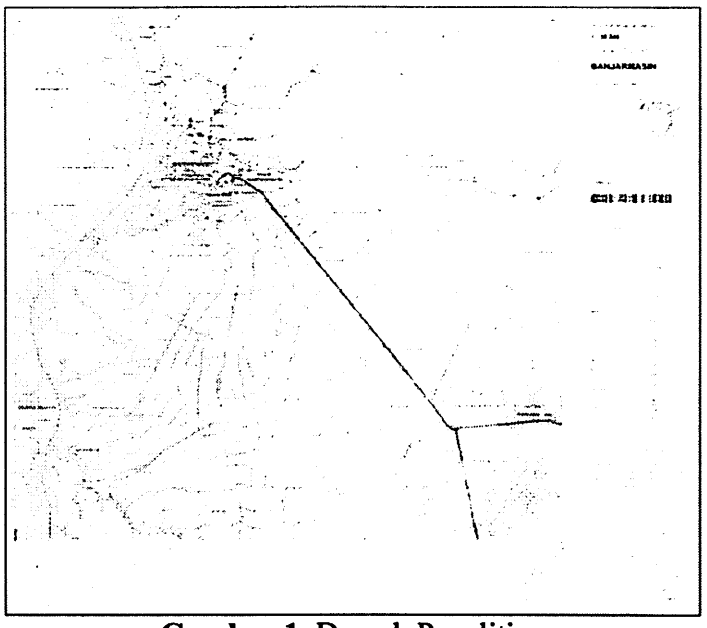
Aksesibilitas kota saat ini sudah semakin baik dengan adanya lintas atau Jalan Trans Kalimantan, sehingga daya hubung masyarakat antar kota juga semakin tinggi. Hal tersebut selain berdampak pada mobilitas penduduk yang produktif juga berdampak pada pola migrasi penduduk dari wilayah lain yang masuk ke Banjarmasin semakin besar.

Gambaran umum kependudukan di kota Banjarmasin pada tahun 2010 adalah sebesar 625.481 jiwa dengan kepadatan rata-rata sebesar 6.353 jiwa/km^2. Berdasarkan aspek sosial, dengan meningkatnya jumlah penduduk tersebut maka sarana dan prasarana serta lapangan pekerjaan yang tersedia di Kota Banjarmasin perlu dikaji secara serius. Juga kawasan pemukiman, baik daratan maupun tepi sungai, pendidikan, layanan kesehatan, air bersih, daerah kumuh dan dampak lingkungan.

Kawasan Jalan Pramuka merupakan wilayah yang berada di Kecamatan Banjarmasin Timur dengan ketinggian topografi rata-rata 0,16m di bawah permukaan air laut. Kemiringan tanah rata-rata 0,13% dan sebagian besar kondisi daerah di sekitarnya berupa rawa.

Berdasarkan Peta Rupa Bumi dengan skala 1: 50000 dan pengumpulan data primer melalui survei langsung ke lokasi penelitian, maka tataguna lahan di Jalan Pramuka dibagi menjadi 2 jenis lahan, yaitu pemukiman dengan luas 0,0451025ha atau 87,2% dan lahan yang tidak produktif sebesar 0, 0066325 ha atau 12,8%. Pada ruas jalan ini banyak dimanfaatkan untuk bangunan perkantoran dan ruang publik.

Sampai saat ini dibeberapa ruas Jalan Pramuka ada yang sudah dilengkapi dengan saluran drainase, tetapi dibeberapa titik masih belum terpasang saluran drainase, hal ini mengakibatkan permasalahan terhadap sistem drainase yang ada.



Gambar 1. Daerah Penelitian

Analisa Hidrologi

Dalam analisa hidrologi ini akan dibahas tentang analisis hujan dan intensitas hujan rencana. Adapun data curah hujan harian maksimum yang diperoleh dari stasiun hujan yang berlokasi di Stasiun Sungai Tabuk sejak Tahun 1993 sampai dengan Tahun 2011 berkisar 47,8 – 165,0mm, dan Stasiun Banjarbaru berkisar 66,3 – 159,5mm.
Berdasarkan perhitungan parameter statistik, maka distribusi yang cocok adalah Distribusi Log Pearson III. Dengan kala ulang yang dipergunakan adalah Kala Ulang 5 tahun mengingat perkembangan yang pesat dari ruas jalan tersebut sebagai jalan akses menuju dan keluar dari terminal induk Provinsi Kalimantan Selatan. Hujan rancangan untuk kala ulang 5 tahun sebesar 112,75mm.

Waktu Konsentrasi

Dalam menentukan waktu konsentrasi (tc) menggunakan rumus yang dikembangkan oleh *Kirpich* (Suripin, 2003). Dalam perhitungannya dilakukan per bagian luas wilayah salurannya, dengan kemiringan (S) rata-ratanya yaitu 0,02%. Penentuan waktu konsentrasi dilakukan pada ruas kanan dan kiri Jalan Pramuka ke arah selatan. Untuk perhitungan seluruh bagian luas wilayah salurannya sebelah kanan waktu konsentrasi berkisar 0,1 – 1,47 jam, sedangkan untuk waktu konsetrasi pada ruas kiri berkisar 0,10 – 0,93 jam.

Intensitas Hujan Rencana

Dalam penentuan intensitas hujan rencana sebagai debit masukan pada sumur resapan dan saluran drainase digunakan data curah hujan jam-jaman. Dengan menganggap hujan terdistribusi seragam dalam durasi tertentu intensitas hujan rencana ditentukan sebagai intensitas hujan dengan periode ulang 5 tahun, maka besarnya intensitas hujan rencana dengan rumus *Mononobe* adalah sebesar 39,09mm/jam pada durasi hujan 1 jam.

Koefisien Pengaliran

Kondisi permukaan tanah dan penggunaan lahan di kawasan Jalan Pramuka adalah jalan beton dan aspal (C = 0,8), bahu jalan terdiri dari tanah berbutir kasar (C = 0,2), daerah

pemukiman, rumah tunggal (C = 0,4) dan rumah multiunit, tergabung (C = 0,6) serta daerah tegal/taman/tanah lapang (C = 0,2). Sehingga diperoleh koefisin pengaliran untuk ruas jalan tersebut adalah 0,4.

Perbandingan Dimensi Saluran Drainase

Tujuan dilakukannya perbandingan dimensi saluran ini yaitu untuk mengetahui perbedaan dimensi saluran yang sudah ada (lama) dengan dimensi saluran yang dianalisis atau direncanakan. Dan untuk mengetahui apakah diperlukan tambahan kolam resapan sebagai penanggulangan limpasan air hujan yang berlebihan dari atap bangunan kantor/tempat usaha yang berada di wilayah tersebut. Kolam resapan yang akan dibuat, akan menggunakan 20% dari lahan perkantoran yang ada disekitar Jalan Pramuka.

Tabel 1. Perbandingan Dimensi Saluran Drainase Pada Saluran Kanan

Kode saluran	Saluran Perencanaan PU		Saluran Eksisting		Saluran Direncanakan		Keterangan
	B+2mh	H	B+2mh	H	B+2mh	H	
S.Ka 1	1	1,1	1,04	0,93	1,27	1,12	Tidak Memenuhi
S.Ka 2	1	1,1	1,04	0,93	1,30	1,13	Tidak Memenuhi
S.Ka 3	1	1,1	1,04	0,93	1,48	1,25	Tidak Memenuhi
S.Ka 4	1	1,1	1,04	0,93	1,64	1,35	Tidak Memenuhi
S.Ka 5	1	1,1	1,04	0,93	1,65	1,36	Tidak Memenuhi
S.Ka 6	1	1,1	1,04	0,93	2,29	1,75	Tidak Memenuhi
S.Ka 7	1	1,1	1,04	0,93	1,91	1,52	Tidak Memenuhi
S.Ka 8	1	1,1	1,04	0,93	2,26	1,73	Tidak Memenuhi
S.Ka 9	1	1,1	1,04	0,93	1,87	1,49	Tidak Memenuhi
S.Ka 10	1	1,1	1,04	0,93	2,07	1,61	Tidak Memenuhi
S.Ka 11	1	1,1	1,04	0,93	1,76	1,43	Tidak Memenuhi
S.Ka 12	1	1,1	1,04	0,93	1,91	1,52	Tidak Memenuhi
S.Ka 13	1	1,1	1,04	0,93	2,12	1,65	Tidak Memenuhi
S.Ka 14	1	1,1	1,04	0,93	1,95	1,54	Tidak Memenuhi
S.Ka 15	1	1,1	1,04	0,93	2,33	1,77	Tidak Memenuhi
S.Ka 16	1	1,1	1,04	0,93	1,52	1,27	Tidak Memenuhi
S.Ka 17	1	1,1	1,04	0,93	1,58	1,31	Tidak Memenuhi
S.Ka 18	1	1,1	1,04	0,93	1,85	1,48	Tidak Memenuhi

Sumber: Zarnuji (2011)

Dari Tabel 1. dapat dilihat perbandingan antar dimensi saluran yaitu saluran pada tahap Perencanaan PU, saluran yang telah ada di lokasi, dan saluran yang dianalisis atau direncanakan. Dengan tabel perbandingan tersebut dapat ditentukan bahwa pada seluruh bagian saluran drainase ruas kanan sudah tidak memenuhi, karena pada perhitungan dimensi saluran yang direncanakan kembali lebih besar daripada saluran Perencanaan PU dan eksistingnya yang berada di daerah Jalan Pramuka. Sehingga pada daerah sekitar Jalan Pramuka harus ditambah kolam resapan untuk menampung limpasan air hujan yang berlebihan.

Tabel 2. Perbandingan Dimensi Saluran Drainase Pada Saluran Kiri

Kode saluran	Saluran Perencanaan PU		Saluran Eksisting		Saluran Direncanakan		Keterangan
	B	H	B	H	B	H	
S.Ki 1	1,02	1	1,02	1	1,03	1,11	Tidak Memenuhi
S.Ki 2	1,02	1	1,02	1	1,56	1,53	Tidak Memenuhi
S.Ki 3	1,02	1	1,02	1	1,71	1,60	Tidak Memenuhi
S.Ki 4	1,02	1	1,02	1	1,70	1,60	Tidak Memenuhi
S.Ki 5	1,02	1	1,02	1	1,24	1,22	Tidak Memenuhi
S.Ki 6	1,02	1	1,02	1	0,89	1,05	Tidak Memenuhi
S.Ki 7	1,02	1	1,02	1	0,99	1,09	Tidak Memenuhi
S.Ki 8	1,02	1	1,02	1	1,08	1,14	Tidak Memenuhi
S.Ki 9	1,02	1	1,02	1	1,19	1,19	Tidak Memenuhi
S.Ki 10	1,02	1	1,02	1	1,06	1,13	Tidak Memenuhi
S.Ki 11	1,02	1	1,02	1	1,06	1,13	Tidak Memenuhi
S.Ki 12	1,02	1	1,02	1	1,12	1,16	Tidak Memenuhi
S.Ki 13	1,02	1	1,02	1	1,14	1,17	Tidak Memenuhi
S.Ki 14	1,02	1	1,02	1	1,34	1,42	Tidak Memenuhi
S.Ki 15	1,02	1	1,02	1	1,19	1,19	Tidak Memenuhi
S.Ki 16	1,02	1	1,02	1	1,26	1,23	Tidak Memenuhi
S.Ki 17	1,02	1	1,02	1	0,98	1,09	Tidak Memenuhi
S.Ki 18	1,02	1	1,02	1	1,33	1,26	Tidak Memenuhi
S.Ki 19	1,02	1	1,02	1	1,46	1,48	Tidak Memenuhi
S.Ki 20	1,02	1	1,02	1	2,07	2,04	Tidak Memenuhi

Sumber: Zarnuji (2011)

Dari Tabel 2 dapat dilihat perbandingan antar dimensi saluran yaitu saluran pada tahap Perencanaan PU, saluran yang telah ada di lokasi, dan saluran yang dianalisis atau direncanakan. Dengan tabel perbandingan tersebut dapat ditentukan bahwa pada seluruh bagian saluran drainase ruas kiri sudah tidak memenuhi, karena pada perhitungan dimensi saluran yang direncanakan kembali lebih besar daripada saluran Perencanaan PU dan eksistingnya yang berada di daerah Jalan Pramuka. Sehingga pada daerah sekitar Jalan Pramuka harus ditambah kolam resapan untuk menampung limpasan air hujan yang berlebihan.

Kolam Resapan

Kolam resapan digunakan untuk mengurangi limpasan air hujan yang berlebihan pada drainase jalan. Karena pada hasil analisis penampang drainase yang ada sudah tidak mampu menampung limpasan hujan yang berasal dari daerah pemukiman sekitar dan badan jalan. Oleh karena itu, agar pada sekitar Jalan Pramuka tidak terjadi genangan atau banjir dari limpasan yang berlebihan air hujan yang terjadi di daerah Jalan Pramuka, maka pembuatan kolam resapan bisa jadi solusi. Selain itu, kolam resapan adalah salah satu cara mengatasi banjir dengan mengedepankan peningkatan simpanan air tanah.

Pada penerapan kolam resapan ini, diterapakan pada kantor-kantor pemerintahan yang ada di pinggir Jalan Pramuka yang akan diperhitungkan. Pada luasan daerah kantor

tersebut dipilih halaman depan sebagai letak dari kolam resapan yang akan dibuat. Kantor-kantor yang akan diberi kolam resapan ada 2 bagian yaitu bagian ruas kanan dan kiri menuju terminal. Kantor yang berada di ruas kanan adalah Dinas Pemuda Olahraga Kebudayaan dan Pariwisata. Kantor yang ada di ruas kiri adalah Kementerian Komunikasi dan Informatika Ditjen Sumber Daya dan Perangkat Pos dan Informatika Loka Monitor Spektrum Frekuensi Radio Banjarmasin.

Dinas Pemuda Olahraga Kebudayaan Dan Pariwisata

Kantor ini memiliki halaman depan yang agak luas oleh karena itu disini dibuat 2 kolam resapan. Pembuatan kolam resapan tersebut dibangun di pojok kanan dan kiri halaman depan kantor, karena gedung kantor berada di tengah.

Luas tanah kantor	= 45,55 x 55,65m = 2535 m^2
Luas halaman depan	= 415m^2 ; C = 0,1
Luas total atap gedung	= 1204m^2 ; C = 0,95
Dimensi kolam resapan	= 2 x 2m
Diagonal	= $(2^2 \times 2^2)^{0,5}$ = 2,83m
Jari-jari (R)	= $D/2$ = 1,41m
Panjang lintasan terjauh	= $(45,55^2 \times 55,65^2)^{0,5}$ = 71,92m
Tc, ambil V	= 1 m/det ; Tc = 71,92det
Hujan (R) PUH 5 tahun	= 112,75mm
Maka, intensitas (I) hujan	= 530,91mm/jam
$Q_{max\ atap}$	= 0,17m^3/det
Faktor geometrik (F)	= 11,67m
Permeabilitas tanah (K)	= $1,94 \times 10^{-09}$m/det
Maka, kedalaman (H)	$= \frac{Q}{FK}\left[1 - e^{-\frac{FKT}{\pi R^2}}\right]$
	$= \frac{0,17}{11,67.1,94E-09}\left[1 - exp^{-\frac{11,67.1,94E-09.71,92}{\pi . 2,12^{\wedge}2}}\right]$
	= 1,93 = 2m

Jadi, kolam resapan yang diperlukan untuk kantor tersebut berdimensi 2 x 2 meter dengan kedalaman 2 meter.

Ditjen Sumber Daya dan Perangkat Pos dan Informatika Loka Monitor Spektrum Frekuensi Radio

Kantor ini memiliki halaman depan yang tidak begitu luas oleh karena itu disini hanya dibuat 1 kolam resapan. Kolam dibuat di bagian kanan halaman depan kantor.

Luas tanah kantor	= 18,22 x 55,54m = 1012m^2
Luas halaman depan	= 130,83m^2 ; C = 0,1
Luas total atap gedung	= 881,17m^2 ; C = 0,95
Dimensi kolam resapan	= 2 x 2m
Diagonal	= $(2^2 \times 2^2)^{0,5}$ = 2,83m
Jari-jari (R)	= $D/2$ = 1,41m
Panjang lintasan terjauh	= $(18,22^2 \times 55,54^2)^{0,5}$ = 58,45m
Tc, ambil V	= 1 m/det ; Tc = 58,45det
Hujan (R) PUH 5 tahun	= 112,75mm
Maka, intensitas (I) hujan	= 609,59mm/jam
$Q_{max\ atap}$	= 0,14m^3/det
Faktor geometrik (F)	= 7,78m

Permeabilitas tanah (K) $= 1{,}94\text{x}10^{-09}$m/det

Maka, kedalaman (H) $= \frac{Q}{FK}\left[1 - e^{-\frac{FKT}{\pi R^2}}\right]$

$= \frac{0{,}14}{7{,}78.\ 1{,}94E-09}\left[1 - exp^{-\frac{7{,}78.\ 1{,}94E-09.\ 58{,}45}{\pi.\ 1{,}41^2}}\right]$

$= 1{,}32 = 1{,}5$m

Jadi, kolam resapan yang diperlukan untuk kantor tersebut berdimensi 2 x 2 meter dengan kedalaman 1,5 meter.

Air terinfiltrasi

Jumlah air terinfiltrasi kedalam tanah untuk 2 kolam resapan pada Kantor Dinas Pemuda Olahraga Kebudayaan dan Pariwisata di ruas kanan sebesar $6{,}208\text{x}10^{-8}$ m^3/dt/m sedangkan pada ruas kiri yaitu pada Kantor Ditjen Sumber Daya dan Perangkat Pos dan Informatika Loka Monitor Spektrum Frekuensi Radio sebesar $2{,}328\text{x}10^{-8}m^3$/dt/m.

5. KESIMPULAN

Kesimpulan

Genangan yang terjadi di kawasan Jalan Pramuka pada umumnya diakibatkan oleh tidak berfungsinya secara optimal saluran drainase jalan sehingga menyebabkan limpasan air hujan yang jatuh ke badan jalan, bahu jalan, maupun di daerah pemukiman masyarakat yang berada di sekitar kawasan jalan tidak dapat dibuang secara maksimal. Karena hal itu pula yang mengakibatkan terjadinya kerusakan struktur jalan di beberapa lokasi sehingga semakin memperparah kondisi genangan air yang terjadi, seperti jalan yang berlubang dan kondisi bahu jalan yang tergenang. Apalagi saluran pada jalan pramuka sudah tidak memenuhi syarat karena ada kesalahan pada proses pembuatan drainasenya sehingga membuat permukaan bahu jalan menjadi lebih tinggi daripada badan jalan.

Untuk memperbaiki kondisi tersebut maka direncanakan dimensi saluran drainase dengan hasil perhitungan sebagai berikut : (a) pada saluran kanan (S.Ka) dimensi berbentuk trapezium, dengan debit rancangan berkisar dari 2,63 sampai 13,23 m^3/det, dan luas penampang saluran berkisar dari 0,53 sampai 1,70 m^2 dan (b) pada saluran kiri (S.Ki) dimensi berbentuk segiempat, dengan debit rancangan berkisar dari 1,71 sampai 16,34 m^3/det, dan luas penampang saluran berkisar dari 0,37 sampai 1,35 m^2.

Pada Jalan Pramuka direncanakan akan diterapkan konsep drainase ramah lingkungan yang akan menggunakan kolam resapan (a) 2 kolam resapan yang dirancang pada ruas kanan ditempatkan pada halaman depan Kantor Dinas Pemuda Olahraga Kebudayaan Dan Pariwisata dengan luas tanah keseluruhan sebesar 2535 m^2, luas atap bangunan sebesar 1204 m^2, dan luas halaman depan sebesar 415 m^2. Direncanakan kolam resapan berbentuk segiempat dengan dimensi 2 x 2 meter, dengan nilai koefisien permeabilitas tanah (K) pada kawasan Jalan Pramuka sebesar $1{,}94\text{x}10^{-09}$ m/det, maka didapatkan kedalaman (H) kolam sebesar 2,0 meter, dengan air terinfiltrasi sebesar $6{,}208\text{x}10^{-8}$ m^3/dt/m, sedangkan (b) pada ruas kiri Jalan Pramuka, direncanakan Kolam resapan pada halaman depan Kantor Ditjen Sumber Daya dan Perangkat Pos dan Informatika Loka Monitor Spektrum Frekuensi Radio dengan luas tanah keseluruhan sebesar 1012 m^2, luas atap bangunan sebesar 881,17 m^2, dan luas halaman depan sebesar 130,83 m^2. Direncanakan kolam resapan berbentuk segiempat dengan dimensi 2 x 2 meter, dengan nilai koefisien permeabilitas tanah (K) pada kawasan Jalan Pramuka sebesar $1{,}94\text{x}10^{-09}$

m/det, maka didapatkan kedalaman (*H*) kolam sebesar 1,5 meter dengan air terinfiltrasi sebesar $2{,}328 \times 10^{-8} m^3/dt/m$.

Saran-saran

Saran-saran yang bisa diambil dari perencanaan sistem drainase pada Jalan Pramuka adalah (a) agar tidak terjadi lagi genangan air hujan yang dapat menghambat lancarnya lalu lintas dan merusak struktur Jalan Pramuka, maka perlu dibuat saluran yang baik dan benar sesuai perhitungan pembebanan hujan di kawasan tersebut, (b) memperbaiki ketinggian permukaan bahu jalan yang diakibatkan kesalahan pemasangan/pembuatan drainase agar nantinya pengaliran air pada jalan atau bahu jalan yang jatuh ke saluran drainase tidak terhambat dan berfungsi secara optimal, (c) sangat diperlukan kepedulian masyarakat dan pemerintah akan lingkungan sekitar dengan memperhatikan kebersihan khususnya di sekitar kawasan yang tergenang air, (d) untuk pelaksana pembuatan drainase agar menggunakan konsep drainase ramah lingkungan (ekodrainase) yang tidak hanya mengalirkan air secara cepat namun memperhatikan kecukupan/kestabilan air tanah sehingga pada musim kemarau tidak terjadi kekeringan yang parah karena simpanan air tanah yang sedikit serta (e) setelah dibangun saluran drainase diharapkan agar selalu dilakukan pembersihan dan perawatan secara rutin agar lingkungan sekitar terbebas dari genangan akibat tidak berfungsinya saluran drainase.

DAFTAR PUSTAKA

1. _____(1994) *Tata Cara Perencanaan Drainase Permukaan Jalan.* Standar Nasional Indonesia 03-3424-1994. Dewan Standarisasi Nasional.
2. _____ (2003) *Panduan dan Petunjuk Praktis Pengelolaan Drainase Perkotaan.* Departemen Pemukiman dan Prasarana. Wilayah Yayasan. Jakarta.
3. _____ (2007) *Penyusunan Rencana Induk Sistem Drainase Kota Banjarmasin.* Pemerintah Kota Banjarmasin Badan Perencanaan Pembangunan. Banjarmasin.
4. _____ (2007) *Perencanaan Pembangunan/Rehabilitasi Saluran Drainase/Gorong-gorong (Jalan Pramuka).* CV. Adihanman Tata Rancang. Banjarmasin.
5. _____ (2011) *Materi Bidang Drainase.* Direktorat Pengembangan Penyehatan Lingkungan Pemukiman Kementrian Pekerjaan Umum. Jakarta.
6. Darmanto (1997) *Sistem Drainase Perkotaan.* Kursus Singkat Drainase dan Sanitasi Kota. Fakultas Gadjah Mada.
7. Kusnaedi (1996) *Sumur Resapan Untuk Pemukiman Perkotaan dan Pedesaan.* Swadaya. Jakarta.
8. Kusumosanyoto, Sunjoto (2009) *Pembangunan Sumberdaya Air dalam Dimensi Hamemayu Hayuning Bawono.* Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
9. Maryono, Agus (2005) *Menangani Banjir, Kekeringan dan Lingkungan.* Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
10. Mays, L.W. (1996) *Water Resources Handbook.* McGraw- Hill.
11. Novitasari (2010) *Rekayasa Hidrologi I.* Universitas Lambung Mangkurat Press. Banjarmasin.

12. Pacey, A (1988) *Sanitation in Developing Countries*. John Wilew&Sons.
13. Suripin (2003) *Sistem Drainase Perkotaan Yang Berkelanjutan*. Andi Offset. Yogyakarta.
14. Triatmodjo, Bambang (2009) *Hidrologi Terapan*. Yogyakarta: Beta offset.
15. Zarnuji, Habib (2011) *Perencanaan Sistem Saluran Drainase Konvensional dibantu Konsep Ekodrainase*. Universitas Lambung Mangkurat. Banjarmasin.

NUMERICAL STUDY ON LOW REYNOLDS NUMBER DYNAMIC STALL OF THE FLOW OVER WIND TURBINE AIRFOIL

Galih S.T.A. Bangga

Department of mechanical engineering, Field of study energy conversion, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Surabaya, Indonesia, Email : probability.schrodinger@gmail.com

ABSTRACK

In the analysis of the wind turbine structures, the necessity and importance of including forces acting on the blade airfoil became increasingly important. It could produce large deflection on the airfoil structures itself. Moreover, the contribution of instationary effects due to aeroelasticity of the blade would dramatically changed the flow pattern and producing hysteresis curve of the lift coefficient. Therefore, the analysis of the non-stationary effect of the local two-dimensional flow, the so-called dynamic stall need to be done. This paper presents a 2D computational investigation of dynamic stall events on low Reynolds number which is related to the viscous flow domination on the near hub region. Flow over an oscillating airfoil is simulated using two turbulence model, namely *standard k-ε* and *standard k-ω* to emphasize the use of free stream capability domination compared to the near wall capability domination and the results obtained are validated against the corresponding published experimental data. It is demonstrated that the *standard k-ε* performs better than *standard k-ω* to predict value of lift coefficient on the low angle of attack but could not predict the shape of lift compared to experimental data as predicted by *standard k-ω* model.

Keywords: *Wind turbine structures, Dynamic stall, CFD, External flows*

1. INTRODUCTION

- The necessity and importance to include instationary effects on the two-dimensional flows operating at high angle of incidence the so called dynamic stall become increasingly important recently [1]. Wind turbines blade section experienced highly dependent variation in time, resulted from control input angles, blade flapping, structural responses and wake flow. In addition, blade section periodically experienced velocity and angle of attack variation. Therefore, unsteady aerodynamics behaviour on the blade section should be well understood to enable accurate prediction for the aerodynamic loading and its aeroelastic responses on the rotor system [2]. The term dynamic stall usually refers to an unsteady flow characterized by the formation, convection and shedding of a vortex on the suction side of an airfoil [3]. The event of the dynamic stall on the aerodynamic bodies involve complex separated flow and even in the transition zone. The occurrence of dynamic stall is caused by the high aeroelasticity on the airfoil at high angle of attack. Unlike the static stall, the stall on the dynamic conditions can be delayed on airfoil with angle of attack increases rapidly and even beyond the critical static stall angle of attack significantly. However, when dynamic stall occurs, the aerodynamic loads generally larger than the static stall and lead to increased stress acting on the airfoil significantly and potentially harmful the airfoil structure itself [4]. Dynamic stall events initiated by the leading edge separation, formation of leading edge vortex and followed by its development and moves downstream along the airfoil surface. Vortex reaches the trailing edge and separated from airfoil body followed by a trailing edge vortex formation and indicate the onset of

stall. The detachment of the trailing edge vortex occurs as the increase in angle of attack followed by a leading edge vortex breakdown. These events resulted in a drastic decrease in lift coefficient and the flow reattachment will occur at fairly low angle of attack again. Figure 1 explains the differences between lift coefficient produced on static and dynamic condition [5]. It could be inferred from the figure that lift coefficient on dynamic condition has different value depend on their phase, whether it is upstroke or downstroke. Figure 2 shows the event of stall at the dynamic conditions by CFD calculation on the NACA 0015 [6]. Fig. 2(a) illustrates the onset of leading edge separation with the entire boundary layer starting to detach. Fig. 2(b) shows the build-up of the leading edge vortex, which in Fig. 2(c) detaches and moves downstream, while a trailing edge vortex starts building up. Finally, Fig. 2(d) shows the detachment of the trailing edge vortex and breakdown of the leading edge travelling vortex.

- Since the first analysis on aircraft aeroelasticity, unsteady aerodynamic airfoil studied experimentally and theoretically. Dynamic stall, until the 1950's only studied experimentally, in the late 1970's a new mathematical model of dynamic stall was introduced by Friedmann and since then the modeling of dynamic stall developed [7]. Mathematical modelling of dynamic stall lot to do ranging from simple to complex, including the ONERA [7], Boeing [8], Johnson [9], Øye [10], Risø [7] and also Leishman-Beddoes model [11, 12]. Meyer, et al. [13] modeled the dynamic stall based on the DLR models by utilizing the state-space representation. This involves modelling of the instationary effects using solution of Theodorsen equation in the time domain called Wagner function and Küssner function. These two functions describe the dynamic stall hysteresis curve in the linear zone. Based on the verification, this modified numerical ODE method produces dynamic stall plot corresponding to the occurring physical phenomena. However, the mathematical formulation of the model is difficult to trace DLR physically because of the mathematical formalism that is used not accompanied by a translation of the differential analysis. Dynamic stall on wind turbine models are developed by Larsen, et al. [14] with a backbone models based on the static lift curve. Modelling of the static lift is described by two parameters, at fully attached flow and lift depending on the degree of attachment. This mathematical modelling used the data obtained from the inviscid static stall lift and is corrected using a viscous separation factor on a flat plate approach based on Kirchhoff's potential flow theory. Based on data obtained static stall, the effects of instationary dynamic stall will be involved by using the solution of convolution integral on the impulse response function.
- Recently, Bangga and Sasongko on reference [15] conducting numerical simulation using two-equations URANS turbulence model to predict physical phenomenon of dynamic stall. Turbulence model that has been used is standard k-ω and SST k-ω and revealed that the use of SST k-ω turbulence model could give better prediction on the dynamic stall onset. However, there are still few studies on the dynamic stall at low Reynolds number (around 10^5) [16]. Wang et. al. [16] predict dynamic stall phenomenon using standard k-ω and SST k-ω turbulence model on the low Reynolds number flow. This numerical experiment also shows the superiority of SST k-ω turbulence model to predict dynamic stall phenomenon. Even though there are so many study of the forces acting on airfoil, dynamic stall study by numerical experiment is rarely conducted using k-ε based at low Reynolds number. Therefore, the objective of this paper is to assess the ability of standard k-ε and standard k-ω turbulence model to predict dynamic stall at low Reynolds number which is found on

wind turbines and make a contribution towards a better understanding on the flow physics in order to assist in the design optimizations of wind turbines.

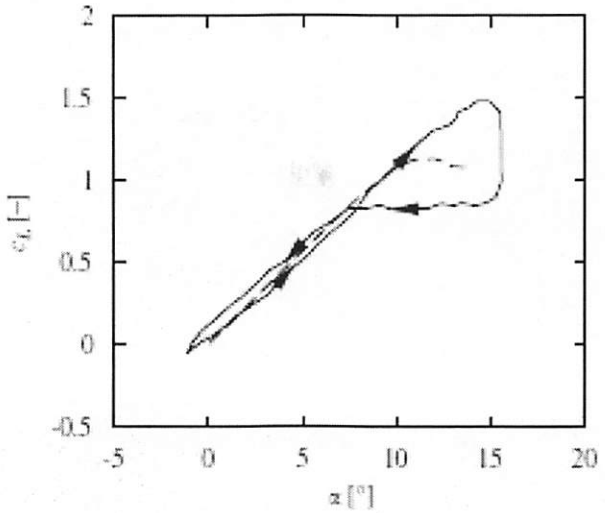


Figure 1. Lift coefficient under static and dynamic stall situations:
– –, static lift; —, dynamic lift [5]

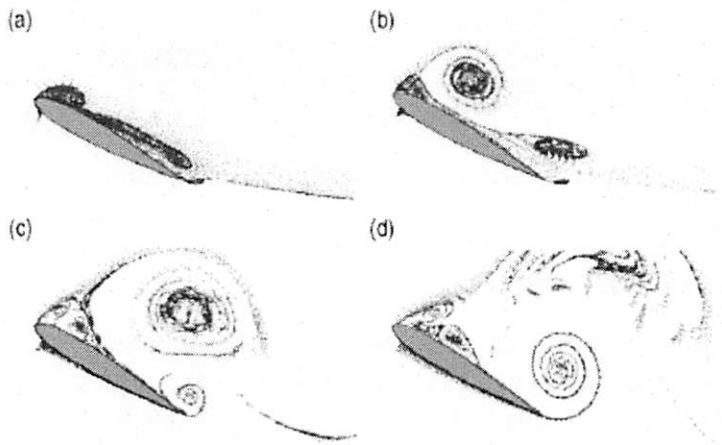


Figure 2. Flow visualisation of a CFD calculation performed on a NACA-0015 wing section during dynamic stall conditions. (a) Leading edge separation starts. (b) Vortex build-up at the leading edge. (c) Detachment of leading edge vortex and build-up of trailing edge vortex. (d) Detachment of trailing edge vortex and breakdown of leading edge vortex [6].

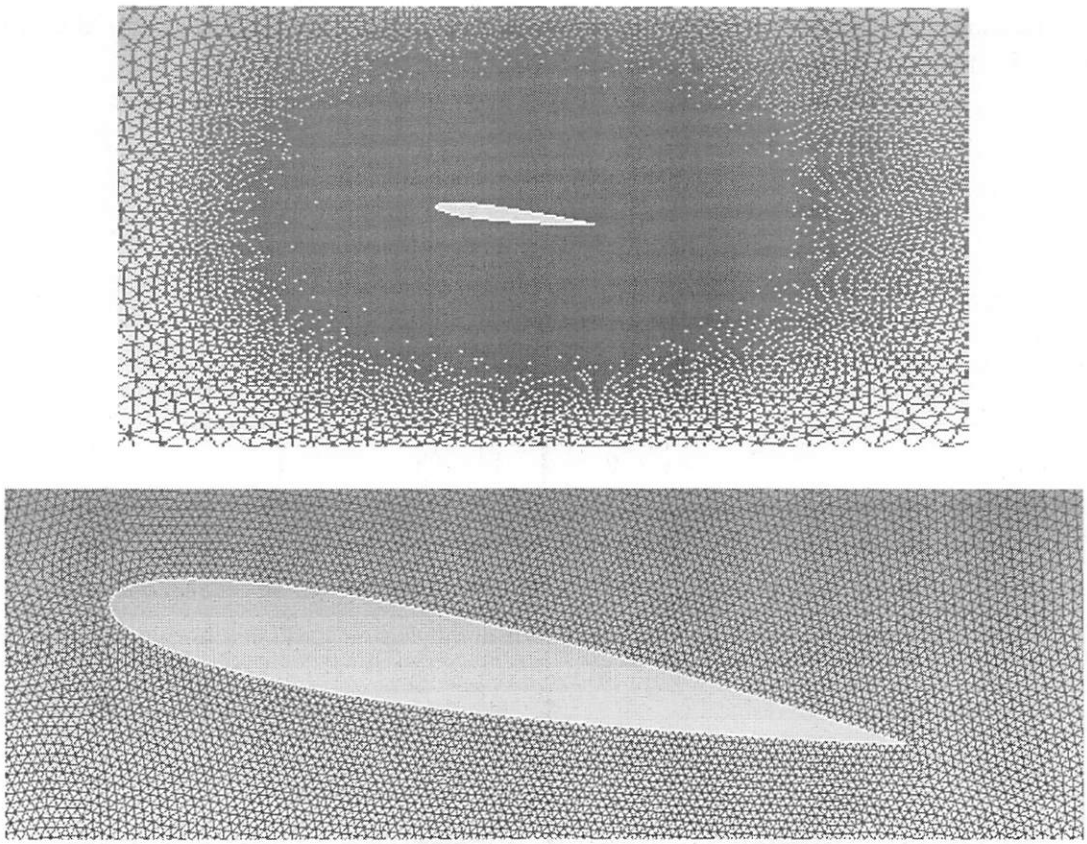


Figure 3. Triangular meshing in calculation.

2. NUMERICAL METHOD

- Although the dynamic stall flow studied here is inherently a 3D phenomenon, measurements have been taken to ensure a 2D flow in the mid-span plane, where the experimental data were obtained, in the case investigated. Thus, in the present simulations, 2D geometrical configurations are employed to model the experimental investigations and a 2D incompressible unsteady CFD solver, based on the finite volume method in the commercial software package Fluent, is employed to solve the full URANS governing equations. Due to the incompressibility of the flow studied, the pressure-based solver, which employs an algorithm which belongs to the so-called "projection method" and is traditionally implemented to solve low-speed incompressible flows, is chosen [16]. All the governing equations for the solution variables, which are decoupled from each other, are solved sequentially and the SIMPLE algorithm is applied as the pressure-velocity coupling algorithm. With respect to the discretization of the convection terms in the transport equations for the velocity and the turbulence quantities, first-order upwind schemes are utilised [16]. In order to simulate the sinusoidal pitching motion of the blade, the dynamic-mesh technique is employed. As seen on the figure 3, the unstructured triangular mesh [15] domain is used. Corresponding to the pitching motion of the blade in reality, the blade geometry pitches like a rigid body with the sinusoidal mode, $\alpha = \alpha_0 + \alpha_1 \cos \omega t$, as the blade with $\alpha_0 = 10°$, $\alpha_1 = 15°$, and $\hat{\omega} = 0.1$, whilst the fixed mesh zone is kept stationary and being remeshed using remeshing method. Spring based smoothing is used in the

dynamic mesh scheme, zero damping coefficient is used in this analysis and indicates the damping value on the airfoil surface is zero [17]. The grid for airfoil has 204 nodes on the suction side and pressure side. The height of the first row of cells is set at a distance to the wall of 10^4c and this corresponds to y+ < 1 to predict the phenomenon of laminar sub-layer accurately [16, 17]. The total number of meshes is of the order of 10^5. Simulation was performed in an open test region, the computational domain consists of two boundaries which are 3c away from the blade, respectively. The two boundaries have been placed sufficiently far away to eliminate their effect on the flow near the blade. The inlet and outlet boundaries are placed respectively 3c upstream and 18c downstream of the blade, making the uniform free-stream velocity boundary condition at the inlet accurate enough and allowing a full development of the wake [16].

3. RESULTS AND DISCUSSION

- Numerical simulation of a two-dimensional dynamic stall has been done using two turbulence model, namely standard k-ε and standard k-ω on the NACA 0012 airfoil. Experimental works by Lee and Gerontakos [18] is used to validate numerical works in this paper. In order to show that the results of numerical computation does not depend on the number of grid, analysis of grid independency are performed. Four different meshing with the number of grid increase from mesh A to mesh D are assessed. This analysis are performed using standard k-ε turbulence model and resulted the dynamic lift coefficient as seen on figure 4. It could be inferred from this results that by increase the number of grid from mesh C to mesh D, the and pattern of lift coefficient did not significantly changed. Therefore, in this present simulation, mesh C is used to get an accurate results with good efficiency in computational time.

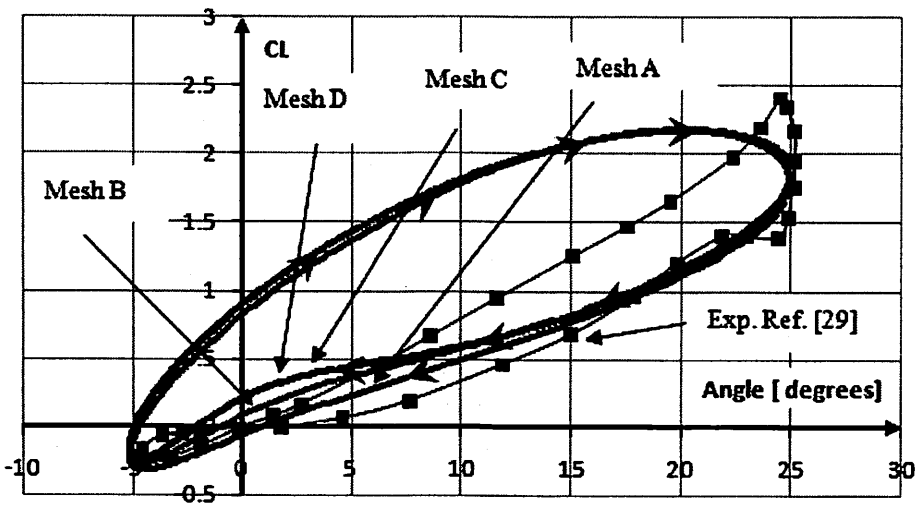


Figure 4. Lift coefficient of each mesh: mesh A (14.266 faces), mesh B (32.046 faces), mesh C (93.594 faces), and mesh D (104.065 faces).

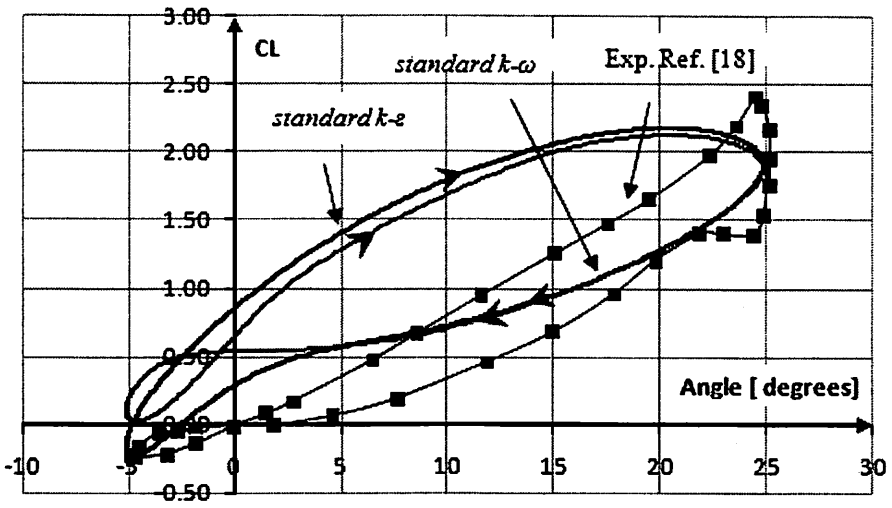


Figure 5. Dynamic lift coefficient between CFD and experimental work.

- Figure 5 shows the results of present simulation using two different turbulence model and validated by experimental work from reference [18]. It could be seen that both of turbulence model give an overprediction value of the lift coefficient compared to experimental data. On the downstroke and upstroke phase, both turbulence model could not predict the value of lift coefficient accurately. This is may be caused by the free-stream turbulence of both model are too high so that the separated flow over the suction side of airfoil could not be accurately predicted in this simulation [19]. It also could be seen that standard k-ω turbulence model give a slightly better performance in dynamic stall prediction. This is noted by the value of overprediction in upstroke phase using this model are relatively smaller than standard k-ε. This model also could predict the change of lift coefficient pattern on low angle of attack that could not be predicted using standard k-ε model even though the value of lift coefficient at lowest angle of attack could be better predicted using standard k-ε model. However, all of turbulence model failed to predict the value of lift coefficient at high angle of attack, this due to the separated flow at high angle of attack are more complex than attached flow on lower angle of attack related to 3D effects domination [15].
- The changed in lift coefficient pattern in dynamic stall condition is highly influenced by the value of reduced frequency that is used. This would producing a different phase in the formation, convection, and shedding of leading and trailing edge vortex on the suction side of airfoil. As presented in reference [5], Bangga and Sasongko give some analysis of the dynamic stall phenomenon over airfoil at reduce frequency 0.062. Resulted in shedding of leading edge vortex is on the upstroke phase and this is different with this present simulation that produce the shedding of leading edge vortex on the downstroke phase. This vortex will influence the flow pattern over the airfoil and even in the near wake region, and the effects of this vortex that producing high velocity fluctuation will fade away as the distance increase downstream from trailing edge of the airfoil.

4. CONCLUSION

- Numerical simulation using two URANS model, namely standard k-ε and standard k-ω on the NACA 0012 airfoil have been performed. Both turbulence model give overprediction value compared to experimental data. Standard k-ω give a slightly better performance on this present simulation and could predict the change of lift coefficient pattern at low angle of attack even though the value of list coefficient at lowest angle of attack could be better predicted using standard k-ε model. Both turbulence model failed to predict lift coefficient at high angle of attack due to 3D effects domination.
-

REFERENCES

[1] Meyer, M. and Matthies, H.G., 2003, State-space representation of instationary two-dimentional airfoil aerodynamics. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics 92, 263-274.

[2] Johansen, J., 1999, Unsteady airfoil flows with application to aero elastic stability. Risø National Laboratory.

[3] Galvanetto, U., Piero, J., Chantharasenawong, C., 2008, An assessment of some effects of the nonsmoothness of leishman-beddoes dynamic stall model on the nonlinear dynamics of a typical aerofoil section. Journal of Fluid and Structures 24, 151-163.

[4] Witteveen, J.A.S., Sarkar, S., Bijl, H., 2007, Modeling physical uncertainties in dynamic stall induced fluid–structure interaction of turbine blades using arbitrary polynomial chaos. Computers and Structures 85, 866–878.

[5] Leishman, J.G., 2000. Principles of Helicopter Aerodynamics. Cambridge University Press, Cambridge.

[6] Hansen, M.H., Gaunaa, M., Madsen, H.A., 2004, A beddoes-leishman type dynamic stall model in state space and indical formulations. Risø National Laboratory Risø R-1354.

[7] Petot, D., 1989, Modélisation du décrochage dynamique. La Recherche Aérospatiale 5, 60-72.

[8] Gormont, R.E., 1973, A mathematical model of unsteady aerodynamics and radial flow for application to helicopter rotors. Technical Report TR 72-67, USAAV Labs.

[9] Johnson, W., 1970, The response and airloading of helicopter rotor blades due to dynamic stall. Massachusetts Institute of Technology ASRL TR 130-1.

[10] Øye, S., 1991, Dynamic stall simulated as time lag of separation. Technical Report, Department of Fluid Mechanics, Technical University of Denmark.

[11] Leishman, J.G., Beddoes, T.S., 1986a, A semi-empirical model for dynamic stall. Journal of the American Helicopter Society 34, 3–17.

[12] Leishman, J.G., Beddoes, T.S., 1986b, A generalised model for airfoil unsteady aerodynamic behaviour and dynamic stall using the indicial method. Proceedings of the 42nd Annual Forum of the American Helicopter Society.

[13] Meyer, M., Matthies, H.G., 2003, State-space representation of instationary two-dimentional airfoil aerodynamics. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics 92, 263-274.

[14] Larsen, J.W., Nielsen, S.R.K., Krenk, S., 2007, Dynamic stall model for wind turbine airfoil. Journal of Fluid and Structures 23, 959-982.
[15] Bangga, G.S.T.A. and Sasongko, H., 2012, Numerical Investigation of Dynamic Stall for non-stationary Two-Dimensional Blade Airfoils. Annual National Conference in Mechanical Engineering 11, Indonesia, 106-112.
[16] Wang, S., Ingham, D. B., Ma, L., Pourkashanian, M., Tao, Z., 2010, Numerical investigations on dynamic stall of low Reynolds number flow around oscillating airfoils. Computers & Fluids 39, 1529–1541.
[17] Ansys F. Fluent user's manual. Software release 13.
[18] Lee, T. and Gerontakos, P., 2004, Investigation of flow over an oscillating airfoil. J Fluid Mech 512, 313–41.
[19] Chitsomboon, T., Thamthae, C., 2011, Adjustment of SST k-ω turbulence model for an improved prediction of stalls on wind turbine blades, World Renewable Energy Congress, Sweden, 4114-4120.

STUDI OPTIMASI SISTEM OPERASI INTAKE BENDUNG GERAK BENTENG UNTUK MEMENUHI KEBUTUHAN DAERAH IRIGASI SADANG

Fathur Rahman Rustan[1], Nadjadji Anwar[2], Abdullah Hidayat[3]

[1]*Mahasiswa Program S2 Manajemen dan Rekayasa Sumber Air, Jurusan Teknik Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, Telp. +6285756665000, email: ath_ran@yahoo.com*
[2]*Dosen Jurusan Teknik Sipil FTSP, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Kampus ITS Sukolilo Surabaya, email: nadjadji@ce.its.ac.id*
[3]*Dosen Jurusan Teknik Sipil FTSP, ITS, Kampus ITS Sukolilo Surabaya, email: abdullah@ce.its.ac.id*

ABSTRAK

Bendung Benteng merupakan bendung gerak yang terletak di kelurahan Benteng, kecamatan Patampanua, kabupaten Pinrang. Bendung ini dimanfaatkan sebagai pengambilan utama bagi daerah irigasi Sadang yang memiliki areal potensial adalah 55.769 Ha. Secara umum luas areal fungsional yang diusahakan dari wilayah sistem irigasi Sadang adalah 47.474 Ha. Dalam rangka peningkatan efisiensi penggunaan air irigasi, perlu dilakukan kajian terhadap pembagian air dan penerapan pola tanam yang tepat yang bisa meningkatkan efisiensi air irigasi dengan melakukan analisis pola tanam dengan beberapa alternatif awal tanam sehingga dapat menghasilkan keseimbangan air yang maksimal dan efisien serta intensitas tanam yang meningkat dari kondisi eksisting. Oleh karena itu akan dikaji lebih dalam tentang model sistem operasi intake bendung gerak untuk memenuhi kebutuhan daerah irigasi Sadang.

Optimasi yang dilakukan menggunakan program linier dengan program bantu *Quantity Methods for Windows 3.* Fungsi batasan/kendala dalam permodelan ini adalah debit andalan, kebutuhan air irigasi dan luasan potensial daerah irigasi Sadang. Model optimasi yang disusun dengan memaksimumkan keuntungan produksi yang diperoleh.

Dari hasil optimasi dengan berbagai pola tanam dan awal tanam, dapat diketahui besarnya intensitas tanaman dan pendapatan yang paling maksimum berada pada awal tanam November I dengan pendapatan sebesar ***Rp. 1.131.897.000.000,-*** sedangkan pendapatan pada kondisi eksisting yaitu sebesar ***Rp. 681.088.116.600,-*** dengan intensitas tanaman meningkat dari 170,2% menjadi 300,0%. Hal ini membuktikan bahwa perubahan pola tanam dan awal tanam meningkatkan pendapatan produksi petani pada daerah irigasi Sadang. Berdasarkan analisis keseimbangan air dan pemberian air secara terus menerus masih menunjukkan terjadi defisit air 10 harian pada awal Musim Tanam I dan akhir musim Tanam III. Oleh sebab itu untuk periode tersebut, cara pemberian air sebaiknya tidak dilakukan secara terus menerus melainkan bergiliran.

Kata Kunci : *keseimbangan air, sistem operasi intake, linear programming.*

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Salah satu cara untuk meningkatkan hasil pertanian pada tiap satuan luasnya yaitu dengan menggunakan cara pemberian air irigasi yang baik, namun pemberian air saat ini sering terjadi tanpa adanya pengaturan yang baik sehingga terjadi pemberian air yang berlebih tanpa memperhatikan ketersediaan air itu sendiri. Bendung Benteng merupakan bendung gerak yang terletak di kabupaten Pinrang, Propinsi Sulawesi Selatan. Bendung ini dimanfaatkan sebagai pengambilan utama bagi daerah irigasi Sadang. Daerah Irigasi Sadang memiliki areal potensial adalah 55.769 Ha yang terletak pada 3 (tiga) wilayah kabupaten yaitu Kab. Pinrang, Kab. Sidenreng Rappang dan Kab. Wajo. Secara umum luas areal fungsional yang diusahakan dari wilayah sistem irigasi Sadang adalah 47.474 Ha. Bendung Benteng dilengkapi dengan 3 (tiga) buah saluran

induk masing-masing: saluran induk Sawitto, saluran induk Rappang, saluran induk Pekkabata. Pembagian air dan penerapan pola tanam saat ini tanpa memperhatikan ketersediaan air setiap tahunnya menyebabkan penggunaan air irigasi yang kurang efisien. Karena itu dalam rangka peningkatan efisiensi penggunaan air irigasi, perlu dilakukan kajian lebih lanjut terhadap pembagian air dan penerapan pola tanam yang tepat yang bisa meningkatkan efisiensi air irigasi dengan melakukan analisis pola tanam dengan beberapa alternatif sehingga dapat menghasilkan keseimbangan air (*water balance*) yang maksimal dan efisien air irigasi serta intensitas tanam (*cropping intensity*) yang meningkat dari kondisi eksisting.

1.2. Perumusan Masalah

Permasalahan yang terjadi dapat dirumuskan sebagai berikut :

1. Bagaimana kondisi ketersediaan dan kebutuhan air pada bendung gerak Benteng saat ini?
2. Bagaimana bentuk model keseimbangan air pada pengoperasian bendung gerak Benteng untuk memenuhi kebutuhan air di hilir bendung yang efisien?
3. Bagaimana pola pengoperasian hasil pemodelan keseimbangan air bila dibandingkan dengan kondisi yang sudah dilaksanakan?

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah :

1. Mengidentifikasi ketersediaan dan kebutuhan air pada bendung untuk daerah irigasi Sadang agar diperoleh angka yang optimum untuk keseimbangan air sesuai dengan kondisi real time di lapangan, sehingga antara kebutuhan dan ketersediaan air akan mendekati angka yang paling optimal;
2. Mendapatkan suatu bentuk model keseimbangan air pada pengoperasian bendung gerak Benteng untuk memenuhi kebutuhan air di hilir bendung yang efisien.
3. Mengidentifikasi pola pengoperasian hasil pemodelan keseimbangan air yang dihasilkan bila dibandingkan dengan kondisi yang sudah dilaksanakan.

1.4. Manfaat Penelitian

Dengan adanya penelitian ini, selain menambah wawasan tentang permasalahan-permasalahan yang ada di bendung gerak Benteng, juga di harapkan model yang dihasilkan dapat menjadi salah satu alternatif acuan yang bisa digunakan menunjang operasional yang tersedia di bendung gerak Benteng. Pada akhirnya kajian ini diharapkan menjadi bahan pertimbangan dalam pengambilan kebijaksaan pola operasi intake bendung gerak secara efektif dan efisien.

1.5. Batasan Masalah

Untuk lebih memfokuskan pada studi yang dilakukan dan untuk menghindari terjadinya pembahasan yang keluar dari studi penelitian ini maka dilakukan pembatasan masalah sebagai berikut :

1. Penelitian ini mengambil lokasi pada bendung gerak Benteng sebagai obyek penelitian yang dimanfaatkan sebagai pengambilan utama bagi daerah Irigasi Sadang dengan luas baku sawah 55.769 Ha, di mana air yang didapatkan dari 3 (tiga) saluran induk yang kemudian didistribusikan pada tiap-tiap bangunan bagi, sadap, dan bagi sadapnya.

2. Data-data yang dipergunakan adalah data sekunder hasil pencatatan di lapangan.
3. Analisis data sekunder yang mencakup data-data hidroklimatologi;
4. Tidak memperhitungkan pengaruh perubahan sedimen yang terjadi di bendung Benteng maupun pada saluran lainnya;
5. Data debit yang dianalisis terbatas pada data debit intake Bendung Gerak Benteng selama 11 tahun terakhir, yaitu mulai 2000 – 2011.
6. Optimasi model operasi intake bendung Benteng dibuat menggunakan program linier.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pengertian Operasi

Operasi (eksploitasi) adalah usaha-usaha untuk memanfaatkan prasarana irigasi secara optimal. Usaha-usaha tersebut merupakan kesatuan proses pengumpulan dan perencanaan, penyediaan, pembagian, pengaturan air irigasi, dan membuang kelebihan air irigasi, agar dapat mencapai sasaran secara optimal. Sedangkan menurut pasal 1 (23) UU RI No. 7 Tahun 2004, "operasi adalah kegiatan pengaturan, pengalokasian serta pengelolaan air dan sumber air untuk mengoptimalkan pemantapan prasarana SDA".

Adapun ruang lingkup operasi irigasi terdiri dari : (a) pengukuran dan pengumpulan data; (b) pengolahan dan analisa data; (c) kalibrasi alat ukur debit; (d) rencana tata tanam (global dan detail) serta golongan; (e) rencana pembagian air (terus menerus, giliran, putus-putus); (f) pelaksanaan pembagian air; (g) pengoperasian pintu air untuk membagi air, mengontrol drainase, dan menjaga keamanan saluran dan bangunan; (h) pengoperasian pintu bendung untuk pengaturan air ke saluran induk; (i) pemantauan (monitoring) dan evaluasi [1].

2.2. Analisa Hidrologi

2.2.1. Analisa Curah Hujan Efektif

Curah hujan efektif merupakan curah hujan yang jatuh pada suatu daerah dan dapat digunakan tanaman untuk pertumbuhannya. Analisa curah hujan efektif diawali dengan perhitungan curah hujan rata– rata dari stasiun pengamatan.

c. Curah hujan rata-rata wilayah/daerah

Cara perhitungan untuk mencari curah hujan rata-rata daerah, yaitu :

4) *Arithmatic Mean Method*

Salah satu cara perhitungan curah hujan rata-rata ini dengan menggunakan rumus cara rata-rata aljabar. Metode ini merupakan metode yang paling sederhana dalam perhitungan hujan kawasan. Cara ini cocok untuk kawasan dengan topografi rata atau datar [2]. Adapun rumusan cara rata-rata aljabar sebagai berikut:

$$\overline{R} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^{n} Ri \quad \text{.....} \quad (1)$$

dimana : $\overline{R}$ = Curah hujan daerah (mm);
Ri = curah hujan pada stasiun ke-i
n = jumlah stasiun pengamat;

5) *Thiessen Method*

Cara ini dengan memperhitungkan luas daerah yang diwakili oleh stasiun yang bersangkutan (luas daerah pengaruh), untuk digunakan sebagai faktor dalam

menghitung hujan rata-rata. Luas daerah pengaruh masing-masing stasiun dibagi dengan luas daerah aliran disebut koefisien Thiessen masing-masing stasiun (*weight factor*). Metode Thiessen sesuai untuk daerah dengan jarak penakar hujan yang tidak merata.

6) *Isohyet Method*

Isohyet adalah garis yang menunjukkan tempat-tempat yang mempunyai tinggi hujan yang sama. Cara ini adalah cara yang paling teliti, tetapi cukup sulit pembuatannya. Pada umumnya digunakan untuk hujan tahunan, karena terlalu banyak variasinya, sehingga Isohyet akan berubah-ubah.

d. Curah hujan efektif

Ada berbagai cara untuk mencari curah hujan efektif yang telah dikembangkan oleh beberapa ahli, diantaranya seperti berikut ini :

3) Cara empiris

Harza Engineering Comp. Int. menghitung besarnya curah hujan efektif berdasarkan R_{80} = *Rainfall equal or exceeding in 8 years out of 10 years*. Bila dinyatakan dengan rumus adalah sebagai berikut :

$$R_{80} = \left(\frac{n}{5}\right) + 1 \quad \text{.....} \quad (2)$$

dimana : R_{80} = curah hujan efektif 80 % (mm/hari);
$\frac{n}{5}+1$ = rangking curah hujan rata-rata dihitung dari curah hujan terkecil;
n = jumlah data.

4) Cara statistik

Dengan menghitung probabilitas curah hujan efektif yang 80% disamai atau dilampaui. Metode yang dapat dipakai antara lain adalah dengan metode Distribusi Normal, Log Normal, Person tipe III, dsb.

2.2.2. Debit Andalan

Debit andalan berguna untuk menentukan debit yang diharapkan tersedia di sungai untuk memperkirakan luas daerah irigasi dan daya terpasang pembangkit listrik tenaga air. Misalnya ditetapkan debit andalan 80% berarti akan dihadapi resiko adanya debit-debit yang lebih kecil dari debit andalan sebesar 20% dari banyaknya pengamatan [3]. Untuk menentukan kemungkinan terpenuhi atau tidak terpenuhi, debit yang sudah diamati disusun dengan urutan besar ke kecil. Dengan demikian diharapkan debit tersebut cukup untuk keperluan penyediaan air.

Perhitungan debit andalan di bendung gerak Benteng menggunakan metode Weibull. Persamaan yang digunakan adalah:

$$P = \frac{m}{(N+1)} \quad \text{.....} \quad (3)$$

dengan:

P = Probabilitas kejadian (%),
m = Nomor urut data debit dari besar ke kecil,
N = Jumlah data

Debit andalan dihitung berdasarkan data debit intake pada bendung gerak benteng. Dari perhitungan debit andalan yang didapat, dapat ditentukan besarnya debit andalan yang nantinya akan dipakai sebagai batasan dalam melakukan optimasi.

2.2.3. ANALISA KLIMATOLOGI

Bentuk persamaan metode Penman Modifikasi untuk menghitung evapotranspirasi potensial ini, dapat dirumuskan sebagai berikut [4]:

$$ETo = c \cdot [W \cdot Rn + (1 - W) \cdot f(u) \cdot (ea - ed)] \quad \text{.....} \quad (4)$$

dimana :
- ETo = Evapotranspirasi potensial (mm/hari);
- c = Faktor penggantian kondisi cuaca akibat siang dan malam;
- W = Faktor berat yang mempengaruhi penyinaran matahari;
- (1-W) = Faktor berat sebagai pengaruh angin dan kelembaban;
- Rn = Radiasi penyinaran matahari dalam perbandingan penguapan atau radiasi matahari bersih (mm/hari);
- f(u) = Fungsi angin relatif;
- ea = tekanan uap jenuh (mbar);
- ed = tekanan uap nyata (mbar) dimana ed = ea x kelembaban (RH);
- (ea - ed) = Perbedaan tekanan uap air (mbar).

2.3. ANALISA KEBUTUHAN AIR

Kebutuhan air untuk tanaman pada suatu jaringan irigasi merupakan air yang dibutuhkan untuk pertumbuhan tanaman yang optimal tanpa kekurangan air yang dinyatakan dalam Netto Kebutuhan Air Lapangan (*Net Field Requirement* atau NFR).

Adapun kebutuhan air di sawah di pengaruhi oleh faktor – faktor sebagai berikut : curah hujan efektif, perencanaan golongan, perkolasi dan rembesan, kebutuhan penyiapan lahan, kebutuhan air untuk konsumtif tanaman, pergantian lapisan air, efisiensi irigasi, kebutuhan air di sawah (NFR)

Kebutuhan air dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$DR = \frac{NFR}{8{,}64 \times EI} \quad \text{.....} \quad (5)$$

dimana :
- DR = Kebutuhan air di pintu pengambilan (lt/dt/ha);
- NFR = Kebutuhan air di sawah (mm/hari);
- EI = Efisiensi irigasi secara total (%);
- 8,64 = Angka konversi satuan dari mm/hari ke lt/dt/ha.

2.4. Ketersediaan Air

Analisis ketersediaan air (*water availability*) tujuannya untuk menentukan besarnya air yang tersedia atau disebut juga sebagai debit andalan yaitu debit dari sungai yang bisa diandalkan dapat terjadi pada waktu-waktu tertentu.

Perhitungan banyaknya air yang tersedia tersebut dimaksudkan untuk mengetahui apakah air yang tersedia bisa dimanfaatkan untuk berbagai keperluan seperti untuk air pertanian, air baku maupun PLTA atau untuk kebutuhan lain seperti penggelontoran dan lain-lain. Tujuan perhitungan ketersediaan air ini akan dipergunakan sebagai variabel kendala dalam optimasi program Linier, dalam hal ini batasan berupa volume air untuk irigasi.

2.5. Neraca Air

Dalam perhitungan neraca air, kebutuhan pengambilan yang dihasilkan untuk pola tanam yang dipakai akan dibandingkan dengan debit andalan untuk tiap setengah bulan dan luas daerah yang bisa diairi. Apabila debit sungai melimpah, maka luas daerah irigasi ialah tetap karena luas maksimum daerah layanan direncanakan sesuai

dengan pola tanam yang dipakai. Bila debit sungai tidak berlimpah dan kadang-kadang terjadi kekurangan debit, maka ada 3 pilihan yang bisa dipertimbangkan [5] : (a) luas daerah irigasi dikurangi, (b) melakukan modifikasi dalam pola tanam, dan (c) rotasi teknis/golongan.

2.6. Optimasi Dengan *Linear Programming*

Program linier dapat digunakan untuk persoalan optimasi yang mempunyai bentuk ketidaksamaan dengan syarat fungsi tujuan dan fungsi kendala merupakan persamaan linier. Seperti pada persoalan optimasi yang lain pada program linier juga perlu ditentukan fungsi tujuan dan fungsi kendalanya [6].

3. METODOLOGI PENELITIAN

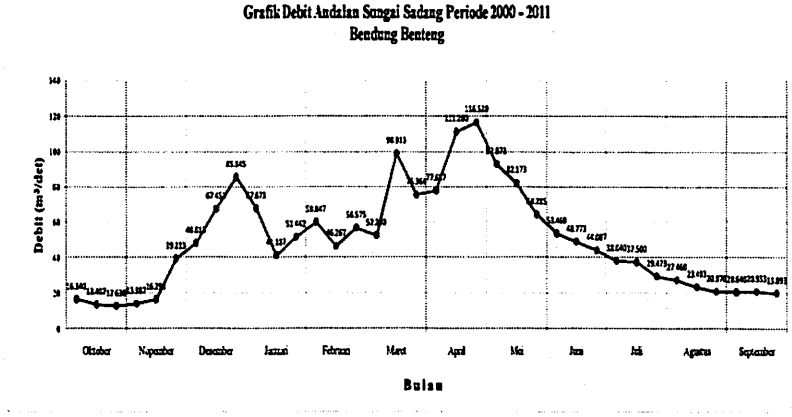
Metodologi yang digunakan pada studi ini dibagi menjadi beberapa tahap, sebagai berikut:

1. Melakukan survey pendahuluan dan studi literatur, tujuannya untuk mengetahui dengan jelas permasalahan yang terjadi.
2. Setelah mengidentifikasi dari permasalahan yang ada di lapangan maka langkah selanjutnya adalah mencari data pendukung yang diperlukan, yang mencakup : data curah hujan, data kondisi daerah irigasi, data pencatatan debit intake pada bendung Benteng, data klimatologi.
3. Melakukan analisa data, yang mencakup analisis hidrologi, analisis ketersediaan air, analisis kebutuhan air, dan neraca air.
4. Menyusun suatu model optimasi pola tanam dan awal tanam untuk memperoleh keuntungan yang optimal. Dalam analisa ini menggunakan *software QM for Windows 3* sebagai alat bantu pemodelan.
5. Merumuskan kesimpulan hasil studi.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Analisis Ketersediaan Air Sungai

Besarnya ketersediaan air dari bendung benteng di analisa dengan perhitungan debit andalan (*dependable flow*). Data debit digunakan untuk menentukan debit yang tersedia untuk mencukupi kebutuhan air irigasi pada suatu wilayah, sehingga dari data debit ini dapat diketahui apakah daerah irigasi tersebut kekurangan atau kelebihan air irigasi.



Gambar 1: Grafik Debit Andalan Sungai Sadang

4.2. Analisa Kebutuhan Air Irigasi

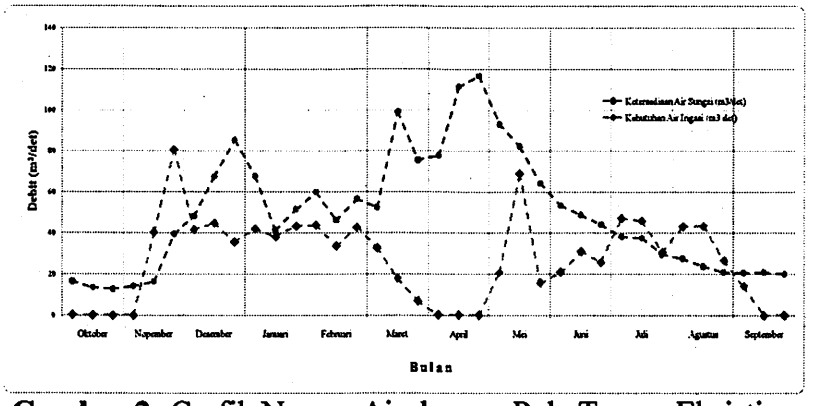
Perhitungan kebutuhan air untuk di analisa dengan menggunakan parameter-parameter antara lain evapotranspirasi potensial (ETo), curah hujan efektif (Re), perkolasi (P), pengolahan tanah (PL), pergantian lapisan air (WLR), koefisien tanaman dan efisiensi irigasi. Perhitungan kebutuhan air pada sawah kondisi eksisting yang mendapat air dari bendung Benteng untuk Daerah Irigasi Sadang dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1: Kebutuhan Air Tanaman

Bulan	Periode	Padi	Palawija	Bulan	Periode	Padi	Palawija
	I	0,343	0,000		I	0,000	0,000
Oktober	II	0,108	0,000	April	II	0,000	0,000
	III	0,105	0,000		III	0,000	0,000
	I	0,089	0,000		I	1,637	0,000
November	II	2,547	0,000	Mei	II	2,663	0,196
	III	2,551	0,000		III	0,411	0,000
	I	0,874	0,000		I	0,523	0,030
Desember	II	0,940	0,000	Juni	II	0,742	0,294
	III	0,745	0,000		III	0,642	0,207
	I	0,883	0,000		I	1,114	0,601
Januari	II	0,799	0,000	Juli	II	1,143	0,393
	III	0,912	0,000		III	0,806	0,112
	I	0,921	0,000		I	1,133	0,169
Februari	II	0,704	0,000	Agustus	II	1,131	0,055
	III	0,897	0,000		III	1,051	0,000
	I	0,683	0,000		I	1,114	0,000
Maret	II	0,561	0,000	September	II	0,186	0,000
	III	0,429	0,000		III	0,245	0,000

4.3. Analisa Keseimbangan Air

Dalam perhitungan keseimbangan air, kebutuhan air irigasi yang dihasilkan untuk suatu pola tata tanam akan dibandingkan dengan debit andalan untuk tiap periode.



Gambar 2: Grafik Neraca Air dengan Pola Tanam Eksisting

4.4. Pembahasan Hasil Penelitian

4.4.1. Identifikasi Ketersediaan dan Kebutuhan Air Saat Ini

Dari hasil analisa ketersediaan dan kebutuhan air saat ini, diketahui bahwa ketersediaan air pada bendung gerak Benteng masih sangatlah melimpah untuk memenuhi kebutuhan air irigasi namun pemanfaatan airnya kurang optimal karena masih terdapat kekurangan air pada awal musim tanam I yaitu pada bulan November dan pada akhir musim tanam II yaitu bulan Juli dan Agustus. Salah satu alternatif pemecahan masalah adalah dengan menggunakan debit yang tersedia di saluran secara optimal. Agar debit yang tersedia dapat digunakan secara optimal, maka perlu mengubah kombinasi luas tanaman dan jenis tanaman. Dengan cara seperti ini, diharapkan mendapatkan luasan optimum setiap jenis tanaman untuk masing-masing periode tanam.

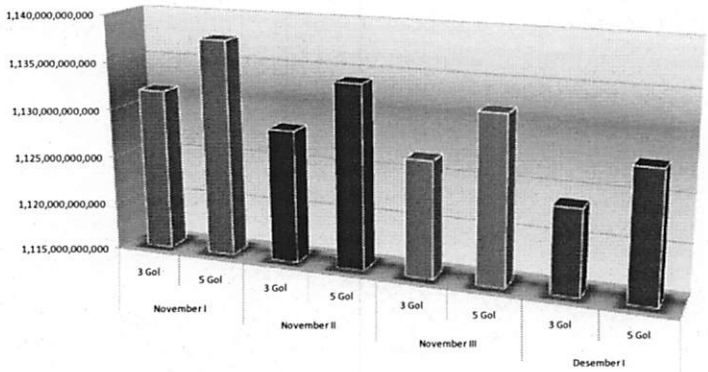
Untuk dapat meningkatkan sistem operasi bendung dalam hal ini efisiensi pemakaian air irigasi terutama dalam keadaan debit terbatas, maka perlu diadakan

pengaturan pola tanam dan awal tanam. Alternatif yang diusulkan adalah memodifikasi pola tanam dan awal tanam yang ada.

4.4.2. Model Keseimbangan Air Hasil Optimasi

Hasil analisis optimasi terhadap masing-masing alternatif awal tanam dan pola tanam menunjukkan bahwa awal tanam November I memberikan solusi yang terbaik untuk diterapkan di daerah irigasi Sadang. Hal ini disebabkan karena nilai intensitas tanam dan keuntungan maksimal yang diperoleh lebih tinggi dibanding kondisi alternatif yang lain. Terpilihnya awal tanam dan pola tanam November I menggambarkan bahwa kebiasaan petani mengolah lahan pada pertengahan bulan November bergeser pada awal bulan November.

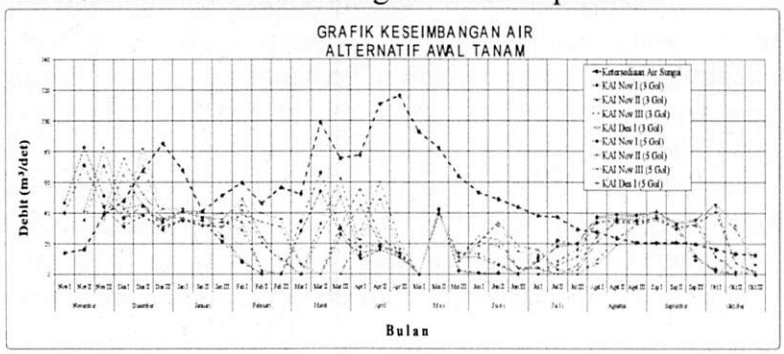
Analisis keuntungan maksimal yang dapat diperoleh dengan jadwal dan pola tanam berdasarkan komposisi luas tanam untuk setiap komoditi pada kondisi ketersediaan air (debit andalan) terpenuhi. Jumlah keuntungan maksimum tiap tahun merupakan jumlah keuntungan seluruh musim tanam dengan keuntungan maksimal hasil optimasi, sehingga keuntungan maksimal yang paling tinggi diperoleh pada awal tanam November I dengan pola tanam Padi – Padi – Padi/Palawija untuk 3 golongan dan Padi – Padi/Palawija – Padi/Palawija untuk 5 golongan. Hasil analisis keuntungan maksimal setiap alternatif awal tanam dapat dilihat pada gambar 3.



	November I		November II		November III		Desember I	
	3 Gol	5 Gol	3 Gol	5 Gol	3 Gol	5 Gol	3 Gol	5 Gol
Keuntungan (dalam milyar rupiah)	1,131,897,000,000	1,137,640,000,000	1,128,845,000,000	1,134,156,000,000	1,127,117,000,000	1,132,367,000,000	1,123,925,000,000	1,128,525,000,000

Gambar 3: Hubungan Antara Awal Tanam dan Pendapatan Produksi

Dari hasil optimasi ini kemudian dihitung keseimbangan air dari tiap alternatif awal tanam dan pola tata tanamnya. Berikut ini disajikan gambar 4 yang merupakan hasil perhitungan kebutuhan air dan keseimbangan air hasil optimasi.

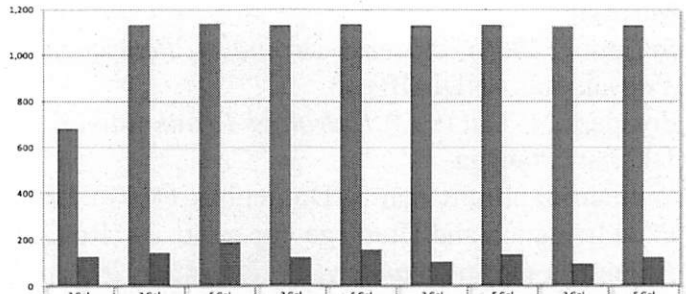


Gambar 4: Grafik Keseimbangan Air Berbagai Alternatif Awal Tanam

Keseimbangan antara kebutuhan dan ketersediaan air ditunjukkan oleh faktor K dimana faktor K adalah perbandingan antara debit yang tersedia di bendung dengan debit kebutuhan (DR) masing alternatif awal tanam. Hasil optimalisasi berdasarkan analisis neraca air dan pemberian air secara terus menerus dengan menggunakan faktor "K" masih menunjukkan terjadi defisit air 10 harian pada awal Musim Tanam I begitupula pada akhir musim Tanam III. Oleh sebab itu untuk periode bulan tersebut, cara pemberian air sebaiknya tidak dilakukan secara terus menerus melainkan bergiliran.

4.4.3. Identifikasi Model Hasil Optimasi dengan Kondisi Eksisting

Dari hasil optimasi dengan berbagai pola tanam dan awal tanam, dapat diketahui besarnya intensitas tanaman dan pendapatan yang paling maksimum berada pada awal tanam November I dengan pendapatan sebesar ***Rp. 1.131.897.000.000,-*** sedangkan pendapatan pada kondisi eksisting yaitu sebesar ***Rp. 681.088.116.600,-*** sehingga keuntungan yang diperoleh sebesar ***Rp. 450.808.833.400,-*** dengan intensitas tanaman meningkat dari 170,2% menjadi 300,0%. Hal ini membuktikan bahwa perubahan pola tanam dan awal tanam meningkatkan pendapatan produksi petani pada daerah irigasi Sadang.



	3 Gol	3 Gol	5 Gol	3 Gol	5 Gol	3 Gol	5 Gol	3 Gol	5 Gol
	Eksisting	November I		November II		November III		Desember I	
Keuntungan (dalam milyar rupiah)	681.088	1,131.897	1,137.640	1,128.845	1,134.156	1,127.117	1,132.367	1,123.925	1,128.525
Defisit 10 Harian (m3/det)	125.219	143.604	185.696	119.961	155.674	102.899	135.079	92.782	122.632

Gambar 5: Grafik Perbandingan Kondisi Eksisting vs Optimasi

Gambar 5 menunjukkan hasil optimasi menunjukkan kenaikan dari segi keuntungan yang diperoleh dibandingkan dengan kondisi eksisting saat ini. Namun masih terdapat defisit 10 harian tiap tahunnya. Hal ini dikarenakan dalam pengoptimasiannya tidak memperhitungkan ketersediaan air dari periode 10 harian tetapi menggunakan ketersediaan air per musim tanam.

5. KESIMPULAN

a. Hasil analisa ketersediaan dan kebutuhan air saat ini, diketahui bahwa ketersediaan air pada bendung gerak Benteng masih sangatlah melimpah namun pemanfaatan airnya kurang optimal karena masih terdapat kekurangan air pada awal musim tanam I dan pada akhir musim tanam II. Untuk dapat meningkatkan sistem operasi intake bendung dalam hal ini efisiensi pemakaian air irigasi, maka perlu diadakan pengaturan pola tanam dan awal tanam.
b. Hasil analisis optimasi terhadap masing-masing alternatif awal tanam dan pola tanam menunjukkan bahwa awal tanam November I memberikan solusi yang terbaik untuk diterapkan di daerah irigasi Sadang. Hal ini disebabkan karena

nilai intensitas tanam dan keuntungan maksimal yang diperoleh lebih tinggi dibanding kondisi alternatif yang lain.

c. Hasil optimalisasi berdasarkan analisis neraca air dan pemberian air secara terus menerus dengan menggunakan faktor "K" masih menunjukkan terjadi defisit air 10 harian pada awal musim tanam I begitupula pada akhir musim tanam II. Oleh sebab itu untuk periode bulan tersebut, cara pemberian air sebaiknya tidak dilakukan secara terus menerus melainkan bergiliran.

d. Dari hasil optimasi dengan berbagai pola tanam dan awal tanam, dapat diketahui besarnya intensitas tanaman dan pendapatan yang paling maksimum berada pada awal tanam November I dengan pendapatan sebesar *Rp. 1.131.897.000.000,-* sedangkan pendapatan pada kondisi eksisting yaitu sebesar *Rp. 681.088.116.600,-* sehingga keuntungan yang diperoleh sebesar *Rp. 450.808.833.400,-* dengan intensitas tanaman meningkat dari 170,2% menjadi 300,0%. Hal ini membuktikan bahwa perubahan pola tanam dan awal tanam meningkatkan pendapatan produksi petani pada daerah irigasi Sadang.

DAFTAR PUSTAKA

1. Anonim 1 (2007) *Pedoman O & P Bendung Benteng DI Sadang.* Makasar.
2. Suripin (2004) *Sistem Drainase Perkotaan yang Berkelanjutan.* Yogyakarta: ANDI Offset.
3. Soemarto, C.D. (1992) *Hidrologi Teknik* Edisi Ke-2 (Dengan Perbaikan), Jakarta: Erlangga.
4. William O. Pruitt dan J. Doorenbos (1977) *Crop Water Reqiurement*, FAO Irrigation and Drainage Paper No. 24 (Rev.), Rome.
5. Anonim 4 (1986) *Standard Perencanaan Irigasi KP-01.* Bandung: CV. Galang Persada.
6. Sidharta S.K. (1997) *Pengembangan Sumber Daya Air*, Jakarta: Guna Darma.

SIMULASI ALIRAN PADA RUAS TENGGARANG SAMPAI KLOPO SAWIT DI KALI SAMPEAN

Rosita Ardila[1], Soetoyo[2], Bambang Sarwono[3]

[1]*Mahasiswa Pascasarjana Jurusan Teknik Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Kampus ITS Sukolilo Surabaya, Telp 085257828626, email: ochita_02@yahoo.com*
[2]*Dosen Jurusan Teknik Sipil FTSP, ITS, Kampus ITS Sukolilo Surabaya, Telp 08123207856, email: soetoyo07@gmail.com*
[3]*Dosen Jurusan Teknik Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Kampus ITS Sukolilo Surabaya, Telp 0811334345, email: sarwonobambang@yahoo.com*

ABSTRAK

Sungai merupakan salah satu potensi sumber daya air yang memberikan banyak manfaat tetapi juga memberikan daya rusak yang cukup besar. Salah satu sungai di Jawa Timur yang memberikan banyak manfaat yaitu Sungai Sampean. Sungai Sampean sebagai sungai lintas kabupaten mempunyai fungsi sebagai : pembuang utama dari limpasan air permukaan di daerah pengaliran sungainya, sumber air baku untuk keperluan DMI (RKI), sumber air untuk irigasi seluas 25.024 ha, sumber tenaga listrik mikrohidro dengan kapasitas terpasang sebesar 0,60 MW dan sumber bahan galian golongan C. Dengan banyaknya manfaat dari sungai ini salah satunya sebagai pembuang utama dari limpasan air permukaan maka sangat penting untuk mengetahui kemampuan dari sungai untuk menampung aliran permukaan.
Analisa mengenai kapasitas aliran air permukaan secara teliti di Indonesia masih sangat sulit untuk dilakukan karena masih terbatasnya data yang tersedia. Terbatasnya data pencatatan terutama debit juga terjadi di DAS Sampean. Dengan keterbatasan ini maka dalam melakukan kajian kemampuan dari sungai untuk menampung aliran permukaan terbatas pada ruas tertentu saja, yaitu ruas Tenggarang sampai dengan Klopo Sawit yang merupakan lokasi yang memiliki data pencatatan debit dan tinggi muka air. Kajian dilakukan dengan menggunakan model dari program Bantu HecRas. Hasil analisa, model matematik satu dimensi Hec-Ras bisa diterapkan untuk ruas Tenggarang-Klopo Sawit dengan angka kekasaran Manning untuk 0,050 dan koefisien contraction 0,1 dan koefisien expansion 0,3.
Dari simulasi dengan model HecRas yang sudah terkalibrasi bahwa untuk aliran debit rencana dengan periode ulang 2, 5, 10, 20, 25, 50 dan 100 tahun mengakibatkan kenaikan tinggi muka air yang melebihi tanggul sungai pada penampang sungai di sekitar tenggarang dan di hilir di sekitar Klopo Sawit.

Kata Kunci : Model Hec-Ras, kalibrasi, profil muka air

1. PENDAHULUAN

Sungai merupakan salah satu potensi sumber daya air yang memberikan banyak manfaat dan juga memberikan daya rusak yang cukup besar. Salah satu sungai yang mempunyai banyak manfaat di Jawa Timur adalah Sungai Sampean. Sungai yang mempunyai fungsi menampung aliran permukaan ini merupakan sungai lintas Kabupaten, yaitu Kabupaten Bondowoso, Kabupaten Situbondo dan Kabupaten Jember dengan total luas DAS Sampean yaitu 130.224 ha dan panjang sungai 65 km.

Perhitungan besarnya kapasitas aliran air permukaan dapat dilakukan dengan baik jika data pencatatan debit cukup panjang sehingga dapat memberikan gambaran mengenai kemampuan sungai dalam menampung aliran permukaan. Pada Sungai Sampean data pencatatan debit sangat terbatas. Dengan keterbatasan data ini, maka gambaran yang didapatkan untuk mengetahui kemampuan tampungan sungai juga terbatas. Dan karena keterbatasan data, maka pada penelitian ini yang akan dikaji adalah bagian dari Sungai Sampean yaitu ruas Tenggarang sampai dengan Klopo Sawit.

Dengan keterbatasan data yang dimiliki, akan dilakukan kajian terhadap profil muka air di ruas Tenggarang-Klopo Sawit dengan menggunakan program bantu HEC-RAS.

2. TUJUAN PENELITIAN

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Memodelkan aliran pada ruas Tenggarang-Klopo Sawit dengan parameter yang telah ditetapkan menggunakan program bantu HEC-RAS.
2. Mengetahui hasil kalibrasi dari model aliran ruas Tenggarang–Klopo Sawit
3. Mengetahui profil muka air pada penampang sungai di ruas Tenggarang-Klopo Sawit dengan aliran debit banjir yang direncanakan.
4. Manfaat dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan gambaran profil muka air pada ruas Tenggarang-Klopo Sawit sehingga dapat digunakan dalam merencanakan penanggulangan banjir yang terjadi di ruas Tenggarang-Klopo Sawit.

3. BATASAN MASALAH

Batasan masalah dari penelitian ini mencakup beberapa hal, antara lain :

1. Ruas Sungai Sampean yang dikaji yaitu ruas Tenggarang-Klopo Sawit sepanjang ± 8 km dimulai dari titik Tenggarang sampai dengan 1 km di hilir Klopo Sawit.
2. Ruas yang dikaji berada 10,5 km di hulu Dam Sampean Baru sehingga diasumsikan tidak ada pengaruh *backwater* akibat genangan Dam Sampean Baru.
3. Dalam memodelkan aliran pada ruas Tenggarang-Klopo Sawit, diasumsikan tidak ada aliran lateral yang masuk ke ruas yang ditinjau dikarenakan tidak adanya data pencatatan.

4. DATA YANG DIGUNAKAN

Data yang digunakan untuk pemodelan debit-debit pada ruas Tenggarang-Klopo Sawit merupakan data sekuder. Untuk geometri Sungai Sampean, data yang didapatkan adalah data penampang sungai di sepanjang ruas dengan jarak antar penampang ± 100 meter. Untuk Tenggarang sebagai batas hulu, data yang didapat adalah pencatatan tinggi muka air harian dan debit harian tahun 2008. Sedangkan data yang digunakan untuk kalibrasi adalah data pencatatan tinggi muka air harian dan debit harian di Klopo Sawit pada tahun 2008.

5. DASAR TEORI

Menurut Anggrahini (1977), aliran terbuka dapat digolongkan ke dalam banyak tipe. Penggolongan ini didasarkan pada beberapa macam criteria, salah satunya adalah aliran yang didasarkan pada kriteria waktu. Berdasarkan criteria ini, aliran dapat dibedakan menjadi 2, yaitu :

a. Aliran tetap (*setady flow*), yaitu kedalaman aliran (h) tidak berubah menurut waktu (t) atau dianggap tetap pada satu interval waktu

b. Aliran tidak tetap (*unsetady flow*), yaitu apabila kedalaman aliran (h) dan kecepatan aliran berubah menurut waktu (t).

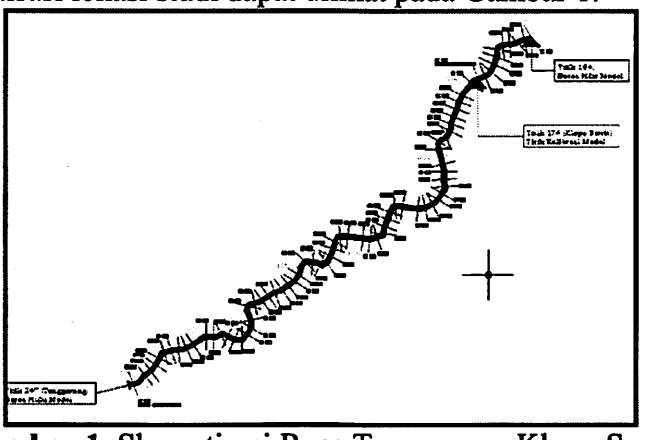
Saat ini, pemodelan sering digunakan untuk menyelesaikan persoalan hidraulika. Umumnya untuk menyelesaikan persoalan hidraulika pada sungai maupun saluran terbuka digunakan pendekatan aliran tidak tetap.
Dalam pemodelan untuk menyelesaikan permasalahan hidraulika, diperlukan parameter yang sesuai dengan kondisi di lapangan. Parameter model yang penting untuk menggambarkan profil muka asir adalah angka kekasaran dari saluran daan pengaruh perubahan penampang dari sungai yang akan dimodelkan

6. METODOLOGI PENELITIAN

Bagian dari Sungai Sampean yang akan dimodelkan adalah ruas Tenggarang-Klopo Sawit dengan menggunakan program bantu HEC-RAS dan akan dianalisa dengan pendekatan aliran tetap dan aliran tidak tetap. Dengan keterbatasan data pencatatan, akan dilakukan pengamatan debit dan tinggi muka air di Klopo Sawit. Untuk mendapatkan parameter model yang memberikan hasil mendekati kondisi sebenarnya dilakukan kalibrasi pada tinggi muka air di Klopo Sawit. Untuk kalibrasi, pendekatan yang digunakan adalah analisa aliran tetap. Setelah didapat parameter model yang terkalibrasi, parameter ini digunakan untuk simulasi dengan debit banjir rencana.

7. ANALISA DAN PEMBAHASAN

Bagian dari Sungai Sampean yang akan diteliti adalah ruas antara Tenggarang sampai dengan 1 km di hilir titik Klopo Sawit dengan total panjang ruas sungai yang akan diamati sekitar ± 8 km. Titik awal pemodelan adalah titik Tenggarang. Dan titik akhir pemodelan adalah penampang sungai yang berjarak 1(satu) km dari Klopo Sawit. Sedangkan titik Klopo Sawit yang berada diantaranya akan digunakan sebagai titik kalibrasi dalam pemodelan. Untuk skematisasi ruas model digunakan penampang sungai dengan jarak ± 100 meter dan untuk menggambarkan kondisi saluran yang berupa saluran alam dengan banyak tanaman pengganggu digunakan angka kekasaran Manning 0,035 untuk kondisi minimum, 0,045 untuk kondisi normal dan 0,05 untuk kondisi maksimum. Skematisasi lokasi studi dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Skematisasi Ruas Tenggarang-Klopo Sawit

7.1. Simulasi Aliran Tidak Tetap

Untuk analisa aliran tidak tetap, pada batas hulu digunakan data pencatatan debit di Tenggarang sebagai data aliran dan dihilir digunakan kedalaman normal sebagai kondisi batas. Simulasi model dilakukan pada tiga kondisi angka kekasaran Manning.

Nilai RMSE dari pengamatan debit untuk ketiga kondisi angka kekasaran Manning menghasilkan nilai yang sama sebesar 35,48 m3/detik. Nilai RMSE masih jauh dari angka 0. Hal ini menunjukkan bahwa performa model masih belum baik karena hasil simulasi model masih belum mendekati hasil pencatatan. Kemudian dapat dilihat juga bahwa dengan mengubah kondisi angka kekasaran Manning (n) tidak memberikan pengaruh terhadap volume debit simulasi yang dihasilkan.

Sedangkan untuk nilai RMSE dari pengamatan tinggi muka air pada ketiga kondisi angka kekasaran Manning adalah berbeda-beda. Hal ini menunjukkan bahwa setiap kondisi angka kekasaran Manning (n) memberikan pengaruh terhadap tinggi muka air yang dihasilkan. Semakin besar angka kekasaran Manning yang digunakan yaitu pada kondisi maksimum, maka nilai RMSE semakin kecil. Namun hasil dari simulasi model dengan menggunakan 3 (tiga) kondisi angka kekasaran Manning masih belum mendekati hasil pencatatan. Sehingga dapat diartikan bahwa ruas Tenggarang-Klopo Sawit yang dimodelkan belum memberikan hasil yang akurat.

7.2. Simulasi Aliran Tetap

Untuk analisa aliran tidak tetap, pada batas hulu digunakan data pencatatan debit di Tenggarang sebagai data aliran dan dihilir digunakan kedalaman normal sebagai kondisi batas. Simulasi model dilakukan pada tiga kondisi angka kekasaran Manning.

Dari nilai RMSE simulasi aliran tetap untuk pengamatan debit dengan menggunakan ketiga kondisi angka kekasaran Manning dihasilkan nilai yang sama. Dapat diartikan bahwa perubahan pada penggunaan angka kekasaran Manning tidak berpengaruh terhadap debit yang dihasilkan simulasi model. Sedangkan untuk pengamatan tinggi muka air hasil simulasi model, perbandingan nilai RMSE pada ketiga kondisi angka kekasaran Manning (n) menunjukkan bahwa perubahan nilai manning memberikan pengaruh pada ketiga hasil tinggi muka air. Nilai RMSE dari ketiga kondisi angka kekasaran, baik debit maupun tinggi muka air masih belum mendekati angka 0. Hal ini menunjukkan bahwa hasil analisa model dengan menggunakan aliran tetap masih belum mendekati hasil pencatatan sehingga belum bisa mewakili kondisi di lapangan.

7.3. Analisa Hasil Simulasi Aliran Tetap dan Aliran Tidak Tetap

Simulasi model dengan menggunakan pendekatan aliran tetap dan aliran tidak tetap menunjukkan adanya penyimpangan yang cukup besar. Hasil simulasi model jika dibandingkan hasil pencatatan menunjukkan bahwa pengkondisian aliran pada model belum sesuai dengan kejadian di lapangan. Jika dibandingkan antara debit inflow dengan hasil simulasi menunjukkan keidentikan. Hal ini berarti debit yang dimasukkan pada model ruas Tenggarang-Klopo Sawit sama dengan debit yang dihasilkan dari simulasi model. Sedangkan jika dibandingkan dengan data pencatatan, hasil simulasi tidak menunjukkan keidentikan. Hasil pencatatan menunjukkan bahwa debit yang sebenarnya melewati Klopo Sawit lebih besar dari hasil simulasi model. Penyimpangan ini mengindikasikan ada sejumlah debit yang masuk di sepanjang ruas Tenggarang-Klopo Sawit yang belum terdeskripsikan sepenuhnya di model.

Pada kondisi lapangan, tedapat 6 anak-anak sungai yang masuk di sepanjang ruas Tenggarang sampai Klopo Sawit. Saat awal membangun model, asumsi yang digunakan

adalah tidak memperhitungkan adanya aliran lateral. Asumsi ini diambil karena terbatasnya data yaitu tidak adanya pencatatan aliran pada anak-anak sungai yang masuk di sepanjang ruas ini. Namun setelah melihat hasil perbandingan antara pencatatan dengan hasil simulasi model baik dari analisa aliran tetap maupun analisa aliran tidak tetap terlihat bahwa aliran lateral ini mempunyai pengaruh yang sangat signifikan dalam memenuhi prinsip kontinuitas. Ketidakseimbangan antara inflow dan outflow dikarenakan pengabaian aliran lateral menghasilkan hasil simulasi tidak akan pernah identik dengan hasil pencatatan.

7.4. Kalibrasi Model

Dan jika aliran lateral tidak diperhitungkan, hasil simulasi model tidak pernah mendekati hasil pencatatan maka untuk melakukan kalibrasi model dilakukan rekayasa aliran. Rekayasa aliran yang dilakukan adalah menggunakan data hasil pencatatan debit harian di Klopo Sawit sebagai data aliran tetap (*inflow*) di Tenggarang. Dengan menggunakan aliran ini akan dilakukan analisa dengan aliran tetap (*steady flow analysis*). Dari hasil analisa ini akan dilakukan pengamatan pada tinggi muka air dan besarnya debit. Pengamatan tinggi muka air dan debit antara hasil simulasi dengan hasil pencatatan ditunjukkan dengan nilai RMSE berikut :

Tabel 1 Nilai RMSE untuk Pengamatan Debit Hasil Simulasi Model dengan Pencatatan di Klopo Sawit

RMSE Debit (m3/dt)	Kondisi Angka Manning		
	Minimum	Normal	Maksimum
Koefisien *contraction* = 0 dan *expansion* = 0	0,00	0,00	0,00
Koefisien *contraction* = 0,1 dan *expansion* = 0,3	0,00	0,00	0,00

Sumber : Hasil Analisa

Tabel 2 Nilai RMSE untuk Pengamatan Tinggi Muka Air Hasil Simulasi Model dengan Pencatatan di Klopo Sawit

RMSE Tinggi Muka Air (meter)	Kondisi Angka Manning		
	Minimum	Normal	Maksimum
Koefisien *contraction* = 0 dan *expansion* = 0	0,20	0,12	0,10
Koefisien *contraction* = 0,1 dan *expansion* = 0,3	0,19	0,12	0,09

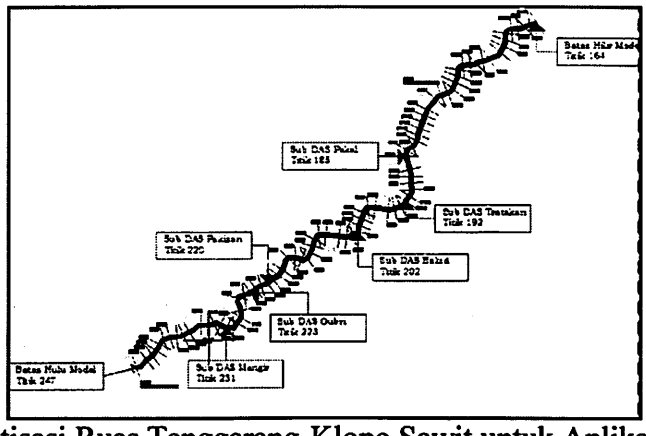
Sumber : Hasil Analisa

Dari hasil RMSE yang diperoleh, disimpulkan bahwa angka kekasaran Manning maksimum sebesar 0,050 serta nilai koefisien *contraction* = 0,1 dan koefisien *expansion* = 0,3 menghasilkan kalibrasi terbaik terhadap tinggi muka air di Klopo Sawit.

7.5. Aplikasi Simulasi Model dengan Debit Hujan Rencana

Berdasarkan hasil kalibrasi terhadap tinggi muka air, parameter model yang mendekati kondisi lapangan adalah angka kekasaran Manning pada kondisi maksimum (yaitu 0,050) dan parameter yang menggambarkan perubahan bentuk penampang sungai (nilai koefisien contraction = 0,1 dan koefisien expansion = 0,3). Parameter ini akan digunakan dalam aplikasi model simulasi dengan aliran debit banjir rencana. Data aliran debit rencana yang digunakan adalah debit banjir dengan periode ulang 2, 5, 10, 20, 25, 50 dan 100 tahun. Aliran yang akan dipergunakan adalah data aliran tidak tetap

(unsteady flow). Pada simulasi akan diperhitungkan juga data aliran lateral. Aliran lateral di sepanjang ruas Tenggarang-Klopo Sawit berasal dari beberapa sub-DAS, yaitu sub DAS Mangir (titik 231), sub DAS Gubri (titik 223), sub DAS Pakisan (titik 220), sub DAS Balud (titik 202), sub DAS Tratakan (titik 192) dan sub DAS Pakel (titik 185). Skema dari aliran lateral di sepanjang ruas model dapat dilihat pada Gambar 2.
Hasil simulasi aliran menunjukkan bahwa pada ruas Tenggarang-Klopo Sawit terjadi luapan air. Luapan air terjadi di titik 247-245, 242-218, 193, 188-187, 175 dan 171-167. Jika diperhatikan pada lokasi banjir ini tinggi tanggul sungai lebih rendah dibandingkan bagian tengah ruas. Di bagian tengah ruas memiliki tanggul sungai yang cukup tinggi sehingga pada simulasi aliran banjir rencana 100 tahun tidak terjadi luapan air. Selain itu kemiringan saluran di baian tengah lebih curam dibandingkan dengan lokasi yang mengalami luapan air.



Gambar 2. Skematisasi Ruas Tenggarang-Klopo Sawit untuk Aplikasi Simulasi dengan Debit Rencana

8. KESIMPULAN

Beberapa kesimpulan yang dapat diambil dalam penelitian ini adalah :

1. Ruas Tenggarang-Klopo Sawit dimodelkan menggunakan program bantu HEC-RAS, dan menggunakan data-data pencatatan tahun 2008 memberikan hasil dengan penyimpangan yang cukup besar. Hal ini terlihat dari grafik perbandingan antara hasil simulasi model dengan pencatatan baik untuk debit maupun tinggi muka air. Penyimpangan ini akibat dari tidak diperhitungkannya aliran lateral yang masuk di sepanjang ruas.
2. Kalibrasi tinggi muka air pada model dengan analisa aliran tetap memberikan hasil sebagai berikut :
   a. Pemodelan dengan angka manning = 0.035, koefisien *contraction* = 0 dan koefisien *expansion* = 0 didapatkan RMSE 0,20
   b. Pemodelan dengan angka manning = 0.045, koefisien *contraction* = 0 dan koefisien *expansion* = 0 didapatkan RMSE 0,12
   c. Pemodelan dengan angka manning = 0.050, koefisien *contraction* = 0 dan koefisien *expansion* = 0 didapatkan RMSE 0,10
   d. Pemodelan dengan angka manning = 0.035, koefisien *contraction* = 0.1 dan koefisien *expansion* = 0.3 didapatkan RMSE 0,19
   e. Pemodelan dengan angka manning = 0.045, koefisien *contraction* = 0.1 dan koefisien *expansion* = 0.3 didapatkan RMSE 0,12

f. Pemodelan dengan angka manning = 0.050, koefisien *contraction* = 0.1 dan koefisien *expansion* = 0.3 didapatkan RMSE 0,09

3. Dari hasil simulasi menggunakan aliran debit rencana 2, 5, 10, 20, 25, 50 dan 100 tahun serta dengan memperhitungkan aliran lateral yang masuk di sepanjang ruas terlihat adanya luapan air di beberapa lokasi di sepanjang ruas. Luapan air berada di bagian atas (yaitu titik 247-218) dan di bagian bawah (yaitu pada titik 171-167). Untuk debit rencana terkecil yaitu dengan periode ulang 2 tahun pada ruas ini terjadi luapan air, hal ini sesuai dengan informasi yang didapat oleh penulis bahwa pada ruas ini memang sering terjadi banjir.

DAFTAR PUSTAKA

1. Winata, Bambang (2006), *Penanggulangan Banjir Kali Kedurus Hilir dengan Menggunakan Model Matematika*, Tesis Program Magister MRSA, Institut Teknologi 10 Nopember Surabaya, Surabaya
2. Anggrahini (1997), *Hidrolika Saluran Terbuka,* CV. Citra Media, Surabaya
3. Anonimous, *HEC-RAS Hydraulic Reference*, US Army Corps of Engineers, Davis, California

MAKALAH
BIDANG STRUKTUR

Seminar Nasional IX 2013
Teknik Sipil FTSP-ITS

beyond construction

PT. Adhi Karya

BAMBU LAPIS SEBAGAI ALTERNATIF MATERIAL RANGKA ATAP RAMAH LINGKUNGAN

Sumargo[1], Sindy Agnesty[2]

[1)]Dosen, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Bandung, Telp 08122198097,
Email: sumargo@polban.ac.id
[2)]Alumni, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Bandung, Telp 085721878070,
Email: sindy.agnesty@yahoo.com

ABSTRAK

Bambu lapis merupakan bilah-bilah bambu yang telah diproses kemudian disusun menjadi balok atau papan. Ketersediaan bahan bakunya yang melimpah juga ramah lingkungan menjadikan bambu lapis dikembangkan sebagai alternatif material pengganti untuk industri konstruksi seperti rangka atap.

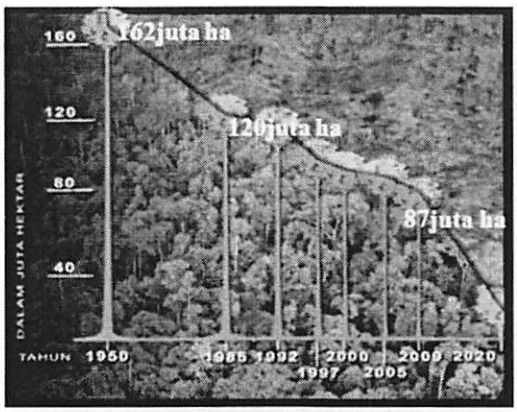
Analisa perbandingan dilakukan terhadap rangka atap dengan bentang 2000 mm dan tinggi 1000 mm dengan material bambu lapis dan kayu dilakukan dengan pengujian eksperimental dan pengumpulan data sekunder. Pengujian eksperimental hanya dilakukan terhadap rangka bambu lapis (Betung) dan rangka kayu (Borneo) dengan jenis tumpuan sendi-roll untuk mengetahui stabilitas dan kekuatan rangka. Beban terpusat diberikan pada dipuncak rangka, dengan pembebanan bertahap hingga beban sebesar 333 kg.

Studi eksperimental dilakukan di Laboratorium Kayu Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Bandung (Polban) dan diperoleh data properti material, untuk bambu lapis jenis Bambu Betung didapat nilai kuat tarik 191,9 MPa, kuat tekan sejajar serat 32.5 MPa, berat jenis 0.687, Modulus elastisitas 13 117 MPa. Pengujian pembebanan rangka atap dilakukan pada material bambu jenis Bambu Betung dan kayu jenis Kayu Borneo, dilakukan hingga beban 333 kg dengan besar lendutan akibat beban maksimum pada bambu lapis (Betung) 0,742 mm dan lendutan pada rangka kayu (borneo) 1,841 mm, dengan demikian kekuatan rangka kayu hanya 40,3% dari kekuatan rangka bambu lapis. Persentase perbandingan kekuatan tersebut menunjukan rangka bambu lapis lebih kuat dari rangka kayu. Hasil dari analisa tersebut menunjukan bahwa bambu lapis dapat digunakan sebagai alternatif material untuk rangka atap yang mememiliki keunggulan ramah lingkungan.

Kata kunci: Bambu lapis, rangka atap, ramah lingkungan

1. PENDAHULUAN

Kondisi hutan dewasa ini khususnya di Indonesia sangat memperihatinkan, hal ini berdampak kepada harga jual kayu yang meningkat dan mengingat ketersediaan kayu yang semakin langka, kayu menjadi barang mewah. Ekspansi besar-besaran dalam industri kayu lapis dan industri pulp dan kertas selama 20 tahun terakhir menyebabkan permintaan terhadap bahan baku kayu pada saat ini jauh melebihi pasokan legal. Kesenjangannya mencapai 40 juta m^3per tahun. Banyak industri pengolahan kayu yang mengakui ketergantungan mereka pada kayu curian, jumlahnya mencapai 65 persen dari pasokan total pada tahun 2000, Gambar 1. (http://www.isai.or.id)



Gambar 1. Prosentase tahunan penurunan luasan tutupan hutan Indonesia
Sumber: Badan Penelitian dan Pengembangan Pusat Litbang Pemukiman Balai Pengembangan Teknologi Perumahan Tradisional, Denpasar Bali

Indonesia masih memiliki luas hutan yang lebat pada tahun 1950.Sejak saat itu sekitar 40% dari luas hutan telah ditebang dalam waktu 50 tahun berikutnya.Jika dibulatkan, tutupan hutan di Indonesia turun dari 162 juta ha menjadi 98 juta ha [FWI/GFW. 2001]. Pada tahun 2020 luas tutupan hutan Indonesia diperkirakan hanya tinggal 10% atau sekitar 16 juta hektar jika perlakuan terhadap hutan masih seperti sekarang ini.

Penggunaan bahan baku material kayu untuk konstruksi, dewasa ini masih sering dijumpai. Selain itu alasan sebagian orang tetap memilih kayu adalah melihat dari segi keindahan, karena kayu memiliki warna dan corak/alur serat yang indah juga mudah dibentuk.

Untuk mengatasinya, maka harus ada alternatif lain untuk bahan baku ramah lingkungan sebagai pengganti. Bahan yang dapat ditemukan dalam jumlah melimpah di alam adalah bambu, pertumbuhan bambu juga sangat cepat, sehingga masa panennya pun cepat.Bambu kualitas baik dapat dipanen pada usia 3-5 tahun. Keunggulan lain dari bambu adalah bamboo juga dapat hidup di berbagai kondisi lahan.

Teknologi pengolahan bambu saat ini mulai berkembang, salah satunya adalah bambu lapis.Bambu lapis merupakan lapisan yang tersusun oleh bilah-bilah bambuyang dapat dibentuk sesuai kebutuhan, termasuk pengunaannya sebagai elemen struktur seperti balok, kolom, pelat lantai dan rangka atap.Bambu lapis sebagai alternatif elemen struktur diuji dalam penelitian ini dengan mempertimbangkan umur panen bambu, proses pengawetan, pengeleman, dan pengepresan bambu. Dua rangka atap kembar dari bambu dan kayu borneo diuji terhadap beban vertikal.

2. DASAR TEORI

Bambu memiliki sifat-sifat yang baik untuk dimanfaatkan, antara lain batangnya kuat, liat, keras, mudah dibentuk dan mudah dikerjakan serta ringan. Bambu juga relatif ekonomis dibandingkan dengan bahan bangunan lain karena mudah ditemukan di seluruh daerah di Indonesia. Sekitar 60 jenis dapat ditemukan di Indonesia. Menurut Dransfield dan Widjaja (1995) (dalam Krisdianto dkk, 2007) dari kurang lebih 1.000 spesies bambu dalam 80 genera, sekitar 200 spesies dari 20 genera ditemukan di Asia Tenggara.

Bambu mudah tumbuh dalam kondisi apapun, dan pertumbuhannya pun relatif cepat. Batang bambu umur 6 bulan sampai dengan 1 tahun memiliki kadar lengas yang sangat tinggi, sehingga membutuhkan banyak waktu untuk mengering, namun pada proses pengeringan pada bambu yang belum dewasa (umur < 3 tahun) menyebabkan retak. Bambu pada umur 3-5 tahun memiliki kadar lengas yang lebih sedikit, sementara pada umur 6-9 tahun kadar lengas dalam bambu terlalu rendah sehingga bambu tidak terlalu kuat. Oleh karena itu bambu idealnya digunakan pada umur 3-5 tahun (Yap, 1983).

Diantara keunggulan bambu adalah: (a) mudah ditanam dan tidak memerlukan pemeliharaan secara khusus, (b) kualitas baik dapat diperoleh pada umur 3-5 tahun, (c) kekuatan tarik dan tekan cukup tinggi, (d) cukup baik untuk memikul momen lentur. Sedangkan kelemahan dari bambu adalah: (a) durabilitas yang sangat rendah, bambu sangat potensial untuk diserang kumbang bubuk sehingga bangunan tidak awet, (b) kekuatan sambungan bambu yang pada umumnya sangat rendah karena perangkaian batang-batang struktur bambu sering kali dilakukan secara konvensional memakai paku, pasak, atau tali ijuk, (c) kelangkaan buku petunjuk perancangan atau standar berkaitan dengan bangunan yang terbuat dari bambu, (d) sifat bambu yang mudah terbakar.

Jenis-jenis Bambu

Di Indonesia banyak sekali jenis bambu, dan berikut ini merupakan jenis bambu yang sudah umum digunakan dalam kehidupan masyarakat:

a. Bambu tali/apus (*Gigantochloa Apus*). Bambu tali memiliki diameter yang kecil berkisar antara 40-80 mm, dengan jarak antar ruas sekitar 60 mm dan panjang batang 6-13 m. Bambu tali sangat liat, oleh karenanya biasa digunakan masyarakat untuk membuat tali atau bilik.
b. Bambu betung/petung/bitung (*Dendrocalamus Asper*). Bambu betung memiliki diameter berkisar antara 80-130mm, memiliki panjang batang 10-20 m, memiliki dinding yang tebal dengan jarak antar ruas yang pendek, sehingga bambu ini sangat kuat.
c. Bambu hitam/wulung (*Gigantochloa Verticillata*). Bambu ini memiliki diameter 40-100 mm dan panjang batang 7-18 m, dengan jarak antar ruas yang panjang namun memiliki ketebalan dinding sampai 20 mm sehingga bersifat getas.

Sifat Fisis dan Mekanis Bambu

Sifat fisis dan mekanis bambu (Tabel 1) dipengaruhi oleh umur, posisi ketinggian, diameter, tebal daging bambu, dan kadar air bambu. Berikut ini sifat fisis dan mekanis 5 jenis bambu yang diteliti Syafi'i (dalam Fadli, 2006).

Sifat Kimia Bambu

Menurut hasil pengujian Gusmailina dan Sumadiwangsa (1988) (dalam Krisdianto et al, 2007), menunjukkan bahwa kadar selulosa berkisar antara 42.4% - 53.6%, kadar lignin bambu berkisar antara 19.8% - 26.6%, sedangkan kadar pentosan 1.24% - 3.77%, kadar abu 1.24% - 3.77%, kadar silika 0.10% - 1.78%, kadar ektraktif (kelarutan dalam air dingin) 4.5% - 9.9%, kadar ekstraktif (kelarutan dalam air panas) 5.3% - 11.8%, kadar ekstraktif (kelarutan dalam alkohol benzene) 0.9% - 6.9%. (Tabel 2)

Tabel 1: Sifat fisis dan mekanis bambu

No	Sifat yang Diuji	Jenis Bambu				
		Betung	Gombong	Kuning	Tali	Sembilang
1.	Berat jenis	0.61	0.55	0.52	0.65	0.71
2.	Susut volume (%)					
	Basah-kering udara	10.62	12.36	11.29	12.45	11.05
	Kering udara-kering tanur	4.99	4.96	4.74	4.6	4.49
3.	Susut tebal (%)					
	Basah-kering udara	6.02	7.94	4.31	5.83	3.04
	Kering udara-kering tanur	4.3	4.96	4.74	4.6	4.49
4.	Susut lebar (%)					
	Basah-kering udara	4.81	6.58	3.19	6.3	2.48
	Kering udara-kering tanur	4.83	5.96	4.19	3.6	7.57
5.	MOR (kg/cm^2)	1.64	1.36	1.15	*)	6.27
6.	MOE (kg/cm^2)	131.19	98.29	76.21	*)	143.21
7.	Tekan sejajar serat (kg/cm^2)	605	521	455	*)	627
8.	Tekan tegak lurus serat (kg/cm^2)	2.13	1.91	1.32	2.01	1.91

*) tidak dibuat specimen percobaan karena dinding bambu terlalu tipis, Sumber: Syafi'i (1984)

Tabel 2: Analisa sifat kimia pada 10 jenis bambu

Jenis Bambu	Selu-losa (%)	Lig-nin (%)	Pen-tosan (%)	Abu (%)	Sili-ka (%)	Kelarutan dalam, (%)			
						Air di-ngin	Air pa-nas	Alko hol-ben-zene	NaO H1 %
Phyllostachys reticulata (bambu madake)	48.3	22.2	21.2	1.24	0.54	5.3	9.4	4.3	24.5
Dendrocalamus asper (bambu petung)	52.9	24.8	18.8	2.63	0.20	4.5	6.1	0.9	22.2
Gigantochloa apus (bambu batu)	52.1	24.9	19.3	2.75	0.37	5.2	6.4	1.4	25.1
Gigantochloa nigrociliata (bambu batu)	52.2	26.6	19.2	3.77	1.09	4.6	5.3	2.5	23.1
Gigantochloa verticillata (bambu peting)	49.5	23.9	17.8	1.87	0.52	9.9	10.7	6.9	28.0
Bambusa vulgaris (bambu ampel)	45.3	25.6	20.4	3.09	1.78	8.3	9.4	5.2	29.8
Bambusa bambos (bambu bambos)	50.8	23.5	20.5	1.99	0.10	4.6	6.3	2.0	24.8
Bambusa polymorpha (bambu kyathaung)	53.8	20.8	17.7	1.83	0.32	4.9	6.9	1.9	22.4
Chephalostachyum pergraciles (bambu tinwa)	48.7	19.8	17.5	2.51	0.51	9.8	11.8	6.7	29.3
Melocanna bambusoides	42.4	24.7	21.5	2.19	0.33	7.3	9.7	4.0	28.4

Sumber: Gusmailina dan Sumadiwangsa (1988) dalam Krisdianto, dkk (2007)

Pengawetan

Penyebab kerusakan konstruksi bambu digolongkan penyebab non-biologis dan biologis.Faktor penyebab non-biologis disebabkan oleh faktor fisik seperti keadaan cuaca, faktor mekanik seperti tindakan manusia, faktor kimia yang disebabkan oleh unsur kimia yang mempengaruhi material.Penyebab biologis disebabkan oleh jenis

jamur, rayap, kumbang bubuk, dan mikroorganisme laut yang mengakibatkan pelapukan dan pembusukan.

Berdasarkan metodenya pengawetan bambu dapat dibedakan menjadi 2 macam, yaitu: metode non kimia dan kimia. Metode non kimia ialah metode pengawetan secara tradisional tanpa menggunakan alat khusus atau zat kimia.Metode yang dilakukan sederhana misalnya dengan melakukan *curing*, pengasapan, pelaburan, perendaman dalam air, perebusan.Metode pengawetan kimia ialah metode pengawetan yang menggunakan bahan-bahan kimia, metode ini kurang ekonomis dan hasilnya tidak selalu lebih baik. Dalam penelitian ini pengawetan bambu dilakukan dengan perendaman dalam air. (Sulistyowati, 1996). Perendaman menyebabkan penurunan kandungan pati bambu. Bambu mengandung pati relatif tinggi misalnya bambu ampel, sedangkan bambu apus kadar patinya relatif rendah. Tujuan akhir perendaman adalah menekan serangan kumbang bubuk.Waktu perendaman yang dianjurkan sebaiknya tidak lebih dari 1 bulan.

Perancangan Sambungan dan Kekuatan Batang

Dalam menetukan bentang rencana perlu diperhatikan lendutan izin akibat berat sendiri dan beban muatan rencana. Berdasarkan persyaratan pada Butir 13.3 SNI 03-xxxx-2000, lendutan izin untuk balok-balok pada konstruksi rangka atap adalah $f_{max} \leq L/200$.

Selanjutnya dilakukan analisa batang tarik dan batang tekan. Sebelum menganalisa kekuatan batang untuk sambungan, perlu diketahui mutu bahan dari nilai properties material dari nilai kuat acuan baku (pada Tabel 3.1 SNI 03-xxxx-2000) atau hasil uji yang meliputi nilai kuat tarik sejajar serat (F_t), kuat tekan sejajar serat (F_c), berat jenis (G), kadar air (m%), dan modulus elastisitas lentur (Ew). Untuk kadar air 15% dapat menentukan dengan rumus perhitungan berikut:

$$Ew = 16000G^{0.71} \text{ (Tabel 3.2, SNI 03-xxxx-2000)} \quad \text{.....(1)}$$

Komponen struktur tarik, direncanakan sebagai berikut:

$$T_u \leq \lambda \Phi_t T' \quad \text{.....(2)}$$

Untuk mencari tahanan tarik terkoreksi, perlu diperhitungkan nilai kuat tarik sejajar serat terkoreksi

$$T' = F_t' \, A_n \quad \text{.....(3a)}$$

$$T' = F_t \, C_M \, C_t \, C_F A_n \quad \text{.....(3b)}$$

Komponen struktur tekan direncanakan sebagai berikut:

$$P_u \leq \lambda \Phi_c P' \quad \text{.....(4)}$$

Tahanan tekan batang ditentukan berdasarkan kelangsingan penampang pada arah yang paling kritis. Tahanan tekan terkoreksi ditetapkan sebagai berikut:

$$P' = F_c \, C_M \, C_t \, C_F \, C_P A_n \quad \text{.....(5)}$$

Faktor kestabilan kolom, *Cp*, dihitung sebagai berikut:

$$C_p = \frac{1+\alpha_c}{2c} - \sqrt{\left(\frac{1+\alpha_c}{2c}\right)^2 - \frac{\alpha_c}{c}} \quad \text{.....(6a)}$$

dengan,

$$\alpha_c = \frac{\Phi_s P_e}{\lambda \Phi_c P_{o'}} \quad \text{.....(6b)}$$

$$P_e = \frac{\pi^2 E'_{05} A}{(K_e l / r)^2} \quad \text{.....(6c)}$$

$$Po' = F_c\, C_M\, C_t\, C_F A_n \quad \text{.....(6d)}$$

$$E_{05}' = 1.05 Ew'(1 - 1.645 KV_E) \quad \text{.....(6e)}$$

Prinsip perencanaan kekuatan sambungan adalah sebagai berikut:

$$Zu \leq \lambda\, \varphi z\, Z' \quad \text{.....(7a)}$$

$$Z_u \leq \lambda \Phi_z C_M C_t C_g C_\Delta n_f Z \text{ (Butir 10.1.1, SNI 03-xxxx-2000) .....(7b)}$$

Perekat

Perekat juga digunakan pada konstruksi kayu, baik sebagai perekat sambungan maupun untuk pelapisan kayu lapis, hal ini akan berpengaruh juga terhadap umur struktur.Gaya yang mempengaruhi daya lekat lem, yaitu: (a) pelekatan mekanis, (b) adhesi, gaya tarik-menarik antara molekul-molekul yang tidak sejenis, yakni daya lekat lem dengan bahan, (c) kohesi, gaya tarik menarik antara molekul-molekul yang sejenis, daya lekat lem itu sendiri.Syarat-syarat konstruksi sambungan dengan lem pada kayu (PEDC, 1982) yang akan diterapkan pada proses pengeleman untuk bambu lapis: (a) bambu yang direkatkan harus dalam keadaan kering atau harus mempunyai kadar lengas ≤ 15%, dan perbedaan kadar lengas antara masing-masing kayu harus ≤ 3%, (b) kedua bidang sambungan harus rata dan saling menepel satu sama lainnya, (c) kedua bidang sambungan harus bersih dari kotoran dan minyak.

Menurut Misdarti (2004), perbedaan macam perekat tidak berpengaruh besar terhadap sifat fisis dan mekanis bambu laminasi yang dibuat dari bilah bambu hitam dan bambu parring. Bambu laminasi dengan menggunakan lem epoxy cenderung memiliki nilai MOE dan keteguhan rekat yang lebih baik dibanding lem fox dan lem tiger. Efisiensi perekatan terbesar terjadi pada bambu laminasi parring dengan lem epoxy seperti pada Tabel 3.

Tabel 3: Pengaruh jenis perekat terhadap kekuatan bambu lapis (bersambung)

Sifat/jenis bambu	Kontrol (sebelum dilaminasi)	Macam perekat		
		Fox	Tiger	Epoxy
Kadar air(%):				
Bambu Hitam	9.95	9.38	11.39	9.28
Bambu Parring	10.00	9.26	9.78	9.53
Kerapatan (g/cm2):				
Bambu Hitam	0.66	0.60	0.56	0.55
Bambu Parring	0.66	0.69	0.66	0.68
Modulus elastisitas/*MOE* (kg/cm2) :				
Bambu Hitam	4287.71	1394.12	1324.89	1606.86
Bambu Parring	4366.63	1747.31	1512.50	1815.93

Tabel 3: Pengaruh jenis perekat terhadap kekuatan bambu lapis (sambungan)

Sifat/jenis bambu	Kontrol (sebelum dilaminasi)	Macam perekat		
		Fox	Tiger	Epoxy
Modulus patah/*MOR* (kg/cm2):				
Bambu Hitam	1253.92	820.48	731.50	808.86
Bambu Parring	1359.41	828.46	859.38	843.60

Keteguhan rekat(kg/cm2) :				
Bambu Hitam	-	81.80	69.78	70.42
Bambu Parring	-	117.85	112.89	121.25
Efisiensi perekatan(%) :				
Bambu Hitam	-	32.51	30.90	37.48
Bambu Parring	-	40.02	34.64	41.59

1) Rata-rata ulangan *(Average of 3 replications)*. Sumber: Misdarti (2004)

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan bambu dari Sumedang dan dilanjutkan dengan pengawetan, pengepresan, pembuatan elemen, pengujian elemen, pembuatan rangka atap, dan pengujian beban.

Pengambilan dan Pengolahan Sampel

Sampelbambu yang diambil adalah bambu betungdari Sumedang karena memiliki keunggulan dalam sifat fisis dan mekanis dibandingkan dengan jenis lain. Pertama bambu dibersihkan, selanjutnya dibelah dengan mesin pemotong dengan lebar 25-30 mm, kemudian bambu direndam selama 1-2 minggu untuk menghilangkan kadar patinya. Bambu dijemur supaya kadar airnya mencapai ≤15%, setelah kering bambu diketam dengan menggunakan mesin, supaya bambu hasil pembelahan memiliki tebal yang sama. Setelah itu bilah bambu tadi dilapisi perekat berupa lem kayu, disusun sampai membentuk balok, kemudian dikempal dan diikat, supaya bilah bambu merekat kuat satu dengan yang lainnya. Setelah pengeringan sekitar 24 jam, bambu lapis siap digunakan.

Uji Propertis Material

Pengujian properti material meliputi kuat tarik dan tekan sejajar serat, berat jenis dan kadar air. Untuk kadar air dihitung sebagai prosentase perbandingan berat air dalam bambu dengan berat kering. Pengujian ini memberikan hasil seperti pada Tabel 4.

Tabel 4: Data hasil pengujian propertis material

Jenis Pengujian	Nilai	Standar
Kuat tarik sejajar serat dengan buku (nodia)	191.91 MPa	SNI 03-3399-1994
Kuat tekan sejajar serat dengan buku (nodia)	32.50 MPa	SNI 03-3958-1995
Berat jenis	0.687 MPa	SNI 03-6844-2002
Kadar Air	15%	SNI 03-6850-2002

Perancangan Benda Uji

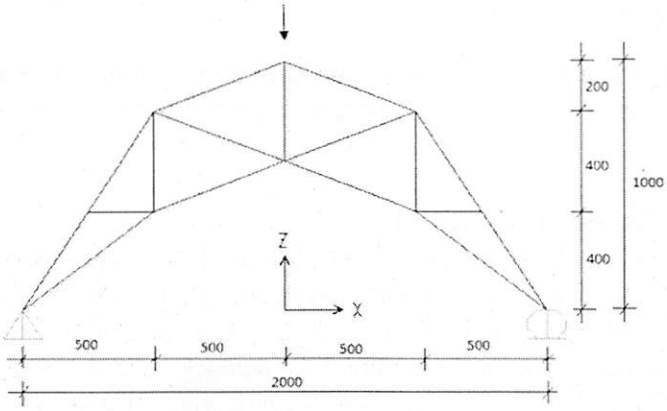
Studi eksperimental rangka atap dilakukan pada material bambu dan kayu saja. Rangka dirancang dibuat dalam sub-skala benda uji dengan perencanaan sebagai berikut.

a. Rangka yang dirancang berupa atap berbentuk busur (Gambar 2). Pemilihan model rangka berdasarkan dari segi kenyamanan dengan memberikan ruang udara bebas yang lebih luas di bagian dalam selain juga dari segi keindahan bentuk.
b. Bentang 2000 mm, tinggi 1000 mm, dimensi penampang 40x60 mm.
c. Jenis perekat yang digunakan adalah lem putih, merek Fox.
d. Sambungan menggunakan plat buhul dan pasak dengan lem, pasak berasal dari material sejenis untuk rangka dari bambu, sementara plat buhul untuk rangka dari kayu menggunakan multiplek dan lem dengan pasak dari kayu borneo.

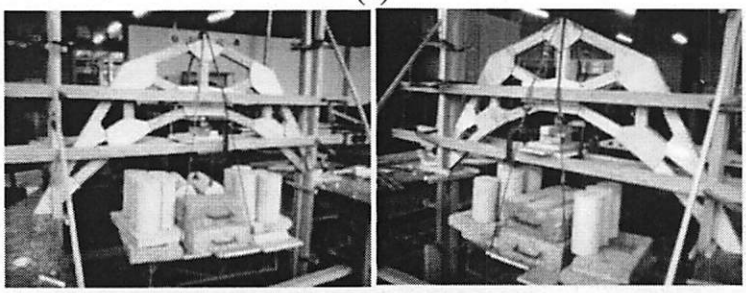
e. Tebal plat buhul yang direncanakan ialah 6mm, kemudian dilakukan perhitungan sambungan dan pelat buhul.

Pengujian Rangka Atap

Pengujian dilakukan dengan memberikan beban tekan di puncak rangka secara bertahap sampai beban maksimum sebesar 333kg.Pembebanan dilakukan pada rangka atap bambu lapis dan kayu Borneo. (Gambar 2)



(a)

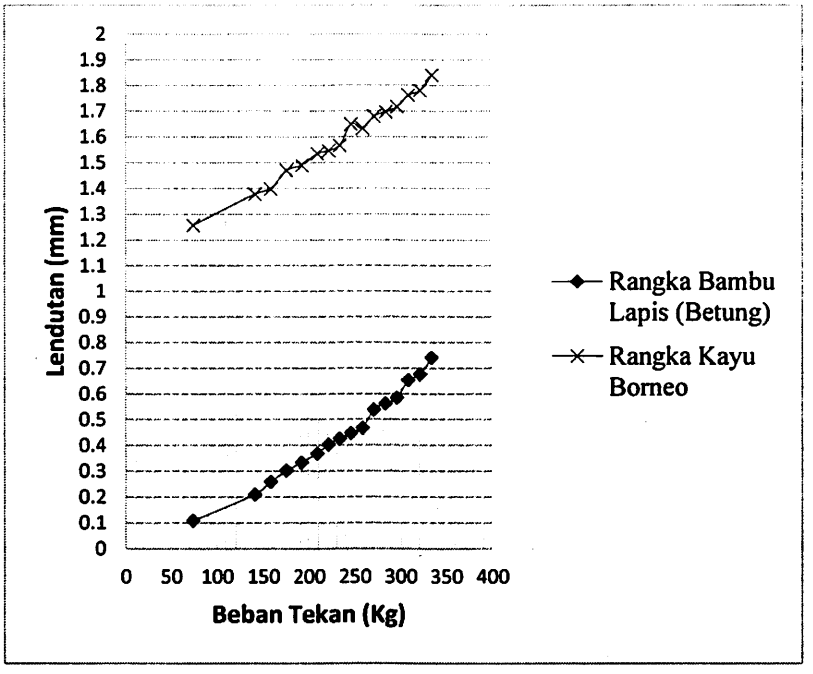


(b) (c)

Gambar 2. Pembebanan rangka atap
(a) Rencana pemodelan dan pembebanan rangka (b) Bambu lapis; (c)Kayu Borneo

4. HASIL DAN DISKUSI

Hasil pengujian ditunjukkan dalam Gambar 3 dimana terlihat jelas rangka bermaterial bambu lapis memberikan kekakuan yang besar dibandingkan dengan material kayu Borneo. Dengan demikian bambu juga akan dapat digunakan untuk bentang yang lebih besar dibandingkan dengan kayu Borneo.



Gambar 3. Grafik perbandingan nilai lendutan rangka

5. KESIMPULAN

Pengujian propertis material mendapatkan nilai kuat tarik sejajar serat, kuat tekan sejajar serat, berat jenis serat dapat dihitung nilai modulus elastisitas bambu lapis jenis bambu Betung sebagai berikut:Kuat tarik sejajar serat (f_t)= 191,9 MPa, Kuat tekan sejajar serat (f_c) = 32,5 MPa, Modulus elastisitas (Moe) = 13 117,2 MPa, Berat jenis (G)= 0,687.

Pengujian rangka atap dengan tumpuan sendi-roll dilakukan pada material bambu jenis Bambu Betung dan kayu jenis Kayu Borneo, dengan dilakukan pembebanan hingga beban 333 kg, dengan besar penurunan (defleksi) pada beban maksimum sebagai berikut: bambu lapis = 0,742 mm dan kayu borneo= 1,841 mm.

Kekuatan rangka atap material kayu Borneo berdasarkan nilai defleksi masing-masing rangka adalah 40,3% dari kekuatan rangka atap bambu lapis.Dari angka persentase tersebut menunjukan rangka atap bambu lapis lebih unggul dari rangka atap kayu Borneo dalam aspek kekuatan.Analisa menunjukan bahwa bambu layak digunakan sebagai alternatif material struktur untuk rangka atap yang memiliki keunggulan ramah lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

1. Fadli, Tengku Muhammad. 2006. *Sifat Fisis dan Mekanis Bambu Lapis Dari Bambu Andong (GigantochloaVerticillata (Willd.)Munro)*. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
2. Krisdianto, Ginuk Sumarni & Agus Ismanto. 2007. *Sari Hasil Penelitian Bambu.* www.dephut.go.id/INFORMASI/litbang/teliti/bambu.htm [2 Februari 2012].

3. Misdarti, 2004.*Kualitas Hasil Bambu Laminasi Asal Kabupaten Toraja, Sulawesi Selatan.*http://ebookbrowse.com/kualitas-hasil-bambu-laminasi-asal-kabupaten-toraja-sulawesi-selatan-pdf-d226199991 [7 April 2012].
4. PEDC. 1982. *Pedomen Konstruksi Kayu.* Bandung: Polytechnic Education Development Center (PEDC).
5. SNI 03-xxxx-2000. *Tata Cara Perencanaan Struktur Kayu untuk Bangunan Gedung.*
6. SNI 03-3958-1995. *Metode Pengujian Kuat Tekan Kayu.*
7. SNI 03-3399-1994. *Metode Pengujian Kuat Tarik Kayu.*
8. SNI 03-6844-2002. *Metode Pengujian Berat Jenis Kayu dan Bahan Dari Kayu.*
9. SNI 03-6850-2002. *Metode Pengujian Kadar Air Kayu.*
10. Sulistyowati, C.Any. 1996. *Pengawetan Bambu.* Teknologi WACANA vol.5(6) . p 11-13.
11. Yap, Felix. 1983. *Bambu Sebagai Bahan Bangunan.* Bandung: Departeman Pekerjaan Umum.
12. FWI/GFW.2001. Keadaan Hutan Indonesia. Bogor, Indonesia: Forest Watch Indonesia dan Washington D.C.: Global Forest Watch.

Keterangan yang didasarkan pada SNI 03-xxxx-2000.

Z_u = tahanan perlu terfaktor; Z = asumsi tahanan lateral acuan
λ = faktor waktu (Tabel 4.3-2,); Φ_z= faktor reduksi (Tabel 4.3.2)
C_M = faktor koreksi layan basah (Tabel 1, Lampiran B)
C_t = faktor koreksi temperatur (Tabel 2, Lampiran B)
C_g = faktor koreksi aksi kelompok; C_Δ= faktor koreksi geometri (Tabel 10.5.4.2)
n_f = jumlah total pengencang dalam sambungan
Pe = tahanan tekuk kritis (Euler) pada arah yang ditinjau, N
Po = tahanan tekan aksial terkoreksi sejajar serat pada kelangsingan batang = 0, N
C = 0,90 untuk glulam (kayu laminasi struktural) dan kayu komposit struktural (Butir 7.3.2)
K_e = faktor panjang tekuk untuk komponen tekan (Butir 7.2.1)
φc = faktor tahanan tekan = 0,90; φs = faktor tahanan stabilitas = 0,85 (Butir 7.3.2)
*Fc** = kuat tekan terkoreksi sejajar serat (setelah dikalikan semua faktor koreksi kecuali, *CP*), N
E05' = nilai modulus elastis lentur terkoreksi pada persentil ke lima, MPa
KV_E = koefisien variasi nilai *Ew*, yaitu penyimpangan deviasi standar *Ew* dibagi dengan nilai rerata *Ew*. Diasumsikan nilainya sebesar 0.25
F_t = kuat tarik sejajar serat terkoreksi
C_F = faktor koreksi ukuran; C_P = faktor kestabilan kolom
Pu = gaya tekan terfaktor, N; P' = tahanan tekan terkoreksi
Φc = faktor tahanan tekan sejajar serat; Φt = faktor tahanan tarik sejajar serat (Butir 6.1.2)
L = panjang bentang
Tu = gaya tarik terfaktor, N; T' = tahanan tarik terkoreksi

PENGARUH KUAT TEKAN BETON NORMAL AKIBAT SUBSTITUSI PARTIAL *FLY ASH* DAN BUBUK BATA MERAH TERHADAP SEMEN

Ambar Susanto[1], Heri Kasyanto[2], Andri Budiadi[3]

[1]*Dosen Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Bandung, Jl. Gegerkalong Hilir, Ds. Ciwaruga Po.Box. 6468-BDCD-Bandung, Telp. (022) 201 6150, email: ambar_s_1903@yahoo.co.id*
[2]*Dosen Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Bandung, Jl. Gegerkalong Hilir, Ds. Ciwaruga Po.Box. 6468-BDCD-Bandung, Telp.(022) 201 6150, email: kasyanto_heri@yahoo.com*
[3]*Dosen Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Bandung, Jl. Gegerkalong Hilir, Ds. Ciwaruga Po.Box. 6468-BDCD-Bandung, Telp.(022) 201 6150, email : andri.budiadi@yahoo.com*

ABSTRAK

Sampai saat ini, penggunaan material beton dalam konstruksi bangunan sipil masih dominan jika dibandingkan dengan material lain. Penggunaan beton secara tidak langsung meningkatkan penggunaan semen. Semen merupakan salah satu material campuran beton, yang dalam proses produksinya mempunyai dampak terhadap lingkungan. Salah satu dampaknya adalah gas karbon dioksida yang dihasilkan dari proses produksi semen. Untuk itu sudah saatnya mengganti atau mengurangi penggunaan semen dengan bahan lain dalam material beton. Bentuk pengurangan penggunaan semen, salah satunya adalah dengan mensubstitusi bahan *fly ash* dan bubuk bata merah terhadap berat semen. Dari subtitusi tersebut diharapkan dapat menghasilkan kuat tekan beton normal sesuai rencana.
Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui proporsi yang optimum pengurangan semen dalam campuran beton dengan mengganti material *fly ash* dan bubuk bata merah. Parameter yang digunakan untuk menentukan proporsi yang optimum dalam penelitian ini adalah hasil pengujian kuat tekan beton. Pengurangan semen dalam setiap campuran beton mencapai 30% dengan penggantinya secara berurutan kombinasi *fly ash* (0%, 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30%) dengan bubuk bata merah (30%, 25%, 20%, 15%, 10%, 5%, 0%). Umur beton yang akan diuji dalam penelitian ini antara lain 3 hari, 7 hari, 14 hari, 28 hari dan 56 hari.
Substitusi partial *fly ash* dan bubuk bata merah terhadap berat semen pada campuran beton normal (fc'= 25 MPa) menghasilkan kuat tekan beton optimum pada campuran 20% *fly ash* dan 10% bubuk bata merah, dengan kuat tekan beton pada umur 56 hari 28,80 MPa. Pada umur 56 hari semua tipe benda uji mempunyai kuat tekan melebihi kuat tekan beton rencana, kecuali benda uji dengan kombinasi 0% *fly ash* dan 30% bubuk bata merah, dan kombinasi 10% *fly ash* dan 20% bubuk bata merah, yang berturut-turut mempunyai kuat tekan beton sebesar 24,67 MPa dan 23,60 Mpa.

Kata Kunci : semen, *fly ash*, bubuk bata merah, kuat tekan

1. PENDAHULUAN

Secara umum beton merupakan material komposit yang terdiri dari semen, agregat kasar, agregat halus, air dan dapat dengan atau tanpa bahan tambah (*additive*) lainnya. Air dan semen akan membentuk pasta untuk mengisi rongga – rongga yang terjadi antara agregat halus dan agregat kasar. Adapun penggunaan bahan tambah (*additive*) ditinjau berdasarkan dari fungsi material beton yang akan digunakan pada struktur bangunan.
Pemakaian atau penggunaan material beton pada struktur bangunan sipil sampai saat ini masih sangat dominan, hal ini dikarenakan material pembentuk beton yaitu semen *portland* lebih mudah didapatkan dan mudah dalam pelaksanaannya. Seiring dengan semakin banyaknya penggunaan bahan bangunan beton pada proses pembangunan akan

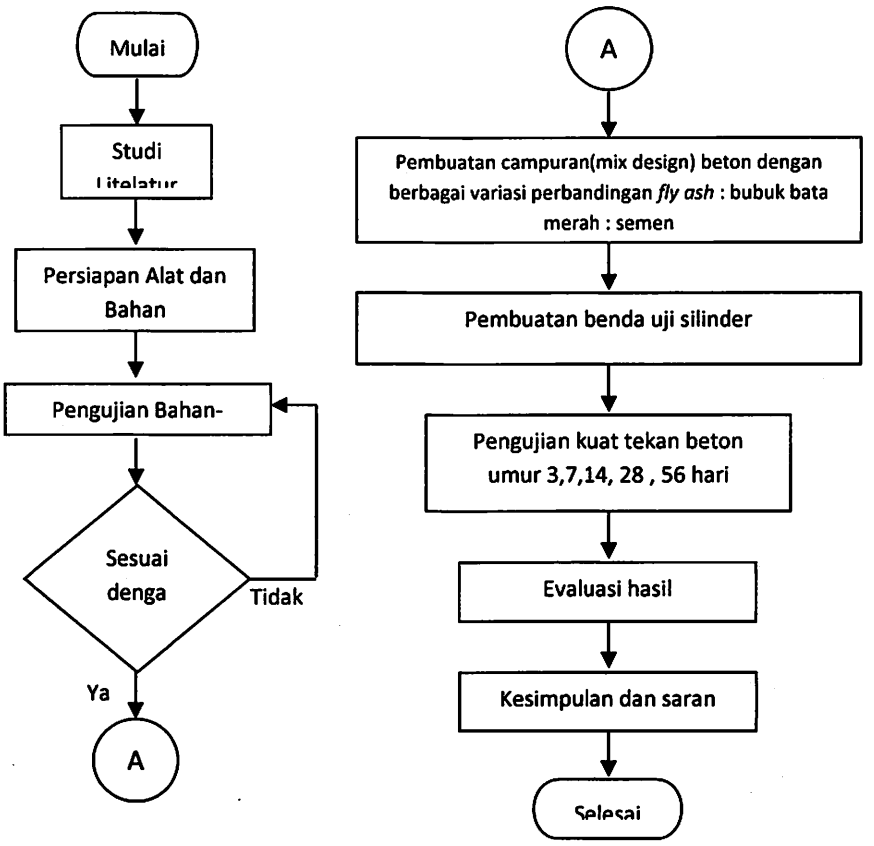
berdampak pada penggunaan semen *portland* dalam jumlah yang relatif besar. Meningkatnya penggunaan semen *portland* akan meningkatkan pula produksi semen *portland.* Dalam proses produksi semen *portland* terdapat dampak lain terhadap lingkungan yaitu berupa gas karbon dioksida yang dilepaskan ke atmosfer. Untuk itu diperlukan usaha-usaha untuk mengurangi penggunaan semen *Portland,* salah satunya yaitu dengan mensubstitusi *fly ash* dan bubuk bata merah terhadap semen pada beton. *Fly ash* yang merupakan produk sampingan dari proses pembakaran batu bara pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap merupakan salah satu contoh bahan yang dapat digunakan sebagai substitusi pada pembuatan beton karena secara fisik berbentuk bubuk halus dengan distribusi diameternya berkisar antara 0,3 – 20 μm [4].
Subtitusi *fly ash* dan bubuk bata merah terhadap semen pada beton diharapkan dapat menghasilkan kuat tekan sesuai rencana, sehingga dapat menjadi material alternatif yang dalam mengurangi penggunaan material semen.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Dari penelitian yang sudah dilakukan, menunjukkan bahwa *fly ash* selain berfungsi sebagai bahan pengikat alternatif juga dapat berfungsi bahan pengisi (*filler*). Sebagai bahan pengikat, keberadaan *fly ash* dapat meningkatkan kuat tekan mortar sedangkan sebagai bahan pengisi *fly ash* dapat mengurangi serapan air pada mortar [2].
Bubuk bata merah merupakan salah satu bahan pozolanik yang dihasilkan dari proses penggilingan (penumbukan) bata merah, dapat berfungsi sebagai pengganti sebagian dari semen *portland* apabila angka kehalusan dari bubuk bata merah sama dengan atau lebih halus dari ukuran butir semen. Dengan mensubstitusikan bubuk batu bata merah sebesar 5% terhadap perbandingan berat untuk adukan mortar dengan perbandingan 1 PC: 3 Pasir akan dihasilkan kualitas adukan mortar yang baik dengan besarnya kuat tekan pada umur 28 hari sebesar 13,7 MPa [6].
Berdasarkan penelitian tentang *fly ash* dan bubuk bata merah yang difungsikan sebagai bahan pengikat pada material mortar maka dalam kesempatan ini penulis mencoba melakukan penelitian dengan mengkombinasikan dua metarial tersebut untuk mengurangi semen dalam campuran beton.

3. METODE PENELITIAN

Secara garis besar alur penelitian untuk mendapatkan kuat tekan beton yang optimal dengan mensubstitusikan partial *fly ash* dan bubuk bata merah terhadap semen dapat digambarkan dalam diagram alir pada Gambar 1 sebagai berikut :



Gambar 1 Diagram alir penelitian

Mix Design Beton

Untuk mendapatkan hasil yang optimum dari substitusi *fly ash* dan bubuk bata merah terhadap semen pada campuran beton normal digunakan asumsi % pensubstitusian ke dua bahan tersebut seperti pada Tabel 1 berikut ini.

Tabel 1 : Mix design beton

Type Benda Uji	Bahan Substitusi		Keterangan
	Fly Ash	Bubuk Bata Bata	
A	-	-	Tanpa substitusi
B	-	30 %	
C	5%	25%	
D	10%	20%	
E	15%	15%	% substitusi terhadap berat semen
F	20%	10%	
G	25%	5%	
H	30 %	-	

Pembuatan Benda Uji

Jumlah dan ukuran benda uji yang akan digunakan pada penelitian ini seperti pada Tabel 2 berikut ini.

Tabel 2 : Benda Uji

Type Benda Uji	Bahan Substitusi		Ukuran Benda Uji Silinder (mm)	Jumlah Benda Uji (buah)
	Fly Ash	Bubuk Bata Merah		
A	-	-	150 X 300	15
B	-	30%	150 X 300	15
C	5%	25%	150 X 300	15
D	10%	20%	150 X 300	15
E	15%	15%	150 X 300	15
F	20%	10%	150 X 300	15
G	25%	5%	150 X 300	15
H	30%	-	150 X 300	15

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Perhitungan kebutuhan bahan adukan beton

Sebagai dasar dalam pembuatan adukan beton digunakan metode ACI [1]. Adapun komposisi campuran bahan yang digunakan untuk 1 m^3 pengadukan sebelum dilakukan koreksi kadar air seperti pada Tabel 3.

Tabel 3 : Komposisi campuran beton normal (sebelum dilakukan koreksi kadar air lapangan)

Bahan	1 m3	1x Mengaduk	Satuan
Semen	336,066	30,75	Kg
Agregat Halus	749,974	68,61	Kg
Agregat Kasar	857,519	78,45	Kg
Air	205,000	18,75	Kg
Total	2148,559	196,56	Kg

Dari Tabel 3 di atas kemudian dilakukan substitusi partial *fly ash* dan bubuk bata merah terhadap berat semen dengan % dari masing-masing bahan substitusi sesuai Tabel 1, sehingga dihasilkan komposisi campuran bahan beton seperti pada Tabel 4.

Tabel 4 : Komposisi campuran bahan yang digunakan untuk 1 kali pengadukan (setelah dilakukan koreksi kadar air lapangan)

Tipe Benda Uji	Semen	*Fly Ash* (FA)	Bubuk Bata Merah (BM)	Agregat Halus	Agregat Kasar	Air	Total
Tipe A (0% FA + 0% BM)	30,75	0,00	0,00	74,48	80,65	18,85	204,724
Tipe B (0% FA + 30% BM)	21,52	0,00	9,22	74,01	80,41	19,56	204,724
Tipe C (5% FA + 25% BM)	21,52	1,54	7,69	74,31	81,30	18,37	204,724
Tipe D (10% FA + 20% BM)	21,52	3,07	6,15	74,45	81,03	18,49	204,724
Tipe E (15% FA + 15% BM)	21,52	4,61	4,61	77,93	80,20	15,85	204,724
Tipe F (20% FA + 10% BM)	21,52	6,15	3,07	76,25	80,19	17,54	204,724
Tipe G (25% FA + 5% BM)	21,52	7,69	1,54	74,05	80,61	19,32	204,724
Tipe H (30% FA+ 0% BM)	21,52	9,22	0,00	75,52	80,57	17,89	204,724

Penggunaan air pada adukan beton yang tercantum pada Tabel 4 didasarkan pada hasil uji slump dari masing-masing benda uji benilai 7,5 cm, sehingga ada penambahan atau pengurangan air dari yang direncanakan untuk mencapai nilai uji slump yang

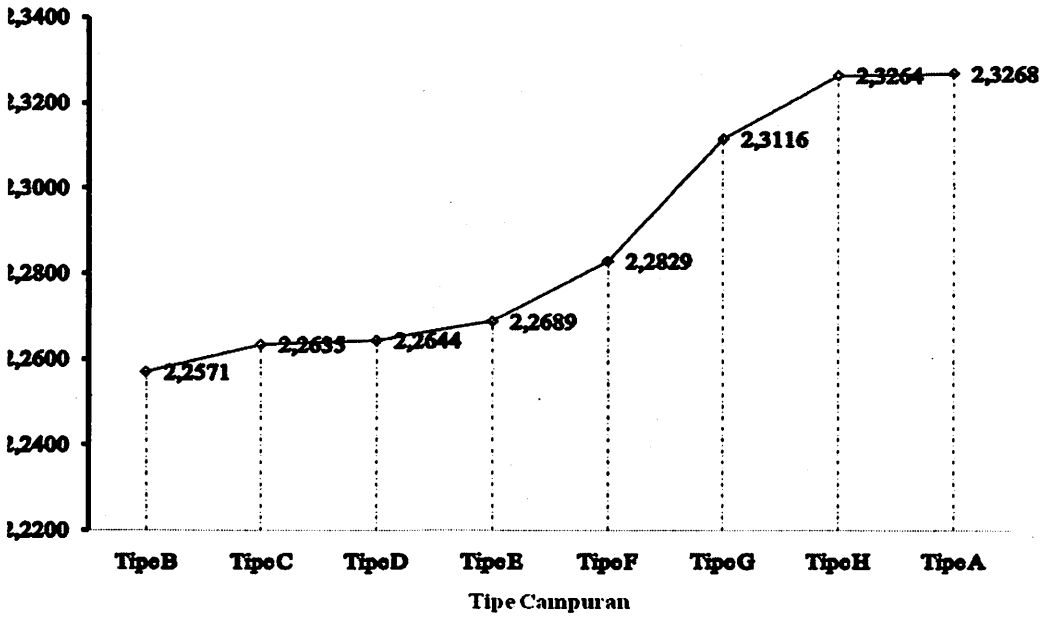
ditentukan. Hal ini dikarenakan *fly ash* dan bubuk bata merah mempunyai penyerapan yang lebih besar dari pada semen.

Pengujian Bobot Isi Beton Segar

Pengujian bobot isi dari beton segar dari setiap benda uji dilakukan 1 kali untuk tiap pengadukan. Hasil pengujian bobot isi dapat dilihat pada Tabel 5, grafik dapat dilihat pada Gambar 2.

Tabel 5 : Hasil Pengujian Bobot Isi Beton Segar

Tipe Benda Uji	Berat Wadah + beton segar (gr)	Berat Wadah (gr)	Volume Wadah (cm^3)	Berat/Volume Beton Segar aktual (gr/cm^3)
	A	B	C	A - B/C
Tipe A	21255,2	4700	7115	2,3268
Tipe B	20759,0	4700	7115	2,2571
Tipe C	20804,7	4700	7115	2,2635
Tipe D	20811,2	4700	7115	2,2644
Tipe E	20843,0	4700	7115	2,2689
Tipe F	20942,8	4700	7115	2,2829
Tipe G	21146,8	4700	7115	2,3116
Tipe H	21252,2	4700	7115	2,3264



Gambar 2 Grafik Hasil Pengujian Bobot Isi Beton Segar

Berdasarkan Tabel 5 dan Gambar 2 beton dengan semen murni mempunyai bobot isi paling tinggi, sedangkan tipe B sampai H grafik yang ditunjukan meningkat, yang artinya semakin banyak *fly ash* dan semakin sedikit bubuk bata merah maka bobot isi semakin besar. Hal ini juga menunjukan bahwa berat jenis semen lebih besar dari pada berat jenis *fly ash* [5], sedangkan berat jenis *fly ash* lebih besar dari pada berat jenis bubuk bata merah [6].

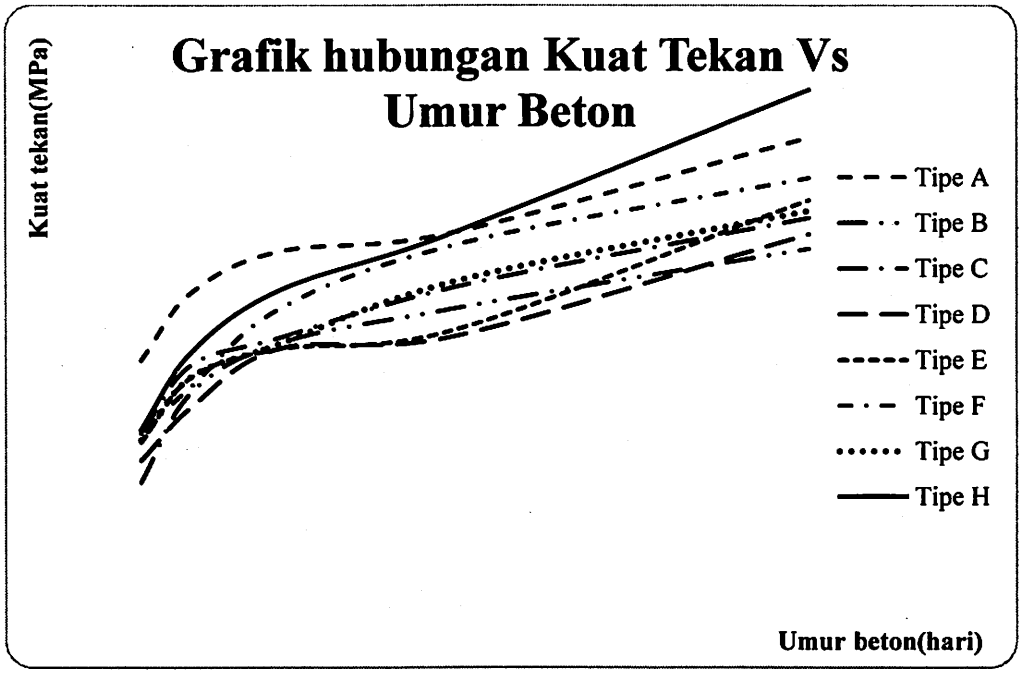
Pengujian Kuat Tekan Beton

Untuk mendapatkan besarnya kuat tekan beton dari masing-masing type benda uji (type A – type H) pada umur beton 3, 7, 14, 28 dan 56 dilakukan pengujian dengan standar pengujian ASTM C 39 -86, "Standart Test Method of Compression Concrete Specimens" [3]. Sebelum dilakukan proses pemberian beban dengan mesin tekan, terlebih dahulu dilakukan pengukuran dimensi dan penimbangan benda uji. Pengukuran yang dilakukan yaitu meliputi diameter dan tinggi benda uji. Hasil pengujian kuat tekan beton pada umur 3, 7 dan 14,28 dan 56 hari seperti pada Tabel 6 dan Gambar 3.

Tabel 6 Hasil Uji Kuat Tekan Beton Pada Umur 3,7,14,28 dan 56 Hari

Type Benda Uji	Kuat Tekan Beton(MPa)				
	Umur 3 hari	Umur 7 hari	Umur 14 hari	Umur 28 hari	Umur 56 hari
Type A	15,48	20,43	23,44	24,83	31,77
Type B	6,53	13,15	16,75	19,28	23,60
Type C	10,11	15,16	17,14	20,85	25,87
Type D	8,13	12,07	16,36	17,26	24,67
Type E	9,48	14,26	16,32	17,72	27,17
Type F	10,29	13,56	19,27	23,92	28,80
Type G	9,65	14,29	16,68	21,27	26,38
Type H	10,43	16,08	20,62	24,86	35,29

Berdasarkan Tabel 6 di atas dapat dibuatkan grafik hubungan kuat tekan yang terjadi dengan umur beton 3,7,14,28 dan 56 hari seperti pada Gambar 3.



Gambar 3 Grafik Kuat Tekan Beton Pada Umur 3,7,14,28 dan 56 Hari

Berdasarkan Tabel 6 dan Gambar 3 di atas, pada umur 28 hari kuat beton dari masing-masing type tidak ada yang mencapai nilai kuat tekan beton rencana 25 MPa, baik

dengan semen normal maupun semen yang disubtitusi oleh *fly ash* dan bubuk bata merah. Pada umur 28 hari nilai terbesar hanya sebesar 24,86 MPa (untuk tipe H) dan untuk beton menggunakan semen *portland* (tipe A) sebesar 24,83 MPa.
Adapun pada umur 56 hari kuat tekan beton yang terjadi pada campuran beton normal dan campuran beton substitusi partial *fly ash* dan bubuk bata merah terhadap berat semen menghasilkan nilai kuat tekan yang melebihi kuat tekan beton normal rencana, kecuali pada benda uji Tipe B (subsitusi 30 % bubuk bata merah) dan benda uji Tipe D (substitusi 10 % *fly ash* dan 20 % bubuk bata merah).
Subtitusi partial 30% berat semen yang menghasilkan kuat tekan beton terbesar pada umur 56 hari adalah tipe H (subtitusi 30% *fly ash*) yaitu sebesar 35,29 MPa, dan kombinasi *fly ash* dan bubuk bata merah yang menghasilkan nilai kuat tekan terbesar pada umur 56 hari adalah tipe F (substitusi 20 % *fly ash* dan 10 % bubuk bata merah) yaitu 28,80 MPa.
Hal ini menunjukan bahwa beton pada umur 28 hari belum mencapai nilai kuat tekan maksimum dan beton mencapai kuat tekan rencana pada umur 56 hari. Kenaikan kuat tekan beton dari umur 28 hari ke umur 56 hari seperti pada Tabel 7 berikut ini.

Tabel 7 Persentase kenaikan kuat tekan beton

Benda uji	Kuat Tekan (MPa)		% kenaikan kuat tekan beton
	28 hari	56 hari	
Tipe A	24,83	31,77	21,83
Tipe B	19,28	23,60	18,29
Tipe C	20,85	25,87	19,41
Tipe D	17,26	24,67	30,03
Tipe E	17,72	27,17	34,78
Tipe F	23,92	28,80	16,95
Tipe G	21,27	26,38	19,34
Tipe H	24,86	35,29	29,58

Tabel 7 menunjukan kenaikan beton pada umur 56 hari dari umur 28 hari rata-rata sebesar 23,84%. Sehingga subtitusi parsial *fly ash* dan bubuk bata merah terhadap berat semen memperlambat proses pengerasan sampai mencapai kuat tekan rencana.

5. KESIMPULAN

Dari hasil pembahasan di atas dapat disimpulkan bahwa benda uji Tipe F yaitu substitusi parsial *fly ash* 20 % dan bubuk bata merah 10 % terhadap berat semen pada campuran beton normal, menghasilkan kuat tekan beton yang optimum sebesar 28,80 MPa pada umur 56 hari. Rata-rata kuat tekan beton pada umur 56 hari melebihi kuat tekan beton normal rencana, kecuali pada benda uji Tipe B (subsitusi 30 % bubuk bata merah) dan benda uji Tipe D (substitusi 10 % *fly ash* dan 20 % bubuk bata merah). Kuat tekan beton untuk kombinasi *fly ash* dan bubuk bata merah mencapai kuat tekan yang direncanakan pada umur 56 hari.

6. DAFTAR PUSTAKA

1. ACI 211.1-91, *Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete.*
2. Andoyo (2006), *Pengaruh Penggunaan Abu Terbang (Fly Ash) terhadap Kuat Tekan dan Serapan Air pada Mortar.* Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.
3. ASTM (1993), *Concrete and Agregat*, Anual Book of ASTM Standart, Vol.04.02.
4. Hanafiah (1996), *Persamaan Konstitutif Beton Kinerja Tinggi Dengan Abu Terbang Sebagai Substitusi Parsial Semen*, Disertasi, Teknik Sipil Institut Teknologi Bandung.
5. Kasyanto, H (2010), *Tinjauan Kuat Tekan Beton Normal Berbahan Dasar Fly Ash Dan Kapur Sebagai Bahan Alternatif Pengganti Semen,* Laporan Penelitian Pemula, Politeknik Negeri Bandung.
6. Nursyafril (2011), *Pengaruh Penggunaan Abu Batu Bata Terhadap Sifat Aduk Mortar*, Jurnal POTENSI,Vol.13, No.2, September 2011: 90-97.

VERTICAL VELOCITY PROFILE IMPROVEMENT OF OSCILLATORY BOUNDARY LAYER

Andi Rusdin [1]

[1]*Lecturer of Civil Engineering Department, Tadulako University, Jl. Soekarno-Hatta Km.9 Tondo Palu, Telp 0451-454014, Fax 0451-545014, email: andirusdin@untad.ac.id.*

ABSTRACT

Surface waves in shallow water induce oscillatory velocity boundary layer. The near bed velocity is essential to predict bed shear stress, sediment pick-up, and sediment flux. The wave oscillatory flow is also critical to evaluate pressure and force acting on submerged structures in wave fields. Near the bottom, the accuracy of velocity magnitude depends on how good the bed boundary layer estimated. This paper presents vertical two-dimensional simulation of oscillatory flow boundary layer. The aim of the study is to improve the numerical computation of the oscillatory boundary layer. Two dimensional RANS and k-ε turbulent closure model was used. Oscillatory boundary conditions were imposed at the both left and right boundaries. Two kind oscillatory velocity boundaries were compared to get a better result, namely a uniform vertical profile of sinusoidal type equation which is give constant value of vertical velocities from the bottom to the top of computational domain and an analytical solution of periodical velocity boundary layer profile by Lamb (1932). The governing equations are discretized by means of finite-difference method in the Cartesian staggered grid. The experiment results by Jensen et al. (1998) were employed to assess the accuracy of simulation results. It is found that the numerical method can simulate the oscillatory flow condition and the results of simulations shows that the analitical solution of periodical verical velocity profiles that impose at both sides of the computational domain give a better agreement with the experimental result in a short computational domain.

Key words: Oscillatory boundary layer and vertical velocity profile

1. INTODUCTION

Waves propagated on the water surface produce orbital velocities in the water below the waves. When the waves arrive in the shallow water, the orbital motions of water particles will be transform to horizontal displacements, in which the water particels move back and forward. This kind of water movement is classified as an oscillatory flow.

Near the bottom, bed roughness effects flow vertical distribution, which the velocity near the bottom relatively small and become larger as the position of horizontal velocity away from the bottom and the vertical velocity distribution forms a logarithmic vertical velocity profile near the bottom. The vertical variation of velocity from the bottom to the surface water that forms of vertical velocity profile is called velocity boundary layer. In a uniform stationary current in shallow water, the velocity profile is adapted to bottom friction and make a stationary profile. If the flow velocity always changes such as an oscillatory flow, the velocity profile will never be completely adapted with the bottom friction and only the layer of the water near the bottom will be influenced (Velden, 1995). The oscillatory bottom boundary layer plays a primary role in the wave-driven net sediment transport in wave fields (Dominic et al., 2011). The near bed velocity is essential to predict bed shear stress, sediment pick-up, and sediment flux. The wave oscillatory flow is also critical to evaluate pressures and wave forces acting on submerged structures put near the bottom.

The near bottom velocity accuracy depends on how good the bed boundary layer estimated. There are many research have been done to reveal the oscillatory boundary layer mechanisms like experimental work by Jensen et al. (1989). The experiment was an oscillatory boundary layer experiment for high Reynolds numbers. Another experiment was done by Dominic et al. (2011) which used a large flow tunnel to investigate of the skewness on oscillatory boundary layer flow over fixed beds. Similar with experimental study, some numerical studies also have been performed for oscillatory boundary problems. Bai et al. (2005) have done numerical study of turbulence on oscillatory bottom flow over a flat or rippled bed. They used two-dimensional Reynolds-averaged Navier Stokes (RANS) with anisotropic Reynolds stress transport model as the turbulent model. The numerical models of oscillatory boundary layer with an obstacle in the bottom of domain have been conducted by Yongho L. (2005) with finite element method to solve the Navier-Stokes equations. In the model, the obstacle was a half cylinder put in the middle of the domain and the model was run with a constant dynamic viscosity. Rusdin et al. (2007) used a quarter cylinder as an obstacle in an oscillatory flow fields model. They applied RANS model with k-ε turbulent closure model. The RANS with standard k-ε turbulent model is very popular for its simplicity, economy, and accuracy. However when modelling the oscillatory boundary layer, it is need a longer domain to get a realistic results of vertical velocity distribution especially near the bottom.
This study presents an improvement of vertical velocity profile of oscillatory boundary layer simulations of RANS model with standard k-ε turbulent closure model in short domains by applying an analytical solution of periodical velocity boundary profile by Lamb (1932) at the both sides of domain boundaries.

2. GOVERNING EQUATIONS

The model is based on the two-dimensional Reynolds-averaged Navier-Stokes (RANS) equations and k-ε turbulent model. In this study, the model uses a code that firstly constructed by Isobe et al. (1999) based on 2D-Navier-Stokes equations for incompressible Newtonian fluid. The continuity and momentum equations are written as follows:

$$\frac{\partial u}{\partial x}+\frac{\partial w}{\partial z}=0 \tag{1}$$

$$\frac{\partial u}{\partial t}+\frac{\partial uu}{\partial x}+\frac{\partial uw}{\partial z}=-\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial x}+\frac{\partial}{\partial x}\left\{\nu_e\left(2\frac{\partial u}{\partial x}\right)\right\}+\frac{\partial}{\partial z}\left\{\nu_e\frac{\partial u}{\partial z}+\frac{\partial w}{\partial x}\right\} \tag{2}$$

$$\frac{\partial u}{\partial t}+\frac{\partial uw}{\partial x}+\frac{\partial ww}{\partial z}=-\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial z}+\frac{\partial}{\partial x}\left\{\nu_e\frac{\partial w}{\partial x}+\frac{\partial u}{\partial z}\right\}+\frac{\partial}{\partial z}\left\{\nu_e\left(2\frac{\partial w}{\partial z}\right)\right\}-g \tag{3}$$

$$\nu_e=\nu+\nu_t \tag{4}$$

where t is time, x and z are the horizontal and vertical coordinates; u and w are the horizontal and vertical velocity components, p is the pressure, ρ is the density of fluid, ν is kinematic viscosity, ν_t is turbulent eddy viscosity, and g is gravity acceleration. If the flow is assumed as a closed conduit, the gravity acceleration can be neglected from the momentum equations.

The equations of the standard k-ε turbulent model were derived by Launder and Spalding (1974). This turbulent model consists of two transport equations to resolve the quantity of turbulent energy k and turbulent energy dissipation ε, as follows:

$$\frac{\partial k}{\partial t}+\frac{\partial uk}{\partial x}+\frac{\partial wk}{\partial y}=\frac{\partial}{\partial x}\left\{\nu_k\left(\frac{\partial k}{\partial x}\right)\right\}+\frac{\partial}{\partial z}\left\{\nu_k\left(\frac{\partial k}{\partial z}\right)\right\}+G_s-\varepsilon \tag{5}$$

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t}+\frac{\partial u\varepsilon}{\partial x}+\frac{\partial w\varepsilon}{\partial z}=\frac{\partial}{\partial x}\left\{\nu_\varepsilon\left(\frac{\partial \varepsilon}{\partial x}\right)\right\}+\frac{\partial}{\partial z}\left\{\nu_\varepsilon\left(\frac{\partial \varepsilon}{\partial z}\right)\right\}+C_1\frac{\varepsilon}{k}G_s-C_2\frac{\varepsilon^2}{k} \tag{6}$$

$$G_s=\nu_t\left\{2\left(\frac{\partial u}{\partial x}\right)^2+2\left(\frac{\partial w}{\partial z}\right)^2+\left(\frac{\partial w}{\partial x}+\frac{\partial u}{\partial z}\right)^2\right\} \tag{7}$$

$$\nu_t=\frac{C_\mu k^2}{\varepsilon} \tag{8}$$

$$\nu_k=\nu+\frac{\nu_t}{\sigma_k} \tag{9}$$

$$\nu_\varepsilon=\nu+\frac{\nu_t}{\sigma_\varepsilon} \tag{10}$$

where the value of the model coefficients are $C_\mu = 0.09$, $C_{\varepsilon 1} = 1.44$, $C_{\varepsilon 2} = 1.92$, $\sigma_k = 1.0$, $\sigma_\varepsilon = 1.3$.

3. SCHEMES SOLVER

The governing equations are discretized by means of the finite-difference method and written in the Cartesian-staggered grid based on a code developed by Isobe at al. (1999). The code uses the Simplified Marker and Cell method (:SMAC) to solve the Navier-Stokes equations (Amsdem A. A. and Harlow F. H., 1970)). In addition, the donor scheme is adopted to calculate the advection terms; the second-order central difference scheme is applied for the viscous terms; and the forward scheme is used for the pressure term. Time integration of these equations is resolved by using the explicit Euler method.

4. EXPERIMENTAL DATA

The model was tested for an oscillatory boundary layer case on the flat wall in order to see the capability in predicting the vertical profile of velocity above a tunnel bed. In this work, the data set of Test no. 10 from the experimental work of Jensen et al. (1989) was used. The data was smooth bed condition with a period $T = 9.72$ sec and $U_0 = 2.0$ m/sec. In their work, the experiments were performed in a U-shape oscillatory water tunnel with two vertical tubes. The oscillatory flow inside the tunnel was produced by an electronically controlled pneumatic system. The tunnel was 10 m long, 0.39 m wide, and 0.28 m deep and the measurement points were in the middle of the tunnel, (see Figure 1). The top and side walls were made from Perspex plates so that they were transparent and smooth. The smooth bed condition was created with PVC plates that were fixed rigidly to the bottom of the working space of the tunnel. The vertical profiles of velocity were measured with a laser Doppler anemometer (LDA) and were taken for 80 cycles. The average values of all cycles were set for every 15° interval.

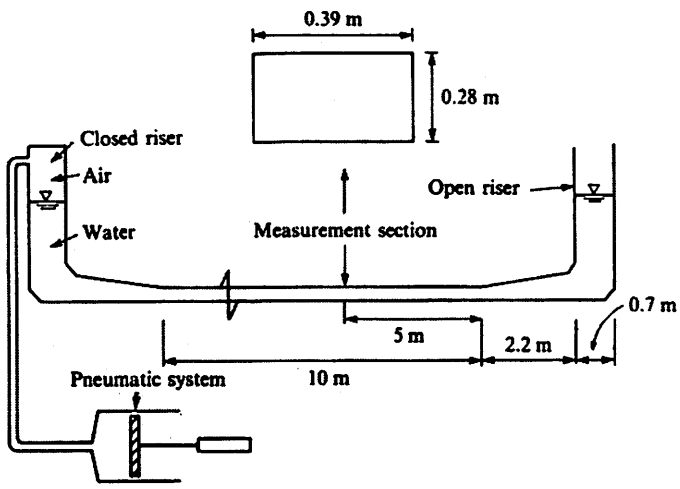


Figure 1. Schematic of the oscillatory boundary layer experiment by Jensen et al. (1989).

5. MODEL SET UP

In this simulation, the height of the computational domain was set only 1.0 m long and its height were set 0.14 m or a half of the tank height, see Figure 2. The first point is put 0.15 mm above the bottom, and then the grid size was expanded upward with the stretching criterion $0.9 \leq \Delta z_i/\Delta z_{i-1} \leq 1.1$ (Kimura I. and Hosoda T., 2003). The number of grids in the longitudinal direction was 26 and the vertical direction was 51. On the top boundary, the slip condition was used for the velocity and the condition of normal gradient equals zero was adopted for pressure, k, and ε. For the bottom boundary, a zero normal gradient was used to determine the pressure and the standard logarithmic law was applied for velocities. The standard logarithmic law can be written as follows:

$$\frac{u}{u_\tau} = \frac{1}{\kappa}\log\left(\frac{u_\tau z_o}{\nu}\right) + 5.5 \qquad (11)$$

$$\frac{\partial p}{\partial z} = 0 \tag{12}$$

where, u is stream wise velocity, u_τ is shear velocity, κ(=0.4) is the Von Karman's universal constant, z_o is the distance between a wall and the nearest point of the velocity from the wall. The k, and ε at the bed was determined by employed the wall function method which is written as follows:

$$k = \frac{(u_\tau)^2}{\sqrt{C_\mu}} \tag{13}$$

$$\varepsilon = \frac{(u_\tau)^3}{\kappa z_o} \tag{14}$$

In order to simulate an oscillatory flow condition, the periodical inflow was set at the right and the left boundaries. In this work, the length of the computational domain is quite short compared with the horizontal section of the oscillatory water tunnel. The reason of using a short computational domain is to save the computational time. In this research, the vertical profiles of velocity were only measured in a vertical line at the middle of the tunnel therefore the longer computational domain seems to be inefficient. However, it is potentially to have incorrect flow prediction inside the truncated computational domain due to imperfect assumption of the inflow boundary. In these cases, two types of vertical profile of oscillatory flow above rigid surface were adopted as the periodical inflow boundary conditions. The first type is a uniform vertical profile of a sinusoidal type equation and can be written as follows:

$$u_b(z,t) = U_0 \sin(\sigma t) \tag{15}$$

where,

$$\sigma = \frac{2\pi}{t} \tag{16}$$

u_b is velocity at the boundary and π is the circular constant. Another type of inflow boundary is a periodical boundary layer profile that is solved with an analytical solution by Lamb (1932). The periodical boundary condition can be defined as follows:

$$u_b(z,t) = U_0 \sin(\sigma t) - U_0 e^{-\beta z} \sin(\sigma t - \beta z) \tag{17}$$

$$\frac{\partial p}{\partial x} = -\rho\sigma \cos \sigma t \tag{18}$$

where

$$\beta = \sqrt{\frac{\sigma}{2\nu_t}} \tag{19}$$

The value of υ_t at the boundary is assumed to be 10 times υ, this value is specified based on previous research by Bosch and Rodi (1996 & 1998).

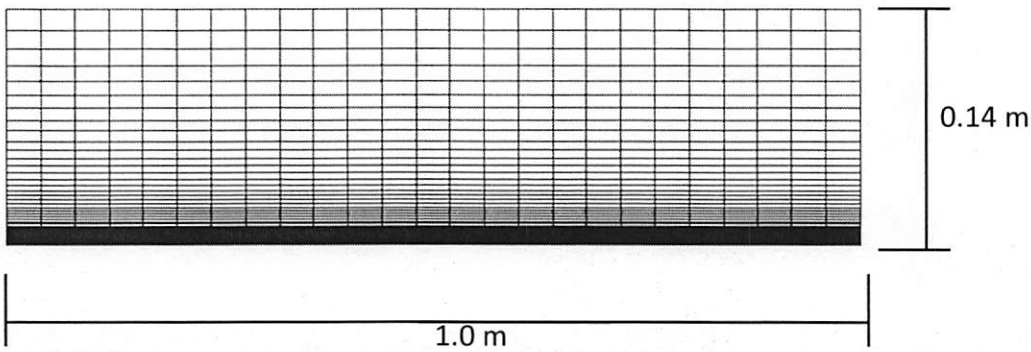


Figure 2. Staggered grid system for the oscillatory boundary layer simulation

6. RESULTS

In the simulation, the vertical profiles of the horizontal instantaneous velocity, u, in the middle of the domain were recorded for every 15 degrees of phase, namely (θ=) 0°, 15°, 30°, 45°, 60°, 75°, 90°, 105°, 120°, 135°, 150°, 165°, and 180°. Figure 3 shows the comparison of the experimental result with the simulation result that was computed with the uniform vertical profiles of periodical velocity at the left and the right boundaries and Figure 4 presents the comparison of the experiment result and the simulation result that was calculated with the periodical boundary layer profile as the inflow boundary conditions at the left and the right side of the computational domain. It is shown that, the results of the oscillatory boundary layer prediction, which were calculated with the periodical boundary layer profile equations at the inflow boundaries, are better than those computed with the uniform vertical profile of sinusoidal velocity at the inflow boundaries. From the figure, it can be indicated that the velocities near the bottom obtained from the model with periodical boundary layer profile of the inflow boundary conditions shows a good agreement with those of the experimental results

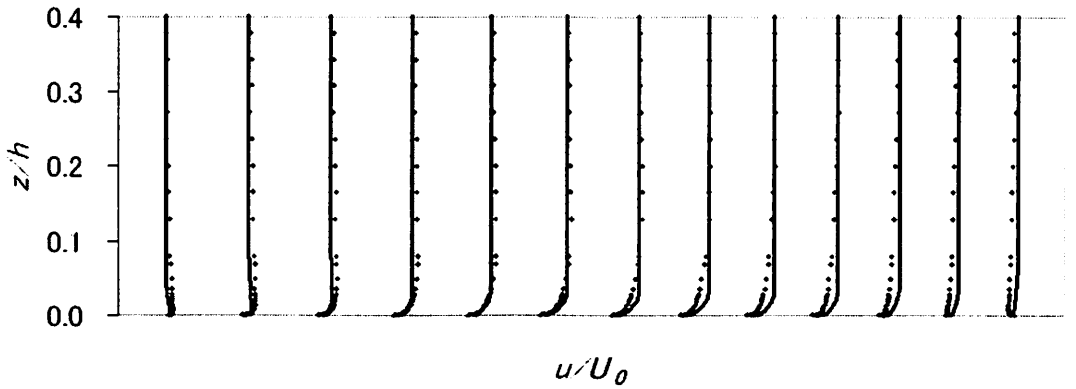


Figure 3. Comparison between experimental results (circles) and simulation results (solid lines). The simulation model use uniform vertical profile of sinusoidal velocity as the inflow boundary conditions.

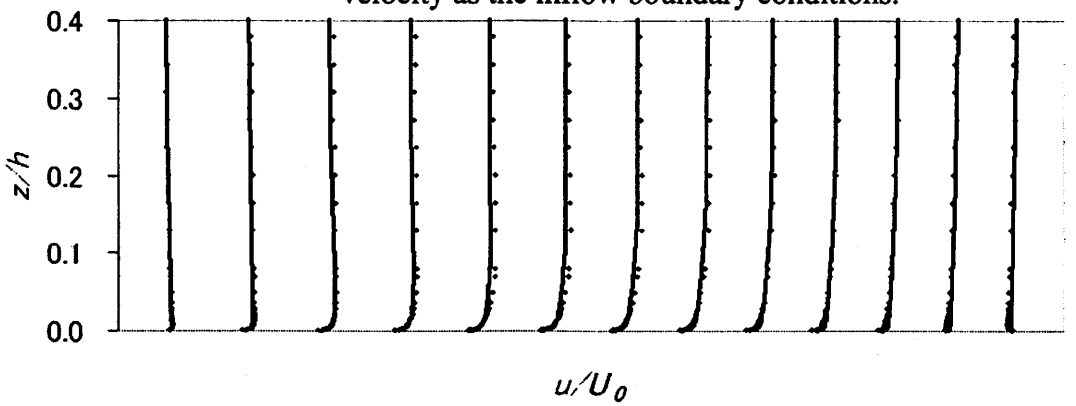


Figure 4. Comparison between experimental results (circles) and simulation results (solid lines). The simulation model use periodical boundary layer by Lamb (1932) as the inflow boundary conditions.

7. CONCLUSION

A numerical simulation to model oscillatory boundary layer in the short simulation domain have been done to improve vertical velovity distribution of oscillatory boundary layer. According to the comparison betwen experiment and simulation result, the model can predict the vertical velocity profile above the smooth bed quite well when an analytical solution vertical profile of periodic flow was employed for the side boundary conditions. The results with the analytical solution vertical profile of periodic flow shows significant improvement compared to that with the constant vertical oscillatory velocity profile conditions.

8. REFERENCES

1. Amsdem A. A. and Harlow F. H., (1970). A simplified MAC technique for incompressible fluid flow calculations, *J. of Computational Physics*, 6, pp-322-325.

2. BAI Y., NG Chiu O., and HUANG T. (2006). A numerical study on the structure and dynamics of turbulence in oscillatory bottom layer flow over a flat or rippled bed. *China Ocean Engineering*, Vol. 20 , No. 1 , pp. 45 – 60.
3. Bosch G. and Rodi W., (1996). Simulation of vortex shedding past a square cylinder near a wall, *Int. J. Heat and Fluid Flow*, 17, pp267-275.
4. Bosch G., and Rodi W., (1998). Simulation of vortex shedding past a square cylinder with different turbulence models, *Int, J. Numer. Math. Fluids*, 28, pp-601–616.
5. Dominic A. A., O'Donoghue T., Davies A. G.,and Ribberink J. S., (2011). Experimental study of the turbulent boundary layer in acceleration-skewed oscillatory flow. *J. Fluid Mech.*, vol. 684, pp. 251_283.
6. Isobe M., Takahashi S., Yu S. P., Sakakiyama T., Fujima K., Kawasaki K., Jiang Q., Akiyama M., and Oyama H., (1999). Interim report on development of numerical wave flume for maritime structure design, *Proc. Civil Eng. in the Ocean, JSCE*, Vol.15, pp321-326. (in Japanese).
7. Jensen, B. L., Sumer B. M., and Fredsøe J. (1989). Turbulent oscillatory boundary layers at high Reynolds number, *J. Fluid Mech.*, vol. 206, pp.265-297.
8. Kimura I. and Hosoda T., (2003). A non-linear k–ε model with realizabilityf for prediction of flows around bluff bodies, *Int. J. Numer. Meth. Fluids*, 42, pp.813–837.
9. Lamb S.H., (1932). Hydrodynamics. 6th Edition, CAMBRIDGE, pp.622-623.
10. Launder B.E. and Spalding D.B., (1974). The Numerical computation of turbulent flow, *Comput. Methods Appl. Mech. Eng.*, 3, 269.
11. Rusdin, A., Oshikawa, H., Hashimoto, A., and Komatsu, T., (2007). Numerical Simulations of Oscillatory Flow around a Submerged Asymmetrical Structure. *Proc. 5th International Symposium on Earth Science and Technology*, Fukuoka, Japan, Kyushu University.
12. Velden, E. T. J. M., (1995). Coastal engineering, *Lecturer note*, *HH434/95/1*, Delft, the Netherlands, UNESCO-IHE.
13. Yongho L., (2005). Finite element simulation of the oscillatory flow in a channel with the heat transfer through a hot bump. *FEMLAB Conference*, Boston, USA 23-25 October 2005, COMLAB.

STUDI PERILAKU PORTAL ISI DINDING BATA DENGAN PROGRAM BANTU BERBASIS METODE ELEMEN HINGGA

Aniendhita Rizki Amalia[1], Data Iranata[2]

[1]*Mahasiswa Pascasarjana Jurusan Teknik Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Kampus ITS Sukolilo Surabaya, Telp +6285645444489, email: aniendhita.ra@gmail.com*
[2]*Dosen Jurusan Teknik Sipil FTSP, ITS, Kampus ITS Sukolilo Surabaya, Telp 031-5946094, email: iranatadata@yahoo.com*

ABSTRAK

Pembangunan infrastruktur pada daerah rawan gempa memerlukan perencanaan yang baik, termasuk memodelkan suatu struktur dengan benar untuk mengurangi resiko kerugian akibat gempa. Sebagian besar analisa struktur masih menggunakan prinsip portal terbuka tanpa mempertimbangkan adanya sumbangan kekakuan dinding bata terhadap kekakuan dan kekuatan struktur secara keseluruhan padahal keberadaannya dapat sangat mempengaruhi perilaku bangunan dalam merespon beban lateral akibat gempa.

Dalam memodelkan struktur yang mempertimbangkan keberadaan dinding bata dapat dilaksanakan dengan cara memodelkan dinding bata sebagai bracing tekan, metode yang banyak digunakan adalah metode Hoobs dan metode yang tercantum dalam FEMA 356. Namun, perilaku runtuh rangka portal dengan dinding pengisi akibat beban lateral, rumit dan berperilaku non-linear. Sehingga untuk memodelkan bracing diagonal tekan dengan benar dalam perencanaan, seharusnya diketahui dahulu respon dari dinding bata dalam suatu portal dengan melakukan pemodelan salah satunya dengan program bantu berbasis metode elemen hingga.

Parameter yang diperlukan dalam pemodelan portal isi dinding bata pada program bantu yaitu: dimensi, properti material, kondisi batas dan pembebanan. Pola keretakan yang terjadi hasil pemodelan dengan tiga portal dengan perbandingan lebar dan tinggi berbeda (B>H, B=H, B<H), relatif mendekati teori yang banyak diajukan, yaitu terbentuk diagonal 45° terhadap sisi balok dan kolom dimulai dari ujung beban dan dari ujung panel bawah sisi berlawanan menuju tengah bentang. Tegangan arah utama portal beton terbesar terjadi pada ujung pertemuan balok dan kolom, sehingga diperkirakan bahwa daerah tersebut yang akan lebih dulu mengalami retak.

Dari hasil perbandingan diagram gaya – perpindahan yang terbentuk dapat dilihat bahwa metode diagonal tekan ekivalen Hoobs relatif lebih mendekati hasil pemodelan, namun cukup sulit untuk diterapkan dalam perencanaan. Akurasi tertinggi metode ini terjadi pada portal dengan perbandingan lebar lebih besar dari tinggi portal yaitu sebesar 97.99%. Sedangkan dengan metode FEMA 356 memang relatif tidak berhimpit dengan diagram gaya – perpindahan hasil pemodelan, namun metode ini relatif lebih praktis untuk digunakan dalam perencanaan. Akurasi tertinggi metode ini terjadi pada portal dengan perbandingan lebar lebih besar dari tinggi portal, dengan nilai akurasi sebesar 90.97%. Dengan mengetahui respon dan akurasi metode bracing tekan, diharapkan analisa struktur yang mempertimbangkan dinding bata dapat dilakukan dan semakin mendekati realita struktur, namun tetap mudah untuk dilakukan.

Kata Kunci : *Portal isi , Dinding Bata , Metode Elemen Hingga*

1. PENDAHULUAN

Pembangunan infrastruktur pada daerah rawan gempa memerlukan perencanaan yang baik, termasuk memodelkan suatu struktur dengan benar untuk mengurangi resiko kerugian akibat kejadian gempa. Seperti diketahui terjadinya gempa bumi dapat menyebabkan berbagai macam kerusakan bahkan keruntuhan bangunan,

yang terkadang juga menimbulkan kerugian materi atau yang paling kita hindari adalah terjadinya korban jiwa. Pemodelan yang salah pada waktu perencanaan tentu saja sangat berpengaruh pada struktur dalam merespon beban, dalam hal ini terutama beban gempa dan perlu diwaspadai, untuk mengurangi timbulnya kerusakan dan korban. Pemodelan dengan benar juga termasuk mempertimbangkan setiap aspek-aspek yang mempengaruhi kekuatan bangunan, termasuk kekakuannya dalam menahan beban lateral akibat gempa.

Sebagian besar analisa struktur masih menggunakan prinsip portal terbuka yang tidak mempertimbangkan adanya sumbangan kekakuan dinding bata terhadap kekakuan dan kekuatan struktur secara keseluruhan. Pengaruh dinding ini biasanya tidak diperhitungkan dalam perencanaan, tetapi keberadaan dinding ini dapat sangat mempengaruhi perilaku bangunan dalam merespon guncangan gempa dan bahkan dapat menyebabkan bangunan runtuh seperti seringkali dilaporkan setelah terjadi gempa besar di berbagai belahan dunia [7].

Dalam memodelkan suatu struktur yang mempertimbangkan keberadaan dinding bata dapat dilaksanakan dengan cara memodelkan dinding bata sebagai bracing tekan ataupun sebagai *shell element*. Dalam memodelkan dinding bata sebagai bracing tekan terdapat dua metode yang sering digunakan yaitu metode Diagonal Tekan Ekivalen (Saneinejad dan Hobbs 1995) dan metode yang tercantum dalam FEMA 365 (Seismic Rehabilitation Prestandard). Namun kedua metode ini memiliki perbedaan dalam beberapa properti yang digunakan, sehingga untuk mengetahui metode mana yang dapat dengan mudah digunakan dan hasilnya akurat perlu dilakukan verifikasi, yang bisa dilakukan dengan memodelkan portal isi dinding bata secara utuh untuk diketahui perilakunya.

Studi mengenai perilaku dinding bata dalam suatu portal dapat diketahui dengan cara melakukan uji secara eksperimental dengan memodelkan dinding bata secara langsung ataupun dengan bantuan program komputer. Dengan melakukan uji secara eksperimental dengan bantuan program bantu berbasis metode elemen hingga, kebutuhan terhadapa alat dan biaya bisa ditekan dan hasil yang ada dapat didokumentasikan dengan lebih baik. Sehingga uji eksperimental dengan bantuan program bantu berbasis metode elemen hingga ini dapat dipilih sebagai salah satu metode mempelajari perilaku portal dengan dinding bata yang diharapkan juga bisa memverifikasikan kedua metode pemodelan dinding bata sebagai bracing tekan, apakah cukup bersifat lower bound untuk digunakan.

2. DASAR TEORI

Bata sebagai dinding pengisi (infill panels) banyak digunakan dengan alasan arsitektural. Dinding bata sendiri terbukti memiliki efek yang signifikan terhadap kekuatan dan kekakuan yang tentu saja tidak bisa diabaikan dalam analisis dan desain suatu struktur [2]. Portal struktural dengan dinding pengisi umumnya menyediakan metode efisien untuk bangunan dengan bracing [9]. Kehadiran dinding pengisi ini bisa juga memiliki efek yang signifikan terhadap kapasitas disipasi energi [5].

Pada jurnal elektonik yang telah ditulisnya, Asteris (2008) mengungkapkan bahwa di beberapa negara rawan gempa, portal beton bertulang umumnya diisi dengan panel dinding batu bata. Walaupun dinding pengisi tersebut secara signifikan meningkatkan kekakuan dan kekuatan portal tersebut, konstribusinya sering diabaikan,

akibat kurangnya pengetahuan mengenai perilaku komposit antara portal dengan dinding pengisinya. Namun, penelitian berkelanjutan mengenai hal tersebut telah dilaksanakan , hasil penelitian – penelitian yang dilakukan menunjukkan bahwa terdapat interaksi kuat antara dinding pengisi batu bata dan portal yang mengelilinginya, yang mengarah ke:

1. Perilaku dari portal komposite tidak hanya tergantung pada kekakuan relatif dari portal, dinding pengisi, maupun geometri portalnya saja, namun juga sangat dipengaruhi sifat kekuatan dari batu bata sendiri.
2. Peningkatan yang cukup besar pada kekakuan keseluruhan dan momen inersia dari portal komposit sebanding dengan peningkatan energi disipasi.
3. Redistribusi efek-aksi dan terkadang kerusakan yang tidak direncanakan sepanjang portal, juga ditemukan bahwa rumus dalam peraturan terkini berlebih dalam memperkirakan gaya geser karena hal tersebut tidak mempertimbangkan efek dinding pengisi.
4. Reduksi yang berpengaruh terhadap kemungkinan runtuh, walaupun dalam kasus portal berpengisi yang tidak efektif, ketika sudah didesain dengan tepat.

Metode diagonal tekan ekivalen

Diagonal Tekan Ekivalen atau *Equivalent Diagonal Strut* adalah metode untuk analisa inelastis portal-isi yang diajukan Saneinejad – Hobbs (1995), yang merupakan salah satu metode yang banyak dipakai untuk mendefinisikan adanya dinding pengisi bata dalam suatu portal, untuk memudahkan.

Prinsip dasar yang digunakan dalam penelitian oleh Saneinejad – Hobbs (1995) adalah bahwa portal-Isi dapat dianggap sebagai portal tidak bergoyang (*braced framed*), dimana dinding pengisi akan berfungsi sebagai diagonal tekan ekivalen (*equivalent diagonal strut*). Diagonal tekan ekivalen hanya kuat terhadap gaya tekan saja. Pengaruh beban lateral bolak-balik akibat gempa dapat diatasi dengan terbentuknya diagonal tekan pada arah lain yang juga mengalami tekan. Apabila properti mekanik (A_d dan E_d) dari diagonal tekan ekivalen dapat dicari maka portal-isi dapat dianalisis sebagai "portal terbuka dengan diagonal tekan ekivalen".

Secara umum disimpulkan bahwa metode Diagonal Tekan Ekivalen memberikan prediksi numerik yang berada diantara struktur "portal terbuka" dan "portal-isi" hasil eksperimen dan hasilnya dalam batas-batas yang mencukupi atau *lower bound* yang sesuai digunakan untuk perencanaan(hasilnya cukup konservatif) [6].

Untuk verifikasi terhadap metode diagonal tekan ekivalen yang diajukan oleh Saneinejad – Hobbs (1995), langkah – langkah yang akan digunakan kurang lebih sebagai berikut:

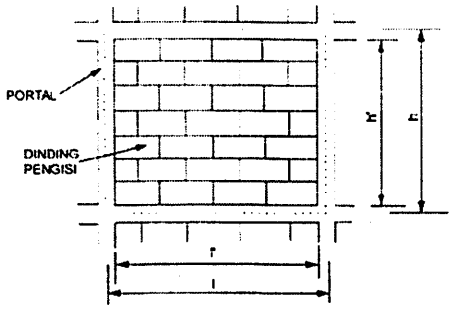
1. Penetapan parameter, meliputi:
   - Nilai μ (dapat dilihat pada peraturan beton)
   - Nilai r = h (tinggi portal) / l (panjang portal)
   - Nilai $\theta = \tan^{-1} r$ ..... (1)
   - Tegangan efektif panel dinding pengisi

   $f_c = 0.6\, \emptyset\, f'_m$ dengan $\emptyset = 0.6$ .....(2)
2. Perhitungan Kekuatan dengan memperkirakan keruntuhan CC, DC dan Geser.

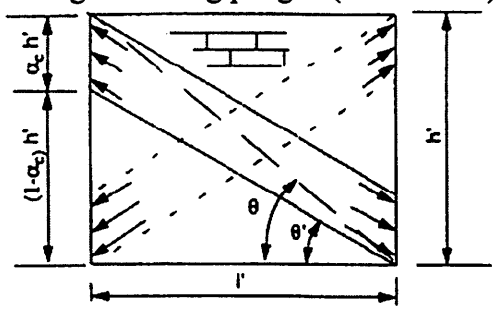
- **Keruntuhan CC :**

Keruntuhan CC (Corner Crushing), pada keruntuhan ini terjadi crushing pada panel pengisi terutama yang berlokasi di sudut di mana beban lateral terjadi.

$$R = R_{CC} = \frac{(1-\alpha_c)\ \alpha_c .t .h .\ \sigma_c + \alpha_b .t .l .\ \tau_b}{\cos\theta} \quad \text{.....} (3)$$



Gambar 1. Portal dengan dinding pengisi (infill frame) (Dewobroto 2005)



Gambar 2. Penopang diagonal bolak balik [7]

- **Keruntuhan DC :**

Keruntuhan DC (Diagonal Crushing), pada keruntuhan ini terjadi crushing pada panel pengisi terutama yang berlokasi pada daerah tengah panel.

$$R = R_{DC} = \frac{0.5 .h' t\ fa}{\cos\theta} \quad \text{.....} (4)$$

- **Keruntuhan Geser RS**

Keruntuhan S (Shear mode), pada keruntuhan ini terjadi kegagalan geser horizontal pada titik sudut bawah dinding pengisi.

$$R = RS = \frac{\gamma\ v\ t\ l'}{(1-0.45\tan\theta\prime)\tan\theta} < \frac{0.85\,\gamma .t\ l'}{\cos\theta} \quad \text{.....} (5)$$

3. Perhitungan daya dukung horizontal portal isi, serta perhitungan gaya horizontal penyebab retak dinding pengisi.

$$Ht = \left(\frac{H}{Cc+Fb}\right) 2\sqrt{2}\ t\ h'\ f_t\ cos^2\theta \quad \text{.....} (6)$$

4. Perhitungan deformasi dan kekakuan sekan portal isi dengan persamaan sebagai berikut:

$$\Delta h = 5.8\ \varepsilon_c\ h\ \cos\theta\ (\alpha_c^2 + \alpha_b^2)^{0.333} \quad \text{.....} (7)$$

$$K_0 = 2\ \frac{H}{\Delta h} \quad \text{.....} (8)$$

dengan modulus elastisitas inisial untuk pemodelan dalam program bantu analisa struktur adalah:

$$E_{d0} = \frac{2\ h\ f_c}{\Delta_h\ cos^2\theta} \quad \text{.....} (9)$$

Penjelasan pada FEMA 356 tentang Portal-Isi

Bab ini akan menguraikan beberapa hal mengenai portal isi yang dibahas pada FEMA 356 (Seismic Rehabilitation Prestandard) tepatnya pada bab 7.5.2 yang membahas tentang panel dinding bata. Perhitungan kekakuan dan kekuatan panel dinding bata ini digunakan untuk menganalisa struktur dengan metode diagonal tekan.

Kekakuan elastis panel dinding bata (yang diharapkan terjadi retak) dapat diwakili dengan diagonal tekan ekivalen (α), dimana diagonal tekan tersebut harus memiliki ketebalan dan modulus elastisitas yang sama dengan panel bata yang ada, yang perhitungannya dapat dilihat dalam persamaan di bawah ini:

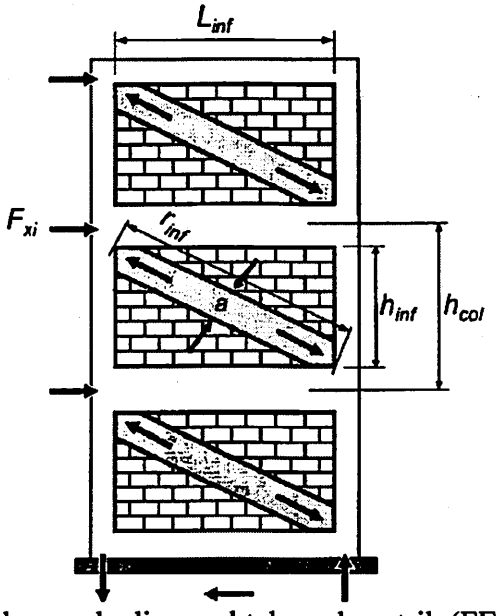
$$\alpha = 0.175\,(\lambda_1 . h_{col})^{-0.4} r_{inf} \quad (10)$$

Dimana:

$$\lambda_1 = \left[\frac{E_{me}\, t_{inf} \sin 2\theta}{4\, E_{fe} I_{col} h_{inf}}\right]^{0,25} \quad (11)$$

Dan:

h_{col} = tinggi kolom as – as balok (in)
h_{inf} = tinggi panel pengisi (in)
E_{fe} = Modulus elastisitas portal (ksi)
E_{me} = Modulus elastisitas panel pengisi (ksi)
I_{col} = Momen Inersia kolom (in^4)
L_{inf} = Lebar panel pengisi (in)
r_{inf} = Panjang diagonal panel pengisi (in)
t_{inf} = tebal panel pengisi (in)
θ = sudut tangensial antara tinggi panel pengisi terhadap lebarnya (rad)
λ_1 = koefisien yang digunakan untuk menentukan lebar diagonal tekan.

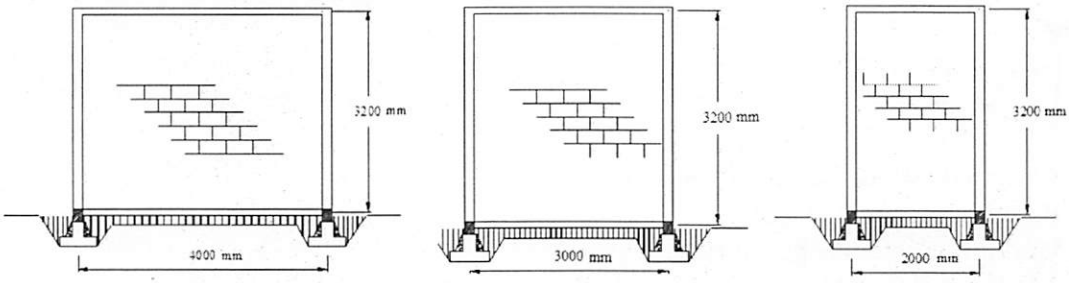


Analogi tekan pada diagonal tekan eksentrik (FEMA 356)

3. PEMODELAN

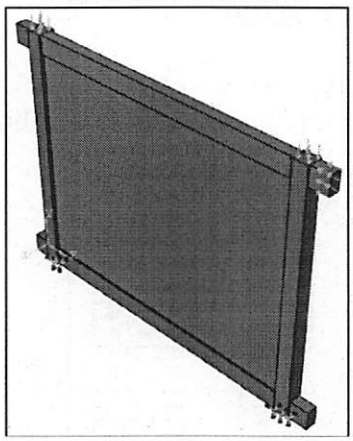
Untuk mendapatkan respon umum dari beberapa portal isi, maka dengan program bantu berbasil elemen hingga (ABAQUS) dilakukan pemodelan untuk portal dengan variabel

perbandingan lebar terhadap tinggi berbeda, yaitu: portal I dengan B=1.25H; portal II dengan B=H dan portal III dengan B=0.625H (gambar 3) . Setiap model dibuat dengan perletakan jepit penuh tepat di bawah kolomnya atau dalam program bantu dibuat pilihan *Encastre* (U1=U2=U3=UR1=UR2=UR3=0). Mesh yang digunakan adalah standar dari ABAQUS dengan ukuran tidak lebih dari 200. Pembebanan vertikal pada kolom sebesar 79,2 kN. Sedangkan beban lateral akibat gempa disimulasikan pada ujung balok, sehingga lebih lanjut akan didapatkan diagram hasil gaya dan perpindahan untuk setiap portal yang dimodelkanyang selanjtnya dilakukan verifikasi terhadap kedua metode yang disebutkan sebelumnya. Gambar yang lebih jelas untuk pemodelan tersebut dapat dilihat pada gambar 4.



(a) (b) (c)

Gambar 3. Portal yang dimodelkan; (a) Portal I B=1.25H ; (b) Portal II B=H dan (c) Portal III B=0.625H



Gambar 4. Pemodelan dalam ABAQUS

Parameter material penyusun material sama, dengan berdasarkan pada penelitian terkait sesuai dengan yang ditampilkan dalam tabel - tabel berikut ini:

Tabel 1. Parameter masukan *plasticity* beton [1]

Dilation Angle	Eccentricity (Flow Potential Eccentrity)	fb0/fc0 (Biaxial/Uniaxial compression plastic strain ratio)	K (Deviatoric Stress Invariant Ratio)	Viscosity Parameter
36	0.1	1.16	0.6667	0

Tabel 2. Parameter masukan plasticity bata (kuang)

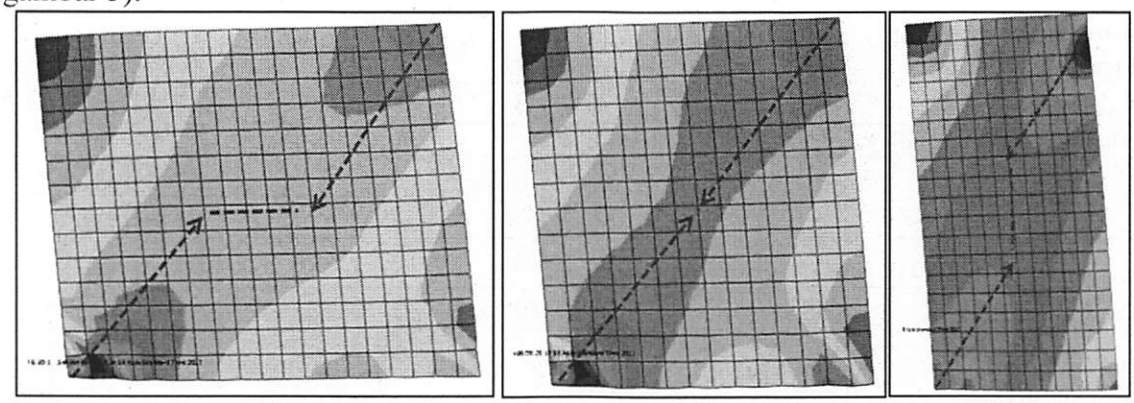
Dilation Angle	Eccentricity (Flow Potential Eccentrity)	fb0/fc0 (Biaxial/Uniaxial compression plastic strain ratio)	K (Deviatoric Stress Invariant Ratio)	Viscosity Parameter
5	0.1	1.16	0.6667	0

Tabel 3. Parameter masukan elastis

Material	Kuat Tekan (MPa)	Kuat Tarik (MPa)	Modulus Elastisitas (MPa)	Poisson's Ratio
Beton	20	2.63	21019	0.17
Dinding Bata	10	1.94	2237	0.15

4. POLA KERETAKAN DINDING PENGISI

Dari hasil analisa dengan program bantu ABAQUS diketahui bahwa Pola keretakan yang terjadi hasil dari pemodelan, relatif mendekati teori yang banyak diajukan, yaitu terbentuk diagonal 45° terhadap sisi balok dan kolom, untuk semua variasi model yang diajukan dengan ratio lebar (B) dan tinggi (H) berbeda. Pola keretakan tersebut, terbentuk secara diagonal dimulai dari ujung beban dan dari ujung panel bawah (sisi diagonal ujung beban) menuju ke tengah bentang panel secara diagonal 45° (lihat gambar 5).



(a) (b) (c)

Gambar 5. Pola keretakan dinding bata pengisi portal; (a) Portal I B=1.25H ; (b) Portal II B=H dan (c) Portal III B=0.625H

5. HASIL VERIFIKASI

Setelah dilakukan pemodelan dengan bantuan metode elemen hingga, selanjutnya dilakukan verifikasi terhadap kedua metode yang disebutkan sebelumnya, serta verifikasi portal dengan portal terbuka. Dalam melakukan verifikasi, dilakukan pemodelan dengan analisa elastis dengan program bantu analisa struktur (SAP 2000), parameter yang digunakan sebagai input variabel yaitu: keberadaan dinding bata yang diwakilkan oleh diagonal tekan ekivalen, dengan input yang diperlukan berupa masukan materialnya yaitu modulus elastisitas dan mutu dinding tersebut, masukan lain yang diperlukan adalah dimensi dari diagonal tekan ekivalen untuk tiap - tiap metode yang

digunakan. Sedangkan pada analisa elastis portal terbuka tidak terdapat bracing untuk mewakili keberadaan dinding bata. Hasil dari verifikasi ditabelkan sebagai berikut:

Tabel 4. Tabel Perbandingan portal model I (B>H)

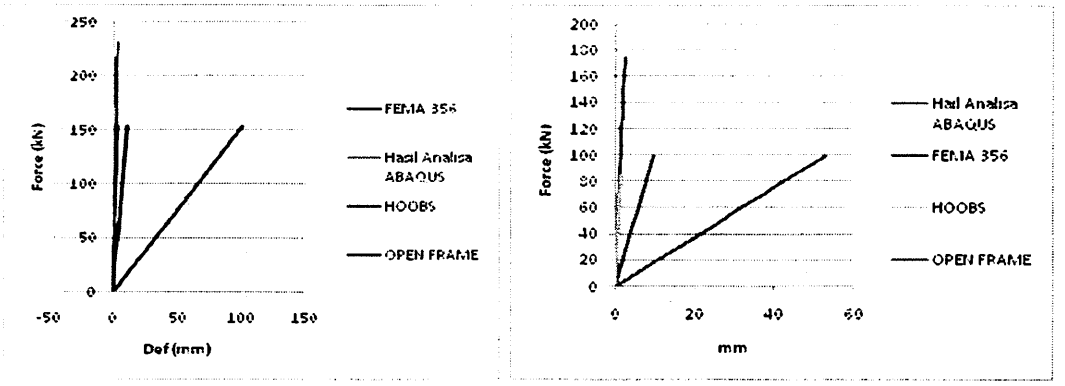
Parameter	Hasil Analisa ABAQUS	Diagonal Tekan Hoobs	FEMA 356	PORTAL TERBUKA
E_0 dinding bata (MPa)	2237,5	14590	2237,5	-
Dimensi Bracing	-	324 x 110 mm	420 x 110 mm	-
Beban Lateral Pemodelan (kN)	231.1	153	153	153
Perpindahan Lateral Δh (mm)	2.83	3.48	10.51	100.32
Kekakuan Sekan	81.66	43.96	14.55	1.52

Tabel 5. Tabel Perbandingan portal model II (B=H)

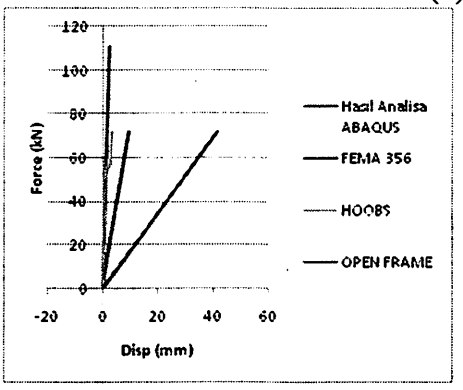
Parameter	Hasil Analisa ABAQUS	Diagonal Tekan Hoobs	FEMA 356	PORTAL TERBUKA
E_0 dinding bata (MPa)	2237,5	17689	2237,5	-
Dimensi Bracing	-	207 x 110 mm	316 x 110 mm	-
Beban Lateral Pemodelan (kN)	175	97	97	97
Perpindahan Lateral Δh (mm)	2.5	3.29	9.3166	53.01
Kekakuan Sekan	70	29.48	10.41	1.82

Tabel 6. Tabel Perbandingan portal model III (B<H)

Parameter	Hasil Analisa ABAQUS	Diagonal Tekan Hoobs	FEMA 356	PORTAL TERBUKA
E_0 dinding bata (MPa)	2237,5	29821	2237,5	-
Dimensi Bracing	-	169 x 110 mm	308 x 110 mm	-
Beban Lateral Pemodelan (kN)	111	72	72	72
Perpindahan Lateral Δh (mm)	2.16	3.25	9.16	41.06
Kekakuan Sekan	51.38	22.15	7.85	1.75



(a) (b)



(c)

Gambar 6. Diagram gaya - perpindahan; (a) Portal I B=1.25H ; (b) Portal II B=H dan (c) Portal III B=0.625H

Dengan melihat hasil yang tampil dalam tabel -tabel yang ada (4,5,6) dapat diketahui hal - hal sebagai berikut:

1. Modulus elastisitas yang digunakan pada metode yang tercantum dalam FEMA 356 lebih mewakili keadaan eksisting dinding bata.
2. Dimensi bracing untuk pemodelan elastis yang ditentukan oleh metode diagonal tekan Hoobs sulit untuk dilakukan sebagai pertimbangan dalam perencanaan awal struktur, karena parameter yang ada dianggap perlu untuk memperhitungkan kekuatan elemen dan kuat runtuh portal terlebih dahulu yang sifatnya rumit jika digunakan untuk perencanaan.
3. Berbeda dengan metode yang digunakan dalam FEMA 356 dimana parameter yang digunakan dapat didefinikan sebelumnya.
4. Dari perbandingan gaya terhadap perpindahan pada pemodelan portal III yang tercantum gambar 6 dapat diketahui bahwa metode diagonal tekan yang diajukan oleh Hoobs lebih mendekati hasil pemodelan dengan ABAQUS.
5. Untuk portal model I, dari gambar dan tabel yang ada diketahui bahwa akurasi dari metode diagonal tekan Hoobs adalah sebesar 97,99% dan akurasi dari metode diagonal tekan FEMA 356 adalah sebesar 90,97%. Untuk portal model II, diketahui akurasi dari metode diagonal tekan Hoobs adalah sebesar 96,15% dan akurasi dari metode diagonal tekan FEMA 356 adalah sebesar 84,49%. Sedangkan untuk portal model III, diketahui bahwa akurasi dari metode diagonal tekan Hoobs adalah sebesar 95.33% dan akurasi dari metode diagonal tekan FEMA 356 adalah sebesar 80.41%.

6. KESIMPULAN

Dari hasil pemodelan dengan program bantu berbasis metode elemen hingga (ABAQUS) dan juga hasil verifikasi, maka terdapat beberapa kesimpulan yang dapat ditarik dari studi ini yaitu

1. Parameter yang diperlukan dalam memodelkan portal dengan panel pengisi dinding bata antara lain yaitu: data dimensi, data material, pemilihan kondisi batas dan pembebanan.
2. Pola keretakan yang terjadi hasil dari pemodelan, relatif mendekati teori yang banyak diajukan, yaitu terbentuk diagonal 45° terhadap sisi balok dan kolom, untuk semua variasi model yang diajukan dengan ratio lebar (B) dan tinggi (H) berbeda. Pola keretakan tersebut, terbentuk secara diagonal dimulai dari ujung beban dan dari ujung panel bawah (sisi diagonal ujung beban) menuju ke tengah bentang panel secara diagonal 45°. Tegangan S11 (tegangan arah utama) terbesar untuk semua model, terjadi pada ujung pertemuan balok dan kolom, sehingga dapat diperkirakan bahwa daerah tersebut yang akan lebih dulu mengalami retak pada portal beton.
3. Dari hasil perbandingan diagram gaya – perpindahan yang terbentuk pada semua model dapat dilihat bahwa teori yang diajukan oleh Hoobs relatif lebih mendekati hasil yang terjadi pada pemodelan, namun cukup sulit untuk diterapkan dalam perencanaan.Akurasi dari penerapan metode diagonal tekan Hoobs paling tinggi terjadi pada portal dengan dimensi yang umum digunakan dalam perencanaan struktur, yaitu portal model I dengan B>H, pada portal ini nilai akurasi metode ini adalah sebesar 97.99%.
4. Diagram gaya – perpindahan yang dihasilkan oleh analisa elastis dengan diagonal tekan dengan FEMA 356 memang relatif tidak berhimpit dengan diagram gaya – perpindahan hasil analisa dengan ABAQUS, namun jika dibandingkan dengan analisa elastis portal tanpa pengisi hasil yang didapat dari analisa dengan menurut FEMA tersebut masih layak untuk digunakan, karena relatif lebih praktis untuk digunakan dalam perencanaan.Akurasi dari penerapan metode ini sendiri paling tinggi pada portal dengan dimensi yang umum digunakan dalam perencanaan struktur, yaitu portal model I dengan B>H, pada portal ini nilai akurasi metode ini adalah sebesar 90.97%.

7. UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan secara khusus kepada Pemerintah Republik Indonesia melalui Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya yang telah memberikan beasiswa *freshgraduate* kepada penulis selama menempuh program magister di ITS.

8. DAFTAR PUSTAKA

1. ABAQUS: Abaqus analysis's user's manual, Version 6.9, Dassault System.
2. Abdel, Asran dan Hafiz (2006), Effect of infill walls on the performance of multi-storey building during earthquakes. *1st international structural specialty conference*. The Canadian Society for Civil Engineering. Calgary , Canada

3. Arijoeni, Essy. (2001), *Clay Brick Masonry Wall Panels Under Lateral Loading*, Report for Confirmation of Candidature: Performance Characteristic of Cikarang, Cikarang.
4. Asteris, P.G. (2008), "Finite Element Micro-Modeling of Infilled Frames". *Electronic Journal of Structural Engineering vol.8.*
5. Decanini LD, Liberatore L, Mollaioli F (2002), Response of bare and infilled RC frames under the effect of horizontal and vertical seismic excitation. *12th European conference on earthquake engineering*. London.
6. Dewobroto, Wiryanto (2005), "Analisa Inelastis Portal – Dinding Pengisi", Jurnal Teknik Sipil ITB, Edisi Vol. 12 / 4, Oktober 2005.
7. Earthquake Engineering Research Institute dan International Association for Earthquake Engineering (2009), Tutorial World Housing Encyclopedia: Perilaku Bangunan Struktur Rangka Beton Bertulang Dengan Dinding Pengisi Dari Bata Terhadap Gempa, WHE 2009 – 01.
8. FEMA 356, Seismic Rehabilitation Prestandar.
9. Jung WY, Aref AJ. (2005), "Analytical and numerical studies of polymer matrix composite sandwich infill panels". Journal of Composite Structures, Vol.68, hal 359.
10. Kuang JS, Yuen YP (2010), "Effect of out-of-plane loading on in-plane behaviour of unreinforced infilled RC frames". Proceeding of the International Conference on Computing in Civil and Building Engineering.
11. Saneinejad, A., Hobbs, B. (1995), "Inelastic Design of Infilled Frames.", *J. Struct. Engrg.*, ASCE, Vol. 121(4), hal. 634-650.

" Halaman ini sengaja dikosongkan "

ISBN 978-979-99327-8-5

ANALISA PERILAKU GEDUNG TINGGI YANG MENGGUNAKAN SISTEM *BASE ISOLATION* AKIBAT BEBAN GEMPA *NONLINIER TIME HISTORY ANALYSIS*

Yudha Lesmana[1], Endah Wahyuni[2]

[1]*Mahasiswa Program Pascasarjana Teknik Struktur FTSP ITS, email: yud4rk@yahoo.co.id.*
[2]*Dosen Jurusan Teknik Sipil FTSP, ITS, Kampus ITS Sukolilo Surabaya, Telp 031-5946094,email: endahwahyuni@gmail.com.*

ABSTRAK

Seismic Isolation merupakan pendekatan desain struktural untuk mengurangi pengaruh gaya lateral terhadap bangunan. Permasalahan yang mendasar dalam mendesain bangunan tahan gempa adalah *Interstory Drift* dan *Floor Acceleration.* Kondisi ideal yang diharapkan oleh perencana ialah struktur bangunan yang nilai *Interstory Drift* dan *Floor Acceleration* masih dalam batas rencana saat menerima beban lateral. Sehingga solusi yang saat ini tengah berkembang untuk memecahkan permasalahan ini ialah penggunaan "*Base Isolation System*".Studi ini bertujuan untuk mengetahui perilaku gedung tinggi yang menggunakan sistem base isolation. Struktur yang digunakan berupa beton bertulang dengan sistem rangka pemikul momen yang memiliki tinggi bangunan 150 m dan dianalisa dengan beban gempa nonlinier time history analysis (NL-THA) dengan metode *performance based design.* Sehingga diharapkan bisa menentukan desain optimum gedung tinggi yang menggunakan system *base isolation,* ditinjau dari *Isolation ratio.*Dari analisa diperoleh nilai *ductility demand* dari struktur *fixed base* sebesar (μ) 12. Sedangkan untuk analisa *isolated structure* ditunjukkan adanya penurunan daktalitas dengan nilai *ductility demand* (μ) 5,0 sampai dengan 8,0 dengan nilai *isolation ratio* (α_I) yang diperoleh antara 1,35 sampai dengan 1,9. Dengan adanya penurunan *ductitlity demand,* menunjukkan dengan bertambahnya nilai *isolation ratio* maka gedung akan lebih cenderung berperilaku elastis.

Kata Kunci: *performance based design, base isolation system, optimum range, isolation ratio.*

1. PENDAHULUAN

Seismic isolation merupakan pendekatan desain struktural untuk mengurangi pengaruh gaya lateral terhadap bangunan, sehingga meminimalisir terjadinya kerusakan akibat beban gempa. Permasalahan yang mendasar dalam mendesain bangunan tahan gempa adalah *interstory drift* dan *floor acceleration.* Dua hal ini disebabkan adanya beban lateral yang diterima oleh bangunan yang berasal dari beban gempa dan beban angin. Berbagai metode telah diusahakan untuk memecahkan masalah ini, misalnya untuk mengurangi *interstory drift* , perencana meningkatkan kekakuan struktur sehingga struktur lebih kaku dan *drift* yang terjadi tidak terlalu besar. Namun dengan meningkatkan kekakuan struktur, ini mengakibatkan *floor acceleration* pada struktur meningkat. Dan sebaliknya, untuk mengurangi percepatan yang terjadi, direncanakan struktur yang lebih fleksibel, sehingga saat menerima beban lateral, *acceleration* yang muncul tidak terlalu besar. Namun lagi- lagi hal ini tidak bisa dilakukan, karena semakin fleksibel suatu struktur, maka nilai *drift* yang terjadi akan semakin besar. Kondisi ideal yang diharapkan oleh perencana ialah struktur bangunan yang nilai *interstory drift* dan *floor acceleration* masih dalam batas rencana saat menerima beban lateral. Sehingga solusi yang saat ini tengah berkembang untuk memecahkan permasalahan ini ialah penggunaan "*Base Isolation System*"(Nacim dan Kelly,1999) [4].

2. DASAR TEORI

Konsep *Structural Performance Levels*

Berdasarkan FEMA 356 (2000) [2], konsep *Structural Performance Levels* didasari pada *Performance Based Design* yang menetapkan tingkat kinerja (*Performance Level*) yang diharapkan dapat dicapai saat struktur mengalami gempa dengan intensitas tertentu. Adapun penetapan tingkat kinerja suatu bangunan dapat didasarkan atas aturan tingkat keselamatan yang diberikan kepada penghuni gedung selama dan sesudah terjadi gempa serta biaya terhadap kerusakan maksimum yang masih diijinkan sesuai dengan tingkat kepentingan, pertimbangan ekonomis dari pemilik bangunanan yang akan dibangun. FEMA mengatur tingkat kinerja suatu bangunan sebagai berikut :

a. *Operasional*
   Pada level ini gedung diperkirakan dapat meminimalkan kerusakan yang terjadi pada komponen struktural dan nonstruktural. Dan gedung masih dapat dipakai secara normal.
b. *Immediate Occupancy*
   Pada level ini gedung diperkirakan dapat meminimalkan kerusakan yang terjadi pada komponen struktural sedangkan pada komponen non struktural terjadi keruskaan kecil. Gedung masih dapat berfungsi kembali dengan sedikit perbaikan. Resiko terhadap keamanan gedung adalah sangat kecil.
c. *Life Safety*
   Pada level ini gedung diperkirakan mengalami banyak kerusakan struktural dan nonstruktural. Perbaikan dibutuhkan sebelum gedung dapat dipakai kembali dan mungkin tidak ekonomis.
d. *Collapse Prevention*
   Pada level ini gedung diperkirakan terjadi kegagalan pada komponen struktural. Karena gedung tersebut mengalami keruntuhan (*collapse)* maka korban jiwa dapat diminimalisir.

Mekanikal Karakteristik dari *Elastomeric Bearings*

Menurut Naeim dan Kelly (1999) [4], mekanikal karakteristik dari *elastomeric bearings* telah lama dipelajari dan analisa menggunakan teknik nonlinier masih cukup sulit. Pendekatan sederhana yang didasarkan pada teori elastis telah dikembangkan oleh banyak peneliti dan dibuktikan dengan tes laboratorium bahkan baru- baru ini digunakan juga FEM untuk menganalisanya. Parameter paling penting dari *isolation bearing*, tentunya ialah *kekakuan horizontal*; yang dinyatakan dengan persamaan :

$$K_H = \frac{GA}{t_r} \tag{1}$$

Kekakuan vertikal dari *rubber bearing* dinyatakan dengan rumus :

$$K_V = \frac{E_c A}{t_r} \tag{2}$$

Untuk tingkat kekuatan dari *isolated structure*, tingkat tahanan terhadap beban gempa pada dasarnya semakin meningkat dengan bertambahnya nilai *isolation ratio* ($\alpha_I = T_I/T_F$) dimana T_F merupakan periode getaran dari *fixed base structure* dan T_I merupakan periode getaran dari *isolated structure*. Dalam analisa, *base isolated structure* diasumsikan memiliki tingkat kekuatan yang sama dengan *fixed base*

structure, tetapi dengan perbedaan distribusi kekuatan pada *isolated structure* melalui nilai *isolation ratio* nya. Perbedaan nilai *isolation ration* antara 1 s/d 2.5, dengan nilai α_I = 1 memiliki arti sama dengan *fixed base structure*. Variasi nilai dari *isolation ratio* berasal dari penentuan kekakuan dari isolator yang digunakan (Vulcano, 1998) [1].

Batasan Peralihan, *Drift* dan Rotasi Sendi Plastis

Dalam perencanaan struktur bangunan gedung, percepatan dan simpangan (*drift*), serta rotasi sendi plastis yang terjadi harus memenuhi kriteria persyaratan sesuai batas ijin maupun target yang diharapkan. Dalam studi kali ini, kriteria peralihan dan drift ditinjau berdasarkan batas layan dan kinerja batas ultimate sesuai peratauran .

Menurut Jayachandaran (2009) [3], syarat *acceleration* untuk gedung tinggi guna menjamin kenyamanan penghuni (dalam keadaan *service ability*) sekitar 10-25 mili g, dimana g adalah nilai grafitasi (g = 981 cm/s^2). Sedangkan untuk *displacement* yang terjadi harus dalam batas H/500 – H/1000.

Buckling dan Stabilitas dari Elastomeric Isolators

Menurut Naeim dan Kelly (1999), multilayer elastomeric bearing peka terhadap tipe *buckling* dari ketidakstabilan sama halnya dengan yang terjadi kolom sederhana namun lebih didonminasi oleh *low-shear stiffness* dari bearing. Metode analisa elastis dari Euler buckling kolom bisa dijadikan pendekatan. Model rubber isolation sebagai *contiouse beam*. Dengan menganggap bearing menjadi kolom dengan ketinggian *h* dengan *cross-sectional area* A dan penentuan kekakuan geser per unit panjang sebagai $Ps = GA_s$, dimana As luas geser efektif yang dinyatakan dengan

$$A_s = A\frac{h}{t_r} \tag{3}$$

Dimana *h* adalah total tinggi dari rubber (*rubber* dan pelat baja) dan tr ditentutkan lebih awal saat menentukan *h*. Peningkatan nilai A dibutuhkan untuk memperhitungkan kenyataan bahwa pengaruh dari plat baja yang tidak berdeformasi dalam sistem komposit ini. kekakuan lentur dimodifikasi sehingga $(EI)_{eff}$ untuk *single-pad* dengan ketebalan *t*

$$EI_s = E_c\left(\frac{1}{3}\right)I\frac{h}{t_r} \tag{4}$$

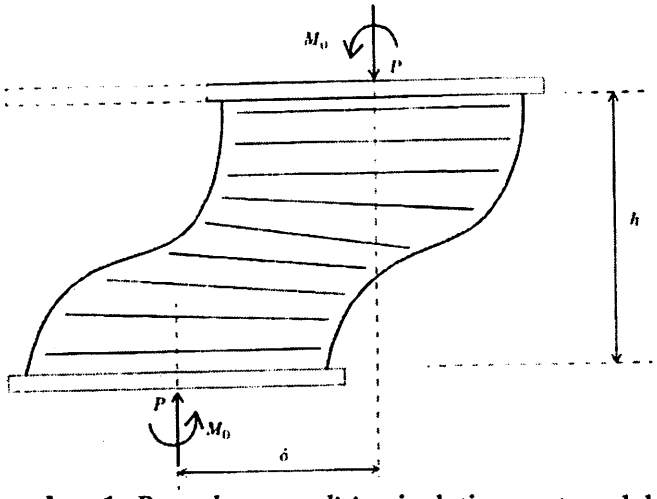
Dalam hal ini, kekakuan horizontal dapat dinyatakan menjadi

$$K_H = \frac{GA_s}{h} \tag{5}$$

Dan beban buckling Euler *(Euler buckling load)* untuk kolom tanpa deformasi geser

$$P_E = \pi\frac{EI_s}{h^2} \tag{6}$$

Dapat dilihat pada gambar 2.3, bearing dipaksa untuk menahan melawan rotasi yang terjadi pada bagian dasar (*fixed*) dan pada bagian atas (*free*) untuk bergerak kesatu arah pada bagian atasnya.



Gambar 1. *Boundary condition* isolation system dalam pengaruh beban P (Naeim dan Kelly,1999)

Untuk memperolah nilai dari Pcr, bisa diperoleh dengan solusi dibawah ini

$$P^2 + PP_s - P_s P_E = 0 \tag{7}$$

$$P_{cr} = \frac{-P_s \pm \sqrt{P^2{}_s + 4P_s P_E}}{2} \tag{8}$$

Dan bila diasumsikan $P_s \approx GA$

$$P_E \approx \frac{1}{3}\frac{6GS^2 I\pi^2}{h^2} \approx GA\left(\frac{2\pi^2 S^2 I}{A}\right) \tag{9}$$

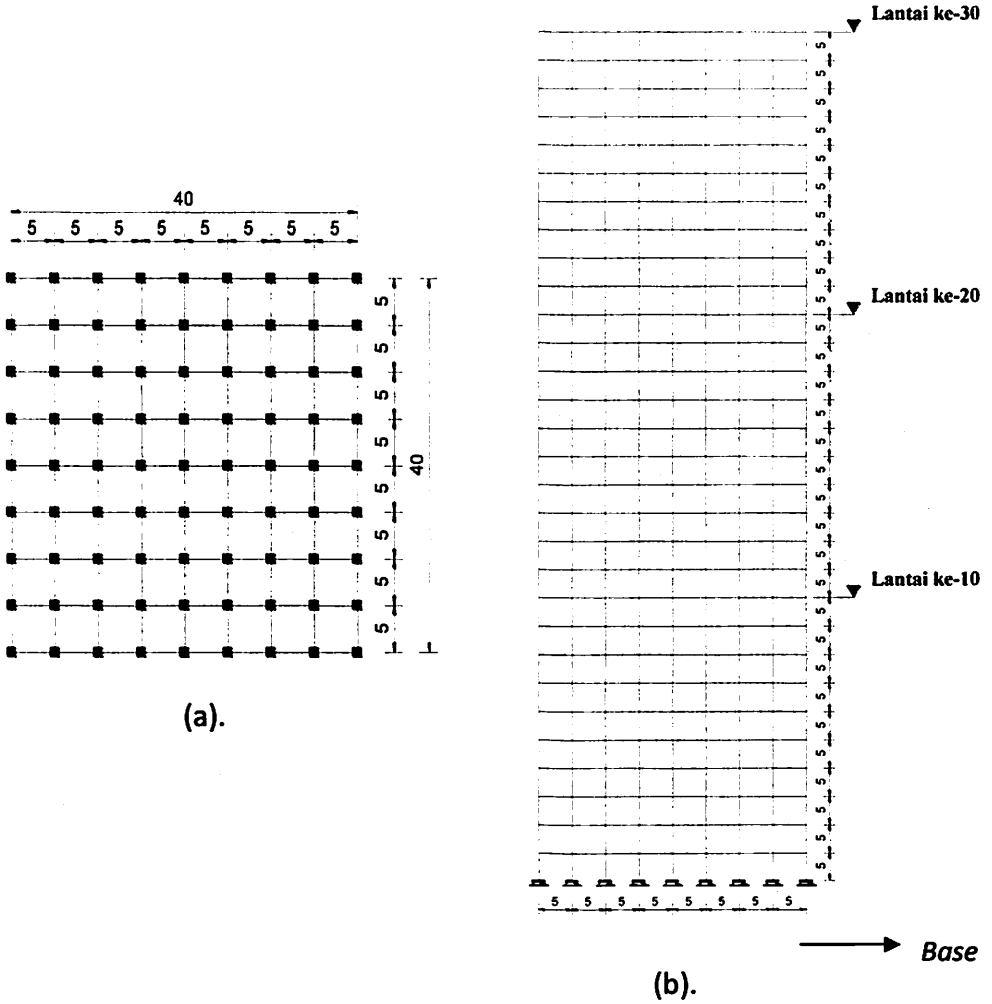
Untuk tipe bearing yang umum, yang memilik nilai S > 5, P_E >> Ps, Critical Load bisa ditaksir dengan rumus

$$P_{crit} = (P_S P_E)^{\frac{1}{2}} \tag{10}$$

3. MODELISASI DAN ANALISA STRUKTUR

Studi ini dilakukan pada struktur beton bertulang 3D dengan menggunakan sistem rangka pemikul momen tanpa adanya dinding geser yang menggunakan sistem *base isolation,* seperti yang terlihat pada gambar 1. Bangunan didesain sesuai dengan SNI 1726-2002, pada tanah lunak dengan wilayah gempa tinggi (Aceh). Tingggi bangunan ialah 150 m dengan jumlah tingkat 30 lantai. Setelah itu analisa selanjutnya menggunakan gempa El Centro, Denpasar dan Kern County. Bangunan difungsikan sebagai perkantoran. Dimana dimensi bangunan yaitu : tinggi tiap lantai 4 m ukuran balok 0.4 m x 0.7 m dan ukuran kolom 1.2 m x 1.2 m, serta tebal pelat lantai 12 cm. Dengan mutu beton 25 Mpa dan baja 400 Mpa. Bangunan termasuk bangunan yang simetri baikk ditinjau dari vertikal maupun horizontal. Dalam analisa pembebanan pada struktur *fixed-base*, beban gempa yang digunakan berbasis DBE (Design Basis Earthquake) dan MCE (Maximum Capable Capacity). Analisa beban gempa menggunakan Time History Analisys, yang menggunakan 3 *record* gempa, diantaranya ialah ElCentro, Kern County dan Denpasar. Arah percepatan gempa dianalisa hanya

dalam satu arah (Arah X) hal ini mempertimbangkan karena bentuk gedung yang simetris. Dalam analisa digunakan *Time Step Size* sebesar 0,1 dan *Number Output Time Step* sebesar 100. Dalam analisa *Isolated Structure*, model gedung yang digunakan adalah sama dengan permodelan *fixed-base*. Hal yang menjadi pembeda ialah disaat *fixed base,* kekakuan perletakkan dapat dikatakan tak berhingga, namun disaat analisa *isolated structure* kekakuan akan ditingkatkan (semakin fleksible) berdasarkan *isolation ratio* ($\alpha_I = T_I/T_F$). Hal ini bertujuan guna mengetahui perilaku gedung tinggi, bila diberi kekakuan yang berbeda- beda. Namun sebelum analisa *Isolated struture* dilakukan, harus dipastikan dahulu bahwa *fixed base* telah memenuhi syarat kelayakan bangunan gedung yang ditinjau dari *acceleration* dan *displacement* dalam keadaan *service ability* . Nilai *isolation ratio* yang tertera pada tabel 1, digunakan untuk menghitung nilai kekakuan *base isolation.* Sehingga dalam analisa *isolated structure*, akan digunakan sekitar 15 model berdasarkan kekakuan *base isolation* yang ditinjau dari *isolation ratio.*



Gambar 2. Struktur : (a).Denah Bangunan; (b). Portal 2Dimensi (*Isolated Structure*)

Tabel 1: Nilai Total Kekakuan *Base Isolation* berdasarkan *Isolation Ratio.*

α	TI (s)	K_H Aktual Struktur MN/m
1	5.977	-
1.1	6.575	383.9804
1.2	7.172	319.5882
1.3	7.770	262.0806
1.4	8.368	223.2820
1.5	8.966	199.4582
1.6	9.563	177.5404
1.7	10.161	157.5284
1.8	10.759	145.7041
1.9	11.356	127.5980
2	11.954	112.1952
2.1	12.552	107.6833
2.2	13.149	91.4832
2.3	13.747	84.0978
2.4	14.345	76.0075
2.5	14.943	72.9882

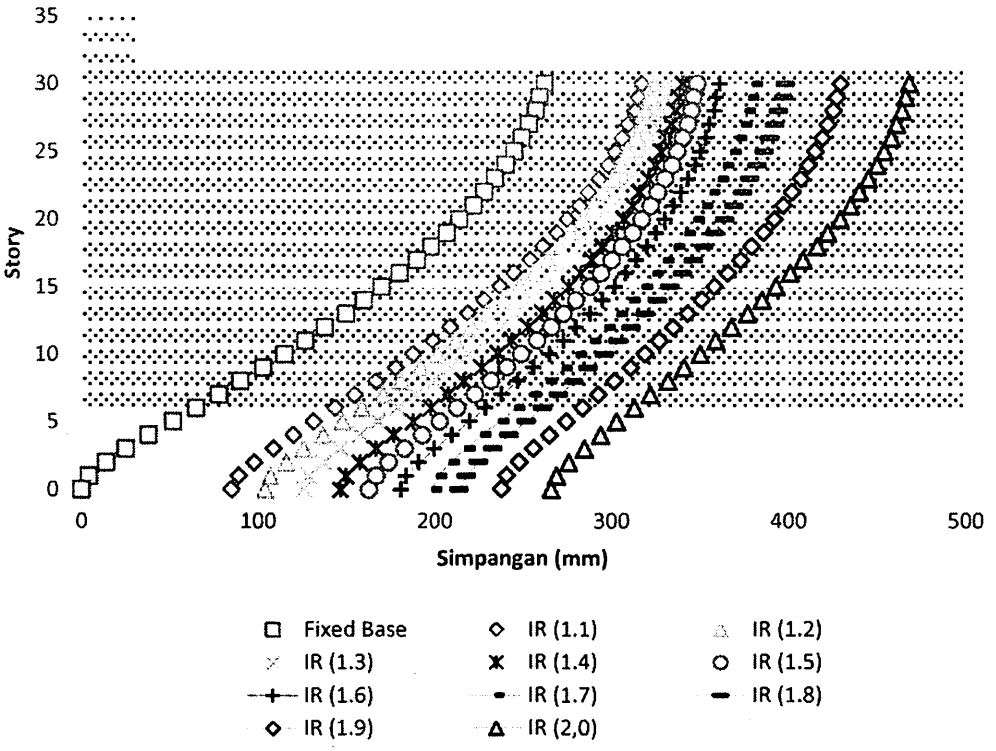
4. HASIL ANALISA DAN DISKUSI

Hasil *Displacement at Top Story* dan *Drift Story*

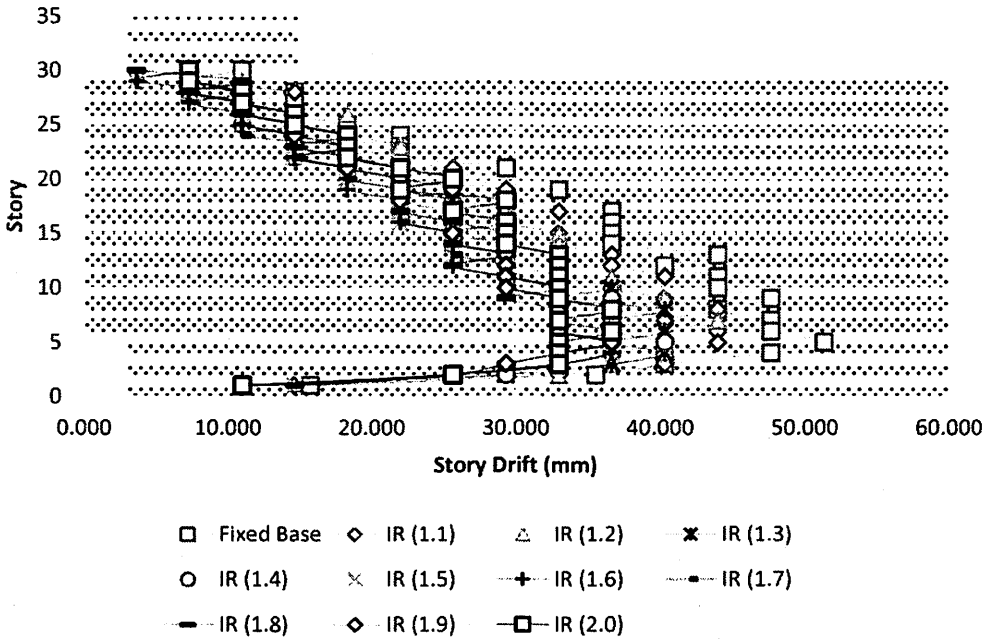
Menurut Jayachandaran (2009) [3], syarat *acceleration* untuk gedung tinggi guna menjamin kenyamanan penghuni (dalam keadaan *service ability*) sekitar 10-25 mili g, dimana g adalah nilai grafitasi (g = 981 cm/s^2). Sedangkan untuk *displacement* yang terjadi harus dalam batas H/500 – H/1000. Untuk hasil *Displacement at Top Story* dan *Drift Story* pada struktur yang memiliki *Isolation Ratio* dari 1,1 s/d 2,0, dapat dilihat pada gambar 3 dan gambar 4.

Perbandingan Perilaku Struktur Akibat *Wind Load* dan *Earthquake.*

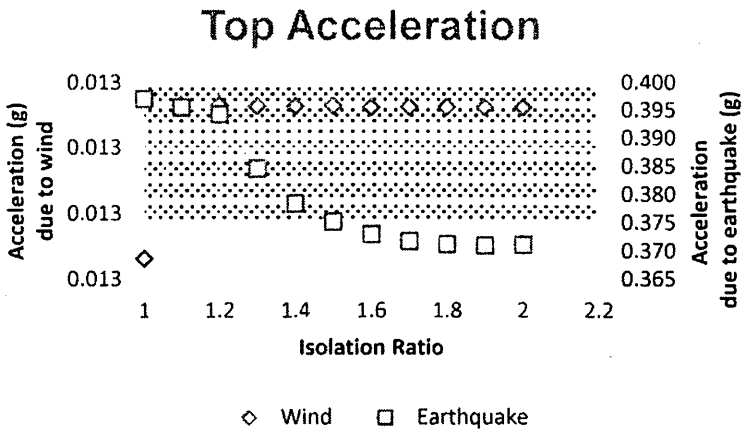
Analisa ini bertujuan untuk membandingkan perilaku struktur akibat beban angin dalam keadaan layan (*Service Load*) dengan perilaku struktur akibat beban gempa rencana (DBE). Adapun yang dibandingkan ialah pada *Top Story* dan *Base Level,* seperti pada gambar 5, 6, 7 dan 8.



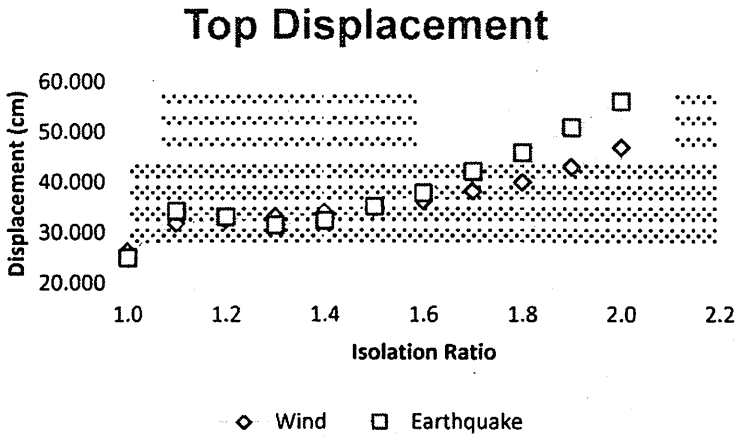
berbeda-beda (1,1 s/d 2,0).



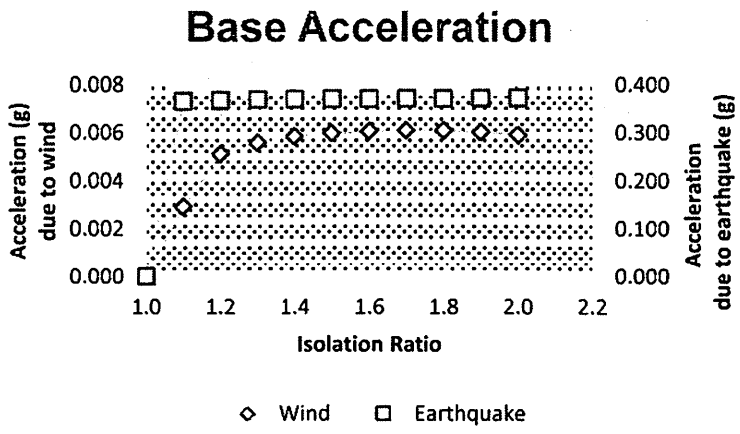
Gambar 4. Nilai *Drift Story* dengan *Isolation Ratio* yang berbeda-beda.



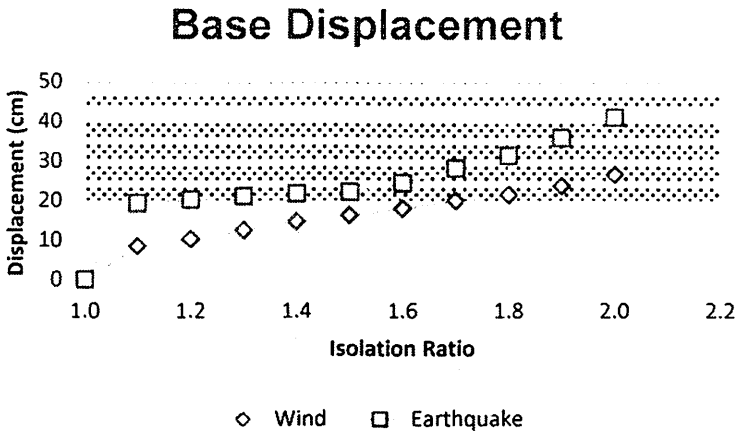
Gambar 5. Nilai *Acceleration* pada *TopStory* akibat beban gempa dan angin.



Gambar 6. Nilai *displacement* pada *TopStory* akibat beban gempa dan angin.



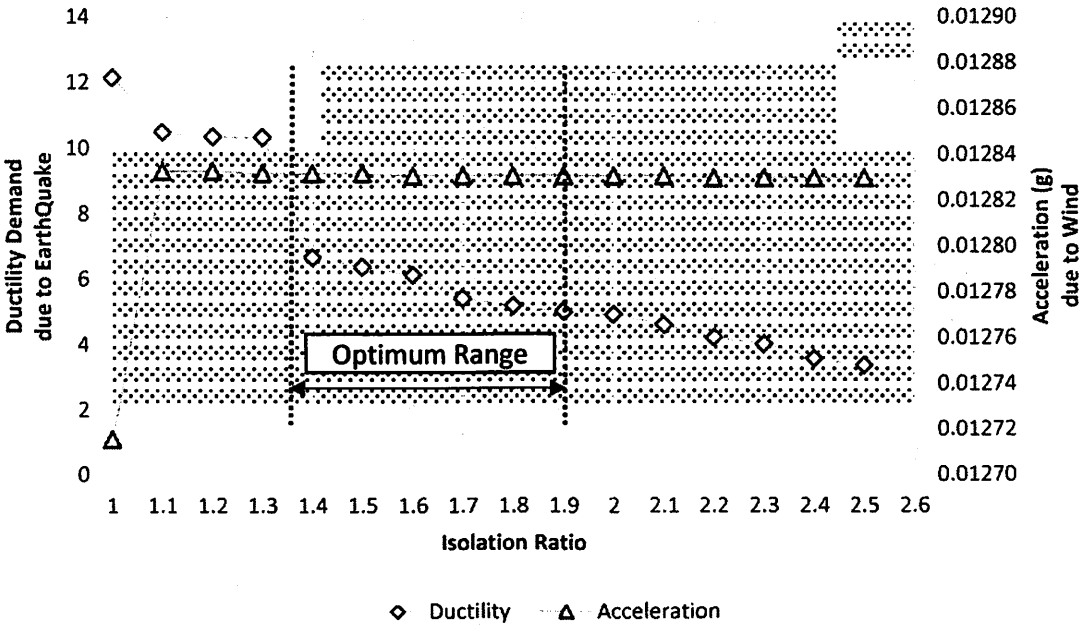
Gambar 7. Nilai *Acceleration* pada *Base Level* akibat beban gempa dan angin.



Gambar 8. Nilai *Acceleration* dan *displacement* pada *Base Level* akibat beban gempa dan angin.

Analisa *Ductility Demand* Struktur.

Dari gambar 8, dapat dilihat dengan jelas batas optimum (*Optimum Range*) dari *Isolation Ratio* (α_I = 1,35 s/d 1,9). Batas optimum ini berdasarkan pertimbangan terhadap tingkat daktalitas yang ideal (5,0 s/d 8,0) dan dimensi *rubber bearing* yang disesuaikan dengan dimensi kolom. Dalam hal ini pengaruh angin terhadap percepatan struktur tidak signifikan (perubahan percepatan akibat angin sangat kecil) sehingga dapat diabaikan.



Gambar 9. *Ductility Demand* dan *Optimum Range* dari *Isolated Structure.*

5. KESIMPULAN

1. Optimum Range dari *Isolation Ratio* terhadap gedung tinggi, ditinjau dari *Ductility Demand* ialah α_I = 1,35 s/d 1,9 dengan nilai daktalitas (*Ductility Demand*) μ = 5 s/d 8.

2. Dengan bertambahnya *isolation ratio*, *Ductility Demand* dari struktu semakin menurun. Hal ini menunjukkan semakin besar *isolation ratio* yang digunakan maka struktur bangunan semakin bersifat elastis.

3. Dengan bertambahnya *isolation ratio*, percepatan yang terjadi pada puncak bangunan berkurang dengan signifikan. Hal ini menandakan bahwa *base isolation* sangat effektif dalam mengurangi pengaruh beban gempa terhadap struktur gedung khususnya gedung tinggi (150m).

4. Berbeda halnya dengan pengaruh beban angin, meskipun *isolation ratio* bertambah, perubahan percepatan pada level puncak (*Top Story*) tidak signifikan (relatif kecil). Sehingga perencanaan penggunaan *base isolation* tidak effektif bila bertujuan hanya untuk mengurangi pengaruh dari beban angin (mengurangi percepatan yang terjadi).

5. Dengan bertambahnya *isolation ratio*, nilai *drift story* bangunan semakin kecil dibandingkan bila bangunan masih berupa *fixed-base*. Sehingga dapat dikatakan penggunaan *base isolation* sangat effektif dalam mengurangi *drift story* bangunan gedung tinggi.

6. Dengan bertambahnya *isolation ratio*, nilai simpangan yang terjadi pada perletakkan *(base level)* semakin bertambah, sehingga dalam mendisain *base isolation* , *displacement* maksimum dari *base isolation* harus benar-benar diperhatikan. Hal ini dikarenakan setiap jenis *base isolation* memiliki batas ijin *displacement* maksimum yang berbeda.

6. DAFTAR PUSTAKA

1. Alfonso, Vulcano.1998. *"Comparative Study of The Earthquake and Wind Dynamic Response of Base-Isolated Building"*.**Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamic:** 74-76..
2. Federal Emergency Management Agency (1997)," *NEHRP Commentary On The Guidlines Rehabilitation Of Building'*, FEMA-356,Washington DC.
3. Jayachandran,P. 2009. **Design of Tall Buildings Preliminary Design and Otimization,** National Workshop on High-rise and Tall Buildings, University of hyderabad, India.
4. Naeim,F., dan J.M.Kelly.1999. **Design of Seismic Isolated Structure From Theory to Practice.** New York : John Willey & Sons.

EVALUASI PERILAKU SISTEM *STAGGERED TRUSS FRAMING* (STF) DENGAN MENGGUNAKAN ANALISIS NONLINIER BEBAN DORONG DAN RIWAYAT WAKTU

Yoga C. V. Tethool[1], Endah Wahyuni[2]

[1]*Mahasiswa Program Pascasarjana Teknik Struktur FTSP ITS, email: vincenth_89@yahoo.com*
[2]*Dosen Jurusan Teknik Sipil FTSP, ITS, Kampus ITS Sukolilo Surabaya, Telp 031-5946094, email: endah@ce.its.ac.id*

ABSTRAK

Perencanaan sistem struktur tahan gempa pada setiap struktur bangunan yang akan didirikan di wilayah Indonesia sangat penting mengingat Indonesia merupakan daerah rawan gempa. Hal ini bertujuan agar pada saat terjadi gempa, struktur bangunan dapat bertahan dan melindungi penghuninya dari risiko bahaya gempa. Sebagai salah satu alternatif sistem struktur dengan bentangan yang panjang, sistem *staggered truss framing* (STF) masih perlu dievaluasi secara mendalam terhadap perilakunya saat terjadi gempa.
Tujuan penelitian ini yaitu untuk mengetahui besarnya simpangan, daktilitas dan mekanisme keruntuhan dari sistem STF. Sistem STF diaplikasikan penggunaannya pada bangunan berlantai enam yang berfungsi sebagai rumah susun. Sistem STF digunakan pada arah melintang bangunan, sedangkan untuk arah memanjang gedung menggunakan sistem rangka pemikul momen khusus. Beban gempa yang digunakan berdasarkan respon spektrum desain untuk Kota Manokwari dengan nilai S_s=1,446 dan S_1=0,553 sesuai SNI 03-1726-20xx. Evaluasi perilaku menggunakan analisis nonlinier beban dorong sesuai metode spektrum kapasitas dan analisis nonlinier riwayat waktu.
Hasil analisis menunjukan daktilitas sistem STF (arah melintang) sebesar 2,223 dan sistem rangka pemikul momen (arah memanjang) sebesar 4,466. Mekanisme keruntuhan sistem STF diawali dengan pelelehan pertama kali pada elemen *vierendeel panel* dan diikuti elemen-elemen disekitarnya. Simpangan ultimit dengan menggunakan analisis riwayat waktu masih lebih kecil dibandingkan dengan analisis beban dorong.

Kata kunci: *staggered truss framing*, analisis beban dorong, analisis riwayat waktu

1. PENDAHULUAN

Sebagai salah satu negara rawan gempa, setiap perencanaan struktur gedung yang hendak didirikan di Indonesia harus memenuhi kaidah-kaidah perencanaan struktur tahan gempa. Hal ini bertujuan agar pada saat terjadi gempa, struktur bangunan tersebut terhindar dari keruntuhan secara mendadak sehingga memberikan waktu bagi penghuninya untuk menyelamatkan diri [6].
Beberapa sistem struktur baja penahan beban gempa untuk gedung bertingkat yang sering digunakan antara lain: sistem rangka pemikul momen, sistem rangka bresing konsentrik dan sistem rangka bresing eksentrik [3]. Namun ketiga sistem struktur tersebut memiliki keterbatasan dalam memenuhi kebutuhan bentang/jarak antar kolom yang sangat lebar, khususnya untuk bangunan hunian seperti rumah susun, apartemen atau hotel yang seringkali membutuhkan daerah bebas kolom yang cukup luas.
Sebagai solusi untuk sistem struktur yang mampu menyediakan daerah bebas kolom yang luas sistem *staggered truss framing* (STF) dapat digunakan. Sistem STF mampu memberikan suatu bentang/jarak bebas kolom sebesar 18-21 meter [11]. Tetapi sistem STF ini masih perlu dievaluasi lebih dalam lagi mengenai perilakunya saat mengalami

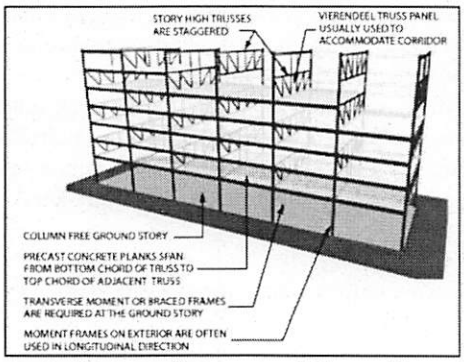
beban gempa, khusunya setelah mencapai kondisi inelastik. Evaluasi ini sangat diperlukan untuk mendapatkan jaminan bahwa kinerja sistem STF memuaskan saat gempa.

Makalah ini menyajikan hasil analisis terhadap sistem STF yang diaplikasikan penggunaannya pada rumah susun dan dievaluasi perilaku inelastiknya akibat beban gempa dengan menggunakan analisis nonlinier beban dorong dan riwayat waktu. Tujuan penelitian ini yaitu untuk mengetahui besarnya simpangan saat kondisi elastik maupun inelastik, daktilitas dan mekanisme keruntuhan dari sistem STF. Sehingga diharapkan sistem STF dapat diterapkan di Indonesia, walaupun dengan segala keadaan alam yang dimiliki oleh Indonesia.

2. DASAR TEORI

Sistem *staggered truss framing* (STF)

Sistem STF atau kerangka batang tersusun bergantian awalnya dikembangkan oleh Departemen Arsitek dan Sipil dari Massachusetts Institute of Technology (MIT). Sistem STF terdiri atas rangkaian rangka batang tersusun (*truss*), dengan ketinggian *truss* setinggi tingkat yang membentang keseluruhan lebar antara dua baris kolom eksterior dan diatur dalam pola bergantian (*staggered*) pada garis kolom yang berdekatan [10]. Untuk lebih jelasnya mengenai sistem STF ini dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Sistem *Staggered Truss Framing* [9]

Sistem STF efisien digunakan untuk bangunan dengan ketinggian menengah seperti apartemen, hotel, rumah susun, rumah sakit serta sistem struktur lain yang membutuhkan tinggi antar lantai yang rendah. Pemasangan rangkanya yang dipasang selang – seling secara vertikal pada garis kolom menjadikan area tanpa kolom yang besar untuk ruangan. Dengan demikian maka sistem struktur ini menyediakan kebebasan pengaturan fungsi lantai bagi arsitek [11].

Analisis nonlinier beban dorong dan riwayat waktu

Evaluasi kinerja struktur dapat dilakukan dengan empat analisis yang berbeda, yaitu secara statis linier, dinamis linier, statis nonlinier dan dinamis nonlinier [1]. Analisis nonlinier mampu mengakomodasi perilaku struktur pasca leleh. Analisis nonlinier statik beban dorong dilakukan dengan memberikan suatu pola beban lateral statik pada struktur, yang kemudian secara bertahap ditingkatkan dengan faktor pengali sampai satu target perpindahan lateral dari suatu titik acuan tercapai. Analisis nonlinier statik beban

dorong menghasilkan kurva yang menggambarkan hubungan antara gaya geser dasar versus perpindahan titik acuan pada atap [7].
Analisis nonlinier riwayat waktu adalah suatu cara analisis untuk menentukan riwayat waktu respon dinamik struktur bangunan gedung yang berperilaku nonlinier terhadap gerakan tanah akibat gempa rencana sebagai data masukan, di mana respon dinamik dalam setiap interval waktu dihitung dengan metode integrasi bertahap [8]. Dalam penelitian ini menggunakan akselerogram gempa El Centro (18 Mei 1940), gempa Denpasar (14 Juli 1976) dan gempa Kern County (21 Juli 1952).
Analisis nonlinier ini membutuhkan pemodelan sendi plastis yang digunakan agar dapat mendefinisikan perilaku nonlinier dari elemen struktur yang meliputi balok, kolom dan bresing. Sambungan antar elemen struktur didesain sedemikan sehingga sendi plastis tidak terjadi pada sambungan melainkan terjadi pada masing - masing ujung elemen balok maupun kolom, sedangkan untuk bresing diasumsikan sendi plastis terjadi pada tengah - tengah bentang. Secara umum pemodelan sendi plastis berdasarkan FEMA 356 telah *built in* dalam program SAP2000, sehingga pemodelan sendi palstis untuk kolom menggunakan *default* PMM, untuk balok menggunakan *default* M3, untuk *truss chord* menggunakan *default* PM3 dan untuk bresing menggunakan *default* P.

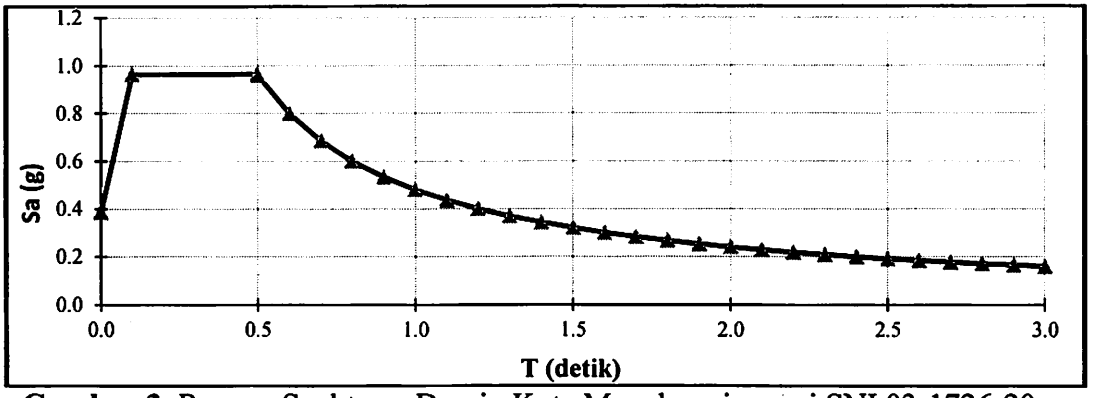
Tingkat kinerja bangunan
Penetapan tingkat kinerja suatu bangunan dapat didasarkan atas aturan tingkat keselamatan yang diberikan kepada penghuni gedung selama dan sesudah terjadi gempa terhadap kerusakan gedung pasca gempa. Tingkat kinerja suatu bangunan diatur sebagai berikut [2]:

1. Operasional
   Tak ada kerusakan berarti pada struktur dan non-struktur, bangunan tetap berfungsi.
2. Immediate Occupancy (IO)
   Tidak ada kerusakan yang berarti pada komponen struktural dimana kekuatan dan kekakuannya kira-kira hampir sama dengan kondisi sebelum gempa. Komponen non-struktur masih berada ditempatnya dan sebagian besar masih berfungsi jika utilitasnya tersedia. Bangunan dapat tetap berfungsi dan tidak terganggu dengan masalah perbaikan.
3. Life Safety (LS)
   Terjadi kerusakan komponen struktur, kekakuan berkurang, tetapi masih mempunyai ambang yang cukup terhadap keruntuhan. Komponen non-struktur masih ada tapi tidak berfungsi. Dapat dipakai lagi jika sudah dlakukan perbaikan.
4. Collapse Prevention (CP)
   Kerusakan yang berarti pada komponen struktur dan non struktur. Kekuatan struktur dan kekakuannya berkurang banyak, hampir runtuh. Kecelakaan akibat kejatuhan material bangunan yang rusak sangat mungkin terjadi.

3. PEMODELAN STRUKTUR

Respon spektrum desain berdasarkan SNI 03-1726-20xx
Berdasarkan SNI 03-1726-20xx [5], respon spektrum gempa rencana harus dibuat terlebih dahulu sesuai dengan lokasi yang diinginkan. Sesuai SNI 03-1726-20xx diperoleh percepatan batuan dasar untuk kota Manokwari adalah S_s = 1.446 dan S_1 = 0.553. Sedangkan untuk klasifikasi situs tergolong kelas situs SC yang dipilih

berdasarkan jenis tanah keras. Gambar 3 menampilkan respon spektrum desain untuk Kota Manokwari yang digunakan dalam penelitian ini.



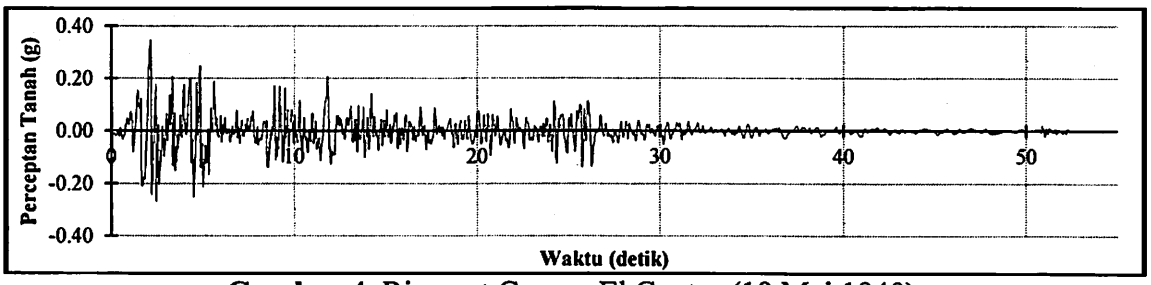
Gambar 3. Respon Spektrum Desain Kota Manokwari sesuai SNI 03-1726-20xx

Perencanaan skala gempa berdasarkan data riwayat waktu

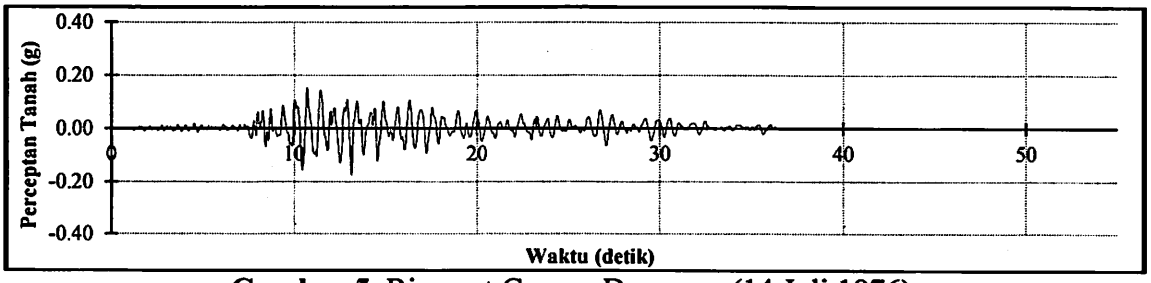
Rekaman riwayat gempa yang akan digunakan dalam analisis, terlebih dahulu harus diskalakan terhadap daerah dimana gedung direncanakan sesuai dengan respon spektrum desain. Penentuan skala gempa rencana didasarkan pada intensitas gempa yang digunakan sesuai persamaan:

$SI = \int Sv\, dT$ .....(1)

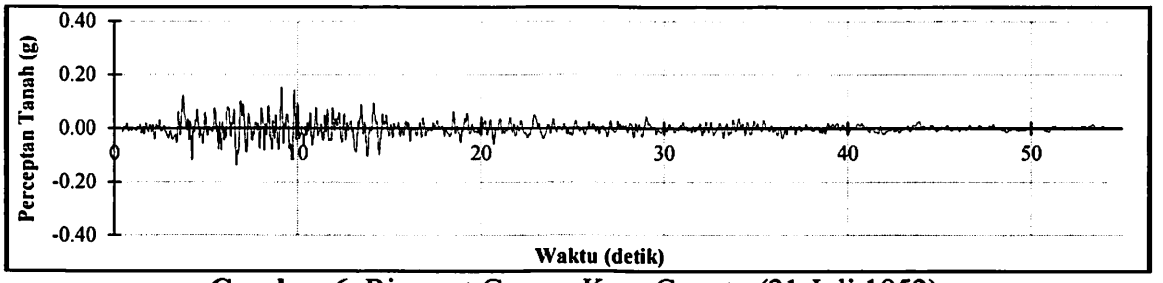
dengan Sv adalah *spectral velovity* dan T merupakan periode gempa. Gambar 4 hingga Gambar 6 menunjukan catatan riwayat waktu gempa yang digunakan dalam analisis ini.



Gambar 4. Riwayat Gempa El Centro (18 Mei 1940)



Gambar 5. Riwayat Gempa Denpasar (14 Juli 1976)



Gambar 6. Riwayat Gempa Kern County (21 Juli 1952)

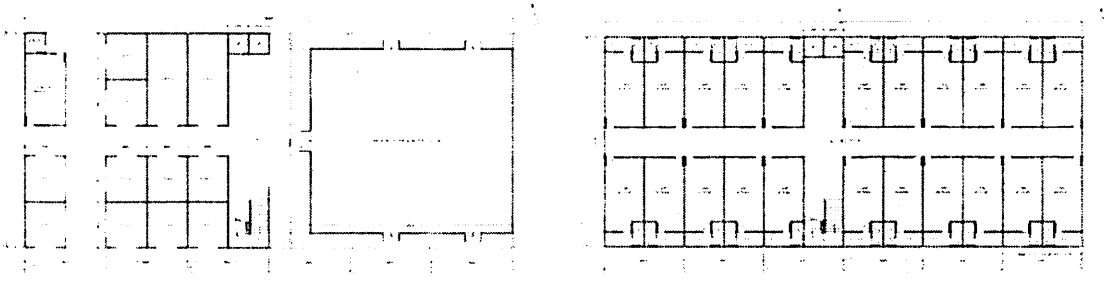
Dari hasil analisis perhitungan skala gempa dari berbagai catatan riwayat waktu gempa tersebut diperoleh besarnya nilai skala seperti tersaji pada Tabel 1.

Tabel 1. Perhitungan Skala Gempa

Spektrum Gempa	Intensitas	Skala (g)
Manokwari	206.171	1.000
El Centro	181.976	1.133
Denpasar	81.335	2.535
Kern County	77.171	2.672

Pemodelan struktur gedung dengan sistem *staggered truss framing* (STF)

Gedung yang menggunakana sistem STF diaplikasikan penggunaannya pada bangunan rumah susun dengan denah mengikuti Gambar 7.



(a) Lantai 1 (b) Lantai 2 dan seterusnya

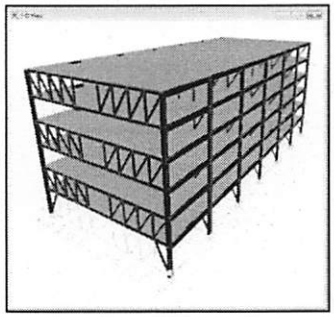
Gambar 7. Denah Gedung

Data-data teknis berikut yang terkait dalam perencanaan dan analisa gedung STF pada penelitian ini adalah sama untuk semua model STF.

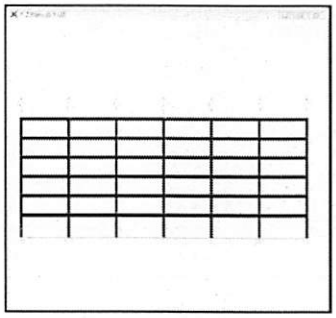
- Faktor keutamaan (I) : 1
- Lebar bangunan : 21 meter
- Panjang bangunan : 48 meter
- Tinggi total bangunan : 20.25 meter (6 lantai)
- Mutu baja profil : BJ41
- Profil yang digunakan
  - *Column* : H 400x400x30x50
  - *Spandrel beam* atap : WF 600x200x11x17
  - *Spandrel beam* lantai : WF 600x300x12x20
  - *Truss chord* : WF 300x200x8x12
  - *Vierendeel panel* : WF 300x200x8x12
  - *Truss diagonal* : HSS 200x200x12

- *Truss hanger* : HSS 200x200x12
- *Truss knee brace* : HSS 200x200x12
- *Truss post* : HSS 200x200x12
- *Truss vertical* : HSS 200x200x12

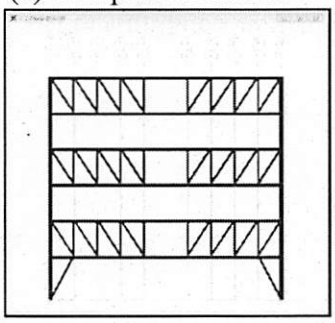
Pemodelan gedung ini pada arah melintangnya (U-S) menggunakan sistem *staggered truss framing* (STF) dengan faktor reduksi gempa (R) sebesar 7. Gambar 8(c) menunjukan portal melintang untuk as-ganjil, sedangkan Gambar 8(d) merupakan portal melintang untuk as-genap. Pada arah memanjang (B-T) gedung menggunakan sistem rangka pemikul momen khusus dengan nilai R sebesar 8. Gambar 8(b) menunjukan portal memanjang gedung.



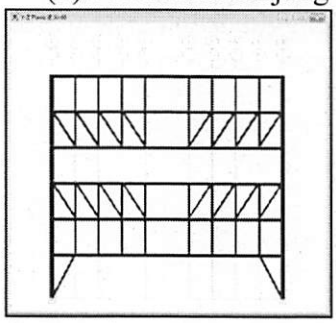
(a) Tampak 3Dimensi



(b) Portal Memanjang



(c) Portal Melintang As-Ganjil



(d) Portal Melintang As-Genap

Gambar 8. Pemodelan Gedung dengan Sistem STF

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Kontrol simpangan antar lantai

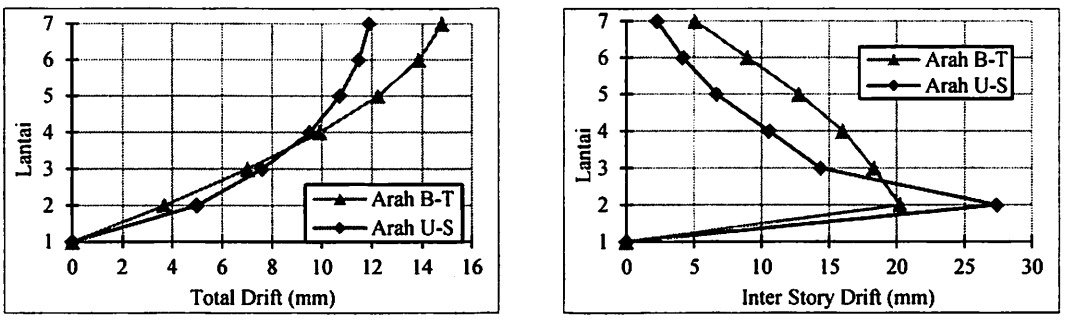
Kontrol terhadap simpangan antar lantai dilakukan berdasarkan SNI 03-1726-20xx pasal 7.9.3. Tabel 2 merangkum hasil perhitungan simpangan antar lantai. Dari hasil perhitungan tersebut diketahui bahwa simpangan antar lantai yang terjadi pada gedung ini masih memenuhi syarat yang ditentukan.

Tabel 2. Perhitungan Simpangan Antar Lantai

Lantai	Arah Memanjang			Arah Melintang			Story drift ijin (mm)	Cek
	Total drift (mm)	Perpindahan (mm)	Story drift (mm)	Total drift (mm)	Perpindahan (mm)	Story drift (mm)		
Atap	14.79	0.92	5.06	11.89	0.41	2.26	65	Ok
6	13.87	1.63	8.96	11.48	0.76	4.18	65	Ok

5	12.24	2.32	12.76	10.72	1.21	6.66	65	Ok
4	9.92	2.91	16.01	9.51	1.92	10.56	65	Ok
3	7.01	3.33	18.32	7.59	2.61	14.36	65	Ok
2	3.68	3.68	20.24	4.98	4.98	27.39	80	Ok

Gambar 9 menampilkan perbandingan *total drift* dan *inter story drift* yang terjadi pada kedua arah gedung. Dari gambar-gambar tersebut juga menunjukan bahwa sistem struktur STF ini memiliki kekakuan yang lebih besar dibandingkan dengan sistem struktur rangka pemikul momen.



(a) (b)

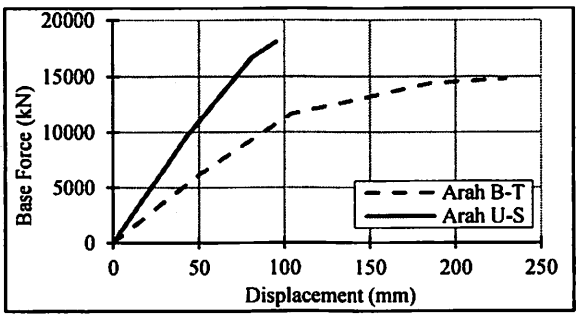
Gambar 9. Simpangan Gedung yang Terjadi

Hasil analisis nonlinier beban dorong

Dari hasil analisis beban dorong diperoleh kurva kapasitas struktur yang berupa hubungan antara perpindahan atap dengan *base force* pada kedua arah gedung seperti terlihat dalam Gambar 10. Daktilitas (μ_Δ) struktur dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$\mu_\Delta = \frac{\delta_u}{\delta_y} \quad \text{.....} \quad (2)$$

Tabel 3 merangkum perhitungan daktilitas struktur untuk gedung berdasarkan hasil analisis.



Gambar 10. Kurva Hasil Analisis Beban Dorong

Tabel 3. Perhitungan Daktilitas Struktur Gedung STF

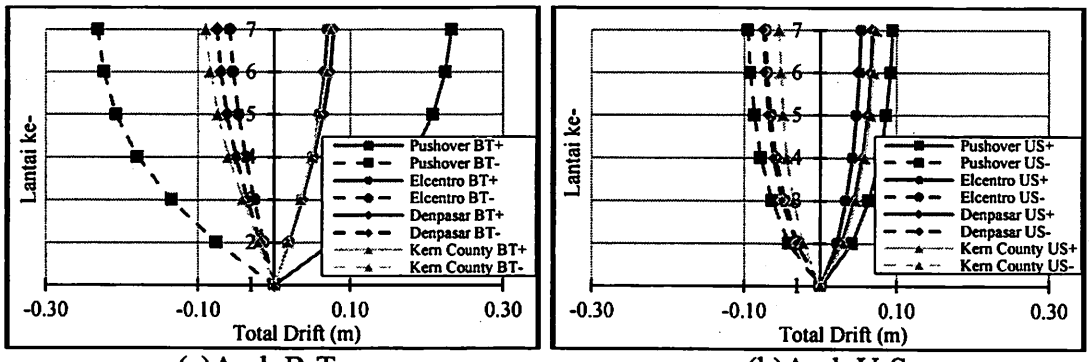
Arah	δy (mm)	Vy (kN)	δu (mm)	Vu (kN)	μΔ
B-T	51.282	6373.631	229.020	14811.868	4.466
U-S	42.722	9608.751	94.982	18087.275	2.223

ISBN 978-979-99327-8-5

Untuk mengevaluasi tingkat kinerja struktur berdasarkan hasil analisa pushover, terlebih dahulu dihitung target perpindahan maksimum (δ_t) yang terjadi pada massa atap saat gedung mengalami gempa rencana. Target perpindahan dapat dihitung dengan menggunakan metode spektrum kapasitas yang telah *built in* dalam program SAP2000. Tetapi nilai koefisien Ca = Sa = 0.386 dan Cv = S_{D1} = 0.48 perlu di*input*kan untuk proses perhitungan kurva demand. Dari hasil analisis *performance point* diperoleh target perpindahan $\delta_{t\text{-}BT}$ = 106.054 mm dengan *base force* $V_{t\text{-}BT}$ = 11705.015 kN untuk arah memanjang gedung. Sedangkan analisis *performance point* arah melintang gedung diperoleh target perpindahan $\delta_{t\text{-}US}$ = 79.193 mm dengan *base force* $V_{t\text{-}US}$ = 16360.629 kN. Berdasarkan hasil analisis nonlinier beban dorong diketahui bahwa pada kedua arah gedung ini saat gempa rencana terjadi, kondisi terparahnya masih berada dalam kondisi *Life Safety* (LS).

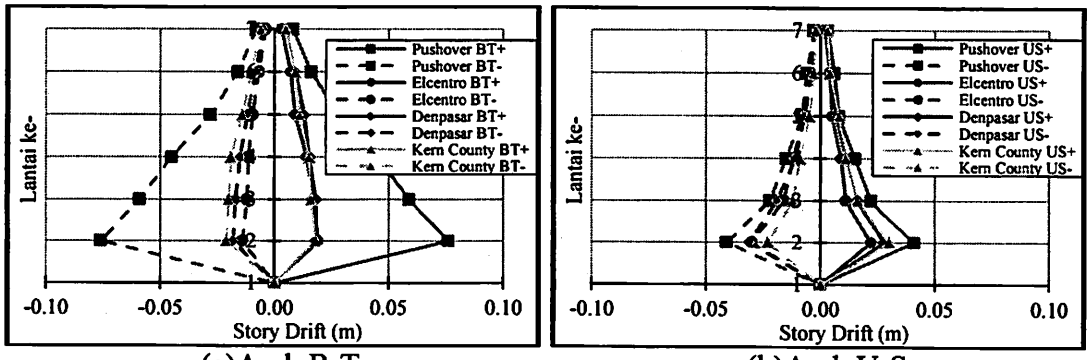
Hasil analisis nonlinier riwayat waktu

Dari hasil analisis riwayat waktu diperoleh besarnya peralihan struktur gedung untuk arah B-T dan U-S yang ditinjau pada portal terkritis disajikan dalam Gambar 11. Secara umum pada kedua arah gedung STF memperlihatkan bahwa peralihan akibat analisis statik beban dorong masih melebihi peralihan akibat analisis riwayat waktu Elcentro, Denpasar maupun Kern County.



(a)Arah B-T (b)Arah U-S

Gambar 11. Envelope Peralihan Gedung STF



(a)Arah B-T (b)Arah U-S

Gambar 12. Drift Maksimum Gedung STF

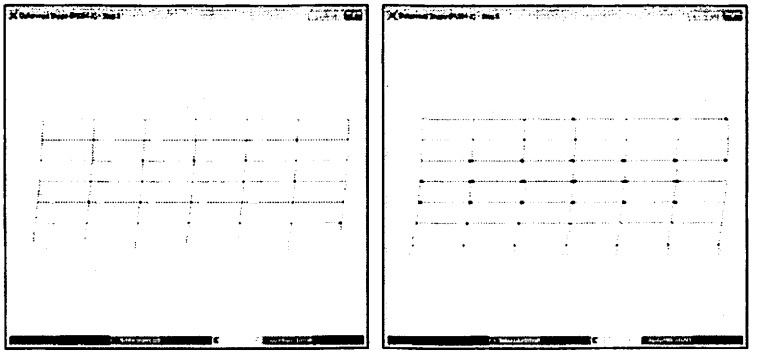
Hasil perbandingan drift maksimum pada portal terkritis yang ditinjau untuk gedung STF arah B-T dan arah U-S terlihat pada Gambar 12. Dari gambar tersebut terlihat

bahwa drift maksimum pada lantai 2 memiliki nilai yang paling tinggi, hal ini disebabkan karena tinggi tinggi lantai paling bawah gedung ini memiliki nilai yang paling besar dibandingkan tinggi lantai yang lainnya.

Mekanisme keruntuhan sistem STF

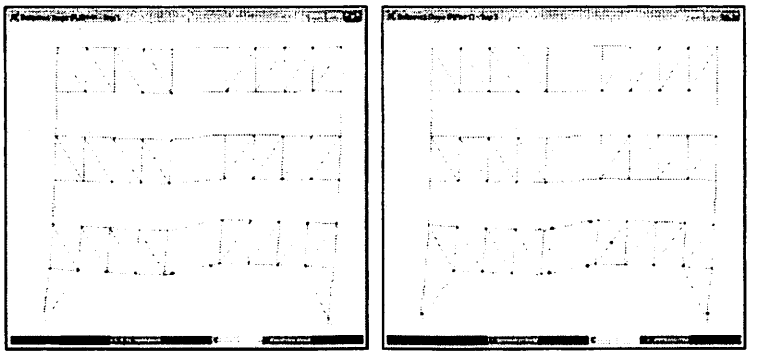
Gambar 13 dan Gambar 14 menunjukan mekanisme terjadinya sendi plastis pada gedung STF untuk arah B-T dan arah U-S yang diambil pada portal terkritis. Gambar 13(a) dan 14(a) dan merupakan kondisi dimana mulai terjadi pelelehan pertama kali, sedangkan Gambar 13(b) dan 14(b) adalah kondisi dimana struktur mengalami kondisi ultimit.

Gambar 13 memberikan gambaran mengenai mekanisme keruntuhan pada arah memanjang gedung, dimana terlihat bahwa pada ujung-ujung balok dan kolom paling bawah telah mengalami pelelehan. Pada Gambar 14 menunjukan bahwa pada sistem STF akan terjadi pelelehan pertama kali pada elemen *vierendeel*, selanjutnya hingga kondisi ultimit elemen *truss chord* serta *diagonal chord* yang berada disekitar *vierenceel panel* dan pada ujung bawah kolom juga telah mengalami plastifikasi.



(a) (b)

Gambar 13. Mekanisme Keruntuhan Gedung STF Arah B-T



(a) (b)

Gambar 14. Mekanisme Keruntuhan Gedung STF Arah U-S

5. KESIMPULAN

Dengan penggunaan sistem *staggered truss framing* pada arah melintang gedung menyebabkan kekakuan gedung pada arah tersebut meningkat. Hal ini besarnya simpangan saat elastik maupun saat inelastik dan nilai daktilitas arah melintang masih

lebih kecil dibandingkan pada arah memanjang gedung yang menggunakan sistem rangka pemikul momen.
Berdasarkan hasil analisis nonlinier beban dorong dan riwayat waktu diketahui bahwa *vierendeel panel* dan elemen-elemen struktur disekitarnya, khususnya pada rangka paling bawah, memiliki peranan penting dalam proses plastifikasi dari sistem struktur *staggered truss framing*. Simpangan saat ultimit dengan menggunakan analisis nonlinier riwayat waktu diketahui masih lebih kecil dibandingkan dengan menggunakan analisis nonlinier beban dorong. Hal ini berarti teknik analisis nonlinier beban dorong masih cukup aman digunakan untuk meramalkan perilaku inelastik sistem *staggered truss framing*.

6. UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan secara khusus kepada Pemerintah Republik Indonesia melalui Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya yang telah memberikan beasiswa *freshgraduate* kepada penulis selama menempuh program magister di ITS.

7. DAFTAR PUSTAKA

1. Applied Technology Council. 1996. *Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Building Volume 1*. California.
2. ASCE. 2000. *FEMA 356 - Prestandard and Comentary for The Seismic Rehabilitation of Buildings*. Federal Emergency Management Agency, Washington DC.
3. Badan Standarisasi Nasional. 2000. *Tata Cara Perencanaan Struktur Baja Untuk Bangunan Gedung (SNI 03-1729-2000)*. Bandung: BSN.
4. Badan Standarisasi Nasional. 2005. *Tata Cara Penghitungan Pembebanan untuk Bangunan Rumah dan Gedung (RSNI 03-1727-1989)*. Bandung: BSN.
5. Badan Standarisasi Nasional. 2010. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung (SNI 03-1726-20xx)*. Bandung: BSN.
6. Budiono, Bambang dan Lucky Supriatna. 2011. *Studi Komparasi Desain Bangunan Tahan Gempa dengan Menggunakan SNI 03-1726-2002 dan RSNI 03-1726-201x*. Bandung: Penerbit ITB.
7. Dewobroto, Wiryanto. 2005. *Evaluasi Kinerja Struktur Baja Tahan Gempa dengan Analisa Pushover*. Civil Engineering National Conference, Semarang.
8. Pranata, Yosafat Aji. 2008. *Kajian Daktilitas Struktur Gedung Beton Bertulang dengan Analysis Riwayat Waktu dan Analisis Beban Dorong*. Jurnal Teknik Sipil vol.8 no.3.
9. Seismology Committee Stuctural Engineering Association of California. 2008. *Seismic Design of Steel Staggered Truss Systems*. California: STRUCTURE Magazine.

10. Setiyarto, Y. Djoko. 2007. *Sistem Staggered Truss Frame Sebagai Alternatif Sistem Struktur Bentang Lebar pada Gedung Bertingkat*. Bandung: Majalah Ilmiah UNIKOM vol.6 no.2.

11. Wexler, Neil dan Feng-Bao Lin. 2003. *Steel Design Guide Series: Staggered Truss Framing Systems*. USA: American Institute of Steel Construction, Inc.

" Halaman ini sengaja dikosongkan "

ISBN 978-979-99327-8-5

PENGARUH GETARAN AKIBAT KERETA API DI RENCANA *DOUBLE TRACK* SEKITAR LAMONGAN

Ananta Sigit Sidharta[1], Triwulan[2], Dwa Desa Warnana[3]

[1]*Dosen Jurusan Teknik Sipil FTSP, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Kampus ITS Sukolilo Surabaya, Telp 081330522390, email: ananta@ce.its.ac.id*
[2]*Dosen Jurusan Teknik Sipil FTSP, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Kampus ITS Sukolilo Surabaya, Telp 031-594 6710, email: triwulan_marwan@yahoo.com*
[3]*Dosen Jurusan Geofisika FMIPA, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Kampus ITS Sukolilo Surabaya, Telp 08165451490, email: dwa_desa@geofisika.its.ac.id*

ABSTRAK

Pembuatan jalan kereta api *double track* Surabaya-Jakarta termasuk salah satu pengembangan Infrastruktur, namun diantara Surabaya dan Babat agak terkendala dengan adanya pipa Petrokimia yang ada sejajar dengan rel kereta api diatas pondasi setempat serta pipa Pertamina dibawah muka tanah yang perlu diselidiki apakah mungkin bermasalah bila rel baru yang menjadikan *double track* telah terpasang.

Penelitian dan pengukuran dilapangan dengan menggunakan alat ukur *Seismometer* dilakukan di tiga lokasi yaitu lintasan 1 di P-18 km 189+300 pada jarak 5 m dari as rel, lintasan 2 di P-21 km 189+450 pada jarak 3 m dari as rel dan lintasan 3 di P-223 km 200+500 pada jarak 3 m dari as rel dengan menggunakan alat ukur *Vibrationmeter/Accelerometer* pada tanggal 28 Juli 2011 untuk mencari besarnya kecepatan Partikel tanah (PPV) dan percepatan (a) serta menggunakan alat ukur *Seismometer* untuk mencari koefisien pengurangan amplitido (koefisien Atenuasi = α) pada tanggal 6 September 2011 pada lokasi yang sama.

Hasil koefisien Atenuasi yaitu α rata-rata sekitar 0,0264 atau berkurang 50% setelah 20 m, dengan PPV yang timbul masih sedikit melebihi 0,3 mm/dt yaitu batasan yang sama sekali tidak merusak tetapi masih dibawah 2 mm/dt yaitu rekomendasi batas maksimum untuk bangunan yang dipugar atau monumen bersejarah bila rel kereta api tidak terputus (sudah di-las). Namun untuk daerah di sekitar wessel dekat stasiun yang mana terpaksa harus ada pemutusan terjadi PPV sebesar 2,6 m/dt yang mana sedikit melebihi 2,5 m/dt yaitu batasan tidak ada resiko untuk bangunan normal dan masih jauh dari 5 mm/dt yaitu batasan untuk kerusakan segi arsitektural dan masih sangat jauh dari batasan 10 mm/dt untuk kemungkinan rusak minor pada struktur atau *burried service criterion*, serta mempunyai koefisien Atenuasi α yang cepat pula yaitu 0,2611.

Kata kunci: koefisien atenuasi, getaran, kecepatan Partikel Tanah, amplitido

1. PENDAHULUAN

Makalah ini dibuat untuk memberikan gambaran seberapa besar pengaruh getaran yang ditimbulkan oleh perjalanan kereta api yang melewati rel dijalur Surabaya-Semarang disekitar Lamongan yang mungkin terkendala akibat adanya pipa Petrokimia diatas permuakaan tanah disamping jalur kereta api yang ada.
Pengamatan dilakukan dengan menggunakan alat ukur *Vibrationmeter* dan *Accelerometer* di 3 (tiga) posisi yaitu masing[2] di P-18 km 189+300, P-21 km 189+450 dan P-223 km 200+500.

2. DASAR TEORI

Getaran yang ditimbulkan oleh kendaraan dikategorikan sebagai getaran periodik, dengan amplitudo yang terjadi merupakan fungsi kecepatan kereta api, berat, kondisi rel, dan jumlah balas yang ada. Kecepatan partikel tanah (V_p=PPV)[mm/dt] merupakan salah satu parameter tunggal yang paling tepat untuk mengevaluasi tingkat getaran yang terjadi, apakah mengganggu bangunan atau tidak, dimana:

$$V_p = 2\pi(f)(A) \quad \text{.....} \quad (1)$$

dimana: f = frekuensi [cps] dan A = Amplitido [mm atau inch]

$$a = (2\pi f)^2 (A) \quad \text{.....} \quad (2)$$

Dimana dengan mengetahui V_p dan percepatan partikel tanah (=a) [mm/dt^{2}atau inch/dt^2], nilai frekuensi f dan amplitudo A bisa dihitung dari persamaan 1 dan 2.
Ada 3 jenis gelombang yaitu gelombang P atau gelombang tekan mempunyai energi terkecil yaitu sebesar 7 %, gelombang S atau gelombang Geser berenergi sebesar 26% serta gelombang R yaitu gelombang *Rayleigh* yang merupakan kombinasi getaran vertikal dan horizontal bergerak secara radial mempunyai energi terbesar yaitu 67%.
Amplitido gelombang S, P dan R berkurang dengan bertambahnya jarak dari sumber getaran, gelombang R berkurang lebih lambat dibanding gelombang S dan P. Gelombang R yang paling penting karena paling besar dan bergerak disekitar permukaan tanah dengan pengurangan berbanding terbalik dengan akar jarak (*geometrical damping*).
Semi empiris hubungan Amplitido gelombang R dengan memasukkan redaman geometrik sebagai fungsi jarak ditentukan dengan rumus [3]:

$$\frac{A_1}{A_0} = \left(\frac{r_0}{r_1}\right)^n \quad \text{.....} \quad (3)$$

dimana: A_0 dan A_1 masing^2 adalah amplitudo serta r_0 dan r_1 adalah jarak.
Koefisien Atenuasi (=α) adalah koefisien pengurangan amplitido dengan jarak yang tergantung pada jenis tanah, nilai koefisien Atenuasi berkisar antara 0 sampai 0,65 dalam satuan 1/m atau m^{-1}, karena PPV merupakan fungsi amplitido, maka rumus persamaan 3 diatas dengan memasukkan *material damping* [3][4] bisa diubah menjadi persamaan 4:

$$\frac{V}{V_o} = \left(\frac{D_0}{D}\right)^n e^{-\alpha(D-D_o)} \quad \text{.....} \quad (4)$$

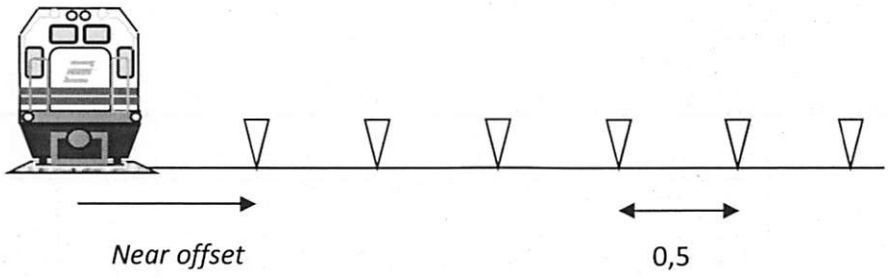
dimana:V dan V_0[mm/dt atau inch/dt]= *Peak particle velocity* (PPV) pada jarak D dan D_0
D [m] = Jarak dimana akan dihitung nilai V nya
D_o [m] = Jarak referensi yang diketahui V nya
α = koefisien atenuasi tanah
Untuk beban terpusat, nilai n adalah 0,5 sedangkan untuk beban garis [1] dipakai nilai n = 0, karena kereta api termasuk beban garis yang berarti tidak ada pengaruh *geometrical damping* dan hanya ada pengaruh *material damping* dengan atenuasi α yang diperlukan, dan koefisien atenuasi bisa dihitung berdasarkan pembacaan dengan alat ukur dilapangan dan dari persamaan 4 diatas nilai koefisien atenuasi α dapat dicari dengan menggunakan persamaan 5:

$$\alpha = (\ln V - \ln V_0)/(D_0 - D) \quad \text{.....(5)}$$

Batasan *level* getaran (=V) menurut *the Transport and Road Research Laboratory* [3] di Inggris memakai batasan yang diikuti oleh *California Department Transportation* di Amerika Serikat seperti di Lampiran.

3. METODOLOGI

Kereta api yang sedang lewat sebagai sumber getaran, direkam *level* getarannya melalui beberapa *geophone* yang berjarak masing-masing 0,5 m seperti Gambar 1.



Gambar 1 : Konfigurasi perekaman data seismik

Gambar 2: lokasi lintasan 1, 2 dan 3

Pengukuran dilakukan di 3 (tiga) lintasan yaitu masing^2 adalah lintasan 1 di P-21 km 189+450, lintasan 2 di P-18 km 189+300 dan lintasan 3 di P-223 km 200+500 seperti terlihat di Gambar 2 diatas. Di tiap lintasan diadakan pengukuran V_p berjarak 5 m dari as rel untuk lintasan 1 serta masing^2 3 m untuk lintasan 2 dan 3 dengan alat ukur *accelerometer* serta pengamatan data seismik dengan *geophone* untuk *Vibrationmeter*,
Dari accelerometer terbaca langsung nilai Vp, sedangkan besarnya displacement dari masing2 *geophone* diolah di laboratorium geofisika, selanjutnya dari data itu bisa dihitung nilai α untuk masing2 pembacaan, selanjutnya digambarkan grafik pengurangan kecepatan partikel tanah sebagai fungsi frekuensi dan amplitudo.
Hasil *level* getaran dengan menghitung V di bandingkan dengan batasan yang ada di Lampiran.

4. HASIL DAN DISKUSI

Pengukuran dilapangan dengan accelerometer menghasilkan angka kecepatan partikel tanah (V) dan percepatan (a) seperti Tabel 1, selanjutnya amplitido dan frekuensi bisa dihitung dan hasilnya seperti yang tertulis di Tabel 2.

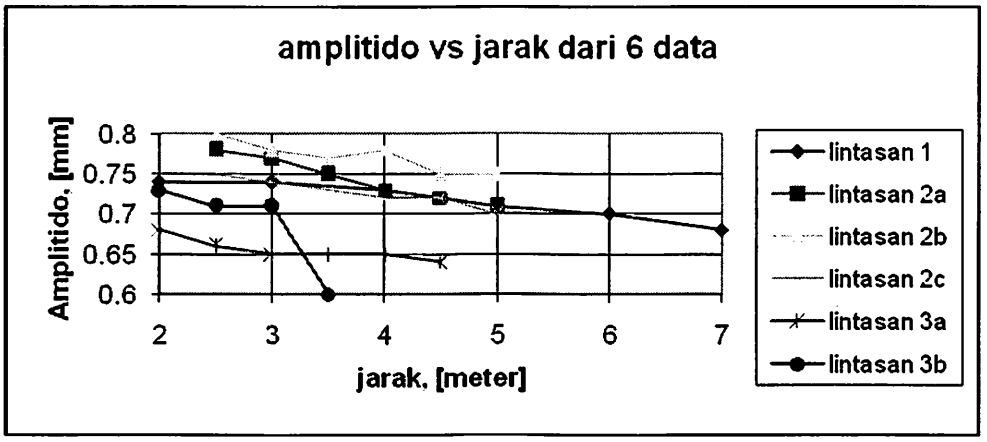
Tabel 1: Pengukuran a dan V_p dengan menggunakan Accelerometer tgl 28 Juli 2011

no.	Nama Kereta	waktu (WIB)	Lokasi	Jarak dari as REL	Kecepatan (freq 3 Hz - 1 KHz) (mm/dt)	Percepatan (freq 3 Hz - 1 KHz) (m/dt^2)
1	Eksekutif Argo Anggrek-JKT-SBY	07.35	P-21 km 189-450	5	0,4	0,4
2	Barang-Jakarta-Surabaya	08.00		5	0,7	0,2
3	Eksekutif Argo Anggrek-SBY-JKT	08.40		5	0,2	0,4
4	KRD - Bojonegoro-Surabaya	10.30	P-18 km 189-300	3	0,8	1
5	Rajawali - Semarang-Surabaya	12.25		3	1,1	1,1
6	KRD - Surabaya-Bojonegoro	14.25	P-223 km 200+500	3	0,8	0,5
7	Rajawali - Surabaya-Semarang	14.45		3	2,6	2

Tabel 2: Perhitungan amplitudo dan frekuensi untuk masing^2 lintasan

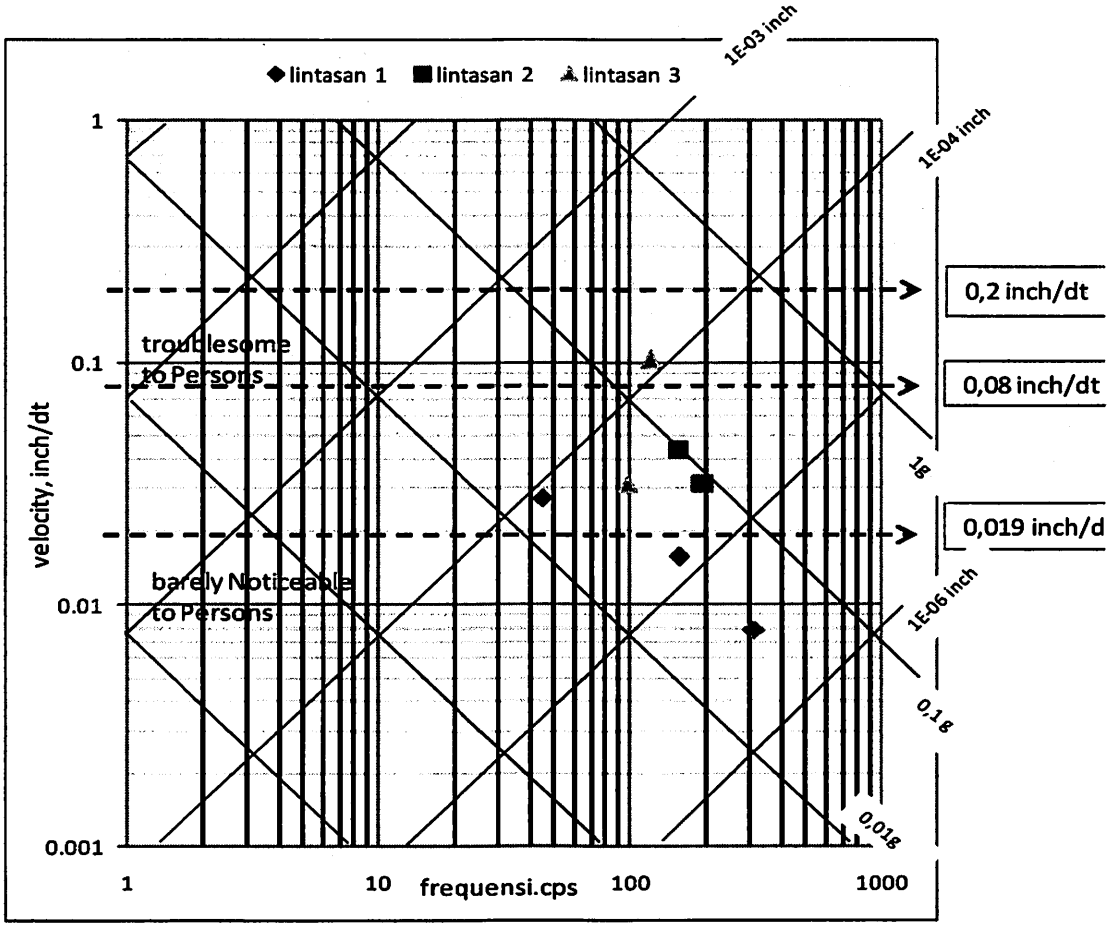
	Details	Derived		Reiher & Meister	Derived		Observed	
		Amplitude (inch)	Frequency (cps)	Classification	Max PPV (micro inch/dt)	Acceleration (g)	Max PPV (mm/dt)	Acceleration m/dt^2
1	Loko Argo Anggrek Jkt-Sby 5 m dari as rel	1.6062E-05	156.042	Just Perceptible	15,748.03	0.04	0.4	0.4
2	Barang Jkt-Sby 5 m dari as rel	9.8381E-05	44.583	Just Perceptible	27,559.06	0.02	0.7	0.2
3	Argo Anggrek Sby-Jkt 5 m dari as rel	4.0156E-06	312.084	imperceptible	7,874.02	0.04	0.2	0.4
4	KRD Sby - Bo 3 m dari as rel	2.57E-05	195.052	clearly Perceptible	31,496.06	0.1	0.8	1
5	Rajawali Smg-Sby 3 m dari as rel	4.4171E-05	156.042	clearly Perceptible	43,307.09	0.11	1.1	1.1
6	KRD Bo- Sby 3 m dari as rel	5.1399E-05	97.526	clearly Perceptible	31,496.06	0.05	0.8	0.5
7	Rajawali Sby-Smg 3 m dari as rel	0.00013573	120.032	annoying	102,362.20	0.2	2.6	2

Selanjutnya dengan *Vibrationmeter* dengan bantuan *geophone* dilakukan pengukuran pada tanggal 6 September 2011 pada lintasan yang sama, dari hasil pengolahan di laboratorium Geofisika diperoleh amplitudo pembacaan dari 3 lintasan dengan 6 pembacaan bisa digambarkan seperti grafik dalam Gambar no.3, selanjutnya koefisien atenuasi α bisa dihitung dengan Persamaan no.5 dan dituliskan di Tabel 3.



Gambar 3: amplitudo vs jarak dari 6 lintasan

Tingkat (*level*) getaran yang ada bila di plot di response spectrum bisa dilihat pada Gambar 4, secara umum bisa dilihat bahwa semua pembacaan lebih kecil dari batasan 0,08 inch/dt atau 2 mm/dt yaitu batasan untuk tidak merusak bangunan *ruins* dan *ancient monuments*.



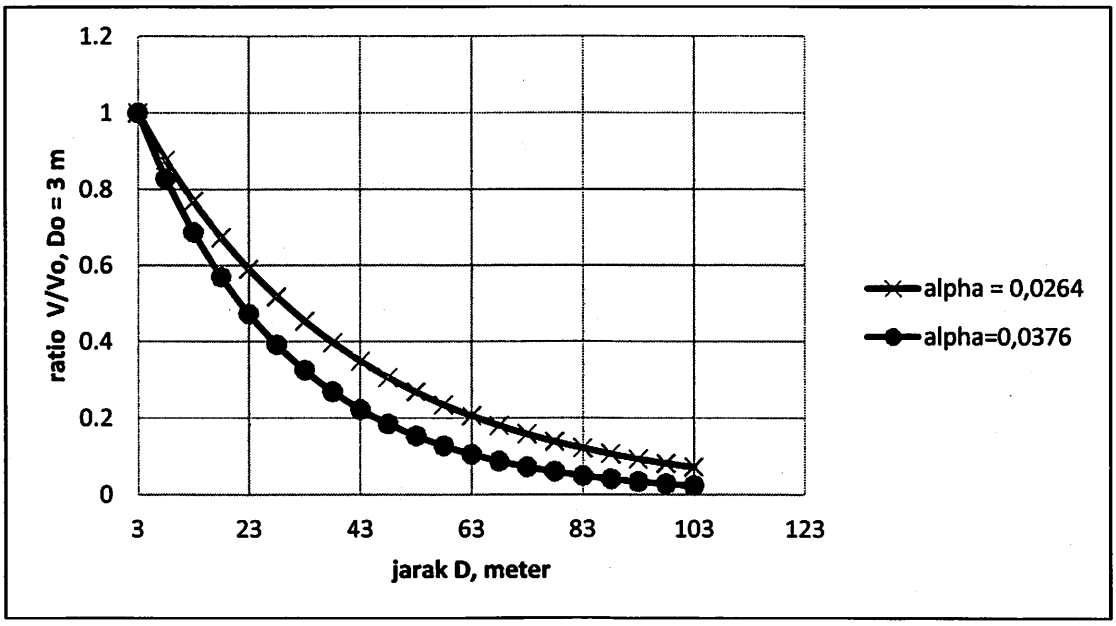
Gambar 4 : Response spectrum dari lintasan 1, 2 dan 3 memakai angka[2] dari Tabel 2

Tabel 3 :Perhitungan koefisien Atenuasi α untuk masing^2 lintasan

		LINTASAN					
		1	2			3	
			2a	2b	2c	3a	3b
Do =	m	2	2.5	2.5	2.5	2	2
D =	m	7	5	5	5	4.5	4.5
Vo =	mm/dt	0.25573	0.26955	0.27646	0.28274	0.1709	0.2752
V =	mm/dt	0.23499	0.24536	0.25918	0.26389	0.16085	0.14326
Ao =	μm	0.74	0.78	0.8	0.75	0.68	0.73
	mm	0.00074	0.00078	0.0008	0.00075	0.00068	0.00073
A =	μm	0.68	0.71	0.75	0.7	0.64	0.38
	mm	0.00068	0.00071	0.00075	0.0007	0.00064	0.00038
f =	cps	55	55	55	60	40	60
α=	1/m	0.0169	0.0376	0.0258	0.0276	0.0242	0.2611

nilai rata-rata a = 0.0264 diluar lintasan 3b

Dengan menggunakan persamaan no 5 serta memasukkan nilai α (=alpha), bisa digambarkan kurva pengurangan ratio V/V_0 dengan jarak seperti di gambar 5.



Gambar 5: Kurva dengan nilai atenuasi α

Seperti terlihat pada Gambar 5, ratio PPV (=V) akan menjadi 50% setelah 30 m bila alpha = 0,0264 atau sekitar 20 m bila nilai alpha = 0,0367.
Dibandingkan dengan getaran yang terjadi akibat kendaraan cepat di jalan Tol hanya memperhitungkan amplitudo vertikal, sedangkan pada lintasan kereta api, ampiltudo dari ke 3 (tiga) orthogonal sebenarnya diperlukan, yaitu selain vertikal juga ada horizontal arah longitudinal dan tranversal, namun pencatatan yang ada hanya khusus vertikal saja, ratio dari horizontal arah longitudinal dan tranversal terhadap amplitudo

vertikal berkisar antara 0,7 sampai 1,7 dari amplitudo vertikal, yang berarti secara umum adalah 1,2 kali lebih besar dari amplitudo vertikal yang diamati [2].

5. KESIMPULAN

Dengan mengacu pada lampiran [3] yaitu survey menurut Whiffen dan Leonard, Inggris (1971), pada lintasan 3 tercatat PPV terbesar yaitu 2,6 mm/dt pada jarak 3 m dari as rel yang terjadi karena adanya delatasi pada wesel yang ada didekat stasiun Duduk Sampean, yang mana sedikit melebihi 2,5 mm/dt batasan tidak ada resiko untuk gedung normal termasuk pondasi, namun pada lintasan 1 dan 2 tercatat PPV yang tidak melebihi 2 mm/dt batasan untuk bangunan monumen atau yang kuno/dipugar. Secara umum situasi disekitar rel masih berisiko karena PPV yang ada melebihi 0,3 mm/dt batasan untuk tidak ada kerusakan sama sekali, namun bila diawali dengan PPV maksimum adalah 1,1 mm/dt, termasuk tidak merusak *ruins* dan *ancient monuments*, sedangkan nilai 0,3 mm/dt yang tidak ada resiko sama sekali akan dicapai setelah sekitar 40 m.

6. DAFTAR PUSTAKA.

1. Bahrekazemi, Mehdi (2004) *Train-induced Ground Vibration and its prediction, Departement of Civil and Architectural Engineering*, Royal Institute of Technology, Stockholm.
2. Barneich, John A.,(1985), *Vehicle Induced Ground Motion*, Vibration problem in Geotechnical Engineering, Proceeding of a Symposium sponsor by Geotechnical Engineering Division in Conjunction with the ASCE Convention in Detroit, Michigan, October 1985
3. John & Stokes (2004) *Transportation and construction-induced vibration guidance manual*,J une (J&S 02-039) Sacramento, California. Prepared for California Departement of Transportation, Noise, Vibration and Hazardous Waste Management Office, Sacramento, California.
4. Richart,F.E.Jr, Hall,J.R.Jr, and Wood, R.D. (1969). *Vibration of Soils and Foundation*, Prentice-Hall, Inc, Englewood Cliffs, New Jersey

7. LAMPIRAN

Reaction of people and damage to buildings at various continuous vibration level [3]

Vibration Level (Peak Particle Velocity)*			
mm/s	in/sec	Human Reaction	Effect on Buildings
0.15-0.30	0.006-0.019	Threshold of perception; possibility of intrusion	Vibrations unlikely to cause damage of any type
2.0	0.08	Vibrations readily perceptible	Recommended upper level of the vibration to which ruins and ancient monuments should be subjected
2.5	0.10	Level at which continuous vibrations begin to annoy people	Virtually no risk of "architectural" damage to normal buildings
5.0	0.20	Vibrations annoying to people in buildings (this agrees with the levels extablished for people standing on bridges and subjected to relative short periods of vibrations)	Threshold at which there is a risk of "architectural" damage to normal dwelling - houses with plastered walls and ceilings Special types of finish such as lining of walls, flexible ceiling treatment, etc., would minimize "architectural" damage
10-15	0.4-0.6	Vibrations considered unpleasant by people subjected to continuous vibrations and unacceptable to some people walking on bridges	Vibrations at a greater level than normally expected from traffic, but would cause "architectural" damage and possibly minor structural damage.

** The vibration levels are based on peak particle velocity in the vertical direction. Where human reactions are concerned, the value is at the point at which the person is situated. For buildings, the value refers to the ground motion. No allowance is included for the amplifying effect, if any, of structural components.*

Source: "A Survey of Traffic-Induced Vibrations" by Whiffen and Leonard, Transport and Road Research Laboratory, RRL Report LR418, Crowthorne, Berkshire, England, 1971.

IDENTIFIKASI KERENTANAN PADA PRAKTEK-PRAKTEK KONSTRUKSI BANGUNAN GEDUNG MENGGUNAKAN TEKNIK DELPHI

M. Heri Zulfiar[1], Rizal Z. Tamin[2], Krishna S. Pribadi[3], Iswandi Imran.[4]

[1]*Mahasiswa Program Doktor Teknik Sipil ITB dan Staff Pengajar Tek Sipil UMY, Email: zulfiarheri@yahoo.com*
[2] *Guru Besar & Pengajar KK-MRK, Program Doktor Teknik Sipil ITB, Email: rzt@bdg.centrin.net.id*
[3] *Staf Pengajar KK-MRK, Program Doktor Teknik Sipil ITB, Email: ksuryanto@si.itb.ac.id*
[4] *Guru Besar & Pengajar KK-RS, Program Doktor Teknik Sipil ITB, Email: iswandiimran@gmail.com*

ABSTRAK

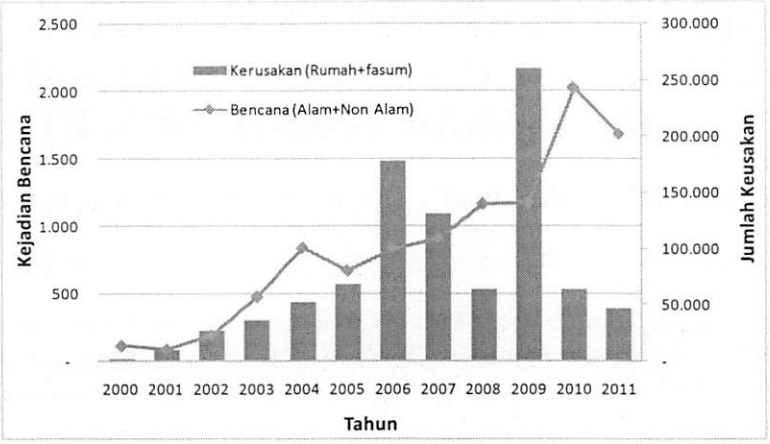
Indonesia merupakan negara yang menghadapi risiko gempa dan kegagalan konstruksi yang sangat tinggi. Hal ini disebabkan oleh tingginya ancaman bencana gempa, praktek-praktek tidak sesuai ketentuan dan kerentanan fisik serta lingkungan, yaitu tekanan pertumbuhan penduduk, tingkat kemiskinan, kondisi ekonomi, sosial dan politik, serta kegiatan pembangunan yang banyak mengabaikan prinsip-prinsip keberlanjutan. Praktek-praktek konstruksi yang berlaku dapat menghasilkan produk konstruksi yang rentan terhadap kegagalan bangunan, bila keseluruhan prosesnya tidak selaras dengan prinsip-prinsip pembangunan. Dalam rangka membangun pemahaman secara menyeluruh mengenai proses dan praktek-praktek industri konstruksi di Indonesia, perlu dikembangkan penelitian-penelitian pro-aktif untuk membantu pengembangan kebijakan dalam membangun konstruksi Indonesia agar mampu berperan positif dalam mengurangi risiko kegagalan bangunan dan berkontribusi terhadap seluruh upaya penanggulangan bencana di Indonesia

Tujuan dari penulisan ini adalah untuk mengidentifikasi faktor-faktor kerentanan pada praktek-praktek di lingkungan pembangunan konstruksi bangunan gedung di Indonesia. Kajian ini bersifat kualitatif deskriptif, menggunakan literatur riview dan ketentuan berlaku untuk memetakan proses konstruksi. Teknik Delphi digunakan untuk mengakomodasi pendapat stakeholder konstruksi terkait kerentanan pada praktek-praktek yang berpotensi risiko terhadap kegagalan bangunan, mulai dari tahap inisiasi, perencanaan, pembangunan sampai dengan pemanfaatannya.

Kata kunci: kerentanan bangunan, teknik delphi

1. LATAR BELAKANG

Sektor konstruksi di Indonesia rawan dan rentan akan penyimpangan, akan menghasilkan infrastruktur yang rentan dan berisiko terjadinya degradasi lingkungan dan meningkatkan kerentanan wilayah dan masyarakatnya, sehingga berpotensi meningkatkan risiko bencana. Menurut UN (2002), bencana dapat terjadi bila adanya faktor *hazard* (alam, non alam maupun faktor manusia) dan faktor kerentanan lingkungan. Bilamana bencana terjadi maka hasil berupa produk sektor konstruksi dapat menjadi tidak berfungsi atau bahkan menyebabkan korban jiwa, karena hancurnya bangunan atau infrastruktur lainnya. Rusaknya infrastruktur akan menimbulkan kerugian yang lebih luas lagi karena terputusnya jalur distribusi logistik bantuan bencana serta terganggunya kegiatan sosial dan ekonomi masyarakat.



Gambar 1. Tren kejadian bencana dan kerusakan di Indonesia.
(Sumber BNPB 2012, diolah kembali)

Hal ini diperjelas oleh data Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB, 2012), duabelas tahun terakhir menunjukkan kejadian bencana di Indonesia cenderung meningkat, dengan jumlah kerusakan berfluktuasi tergantung karakteristik bencana dan lokasinya (Gambar 1). Kejadian bencana tersebut didominasi oleh bencana alam mencapai 9.744 kejadian bencana dan ditambah kejadian bencana nonalam serta sosial mencapai 410 kejadian bencana.

Tabel 1: Jumlah Kerusakan Bangunan Akibat Gempa Bumi di Indonesia

TAHUN	Kejadian Bencana	Kerusakan							
		Rumah Rusak Berat	Rumah Rusak Sedang	Rumah Rusak Ringan	Fasilitas pendidikan	Fasilitas kesehatan	Sarana Peribadatan	Kantor	Kios
2000	**4**	**501**			**42**		**50**		**43**
2001	13	891		5.467	26		75	6	
2002	**6**	**3.304**							
2003	11	2.056		188	13				
2004	**14**	**14.999**		**10.454**	**491**	**106**			
2005	24	50.242		6.512	2.180	173	2.278	826	187
2006	**34**	**47.771**		**97.314**	**2.969**	**389**	**453**	**1.234**	
2007	49	35.973		57.777	3.331	331	2.038	907	63
2008	**21**	**2.096**		**3.196**	**166**	**81**	**103**	**115**	
2009	54	71.225	2	161.537	10.483	443	3.003	382	3
2010	**24**	**3.414**	**1.407**	**2.840**	**130**	**52**	**262**	**71**	
2011	22	2.152	358	1.794	163	55	206	65	10
Jumlah	**276**	**234.624**	**1.767**	**347.079**	**19.994**	**1.630**	**8.468**	**3.606**	**306**

Sumber: BNPB 2012, diolah kembali

Dari jumlah kejadian bencana tersebut di atas, gempa bumi menduduki peringkat pertama ditinjau dari jumlah kerusakan (Tabel 1), dengan jumlah kerusakan total 583,470 rumah dan 34,004 fasum. Berdasarkan fakta-fakta tersebut di atas, banyaknya kejadian kerusakan berdampak kegagalan bangunan yang berulang dan setiap kejadian gempa cenderung makin banyak bangunan roboh. Hal ini menunjukkan persoalan mendasar, bahwa lingkungan di Indonesia rentan dan mengindikasikan adanya praktek-praktek yang tidak sejalan dengan ketentuan yang berlaku. Untuk itu dibutuhkan perhatian, upaya serius dan terus menerus melalui tindakan pengurangan kerentanan dan

meningkatkan kapasitas pembangunan dengan memperhatikan prinsip-prinsip pembangunan berkelanjutan.

2. SEKTOR KOSNTRUSKI DAN KEBENCANAAN

Pribadi dan Maryani (2006) menyebutkan bahwa proses konstruksi sebagai proses utama pembangunan lingkungan. Mekanisme dan sistem konstruksi sendiri sebenarnya merupakan representasi dari suatu rantai dalam suatu siklus hidup dari proses pembentukan lingkungan terbangun (*built environment*) yang terkait dengan manajemen, pembelian, penjualan, penjelasan (*briefing*), disain, koordinasi, kontrol, pekerjaan, material dan peralatan. Sistem sektor konstruksi tersebut melibatkan aktor kelembagaan dan regulasi, manufakturing dan distribusi aktifitas, manajemen proyek, dan aktifitas produksi di lapangan (Barret, 2005).

Dengan demikian penting sekali memahami sistem konstruksi yang berkembang dalam industri konstruksi di Indonesia untuk mengetahui faktor-faktor yang memberikan kontribusi terhadap kerawanan (*vulnerability*) produk konstruksi, sehingga dapat dikembangkan upaya-upaya untuk mengatasi berbagai permasalahan dalam proses konstruksi yang menyebabkam tingginya kerawanan tersebut.

Dalam rangka menyediakan lingkungan terbangun yang nyaman (*finest built environment)*, industri konstruksi Indonesia memiliki suatu rencana strategis jangka panjang untuk mengembangkan industri konstruksi – Konstruksi Indonesia 2030 (Suraji, 2010). Rencana pengembangan industri konstruksi tersebut memperhatikan kondisi geografis Indonesia yang memang rawan terhadap ancaman berbagai macam bencana, sehingga diperlukan membangun industri yang peka terhadap pentingnya menghasilkan bangunan yang memiliki ketahanan dan rendah risiko bencana, dengan mengupayakan penerapan proses-proses konstruksi yang sudah memperhatikan upaya pengurangan risiko bencana melalui semua *stakeholdernya.*

Ofori (2002) telah membahas hubungan antara proses konstruksi dengan bencana, khususnya berbagai permasalahan yang muncul di negara berkembang terkait regulasi konstruksi. Ofori juga menyatakan bahwa agar industri konstruksi dapat berperan dalam mengurangi risiko bencana, diperlukan adanya regulasi dan pedoman (*code*) yang menata para pelaku konstruksi (perencana, perancang, pelaksana) dalam mengimplementasikan kegiatan konstruksi. Juga harus ada kerangkat kerja penegakan hukum dari pengaturan tersebut, kemudian perlunya kemampuan dan kapasitas industri konstruksi untuk melaksanakan desain yang telah memasukkan aspek-aspek penanggulangan bencana dalam desainnya, serta membangun kemampuan kontraktor agar mampu menghasilkan konstruksi yang baik dan memenuhi syarat. Studi dari Malalgoda *et al.* (2010) mengkaji peranan sektor konstruksi dalam pengurangan risiko bencana melalui 2 phase, yaitu phase pencegahan pada tahap pra bencana dan phase pemulihan pasca bencana, yang keduanya ternyata saling terkait erat, tumpah-tindih dan juga multi dimensi.

Proyek konstruksi terdiri dari beberapa tahap mulai dari konsep awal, studi awal, survey, desain, konsultasi desain, negosiasi pada akuisisi lahan, pekerjaan konstruksi dan bangunan mulai dioperasikan. Risiko-risiko pada tiap tahap akan muncul dan berbeda pada tiap tahap. Risiko-risiko tersebut harus diidentifikasi dengan baik dan diklasifikasi. Salah satu risiko yang akan muncul pada tahap pra konstruksi adalah adanya kemungkinan terjadi bencana. Pada perencanaan dan desain harus dilakukan

dengan mempertimbangkan adanya kemungkinan terjadinya gempa pada konstruksi. (Sato et al, 2005).

Banyaknya korban dan kerugian yang timbul akibat berbagai kejadian bencana menunjukkan belum ada pendekatan yang terintegrasi untuk mitigasi bencana di kota-kota Indonesia. Untuk mengantisipasi masalah-masalah yang akan dihadapi bila terjadi bencana, perlu dimulai perencanaan manajemen risiko bencana yang diawali dengan kajian risiko bencana. Mempertimbangkan risiko bencana yang dihadapi oleh kota-kota di Indonesia, persiapan-persiaan dan langkah-langkah mitigasi bencana yang lebih konkret seperti telah dilakukan dengan lebih baik oleh kota-kota lain di dunia yang memiliki potensi bencana perlu dimiliki oleh kota-kota kita. Dengan adanya perencanaan menghadapi bencana yang baik berdasarkan pemahaman risiko, tingkat kesiapan mengahadapi bencana pun harus menjadi lebih baik pula (Pribadi dan Sengara, 2009).

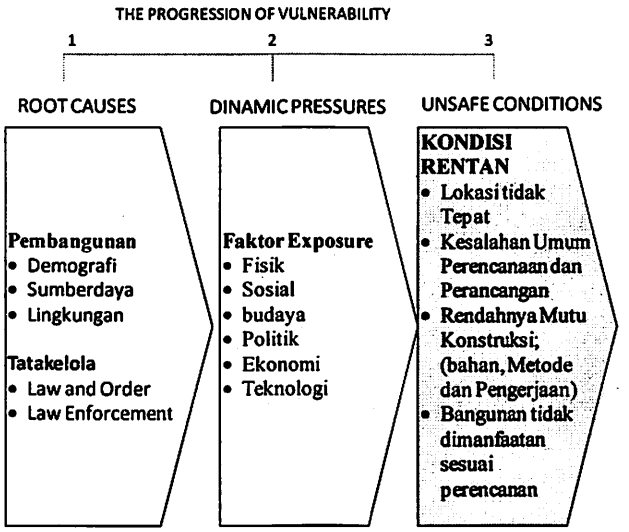
Sebagai ilustrasi, gempa yang terjadi di Kobe (1995), atau Tohoku (2011) Jepang yang memiliki tingkat kesiapan yang relatif lebih baik bila dibandingkan kota-kota di Indonesia. Namun peristiwa gempa Kobe dan gempa serta tsunami di Tohoku telah menyebabkan kerusakan besar pada berbagai infrastruktur dan bangunan. Dapat dibayangkan jika gempa yang sama terjadi di kota-kota besar di Indonesia yang tingkat kesiapannya jauh lebih rendah dibandingkan dengan kota di Jepang. Runtuhnya perumahan penduduk di kawasan yang padat akan menimbulkan korban jiwa yang sangat besar. Lalu lintas akan mendadak berhenti karena runtuhnya ruas-ruas jalan layang. Jumlah kerugian langsung akibat gempa ini mungkin akan jauh lebih besar dibandingkan dengan yang dialami Kobe atau Tohoku.

Untuk menekan biaya penanggulangan dan langkah-langkah saat bencana dan rehabilitasi serta rekonstruksi pascabencana, maka strategi dan langkah mitigasi harus dilakukan. Langkah-langkah yang tepat baru bisa diambil jika strategi melalui suatu kajian risiko bencana yang sistematis dilakukan terlebih dahulu, dengan suatu pendekatan yang holistik dan parsitipatif dari elemen-elemen pemerintah melalui instansi terkait dan masyarakat. Sudah saatnya pemerintah membangun landasan yang lebih kuat dengan memberi perhatian dan anggaran yang lebih besar pada langka-langkah mitigatif dengan memperhatikan tiga komponen bencana. Pertama, identifikasi dan kuantifikasi potensi bahaya alam dengan penelitian dan teknologi yang ada. Pemerintah perlu mendukung kegiatan penelitian-penelitian yang lebih intensif di lembaga-lembaga penelitian dan perguruan tinggi agar identifikasi dan potensi besaran hazard ini dapat dibuat dan suatu skenario dapat diantisipasi. Kedua, kerentanan dari elemen-elemen di dalam satu kawasan/daerah (baik masyarakat maupun kondisi infrastrukturnya) harus diidentifikasi secara seksama. Ketiga, meningkatkan kapasitas pemerintah dan masyarakat melalui tatakelola konstruksi dan penegakan aturan.

3. KERENTANAN BANGUNAN

Menurut United Nations (2002), dalam "*Living with Risk*", Risiko merupakan probabilitas timbulnya konsekuensi yang merusak atau kerugian yang sudah diperkirakan (hilangnya nyawa, cederanya orang-orang, terganggunya harta benda, penghidupan dan aktivitas ekonomi, atau rusaknya lingkungan) yang diakibatkan oleh adanya interaksi antara potensi bahaya yang ditimbulkan alam atau diakibatkan manusia serta kondisi yang rentan.

Dari definisi UN tersebut di atas, bahwa praktek-praktek yang tidak sesuai ketentuan merupakan fungsi dari ancaman bahaya (*hazard*) dan kondisi lingkungan adalah fungsi kerentanan (*vulnerability*). Menurut Wisner dkk (2003), risiko bersifat dinamis (meningkat atau menurun), risiko dapat dikurangi yaitu dengan mengurangi ancaman bahaya, atau mengurangi kerentanan lingkungan. Proses terbentuknya kondisi tidak aman (kerentanan), berawal berkembangnya wilayah adanya pembangunan dan pengaturannya yaitu pertumbuhan penduduk, pengelolaan sumberdaya alam, dan tatakelola lingkungan. Selanjutnya bersamaan dengan perkembangan waktu, faktor tekanan atau pengaruh dari luar (*exposure*) antaralain permasalah properti, sosial, kultur (budaya), politik ekonomi, dan teknologi, atau elemen lainnya yang tidak harmonis, menjadi penyebab lingkungan rentan. Proses terbentuknya kondisi rentan tersebut dapat digambarkan sebagai berikut.



Gambar 2. Proses terbentuknya kondisi yang rentan
(dielaborasi dari berbagai sumber)

McEntire (2001) telah mengidentifikasi faktor-faktor yang dapat meningkatnya kondisi rentan yaitu;

a. Faktor Fisik; kedekatan orang dan properti dengan *triggering agent*; konstruksi bangunan yang tidak benar; pandangan ke depan tidak memadai yang berkaitan dengan infrastruktur; degradasi lingkungan.
b. Sosial; terbatas pendidikan (kurangnya pengetahuan tentang bencana); tidak memadai layanan kesehatan rutin dan darurat; migrasi yang besar dan tidak terencana ke daerah perkotaan; marginalisasi kelompok tertentu dan individu.
c. Kultur (budaya); publik apatis terhadap bencana; penentangan terhadap tindakan pencegahan keselamatan dan peraturan; hilangnya kearifan lokal; ketergantungan dan tidak adanya tanggung jawab pribadi.
d. Politik; minimal dukungan untuk program bencana; ketidakmampuan untuk melaksanakan atau mendorong langkah-langkah mitigasi; sentralisasi berlebihan pengambilan keputusan; lembaga bencana terisolasi atau lemah.
e. Ekonomi; tidak meratanya pertumbuh distribusi kekayaan; mengejar keuntungan tanpa memperhatikan konsekuensi; tidak mampu berasuransi; minim sumber daya, perencanaan dan manajemen untuk pencegahan bencana,.

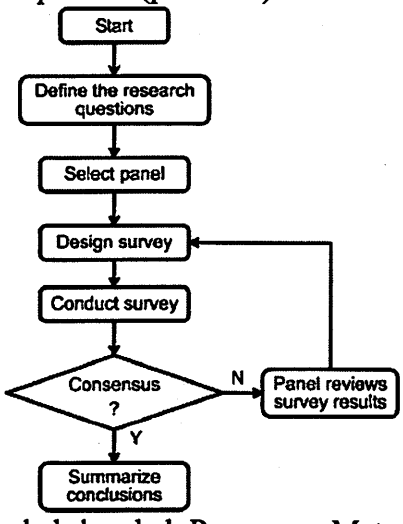
f. Teknologi; kurangnya perangkat terstruktur; ketergantungan berlebihan pada atau sistem (tidak efektif); kecerobohan dalam produksi industri; kurangnya pandangan ke depan mengenai teknologi komputer / program.

4. DISAIN METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dimulai dari pencarian data skunder kejadian bencana dan kerusakan yang diakibatkan oleh bencana gempa bumi dalam sepuluh tahun terakhir. Kejadian gempa dimaksudkan sebagai faktor pemicu yang menunjukkan bahwa bangunan tersebut rawan akan kegagalan. Selanjutnya dilakukan kajian literatur bersifat kualitatif deskriptif dikaitkan dengan proses dan praktek-praktek konstruksi yang berlaku. Kajian proses konstruksi ini dilakukan melalui telaah literatur dilengkapi dengan observasi/survey kepada instansi pemerintah sebagai pemilik maupun sebagai regulator, pihak pembangun dari konsultan perencana, pengawas dan kontraktor beserta rantai pasoknya. Observasi pada faktor kerentanan dilakukan dengan wawancara terstruktur secara mendalam pada pihak-pihak terkait sektor konstruksi dikaitkan dengan proses dan lingkungan konstruksi. Proses konstruksi dikelompokkan menjadi beberapa tahapan yang dikenal dengan phase siklus proyek. Tahap pra konstruksi antaralain tahap konsep, desain, pengadaan sampau dengan kontrak dirumuskan. Tahap proses konstruksi dilaksanakan mulai dari surat perintah kerja diberikan sampai dengan *testing and commisioning* selesai dilakukan. Tahap operasional dan perawatan berakhir ketika umur rencana terlewatkan.

5. PENGGUNAAN TEKNIK DELPHI

Menurut Folley (Jakaria, 2009) Teknik Delphi dapat didefinisikan metode sistematis didapat dari pendapat sekelompok ahli melalui serangkaian kuesioner, di mana ada mekanisme *feedback* melalui putaran/round pertanyaan yang diadakan dengan tetap menjaga anonimitas tanggapan responden (para ahli).



Gambar 3. Langkah-langkah Penerapan Metode Delphi
(Sumber: Jakaria, 2009)

Pendekatan teknik Delphi ini, dimaksudkan untuk mendapatkan opini para ahli terverifikasi (melalui proses iterasi) yang mewakili pemangku kepentingan sektor konstruksi. Opini para ahli dibutuhkan untuk dapat mengidentifikasikan kerentanan

dilihat dari perspektif pengalaman dan pengetahuannya. Untuk validasi opini dilakukan dengan metode FGD (*Focus Group Discussion*) sekaligus mendapat masukan tambahan untuk memperkuat opini terkait kerentanan pada praktek-praktek yang berlaku.

Tabel 2: Penggunaan Teknik Delphi

METODE	Lingkup	Kegiatan
TEKNIK DELPHI	RESPONDEN: • Perumusan Kriteria • Identifikasi kandidat • Kesediaan partisipasi	 • Riview Literatur • Informasi instansi/swasta • Korespondensi komunikasi
	KUISIONER • Perumusan Kuisioner • Pengiriman Tahap 1	 • Literatur riview • Share Via Email
	VERIFIKASI • Kompilasi Opini • Pemetaan Opini • Pengirman kuisioner Tahap 2	 • Respon Via email/wawancara • Pemetaan respon • Share Via email/ wawancara
	VARIABEL (Terverifikasi): • Revisi Respon kuisioner • Pengklasifikasian	 • Respon Via email/wawancara • Analisis Variabel
FGD	VARIABEL (Tervalidasi) • Diskusi • Rekomendasi	Diskusi terfokus

Sumber: Hasil pengembangan Penelitian, 2012

Pemangku kepentingan sektor konstruksi (*stakeholder*) dalam proses konstruksi pada pembangunan gedung baik pemerintah maupun swasta, dan dapat dikelompokkan menjadi: (1) Regulator dan pemilik proyek (investor), dapat berupa pemerintah daerah/pusat, departemen atau badan hukum untuk sektor swasta; (2) penyedia jasa pembangunan yaitu kontraktor, konsultan perencana, dan konsultan pengawas; (3) masyarakat jasa konstruksi yang dapat berupa: asosiasi perusahaan, mitra usaha jasa konstruksi; masyarakat intelektual; organisasi kemasyarakatan yang berkaitan dan berkepentingan di bidang jasa konstruksi dan/atau yang mewakili konsumen jasa konstruksi dan serta unsur pemerintah. Selanjutnya lingkup pengalaman dan pengetahuan yang diharapkan para ahli tabel 3 berikut ini

Tabel 3: Stakeholder dan Lingkup Pengetahuan

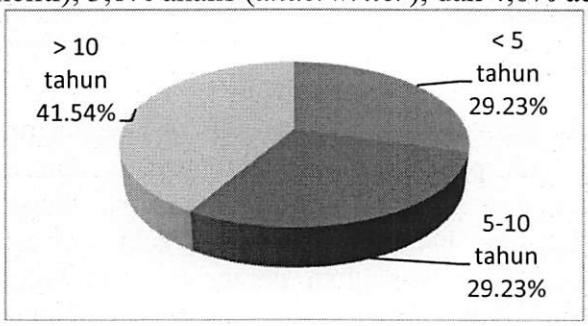
STAKEHOLDER	KUALIFIKASI	LINGKUP PENGETAHUAN
Regulator	pemerintah pusat & daerah	Peraturan dan perijinan yang berlaku
Owner	pemerintah & swasta	Perwakilan kepemilikan properti, mulai dari gagasan sampai dengan umur layanan bangunan
Konsultan Perencana	Arsitek, Struktur dan Estimator	Proses desain, penggunaan syarat & standar keselamatan & keamanan bangunan
Kontraktor	Direktur Operasional Site manager	Proses pengadaaan sampai dengan proses kontruksi diserahterimakan

	Quality/Quantity Surveyor	
Konsultan Pengawas	Pengawas teknis, administrasi & Lapangan	Proses pengawasan pembangunan sampai dengan proses kontruksi diserahterimakan
Building Manager	Manager Inspektor/supervisor	Pengelolaan dan perawatan gedung
Suplier	Suplier Material dasar & Konstruksi	Karakteristik dan suplay material konstruksi pembangunan gedung
Peneliti	Kegempaan, kegagalan & kebijakan konstruksi	Konseptual proses bisnis kosntruksi dan ketentuan yang berlaku
Masyarakat Konstruksi Lainnya	Terkait dengan profesi teknik sipil, asuransi, pengguna gedung, masyarakat disekitar gedung	Kepedulian, keterlibatan langsung atau tidak dalam kebencanaan dan proses pembangunan.

Sumber: Hasil pengembangan Penelitian, 2012

6. HASIL PENELITIAN

Hasil peneilitian berupa identifikasi kerentanan dari *stakeholder* sebagai narasumber teknik Delphi. Responden yang berpartisipasi berjumlah 32 orang, dengan karakteristik responden adalah 9,2% sebagai regulator, 4,6% building owner, 18,5% konsultan perencana, 18,5% kontraktor, 18,5% konsultan pengawas, 3,1% suplier konstruksi, 20,0% akademisi (peneliti), 3,1% analis (*underwriter*), dan 4,6% adalah lainnya.



Gambar 4. Persentase Pengalaman Responden
Sumber: Hasil Penelitian 2012

Selanjutnya dari pendapat narasumber *stakeholder* dengan pendekatan Teknik Delphi, dapat diidentifikasi kerentanan ditinjau dari perspektif; Teknis, Sosial Budaya, dan Politik dan Ekonomi.

1) Kerentanan dari Perspektif Teknis

a. Tahap Inisiasi. Pada tahap ini kerentanan teridentifikasi beberapa faktor ; (1) Faktor lokasi, baik lokasi yang tidak tepat, adanya keterbatasan lokasi, tidak dibangun sesuai kebutuhan serta hunian/bangunan yang dibuat tanpa memperhatikan konsep mitigasi bencana. (2) Faktor dokumen, antaralain dokumen Amdal banyak yang tidak dilakukan dan cenderung sebagai syarat administratif serta tidak sesuai dengan RTRW yang ditetapkan oleh regulator. (3) Faktor konsep yang tidak mengakomodasi kebutuhan dan persyaratan seluruh stakeholder.

b. Tahap perencanaan; (1) Faktor data; data yang tersedia tidak memenuhi misalnya data tanah, historis bencana di daerah tersebut dan penggunaan data yang tidak valid, karena menggunakan data sekunder atau "copy paste" dari proyek lain. (2) Faktor perencanaan; perencanaan dilakukan terburu-buru sehingga banyak aspek yang harusnya menjadi pertimbangan dalam perancangan tidak diakomodir. Adanya gambar dan spesifikasi gambar yang sering berubah-ubah pada saat pelaksanaan konstruksi juga masih sering ditemukan. (3) Faktor *law enforcement*; masyarakat yang membangun bangunan pribadi tidak mengindahkan standar-standar bangunan tahan gempa. (4) Faktor kompetensi; desain dilakukan oleh pihak yang tidak kompeten dan kriteria desain, gambar dan spesifikasi yang tidak lengkap dan tidak sesuai

c. Tahap Pelaksanaan

Tahap perijinan bangunan dan pengadaan; (1) Faktor prosedur izin yang kurang memperhatikan standar bangunan. Building permit di Indonesia hanya proforma dan tidak benar-benar dilakukan kajian tim ahli sebelum diberi ijin. Peruntukan bangunan yang tidak sesuai dengan izin yg dikeluarkan dan prasarana pendukung untuk mengeluarkan IMB belum memadai. (2) Faktor *law enforcement* yakni ketegasan dan komitmen dalam pemberian IMB sesuai dengan tata ruang, dan ijin hanya sebatas memenuhi persaratan administratif tanpa menganalisis secara detail terhadap object. (3) Proses pengadaan yang masih tidak menggunakan cara kompetisi yang fair dan titipan pihak tertentu sehingga kualifikasi penyedia jasa terkadang tidak memenuhi syarat yang ditentukan. Tender / penetapan kontrak di Indonesia untuk proyek pemerintah pada umumnya hanya proforma dan semuanya sudah diatur. (4) Kurang dilakukan risk assessment terhadap dokument pengadaan dan kepada konsultan dan kontraktor yang akan melaksanakan pekerjaan. Umumnya assessment dilakukan terhadap proposal dokumen dan kurang dilakukan verifikasi faktual terhadap apa yang tercantum dalam document. (5) *Project Delivery Method* tidak sesuai untuk proyek yang dilaksanakan

Tahap konstruksi; (1) Konsistensi Pelaksanaan pekerjaan dengan perencanana; tidak sesuai dengan gambar dan spek, hal ini dilakukan baik oleh masyarakat umum yang mengerjakan sendiri menggunakan tukang maupun oleh kontraktor dan pelaksanaan tahapan konstruksi yang bertahap, mengakibatkan penggunaan jenis serta mutu material yang berbeda yang mengakibatkan kekuatan yang dihasilkan akan berbeda. (2) *Faktor law enforcement* seperti minimnya pengawasan pada pelaksanaan konstruksi berkaitan dengan detailing tulangan dilapangan sangat kurang diperhatikan dan banyak tidak mengikuti *ductile detailing*, hampir semua balok, kolom beton gedung-gedung di Indonesia diplester setelah dibuka bekistingnya karena pelaksanaanya kurang dipersiapkan dengan matang dan tidak teliti serta pengawasan penggunaan material misalnya *ready mix* beton harus diperhatikan dengan baik dengan pengetesan pada saat tiba di lokasi atau akan digunakan. (3) Perancangan yang kurang detail dan kurang matang menghambat proses pelaksanaan konstruksi

d. Tahap Pemanfaatan

Tahap *testing and commissioning*; (1) Tidak tersedia prosedur atau system dalam prosess commissioning sebagai acuan dalam melakukan uji atau evaluasi suatu produk atau proces sehingga dapat mengukur *functionality*. (2) *Acceptance criteria* tidak terukur secara *objective*. (3) Bangunan pribadi dan swasta tidak ada yang diuji

coba konstruksinya kecuali bangunan pemerintah. (4) Proses pengujian individual, system, uji dingin, uji panas, Uji kinerja tidak dilakukan sepenuhnya, bahkan proses serah terima dianggap remeh. (5) Tidak tersedia Manual operasi dan Pemeliharaan. (6) Pelatihan Operasi tidak dilakukan dengan benar.

Tahap Pengoperasian; (1) Penggunaan bangunan yg melewati umur bangunan, (2) Perawatan rutin yg tak sesuai rencana/jadwal, (3) Pengoperasian bangunan tak sesuai dengan fungsi yg direncanakan sehingga pembebanan yang berubah dari rencana semula, (4) Masih kurangnya kajian kelayakan bangunan, (5) Penambahan bangunan vertikal/ horizontal tanpa memperhitungkan kemampuan struktur .

2) Kerentanan dari Perspektif Sosial Budaya

a. Tahap Inisiasi. Dari aspek sosial budaya, faktor yang berpotensi pada kerentanan terutama pada masyarakat yang berpegang teguh pada tradisi masih mengaitkan hubungan antara bangunan dan tanah leluhur sehingga tingkat kepedulian tentang bangunan yang tahan gempa masih rendah. Sedangkan di wilayah perkotaan faktor tersebut tersebut disebabkan oleh faktor art dan seni serta budaya. Faktor ini mempengaruhi stabilitas bangunan karena dipaksa memakai bahan yang kurang cocok terhadap seni tersebut. Contoh Mengikuti model minimalis atau arsitek eropa kolom tinggi tanpa dibekali pengetahuan yang baik tentang konstruksi. Juga dari pemangku regulasi masih kurang sosialisasi pada masyarakat.

b. Tahap perencanaan. Pada tahap ini, responden mempunyai kecendrungan untuk tinggal di daerah/lokasi bencana dan berbahaya karena berbagai alasan. Hal ini antara lain disebabkan karena kurangnya sosialisasi master plan. Desain rumah adat kadangkala memang disiapkan untuk tahan terhadap bencana, namun tidak semua bangunan adat aman dari bencana.

c. Tahap Pelaksanaan

Perijinan dan pengadaan; (1) Tingkat kepatuhan masyarakat yang membangun sesuai dengan IMB yg dikeluarkan masih kurang, (2) Adanya prinsip ekonomis dengan mengutamakan harga termurah pada pelelangan.

Konstruksi dan Pengawasan; (1) Pelaksana bangunan belum memiliki keahlian yang cukup, (2) Pekerja/pelaksana bangunan bekerja berdasarkan pengalaman (kebiasaan) bukan standar, (3) Budaya 'mencuri' spesifikasi baik olah tukang maupun pelaksana, (4) Pengawas kurang konsisten jarang berada di lapangan, (5) Membangun dengan cara gotong royong dengan tetangga/warga sekitar, (6) Keterlibatan masyarakat, warga sekitar dan LSM yang notabene tidak ahli dibidang kontruksi.

d. Tahap Pemanfaatan; (1) Kesadaran; perilaku dan opini masyarakat tentang perawatan rutin masih kurang. (2) Perawatan Rutin dianggap pemborosan, (3) Anggapan bahwa unit perawatan belum perlu perawatan sebelum terjadi kerusakan.

3) Kerentanan dari Perspektif Politik dan Ekonomi

a. Tahap Inisiasi; (1) Hanya berdasarkan Kebijakan (kepentingan) politik pemimpin daerah disekitar proyek bukan kebutuhan masyarakat. (2) Pembangunan harus mengacu RDTRK dan bangunan kantor banyak menggunakan lahan produktif yang seharusnya tidak diperbolehkan. (3) Berkaitan dengan RDTRK tersebut disusun zoning terhadap daerah yang rawan gempa, tsunami, lonsor dan banjir. Adanya kebijakan relokasi dan penyiapan untuk jalur evakuasi. Daerah yang rawan tersebut

tidak boleh dibuat hunian (rencana dibuat perda). Pengaturan tata ruang belum maksimal mengakomodasi kajian risiko bahaya dan bencana. (4) Koordinasi antar lembaga institusi belum solid. (5) Pembuatan Amdal masih membutuhkan biaya yg tinggi. (6) Implementasi penegakan hukum terhadap kebijakan Amdal masih lemah

b. Tahap perencanaan: (1) Spek berkaitan dengan bagunan pemerintah yang dibangun pihak ketiga sudah dilakukan tapi untuk masyarakat belum. Untuk masyarakat spek hanya digunakan kalau bangunan bertingkat (perhitungan struktur). (2) Keterbatasan ekonomi masyarakat sehingga dalam mendesain tidak menggunakan tenaga professional (kualified). (3) Keterbatasan dana (dayabeli), sehingga hasil desain disesuaikan budget tanpa mengindahkan syarat bangunan tahan gempa

c. Tahap pelaksanaan konstruksi; (1) Kebijakan politik (intervensi) untuk penentuan pemenang tender. (2) Adanya intervensi dari pemerintahan daerah dalam penentuan tender (project pemerintah). (3) Regulasi pemerintah daur ulang material konstruksi; tentang mutu bahan yang digunakan dan beredar di pasaran misalnya mutu besi beton buatan Indonesia tidak jelas propertiesnya. Hampir semua pabrik tulangan beton mendaur ulang besi bekas (4) Pengaturan penggunaan standarisasi dimensi material; diameter tulangan sangat rancu, tidak ada yang presisi, sehingga jumlah luas tulangan yang dihasilkan dari design mungkin lain dengan yang terpasang di lapangan. (5) Adanya korupsi, sehingga mutu barang dikurangi. (6) Belum adanya peraturan yang mengatur prosedur operasional tentang pengawasan dari pihak pemberi ijin pada saat pelaksanaan konstruksi sehingga pelaksanaan belum tentu sesuai dengan ijin yang sudah dikeluarkan.

d. Tahap pemanfaatan; (1) Regulasi tentang perawatan rutin yang masih kurang, (2) Tidak ada anggaran untuk perawatan atau tidak menjadi prioritas, (3) Adanya keputusan atau kebijakan bahwa tidak ada *maintenance* agar hemat.

7. KESIMPULAN

Dari hasil identifikasi praktek-praktek di lingkungan pembangunan konstruksi bangunan gedung, dari tahap inisiasi sampai dengan pemanfaatannya, faktor-faktor kerentanan tersebut disimpulkan antaralain disebabkan:

1) Inisiasi gedung tidak tepat, yaitu terkait; kebutuhan, penentuan lokasi, perumusan lingkup/gagasan, informasi awal, studi kelayakan dan AMDAL.
2) Kesalahan perencanaan dan perancangan, yaitu terkait; data pendahuluan, design awal, master plan, survey investigasi lapangan, kriteria disain, engineering design dan dokumen disain.
3) Rendahnya mutu konstruksi, yaitu terkait; documen pengadaan, pra kualifikasi, pemilihan pemenang, ijin pembangunan, penetapan kontrak, project team, rekayasa dan perencanaan konstruksi, konstruksi dan pengawasan.
4) Pemanfaatan tidak sesuai, yaitu terkait; evaluasi dokumen, pengujian dan validasi, pengoperasian, perawatan, perbaikan dan penggatian, audit dan assesment

DAFTAR PUSTAKA

---------- (2012), *Data Kebencanan di Indonesia*, Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) Indonesia, Jakarta

---------- (2010), *Proses Penyelenggaraan Bangunan Gedung, Kementrian Pekerjaan Umum, Direktorat Ciptakarya, Jakarta*,

---------- (2010), Designing for Disaster: Partnering to Mitigate the Impact of natural Disasters. industry Council for the Built environment White Paper. 2010. Diakses tanggal 16 Juni 2012 dari http://construction.com/events/2011/mitigatingdisaster/NBMWhitePaper.pdf

Barret P, (2005). Revaluing Construction - A Global CIB Agenda, International Council for Research and Innovation in Building and Construction (CIB), ROTTERDAM, The Netherlands

Department of Public Works and Highways Philippines, (2007). Towards Mainstreaming Disaster Risk Reduction into the Planning Process of Road Construction.

Garrod, B (2007), The Delphi Technique. University of Wales Aberystwyth, Wales: Institute of Rulas Science

Jakaria, Y (2009), Uji coba model (Validasi), Jakarta; Pusat Penelitian kebijakan dan inovasi pendidikan, Badan Litbang, Depdiknas

Pribadi K.S. , Maryani A., (2006) Konstruksi dalam Perspektif Penanganan Bencana di Indonesia, *in* Annon., (2006) Konstruksi Indonesia 2006, Membangun Daya Saing Bangsa, BPKSDM Dep Pekerjaan Umum, Jakarta.

Kasim, Muslim. 2010. Getar Episentrum di Ranah Minang : Penanganan Rehabilitasi dan Rekonstruksi Pasca Gempa Bumi di Kabupaten Padang Pariaman. Penerbit Indomedia Global. Jakarta.

Malalgoda, C., Amaratunga, D., Pathirage, C. (2010), Exploring *Disaster* Risk Reduction in the Built Environment, diunduh 1 April 2012, *usir.salford.ac.uk/9769/1/1614.pdf*

Moe, T.L. dan Pathranarakul, P (2006); Public project management and its critical success factors, Disaster Prevention and Management, Vol. 15 No. 3, 2006, Emerald Group Publishing Limited, Bangkok

Prawiradisastra, Suryana et al. 2009. ***Laporan Rapid Assessment Bencana Gempabumi Dan Bencana Kolateral Longsor Dan Kebakaran Di Sumatera Barat 30 September 2009.*** **sirrma.bppt.go.id**

Ofori G. (2002), Construction Industry Development for Disaster Prevention and Response, diunduh 1 April 2012, www.grif.umontreal.ca/pages/i-rec%20papers/ofori.pdf

Rencana Penanggulangan Bencana Provinsi Sumatera Barat 2008-2012. Diunduh 3 Mei 2012 dari http://bencana.bappenas.go.id

Suraji A.Ed., (2010). Konstruksi Indonesia 2030, Lembaga Pengembangan Jasa Konstruksi Nasional, *ISBN 978-979-26-5736-4*

PENGARUH GAYA PRATEGANG AWAL TERHADAP EFEKTIFITAS PENGGUNAAN *WIRE ROPE* SEBAGAI PERKUATAN DAERAH MOMEN NEGATIF BALOK BETON BERTULANG TAMPANG T

Yanuar Haryanto[1], Nanang Gunawan Wariyatno[2],Gathot Heri Sudibyo[3]

[1]*Dosen Program Studi Teknik Sipil, Universitas Jenderal Soedirman, Kampus Unsoed Blater Purbalingga, Telp. (0281) 630696, email: yanuar_haryanto@yahoo.com*
[2]*Dosen Program Studi Teknik Sipil, Universitas Jenderal Soedirman, Kampus Unsoed Blater Purbalingga, Telp. (0281) 630696, email: nanang_g@yahoo.com*
[3]*Dosen Program Studi Teknik Sipil, Universitas Jenderal Soedirman, Kampus Unsoed Blater Purbalingga, Telp. (0281) 630696, email: gathot_hs2003@yahoo.com*

ABSTRAK

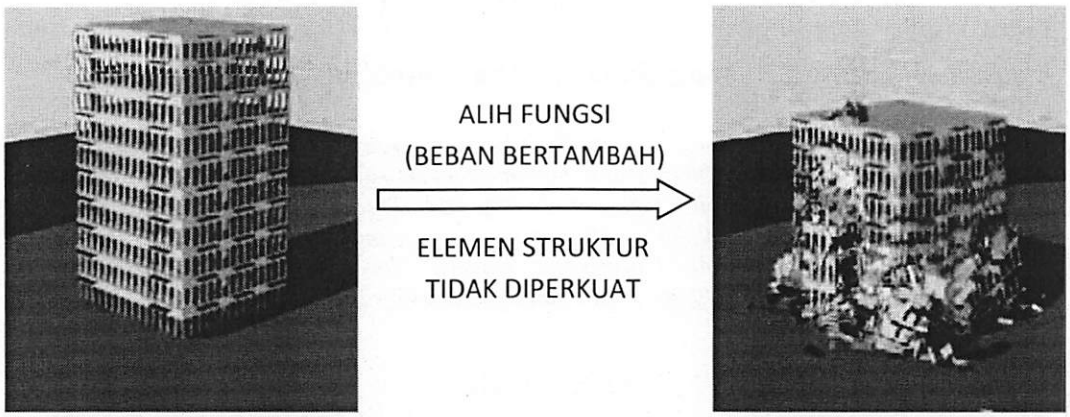
Penelitian ini merupakan penelitian lanjutan yang bertujuan untuk mengkaji pengaruh gaya prategang awal terhadap efektifitas penggunaan *wire rope* sebagai perkuatan daerah momen negatif balok beton bertulang tampang T. Pengujian dilakukan terhadap 3 benda uji yaitu 1 buah Balok Perkuatan Tipe 2 (BP2) untuk gaya prategang awal 10%, 1 buah Balok Perkuatan Tipe 3 (BP3) untuk gaya prategang awal 20% dan 1 buah Balok Perkuatan Tipe 4 (BP4) untuk gaya prategang awal 30%. Hasil pengujian kemudian dibandingkan dengan benda uji dari penelitian sebelumnya yaitu 1 buah Balok Kontrol (BK) dan 1 buah Balok Perkuatan Tipe 1 (BP1) tanpa gaya prategang. Jenis *wire rope* adalah *Independent Wire Rope Core (IWRC)* diameter 10 mm dengan jumlah dua buah. Metode pengujian menggunakan beban statis dua titik dengan posisi *flens* di bawah (bagian *flens* mengalami tegangan tarik). Hasil pengujian menunjukkan bahwa kapasitas daya dukung beban *(load carrying capacity)* mengalami peningkatan untuk benda uji BP1, BP2, BP3 dan BP4 terhadap benda uji BK dengan rasio berturut-turut adalah 1,59, 1,69, 1,91 dan 1,75. Indeks daktilitas perpindahan mengalami penurunan. Benda uji BP1 memenuhi persyaratan indeks daktilitas minimum untuk elemen balok beton bertulang sedangkan benda uji BP2, BP3 dan BP4 tidak memenuhi. Kekakuan awal mengalami peningkatan, pemberian gaya prategang awal cukup signifikan dalam meningkatkan kekakuan awal benda uji sampai dengan kondisi elastis. Kekakuan ekivalen mengalami penurunan, pemberian gaya prategang awal dianggap tidak berpengaruh terhadap kekakuan ekivalen karena masih dimungkinkan terjadinya *slip*. Dari pola retak yang terjadi untuk benda uji BK dapat dikategorikan tipe keruntuhan yang terjadi adalah keruntuhan lentur dengan kerusakan pada beton serat tekan terluar *(chrushing on concrete)* mulai terjadi pada saat mendekati beban maksimum. Keruntuhan benda uji BP1, BP2, BP3 dan BP4 juga dikategorikan keruntuhan lentur dengan mekanisme keruntuhan secara umum didahului dengan berkurangnya lekatan mortar dan beton lama *(debonding)* disusul terjadinya *spalling* pada saat mendekati beban maksimum

Kata kunci: *wire rope*, mortar, gaya prategang, efektifitas

1. PENDAHULUAN

Salah satu penyebab kerusakan dini (kegagalan) pada suatu struktur bangunan menurut Feld dan Carper (1997) adalah akibat adanya kesalahan pemakaian dimana beban-beban yang harus dipikul tidak sesuai dengan rencana fungsi awal bangunan, misalnya bangunan yang diperuntukkan sebagai hunian beralih fungsi menjadi gedung perkantoran sehingga beban hidupnya berlebihan. Contoh lain adalah adanya peningkatan volume bangunan secara keseluruhan misalnya bangunan dua lantai ditingkatkan menjadi empat lantai, yang mengakibatkan beban mati dari berat sendiri struktur akan bertambah. Usaha perkuatan perlu dilakukan untuk meningkatkan

kapasitas struktur agar beban yang bertambah atau kelebihan beban yang ada mampu ditahan sehingga kemungkinan terjadinya keruntuhan yang merugikan dapat dihindari. Ilustrasi keruntuhan bangunan akibat alih fungsi tanpa adanya perkuatan pada elemen struktur dapat dilihat pada Gambar 1.



Sumber: www.youtube.com

Gambar 1. Keruntuhan banguan akibat alih fungsi tanpa adanya perkuatan elemen struktur

Namboorimadathil dkk (2001) mengemukakan bahwa daerah momen negatif atau daerah tumpuan pada balok beton bertulang menerus merupakan daerah kritis dikarenakan memiliki nilai maksimum baik untuk momen maupun gaya geser. Selain itu adanya elemen kolom dan komponen nonstruktural seperti komponen mekanikal dan elektrikal membuat perkuatan pada daerah ini memiliki tingkat kesulitan yang relatif lebih tinggi.

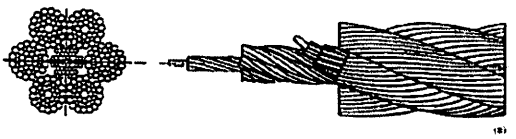
Avak dan Wille (2005) menyebutkan bahwa potensi penggunaan *wire rope* sebagai tulangan pada struktur beton didasarkan pada ide pemanfaatan kelebihan-kelebihan bahan *wire rope* yaitu sifat fleksibilitas dan kuat tarik yang tinggi. Sifat fleksibilitas *wire rope* memungkinkannya untuk dibawa dengan cara digulung sehingga dapat memudahkan jika perkuatan harus dilakukan pada bangunan bertingkat banyak.

Haryanto (2011) dalam penelitiannya menyimpulkan bahwa penggunaan *wire rope* sebagai perkuatan pada daerah momen negatif dari balok beton bertulang tampang T memberikan hasil yang belum optimal dikarenakan tegangan yang terjadi pada *wire rope* belum mencapai 50% dari tegangan ultimit hasil pengujian pendahuluan. Untuk itu diperlukan penelitian lanjutan dengan fokus terhadap perbaikan sifat kekakuan bahan *wire rope* agar kontribusi *wire rope* menjadi optimal.

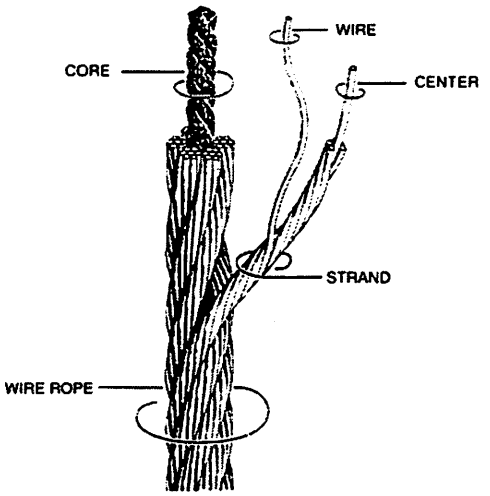
2. TINJUAN PUSTAKA

a. Karakteristik *Wire Rope*

Dalam SNI 0076-2008 disebutkan bahwa tali kawat baja *(steel wire rope)* merupakan pintalan dari 6 atau lebih pilinan kawat baja *(strand)*, baik yang dilapisi seng maupun yang tanpa dilapisi seng. Geometri tipikal *wire rope* dapat dilihat pada Gambar 2



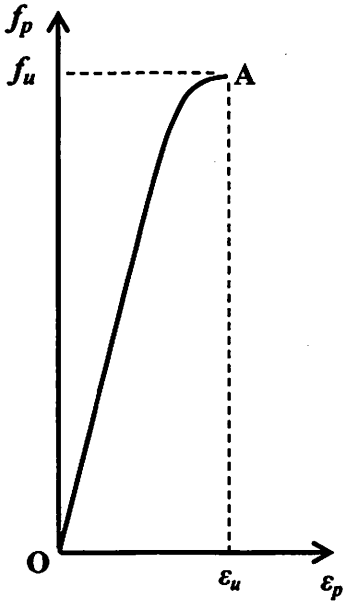
a. *Independent Wire Rope Core (IWRC)*



b. *Wire rope* dengan inti serat

Gambar 2. Geometri tipikal *wire rope* (Raoof dan Davies, 2001)

Pilinan kawat baja *(strand)* umumnya memiliki kuat tarik lebih besar dibandingkan baja tulangan biasa, namun pilinan kawat baja *(strand)* tidak memiliki titik leleh yang jelas. Kurva hubungan tegangan-regangan pada bahan yang tidak memiliki titik leleh yang jelas hanya menunjukkan bagian elastik linier awal yang diikuti oleh transisi kurva menuju bagian kedua yaitu bagian linier *hardening*. Kurva hubungan tegangan-regangan tipikal *wire rope* dapat dilihat pada Gambar 3.

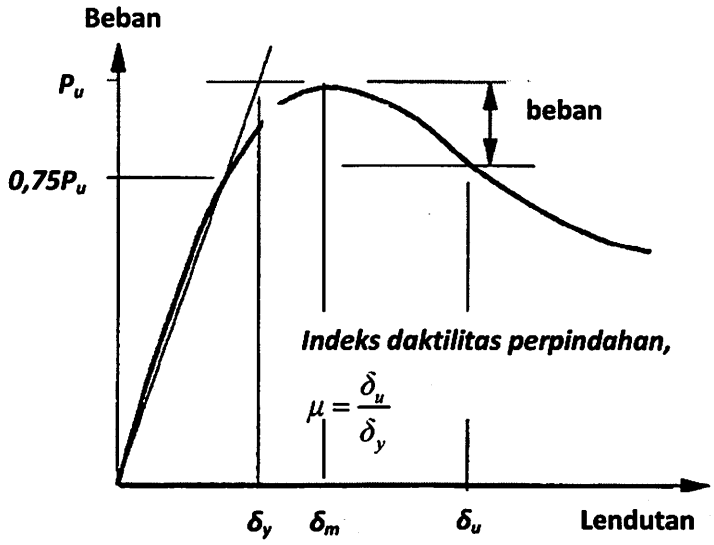


Gambar 3. Kurva tegangan-regangan tipikal *wire rope*

b. Daktilitas dan Kekakuan

Menurut Park dan Paulay (1975) daktilitas merupakan kemampuan suatu struktur untuk mengalami lendutan yang cukup besar pada saat beban maksimal tercapai seebelum mengalami keruntuhan. Indeks daktilitas dapat ditentukan berdasarkan ekivalensi kurva hubungan gaya dan deformasi dengan penyesuaian notasi seperti

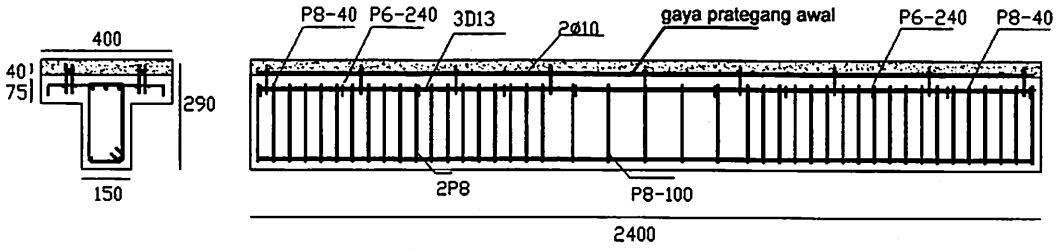
terlihat pada Gambar 4 (El Tawil dan Deierlein, 1999). Berdasarkan Gambar 4 dapat juga ditentukan nilai kekakuan efektif. Untuk kekakuan awal ditentukan pada kondisi elastis penuh.



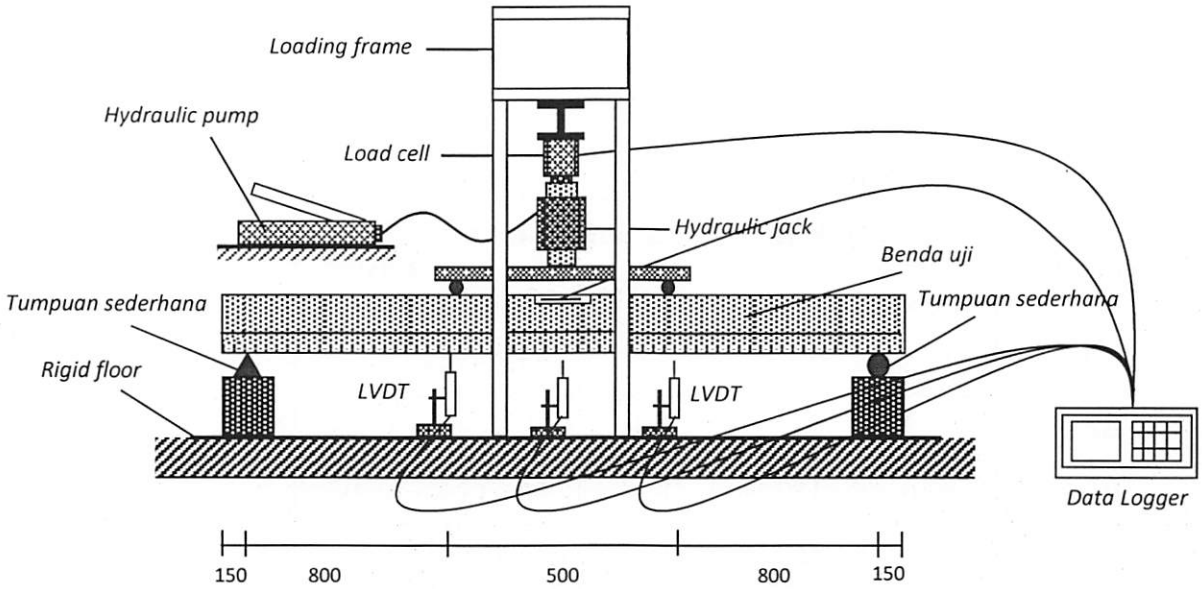
Gambar 4. Penentuan daktilitas perpindahan (El Tawil dan Deierlein, 1999)

3. METODOLOGI

Pengujian dilakukan terhadap 3 benda uji yaitu 1 buah Balok Perkuatan Tipe 2 (BP2) untuk gaya prategang awal 10%, 1 buah Balok Perkuatan Tipe 3 (BP3) untuk gaya prategang awal 20% dan 1 buah Balok Perkuatan Tipe 4 (BP4) untuk gaya prategang awal 30%. Hasil pengujian kemudian dibandingkan dengan benda uji dari penelitian sebelumnya yaitu 1 buah Balok Kontrol (BK) dan 1 buah Balok Perkuatan Tipe 1 (BP1) tanpa gaya prategang. Jenis *wire rope* adalah *Independent Wire Rope Core (IWRC)* diameter 10 mm dengan jumlah dua buah. Metode pengujian menggunakan beban statis dua titik dengan posisi *flens* di bawah (bagian *flens* mengalami tegangan tarik) Penampang benda uji dapat dilihat pada Gambar 5 dan *setup* pengujian dapat dilihat pada Gambar 6.



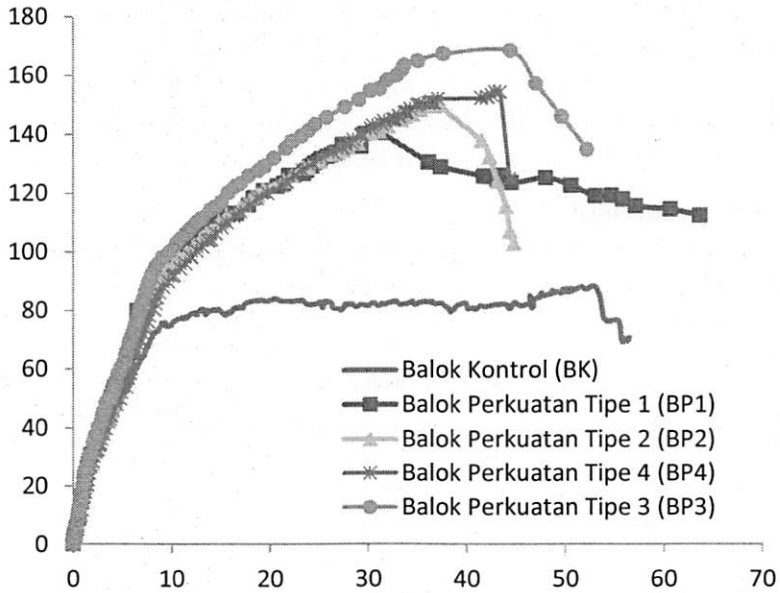
Gambar 5. Penampang benda uji



Gambar 6. *Setup* pengujian

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hubungan beban-lendutan untuk masing-masing benda uji dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Hubungan beban-lendutan masing-masing benda uji

a. Kapasitas Beban

Dari hasil pengujian diketahui bahwa kapasitas beban benda uji BP1, BP2, BP3 dan BP4 mengalami peningkatan terhadap benda uji BK dengan rasio berturut-turut sebesar 1,59, 1,69, 1,91 dan 1,75. Kapasitas beban hasil pengujian selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Kapasitas beban

Benda Uji	Beban (kN)		Lendutan (mm)		Rasio*
	Retak	Maks.	Retak	Maks.	
BK	28,6	88,5	2	52,72	-
BP 1	31,8	140,8	2,05	30,44	1,59
BP 2	22,0	150,1	1,24	36,93	1,69
BP3	26,1	168,6	1,31	44,40	1,91
BP4	32,5	154,6	1,79	45,65	1,75

Keterangan: *rasio beban maksimum terhadap benda uji BK

Peningkatan kapasitas beban disebakan oleh adanya penambahan tulangan perkuatan berupa *wire rope* pada daerah tarik yang berakibat bertambahnya komponen gaya tarik pada penampang balok. Penambahan komponen gaya tarik dengan lengan gaya yang bersesuaian menyebabkan peningkatan terhadap kapasitas penampang balok. Namun demikian, pemasangan *wire rope* yang telah diberi gaya prategang awal dianggap tidak terlalu signifikan dalam memperbaiki sifat kekakuan wire rope sehingga masih dimungkinkan terjadinya *slip*. Hal ini dapat dilihat dari peningkatan kapasitas beban lentur dari BP1 ke BP3 yang memiliki nilai terbesar hanya sebesar 19,74%.

b. Daktilitas dan Kekakuan

Indeks daktilitas, kekakuan awal, dan kekakuan efektif untuk masing-masing benda uji disajikan pada Tabel 2, Tabel 3 dan Tabel 4.

Tabel 2. Indeks daktilitas

Benda Uji	δ_y (mm)	δ_u (mm)	Daktilitas ($\mu = \delta_u / \delta_y$)	Rasio
BK	9,79	56,51	5,77	-
BP1	17,68	63,61	3,60	0,62
BP2	20,88	43,93	2,10	0,36
BP3	23,88	52,19	2,19	0,38
BP4	22,90	47,33	2,07	0,36

ISBN 978-979-99327-8-5

Tabel 3. Kekakuan awal

Benda Uji	P_{cr} (N)	δ_{cr} (mm)	Kekakuan Awal (N/mm)	Rasio
BK	28600	2,00	14300,00	-
BP1	31800	2,05	15512,20	1,08
BP2	22000	1,24	17876,10	1,25
BP3	26100	1,31	19923,66	1,39
BP4	32500	1,79	18156,43	1,27

Tabel 4. Kekakuan efektif

Benda Uji	$P_y = P_u$ (N)	δ_y (mm)	Kekakuan Efektif (N/mm)	Rasio
BK	88500	9,79	9039,84	-
BP1	140800	17,68	7963,80	0,88
BP2	150100	20,88	7188,69	0,79
BP3	168600	23,88	7060,30	0,78
BP4	154600	22,9	6751,09	0,75

Tabel 2 menunjukkan bahwa terjadi penurunan daktilitas untuk Balok Perkuatan Tipe 1 (BP1), Balok Perkuatan Tipe 2 (BP2), Balok Perkuatan Tipe 3 (BP3), dan Balok Perkuatan Tipe 4 (BP4) terhadap Balok Kontrol (BK) dengan rasio penurunan masing-masing sebesar 0,62, 0,36, 0,38 dan 0,36. Menurut Rashid dan Mansur (2005), Balok Perkuatan Tipe 1 (BP1) memenuhi persyaratan indeks daktilitas minimum untuk elemen balok beton bertulang sedangkan Balok Perkuatan Tipe 2 (BP2), Balok Perkuatan Tipe 3 (BP3), dan Balok Perkuatan Tipe 4 (BP4) tidak memenuhi.

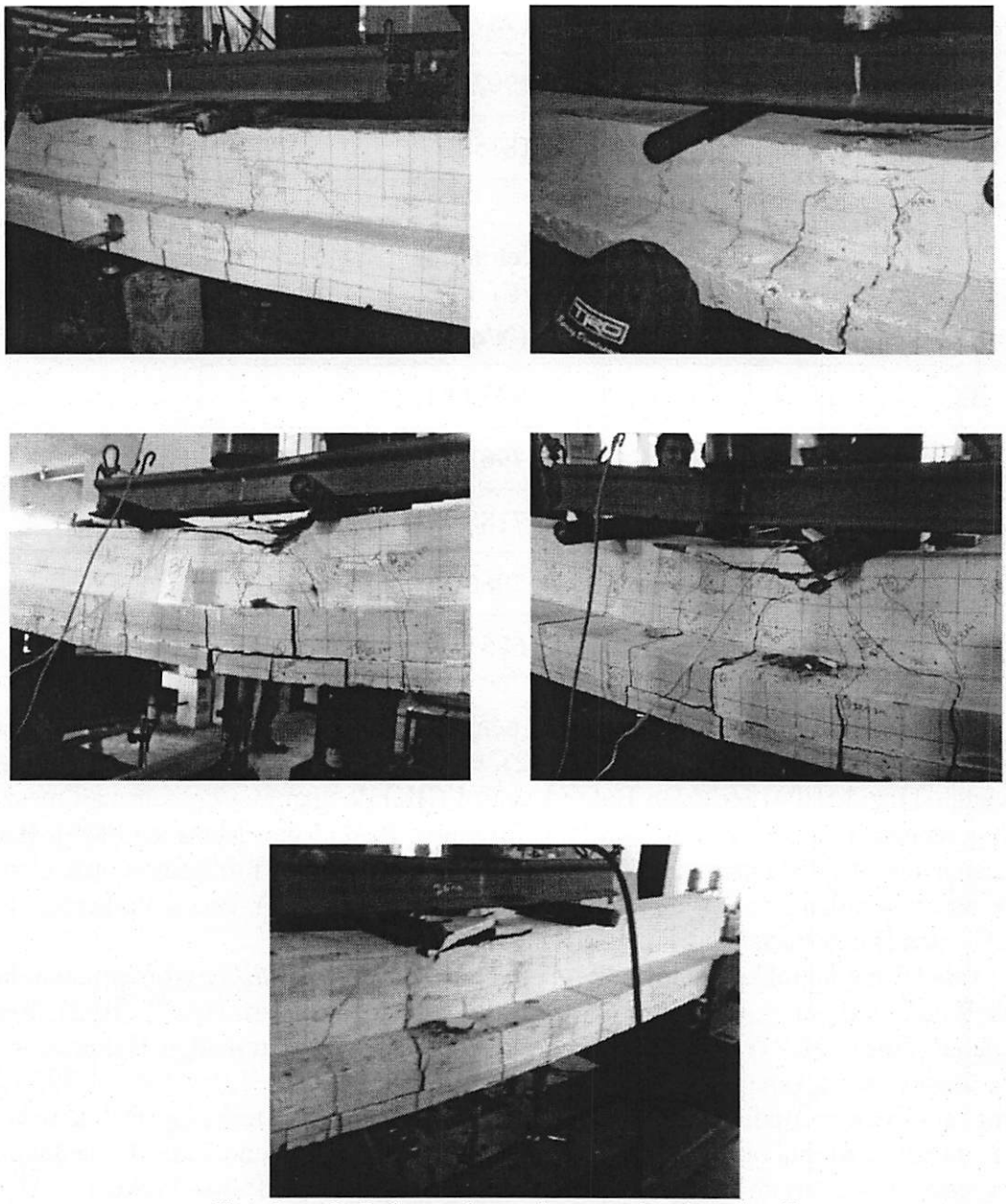
Tabel 3 menunjukkan bahwa nilai kekakuan awal *(initial stiffness)* meningkat baik untuk Balok Perkuatan Tipe 1 (BP1) maupun Balok Perkuatan Tipe 2 (BP2), Balok Perkuatan Tipe 3 (BP3) dan Balok Perkuatan Tipe 4 (BP4) terhadap Balok Kontrol (BK). Rasio peningkatan yang terjadi masing-masing sebesar 1,08, 1,25, 1,39, 1,27. Peningkatan yang terjadi pada Balok Perkuatan Tipe 1 (BP1) terhadap Balok Kontrol (BK) dapat disimpulkan tidak signifikan karena rasio mendekati 1, sedangkan peningkatan yang terjadi pada Balok Perkuatan Tipe 2 (BP2), Balok Perkuatan Tipe 3 (BP3) dan Balok Perkuatan Tipe 4 (BP4) terhadap Balok Kontrol (BK) dapat disimpulkan cukup signifikan

Tabel 4 menunjukkan bahwa terjadi penurunan kekakuan ekivalen *(equivalent stiffness)* pada semua benda uji Balok Perkuatan. Rasio penurunan yang terjadi masing-

masing sebesar 0,88 untuk Balok Perkuatan Tipe 1 (BP1), 0,79 untuk Balok Perkuatan Tipe 2 (BP2), 0,78 untuk Balok Perkuatan Tipe 3 (BP3) dan 0,75 untuk Balok Perkuatan Tipe 4 (BP4). Pemberian gaya prategang awal dianggap tidak berpengaruh terhadap kekakuan ekivalen *(equivalent stiffness)* karena masih dimungkinkan terjadinya *slip*.

c. Pola Retak Dan Keruntuhan

Pola retak balok masing-masing benda uji dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Pola retak masing-masing benda uji

Dari pola retak yang terjadi untuk benda uji BK dapat dikategorikan tipe keruntuhan yang terjadi adalah keruntuhan lentur dengan kerusakan pada beton serat

tekan terluar *(chrushing on concrete)* mulai terjadi pada saat mendekati beban maksimum. Keruntuhan benda uji BP1, BP2, BP3 dan BP4 juga dikategorikan keruntuhan lentur dengan mekanisme keruntuhan secara umum didahului dengan berkurangnya lekatan mortar dan beton lama *(debonding)* disusul terjadinya *spalling* pada saat mendekati beban maksimum

5. KESIMPULAN

a. Kapasitas daya dukung beban *(load carrying capacity)* hasil pengujian menunjukkan peningkatan untuk benda uji BP1, BP2, BP3 dan BP4 terhadap benda uji BK dengan rasio berturut-turut adalah 1,59, 1,69, 1,91 dan 1,75.
b. Indeks daktilitas perpindahan hasil pengujian mengalami penurunan untuk benda uji BP1, BP2, BP3 dan BP4 terhadap benda uji BK dengan rasio masing-masing sebesar 0,62, 0,36, 0,38 dan 0,36. Benda uji BP1 memenuhi persyaratan indeks daktilitas minimum untuk elemen balok beton bertulang sedangkan benda uji BP2, BP3 dan BP4 tidak memenuhi.
c. Kekakuan awal hasil pengujian mengalami peningkatan untuk benda uji BP1, BP2, BP3 dan BP4 terhadap benda uji BK dengan rasio masing-masing sebesar 1,08, 1,25, 1,39 dan 1,27. Pemberian gaya prategang awal cukup signifikan dalam meningkatkan kekakuan awal benda uji sampai dengan kondisi elastis.
d. Kekakuan ekivalen hasil pengujian mengalami penurunan untuk benda uji BP1, BP2, BP3 dan BP4 terhadap benda uji BK dengan rasio masing-masing sebesar 0,88, 0,79, 0,78 dan 0,75. Pemberian gaya prategang awal dianggap tidak berpengaruh terhadap kekakuan ekivalen karena masih dimungkinkan terjadinya *slip*.
e. Dari pola retak yang terjadi untuk benda uji BK dapat dikategorikan tipe keruntuhan yang terjadi adalah keruntuhan lentur dengan kerusakan pada beton serat tekan terluar *(chrushing on concrete)* mulai terjadi pada saat mendekati beban maksimum. Keruntuhan benda uji BP1, BP2, BP3 dan BP4 juga dikategorikan keruntuhan lentur dengan mekanisme keruntuhan secara umum didahului dengan berkurangnya lekatan mortar dan beton lama *(debonding)* disusul terjadinya *spalling* pada saat mendekati beban maksimum.

6. UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih dan penghargaan yang tinggi disampaikan kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat Universitas Jenderal Soedirman yang telah mendanai penelitian ini, serta kepada seluruh pihak yang telah membantu khususnya mahasiswa yang terlibat langsung: Ayu Tiara Maharani, Sofyan F. Rifai, Bambang Agus Priyono dan Ranggi Maulana.

7. DAFTAR PUSTAKA

Avak, R. dan Willie, F., 2005, *Experimental Investigations And Modeling Of Bond Between Round Strand Ropes And Concrete, 11th International Conference on Fracture (ICF)*, Turin, Italia

Badan Standar Nasional, 2008, *SNI 0076-208 Tali Kawat Baja*, Bandung

El Tawil, S. dan Deierlein, G. G., 1999, *Strength And Ductility Of Concrete Encased Composite Columns, Journal Of Structural Engineering*, Vol. 125. No. 9

Haryanto, Y., 2011, Perilaku *Lentur Balok Beton Bertulang Tampang T Yang Diperkuat Pada Daerah Momen Negatif Dengan Wire Rope Dan Komposit Mortar*, Tesis, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta

Namboorimadathil, S. M., Tumialan, J. G. dan Nanni, A., 2001, *Behavior Of RC T-Beams Strengthened In The Negative Moment Region With CFRP Laminates*, University of Missouri-Rolla, Rolla

Rashid, M. A., dan Mansur, M. A., 2005, *Reinforced High-Strength Concrete Beams in Flexure, ACI Structural Journal*, V0l. 102, No. 3

Raoof, M., dan Davies, T. J., 2001, *Simple Determination Of The Axial Stiffness For Large Diameter Independent Wire Rope Core Or Fibre, The Journal Of Strain Analysis For Engineering Design* Vol. 38: 577

URL: http://www.youtube.com, diakses tanggal 2 April 2011

PEMODELAN RESPONS NON-LINEAR MATERIAL BETON AKIBAT BEBAN BIAKSIAL DENGAN MENGGUNAKAN SOFTWARE BERBASIS *FINITE ELEMENT ANALYSIS*

Sylvya Anggraini[1], Endah Wahyuni[2], Data Iranata[3]

[1]*Mahasiswa Program Pascasarjana Teknik Struktur FTSP ITS, email : pie_sylvya@yahoo.com*
[2]*Dosen Jurusan Teknik Sipil FTSP, ITS, Kampus ITS Sukolilo Surabaya, Telp 031-5946094, email :* endahwahyuni@gmail.com
[3]*Dosen Jurusan Teknik Sipil FTSP, ITS, Kampus ITS Sukolilo Surabaya, Telp 031-5946094, email :* iranata_data@yahoo.com

ABSTRAK

Beton merupakan elemen penting dalam suatu struktur yang berperilaku nonlinier dan kompleks. Perilaku tersebut dapat diketahui melalui pengujian eksperimental di laboratorium. Namun dengan berkembangnya teknologi komputer, perilaku beton dapat diketahui melalui pendekatan simulasi berbasis metode numerik. Simulasi ini dilakukan untuk melihat kemungkinan perilaku yang akan terjadi pada struktur. Uji simulasi menggunakan program bantu yang berbasiskan *Finite Element Methode (FEM).*

Pada dasarnya propertis material beton yang digunakan sebagai input data pada program bantu sebaiknya diambil dari hasil eksperimental laboratorium, apabila tidak maka diperlukan korelasi dengan data-data empiris yang standar. Pada penelitian ini akan dilakukan studi analisa simulasi terhadap perilaku non-linear material beton akibat beban biaksial dengan ukuran specimen 200 x 200 x 50 (Kupfer et all) menggunakan program bantu ABAQUS. Analisa yang dilakukan pada pelat menggunakan mutu beton 32,06 Mpa.Dengan parameter diilustrasikan menggunakan model *concrete damaged plasticity* pada *software* ABAQUS.

Dari hasil penelitian yang dilakukan terlihat bahwa secara umum program bantu yang digunakan dapat menunjukan perilaku yang mendekati dengan hasil eksperimen. Pada simulasi perilaku non-linear dengan program bantu ABAQUS kedua perilaku beton baik pada saat *pre-peak* hingga *post-peak* dapat dimodelkan dengan tepat.

Kata kunci : Beton, Biaksial, Material, *Finite Element Methode (FEM).*

1. PENDAHULUAN

Seiring berkembangnya teknologi dalam berbagai bidang, teknologi dalam bidang komputer simulasi juga terus semakin maju. Teknologi komputer simulasi saat ini telah banyak dipergunakan dalam berbagai bidang *engineering* contohnya teknik sipil, mesin, mikroelektronik, luar angkasa, penerbangan dan *bioengineering*. Pendekatan simulasi banyak berguna dalam menghitung kasus - kasus kekuatan material, analisa thermal, kekuatan struktur bahkan pada mekanika fluida.

Selain kelebihan diatas dalam dunia teknik sipil sendiri pedekatan simulasi sangat banyak digunakan dalam bidang struktural. Hal ini berkaitan dengan perilaku material yang umumnya dibagi menjadi dua yaitu perilaku elastik (linear) dan inelastik (nonlinear). Perilaku elastik menunjukkan struktur akan berdeformasi jika diberi suatu pembebanan, dan akan kembali ke posisi awal jika pembebanan tersebut dihilangkan. Sedangkan inelastik sendiri yaitu dimana keadaan perilaku hubungan deformasi dan pembebanan yang diberikan tidak proporsional.

Pemahaman mengenai perilaku sebuah elemen struktur pada umunya diperoleh dari hasil pengujian eksperimental di laboratorium. Uji eksperimental ini sangat penting untuk mendapatkan hasil gambaran mengenai respons struktur yang sesuai berdasarkan keadaan nyata. Namun hasil eksperimental ini mengalami kendala dalam segi waktu dan biaya karena untuk menghasilkan eksperimental yang akurat dibutuhkan data eksperimental yang sangat banyak sehingga membutuhkan benda uji yang banyak pula [6].

Namun dengan berkembangnya teknologi komputer, kekurangan diatas dapat diketahui memalui pendekatan simulasi berbasis metode numerik. Dimana studi ini bisa menjadi salah satu pelengkap informasi yang tidak diperoleh dari studi eksperimental. Dalam pendekatan simulasi berbasis metode numerik ini ada bermacam-macam metode yang bisa digunakan . Diantara beberapa metode tersebut, metode elemen hingga menjadi salah satu yang diterima dan dipakai secara luas dalam berbagai aplikasi engineering, termasuk dalam analisis problem elastisitas struktur. Konsep dasar metoda elemen hingga adalah bahwa struktur kontinum ditinjau sebagai rangkaian elemen-elemen kecil yang terhubung dengan titik-titik nodal (node) yang terdapat pada tepi-tepi elemen. Setiap elemen mempunyai beberapa titik nodal dan masing-masing titik nodal mempunyai beberapa derajat kebebasan (degree of freedom) [6].

Perilaku beton yang non-linier elastis menjadi persoalan tersendiri dalam pemodelan *finite element analysis*. Non-linieritas material pada struktur beton sangat dipengaruhi oleh terbentuknya retak karena setelah retak perilaku elemen beton berubah dari isotropik menjadi orthotropik. Pengaruh hilangnya lekatan antara tulangan dan beton menyebabkan pula perilaku struktur beton bertulang menjadi tidak linier. Perilaku-perilaku tersebut memerlukan strategi khusus dalam mengevaluasi kekakuan material karena meskipun dalam kondisi elastis kekakuan material beton tidak menunjukkan sifat linier. Oleh karena itu metode finite element analysis digunakan agar dapat mempresentasikan perilaku non-linier dari elemen material beton [5].

Untuk melakukan simulasi pemodelan ini akan digunakan program bantu FEM. Program bantu ini dipilih karena memiliki kelebihan tersendiri dibanding dengan program-program sejenis dimana tidak hanya dapat menganalisis struktur *frame* tetapi juga elemen-elemen material dari struktur tersebut. Selain itu program ini dapat memasukan beberapa data propertis material beton dengan cukup lengkap. Hal ini tentu sangat berpengaruh terhadap perilaku beton apabila akan disimulasikan terkena berbagai beban. Pemodelan simulasi ini akan dilakukan pada material beton sederhana dimana hasil dari simulasi ini diharapkan perilaku elemen beton mendekati hasil uji eksperimental laboratorium.

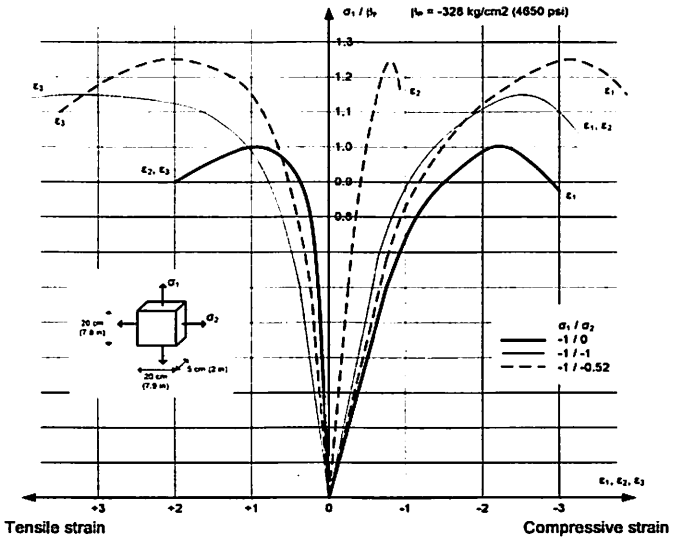
2. MODEL FINITE ELEMENT ANALISYS

Analisis nonlinier pada pelat yang sebagian besar menggunakan pendekatan smeared crack dijelaskan di bawah ini.

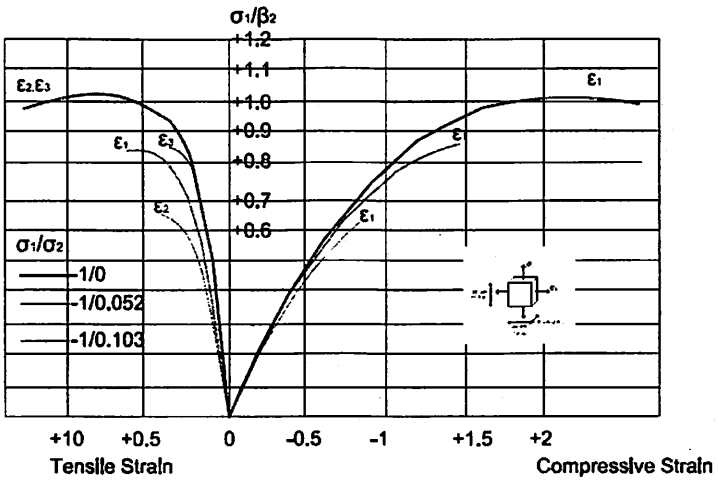
2.1. Tegangan Biaksial

Kupfer dkk (1969) melakukan beberapa tes untuk mengetahui respon dari plain concrete yang mengalami pembebanan biaksial. Hasil penelitian dari Kupfer dkk (1969) dalam kondisi dibebani secara biaksial, beton akan menunjukan respon dengan

meningkatnya kuat tekannya 1,25*f'c* atau kurang lebih sebesar 27% dari tegangan aksialnya [4].



Gambar 1. Grafik hubungan tegangan-regangan pada beton akibat beban tekan biaksial [4].



Gambar 2. Grafik hubungan tegangan-regangan pada beton akibat kombinasi pembebanan tekan dan tarik [4].

2.2. Concrete Damaged plasticity

Model concrete damaged palsticity di ABAQUS / Standard dan ABAQUS / eksplisit menyediakan kemampuan umum untuk pemodelan beton dan bahan semi rapuh lainnya di semua jenis struktur (balok, truss, shell, solid). Model ini menggunakan konsep damaged elasticity isotropik dalam kombinasi dengan tarik isotropik dan plastisitas tekan untuk mewakili perilaku inelastis beton [2].

Concrete Demage Plasticity model yang digunakan dalam perangkat lunak ABAQUS adalah modifikasi dari hipotesis kekuatan Drucker-Prager [3]. Parameter eccentricity dapat dihitung sebagai rasio kekuatan tarik terhadap kuat tekan. Model CDP

mengamsumsikan eccentricity = 0.1. Parameter lain σ_{b0}/σ_{c0} adalah rasio kekuatan biaksial dengan kekuatan uniaksial [3].

Tabel 1. Standar Parameter *Concrete Demage Plasticity*

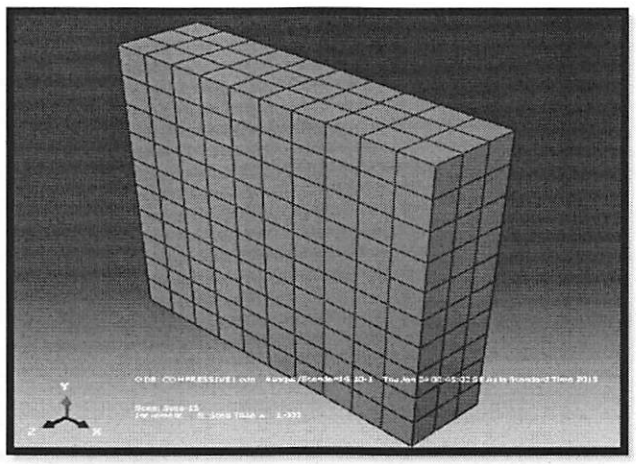
Parameter	Value
Dilatation angle	36°
Eccentricity	0.1
σ_{b0}/σ_{c0}	1
k	0.667
Viscosityarameter	0

3. PEMODELAN

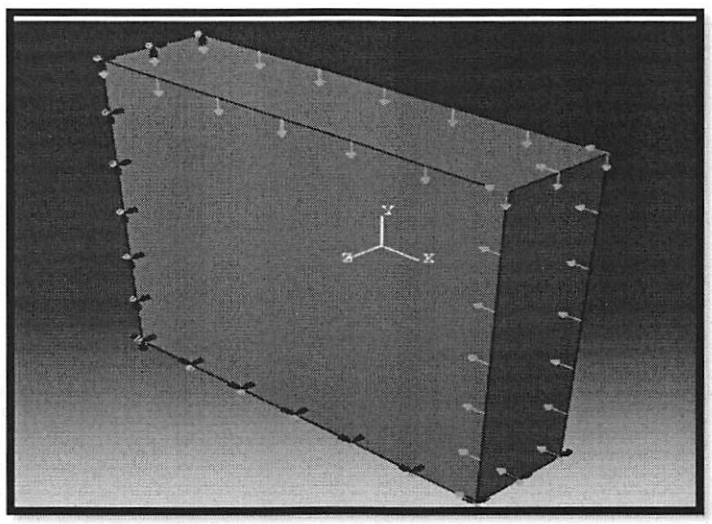
Studi kasus menggunakan data eksperimental dari Kupfer et all (1969) dengan ukuran spesimen 200mm x 20mm x 50mm dimodelkan pada ABAQUS. Spesimen beton menggunakan model C3D8 (3D 8-node linear brick element) dimana spesimen beton akan diuji dalam lima model. Untuk melakukan tahap step perlu dipastikan bahwa parameter NLGEOM dengan pilihan ON untuk mendefinisikan bahwa spesimen beton yang diuji geometrisnya non-linier dengan increament size 100, initial increament 0.1 time increament minimum dan maximun ditetapkan 0.00001 dan 1. Karena symmetry pada sumbu x,y dan z boundary condition pada model uji menggunakan tipe rol yang dapat dikenakan semua node pada bidang symmetry [7]. Dimana pada beban sumbu y diberi boundary condition y symmetry (rol dengan defleksi y = 0) sedangkan untuk beban sumbu x diberi boundary condition x symmetry (rol dengan defleksi x = 0). Boundary condition untuk pemodelan material beton biaksial ditampilkan pada gambar 4.

Tabel 2. Data eksperimental

Model	Ratio		Material Propertis			Mesh size (mm)	Perbandingan Tegangan		
	σ_1	σ_2	f'c (Mpa)	E	v		Rencana σ_{b0} (Mpa)	Eksperimental σ_{c0} (Mpa)	σ_{b0}/σ_{c0}
KP1	-1	0	32.06	26612	0.2	20	32.06	32.06	1
KP2	-1	-1	32.06	26612	0.2	20	36.869	32.06	1.15
KP3	-1	-0.52	32.06	26612	0.2	20	40.075	32.06	1.25
KP4	-1	0.052	32.06	26612	0.2	20	27.251	32.06	0.85
KP5	-1	0.103	32.06	26612	0.2	20	20.839	32.06	0.65



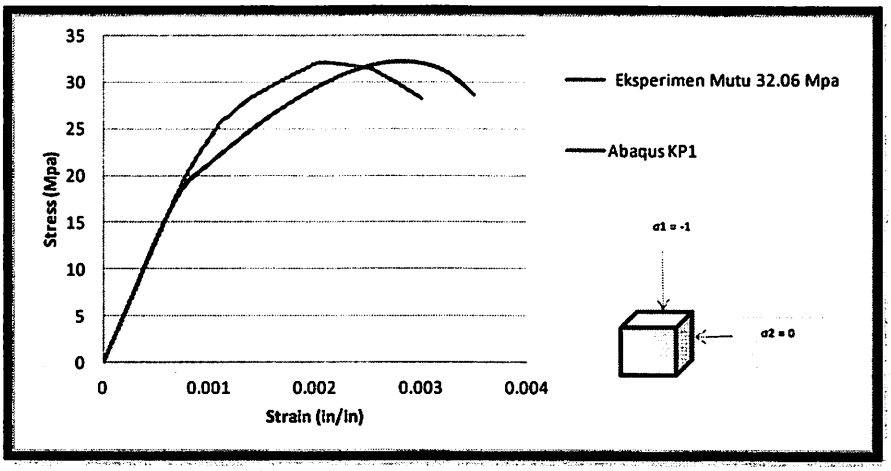
Gambar 3. Model mesh material beton dengan Abaqus



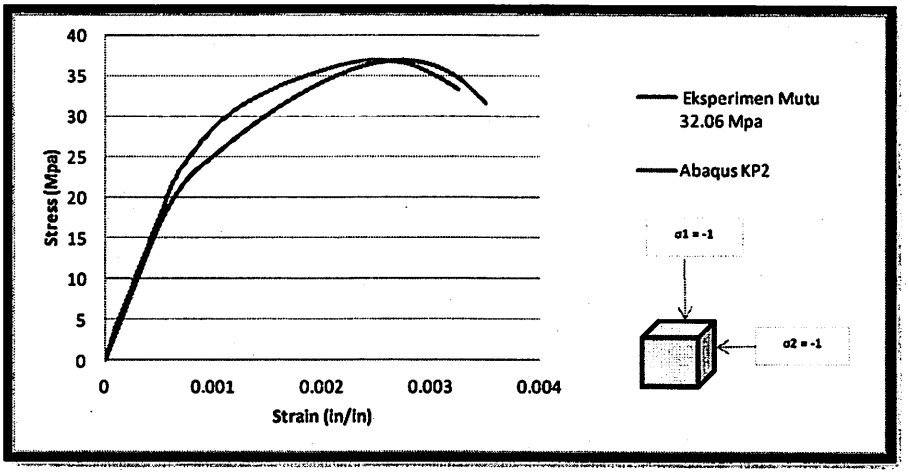
Gambar 4. Pembeban dan boundary condition material beton dengan Abaqus

4. HASIL

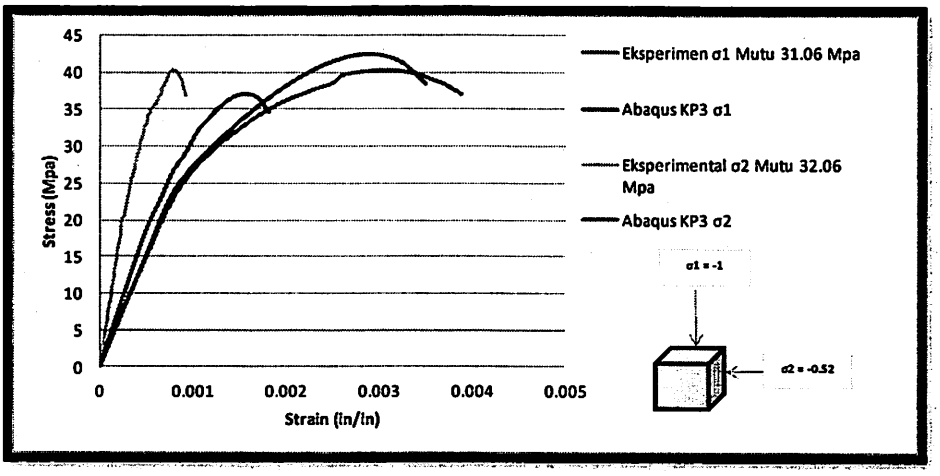
Gambar dibawah ini menunjukkan kurva tegangan-regangan pada ukuran mesh yang sama menggunakan model concrete damaged palsticity.



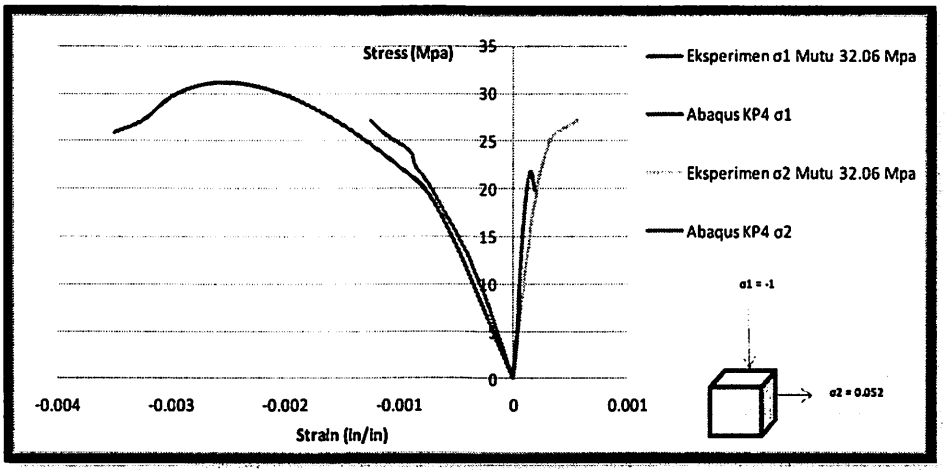
Gambar 5. Model kurva tegangan regangan KP1



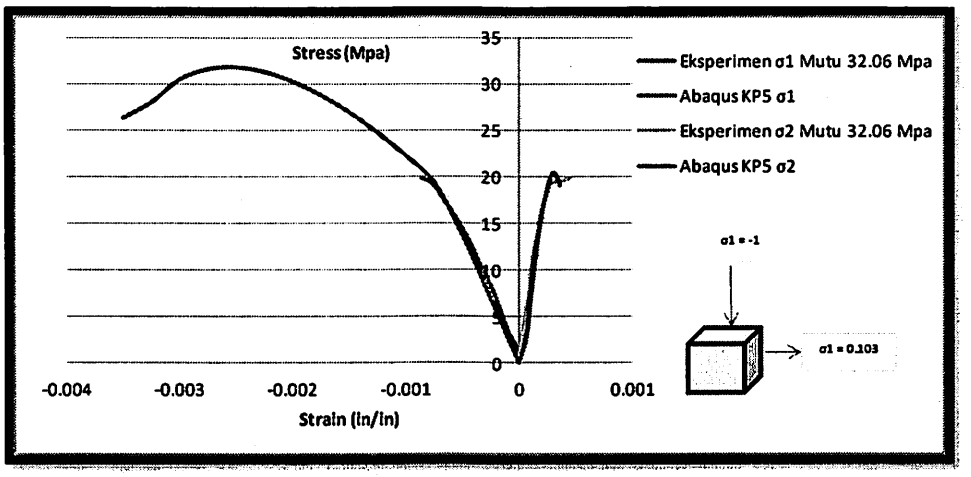
Gambar 6. Model kurva tegangan regangan KP2



Gambar 7. Model kurva tegangan regangan KP3



Gambar 8. Model kurva tegangan regangan KP4



Gambar 9. Model kurva tegangan regangan KP5

Secara umum dari kurva yang terlihat pada gambar 5 hingga gambar 9 menunjukan perilaku non-linier yang baik dari analisa yang dilakukan. Pada tahap awal pembebanan kondisi elastic (linier) dari material memperlihatkan respon yang baik dimana diantara kurva analisa program bantu dengan kurva hasil eksperimental saling berhimpit. Akan tetapi setelah melewati batas elastic kurva sudah tidak saling berhimpit. Namun secara umum perilaku softening yang ditunjukan setelah *fc'*terpenuhi sangat baik . Untuk nilai rasio tegangan dan regangan saat mencapai titik puncak dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Perbandingan Hasil Analisa Material Kondisi Non-Linier dengan Abaqus

Analisa	Tegangan puncak			Regangan saat tegangan puncak		
	Eksperimen	Model	Rasio	Eksperimen	Model	Rasio
KP1	32.06	32.1351	1.0023	0.00206	0.003	1.3350
KP2	36.99724	36.8557	0.9962	0.00249	0.003	1.1044
KP3 σ1	40.26736	42.3808	1.0525	0.0031	0.003	0.9677
KP3 σ2	40.26736	37.2160	0.9242	0.00079	0.002	1.9747

KP4 σ1	27.251	31.1889	1.1445	-0.00125	-0.003	2.0000
KP4 σ2	27.251	21.1834	0.7773	0.00056	0.000	0.2321
KP5 σ1	19.8772	31.8344	1.6016	-0.00086	-0.003	2.9070
KP5 σ2	19.8772	20.5439	1.0335	0.00045	0.000309	0.6867
Rata-rata			1.0665			1.4009

5. KESIMPULAN

Dari studi yang telah dilakukan dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Secara umum, pemodelan material beton biaksial yang dilakukan menggunakan program bantu Abaqus dapat merepresentasikan hasil eksperimen.
2. Seperti yang terlihat pada gambar 5 hingga 9 dengan program bantu Abaqus respons non linier ketika mengalami *hardening* dan *softening* bisa di hasilkan dengan baik.
3. Perilaku tegangan puncak material beton biaksial menunjukan hasil yang bagus dimana puncak tegangan eksperimen dan puncak Abaqus menunjukkan hasil yang hampir sama. Akan tetapi perilaku regangan dan tegangan pada saat titik puncak menunjukkan terjadinya pergeseran. Berikut rasio tegangan pada saat puncak dan regangan pada saat tegangan puncak :

Tabel 4. Rasio tegangan dan regangan

Analisa	Tegangan puncak Rasio	Regangan saat tegangan puncak Rasio
KP1	1.0023	1.335
KP2	0.9962	1.104
KP3 σ1	1.0525	0.968
KP3 σ2	0.9242	1.975
KP4 σ1	1.1445	2
KP4 σ2	0.7773	0.232
KP5 σ1	1.6016	2.907
KP5 σ2	1.0335	0.687

6. UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan secara khusus kepada Pemerintah Republik Indonesia melalui Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya yang telah memberikan beasiswa *freshgraduate* kepada penulis selama menempuh program magister di ITS.

DAFTAR PUSTAKA

1. Hasmanto,Budi., 2009. *Analisa Pengaruh Sifat Mekanik Material Terhadap Distribusi Tegangan Pada Proses Deep Drawing Produk End Cup Hub Body Maker dengan Menggunakan Software Abaqus 6.5-1.* Surakarta : Universitas Muhammadiyah Surakarta.

2. Iranata, Data. 2008. *Multi-level Hierarchical Modeling Method for Realistic Simulation of Structural System.* Taiwan : National Taiwan of Science and Technologi.
3. Kamniski,P ., Kmiecik, P., 2011. *Modelling of Reinforced Concrete and Composite Structures With Concrete Strength Degradation Taken into Consideration.* Archives Civill and Mechanical Engginering, Vol. XI No. 3.
4. Kupfer, Helmut., Hilsdorf K Hubert., 1969. Behavior of Concrete Under Biaxial Stresses. ACI Jurnal. No.66-52
5. Subranto., 2007. *Analisa Struktur Beton Bertulang Dengan Pendekatan Smeared Crack Dan Smeared Element Menggunakan Metode Elemen Hingga.* Program Pasca Sarjana : Universitas Diponegoro
6. Setiawan, Deddi Budi.,2006. *Model Analisa Finite Element untuk Mempresentasikan Perilaku Non-Linieritas Material balok Beton Bertulang, Bond Slip dan Pola Retak.* Semarang : Wahana Teknik Sipil Vol. 13 No. 1 April 2008: 7 – 16
7. Swadding, Somsak., Seow, Puay Eng Constance., 2006. *Modelling of Steel Fiber-Reinforced Concrete Under Multi-Axial Loads.* Science Direct : Vol. 13 (2006) 1354-1361

" Halaman ini sengaja dikosongkan "

ISBN 978-979-99327-8-5

ANALISA TIDAK LINEAR STRUKTUR BETON: DARI SEISMOLOGI SAMPAI PEMODELAN STRUKTUR

Ade Faisal[1]

[1]*Dosen Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU), Jl. Mukhtar, Basri No.3 Medan 20238, Telp 061-66245674, email: adefaisal@yahoo.com*

ABSTRAK

Penggunaan analisa tidak linear semakin sering dilakukan di dunia khususnya dalam hal evaluasi struktur bangunan lama. Untuk itu memahami cara untuk melakukan analisa tidak linear secara baik adalah sangat perlu. Apalagi peta zona gempa terbaru di Indonesia telah diberlakukan. Hal ini memaksa kita untuk kembali memastikan apakah gedung yang kita tempati masih aman dari bahaya gempa melalui analisa tidak linear. Tulisan ini mengulas secara ringkas perkembangan dalam analisa tidak linear untuk struktur beton yang dimulai dari getaran akibat gempa dari perspektif seismologi sampai dengan pemodelan struktur secara tidak linear tidak elastis.

Kata kunci: analisa tidak linear, struktur beton, rekayasa kegempaan

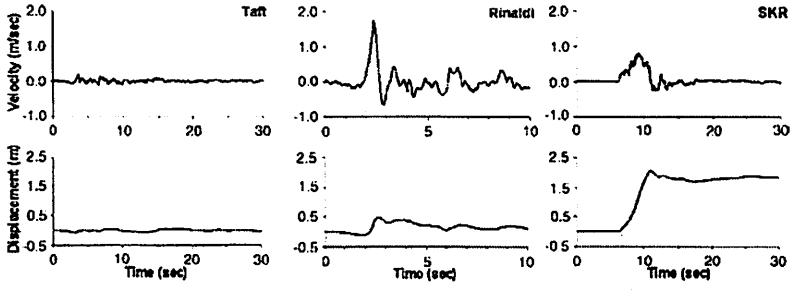
1. PENDAHULUAN

Memahami perilaku getaran gedung akibat gempa adalah sangat penting dalam proses perencanaan dan evaluasi kegempaan bangunan gedung. Hal ini dikarenakan respon bangunan gedung yang mengalami getaran gempa tidak akan pernah, walaupun bangunan tersebut memiliki geometri, kekakuan dan kekuatan yang sama. Perkembangan teknologi yang cukup pesat saat ini, khususnya di bidang komputer, membuat kompleksitas masalah di atas dapat dikurangi. Walaupun tidak sempurna dan menyeluruh, getaran dan respon bangunan gedung sudah dapat dimodelkan dengan lebih baik, baik secara linear elastis maupun tidak linear tidak elastis. Oleh karena itu tulisan ini secara ringkas dibuat untuk mengulas perkembangan di bidang rekayasa kegempaan khususnya tentang pemodelan tidak linear tidak elastis struktur rangka gedung beton bertulang. Banyak dokumen yang menjadi rujukan terpaksa tidak disebutkan dalam makalah ini. Beberapa dokumen juga hanya disebutkan nama panggilannya saja, yang dengannya para pembaca akan dengan mudah mendapatkannya di internet. Hal ini terpaksa dilakukan karena keterbatasan ruang penulisan.

2. REKAMAN GETARAN GEMPA

Getaran tanah akibat gempa bermula dari runtuhnya bagian antar muka pada sesar aktif, baik itu pada sesar mendatar (*strike-slip fault*), sesar normal (*normal fault*) maupun sesar terbalik (*reverse fault*). Luas dan volume bagian yang runtuh tersebut akan mempengaruhi besarnya energi yang dilepaskan ke segala arah dari dalam kerak bumi sampai ke permukaan bumi dalam bentuk gelombang getaran. Getaran gempa yang terekam oleh alat pencatat di stasiun gempa dipengaruhi oleh banyak faktor seperti jenis sesar, magnitude, jarak sumber gempa ke lokasi yang ditinjau (jarak gempa) dan jenis lapisan tanah di lapangan. Sebagai ilustrasi dapat dilihat melalui rekaman gempa Kern 1952 (stasiun Taft), gempa Northridge 1994 (stasiun Rinaldi) dan

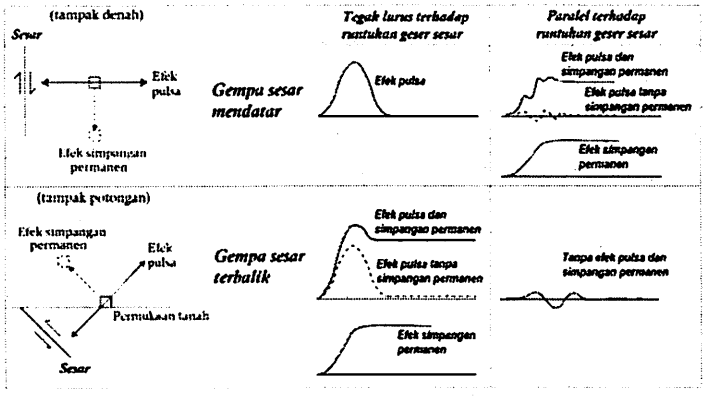
gempa Kocaeli 1999 (stasiun SKR) yang dibuat pada Gambar 1. Getaran gempa dekat (*near-field motion*) jelas sekali mengandung efek pulsa (*pulse effect*) yang cukup besar pada riwayat waktu kecepatannya (Gambar 1b dan 1c), sebuah efek yang tidak dimiliki oleh rekaman gempa jauh (Gambar 1a). Sedangkan dua rekaman gempa dekat dapat memiliki memiliki efek pulsa yang tidak sama (Gambar 1b dan 1c), dimana yang satu (Gambar 1c) mengandung efek simpangan permanen (*fling-step*) sedangkan yang lainnya tidak (Gambar 1b). Ketiga jenis rekaman gempa ini bila dipakai akan memberikan hasil respon bangunan gedung yang sangat berbeda, walaupun rekaman gempa telah diskalakan mengikut spektrum disain yang disyaratkan peraturan.



a) Gempa jauh *b) Gempa dekat EP* *c) Gempa dekat ESP*

Gambar 1: Perbandingan rekaman gempa jauh dan dekat [1]

Terjadinya masalah di atas erat kaitannya dengan jenis sesar dan jarak gempa. Stewart dkk. [2] menjelaskan bahwa rekaman gempa dekat yang berasal dari sesar terbalik dan sesar mendatar dapat mengandung efek pulsa (EP) atau efek simpangan permanen (ESP) atau bahkan keduanya. Ilustrasi mengenai hal ini dapat dilihat pada Gambar 2. Sedangkan sesar normal umumnya tidak mampu memberikan rekaman yang mengandung kedua efek ini.



Gambar 2: Ilustrasi EP dan ESP berdasarkan jenis sesar dan arah lokasi bangunan

EP pada rekaman riwayat waktu kecepatan dapat terjadi bila lokasi yang ditinjau terletak dekat dengan runtuhan sesar, arah runtuhan geser pada sesar menuju ke lokasi yang ditinjau (*forward directivity*), dan bila arah rayapan getaran ke lokasi yang ditinjau adalah tegak lurus terhadap arah runtuhan geser sesar. Ini dapat terjadi pada sesar mendatar maupun sesar terbalik. Sedangkan ESP akan terjadi pada rekaman riwayat

waktu simpangan bila lokasi yang ditinjau terletak dekat dengan runtuhan geser sesar dan bila arah rayapan getaran ke lokasi yang ditinjau adalah tegak lurus terhadap arah runtuhan geser sesar terbalik. ESP juga terjadi bila lokasi yang ditinjau terletak pada arah yang paralel terhadap arah runtuhan geser sesar mendatar. Kondisi ini juga menunjukkan bahwa tidak semua rekaman gempa dekat memiliki EP dan ESP.

Respon struktur terhadap jenis rekaman gempa ini juga akan berbeda secara signifikan. Respon struktur bertingkat banyak akan mengalami deformasi yang lebih besar bila terkena getaran gempa dekat dibanding bila struktur tersebut mengalami getaran gempa jauh. Struktur bertingkat banyak yang terkena getaran gempa dekat EP akan memberikan respon yang cenderung besar pada kondisi ragam getar yang tinggi (*higher mode effect*). Ini berbeda bila struktur tersebut terkena getaran gempa dekat ESP dimana struktur akan cenderung memberikan respon yang besar pada kondisi ragam getar alami [1]. Berdasarkan hal ini maka rekaman gempa harus dipilih secara hati-hati untuk analisa riwayat waktu.

2.1. Memilih rekaman gempa untuk analisa riwayat waktu

Ada banyak metode dalam memilih rekaman gempa yang dapat mewakili kondisi kegempaan di lokasi struktur. Katsanos dkk. [3] menjelaskan secara ringkas sejumlah metode yang ada seperti metode berdasarkan parameter magnituda-jarak, parameter magnituda-jarak-profil tanah, parameter magnituda-jarak-durasi (rekaman getaran), parameter magnituda-jarak-kondisi seismologi, dan parameter magnituda-jarak-rasio percepatan kecepatan. Metode lain adalah metode berdasarkan penyesuaian ke spektrum disain (*spectral matching*) dan metode berdasarkan ukuran intensitas getaran (*ground motion intensity measures*). Metode yang paling praktis dan umum dipakai adalah memilih rekaman berdasarkan parameter intensitas gempa (magnituda) dan jarak gempa terdekat. Artinya rekaman dipilih dari data di dalam *online database*, seperti PEER-NGA Database (*http://peer.berkeley.edu/peer_ground_motion_database*), COSMOS Database (*http://db.cosmos-eq.org/scripts/default.plx*) atau K-net Database (*http://www.knet.bosai.go.jp*), berdasarkan magnituda gempa maksimum yang pernah atau kemungkinan akan terjadi di wilayah di sekitar lokasi gedung dan jarak gempa terdekat. Metode ini kemudian berkembang pesat dengan penambahan parameter-parameter lain seperti jenis sesar dan kondisi tanah. Metode pemilihan rekaman gempa yang dianut di berbagai peraturan gempa di dunia (ASCE 7-10, Eurocode 8) umumnya berdasarkan parameter magnituda, jarak gempa terdekat, jenis sesar dan kondisi lapisan tanah. Untuk mengadopsi efek gempa dekat (≤ 5 km), ASCE 7-10 mensyaratkan komponen utama horizontal getaran agar dirotasikan ke arah tegak lurus runtuhan geser sesar sedangkan komponen ortogonal lainnya ke arah paralel runtuhan geser sesar.

Belakangan ini metode pemilihan rekaman gempa berdasarkan konsep probabilitas sudah sering dipakai seperti yang diusulkan oleh Prof. Baker dari Universitas Stanford. Baker memperkenalkan cara memilih sekumpulan rekaman gempa yang dinamakan *conditional mean spectrum* (*CMS*). Dalam *CMS*, pertama-tama nilai spektrum percepatan disain pada perioda alami struktur ditentukan. Kemudian rekaman dipilih dari *database* berdasarkan skenario magnituda dan jarak terdekat. Setelah mengubah semua rekaman ke bentuk spektrum respon (*Sa*) dan ke bentuk log *Sa*, nilai rata-rata dan standar deviasinya kemudian dihitung. Lalu nilai epsilon (*conditional mean*) ditentukan untuk semua perioda dan dikalikan terhadap koefisien korelasi. Kemudian *CMS* dapat ditentukan dengan menjumlahkan nilai rata-rata log *Sa*

kepada hasil kali epsilon dengan standar deviasi log *Sa*. Semua rujukan yang terkait *CMS* dapat diunduh gratis di *http://www.stanford.edu/~bakerjw/publications*.

Selain rekaman asli, rekaman getaran gempa sintetis atau hasil simulasi numerik juga dapat dipilih untuk analisa riwayat waktu. Getaran gempa sintetis umumnya merupakan hasil penyesuaian spektra (*spectral matching*) dimana *Sa* dari rekaman yang dipilih disesuaikan dengan bentuk spektra disain yang ada di peraturan gempa. Sejumlah metode penyesuaian spektra telah diusulkan termasuk oleh Hancock dkk. [4]. Metode Hancock dkk. ini dipakai sebagai "mesin" pada program *SeismoMatch*.

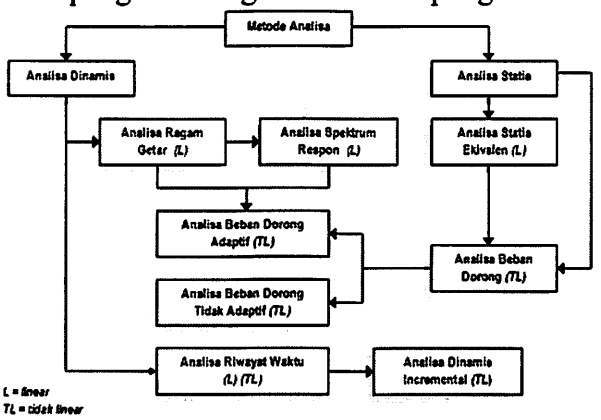
Getaran gempa hasil simulasi numerik dapat juga dipakai, yang umumnya merupakan hasil analisa gelombang gempa berbasis parameter-parameter seismologi seperti kecepatan gelombang geser pada batuan, sifat perlambatan gelombang sebuah material (*anelastic attenuation*), jarak gempa, magnituda momen, luas runtuhan pada sesar, tegangan yang dilepas (*stress drop*) dan lain-lain. Metode yang umum dipakai di AS dan Kanada adalah Metode Boore dan Metode Motazedian-Atkinson. Kedua metode ini menggunakan pendekatan simulasi stokastik yaitu getaran diperlakukan sebagai sinyal Gauss acak (*white noise*) mengikuti spektrum sumber gempa model-Brune yang dipengaruhi oleh parameter *stress drop*. Perbedaan antara keduanya terletak pada bagaimana memperlakukan sumber gempa dimana Metode Boore memakai model sumber gempa titik (*point source*) sedangkan Metode Motazedian-Atkinson menggunakan model sumber gempa sesar hingga (*finite fault source*). Metode Boore ada di dalam program gratis SMSIM (*http://www.daveboore.com/software_online.html*) sedangkan metode Motazedian-Atkinson ada di dalam program gratis EXSIM (*http://http-server.carleton.ca/~dariush/research/EXSIM_Beta.zip*). Rujukan yang terkait dengan kedua metode ini dapat diunduh secara gratis di jejaring Dr. David M. Boore (*http://www.daveboore.com/pubs_online.php*).

Prosedur pemilihan rekaman gempa dan penskalaannya untuk keperluan analisa riwayat waktu untuk berbagai jenis struktur dijelaskan secara terperinci di dalam NIST GCR 11-917-15 yang diterbitkan oleh NEHRP. Dokumen ini merekomendasikan penggunaan spektrum target untuk berbagai jenis parameter respon struktur yang berbeda, pemilihan rekaman dan penskalaan spektrum rekaman asli ke spektrum target. Sebagai contoh bila respon gedung bertingkat rendah/sedang didominasi oleh perioda alami dan respon yang diharapkan adalah simpangan atap maka direkomendasikan untuk memakai *CMS*. Dokumen ini menjelaskan bahwa tidak ada satu spektrum target pun yang dapat mewakili secara sempurna semua kondisi getaran yang mungkin terjadi.

3. ANALISA STRUKTUR

Dalam disain dan evaluasi kegempaan struktur gedung, sejumlah metode analisa struktur dapat digunakan. Analisa riwayat waktu tidak linear tidak elastis adalah yang terbaik untuk dilakukan, baik itu untuk disain maupun untuk evaluasi. Pada Gambar 3 diilustrasikan berbagai jenis metode analisa struktur yang sering dipakai mulai dari analisa statik sampai dengan analisa dinamik. Analisa riwayat waktu tidak linear *incremental dynamic analysis* (IDA) adalah metode yang terbaik untuk memperkirakan respon struktur. Sayangnya metode usulan Vamvatsikos dan Cornel [5] ini memerlukan proses yang berulang-ulang dan waktu analisa yang relatif lama. Metode IDA secara langsung sering dipakai untuk memperkirakan daktilitas dan kuat lebih (*overstrength*) struktur. Sebelum IDA diperkenalkan, daktilitas diperkirakan melalui analisa beban

dorong (*pushover analysis*) dan analisa riwayat waktu tidak linear, yang masing-masing untuk memperkirakan simpangan leleh global dan simpangan maksimum struktur.



Gambar 3: Metode-metode analisa struktur [6]

Analisa beban dorong juga sering digunakan untuk menentukan nilai kuat lebih struktur dan juga faktor reduksi beban, bersama dengan analisa riwayat waktu atau analisa statis ekivalen. Saat ini ada 2 metode analisa beban dorong yaitu metode adaptif dan metode tidak adaptif. Metode tidak adaptif terdiri dari metode yang mengandung efek ragam getar (*non-adaptif modal pushover analysis*) dan yang mengabaikan efek ragam getar (*non-adaptif non-modal pushover analysis*). Metode standar konvensional, yang banyak dipakai dalam praktek saat ini, adalah murni analisa statik tidak linear dan termasuk ke dalam metode tidak adaptif mengabaikan efek ragam getar. Untuk struktur gedung bertingkat, metode ini sama sekali tidak mampu menghasilkan nilai simpangan antar tingkat mendekati hasil analisa riwayat waktu tidak linear, karena mengabaikan pengaruh ragam getar tinggi.

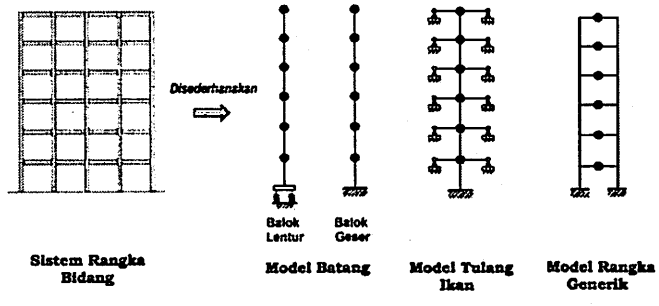
Kemudian metode ini dikembangkan dengan memakai sejumlah pembebanan lateral konstan. Bentuknya mengacu ke bentuk-bentuk ragam getar (umumnya sampai ke ragam getar ke empat). Hasil analisa kemudian dikombinasikan mengikut beberapa aturan main. Metode ini termasuk ke dalam metode tidak adaptif yang mengandung efek ragam getar. Metode ini berkembang lagi dengan memasukkan unsur ragam getar dan massa ragam getar efektif (sampai ragam getar ke tiga) yang kemudian hasil analisanya dikombinasikan mengikut aturan SRSS. Metode ini dikenal dengan *modal pushover analysis*. Hasil dari metode ini, yang diaplikasikan kepada struktur gedung bertingkat, sangat mendekati hasil analisa riwayat waktu, khususnya pada tingkat bawah struktur, sedangkan pada bagian tingkat atas struktur cenderung kurang mendekati.

Metode analisa beban dorong yang pada prosesnya memuat perubahan-perubahan pembebanan lateral seiring dengan perubahan ragam getar dan faktor partisipasi massa (hasil dari analisa Eigenvalue), yang kemudian hasil akhirnya dikombinasikan memakai aturan SRSS atau CQC, disebut dengan metode adaptif. Metode ini ada 2 macam yaitu metode berbasis gaya dan metode berbasis perpindahan. Metode berbasis gaya memberikan hasil yang kurang lebih sama kualitasnya dengan metode tidak adaptif yang tidak mengandung ragam getar. Hal ini berbeda dengan metode adaptif berbasis perpindahan dimana hasil simpangan antar tingkatnya cenderung mendekati hasil analisa riwayat waktu. Kedua jenis metode adaptif ini ada di dalam program komersial *SeismoStruct* dan program gratis *ZeusNL*.

Bila perbandingan hasil kurva kapasitas dilakukan antara analisa beban dorong adaptif (berbasis perpindahan) dengan IDA maka akan diperoleh perbedaan yang kecil. Artinya analisa beban dorong masih bisa menjadi sebuah alternatif yang bagus dan praktis dalam rangka mengetahui kapasitas struktur. Program gratis lainnya yang mampu melakukan analisa ini adalah *OpenSees*. Walaupun blok-blok data masukan telah disiapkan oleh pengembang program, namun pembuatan data masukannya masih terbilang "kurang bersahabat" karena harus dilakukan dengan memakai bahasa pemrograman Tcl/tk. Program komersil lainnya adalah *Ruaumoko* yang memiliki fitur model histeresis yang sangat bervariasi dan banyak, sehingga dapat dimanfaatkan untuk berbagai jenis material dan juga berbagai kondisi analisa riwayat waktu.

3.1. Pemodelan struktur

Pada tulisan ini pemodelan struktur yang dimaksud adalah pemodelan struktur gedung beton bertulang secara makroskopis menggunakan alat bantu program komputer. Umumnya dalam proses perencanaan, analisa struktur tidak perlu berulang-ulang dilakukan sehingga model struktur gedung beton bertulang dapat secara penuh dimodelkan ke dalam bentuk sistem rangka portal atau sistem kombinasi. Namun bila tujuan analisa adalah untuk mengevaluasi respon struktur berdasarkan parameter-parameter disain (daktilitas, faktor reduksi beban), disebut dengan studi parametrik, maka pemodelan secara utuh akan memakan waktu analisa yang lama. Untuk keperluan ini umumnya penyederhanaan model selalu dipakai. Sebagai contoh sistem rangka bidang (2 dimensi) pada Gambar 4 dapat disederhanakan ke bentuk model batang (*stick model*), baik itu model balok lentur ataupun model balok geser. Sistem rangka juga dapat disederhanakan menjadi model tulang ikan (*fish bone model*) yang cukup populer di Jepang. Model lain yang sering dipakai untuk penyederhanaan analisa dalam kajian parametrik adalah model rangka generik (*generic frame*). Semua model ini sangat layak dipakai bila target hasil analisa yang diinginkan adalah adalah simpangan global, simpangan antar tingkat, gaya geser tingkat dan gaya geser dasar.



Gambar 4: Model sistem rangka portal yang disederhanakan

Pemodelan struktur gedung yang memiliki sistem rangka portal dan dinding geser dapat dibuat dengan model rangka dan *bracing*. Untuk kasus struktur gedung yang memiliki sistem rangka portal dan dinding geser, penyederhanaan model dapat dibuat dengan menganggap dinding geser sebagai kombinasi kolom lentur dan balok yang sangat kaku, menggunakan elemen garis pada program komputer. Artinya kolom lentur ini dihubungkan oleh balok-balok yang sangat kaku pada setiap tingkatnya.

Struktur dinding pengisi, yang biasanya diabaikan dalam pemodelan struktur, umumnya dimodelkan sebagai elemen *bracing* aksial. Perlu dicatat disini, kontribusi

dinding pengisi yang terbuat dari dinding bata sangat mempengaruhi kekakuan tingkat. Adanya dinding pengisi yang kaku pada sebuah tingkat, dan pada tingkat lainnya tidak ada, bisa menyebabkan efek tingkat lemah (*soft-story*). Keberadaan dinding pengisi juga sangat mempengaruhi ragam getar alami sehingga nilai faktor gempa yang dipengaruhi oleh perioda alami sudah pasti akan menjadi tidak sama. Dalam analisa tidak linear elemen dinding pengisi ini dimodelkan melalui sebuah elemen garis yang memiliki kekuatan dan simpangan yang getas (*brittle*). Persamaan untuk mendapatkan parameter ini dapat diperoleh di peraturan-peraturan gempa yang ada.

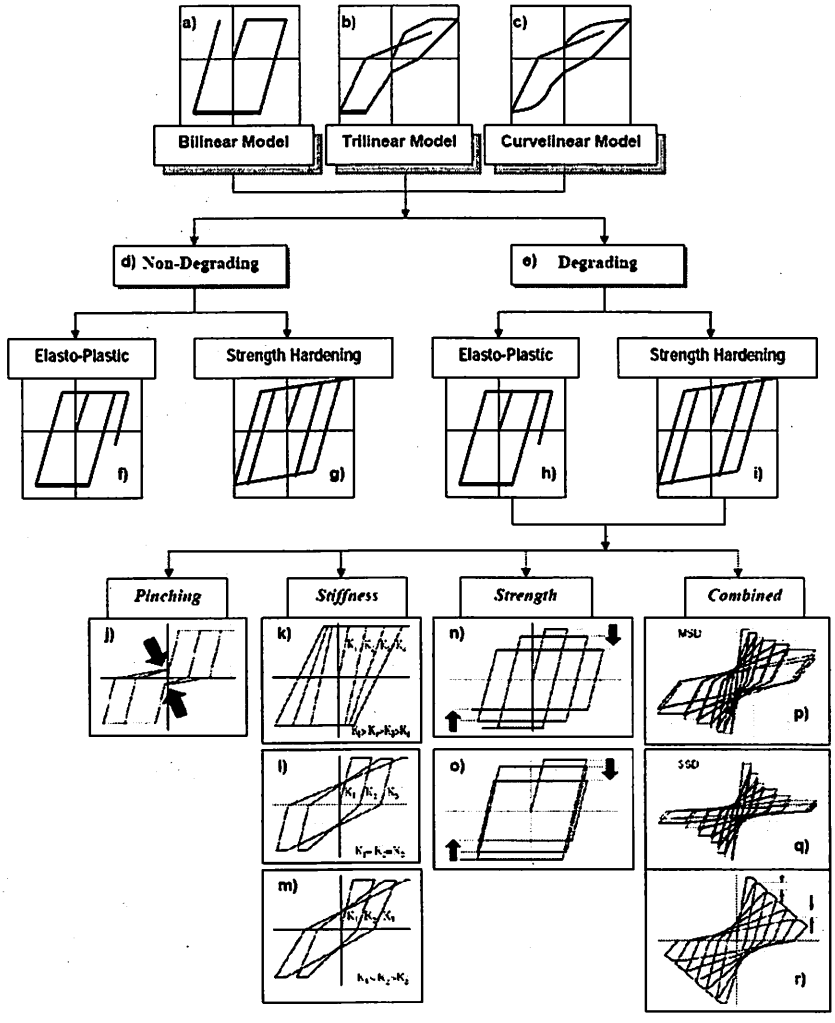
3.2. Pemodelan elemen struktur

Hal penting lain yang harus mendapat perhatian dalam analisa tidak linear tidak elastis adalah pemodelan kekakuan dan kekuatan yang melalui fungsi histeresis pada elemen struktur. Ada banyak model yang dapat dipakai untuk keperluan ini, yang pemilihannya tergantung kepada parameter tujuan yang ingin dihasilkan. Gambar 5 menjelaskan klasifikasi dan jenis-jenis model histeresis (termasuk perilaku kekakuan dan kekuatan di dalamnya) yang dipakai dalam analisa tidak linear tidak elastis. Model histeresis ini dapat diklasifikasikan ke dalam 3 bagian yang disebut dengan model bilinear, model trilinear dan model kurva-linear. Kemudian masing-masing bagian ini dapat dibedakan lagi ke dalam kelompok model dengan kekakuan yang dapat berubah (*degrading*) atau model dengan kekakuan yang tidak berubah (*non-degrading*). Umumnya elemen baja dimodelkan dengan histeresis *non-degrading* baik itu model elasto-plastis ataupun model *strength hardening*, sedangkan elemen beton bertulang dimodelkan dengan histeresis *degrading*. Ulasan lebih lengkap tentang kekuatan-kekakuan di dalam histeresis dapat dilihat di dalam FEMA P440A.

Model histeresis elemen yang paling ideal untuk struktur beton bertulang adalah model kurva linear kombinasi (*combined-curvelinear model*) yang mengandung efek gelincir pada rekatan tulangan-beton (*pinching*), efek perubahan kekakuan (*stiffness degradation*) dan efek perubahan kekuatan (*strength degradation*), seperti ditunjukkan pada model p), q) dan r) pada Gambar 5. Namun demikian beberapa literatur terpercaya menyebutkan bahwa model *modified-Takeda*, yang tergolong *bilinear, elasto-plastic* dan *stiffness-strength degradations*, sudah sangat memadai untuk model histeresis elemen struktur beton. Untuk model ini direkomendasikan nilai faktor beban dilepas (*unloading parameter*) dan faktor beban diulangi (*re-loading parameter*), yang masing-masing lebih dikenal dengan parameter α dan β, adalah 0,3 dan 0,6 baik itu untuk elemen balok maupun kolom. Tapi ada juga literatur yang merekomendasikan parameter α dan β masing-masing 0,3 dan 0,0 untuk elemen kolom.

Dalam kaitan kepada kekakuan elemen, sebaiknya kekakuan effektif balok beton bertulang yang dipakai dalam analisa tidak linear adalah sebesar $0{,}3EI_g$ untuk kekakuan lentur dan $0{,}4GA_w$ untuk kekakuan geser. Disini E adalah modulus elastisitas beton, I_g adalah momen inersia penampang, G adalah modulus geser dan A_w luas penampang geser. Untuk kekakuan efektif pada kolom direkomendasikan kekakuan lentur sebesar $0{,}7EI_g$ (bila gaya tekan yang bekerja $\geq 0{,}5\ A_g f'c$) dan $0{,}3\ EI_g$ (bila gaya tekan yang bekerja $\leq 0{,}1\ A_g f'_c$ atau dengan gaya aksial tarik) dan $0{,}4GA_w$ untuk kekakuan geser. A_g di sini adalah luas penampang. Untuk dinding geser direkomendasikan nilai kekakuan lentur sebesar $0{,}5EI_g - 0{,}8EI_g$ dan kekakuan geser $0{,}4EA_w$. Sedangkan untuk dinding basement direkomendasikan nilai kekakuan lentur sebesar $0{,}8EI_g$ dan kekakuan geser $0{,}8GA_w$.

Untuk mengadopsi perilaku histeresis elemen ini, diperlukan pula model elemen struktur balok dan kolom yang tidak linear tidak elastis. Elemen balok dan kolom yang umum dipakai untuk struktur beton adalah model balok Giberson *(Giberson beam model*) yang dikenal juga dengan sebutan *one-component model* atau *lumped plasticity model*. Model ini mengandung elemen batang linear yang diapit oleh elemen pegas tidak linear tidak elastis pada kedua ujung-ujungnya. Pemakaian elemen pegas di sini adalah untuk mewakili sendi plastis (rusak) pada struktur beton akibat gempa. Elemen pegas ini mengandung parameter-parameter tidak linear tidak elastis dalam bentuk hubungan gaya-deformasi seperti momen-kurvatur atau momen-rotasi, interaksi gaya aksial-momen, gaya geser-simpangan geser dan gaya aksial-simpangan. *Lumped plasticity model* ini ada di semua program komputer tidak linear yang memiliki elemen garis.



Gambar 5: Klasifikasi model histeresis elemen (dimodifikasi dari FEMA P440A)

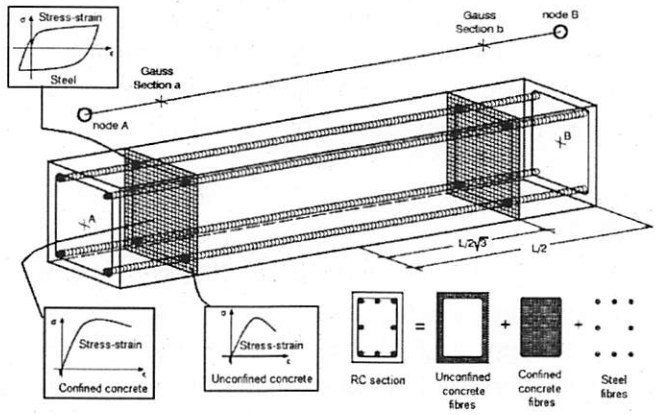
Model ini kemudian berkembang menjadi elemen tidak linear lainnya yang disebut dengan *spread-plasticity model,* sebuah model dengan fleksibilitas elemen linear (diantara dua pegas tidak linear) yang dapat berubah disebabkan oleh efek penyebaran kerusakan di sepanjang lokasi sendi plastis. Kedua model plastis ini sering terkandung di dalam elemen garis (*line element*) di dalam program-program komputer yang ada

seperti *Ruaumoko, OpenSees* dan *IDARC2D*.

Umumnya kondisi tidak linear tidak elastis pada sendi plastis di elemen garis cukup diwakili oleh parameter-parameter momen-rotasi (untuk balok) dan interaksi gaya aksial-momen lentur (untuk kolom). Momen leleh dan kurvaturnya, beserta interaksinya dengan gaya aksial, dapat diperoleh dengan program analisa tampang. Sedangkan momen maksimum, rotasi leleh dan rotasi batas, untuk membentuk kurva *backbone* histeresis elemen dapat dihitung dengan persamaan-persamaan di dalam Fardis [8]. Pada literatur ini juga akan diperoleh persamaan-persamaan untuk membentuk kurva *backbone* histeresis geser-perpindahan.

Model elemen tidak linear lainnya yang dipakai untuk elemen garis adalah elemen serat (*fiber element*). Model elemen ini juga terdiri dari elemen linear yang diapit oleh elemen tidak linear pada kedua ujung-ujungnya (sendi plastis). Ketidak-linearannya didefenisikan melalui hubungan tegangan-regangan material yang ada di dalam elemen yang dimodelkan. Untuk struktur beton terdiri tegangan-regangan material beton yang tidak diikat (*unconfined)*, material beton yang terikat (*confined*) dan material baja tulangan, seperti yang diilustrasikan pada Gambar 6. Model elemen serat ini ada di dalam fitur program tidak linear *SAP2000, ETABS, SeismoStruct, ZeusNL, OpenSees, STAADPro*, dan lain-lain.

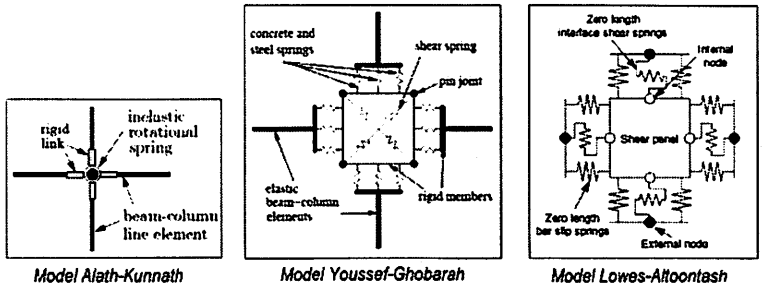
Elemen tidak linear lain adalah elemen pejal (*solid element*) yang umum dipakai dalam analisa mikroskopis menggunakan metode elemen hingga kontinum (*ANSYS, ABAQUS, SAP2000* dan lain-lain). Analisa seperti ini cocok sekali dipakai untuk melihat sebaran kerusakan yang terjadi di sepanjang elemen struktur beton. Namun ia tidak praktis bila dipakai untuk evaluasi struktur gedung karena memerlukan diskretisasi elemen yang sangat banyak.



Gambar 6: Ilustrasi model elemen serat untuk beton bertulang [7]

Bagian penting struktur beton lainnya yang perlu dimodelkan adalah pertemuan balok-kolom, tempat dimana terjadinya kerusakan selain daerah sendi plastis di ujung-ujung elemen balok dan kolom. Untuk bagian ini biasanya model pertemuan sangat kaku (*rigid link*) sudah dianggap cukup memadai (ada di semua program tidak linear) dan lazim dipakai, walaupun sebenarnya ada banyak model pertemuan balok-kolom tidak linear. Beberapa contoh model pertemuan balok-kolom diilustrasikan di Gambar 7. Namun jarang sekali program komputer yang memasukkan fitur model pertemuan balok-kolom ini, kecuali *OpenSees* yang menyediakan model Lowes-Altoontash untuk

memodelkan pertemuan balok-kolom beton bertulang. Bila kita menginginkan model seperti ini dipakai dalam memodelkan struktur gedung dengan program komputer maka kita harus mengembangkannya sendiri menggunakan elemen pegas tidak linear. Pemodelan ini seperti ini tentu tidak praktis karena mempengaruhi kompleksitas dan waktu analisa. Parameter-parameter penting lain untuk pemodelan dan analisa tidak linear, seperti redaman dan efek P-delta, dapat dilihat di dalam PEER/ATC-72-1.



Model Alath-Kunnath *Model Youssef-Ghobarah* *Model Lowes-Altoontash*

Gambar 7: Ilustrasi model pertemuan balok-kolom

4. KESIMPULAN

Analisa tidak linear sangat diperlukan untuk memperkirakan perilaku struktur gedung berdeformasi akibat getaran gempa secara tepat. Struktur gedung seperti ini akan sangat dipengaruhi oleh getaran gempa, kekuatan struktur, kekakuan global dan kekakuan lokal elemen. Untuk itu diperlukan pemahaman yang baik bagaimana memodelkan struktur gedung dimaksud, khususnya struktur beton, ke dalam program komputer secara tidak linear. Tulisan ini menjelaskan secara ringkas perkembangan analisa tidak linear struktur beton dan hal-hal yang perlu diperhatikan dalam memodelkannya memakai program komputer tidak linear. Termasuk pemilihan rekaman getaran gempa, metode analisa tidak linear, model histeresis elemen atau material, model elemen dan model pertemuan balok-kolom.

DAFTAR PUSTAKA

1. Kalkan, E, dan Kunnath, S K (2006) Effects of fling step and forward directivity on seismic response of buildings. *Earthquake Spectra*, **22**, 367-390.
2. Stewart, J P, Chiou, S J, Bray, J D, Graves, R W, Somerville, P G, dan Abrahamson, N A (2002) Ground motion evaluation procedures for performance-based design. *Soil dynamics and earthquake engineering*, **22**(9), 765-772.
3. Katsanos, E I, Sextos, A G, dan Manolis, G D (2010) Selection of earthquake ground motion records: A state-of-the-art review from a structural engineering perspective. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, **30**(4), 157-169.
4. Hancock J J, Watson-Lamprey J, Abrahamson N A, Bommer J J, Markatis A, McCoy E, Mendis R (2006) An improved method of matching response spectra of recorded earthquake ground motion using wavelets. *Journal of Earthquake Engineering*, **10**(1), 67–89.
5. Vamvatsikos, D dan Cornell, C A (2002) Incremental dynamic analysis. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, **31**(3), 491-514.
6. Elnashai, A S, dan Di Sarno, L (2008) *Fundamentals of earthquake engineering.*

Chichester: John Wiley & Sons, Ltd.
7. Pinho, R (2007) Nonlinear dynamic analysis of structures subjected to seismic action. In *Advanced Earthquake Engineering Analysis*, A. Pecker (Editor). New York: Springer.
8. Fardis, M N (2009) Seismic design, assessment and retrofitting of concrete buildings. New York: Springer.

" Halaman ini sengaja dikosongkan "

ISBN 978-979-99327-8-5

LUMPUR SIDOARJO BAKAR, FLY ASH SEBAGAI SUBSTITUSI SEMEN DAN KAPUR ($Ca(OH)_2$) UNTUK CAMPURAN BETON RINGAN DENGAN MENGGUNAKAN BUBUK ALUMUNIUM SEBAGAI BAHAN PENGEMBANG

Boby Dean Pahlevi[1], Triwulan[2], Januarti Jaya Ekaputri[3]

[1]*Boby Dean Pahlevi, Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Kampus ITS Sukolilo Surabaya, Telp 083857291991, email: pahlevi.boby@yahoo.co.id*
[2]*Triwulan, Dosen Jurusan Teknik Sipil FTSP, ITS, Kampus ITS Sukolilo Surabaya, Telp 031-5946094, email: triwulan_marwan@yahoo.com*
[3]*Januarti Jaya Ekaputri, Dosen Jurusan Teknik Sipil FTSP, ITS, Kampus ITS Sukolilo Surabaya, Telp 031-5946094, email: januarti_je@yahoo.com*

ABSTRAK

Beton Ringan pada umumnya menggunakan pozzolan sebagai bahan pengikat pengganti semen. Pozzolan ini biasanya adalah bahan sisa atau limbah dari produksi material lain yang ternyata masih dapat dimanfaatkan. Salah satunya adalah dengan menggunakan Fly Ash sebagai pozzolan pengganti semen sebagai bahan pengikat.
Pada penelitian ini digunakan Fly Ash, Kapur $Ca(OH)_2$ dan Lumpur Sidoarjo Terkalsinasi sebagai pozzolan dalam membuat beton ringan. Ada 3 percobaan yang dilakukan. Percobaan pertama bertujuan mencari kadar optimum dari campuran Semen, Kapur, Lumpur Sidoarjo Terkalsinasi, dan Fly Ash. Percobaan kedua bertujuan mencari kadar bubuk Alumunium optimum untuk pembuatan pasta ringan. Yang ketiga bertujuan mencari kadar pasir optimum yang boleh ditambahkan ke dalam pasta ringan untuk pembuatan mortar. Dalam penelitian ini, beton ringan direncanakan sebagai pemikul struktur ringan dengan target berat jenis sekitar 800-1400 kg/m3 dan kuat tekan minimal 2 MPa.
Berdasarkan percobaan yang telah dilaksanakan didapat hasil pasta dasar, pasta ringan, dan mortar ringan memiliki kuat tekan maksimal yaitu 25,96 MPa, 2,81 MPa, dan 2,43 MPa. Sedangkan berat volume minimal dari pasta dasar, pasta ringan, dan mortar ringan adalah 1805 kg/m^3, 1013 kg/m3, dan 966 kg/m^3. Dari analisa tersebut dapat disimpulkan bahwa lumpur Sidoarjo Terkalsinasi, kapur $Ca(OH)_2$, dan fly ash dapat dimanfaatkan sebagai campuran beton ringan.

Kata kunci: Beton ringan, Fly ash, Alumunium, Lumpur Sidoarjo Terkalsinasi.

1. PENDAHULUAN

Beton adalah material konstruksi yang banyak digunakan, terdiri dari semen dan material lain seperti agregat, air, dan atau campuran kimia seperti superplastilizer, retarder, dan lain-lain. Beton juga memiliki banyak keuntungan,yaitu adalah material yang mudah dibuat, kuat terhadap gaya tekan, lebih tahan terhadap api atau panas daripada bahan lain serta tahan lama. Walaupun demikian semen dalam beton mendapat kritikan, karena dalam pembuatannya dibutuhkan pemanasan batu kapur hingga 1.400°C. Ini menyebabkan batu kapur mengeluarkan gas karbondioksida. Selain itu bahan baku semen merupakan jenis bebatuan yang tergolong sumber daya alam yang tidak terbarukan. Maka, eksplorasi yang terus menerus dan berlebihan akan mengganggu keseimbangan lingkungan. Oleh karena itu kita memerlukan bahan lain sebagai pengganti semen agar emisi gas CO_2 tidak semakin bertambah. Bahan lain ini

diharapkan adalah bahan hasil sampingan produksi yang tak terpakai (limbah) dan dibuang begitu saja. Pada penelitian ini digunakan Fly Ash dan Lumpur Sidoarjo sebagai pengganti semen.

Fly ash atau abu terbang merupakan hasil limbah pembakaran batubara. Dimana dihasilkan sekitar 5% polutan padat yang berupa abu (fly ash dan bottom ash), dan sekitar 10-20% adalah bottom ash dan sekitar 80-90% fly ash dari total abu yang dihasilkan. Abu ini jika dibiarkan terbang ke lingkungan akan berbahaya bagi lingkungan karena mengandung besi dan mudah terbawa angin [1].

Disisi lain, banjir Lumpur Panas Sidoarjo atau Lusi, adalah peristiwa menyemburnya lumpur panas di lokasi pengeboran Lapindo Brantas Inc di Dusun Balongnongo Desa Renokenongo, Kecamatan Porong, Kabupaten Sidoarjo, Jawa Timur, sejak tanggal 29 Mei 2006 hingga sekarang. Lumpur Sidoarjo sudah menjadi limbah yang tidak bisa dibuang juga tidak bisa dihentikan produksinya. Dari sini mulai diteliti bagaimana limbah ini dapat berguna. Hingga akhirnya ditemukan bahwa Lumpur Sidoarjo dapat dikembangkan sebagai bahan bangunan, butirannya sangat halus dan memiliki susut tinggi sehingga diperlukan bahan tambahan seperti fly ash atau pasir silika untuk meningkatkan kuat tekan dan stabilitasnya [2].

Material penyusun beton ringan pada dasarnya hampir sama dengan penyusun beton biasa, yaitu air, semen, dan agregat. Dan yang membedakannya adalah beton ringan tidak menggunakan agregat yang lebih besar dari pasir. Yang digunakan sebagai pengikat biasanya adalah kapur, semen, air serta fly ash. Dan ditambahkan Foam atau pasta Alumunium sebagai pengembang. Pasta Alumunium digunakan sebagai pengembang karena ketika dicampurkan dengan campuran untuk beton ringan, pasta Alumunium bereaksi dengan kalsium hidroksida ($Ca(OH)_2$) atau kapur non aktif dengan air dan membentuk hidrogen. Gas hidrogen mengembang dan melipatkan volume campuran untuk beton ringan tadi (menciptakan gelembung hingga diameter lebih dari ⅛ inci) hingga dua kali lipat. Dan juga mempercepat pengembangan adonan bahan [3].

2. METODOLOGI

2.1. Pembuatan Pasta dasar (silinder d=2cm, t=4cm)

Komposisi optimum pasta dasar didapatkan dengan membuat campuran sendiri dengan proporsi yang berbeda antara semen, Kapur, Lumpur Sidoarjo, dan *Fly Ash* hingga didapatkan hasil optimum. Jumlah air yang digunakan untuk setiap komposisi sesuai dengan hasil tes konsistensi normal pada setiap komposisi, dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1: Komposisi Pasta Dasar dan Hasil Tes Konsistensi Normal

Pasta (Px)	Semen (%berat binder)	Kapur (%berat binder)	Lumpur (%berat binder)	*Fly ash* (%berat binder)	Air (%berat binder)
P_5	10	5	42,5	42,5	32.70%
P_{15}	10	15	37,5	37,5	34.80%
P_{25}	10	25	32,5	32,5	37.40%
P_{35}	10	35	27,5	27,5	39.30%
P_{45}	10	45	22,5	22,5	41.30%

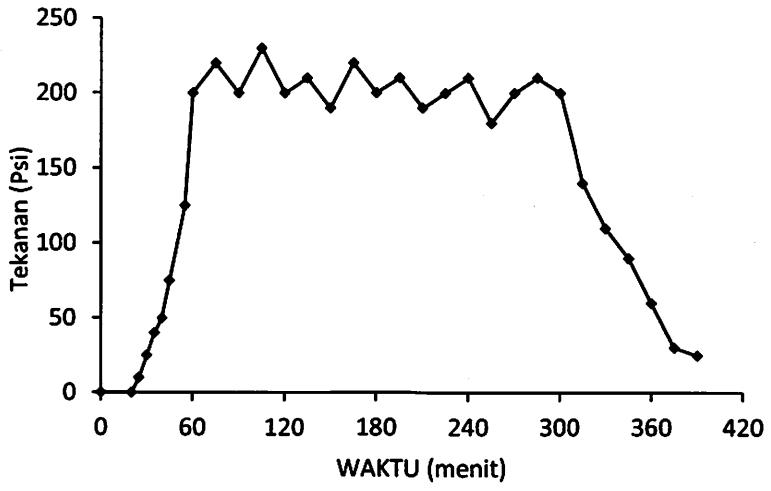
Berikut ini adalah analisa yang di lakukan pada pasta dasar setelah itu diambil 1 pasta optimum.

1. Tes Berat Volume, Tes ini dilakukan untuk mengetahui berat volume pasta pada 7, 14, 28, dan 56 hari.
2. Tes Kuat Tekan Hancur , Tes ini dilakukan untuk mengetahui kekuatan tekan hancur pasta pada 7, 14, 28, dan 56 hari.

2.2. Pembuatan Pasta Ringan (kubus 5cmx5cmx5cm)

Campuran pasta ringan digunakan dari komposisi pasta dasar optimum yang ditambahkan bahan pengembang bubuk Alumunium. Pasta Ringan ini setelah dicetak didiamkan terlebih dahulu selama 3 hari, lalu di Vacuum selama ±15 menit lalu di curing Autoclave selama 4 jam dengan tekanan ±15 bar dan suhu ±200°C. Grafik kenaikan tekanan autoclave dapat dilihat pada Gambar 1.

Jumlah air yang digunakan untuk campuran pasta ringan adalah 47% dari total berat binder. Dari 47% diambil 10% untuk mencampur bubuk Alumunium, dan sisanya untuk mencampur binder. Dengan penggunaan air sebanyak 47% diharapkan campuran pasta ringan dapat mengembang cukup baik tanpa menurunkan kuat tekan terlalu rendah. Komposisi Pasta ringan dapat dilihat pada Tabel 2.



Gambar 1: Grafik Kenaikan Tekanan Autoclave

Tabel 2: Komposisi Pasta Ringan dan Komposisi Air

Pasta Ringan Px-y	Semen (%berat binder)	Kapur (%berat binder)	Flyash (%berat binder)	Lumpur (%berat binder)	Alumunium (%berat semen)	Air (%berat binder)
$P_{25\text{-}0.25}$	10	25	32,5	32,5	0,25	47
$P_{25\text{-}0.5}$	10	25	32,5	32,5	0,5	47
$P_{25\text{-}0.75}$	10	25	32,5	32,5	0,75	47

Berikut ini adalah analisa yang di lakukan pada pasta ringan setelah itu diambil 1 pasta ringan optimum.

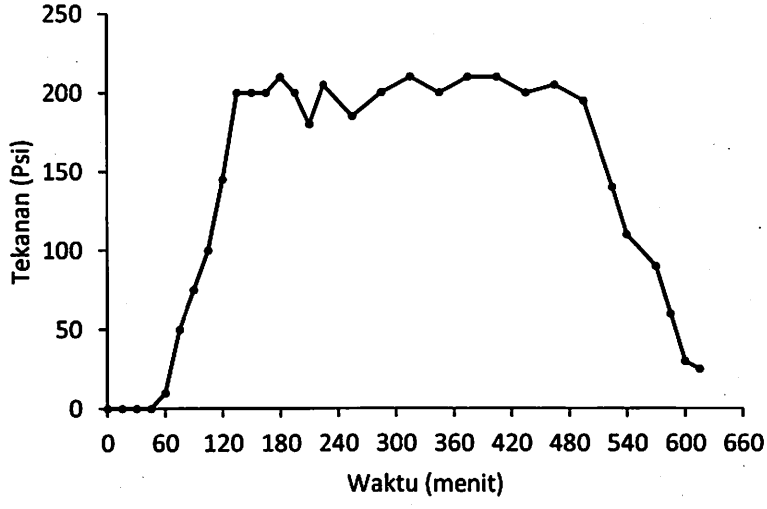
1. Tes Berat Volume, Tes ini dilakukan untuk mengetahui berat volume pasta ringan pada 14 dan 28 hari.

2. Tes Kuat Tekan Hancur , Tes ini dilakukan untuk mengetahui kekuatan tekan hancur pasta ringan pada 14 dan 28 hari.
3. Uji Porositas Pasta, Tes porositas pasta bertujuan untuk mengetahui besarnya pori terbuka dan pori tertutup yang ada di dalam benda uji tersebut.

2.3. Pembuatan Mortar Ringan (kubus 5cmx5cmx5cm)

Mortar ringan merupakan mortar yang terdiri dari komposisi campuran pasta ringan optimum ditambah dengan pasir. Mortar ringan ini setelah dicetak didiamkan terlebih dahulu selama 3 hari, lalu di Vacuum selama ±15 menit lalu di curing Autoclave selama 6 jam dengan tekanan ±15 bar dan suhu ±200°C. Grafik kenaikan tekanan autoclave dapat dilihat pada Gambar 2.

Jumlah air total yang ditambahkan dalam pembuatan mortar ringan ini adalah 50% dari total berat komposisi pasta ringan yang dipakai. Diharapkan dengan penambahan air 50% dapat menghasilkan mortar ringan yang dapat mengembang dengan baik tanpa mengurangi kuat tekan terlalu rendah. Komposisi Mortar ringan dapat dilihat pada Tabel 3.



Gambar 2: Grafik Kenaikan Tekanan Autoclave

Tabel 3: Komposisi Mortar Ringan

Mortar Ringan Mx-y-z	Semen (%berat binder)	Kapur (%berat binder)	Flyash (%berat binder)	Lumpur (%berat binder)	Alumunium (%berat semen)	Pasir (%berat binder)	Air (%berat binder)
$M_{25\text{-}0.5\text{-}0.25}$	10	25	32,5	32,5	0,5	0,25	50
$M_{25\text{-}0.5\text{-}0.5}$	10	25	32,5	32,5	0,5	0,5	50
$M_{25\text{-}0.5\text{-}0.75}$	10	25	32,5	32,5	0,5	0,75	50

Berikut ini adalah analisa yang di lakukan pada mortar ringan setelah itu diambil 1 mortar ringan optimum.

1. Tes Berat Volume, Tes ini dilakukan untuk mengetahui berat volume mortar ringan pada 7 hari.

2. Tes Kuat Tekan Hancur , Tes ini dilakukan untuk mengetahui kekuatan tekan hancur mortar ringan pada 7 hari.
3. Uji Porositas Pasta, Tes porositas pasta bertujuan untuk mengetahui besarnya pori terbuka dan pori tertutup yang ada di dalam benda uji tersebut.

3. HASIL DAN DISKUSI

3.1. Analisa Lumpur Sidoarjo Bakar

Berat jenis lumpur Sidoarjo bakar sebesar 2,7 gram/cm^3. Analisa XRF dilakukan pada sampel lumpur Sidoarjo yang telah dikalsinasi. Hasil analisa XRF dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3: Komposisi Kimia Lumpur Bakar

Oksida	CaO	SiO_2	Fe_2O_3	Al_2O_3	MnO	K_2O	SO_3	LOI
Jumlah (%)	7,14	32	42,22	5,8	0,67	4,51	2,6	5,06

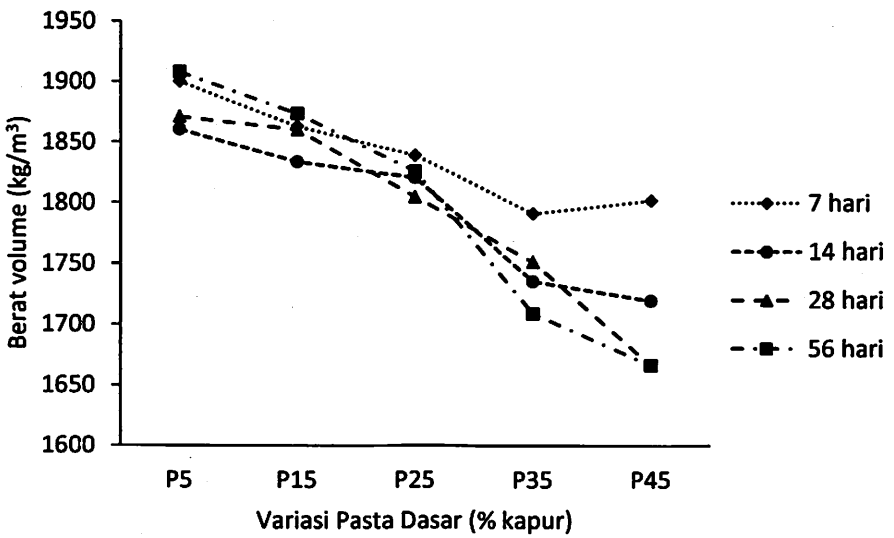
Sumber: Wahyu Candra Prasetya, 2012

Dari analisa di atas, komposisi kimia lumpur Sidoarjo bakar yang dominan adalah Fe_2O_3 dan SiO_2

3.2. Data dan Analisa Pasta Dasar

Hasil Uji Tes Berat Volume

Hasil uji berat volume untuk pasta dasar umur 7, 14, 28, dan 56 hari dapat dilihat pada Gambar 4.

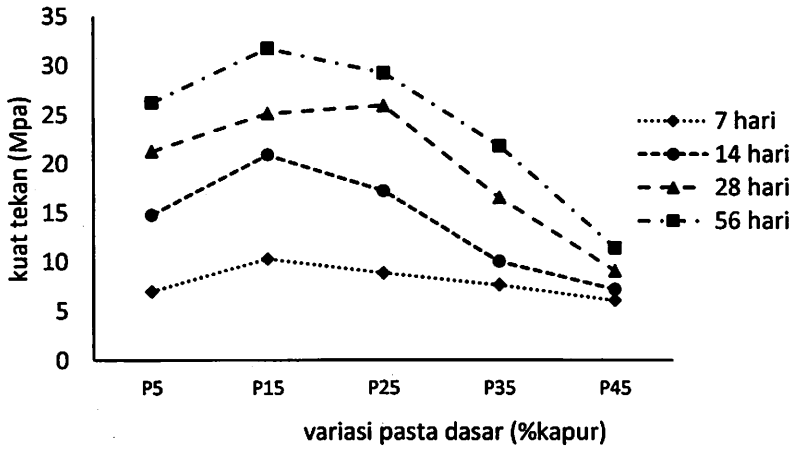


Gambar 4: Hubungan Pertambahan Kapur dengan Berat Volume pada Umur Bervariasi

Dari Gambar 4 dapat diperhatikan bahwa semakin banyak kapur dalam komposisi yang digunakan maka berat volume yang didapatkan akan semakin kecil. Hal ini disebabkan berat jenis kapur yang lebih rendah daripada Lumpur dan Fly Ash. Sesuai dengan

penelitian sebelumnya bahwa semakin banyak kapur yang ditambahkan maka semakin ringan pula benda uji yang dihasilkan [4].

Hasil Uji Tes Kuat Tekan
Setelah dilakukan pengetesan kuat tekan hancur Pasta Dasar Px, diambil 1 campuran teroptimum yaitu P_{25} untuk digunakan sebagai campuran pasta ringan dengan tambahan bubuk Alumunium. Gambar 5 adalah hasil dari tes tekan pasta dasar.

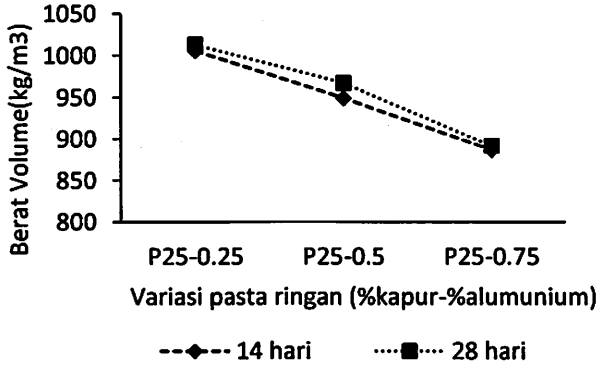


Gambar 5: Hubungan Pertambahan Kapur dengan Kuat Tekan pada Umur Bervariasi

Dari Gambar 5 dapat diputuskan bahwa dengan komposisi kapur yang banyak maka kuat tekan yang didapatkan akan semakin kecil. Namun dengan komposisi kapur tertentu dapat dihasilkan kuat tekan yang tinggi juga. Sesuai dengan penelitian sebelumnya bahwa semakin banyak kapur yang digunakan maka kuat tekannya semakin turun dan semakin lama usia dari pasta dasar maka semakin besar juga kuat tekannya [4].

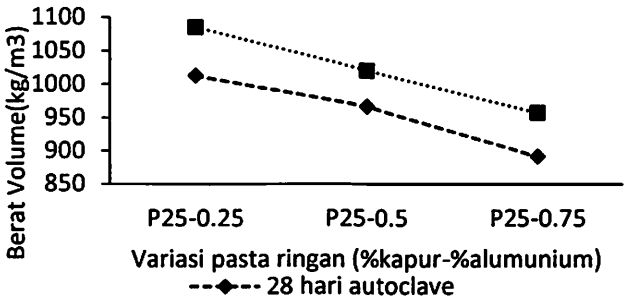
3.3. Data dan Analisa Pasta Ringan dari P_{25}

Hasil Uji Tes Berat Volume
Hasil berat volume pasta ringan yang dapat dilihat pada Gambar 6. Perbandingan antara berat volume pasta ringan dengan dan tanpa autoclave dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 6: Hubungan antara Jumlah Alumunium dengan Berat Volume

Dari Gambar 6 dapat dijelaskan bahwa semakin banyak bubuk Alumunium yang digunakan maka akan semakin ringan berat volume yang didapatkan. Sesuai dengan pelitian sebelumnya bahwa semakin banyak bubuk Alumunium dalam pasta ringan maka akan mengurangi berat volume pasta ringan [5].

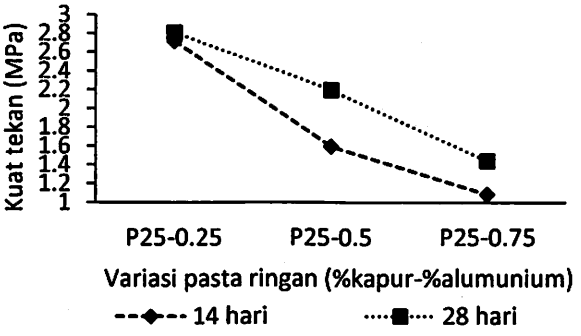


Gambar 7: Hubungan Berat volume dengan dan tanpa autoclaave

Dari Gambar 7 dapat dijelaskan bahwa dengan penggunaan autoclave bisa didapatkan berat volume yang lebih rendah daripada tanpa penggunaan autoclave.

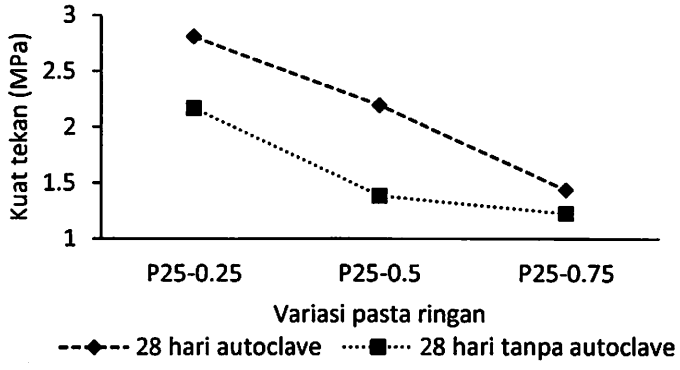
Hasil Uji Tes Kuat Tekan

Setelah dilakukan pengetesan kuat tekan hancur pasta ringan, diambil 1 campuran pasta ringan dengan berat volume paling ringan dengan kuat tekan lebih dari 2 MPa untuk digunakan sebagai campuran mortar ringan dengan tambahan pasir. Hasil uji kuat tekan hancur pasta ringan dapat dilihat pada Gambar 8. Perbandingan kuat tekan pasta ringan dengan dan tanpa autoclave dapat dilihat pada Gambar 9



Gambar 8: Hubungan antara Jumlah Alumunium dengan Kuat Tekan

Dari Gambar 8 dapat diambil keputusan bahwa semakin banyak bubuk Alumunium yang digunakan maka kuat tekan yang didapat akan semakin rendah. Sesuai dengan penelitian sebelumnya bahwa bubuk Alumunium dalam pasta maka akan mengurangi kuat tekan pasta ringan [5].



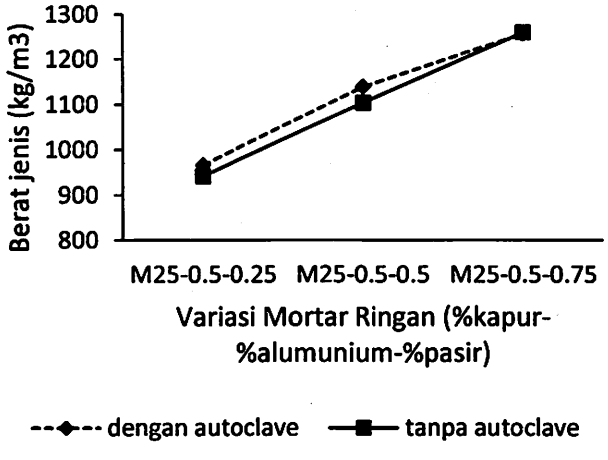
Gambar 9: Hubungan Kuat tekan dengan dan tanpa autoclave

Dari Gambar 9 dapat dijelaskan bahwa dengan menggunakan autoclave kuat tekan yang didapat lebih besar daripada tanpa autoclave.

3.4. Data dan Analisa Mortar Ringan

Hasil Uji Tes Berat Volume

Berikut ini adalah berat volume mortar ringan pada umur 7 hari dapat dilihat pada Gambar 10.

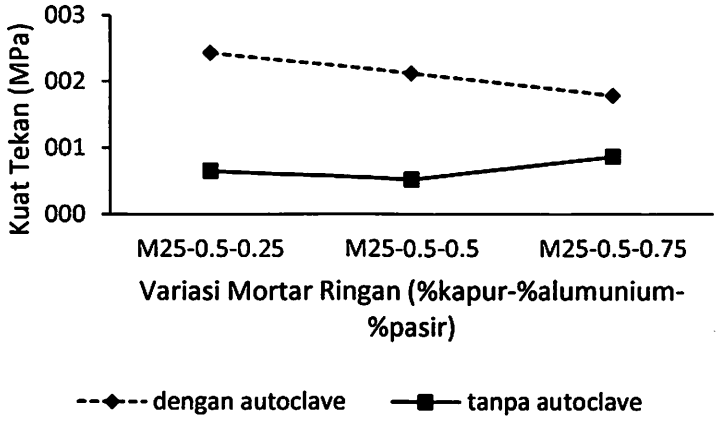


Gambar 10: Grafik Berat Volume Mortar Ringan

Dari Gambar 10 dapat dijelaskan bahwa semakin banyak pasir yang digunakan maka akan semakin besar berat volume yang didapatkan. Hal ini disebekan karena berat jenis pasir yang lebih besar daripada kapur, lumpur, maupun Fly Ash. Sesuai dengan penelitian sebelumnya bahwa semakin banyak pasir yang ditambahkan maka akan semakin besar berat volume mortar [6].

Hasil Uji Tes Kuat Tekan

Hasil uji kuat tekan hancur mortar ringan pada umur 7 hari dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11: Grafik Kuat Tekan Mortar Ringan

Dari Gambar 11 dapat dijelaskan bahwa semakin banyak pasir yang ditambahkan maka semakin kecil pula kuat tekan yang didapat. Hal ini disebabkan karena semakin banyak jumlah pasir yang digunakan dengan jumlah pengikat yang sama, maka pengikat atau binder ini tidak bisa mengikat semua pasir yang digunakan. Sesuai dengan penelitian sebelumnya bahwa semakin banyak pasir yang ditambahkan maka akan semakin mengurangi kuat tekan mortar. [6]

3.5. Kesesuaian Mortar Ringan Mx-y-z dengan ASTM C 1452 tentang beton ringan dengan perawatan autoclave

Menurut ASTM C1452 [7], Beton ringan atau Aerated Autoclaved Concrete dibagi menjadi beberapa klasifikasi. Berikut ini adalah syarat fisik beton ringan berdasarkan ASTM C1452 dapat dilihat pada tabel 4.

Tabel 4: Syarat-syarat Fisik Beton Ringan Menurut ASTM C1452

Kelas	Kuat Tekan (Mpa)	Berat Volume (kg/m^3)
AAC-2	2	350-450
AAC-4	4	450-550
AAC-6	6	550-650

Ditinjau dari persyaratan ASTM C1452 pada Tabel 4 tentang beton ringan dengan perawatan *Autoclave* (AAC), Kuat tekan Mortar ringan $M_{25\text{-}0.5\text{-}0.25}$ dan $M_{25\text{-}0.5\text{-}0.5}$ sudah masuk dalam kategori AAC-2 tetapi untuk persyaratan dalam berat volume, mortar ringan dengan lumpur Sidoarjo bakar ini semuanya masih memiliki berat volume diatas 600 kg/m^3

4. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1. Kesimpulan

1. Lumpur Sidoarjo dan *Fly Ash* dapat digunakan sebagai substitusi semen dalam pembuatan beton ringan walaupun dari peraturan ASTM beratnya masih melebihi.

2. Untuk pasta dasar didapatkan hasil kuat tekan optimum pada komposisi pasta P_{25} dengan kuat tekan yaitu 25,96 MPa.
3. Untuk pasta ringan didapatkan hasil kuat tekan optimum pada komposisi pasta $P_{25\text{-}0.25}$ dengan kuat tekan yaitu 2,81 MPa.
4. Untuk mortar ringan didapat hasil optimum pada komposisi mortar ringan $M_{25\text{-}0,5\text{-}0.25}$ dengan kuat tekan yaitu 2,43 MPa.
5. Untuk sampel pada pasta ringan dan mortar ringan telah memenuhi syarat sebagai beton ringan, yaitu memiliki berat jenis lebih rendah dari 1800 kg/m^3. Berat volume dari $P_{25\text{-}0,25}$, dan $M_{25\text{-}0,5\text{-}0.25}$ berturut-turut adalah 1013 kg/m^3 dan 966 kg/m^3.
6. Sistem *autoclave* yang digunakan sangat cocok dalam penelitian ini karena akan membuat rongga udara didalam benda uji menjadi lebih stabil sehingga bisa meningkatkan kuat tekan dan mengurangi berat volume benda uji.
7. Dari persyaratan ASTM C1452 tentang beton ringan dengan perawatan autoclave, beton ringan yang menggunakan lumpur Sidoarjo kuat tekannya sudah memenuhi standart dan masuk ke kelas AAC-2.

4.2. Saran

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan dapat diambil beberapa saran untuk penelitian selanjutnya, antara lain :

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut pada komposisi optimum antara bubuk Alumunium dengan air pada pembuatan pasta ringan dan mortar ringan sehingga dapat menghasilkan berat volume yang lebih kecil.karena pada penelitian ini hanya satu variasi saja yang dibawah berat volume air.
2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut pada optimasi suhu dan tekanan dalam penggunaan autoclave agar didapatkan kuat tekan yang lebih tinggi dan berat yang lebih rendah.

DAFTAR PUSTAKA

1. Prabandiyani, Sri (2008) *Pemanfaatan Limbah Batubara (Fly Ash) Untuk Stabilisasi Tanah Maupun Keperluan Teknik Sipil Lainnya Dalam Mengurangi Pencemaran Lingkungan*. Undip Semarang
2. Lasino (2007) *Penelitian Pemanfaatan Lumpur Sidoarjo untuk Agregat Buatan*. Jurnal Permukiman
3. Aroni, S. Dan Wittman, F.H. (1992) *Autoclaved Aerated Concrete, Properties, Testing and Design*, RILEM Technical Committes 78-MCA and 51-ALC
4. Triwulan, Januarti Jaya Ekaputri, Pujo Aji dan Wahyu Candra Prasetya (2012) *Pemanfaatan Lumpur Sidoarjo Bakar Untuk Beton Ringan dengan Tambahan Alumunium Powder*. Teknik Sipil ITS
5. Aji, Pujo, Triwulan, Windrayana Arya Saputra (2012). *Pemanfaatan Lumpur Bakar Sidoarjo Sebagai Bahan Campuran Pembuatan Beton Ringan Dengan Tambahan Limbah Gypsum, Aluminium Powder,dan ($Ca(OH)_2$*. Teknik Sipil ITS
6. Aji, Pujo, Triwulan, Kiki Dwi Wulandari (2012) *Pemanfaatan Lumpur Kering Oven Sidoarjo sebagai Bahan Campuran pada Pembuatan Beton Ringan dengan Menggunakan Tambahan Bubuk Aluminium.* Teknik Sipil ITS
7. ASTM C 1452-00 (2006) *Specification for Reinforced Autoclaved Aerated Concrete Elements*. ASTM

PERILAKU LUMPUR SIDOARJO (LUSI) SEBAGAI AGREGAT RINGAN BUATAN UNTUK BAHAN DASAR BETON RINGAN (AAC)

Rizqi A Perdanawati[1], Farid R S Nasir[2], Januarti J Ekaputri[3], Triwulan[4]

[1]Mahasiswa Program Pascasarjana Teknik Struktur FTSP ITS, email: abdirizqi@yahoo.com
[2]Mahasiswa Program Sarjana Teknik Sipil FTSP ITS, email: fadhliirobbii@gmail.com
[3]Dosen Jurusan Teknik Sipil FTSP, ITS, Kampus ITS Sukolilo Surabaya, Telp 031-5946094, email: januarti@ce.its.ac.id
[4]Dosen Jurusan Teknik Sipil FTSP, ITS, Kampus ITS Sukolilo Surabaya, Telp 031-5946710, email: triwulan@ce.its.ac.id

ABSTRAK

Pembuatan beton ringan dilakukan dengan berbagai metode salah satunya adalah dengan perawatan autoclave (Autoclave Aerated Concrete / AAC). Bahan dasar beton AAC yang sering digunakan adalah fly ash. Perkembangan selanjutnya digunakan lumpur sidoarjo (lusi) sebagai bahan dasar beton AAC.

Pada penelitian ini dibuat pasta ringan dengan komposisi OPC (Original Portland Cement), kapur ($Ca(OH)_2$), lusi bakar , dan air dengan pengembang *alumunium powder*. Pasta tersebut kemudian ditambahkan pasir untuk dijadikan mortar ringan. Pengembangan selanjutnya, mortar dibuat menggunakan agregat ringan buatan sebagai pengganti pasir. Agregat ringan dibuat dari lumpur sidoarjo yang dibakar pada suhu 800°C selama 2 jam. Setelah dibakar selanjutnya dihancurkan sebesar ukuran agregat halus. Uji berat jenis didapatkan hasil 1,538 gram/cm^3 dan masih memenuhi syarat agregat halus tetapi besar penyerapan tidak memenuhi karena didapatkan hasil 16%.

Pasta ringan menghasilkan kuat tekan sebesar 2,37 MPa dan berat volume 817 kg/m^3 pada benda uji ($P_{10\text{-}1(14\text{-}6)}$). Sedangkan jika pasta ditambahkan pasir dengan perbandingan pasta ringan : pasir adalah 1 : 0,5 , kuat tekan yang dihasilkan sebesar 1,84 Mpa dan berat volume 1052 kg/m^3. Dari penelitian tentang pasta ringan dan agregat ringan buatan tersebut jika keduanya dicampur dengan komposisi tertentu akan berpotensi baik dijadikan mortar ringan.

Kata kunci: Lusi, *fly ash*, agregat buatan, *alumunium powder*

1. PENDAHULUAN

Teknologi pembuatan beton ringan berkembang dengan berbagai metode, salah satunya adalah *Autoclaved Aerated Concrete* (AAC). Salah satu karakter utama dari AAC adalah memiliki kerapatan tidak lebih dari 1000 kg/m^3 (Aroni et al 1993). Karena memiliki kerapatan yang jauh lebih kecil dari beton normal, beton ringan banyak dikembangkan untuk struktur agar mendapatkan berat sendiri yang jauh lebih ringan juga.

AAC yang sudah pernah dibuat menggunakan agregat ringan buatan atau *artificial lightweight aggregate* (ALWA) dengan bahan dasar lempung bekah (*explanded clay*). Untuk menjadi agregat ringan lempung harus diberi bahan tambahan batu obsidian dengan komposisi tertentu lalu dibakar sampai kondisi sintering 1150°C (Husin dan Sugiharto 2008). Pada penelitian ini, AAC dibuat menggunakan bahan dasar lumpur sidoarjo (lusi). Pemanfaatan lusi agar stabil harus dibakar dan diberi bahan tambahan berupa fly ash atau pasir silica untuk menjadi agregat ringan buatan (Lasino 2007).

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui perilaku fisik lumpur Sidoarjo yang digunakan sebagai agregat ringan buatan pada AAC (*Autoclave Aerated Concrete*). AAC direncanakan menggunakan dengan pasta ringan berbahan dasar lusi dengan menambahkan OPC, kapur dengan pengembang *alumunium powder*. Informasi mengenai perilaku dari lumpur Sidoarjo sangat berguna bagi masyarakat luas yang akan menggunakan beton ringan berbahan dasar lumpur Sidoarjo. Selanjutnya, akan dikembangkan lumpur bakar sebagai agregat ringan buatan pengganti pasir pada mortar ringan. Lumpur dibakar pada suhu 800°C selama 120 menit.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 AAC (*Autoclaved Aerated Concrete*)

Menurut ASTM C1693-11, AAC adalah produk yang memiliki komposisi seperti semen yang terbentuk dari hidrasi kalsium dan silica dengan bobot rendah, yang tercapai karena adanya *agent* yang menghasilkan pori dengan perawatan menggunakan mesin kukus bertekanan tinggi.

Menurut Aroni et al (1993) AAC adalah material berpori yang ringan, terbentuk dari reaksi kimia antara *calcareous* (kapur / semen) dan *siliceous* material (pasir natural / PFA (*pulverized fuel ash*). Pori pada struktur AAC dihasilkan dari beberapa metode seperti reaksi kimia yang membentuk pori, menambahkan foam kedalam campuran mortar, atau mekanisme pembentukan lainnya.

Baik menurut ASTM C1693-11 maupun Aroni et al (1993), AAC memiliki kerapatan kurang dari 1000 kg/m^3 jauh dibawah kerapatan beton normal.

2.2 ALWA (*Artificial lightweight Agregate*)

Menurut SNI 03-2847-2002, agregat ringan (*lightweight Agregate)* adalah agregat yang dalam keadaan kering dan gembur memiliki berat isi sebesar 1100 kg/m^3 atau kurang. Sedangkan *Artificial Lightweight Aggregate* atau yang biasa disebut agregat ringan buatan merupakan pengolahan bahan baku menjadi bahan butiran dengan ukuran tertentu, ringan, keras, dan dapat digunakan sebagai agregat pembuatan beton (Lasino 2007).

Agregat ringan buatan yang telah dikembangkan salah satunya dibuat dari lempung bekah (*explanded clay*). Menurut Arioz et al (2008) agar lempung dapat digunakan sebagai agregat (*lightweight expanded clay aggregate/LECA*) harus melalui proses pembakaran dengan suhu antara 1000°C -1200°C dengan kapur sebagai bahan penstabil. Agregat yang dihasilkan berupa butiran dengan diameter antara 3-8 mm.

2.3 Material Lumpur Sidoarjo dan Pemanfaatannya

Lumpur Sidoarjo merupakan material berbentuk butiran halus, berwarna abu-abu kehitaman, sangat plastis, dan memiliki nilai susut kering yang tinggi (Lasino 2007). Menurut Prasetya, Triwulan, dan Ekaputri (2012) kandungan mineral dominan yang terkandung pada lusi bakar yang didapat dari tes XRD antara lain quartz (SiO_2), Anorthite ordered ($CaAl_2Si_2O_8$), dan Hematite (Fe_2O_3).

Beberapa penelitian pemanfaatan lumpur sidoarjo yang dapat dijadikan acuan pada penelitian ini antara lain :

1. Lasino (2007) menyatakan lumpur Sidoarjo dapat digunakan sebagai agregat ringan buatan. Butiran Lumpur Sidoarjo sangat halus dan memiliki sifat susut yang tinggi maka ditambahkan limbah batu bara/flyash untuk meningkatkan kuat tekan dan kestabilan. Suhu pembakaran optimum pada 1000 ^{0}C dalam waktu 5-10 menit.
2. Sid'qon dan Triwulan (2010) menggunakan lusi sebagai perkerasan jalan (*paving block*) tetapi belum ringan.
3. Prasetya, Triwulan, dan Ekaputri (2012) melakukan penelitian lanjut tentang penggunaan lusi bakar sebagai beton ringan, tetapi beton yang terbentuk belum kedap terhadap penyerapan air.

3. METODOLOGI PENELITIAN

Langkah-langkah pengerjaan disajikan dengan diagram alir seperti pada gambar 1 dan gambar 2 dibawah ini.

a. Pembuatan Pasta Ringan Px-y

Material yang perlu disiapkan pada pembuatan pasta ringan ini antara lain: 1) OPC, 2) Lumpur Sidoarjo bakar, 3) Kapur Non Aktif ($Ca(OH)_2$), 4) Bubuk Alumunium (*Al. powder*).

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah dengan cara coba-coba komposisi. Tujuanya adalah untuk mencari campuran yang paling baik antara pasta dasar Px dengan tambahan *alumunium powder.* Komposisi yang digunakan disajikan pada tabel 1.

Tabel 1. Komposisi campuran pasta ringan Px-y

Pasta Ringan (Px-y)	Komposisi Material (% terhadap binder)				
	OPC	$Ca(OH)_2$	Lusi Bakar	*Al. Powder*	Air
(Px-1)	10	20	70	1	60
(Px-1)	10	15	75	1	60
(Px-1)	10	10	80	1	60

Keterangan :
(%) * = Prosentase dari berat total binder ; Variabel x = Prosentase kapur non aktif terhadap berat binder. Variabel y = Prosentase *alumunium powder* terhadap berat semen.
Misal : P_{10-1} = Pasta dengan campuran 10% kapur non aktif dan ditambah 1% *a.l powder.*

b. Perawatan Pasta Ringan Px-y Menggunakan Autoclave

Tekanan yang diberikan pada pasta ringan adalah 5, 9, dan 14 Bar sedangkan lama proses perawatan mulai dari 2, 3, 4, 6, 8, dan 10 jam. Selanjutnya dicatat hasil yang paling baik sebagai patokan untuk perawatan mortar ringan pada proses selanjutnya.

c. Pembuatan Mortar Ringan Mx-y-z

Mix design yang digunakan tetap menggunakan metode konvensional dengan mencampur adonan pasta ringan Px-y dengan pasir lumajang sebagai agregat halus. Komposisi yang dicoba disajikan pada tabel 2.

Tabel 2. Komposisi campuran mortar ringan Mx-y-z

Mortar Ringan (Mx-y-z)	Komposisi Material (% terhadap binder)					
	OPC	$Ca(OH)_2$	Lusi Bakar	Al. Powder	Pasir (*)	Air

(Mx-y-0.25)	10	x	100-10-x	1	0.25	60
(Mx-y-0.5)	10	x	100-10-x	1	0.5	60
(Mx-y-0.75)	10	x	100-10-x	1	0.75	60
(Mx-y-1)	10	x	100-10-x	1	1	60

Keterangan :
* = dari berat binder+filler; Variabel x = Prosentase kapur non aktif terhadap berat binder.;
Variabel y = Prosentase *alumunium powder* terhadap berat semen.; Variabel z = Jumlah total pasir dari berat binder. Misalnya : $M_{10\text{-}1\text{-}0.5}$ = Mortar ringan dengan campuran 10% kapur non aktif ditambah 1% *alumunium powder* dan perbandingan binder dan pasir 1:0.5.

d. Perawatan Mortar Ringan Mx-y-z Menggunakan AutoclAve

Tekanan (p) dan lama waktu perawatan (t) yang menghasilkan kuat tekan paling optimum dari pasta ringan digunakan untuk proses perawatan mortar ringan.

e. Pembuatan agregat ringan buatan (Alwa)

Pembuatan agregat ringan buatan / *Artificial lightweight aggregate (Alwa)* diawali dengan mengayak butiran lumpur sidoarjo (lusi) oven lolos ayakan no. 50. Lusi lolos ayakan no. 50 tersebut kemudian dicampur dengan air dengan takaran tertentu sampai tercampur rata. Selanjutnya masukkan adonan lusi kedalam cetakan dan didiamkan sampai agak kering (±1-2 minggu) lalu dioven. Keluarkan benda uji dari cetakan untuk dibakar pada pada suhu 800°C selama 2 jam lalu dinginkan selama 24 jam. Hancurkan benda uji tersebut dengan menumbuknya kemudian ayak sampai lolos ayakan no.20 dan tertahan ayakan no.100.

f. Pengetesan Benda Uji

1) Tes Kuat Tekan Hancur (ASTM C39).
2) Tes Berat Volume Pasta Ringan Px-y dan Mortar Ringan Mx-y-z (ASTM C-29/C29M-91)
3) Tes berat jenis agregat buatan, TGA-DSC, XRD.

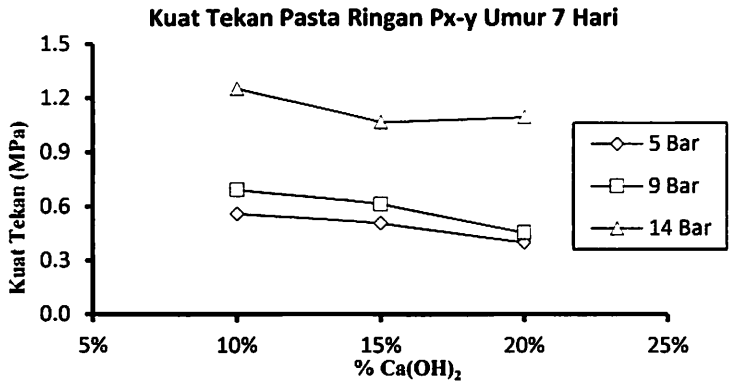
g. Kesimpulan

Data yang telah didapatkan digunakan untuk menarik kesimpulan. Kesimpulan ini meliputi kelayakan pemanfaatan lumpur sidoarjo sebagai AAC maupun agregat ringan buatan.

4. HASIL PENELITIAN

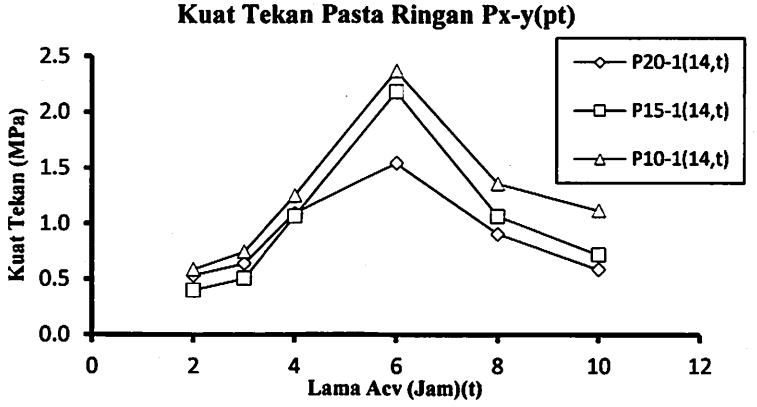
a. Kuat Tekan Pasta Ringan Px-y

Tes kuat tekan hancur pasta ringan dengan *curing Autoclave (Px-y(pt))* mendapatkan hasil seperti tertera pada grafik Gambar 1.



Gambar 1. Grafik hubungan kuat tekan pasta ringan Px-y dengan variasi tekanan selama 4 jam

Dari gambar 1 dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi tekanan *autoclave*, kuat tekan yang dihasilkan juga lebih tinggi ($P_{10\text{-}1}$, tekanan 14 Bar, 4 jam sebesar 1.3 Mpa). Selain itu penambahan kapur non aktif ($Ca(OH)_2$) yang lebih banyak menyebabkan menurunnya kuat tekan.
Selanjutnya dicoba variasi lama penekanan dengan autoclave bertekanan 14 Bar. Hasilnya tersaji pada gambar 2.



Gambar 2. Grafik Peningkatan Kuat Tekan Pasta Ringan Akibat Lama Waktu Perawatan

Dari gambar 2 dapat disimpulkan bahwa kuat tekan tertinggi pasta ringan adalah saat perawatan autoclave bertekanan 14 bar selama 6 jam ($P_{10\text{-}1(14,6)}$) yaitu sebesar 2.4 Mpa. Setelah melewati lama perawatan 6 jam, ternyata kuat tekan mengalami penurunan yaitu saat 8 dan 10 jam.

b. Tes Berat Volume Pasta Ringan Px-y

Tes berat volume pasta ringan Px-y(p,t) dapat dilihat hasilnya pada Tabel 3.

Tabel 3. Berat volume pasta ringan Px-y

Kode Px-y(p,t)	Umur (hari)	Rata-rata Berat Volume (kg/m^3)	Kode Px-y(p,t)	Umur (hari)	Rata-rata Berat Volume (kg/m^3)
P20-1(14,2)	7	719	P20-1(9,4)	7	775
P15-1(14,2)	7	712	P15-1(9,4)	7	819
P10-1(14,2)	7	621	P10-1(9,4)	7	766

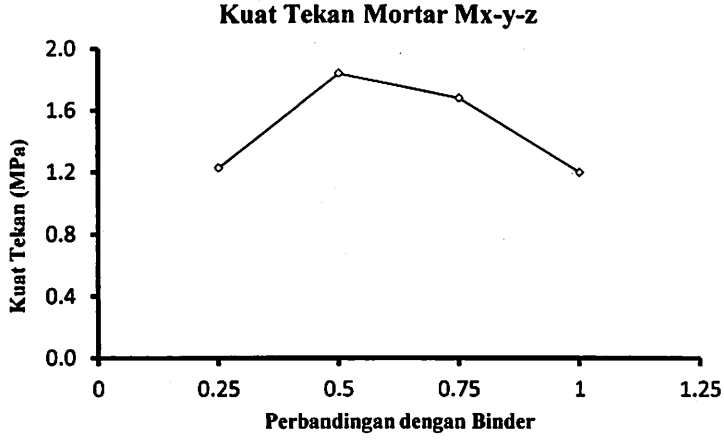
ISBN 978-979-99327-8-5

P20-1(14,3)	7	772	P20-1	14	663
P15-1(14,3)	7	735	P15-1	14	687
P10-1(14,3)	7	654	P10-1	14	718
P20-1(14,4)	7	740	P20-1	28	715
P15-1(14,4)	7	702	P15-1	28	726
P10-1(14,4)	7	776	P10-1	28	753
P20-1(5,4)	7	749	P20-1	56	674
P15-1(5,4)	7	773	P15-1	56	706
P10-1(5,4)	7	794	P10-1	56	718

Berat volume pasta ringan Px-y sebagian besar dibawah 800 kg/m^3 yang merupakan batas maksimal berat jenis beton yang direncanakan. Pasta yang dirawat dengan autoclave memiliki berat volume dibawah 1000 kg/m^3 sesuai dengan persyaratan beton AAC.

c. Kuat Tekan Mortar Ringan dengan Pasir Mx-y-z

Tes kuat tekan hancur mortar ringan mendapatkan hasil seperti tertera pada grafik Gambar 3.

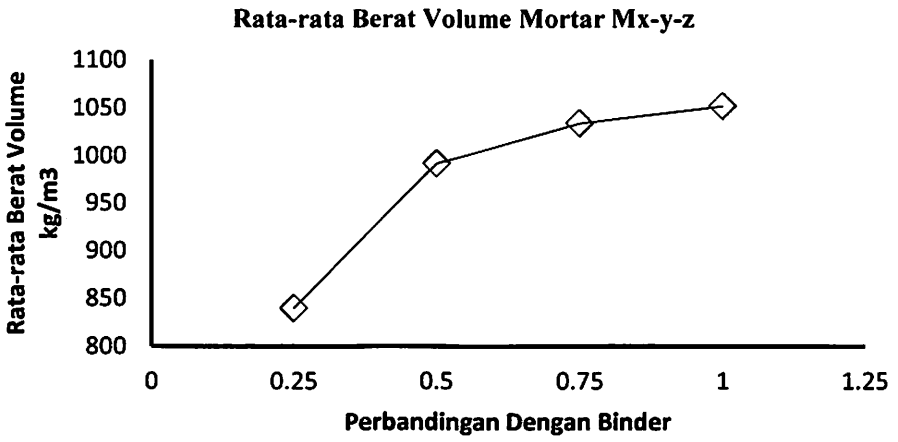


Gambar 3. Grafik kuat tekan mortar ringan Mx-y-z terhadap prosentase penambahan pasir

Dari Gambar 3 dapat disimpulkan bahwa semakin besar penambahan pasir (z) pada adonan pasta ringan Px-y untuk membuat mortar ringan Mx-y-z mengakibatkan penurunan kuat tekan pada mortar. Dari grafik tersebut dapat dilihat komposisi mortar ringan $M_{10\text{-}1\text{-}0.5}$ dengan perbandingan pasta ringan (Px-y) dengan pasir (z) sebesar 1:0.5 memiliki kuat tekan tertinggi yaitu sebesar 1.8 MPa.

d. Tes Berat Volume

Tes berat volume mortar ringan Mx-y-z dilakukan terhadap benda uji pada umur 7 hari.



Gambar 4. Grafik rata-rata berat volume mortar ringan Mx-y-z terhadap prosentase penambahan pasir

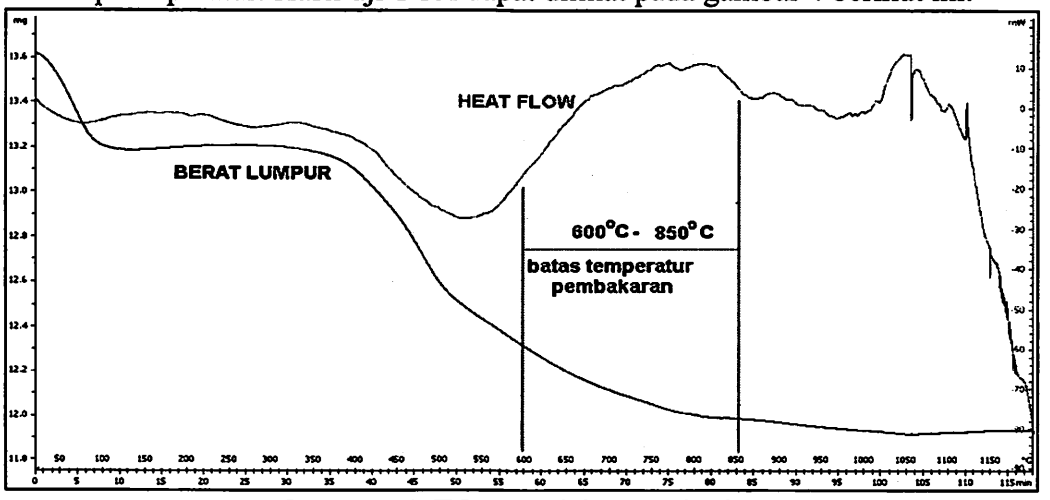
Mortar ringan $M_{10\text{-}1\text{-}1}$ memiliki berat volume yang paling tinggi yaitu 1052 kg/m^3 sedangkan mortar ringan $M_{10\text{-}1\text{-}0.25}$ memiliki berat volume yang paling rendah sebesar 840 kg/m^3. Semakin banyak penambahan pasir maka semakin berat mortar ringan yang dihasilkan. Berat volume yang berada di kisaran 1000 kg/m^3 masih dapat digolongkan sebagai beton ringan.

e. Hasil Pengujian Agregat Buatan

Pengujian yang dilakukan terhadap agregat buatan dengan komposisi 100% lumpur ini adalah uji TGA/DSC, XRD, dan berat jenis.

1) Thermogravimetry analysis (TGA) - DSC

   Pengujian ini digunakan untuk mengukur perubahan massa lumpur kering terhadap temperatur. Hasil uji TGA dapat dilihat pada gambar 4 berikut ini.

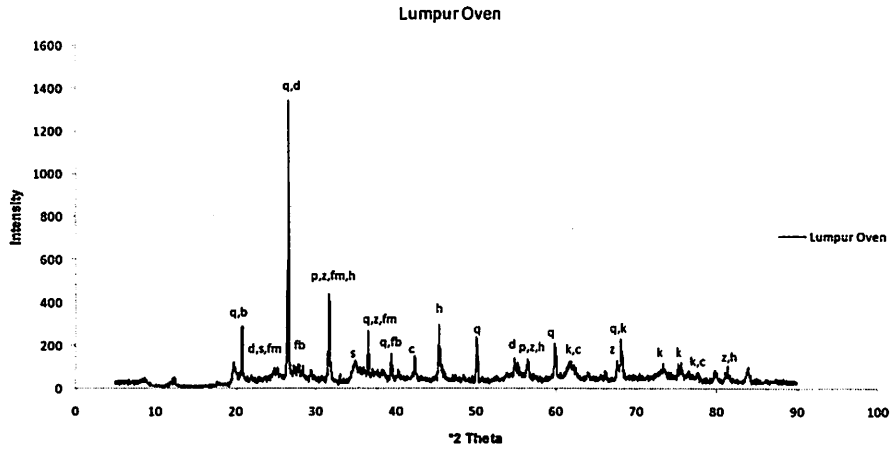


Gambar 4. TGA-DSC lumpur kering

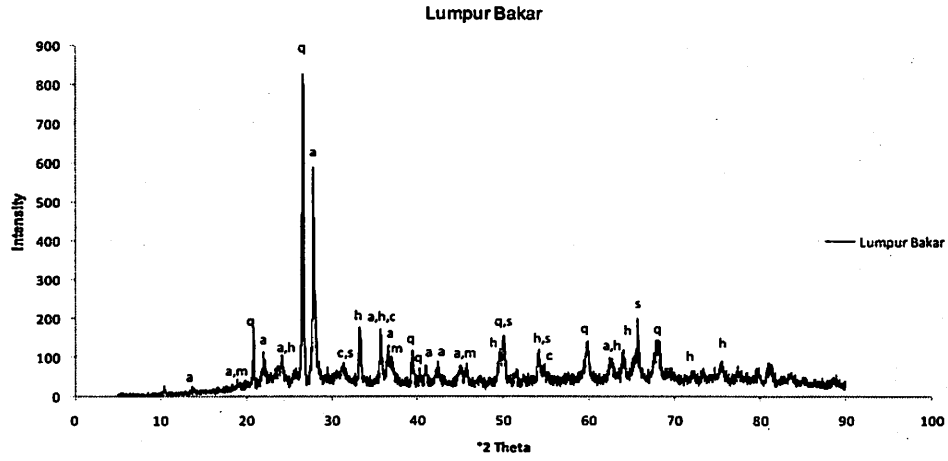
Dari gambar 4 dapat disimpulkan bahwa kondisi lumpur stabil pada kisaran suhu 600-850°C, ditandai dengan heat flow yang optimal tetapi perubahan berat lumpur relatif tidak besar.

2) XRD

Pengujian XRD digunakan untuk mengetahui mineral yang terkandung didalam lusi bakar. Pada Gambar 5 dan Gambar 6 berikut ini disajikan hasil XRD lumpur setelah di oven (suhu 100°C, 48 jam) dan setelah dibakar (suhu 800°C, 2 jam).



Gambar 5. Grafik analisa hasil XRD lusi kering oven



Gambar 6. Grafik analisa hasil XRD lusi bakar

Selanjutnya komposisi mineral masing-masing hasil analisa XRD akan dijelaskan dalam bentuk tabel. Berikut adalah komposisi mineral lusi oven pada Tabel 4 dan lusi bakar pada Tabel 5.

Tabel 4. Kandungan Mineral Lusi Oven

Kode	Nama Mineral	Rumus Kimia
q	Quartz	SiO_2
fm	Fayalite Magnesian = Iron Silicate	Fe_2SiO_4
c	Cuprite = Copper Oxide	Cu_2O
s	Sarcopside = Iron Phosphate	$Fe_3(PO_4)_2$
b	Berlinite = Aluminium Phosphate	$AlPO_4$
z	Zinc Oxide	ZnO
d	Dalyte = Potassium Titanium Zirconium Silicate	$K_2(Zr, Ti)Si_6.O_{15}$
k	Kalsilite = Potasssium Aluminium Silicate	$KAlSiO_4$

p	Potasssium Aluminium Phosphate	$K_3Al_2(PO_4)_3$
fb	Ferrobustamite = Calcium Iron, Manganese Silicate	$(Ca,Fe,Mn)3Si_3O_9$
h	Halite = Sodium Chloride	NaCl

Tabel 5. Kandungan Mineral Lusi Bakar

Kode	Nama Mineral	Rumus Kimia
q	Quartz = Silicon Oxide	SiO_2
h	Hematite = Iron Oxide	Fe_2O_3
c	Copper Iron Oxide	$CuFeO_2$
a	Anorthite = Calcium Aluminium Silicate	$CaAl_2Si_2O_8$
m	Manganese Oxide	MnO_2
s	Sillimanite = Aluminium Silicate	Al_2SiO_5

Berdasarkan hasil analisa XRD diketahui bahwa kandungan Quartz (SiO_2) sangat tinggi, lebih tinggi dibandingkan dengan kandungan mineral yang lainnya. Pada grafik hasil analisa XRD lusi bakar dapat dilihat bahwa terdapat banyak *Peaks*(puncak) mineral dibandingkan dengan lusi oven. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa lusi bakar lebih reaktif dibandingkan dengan lusi oven.

3) Analisa berat jenis agregat halus buatan.
Hasil perhitungan berat jenis agregat halus buatan dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Perhitungan berat jenis agregat halus buatan

Perhitungan	nilai
W_1 = Berat volume + pasir + air (gram)	780
Berat pasir SSD (gram)	250
W_2 = berat labu + air	660
Berat jenis pasir = $(250/((250+W_2)-W_1)$ x 0,8 (gram/cm^3)	1,538
W_3 = berat kering oven	
Penyerapan air	16 %

5. KESIMPULAN

Dari hasil analisa diatas, pasta ringan Px-y dan mortar ringan Mx-y-z memenuhi persyaratan beton ringan kerena memiliki berat volume lebih rendah dari 1800 kg/m^3 yaitu 819 kg/m^3 dan 1052 kg/m^3. Jika dilihat dari hasil uji tekan, kuat tekan maksimal pasta Px-y sebesar 2,4 MPa, menurut SNI 03-0349-1989 pasta dapat digolongkan pada mutu IV bata beton berlubang dengan kuat tekan rata-rata 2,41 MPa. Sedangkan untuk mortar ringan, kuat tekan maksimum yang didapatkan sebesar 1,84 MPa belum memenuhi syarat. Hasil analisa berat jenis agregat halus buatan memnuhi syarat agregat ringan buatan dengan nilai 1,538 gram/cm^3 (syarat 1,0 – 1,8 gram/cm^3) dan besar penyerapan 16% tidak memenuhi persyaratan (syarat maks. 2%).

6. DAFTAR PUSTAKA

1. Arioz, O. et.al. (2008), "A Preliminary Research On The Properties of Lightweight Explanded Clay Aggregate", J. Aust. Ceram. Soc, Vol. 44, No. 1, hal. 23-30.
2. Aroni, S. et.al., (2005), *Autoclaved Aerated Concrete Properties, Testing and Design*, Taylor and Francis, London and Newyork.
3. ASTM C1693-11. (2011), *Standard Specification for Autoclaved Aerated Concrete*. ASTM International, United States.
4. Husin, A.A. dan Sugiharto, B. (2008), "Peningkatan Mutu Agregat Ringan Buatan Untuk Beton Ringan Struktural", Jurnal Permukiman, Vol. 3, No. 1, hal. 1-14.
5. Lasino (2007), "Penelitian Pemanfaatan Lumpur Sidoarjo Untuk Agregat Buatan", *jurnal Permukiman*, Vol.2, no.1
6. Prasetya, W.C., Triwulan, Ekaputri, J.J. (2012), *Pemanfaatan Material Lumpur Sidoarjo Sebagai Beton Ringan*, Jurusan Teknik Sipil, FTSP, ITS, Surabaya.
7. Sid'qon, H. dan Triwulan, (2008), *Pemanfaatan Material Lumpur Porong, Sidoarjo Sebagai Interblok Perkerasan Lentur Jalan*, Jurusan Teknik Sipil, FTSP, ITS, Surabaya.
8. SNI 03-2847-2002 (2002), Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung, BSN, Indonesia.

POTENSI AGREGAT *ALWA* SEBAGAI BAHAN DASAR BETON GEOPOLIMER BERBAHAN LUMPUR SIDOARJO

M. Shofi'ul Amin[1], M. Diky F.[2], Januarti Eka P.[3], Triwulan[4]

[1]*Mahasiswa Program Pascasarjana Teknik Struktur FTSP ITS, email: ofy.civil@gmail.com*
[2]*Mahasiswa Program Sarjana Teknik Sipil FTSP ITS, email: dickyean@yahoo.com*
[3]*Dosen Jurusan Teknik Sipil FTSP, ITS, Kampus ITS Sukolilo Surabaya, Telp 031-5946094, email: januarti@ce.its.ac.id*
[4]*Dosen Jurusan Teknik Sipil FTSP, ITS, Kampus ITS Sukolilo Surabaya, Telp 031-5946710, email: triwulan@ce.its.ac.id*

ABSTRAK

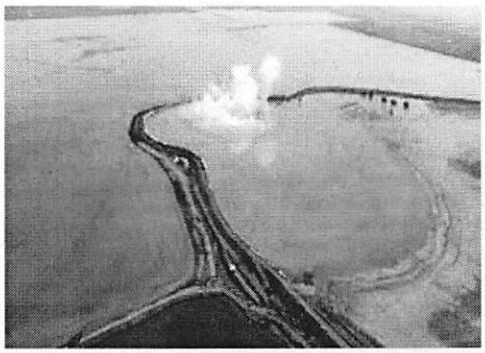
Semburan lumpur Sidoarjo (Lusi) yang terus-menerus sampai sekarang mengakibatkan jumlah lumpur yang semakin sulit dikendalikan. Semburan lumpur Sidoarjo sampai bulan Nopember 2011 debit semburan masih stabil pada 10 ribu m^3/hari. Unsur kimia yang terkandung pada lumpur Sidoarjo didominasi oleh silika (>50%), alumina (26%), dan beberapa unsur lain seperti besi, calsium dan magnesium dengan jumlah yang relatif kecil.
Tujuan penelitian ini yaitu memanfaatkan lumpur Sidoarjo sebagai agregat halus ringan buatan (*fine* ALWA) untuk pembuatan beton geopolimer. Beton ini dibuat dari bahan pasta geopolimer (binder + alkali + *naphthalene superplasticizer*) dengan ALWA berproporsi 70%Lusi : 30%*Fly ash.* Langkah penelitian yaitu pembuatan ALWA, selanjutnya di*furnace* pada variasi suhu 800°C, 900°C dan 1000°C (mengacu pada hasil TGA) tertahan 10 menit. Kemudian dilakukan uji kondisi visual fisik, berat volume dan kuat tekan.
Hasil analisis kondisi visual fisik ALWA rata-rata memiliki lebar retak 0,2-0,8 mm dengan panjang retakan mencapai 7 cm. Sedangkan hasil kuat tekan menunjukan variasi pembakaran dengan suhu 800, 900 dan 1000°C didapatkan masing-masing 2,4 Mpa, 1,9 Mpa dan 1,3 Mpa. Perbandingan binder : ALWA digunakan 1 : 1 dan didapatkan kuat tekan mortar geopolimer rata-rata 4,05 Mpa sehingga berpotensi untuk beton geopolimer. Penelitian selanjutnya dilakukan penambahan *superplasticizer* untuk menjaga kestabilan alkali dan mengatur *workability.*

Kata kunci: Lusi, *fly ash, fine* ALWA, geopolimer

1. PENDAHULUAN

Geopolimer merupakan polimer yang tersusun teratur menyerupai fungsi ikatan pada semen didalam beton. Geopolimer adalah reaksi antara *polymer* dan material geologi yang dijadikan pengganti semen seluruhnya yang bertindak sebagai *binder* utamanya (Nuruddin dkk., 2009). Dalam penelitian ini digunakan bahan utamanya yaitu lumpur Sidoarjo (Lusi) yang melalui proses pembakaran dengan bahan penstabil berupa *fly ash* Paiton oksida. *Fly ash* mempunyai kandungan silika dan kapur dengan kehadiran air dan ukuran partikelnya yang halus, oksida silika yang dikandung oleh abu terbang akan bereaksi secara kimia dengan kalsium hidroksida yang terbentuk dari proses hidrasi semen dan menghasilkan zat yang memiliki kemampuan mengikat (Ardiansyah, 2005).
Lumpur Sidoarjo mempunyai kandungan Si dan Al yang cukup tinggi sehingga cocok digunakan untuk beton geopolimer (Ekaputri dan Triwulan, 2006). Selain itu dalam pembuatan pastanya dilakukan secara kimiawi dengan menggunakan Alkali (Na_2SiO_3 dan NaOH 12M) sebagai aktivatornya dengan perbandingan 2,5. Pengujian kuat tekan maksimum beton geopolimer tercapai pada periode awal begitu pasta selesai dicetak dengan perawatan dengan suhu 60°C (Hardjito dkk.,2004).

Tujuan dari penelitian ini yaitu menganalisa kuat tekan pasta dan mortar geopolimer maksimum. Kemudian menganalisa kondisi fisik dan kuat tekan ALWA berproporsi Lusi : Fly ash adalah 7 : 3 dengan komposisi terhadap berat yang akan divariasikan pembakarannya pada suhu 800°C, 900°C dan 1000°C.



9.

Gambar 1. Wilayah lokasi dan kondisi lumpur Sidoarjo

10.

2. KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

Lumpur Sidoarjo

Lumpur Sidoarjo merupakan material lumpur yang menyembur dari dalam tanah sejak tanggal 29 Mei 2006. Melalui uji kimia yang dilakukan oleh balai besar keramik, dapat dilihat bahwa komponen kimia dari lumpur ini mirip dengan komponen kimia dari abu terbang. Tekstur lumpur lapindo adalah pada tabel dibawah. Tabel 1 dan Tabel 2 merupakan hasil uji tekstur tanah lumpur Lapindo yang telah dilakukan oleh penelitian sebelumnya:

Tabel 1: Tekstur Tanah Lumpur Sidoarjo

Tekstur tanah	Presentase (%)
Sand (pasir)	11,20
Silt (debu)	59,36
Clay (lempung)	29,44

Sumber: Arya Mufti, 2009 (didalam penelitian Nugroho)

Tabel 2: Komposisi Lumpur Kering Didapatkan dengan XRF (%)

Compound	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	Na_2O	K_2O	TiO_2	MgO	SO_2	LOI
Conc	53.08	18.27	5.6	2.07	2.97	1.44	0.57	2.89	2.96	10.15

Sumber: "Balai Besar Keramik", Bandung

Abu Terbang (*Fly Ash*)

Fly ash ialah produk sampingan dari hasil pembakaran batu bara. Abu terbang terdiri dari partikel kaca berbentuk sfera yang berdiameter 1-150 mm dan lolos ayakan 45 mm (ACI 232 2R-96). Untuk melihat kandungan kimia abu terbang ada pada Tabel 3.

Tabel 3: Komposisi Abu Terbang Didapatkan dengan XRF (%)

Compound	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	Na_2O	K_2O	TiO_2	MgO	SO_3	P_2O_5	LOI
Conc	52.24	38.58	2.94	0.69	0.52	0.44	2.42	0.49	1.21	0.13	1.39

Sumber: Ekaputri dan Triwulan, 2006

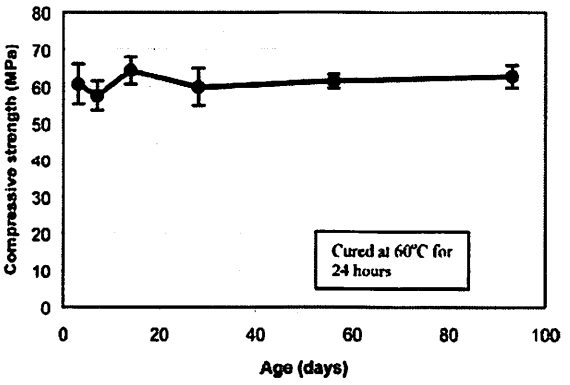
Kajian Penelitian Dasar Geopolimer

Hardjito dkk. (2004) telah membuat beton geopolimer menggunakan abu terbang (*fly ash*) sebagai pengikat. Kuat tekan maksimum beton geopolimer tercapai pada periode awal begitu pasta selesai dicetak. Hasil dari penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 4:

Tabel 4. Pengaruh Beberapa Parameter Terhadap Kuat Tekan

Mixture	Concentration of NaOH liquid in molarity (M)	Sodium silicate/NaOH liquids ratio by mass	7-day compressive strenght after curing at 60°C for 24 h, Mpa
A-1	8 M	0,4	17,3
A-2	8 M	2,5	56,8
A-3	14 M	0,4	47,9
A-4	14 M	2,5	67,6

Sumber: Hardjito dkk., 2004



Gambar 2. Grafik kuat tekan terhadap umur perawatan (Hardjito dkk., 2004)

Agregat Ringan Buatan (*Artificial Lightweight Agggregat*)

Agregat Ringan (ASTM C 332 – 99) dalam pembuatan agregat ringan pada beton secara umum dibagi menjadi 2 jenis antara lain:

1. *Group I* : agregat ringan yang mempunyai bahan dasar dari pengembangan produk seperti *perlite* atau *vermiculite*.
2. *Group II*: agregat ringan yang dikembangkan dari *calcining*, atau *sintering products* seperti *blast-furnace slag*, *clay*, *diatomite*, *fly ash*, *shale*, atau *slate* dan agregat yang dikembangkan dari proses material alami seperti *pumice*, *scoria*, atau *tuff*.

Sedangkan pembatasan untuk nilai berat volume agregat dibatasi dalam Tabel 5:

Tabel 5. Kebutuhan Berat Volume pada Agregat Ringan

Size Designation	Dry Loose Weight lb/ft^3 (kg/m^3)	
	Min	Max
Group I:		
Perlite	7,5 (120)	12 (196)
Vermiculite	5,5 (88)	10 (160)

Group II:		
Fine aggregate	...	70 (1120)
Coarse anggregate	...	55 (880)
Combined fine and coarse aggregate	...	65 (1040)

Sumber: ASTM C 332 – 99

3. METODOLOGI

Tahap pertama yaitu dilakukan persiapan dan analisa material meliputi pengujian TGA/DTA (70%Lusi+30%*Fly ash*) serta persiapan bahan lumpur Sidoarjo yang sudah dibakar dan lolos ayakan no.200. Kemudian digunakan bahan *fly ash* tipe "F" lolos ayakan no.200, *alkali activation* (Na_2SiO_3 + NaOH 12 M), *Naphthalene Superplasticizer*. Tetapi untuk penggunaan NaOH 12 M akan dilakukan pada awal pencampuran saja, sedangkan dalam pengadukannya dicoba menggunakan tambahan air sebagai pelecakannya.

Tahap kedua yaitu pembuatan pasta geopolimer dengan campuran (binder + alkali + *naphthalene superplasticizer*), adapun binder yang digunakan yaitu campuran lumpur bakar dan *fly ash* dengan perbandingan berat 3 : 1. Adapun besarnya proporsi bahan kimia yaitu *Alkali activation* sebesar 1/3 berat bindernya, kemudian perbandingan Na_2SiO_3 dengan NaOH adalah 2,5. Kemudian ditambahkan *Naphthalene Superplasticizer* sebesar 2,5% terhadap berat bindernya.

Tahap ketiga yaitu membuat benda uji ALWA dengan silinder Φ5 x 10cm berbahan 70%Lusi : 30%*Fly ash* sesuai jumlah yang dibutuhkan. Benda uji itu akan dibakar pada *furnace* dengan berbagai variasi suhu 800°C, 900°C, 1000°C. Kemudian dilakukan pengujian kondisi visual, berat volume, dan kuat tekan pada masing-masing benda uji dan dijadikan agregat halus ringan pada pembuatan mortar geopolimer.

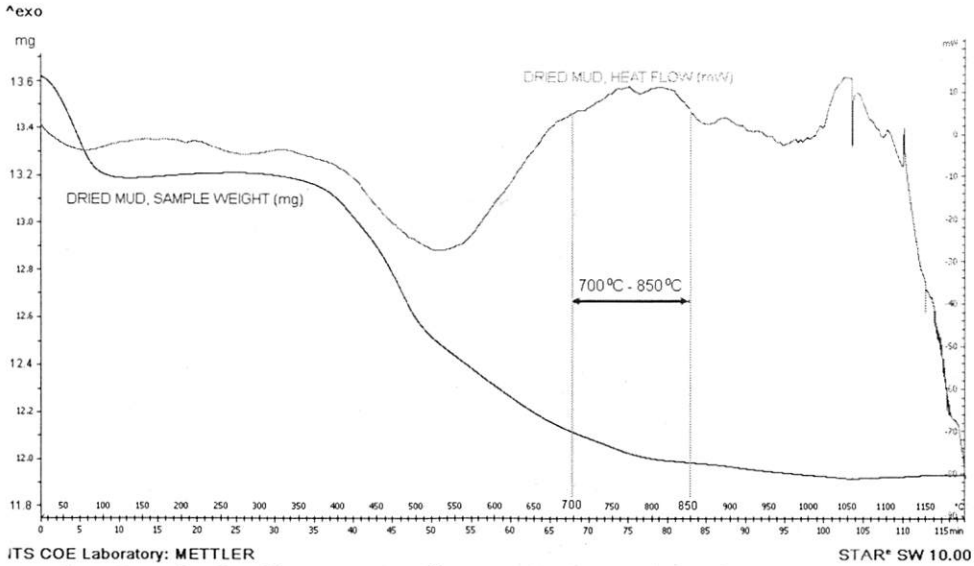
Tahap keempat dilakukan pembuatan mortar geopolimer yaitu dengan mencampurkan antara hasil pasta geopolimer tertinggi ditambahkan agregat halus (berasal dari agregat ringan buatan). Kemudian dilakukan pengujian kuat tekan untuk mengetahui kekuatan mortar geopolimer dengan pengaruh bahan ALWA tersebut. *Fine* ALWA dibuat dengan menghancurkan benda uji menjadi agregat halus lolos ayakan no.50 tertahan pada ayakan no.100. Perawatan mortar geopolimer dilakukan *steam* dengan suhu 60°C selama 3 jam dan diujikan pada umur 3 hari.

Tahap kelima/analisis yaitu berisikan tentang hasil pengaruh ALWA dari bahan lumpur Sidoarjo terhadap kuat tekan dari mortar geopolimer. Sehingga dapat diketahui potensi kedepan untuk penggunaan ALWA tersebut pada beton geopolimer.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Persiapan dan Analisa Material

Dalam menentukan suhu pembakaran lumpur Sidoarjo dilakukan terlebih dahulu pengujian material dan didapatkan karakteristik material sebagai berikut:



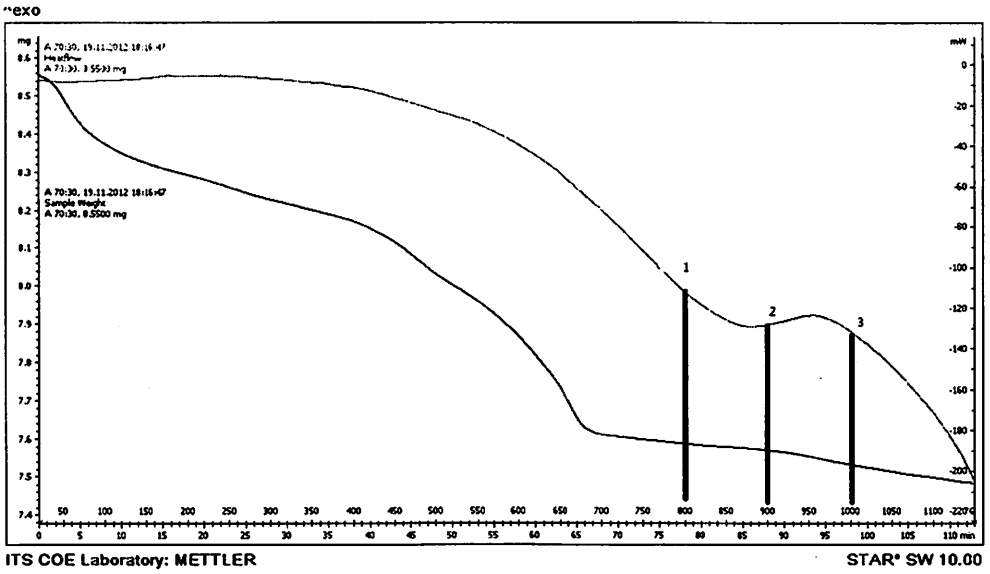
Gambar 3. Grafik DTA (*Differential Thermal Analysis*) 100% Lusi

Gambar 3 menunjukkan bahwa pembakaran lumpur Sidoarjo pada suhu 800°C memberikan kekerasan yang baik dan susut yang rendah. Selanjutnya dalam menentukan suhu pembakarn dilakukan terlebih dahulu pengujian material yang bertujuan untuk mengetahui nilai suhu pembakaran optimal pada bahan yang akan dibakar. Sehingga dari hasil pengujian TGA 70%Lumpur Sidoarjo + 30%Fly Ash di laboratorium energi ITS Surabaya didapatkan karakteristik material (Gambar 5):

Hasil Analisa ALWA

Gambar 4. Benda uji ALWA setelah dibakar

Gambar 4 terlihat keretakan memanjang dan melintang disetiap benda uji. Silinder ALWA ini kemudian akan dilakukan pengukuran dimensi (tinggi dan diameter). Sesuai hasil analisa TGA Gambar 5 , dilanjukan dengan pengujian kondisi visual, berat volume dan kuat tekan masing-masing benda uji yang disajikan pada Tabel 6, 7 dan 8. Pengujian ini dimaksudkan untuk mengetahui tingkat keringan dan kekerasan material.



Gambar 5. Grafik TGA/DTA (*Differential Thermal Analysis*) 70% Lusi : 30% Fly ash

Dari Gambar 5 dapat diambil suhu yang digunakan untuk pembakaran benda uji ALWA yaitu pada suhu 800°C, 900°C dan 1000°C.

Tabel 6. Kondisi visual fisik pada benda uji ALWA

Suhu (°C)	No.Benda uji	Berat (gr)		Analisa Fisik (cm)						% Susut Berat
				Sebelum		Sesudah		Retak		
		Sebelum	Sesudah	Φ	t	Φ	t	pjg	lbr	
800	1	192,5	167,5	4,4	8,8	4,3	8,5	2	0,3	12,99
	2	194,2	165,3	4,4	8,7	4,3	8,4	2	0,5	14,88
	3	193,3	166,1	4,4	8,8	4,2	8,4	2	0,6	14,07
900	1	195,3	165,9	4,5	8,8	4,2	8,5	2	0,8	15,05
	2	196,1	165,4	4,4	8,9	4,2	8,6	1	0,5	15,66
	3	193,2	163,5	4,4	8,8	4,2	8,5	2	0,7	15,37
1000	1	192,6	153,2	4,4	8,8	4,1	8,5	3	0,4	20,46
	2	193,4	151,6	4,4	8,7	4,2	8,5	4	0,7	21,61
	3	197,4	155,6	4,4	8,8	4,1	8,5	7	0,8	21,18

Sumber: Hasil Analisa

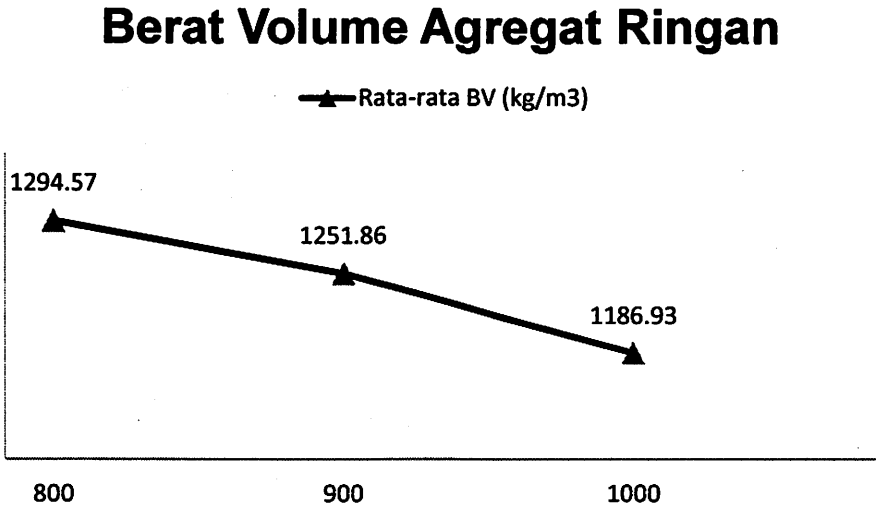
Tabel 6 terlihat bahwa kondisi visual fisik semua benda uji mengalami penyusutan bentuk (sesudah pembakaran) rata-rata pada diameter (Φ) 0,1 cm, tinggi (t) 0,3 cm dan penyusutan berat rata-rata 16,81%. Selain itu benda uji juga mengalami keretakan memanjang rata-rata 2,7 cm dengan lebar retakan berkisar 0,3 – 0,8 cm. Maksimum besar retakan terdapat pada benda uji dengan pembakaran suhu 1000°C yaitu dengan panjang retakan mencapai 7 cm dengan lebar 0,8 cm yang disertai dengan susut berat 21,18%. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi suhu pembakaran membuat benda uji ALWA menjadi penyusutan cukup tinggi yang disertai dengan bentuk yang mulai tidak stabil.

Tabel 7. Berat volume benda uji ALWA

Suhu (°C)	No.Benda uji	Berat volume					
		Berat	Dimensi		Volume	BV	Rata-rata
		(gr)	A (m^2)	t (m)	(m^3)	kg/m^3	kg/m^3
800	1	167	0,0015	0,085	0,00013	1295,47	1294,57
	2	165	0,0015	0,084	0,00013	1293,67	
	3	166	0,0015	0,084	0,00013	1299,93	
900	1	165	0,0016	0,085	0,00014	1226,69	1251,86
	2	165	0,0015	0,086	0,00013	1264,35	
	3	163	0,0015	0,085	0,00013	1264,53	
1000	1	153	0,0015	0,085	0,00013	1184,87	1186,93
	2	151	0,0015	0,085	0,00013	1172,49	
	3	155	0,0015	0,085	0,00013	1203,43	

Sumber: Hasil Analisa

Tabel 7 menunjukkan nilai rata-rata berat volume ALWA dengan berbagai suhu pembakaran. Terlihat bahwa rata-rata pada suhu 800°C, 900 °C, dan 1000°C memiliki berat volume masing-masing 1294,57 kg/m^3, 1251,86 kg/m^3 dan 1186,93 kg/m^3. Jika dibandingkan pada syarat agregat ringan (ASTM C 332 – 99) dengan berat volume 1120 kg/m^3 masih belum terpenuhi (mendekati). Tetapi dengan melihat hasil diatas, maka semakin tinggi suhu dan durasi pembakaran semakin ringan berat volumenya (lihat gambar 6). Hal ini menunjukkan bahwa bahan lumpur Sidoarjo berpotensi untuk dijadikan ALWA. Sehingga dalam penelitian berikutnya akan digunakan suhu diatas 1000°C dengan variasi durasi pembakaran dan bahan penstabilnya (*fly ash*).



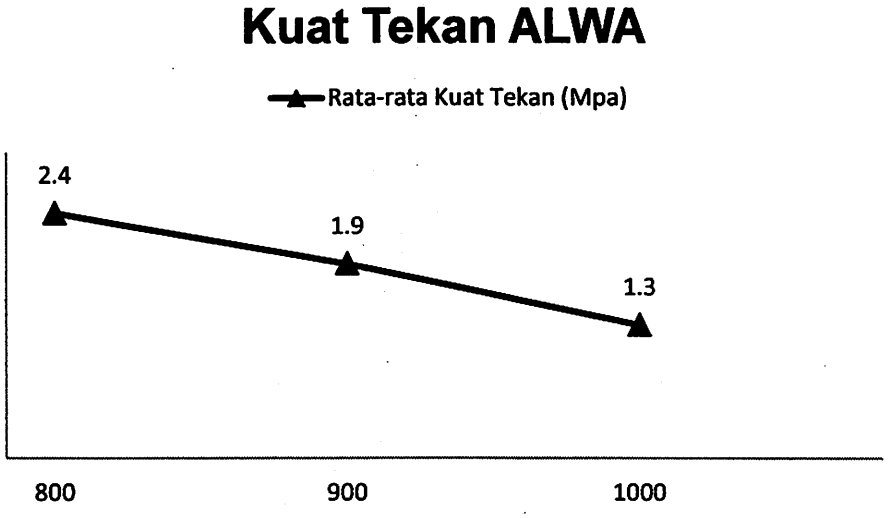
Gambar 6. Grafik berat volume ALWA terhadap suhu pembakaran

Tabel 8. Hasil kuat tekan benda uji ALWA

Suhu (°C)	No.Benda uji	Kuat Tekan			
		Bacaan alat Newton	Luas permukaan A (mm^2)	MPa	Rata-rata Mpa
800	1	3531,6	1452,7	2,431	2,4
	2	3727,8	1452,7	2,566	
	3	-	-	-	
900	1	2354,4	1386,0	1,699	1,9
	2	2943,0	1386,0	2,123	
	3	3139,2	1386,0	2,265	
1000	1	1569,6	1320,7	1,188	1,3
	2	1373,4	1386,0	0,991	
	3	2943,0	1320,7	2,228	

Sumber: Hasil Analisa

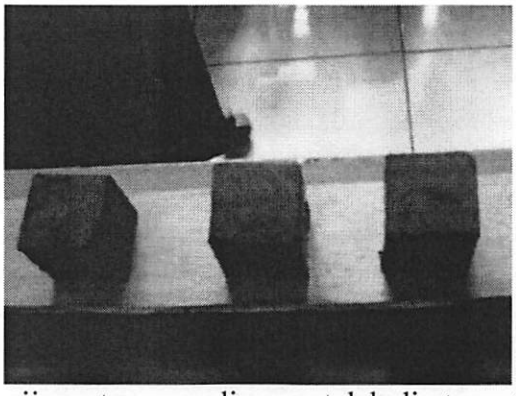
Tabel 8 diatas menunjukkan nilai rata-rata kuat tekan benda uji setelah pembakaran dengan suhu 800°C, 900 °C, dan 1000°C berturut-turut yaitu 24,324 kg/cm^2, 18,614 kg/cm^2, dan 13,148 kg/cm^2. Jadi disimpulkan bahwa semakin tinggi suhu pembakaran, maka semakin rendah kuat tekan yang dihasilkan (lihat gambar 7). Hal ini sesuai dengan analisa hasil TGA pada pencampuran 70%Lusi + 30%*Fly ash*.



Gambar 7. Grafik kuat tekan ALWA terhadap suhu pembakaran

Mortar Geopolimer

Mortar geopolimer dibuat dengan mencampurkan antara pasta geopolimer dengan agregat halus (ALWA) pada kuat tekan tertinggi. Adapun perbandingannya yaitu 1 : 1. Benda uji dibuat dengan mencampurkan binder+ALWA kemudian diberikan zat kimia yang sudah disiapkan (dijelaskan pada metodologi). Hasil cetakan dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 8. Benda uji mortar geopolimer setelah di *steam* 60°C selama 3 jam

Kendala yang dihadapi adalah *workability* yang sulit, maka ditambahkan air 100ml (tiap 3 benda uji uk.5x5x5) agar bisa dikerjakan dengan mudah. Tetapi penambahan ini akan berakibat pada pengaruh molaritas NaOH semakin rendah. Hal ini juga berakibat kuat tekan menjadi kurang bagus. Hasil kuat tekan akan disajikan pada Tabel 9.

Tabel 9. Hasil kuat tekan benda uji mortar geopolimer

Suhu (°C)	No. Benda uji	Kuat Tekan				
		Bacaan alat kg	Luas A cm^2	kg/cm^2	Mpa	Rata-rata Mpa
800	1	1000	25	40	4.0	4.05
	2	1020	25	41	4.1	
	3	1020	25	41	4.1	

Sumber: Hasil Analisa

Tabel 9 memberikan nilai rata-rata kekuatan mortar geopolimer dengan tambahan ALWA sebagai agregat halus adalah 4,05 Mpa. Nilai kuat tekan ini bisa berpotensi sebagai beton geopolimer, karena mortar tersebut masih memiliki kekuatan yang cukup untuk digunakan sebagai beton non-struktural. Adapun pengaruh kekuatan yaitu pada campuran polimer yang terjadi. Maka disarankan untuk mengatur *workability* adalah dengan menambahkan *superplasticizer*. Agar molaritas NaOH tetap stabil yang akan berpengaruh besar pada alkali yang digunakan.

5. KESIMPULAN

Penelitian ini dapat disimpulkan antara lain:

1. Suhu pembakaran pada ALWA dengan proporsi Lusi dengan *Fly ash* 7 : 3 terhadap beratnya adalah 800°C dengan rata-rata kuat tekan 2,4 Mpa. Sedangkan rata-rata berat volumenya adalah 1294,57 kg/m^3.
2. Sesuai yang disyaratkan oleh ASTM C 332 – 99 berat volume ALWA (*fine aggregate*) belum memenuhi syarat dengan selisih 174,57 kg/m^3. Sehingga disarankan untuk menambah variasi proporsi ALWA dan waktu suhu bakar.
3. Fine ALWA berpotensi sebagai campuran pengganti agregat halus pada beton geopolimer.

6. DAFTAR PUSTAKA

1. America Society for Testing and Material (1995), *Concrete and Mineral Agregat.* Annual Book of ASTM Standards, vol 04.02.
2. Davidovits, J. (1994), Properties of Geopolymer Cements. Geopolimer Institute. France : Saint-Quentin.
3. Hardjito, D., Wallah, Sumajouw, dan Rangan (2004), "Development of Fly Ash-Based Geopolymer Concrete", *ACI Mater.* No.101, hal. 467-472.
4. Nuruddin, M.F., Kusbiantoro, dan Qazi (2009), "Development of Polymeric Concrete For Sustainable Futures", dalam *Platform*, eds. Ahmad, F., Isa, M.T., Victor, M., dkk., Universiti Teknologi Petronas, Malaysia, hal. 10-16.
5. Subari dan Abdul R. (2008), "Pembuatan Bata Beton Ringan Untuk Diterapkan di IKM Bahan Bangunan". *Jurnal Bahan Galian Industri,* Vol.12, No.33, hal. 10-16.
6. Triwulan dan Ekaputri, Januarti J. (2006), *Study on Porong Mud-Based Geopolimer Concrete.*Teknik Sipil ITS.

PERILAKU FISIK CAMPURAN LUMPUR SIDOARJO DAN ABU SEKAM SEBAGAI BAHAN DASAR CAMPURAN PEMBUATAN AGREGAT RINGAN

Massruroh Ika A.[1], Boby Dean P.[2], Triwulan.[3], Januarti Jaya EP. [4]

[1]*Mahasiswa Program Pascasarjana Teknik Struktur FTSP ITS, email: massrurohika@yahoo.co.id*
[2]*Mahasiswa Program Sarjana Teknik Sipil FTSP ITS, email: pahlevi.boby@yahoo.co.id*
[3]Dosen *Jurusan* Teknik Sipil FTSP, ITS, Kampus ITS Sukolilo Surabaya, Telp 031-5946710, email: triwulan@ce.its.ac.id
[4]*Dosen Jurusan Teknik Sipil FTSP, ITS, Kampus ITS Sukolilo Surabaya, Telp 031-5946094, email: januarti@ce.its.ac.id*

ABSTRAK

Peristiwa semburan lumpur di Porong Sidoarjo yang terus menerus menyebabkan limbah lumpur semakin melimpah. Oleh karena itu salah satunya dimanfaatkan sebagai bahan dasar beton AAC *(Autoclaved Aerated Cocrete),* karena masih sangat jarang pembuatan beton AAC dengan pemanfaatan limbah lumpur.

Hasil penelitian yang telah dilakukan didapat komposisi maksimal pasta ringan yang terdiri dari lumpur bakar, *fly ash*, kapur, dan semen. Penelitian tersebut akan dikembangkan dengan membuat agregat ringan buatan *(fine alwa)* dari campuran lumpur Sidoarjo yang disubstitusi dengan abu sekam. *Fine alwa* dibuat dengan menggunakan cetakan silinder diameter 5 cm dan tinggi 10 cm.

Hasil dari penelitian tersebut didapatkan kuat tekan sebesar 25,96 MPa, 7,74 MPa, dan 2,43 MPa dan dari hasil tes XRD menunjukkan bahwa lumpur bakar dan abu sekam berpotensi untuk stabil dan dapat digunakan untuk membuat agregat halus. Dan berat jenis agregat halus buatan didapat 1,33 gram/cm^3, hal ini memenuhi syarat agregat ringan buatan yaitu 1,0 – 1,8 gram/cm^3

Kata kunci : Agregat ringan, lumpur Sidoarjo, abu sekam

1. PENDAHULUAN

Semburan lumpur Sidoarjo (lusi) yang terjadi sejak tanggal 27 Mei 2006 berlangsung terus menerus mengakibatkan endapan lumpur panas semakin melimpah. *(http://surabaya.okezone.com/read/2012/05/28/521/636685/bpls-klaim-volume-semburan-lumpur-sidoarjo-menurun).* Hal ini dimanfaatkan sebagai alternatif bahan dasar pembuatan beton AAC *(Autoclaved Aerated Concrete).*

Penggunaan AAC sampai saat ini masih jarang karena harganya yang relatif lebih mahal, sehingga dengan penelitian ini diharapkan memperoleh komposisi pembuatan AAC dengan harga yang lebih murah karena memanfaatkan limbah lumpur. Adapun salah satu keuntungan bangunan yang menggunakan AAC adalah bangunan tersebut tahan panas sehingga suhu di dalam ruangan cenderung lebih dingin , hal ini dapat meminimalkan penggunaan AC *(Air Conditioner)* (Aroni 1993).

Pembuatan AAC dilakukan dengan menggunakan pasta ringan berbahan dasar semen (OPC), kapur (non aktif), lumpur bakar (lusi), fly ash dan aluminium sebagai pengembang. Sedangkan untuk mortar ringannya akan dilakukan penelitian yang lebih lanjut guna menggantikan pasir dengan agregat ringan buatan *(fine alwa)* dari campuran lumpur Sidoarjo yang disubstitusi dengan abu sekam 30% .Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perilaku fisik dari lumpur Sidoarjo sebagai agregat ringan buatan pada beton ringan AAC.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. LUMPUR SIDOARJO (LUSI)

Karakteristik lumpur Sidoarjo secara fisis sangat halus, plastis dan memiliki penyusutan yang tinggi, kondisi ini menyebabkan hasil yang diperoleh dalam produksi agregat akan mengalami kerusakan baik dalam tahap pengeringan maupun pembakaran sehingga tidak memenuhi persyaratan. Oleh karenanya perlu bahan tambahan sebagai penstabil dari bahan yang memiliki kadar silika tinggi (Lasino 2007). Adapun kandungan lumpur Sidoarjo setelah dioven disajikan pada tabel dibawah ini (Triwulan dan Ekaputri 2006)

Tabel 1. Komponen Kandungan Lumpur Sidoarjo

Komponen	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	SO_2	Hilang pijar
Kadar lumpur (%)	53,08	18,27	5,6	0,57	2,07	2,89	2,97	1,44	2,96	10,15
Kadar berat semen portland (%)	19	5,5	3,5	-	64	1,4	-	1,1	1,9	-

(Sumber : Triwulan dan Ekaputri 2006)

Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa lumpur dapat digunakan sebagai material yang bersifat semen dengan menggantikan *Ordinary Pozzoland Cement (OPC)* 10%. Bubuk pozolan dihasilkan dengan cara dibakar pada suhu 600^0C selama 1 jam menggunakan alat furnis elektris (Nuruddin 2010).

2.2. ABU SEKAM

Sekam padi merupakan limbah padat hasil samping dari penggilingan padi yang mempunyai nilai rendah karena sekam padi bersifat kaku,abrasif, memiliki nilai gizi rendah, tahan terhadap pelapukan, volume (*bulk)* yang besar, dan membutuhkan tempat yang luas untuk penyimpanannya (Widodo 2007).

Bahan anorganik utama yang terkandung dalam sekam padi adalah abu. Kandungannya bervariasi antara 13,2% - 29% dari berat sekam padi. Dalam abu ini mengandung silika sekitar 94 -96%. Oleh karena kandungan silika yang tinggi maka abu sekam sangat baik digunakan sebagai bahan substitusi dengan lumpur sidoarjo. (Bor. S Luh 1980 dalam Widodo 2007).

2.3. ABU TERBANG (*FLY ASH)*

Berdasarkan ASTM C 618-03 *fly ash* didefinisikan sebagai sisa serbuk halus yang merupakan hasil dari pembakaran tanah atau batubara dan dipindahkan oleh cerobong asap. Hal – hal yang menyebabkan perubahan sifat pada beton akibat penambahan *fly ash* adalah Waktu pengikatan awal maupun akhir beton *(Setting time*) menjadi bertambah lama, berkurangnya prosentase senyawa semen (C_3A, C_2S, C_3S, C_4AF) sehingga akan memperendah temperatur hidrasi, memperkecil diameter pori beton (Triwulan dkk., 1998).

Penggunaan *fly ash* memperlihatkan dua pengaruh abu terbang di dalam beton yaitu sebagai agregat halus dan sebagai pozzolan. Selain itu abu terbang di dalam beton menyumbang kekuatan yang lebih baik dibanding dengan beton normal (Saputro 2008).

2.4. AGREGAT RINGAN BUATAN

Agregat ringan adalah agregat yang mempunyai berat jenis yang ringan dan porositas yang tinggi yang dapat dihasilkan dari agregat alam maupun hasil fabrikasi (Mulyono 2003). Menurut ASTM C. 330, agregat ringan dibedakan menjadi dua, yaitu agregat ringan buatan dan agregat alam.

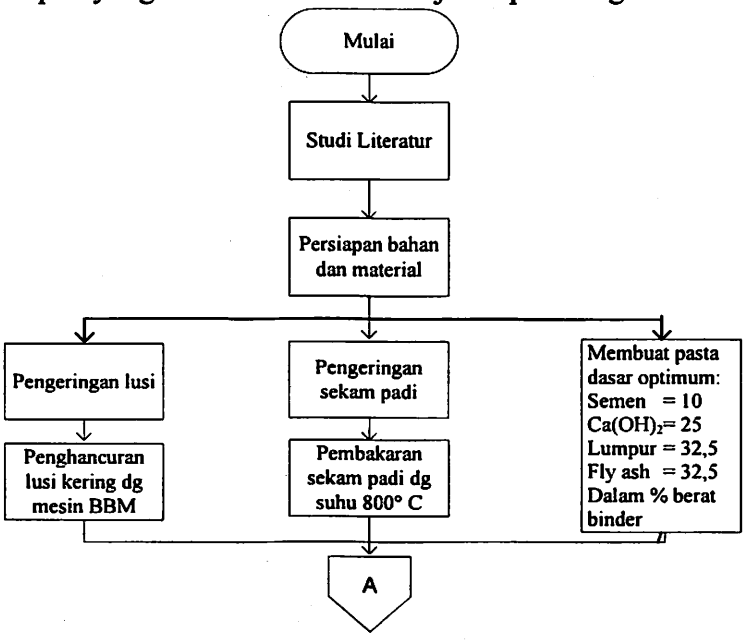
Agregat ringan digunakan untuk mengasilkan beton yang ringan. Beton yang dibuat dengan agregat ringan memiliki sifat tahan api yang baik. Sedangkan kelemahannya adalah ukuran pori dari beton yang dibuat dengan agregat ini besar sehingga penyerapannya besar. Dan agregat ringan yang digunakan dalam campuran beton harus memenuhi syarat mutu dari ASTM C-330 " *Specification for Lightweight Agregates for Structural Concrete* " . (Mulyono 2003).

2.5. AUTOCLAVED AERATED CONCRETE (AAC)

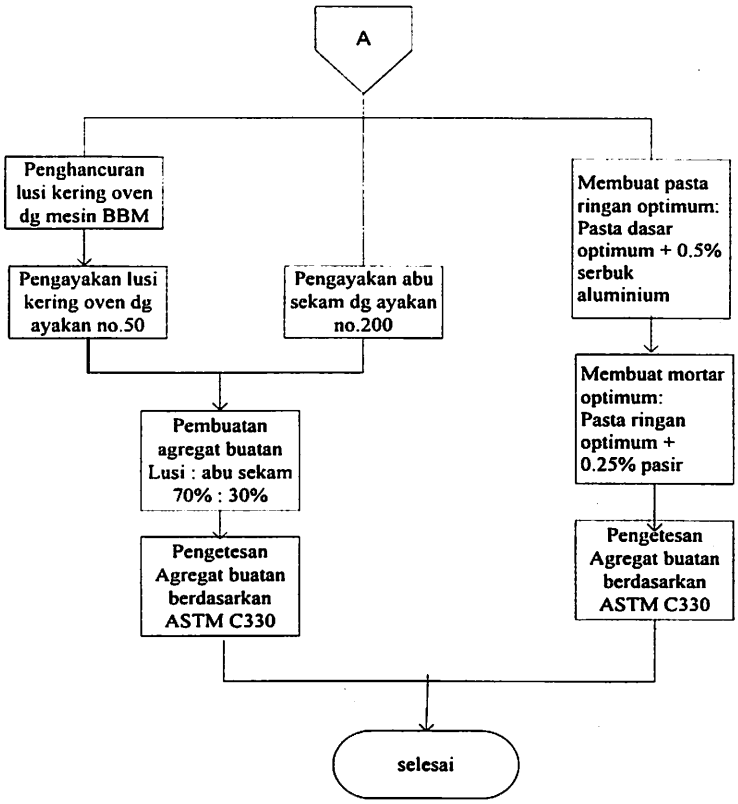
AAC *(Autoclaved Aerated Concrete)* adalah beton ringan yang terbuat dari bahan sel ringan yang dibentuk oleh reaksi kimia antara material yang mengandung kapur dan silika halus yang terpisah. Struktur ini diperoleh melalui proses kimia yang menyebabkan aerasi atau dengan menambahkan rongga udara dengan mekanisme dalam adonan yang tidak mengandung bahan kasar. Dan klasifikasi AAC berdasarkan karakteristik kuat tekannya adalah sebagai berikut (Aroni 1993):

3. METODOLOGI PENELITIAN

Tahapan – tahapan yang harus di lakukan disajikan pada bagan alir berikut ini:



Gambar 1. Bagan alir



Gambar 2. Diagram Alir (lanjutan)

a) Tahap Persiapan Material

Pada tahap ini lusi dan sekam padi dikeringkan di bawah sinar matahari, selanjutnya dioven selama 24 jam pada suhu 100°C. Kemudian lusi dihancurkan dengan Bond Ball Mill dan diayak dengan ayakan no 50. Abu sekam dibakar pada furnish dengan suhu 800°C selama 4 jam dan diayak dengan ayakan no 200.

b) Tahap Pembuatan Pasta dan Mortar dengan Pasir

Langkah pertama yaitu pembuatan pasta dasar (Px) dengan cetakan silinder d=20 mm dan t=40 mm (ASTM C 109/C 109M-02). Didapat campuran pasta dasar optimum (P_{25}) yaitu: Semen:kapur: lumpur bakar: *fly ash* adalah 10% : 25% : 32,5% : 32,5%. Setelah didapat pasta dasar optimum kemudian membuat pasta ringan (Px–y) dengan cetakan kubus 5x5x5 cm^3. Campuran pasta ringan optimum ($P_{25\text{-}0,5}$) terdiri dari komposisi pasta dasar optimum ditambahkan serbuk aluminium 0,5%. Pasta ringan divakum menggunakan alat vakum selama 15 menit setelah pasta ringan berumur 3 hari. Setelah itu dilakukan curing dengan menggunakan autoclave dengan tekanan 14 bar, konstan selama 4 jam. Langkah selanjutnya yaitu membuat mortar (Mx-y-z) dengan cetakan kubus 5x5x5 cm^3. Mortar optimum merupakan $M_{25\text{-}0,5\text{-}0,25}$ yang terdiri dari komposisi pasta ringan optimum : pasir yaitu 1 : 0,25. Setelah dicampur mortar divakum selama 15 menit setelah berumur 3 hari. Kemudian dilakukan curing dengan menggunakan autoclave dengan tekanan 14 bar, konstan selama 6 jam.

c) Tahap Pembuatan Agregat Ringan Buatan

Agregat ringan buatan *(fine alwa)* didapat dengan mencampurkan lusi dan abu sekam dengan perbandingan lusi:abu sekam adalah 70% : 30%. Dibuat dalam

cetakan silinder dengan d=5cm dan t=10cm. Alwa dibakar dalam mesin furnish dengan suhu 800°C selama 2 jam.

4. ANALISA DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dilakukan penjabaran tentang hasil percobaan yang telah dilakukan selanjutkan akan dianalisa dan ditarik kesimpulan.

4.1. Hasil Pengujian Pasta Dasar (Px)

Pada pasta dasar Px dilakukan dua analisa yaitu:

a. Tes Berat Volume Pasta Px

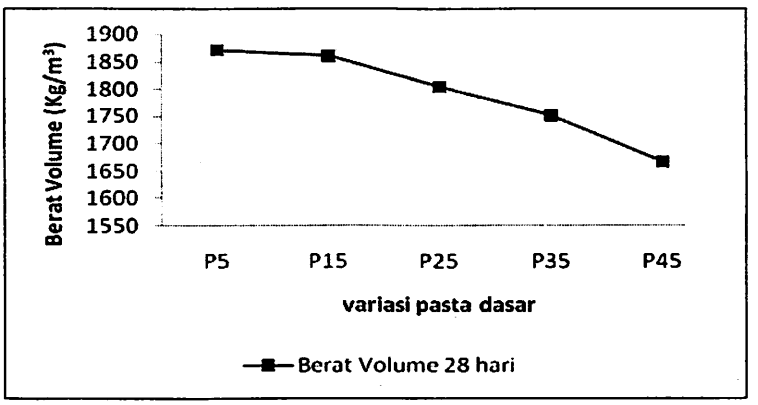
Tes berat volume dilakukan terhadap 3 buah benda uji silinder ukuran 2cmx4cm pada umur 28 hari.Komposisi binder dapat dilihat pada tabel 2, hasil uji berat volume dapat dilihat pada tabel 3 dan gambar 3.

Tabel 2, Komposisi Binder

Pasta (P_x)	Semen (%berat binder)	Kapur (%berat binder)	Lumpur (%berat binder)	*Flyash* (%berat binder)
P_5	10	5	42,5	42,5
P_{15}	10	15	37,5	37,5
P_{25}	10	25	32,5	32,5
P_{35}	10	35	27,5	27,5
P_{45}	10	45	22,5	22,5

Tabel 3. Berat Volume pasta Px umur 28 hari

Pasta	P1 (kg/m^3)	P2 (kg/m^3)	P3 (kg/m^3)	Rata-rata (kg/m^3)
P_5	1855,1	1878,98	1878,98	1871,02
P_{15}	1839,17	1871,02	1871,02	1860,4
P_{25}	1815,29	1791,4	1807,32	1804,67
P_{35}	1751,59	1751,59	1751,59	1751,59
P_{45}	1695,86	1632,17	1671,97	1666,67

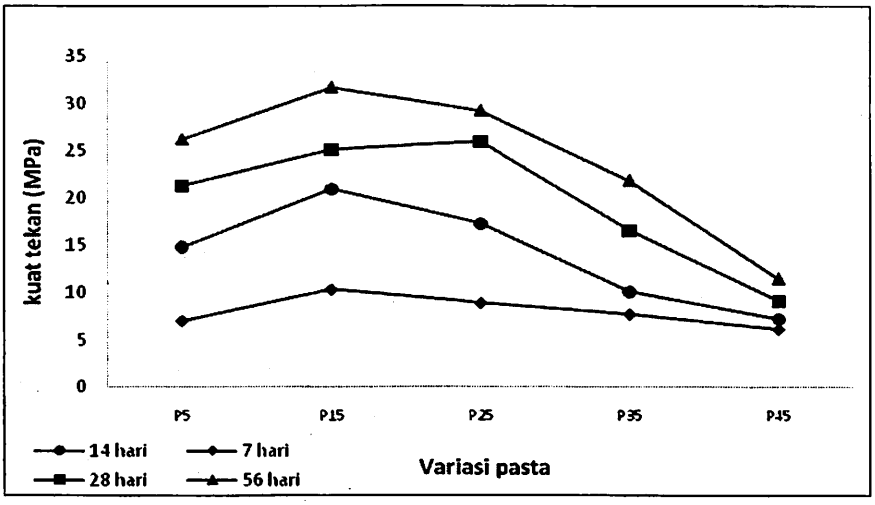


Gambar 3. Grafik berat volume pasta 28 hari

Dari hasil percobaan dapat ditarik kesimpulan bahwa kadar kapur yang diberikan berbanding terbalik dengan berat volume benda uji yang dihasilkan. Hal ini memperkuat penelitian sebelumnya bahwa semakin banyak kapur yang ditambahkan maka semakin ringan pula benda uji yang dihasilkan dan begitu pula sebaliknya (Triwulan, Ekaputri, Aji dan Prasetya 2012).

b. Tes kuat Tekan Pasta Px

Tes kuat tekan hancur dilakukan terhadap 3 buah benda uji silinder ukuran 2cmx4cm pada umur 7, 14, 28, dan 56 hari .



Gambar 4. Grafik kuat tekan pasta dasar Px

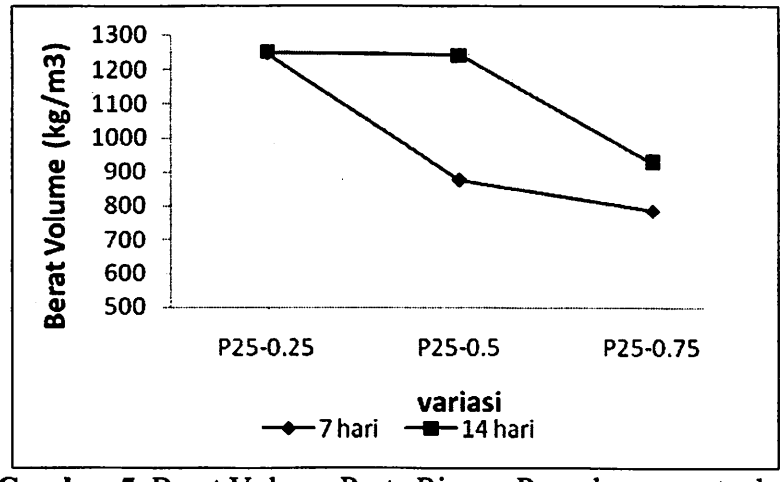
Dari percobaan yang telah dilakukan didapat bahwa kuat tekan optimum pasta dasar pada umur 28 hari pada variasi pasta P_{25} yaitu sebesar 25,17 Mpa. Sehingga diambil komposisi optimum untuk pasta ringan pada percobaan selanjutnya adalah komposisi dengan kapur 25% (K25) .

4.2. Hasil Pengujian Pasta Ringan (Px-y)

Pada pasta ringan Px-y dilakukan dua analisa yaitu:

a. Tes Berat Volume Pasta Px-y

Pasta Px-y, variabel x menunjukkan prosentase kapur dan varabel y menunjukkan prosentase serbuk aluminium

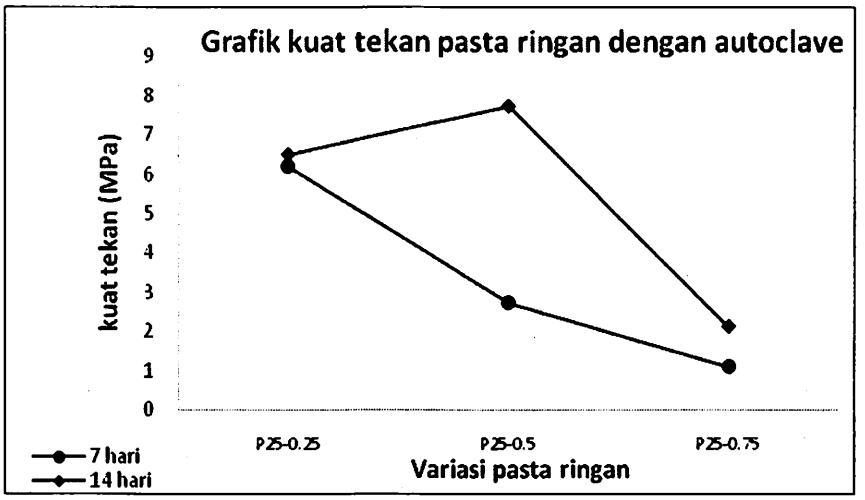


Gambar 5. Berat Volume Pasta Ringan Px-y dengan autoclave

Dadi percobaan yang telah dilakukan maka semakin banyak serbuk alumunium yang digunakan maka semakin kecil berat volume benda uji, dimana semua benda uji memiliki berat volume sesuai batasan beton ringan yaitu dibawah 1800 kg/m^3.

b. Tes Porositas dan Kuat Tekan Pasta Px-y

Tes kuat tekan hancur dilakukan terhadap 3 buah benda uji ukuran 5cm x 5cm x 5cm pada umur 7 dan 14 hari.



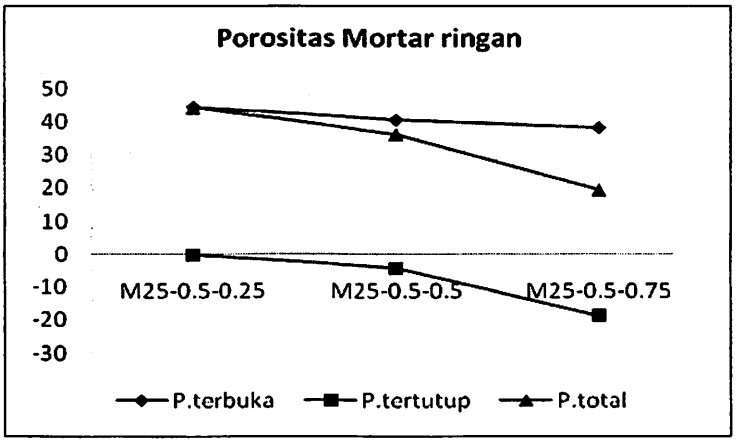
Gambar 6. Grafik kuat tekan pasta ringan 7 dan 14 hari dengan autoclave

Dari percobaan didapat bahwa semakin banyak bubuk Alumunium yang digunakan maka mengakibatkan kuat tekan yang dihasilkan lebih rendah.

4.3. Hasil Pengujian Mortar (Mx-y-z)

Pada pasta ringan Px-y dilakukan dua analisa yaitu:

a. Tes Porositas dan Kuat Tekan Mortar Mx-y-z



Gambar 7. Grafik Porositas mortar ringan

Dari percobaan didapat bahwa semakin besar jumlah pasir yang digunakan maka semakin rendah porositas tertutupnya, hal ini mengakibatkan kuat tekan yang

dihasilkan lebih rendah. Dengan demikian, besarnya pori tertutup menentukan nilai dari kuat tekan dari benda uji yang dibuat.(Ekaputri, Triwulan, dan Jatmiko, 2012)

b. Tes Mortar Ringan Mx-y-z dengan ASTM C1693 Tentang Beton Ringan Dengan Perawatan Autoclaved

Tabel 4. Kuat Tekan Mortar Ringan Mx-y-z pada Umur 7 Hari

No	Mortar Ringan (Mx-y-z)	Kuat Tekan Rata-rata (MPa)	Berat Volume (kg/m^3)
1	$M_{25\text{-}0.5\text{-}0.25}$	2,43	966,133333
2	$M_{25\text{-}0.5\text{-}0.5}$	2,12	1138,93333
3	$M_{25\text{-}0.5\text{-}0.75}$	1,78	1256,8

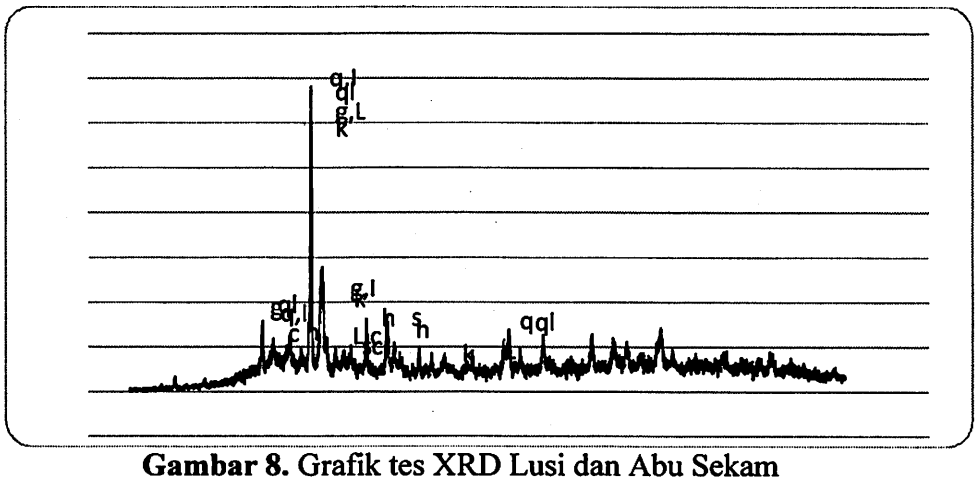
Ditinjau dari persyaratan ASTM C1693 tentang beton ringan dengan perwatan *Autoclave* (AAC), Kuat tekan Mortar ringan $M_{25\text{-}0.5\text{-}0.25}$ masuk dalam kategori AAC-2 tetapi untuk persyaratan berat volume, mortar ringan dengan lumpur Sioarjo bakar semuanya masih diatas 600 kg/m^3.

4.4 Hasil Pengujian Agregat Buatan

Pada percobaan terhadap agregat buatan dilakukan pengujian XRD dan berat volume serta penyerapan agregat halus.

a. Tes XRD (X-Ray Diffraction)

Tes XRD dilakukan pada sampel lusi+abu sekam yg telah dibakar pada suhu 800°C selama 2 jam. Hasil tes XRD dapat dilihat pada gambar 8 dan tabel 5.



Gambar 8. Grafik tes XRD Lusi dan Abu Sekam

Tabel 5. Hasil Tes XRD

Kode	Nama Mineral	Rumus Kimia
q	Quartz,syn = Silicon Oxide Silica	SiO_2
ql	Quartz,low = Silicon Oxide	SiO_2
g	Gismondine = Calcium Aluminium Silicate Hydrate	$CaAl_2Si_2O_8I_8$
i	Indialite,syn = Magnesium Aluminium Silicate	$Mg_2Al_4Si_5O_{18}$

h	Hematite,syn = Iron Oxide	Fe_2O_3
l	Leilite = Sodium Aluminium Silicate Fluoride Hydroxide	$Na_2AlSi_5O_{12}(F,OH)$
S	Schorlomite = Calcium Iron Titanium Silicate	$Ca_3(Fe,Ti)_2[(Si,Ti)O]_3$
c	Cornetite = Copper Phosphate Hydroxide	$Cu_3PO_4(OH)_3$
k	Kyanite = Aluminium Silicate	Al_2SiO_5

b. Tes Berat Jenis Agregat Halus

Berat jenis agregat halus dpt dilihat pada tabel dibawah ini:

Tabel 6. Tes Berat Volume Agregat Halus

Perhitungan	nilai
W_1 = Berat volume + pasir + air (gram)	760
Berat pasir SSD (gram)	250
W_2 = berat labu + air	660
Berat jenis pasir = $(250/((250+W_2)-W_1) \times 0,8$ (gram/cm^3)	1.33
W_3 = berat kering oven	
Penyerapan air	25%

Berdasarkan ASTM C330–30 tentang Agregat halus, disebutkan bahwa penyerapan agregat halus yang diperbolehkan maksimal 5%. Dari tabel 6 didapat penyerapan agregat halus sebesar 25%. Hal ini menujukkan bahwa penyerapan agregat halus masih terlalu besar.

5. KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilaksanakan dapat diambil kesimpulan, sebagai berikut:

Pasta dasar Px didapatkan hasil kuat tekan optimum pada komposisi pasta P_{25} pada 28 hari dengan komposisi semen : kapur ($Ca(OH)_2$) : lumpur bakar : fly ash 10% : 25% : 32,5% : 32,5% yaitu 25,96 MPa. Untuk pasta ringan Px-y didapat hasil optimum pada komposisi pasta ringan $P_{25\text{-}0.}$ 7,74 MPa. Dan untuk mortar ringan Mx-y-z didapat hasil optimum pada komposisi mortar ringan $M_{25\text{-}0.5\text{-}0.25}$ dengan komposisi sebesar 1 : 0.25 yaitu 2.43 MPa. Dan Hasil analisa berat jenis agregat halus buatan sebesar 1,33 gram/cm^3, hal ini memenuhi syarat agregat ringan buatan yaitu 1,0 – 1,8 gram/cm^3, sedangkan besar penyerapan 25% tidak memenuhi persyaratan (syarat maks. 2%).

REFERENSI

1. Ekaputri, Januarti Jaya dan Triwulan. 2006. " Study on Porong Mud – Based Geopolymer Concrete"
2. http://surabaya.okezone.com/read/2012/05/28/521/636685/bpls-klaim-volume-semburan-lumpur-sidoarjo-menurun
3. Lasino. 2007. " Penelitian Pemanfaatan Lumpur Sidoarjo untuk Agregat Buatan Vol.2 No.1 " **Jurnal Permukiman Pusat Litbang Permukiman Bandung**

4. Mulyono, Tri. **Teknologi Beton.** 2003. Yogyakarta: Penerbit Andi Offset
5. Nuruddin.2010. "Sidoarjo Mud: A Potential Cement Replacement Material Vol. 2 No.1 ". **Journal Civil Engineering Dimension**
6. Saputro, Aswin Budhi. 2008. "Kuat Tekan dan Kuat Tarik Beton Mutu Tinggi dengan Fly Ash sebagai Bahan Pengganti Sebagian Semen dengan fc' 45 Mpa"
7. Triwulan, Januarti Jaya Ekaputri, Pujo Aji dan wahyu Candra Prasetya. 2012. "Pemanfaatan Lumpur Sidoarjo Bakar Untuk Beton Ringan Dengan Tambahan Aluminium powder"
8. Widodo, L. Urip.2007. "Pembuatan Briket dari Sekam Padi dengan Proses Karbonasi sebagai Energi alternatif Vol 2 No 1'. **Jurnal Teknik Kimia (ISSN 1ss978 – 0419)**

STUDI PERILAKU WEB POST BUCKLING DAN VIEREENDEL MECHANISM PADA HEXAGONAL CASTELLATED BEAMS

Tri Widya Swastika[1], Hidajat Soegihardjo[2], Budi Suswanto[3]

[1]*Mahasiswa Pascasarjana Jurusan Teknik Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Kampus ITS Sukolilo Surabaya, Telp 031-5946094, email: triwidyaswastika@yahoo.co.id*
[2]*Dosen Jurusan Teknik Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Kampus ITS Sukolilo Surabaya, Telp 031-5946094, email: hidayat@ce.its.ac.id*
[3]*Dosen Jurusan Teknik Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Kampus ITS Sukolilo Surabaya, Telp 031-5946094, email: budi_suswanto@ce.its.ac.id*

ABSTRAK

Castellated Beams merupakan baja profil H, I, atau U yang dibentuk dengan pola potongan zig-zag yang kemudian disambung las pada bagian potongan *web*-nya sehingga menghasilkan bentuk *hexagonal, octagonal* dan *circular*. Keunggulan utama *Castellated Beams* dibandingkan baja profil biasa adalah kekakuan dan kekuatan profil akan bertambah seiring penambahan tinggi web yang mengakibatkan penambahan *modulus of section* dan *moment of inersia* penampang tanpa menambah berat profil (berat profil ringan dengan inersia besar).

Seiring perkembangannya, ditemukan beberapa kegagalan dalam *Castellated Beams*, namun *web post buckling* dan *viereendel mechanism* yang paling menjadi perhatian khusus dari para peneliti, bukan hanya karena dua kegagalan tersebut merupakan kegagalan major dan paling sering terjadi, tetapi juga karena tebukti lebih kompleks dalam perumusannya.

Pada penelitian ini permodelan struktur dibagi menjadi dua model dengan tiga tipe luasan opening yang beragam dimana tipe 1 mempunyai luasan normal, tipe 2 mempunyai luasan 1,5 kali luasan normal dan tipe 3 mempunyai luasan 2 kali luasan normal. Permodelan struktur menggunakan program bantu analisa struktur dan *finite element analysis software.* Struktur model 1, *hexagonal Castellated Beams* ditinjau akibat beban gravitasi *(distributed load)* dengan *eigen-value buckling analysis* sedangkan untuk struktur model 2, *hexagonal Castellated Beams* ditinjau akibat beban *crane (concentrated load)* menggunakan *static general analysis.* Evaluasi kegagalan *web post buckling* dan *viereendel mechanism* hanya meninjau struktur model 2 dengan rumusan dari Soltani, et al (2011) yang nantinya akan diketahui efektifitas persentase *web opening* pada *hexagonal Castellated Beam* yang mempunyai pengaruh efek terkecil akibat dua kegagalan tersebut dengan parameter-parameter yang telah ditentukan.

Dari hasil analisis dengan dua cara tersebut (*eigen-value buckling analysis dan static general analysis)* dapat disimpulkan bahwa persentase luasan *web opening* berbanding lurus dengan defleksi/ displacement dan tegangan yang terjadi akibat *distributed load* maupun *concentrated load.* Semakin besar persentase luasan *web opening,* dimana *length of castellated tee* semakin panjang, defleksi/ displacement dan tegangan yang terjadi akan semakin besar.

Kata kunci: *hexagonal castellated beam, web post buckling mechanism, viereendel mechanism, finite element analysis*

1. PENDAHULUAN

Nama *Castellated* berasal dari pola lubang web yang berbentuk seperti *"castle"*, yang berarti *"built like a castle, having battlements, or regular holes in the walls, like a castle"*, maksudnya adalah "dibangun selayaknya *castle* (benteng) atau *battlements* yang artinya seperti benteng yang kokoh dan kuat [1]. *Castellated Beams* adalah suatu

spesifikasi profil yang ditingkatkan kekuatan komponen strukturnya dengan memperpanjang kearah satu sama lain dan di las sepanjang pola. *Castellated Beams* ini mempunyai tinggi (h) hampir 50% lebih panjang dari profil awal sehingga meningkatkan nilai momen lentur, momen inersia (Ix), dan *modulus section* (Sx) [2].

Dalam beberapa tahun terakhir, pertumbuhan penggunaan *Castellated Beams* sangat meningkat dan menjadi *trend* tersendiri untuk alasan praktis, hal ini disebabkan keuntungan dari *castellation* dalam meningkatkan kekakuan lentur vertikal (Komal dan Pachpor, 2010) dan terbukti efisien untuk bentang sedang bahkan cocok untuk bentang panjang. Selain itu, *Castellated Beams* juga menjadi populer dari segi arsitektural karena *opening web* yang ter-*expose* menampilkan kesan artistik pada bangunan [1].

Diantara beberapa kegagalan yang terjadi pada *Castellated Beams*, *vierendeel mechanism* dan *web post buckling* adalah dua kegagalan yang paling menjadi perhatian khusus dari para peneliti selama beberapa tahun. Alasannya bukan hanya karena dua kegagalan tersebut merupakan kegagalan major dan paling sering terjadi pada *Castellated Beams*, tetapi juga karena terbukti lebih kompleks dalam perumusannya [3].

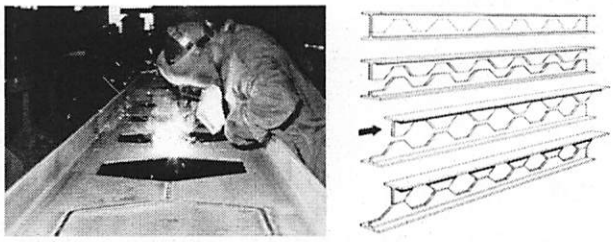
Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efektifitas persentase *web opening* pada *hexagonal Castellated Beam* yang mempunyai pengaruh efek terkecil dari *web post buckling* dan *vierendeel mechanism* dengan parameter-parameter yang telah ditentukan, yang ditinjau dari gaya geser yang terjadi akibat beban gravitasi (distributed load) dan beban crane (concentrated load).

2. DASAR TEORI

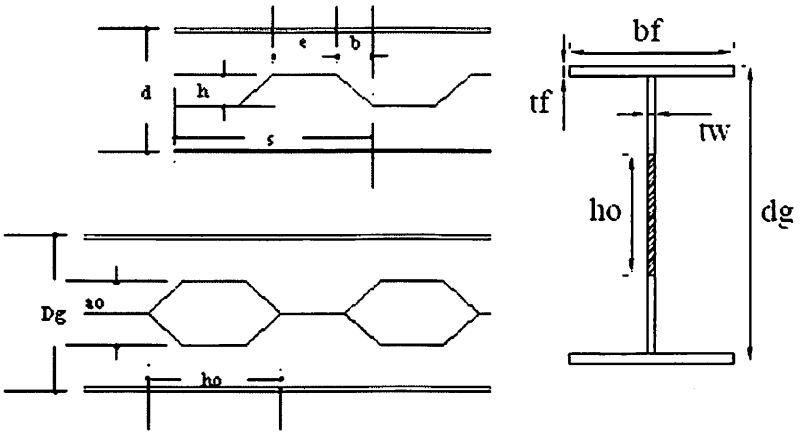
Castellated Beams

Castellated Beams dibentuk dari profil baja H, I, atau U yang kemudian pada bagian badannya dipotong memanjang dengan pola zig-zag. Kemudian potongannya digeser atau dibalik setengah bagian profil dan disambung. Penyambungan setengah profil dilakukan dengan cara di las pada bagian "gigi-giginya" sehingga terbentuk profil baru dengan lubang berbentuk segi enam (*hexagonal*), segi delapan (*octogonal*), dan lingkaran (*circular*) [4].

Akibat bertambahnya ketinggian dari bagian badan *(web)* balok, *Castellated Beams* memiliki kekakuan lentur (bending stiffness) yang jauh lebih besar dari profil sebelum pemotongan. Kekuatan transversal yang dapat diterima menjadi lebih kecil. Dengan alasan ini, *Castellated Beams* sangat cocok untuk bentang besar. Untuk mencegah tekuk *(buckling)* dari bagian badan *(web)* yang berlubang, ditambahkan *infill plate* pada ujung pertemuan balok kolom.



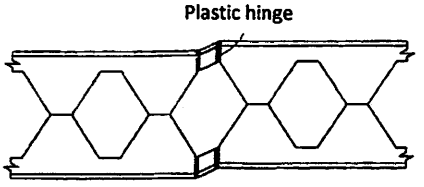
Gambar 1: Proses pembuatan Hexagonal *Castellated Beams* (Grunbauer, 2001)



Gambar 2: Detail Hexagonal *Castellated Beam* (ASCE *journal page* 3319)

Vierendeel Mechanism

Kegagalan ini berbanding lurus dengan tegangan geser yang cukup tinggi pada balok. Sendi plastis terjadi pada ujung balok (*reentrant corners*) pada lubang dapat merubah bentuk bagian T (*tee section*) menjadi seperti jajaran genjang (*parallelogram*) [5].



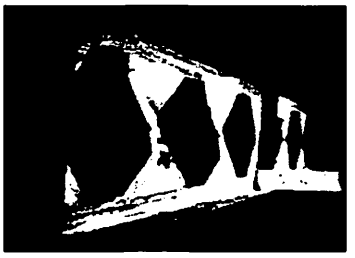
Gambar 3: *Vierendeel mechanism* pada *Castellated Beam*

(Altifillisch 1957 dan Toprac dan Cook 1959)

Web Post Buckling Mechanism

Web post buckling dikenal sebagai kegagalan utama dari *Castellated Beams* sejak 1996 ketika Zaarour dan Redwood (1996) menguji 12 bentang pendek (3000 mm) dengan tebal *web Castellated Beams* yang tipis dan lebar *web post* minimum untuk membuka rasio kedalaman antara 0,18-0,26. Dalam pengujiannya menghasilkan, terjadi *double curvature buckling shape* pada *web post* semua spesimen tetapi balok yang mengalami *web buckled* hanya terjadi *single curvature*. Hasil tes menunjukkan bahwa beban *web post buckling* tidak terlalu berpengaruh pada momen/ rasio geser [6].

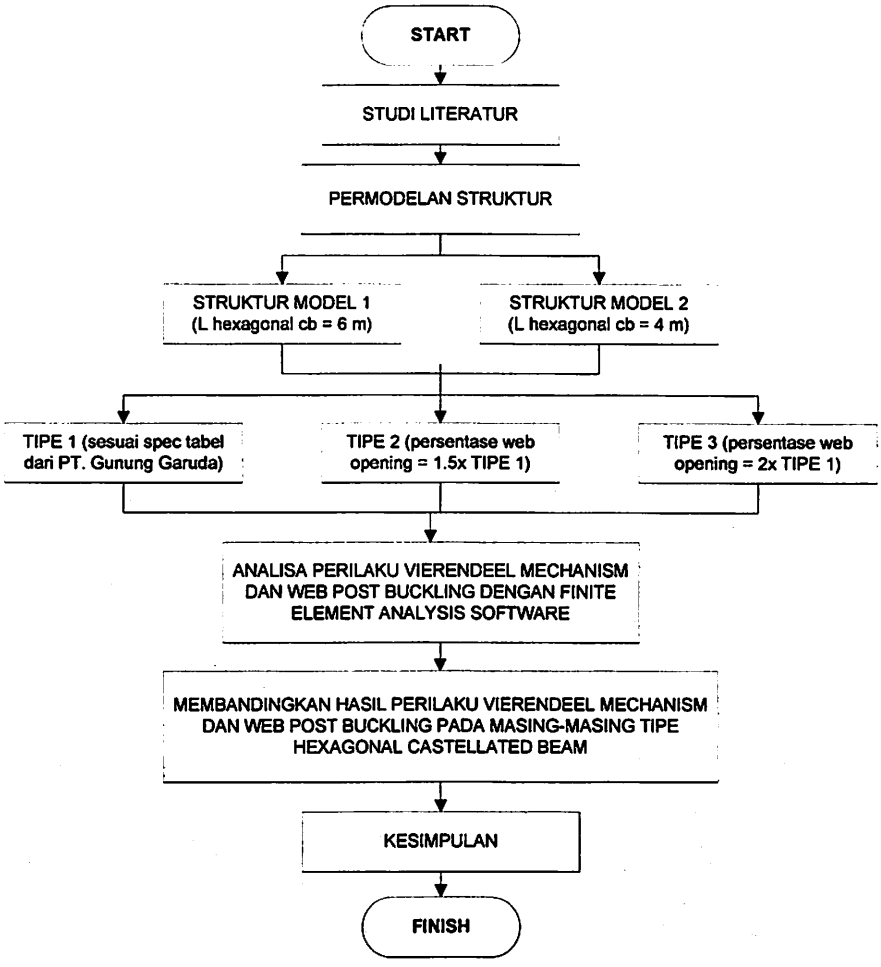
Kegagalan ini disebabkan oleh beban terpusat yang secara langsung dibebankan melebihi *web-post* [7].



Gambar 4: Web Post Buckling (Redwood dan Demirdjian, 1998)

3. METODOLOGI

Perilaku *web post buckling* dan *viereendel mechanism* ditunjukan pada diagram alir Gambar 5.



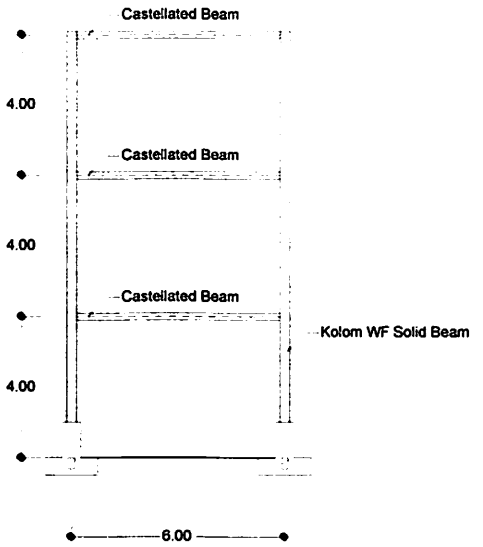
Gambar 5: Diagram Alir Penelitian

Material yang digunakan dalam penelitian ini yaitu :

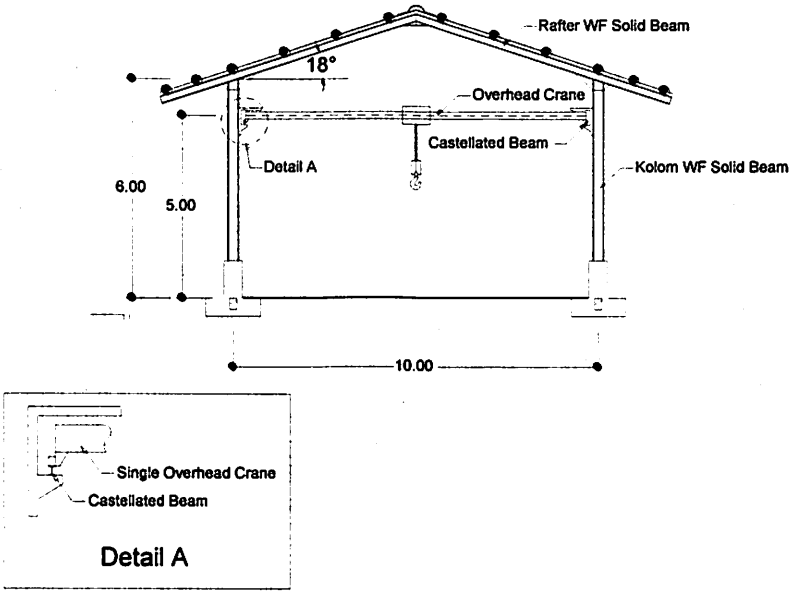
- Baja BJ37
- fy = 240 Mpa
- fu = 370 Mpa
- E = 200000 Mpa
- Beban crane = 3.2 ton (menggunakan *Demag Standard Crane*)

Permodelan Struktur Pada SAP 2000

Permodelan di SAP 2000 tidak mempertimbangkan buckling, sebatas untuk mengetahui gaya-gaya yang bekerja pada elemen *Castellated Beams*, yang nantinya akan dijadikan data input untuk permodelan di *Finite Element Analysis software*.



Gambar 6: Struktur Model 1



Gambar 7: Struktur Model 2

Pola pembebanan yang akan diberikan adalah beban statik gravitasi akibat *dead load, live load* dan beban gempa berdasarkan WG 5 tanah lunak (untuk struktur model 1) serta beban statik pada 2 titik akibat beban *crane* (untuk model struktur 2). Pada struktur model 1, elemen balok yang ditinjau dalam *finite element software* merupakan elemen balok untuk beban pada lantai terbawah dengan *Boundary Conditions* dan dengan cara *displacement* control. Sedangkan pada struktur 2, beban diberikan pada 2 titik dibalok sejarak 1 m.

Tabel 1: Beban Merata yang ditahan oleh balok (struktur 1)

Akibat beban lantai	DL	=	2616.6	kg/m'
	LL	=	1500	kg/m'
Akibat beban atap	DL	=	2244.6	kg/m'
	LL	=	600	kg/m'

Tabel 2: Parameter-parameter pada permodelan Hexagonal Castellated Beams

Model Struktur	Tipe	Dimensi (mm)	tw (mm)	tf (mm)	d/D ratio	Sudut θ Opening	Luasan Opening (mm^2)	Persentase Luasan Opening
1	1	450 x 300	10	15	0.67778	60°	50233.5	1
	2						73489.75	1.5 tipe 1
	3						96746	1.9 tipe 1
2	1	300 x 100	5.5	8	0.68333		22693.5	1
	2						33199.75	1.5 tipe 1
	3						43706	1.9 tipe 1

1. Analisa *Vierendeel Mechanism* dan *Web Post Buckling* berdasarkan penelitian Soltani, et al (2012)

Vierendeel Mechanism

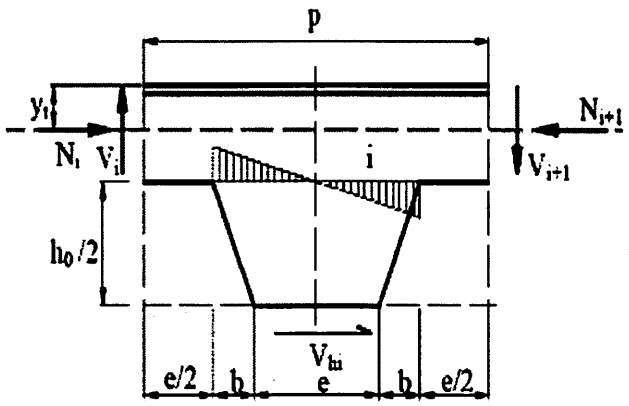
Tahanan total untuk *vierendeel bending* lockal (Mvrd), sama dengan jumlah dari *vierendeel resistance* dari bagian atas dan bawah *tee-sections*, seperti berikut:

$$M_{vrd} > V_{sd} x\, l_{eff} \quad \text{.....(5)}$$

dimana :

V_{sd} = gaya geser global yang harus ditransfer sepanjang *web opening* i

l_{eff} = panjang efektif dari *web opening*; l_{eff} = e



Gambar 8: *Web-post bending stresses* akibat gaya geser horisontal

Web-post Buckling

Ketahanan *web-post buckling* akibat lentur dianalisa dengan persamaan berikut ini:

$$\frac{M_{sd}}{M_{el,Rd}} \leq \min\{C_1\alpha - C_2\alpha^2 - C_3 0.6\} \quad \text{.....(1)}$$

dimana:

$M_{sd} = V_{hi} x \frac{h_o}{2}$ → momen lentur elastic pada bagian kritis dari *web-post*

$M_{el,Rd} = \frac{t_w x f_y x (p-2b)^2}{6}$ → tahanan lentur elastic pada bagian kritis dari *web-post*

$\alpha = \frac{p}{h_o}$ → *aspec ratio*

C1, C2, dan C3 merupakan parameter geometric konstan. Nilainya ditentukan sebagai berikut:

$C1 = 5.097 + 0.1464\beta - 0.00174\,\beta^2$

$C2 = 1.441 + 0.0625\beta - 0.000683\,\beta^2$

$C3 = 3.645 + 0.0853\,\beta - 0.00108\,\beta^2$

dimana:

$\beta = \frac{h_o}{t_w}$

Dengan mengasumsikan jika gaya geser vertikal Vi dan Vi+1 adalah senilai dan *axial forces* Ni dan Ni+1 adalah gaya reaksi di *centroid top tee-section*, gaya geser horizontal ditentukan dengan mempertimbangkan kesetimbangan dari *free body diagram* pada Gambar 8, maka:

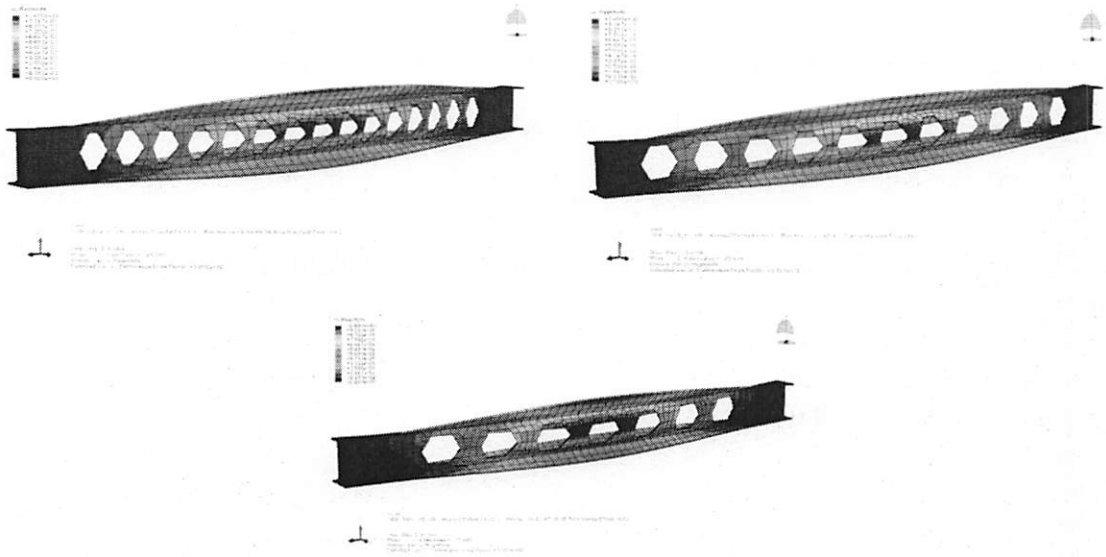
$$V_{hi} = V_i \frac{P}{(d_g - 2y_t)} \quad \text{.....(2)}$$

4. HASIL DAN DISKUSI

Pada Finite Element Software, struktur Model 1 dianalisa menggunakan *Eigen-Value Buckling* sedangkan untuk struktur Model 2 menggunakan *static general analysis.*

Analisa Finite Element Hexagonal Castellated Beams pada Model 1

Eigen-value bukling merupakan bagian dari solusi untuk masalah *non-linear buckling*. Analisa ini digunakan untuk memprediksi kekuatan tekuk teoritis struktur elastis yang ideal, dengan mempertimbangkan efek sekunder (*geometric non linearity*). Hal ini dikenal sebagai "*classical Euler buckling analysis*". Setiap buckling mode dari analisis tekuk linear dapat digunakan untuk menghasilkan *'imperfections'* pada model yang akan digunakan dalam analisis non-linear buckling (*material and geometric nonlinearity*) [9].

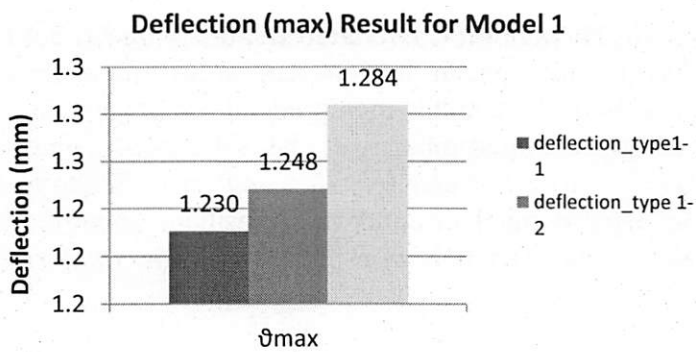


Gambar 9: *Buckling Mode 1* pada struktur model 1- 1 (kiri), model 1-2 (kanan), model 1-2 (bawah)

Tabel 3: Perbandingan defleksi akibat distributed load pada struktur model 1

Type	$A_{opening}$ (mm^2)	Eigen Value			Deflection (mm)			ϑ_{max} (mm)
		mode 1	mode 2	mode 3	mode 1	mode 2	mode 3	
type 1-1	50233.5	24.701	42.318	-45.660	0.990	0.417	0.599	1.230
type 1-2	75350.25	25.894	37.664	-46.854	0.981	0.468	0.613	1.248
type 1-3	95443.65	27.040	-48.938	53.573	0.969	0.637	0.550	1.284

Catatan:
ϑ_{max} dihitung berdasarkan metode SRSS (Square Root of Sum Square).

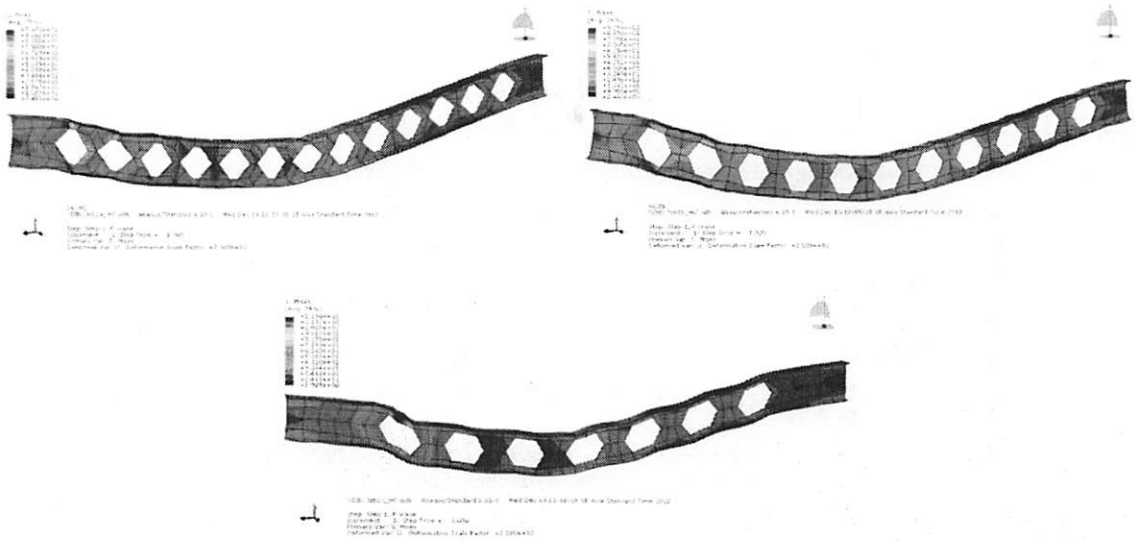


Gambar10: Grafik perbandingan defleksi maksimum pada struktur model 1

Berdasarkan gambar 10 dan tabel 3, struktur model 1 tipe 1 menghasilkan defleksi sebesar 1.23 mm, tipe 2 sebesar 1.248 mm dan tipe 3 sebesar 1.284 mm.
Dapat kita simpulkan bahwa hasil analisa eigen-value buckling pada struktur model 1 defleksi terbesar terjadi pada tipe 3, dimana luasan openingnya juga yang terbesar.

Analisa Finite Element Hexagonal Castellated Beams pada Model 2

Pada struktur model 2, selain membandingkan stress dan displacement dari finite element software juga akan dievaluasi apakah dengan beban yang ada vierendeel mechanism dan web post buckling sudah terjadi.

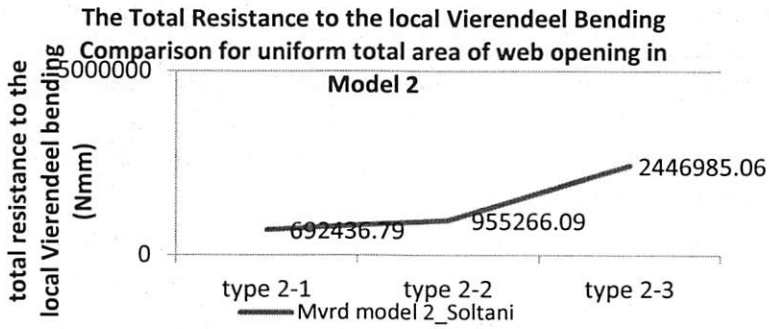


Gambar 11: *Von Mises Stress* pada struktur model 2- 1 (kiri), model 2-2 (kanan), model 2-2 (bawah)

Tabel 4: Perbandingan Tegangan dan Displacement yang terjadi akibat concentrated load pada struktur model 2

Type	A opening (mm^2)	A ot (mm^2)	Von Mises	Displacement (mm)	S33 (N/mm^2)		S23 (N/mm^2)	
					max	min	max	min
type 2-1	22693.5	295015.5	84.962	1.920	43.280	-51.720	47.140	-20.190
type 2-2	34040.25	374442.8	86.354	2.146	48.620	-47.560	49.600	-14.590
type 2-3	43117.65	301823.6	117.094	2.096	91.380	-85.420	46.100	-22.310

Tabel 5: Hasil Analisa Vierendeel Mechanism based on Soltani, et al

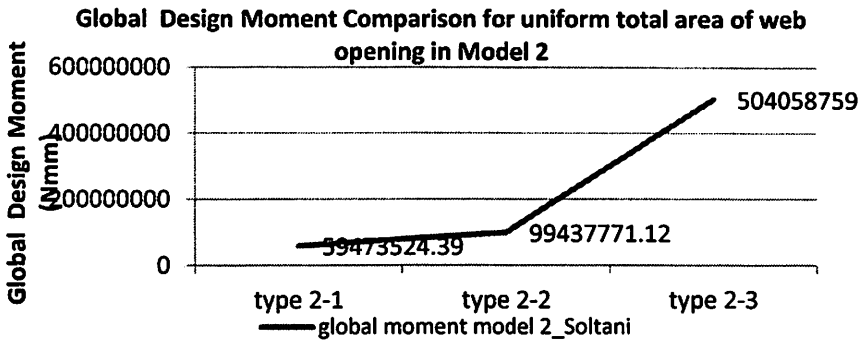


Gambar 12: Perbandingan Total Resistance to the local Vierendeel Bending (M_{vrd})

ISBN 978-979-99327-8-5

Tabel 6: Hasil Analisa Web Post Buckling based on Soltani, et al

Type	V_{Ni} (N)	M_{sd} (Nmm)	$M_{sd,Rd}$ (Nmm)	α	β	C1	C2	C3	$M_{sd}/M_{sd,Rd}$	C1.α	C2.$α^2$	C3. 0,6	Min	Condition of Web-post Buckling
type 2-1	580229.5062	59473524.39	2311375	1.08					25.731	8.787	3.291		3.194	Web post buckling was occur
type 2-2	970124.5963	99437771.12	5200593.75	1.33	37.27	8.14	2.82	5.32	19.120	10.821	4.991	3.194	3.194	Web post buckling was occur
type 2-3	4917646.429	504058759	9245500	1.58					54.519	12.856	7.044		3.194	Web post buckling was occur



Gambar 13: Perbandingan Total Resistance to the local Vierendeel Bending (M_{vrd})

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian 2 model struktur dengan tiga tipe yang berbeda (6 spesimen), dapat disimpulkan bahwa:

- Ditinjau dari *eigen-value buckling analysis* pada struktur model 1, tipe 1 menghasilkan defleksi sebesar 1.23 mm, tipe 2 sebesar 1.248 mm dan tipe 3 sebesar 1.284 mm.
- Ditinjau dari *static general analysis* pada struktur model 2, tipe 1 menghasilkan *von mises stress* sebesar 84.962, tipe 2 sebesar 86.354 dan tipe 3 sebesar 117.094. Untuk *displacement* pada struktur model 1 tipe 1 adalah 1.92 mm, tipe 2 adalah 2.146 mm dan tipe 3 adalah 2.096 mm.
- Persentase luasan *web opening* berbanding lurus dengan defleksi dan tegangan yang terjadi akibat *distributed load* maupun *concentrated load.* Semakin besar persentase luasan *web opening* dimana *length of castellated tee* semakin panjang, defleksi/ displacement dan tegangan yang terjadi kan semakin besar.
- Dengan analisa Web Post buckling dan vierendeel mechanism dari Soltani et al, struktur model 1 telah mengalami dua kegagalan tersebut dan dapat diketahui bahwa semakin kecil persentase luasan *web opening,* efek kegagalan *web post buckling* dan *vierendeel mechanism* semakin kecil, sedangkan semakin besar persentase luasan *web opening,* efek kegagalan *web post buckling* dan *vierendeel mechanism* semakin besar.

6. DAFTAR PUSTAKA

1. J. P. Boyer, (1964) *Castellated Beams - New Development.* The AISC National Engineering Conference, Omaha, Nebr.
2. Knowles, P.R, (1991) *Castellated Beams. Proc.* Instn Civ Engrs, Part 1, 90 (1991) 521-536.
3. Bake Mohamadi dan Siamak, (2010) *Behaviour of Cellular Beams and Cellular Composite Floors at Ambient and Elevated Temperatures.* Tesis, The University of Manchester, Manchester, UK.
4. http:/www.grunbauer.nl/eng/inhoud.htm
5. Altifillisch, M.D., Cooke, B.R., dan Toprac, A.A., (1957). *An investigation of Open Web Expanded Beams.* Welding Research Council Bulletin, Series No.47. pp 77s-88s.
6. Zaarour dan Redwood, (1996) *Web Buckling in Thin Webbed Castellated Beams.* J. Struct. Engrg, ASCE 122(8) 860-866.
7. Toprac, A.A., dan Cooke, B.R, (1959) *An Experimental Iinvestigation of Open-Web Beams.* Welding Research Council Bulletin, New York. Series No.47, pp 1 - 10.
8. Aglan. A.A., dan Redwood, R.G, (1974) *Web Buckling in Castellated Beams.* Proc. Instn. Civ. Engrs, London, U.K., Part 2, Vol. 57, pp 307-320.
9. M.R. Soltani, A. Bouchaiir, M. Mimoune, (2012), *"Nonlinear FE analysis of the ultimate behavior of steel castellated beams",* International Journal of Constructional Steel Research 70 (2012) 101-114.
10. Tsavdaridis, K. D. & D'Mello, C.(2011), "Finite Element Modelling Techniques For Web-Post Buckling Response Perforated Steel Beams with Closely Spaced Web Opening of Various Shapes", School of Engineering and Mathematical Science, City University, London.

" Halaman ini sengaja dikosongkan "

ISBN 978-979-99327-8-5

PERILAKU FISIK LUMPUR SIDOARJO SEBAGAI BAHAN DASAR *ALWA* DAN BETON RINGAN DENGAN TAMBAHAN LIMBAH GYPSUM DAN FOAM

Nanin M.Utami[1], Winda A.Septiawardani[2], Januarti J.Ekaputri.[3], Triwulan[4]

[1]*Mahasiswa Program Pascasarjana Teknik Struktur FTSP ITS, email: civil_nanin@yahoo.co.id*
[2]*Mahasiswa Program Sarjana Teknik Sipil FTSP ITS, email: winda_94632@yahoo.com*
[3]*Dosen Jurusan Teknik Sipil FTSP, ITS, Kampus ITS Sukolilo Surabaya, Telp 031-5946094, email: januarti@ce.its.ac.id*
[4]*Dosen Jurusan Teknik Sipil FTSP, ITS, Kampus ITS Sukolilo Surabaya, Telp 031-5946710, email: triwulan@ce.its.ac.id*

ABSTRAK

Berdasarkan penelitian dan karakteristiknya, lumpur Sidoarjo berpotensi dijadikan sebagai agregat ringan buatan (*Alwa*). Saat ini penggunaan agregat ringan pada beton ringan dalam industri konstruksi terus meningkat karena menawarkan keuntungan fungsional dan ekonomis untuk proyek terutama bangunan rumah. Rongga dan pori-pori pada agregat meningkatkan sifat isolasi termal dan akustik

Pada penelitian ini lumpur bakar Sidoarjo digunakan sebagai pasta ringan dengan menambahkan OPC, kapur, limbah gypsum dan foam sebagai pengembangnya. Pasta tersebut ditambahkan pasir untuk dijadikan mortar ringan. Selanjutnya, akan dikembangkan lumpur bakar sebagai agregat ringan buatan pengganti pasir pada mortar ringan. Lumpur dibakar pada suhu 800°C selama 120 menit dengan menambahkan 50% fly ash sebagai material penstabil. Metode yang digunakan untuk perawatan beton ringan adalah dengan *steam curing*.

. Pasta dengan komposisi tambahan 0,5% gypsum menghasilkan kuat tekan 24,7MPa, pasta dengan komposisi tambahan 1,5% gypsum dan 1/40 foam kuat tekannya 1,17 MPa, dan mortar ringan dengan komposisi tambahan 0,5% gypsum, 1/50 foam dan campuran pasir 1: 2 memiliki kuat tekan 0,71 MPa. Berdasarkan hasil TGA agregat ringan buatan (alwa) memiliki suhu bakar optimum antara 800°C-1050°C, dan dari hasil uji berat jenis alwa memiliki nilai berat jenis curah 1,64 gr/cm^3.

Kata kunci : Lumpur Sidoarjo, *Alwa*, gypsum, foam

1. PENDAHULUAN

Beton ringan merupakan salah satu material ringan pembentuk struktur (Giri, dkk, 2008). Beton ringan lebih banyak menggunakan agregat ringan daripada agregat alam karena memiliki banyak keuntungan, seperti sifatnya lebih ringan, konduksi panas yang lebih rendah serta berdurabilitas (Roy, 1995). Berdasarkan penelitian dan karakteristiknya, lumpur Sidoarjo berpotensi dijadikan sebagai agregat ringan buatan (*Alwa*). Berbagai penelitian juga telah dilakukan oleh para ahli terhadap lumpur Sidoarjo dalam upaya pemanfaatannya. Tujuannya adalah untuk mengurangi volume luapan lumpur Sidoarjo. Penelitian tersebut diantaranya mengenai pemanfataan lumpur Sidoarjo untuk bahan bangunan seperti genteng, paving block, dan grassblock.

Berdasarkan hasil uji coba yang dilakukan dalam skala laboratorium, bahwa Lumpur Sidoarjo dapat dimanfaatkan menjadi beton ringan dengan penambahan bahan seperti pasir, semen, foam polysterin, dan air (Fyzingsa, 2008). Material Lumpur Sidoarjo ini memiliki dua fungsi antara lain sebagai filler bila tidak dicampur dengan bahan kimia lain atau sebagai binder karena memiliki kandungan yang hampir sama

dengan semen portland bila dicampur dengan kapur atau bahan sejenisnya (Sidqon, 2008).

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui perilaku fisik lumpur Sidoarjo yang digunakan sebagai agregat ringan buatan dan pada mortar ringan dengan pasta berbahan dasar lumpur Sidoarjo dengan menambahkan OPC, kapur, limbah gypsum dan foam. Informasi mengenai perilaku fisik dari lumpur Sidoarjo sangat berguna bagi masyarakat luas yang akan menggunakan beton ringan berbahan dasar lumpur Sidoarjo. Selanjutnya, akan dikembangkan lumpur bakar sebagai agregat ringan buatan pengganti pasir pada mortar ringan. Lumpur dibakar pada suhu 800°C selama 120 menit dengan menambahkan 50% fly ash sebagai material penstabil.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. LUMPUR SIDOARJO

Lumpur Sidoarjo (LUSI), merupakan bahan material yang dikeluarkan dari dalam bumi akibat kegagalan teknis dalam pengeboran (eksplorasi) migas di Porong Sidoarjo. Material tersebut dapat dikategorikan sebagai produk erupsi *mud volcano* yang bisa terjadi di suatu kegiatan pengeboran khususnya di wilayah tatanan geologi yang kompleks. Bahan ini berbentuk butiran halus, berwarna abu-abu kehitaman, sangat plastis, dan memiliki nilai susut kering yang tinggi. Unsur kimia yang terkandung didominasi oleh silika (>50%), alumina (26%), dan beberapa unsur lain seperti besi, kalsium dan magnesium dengan jumlah yang relatif kecil (Lasino, 2007). Untuk mengembangkan lumpur sebagai agregat buatan maka perlu adanya pemeriksaan mengenai sifat-sifat dasar yang dimaksudkan untuk mengetahui sifat-sifat fisis, mekanis dan kimia. Menurut Lasino (2007) secara fisis, lumpur sidoarjo sangat halus, plastis dan memiliki penyusutan yang tinggi, dalam pemanfaatan lumpur sebagai agregat buatan kondisi ini menyebabkan hasil yang diperoleh dalam produksi agregat akan mengalami kerusakan baik dalam tahap pengeringan maupun pembakaran sehingga tidak memenuhi persyaratan. Oleh karenanya perlu bahan tambahan sebagai penstabil dari bahan yang memiliki kadar silika tinggi misalnya fly ash untuk mendapatkan produk yang stabil, kuat dan presisi. Selain menguji sifat fisis, Lasino juga meninjau kandungan kimia yang terdapat dalam Lumpur Sidoarjo. Unsur-unsur yang terkandung seperti tercantum pada tabel 2.1.

Tabel 1: Kandungan Lumpur Sidoarjo

No	Unsur	Hasil Uji (%)
1	SiO2	52.79
2	Al2O3	26.35
3	Fe2O3	8.51
4	CaO	1.97
5	MgO	2.53
6	K2O	2.86
7	Ne2O3	2.06
8	SO3	0.98
9	HP	1.92

(Sumber: Penelitian pemanfaatan Lumpur Sidoarjo untuk Agregat Ringan Buatan; Lasino, 2007)

Nuruddin pada penelitiannya 'Lumpur Sidoarjo berpotensi sebagai pengganti semen" (2010) menyebutkan lumpur memiliki unsur-unsur yang sama dengan

komposisi kimia pozolan. Karakteristik alaminya mengandung SiO_2 yang dapat dikategorikan sebagai material pengganti semen. Pada hasil penelitiannya menunjukkan bahwa lumpur dapat digunakan sebagai material yang bersifat semen dengan menggantikan *Ordinary Pozzoland Cement (OPC)* 10%. Bubuk pozolan dihasilkan dengan cara dibakar pada suhu 600^0 C selama 1 jam menggunakan alat furnis elektris. Lumpur Sidoarjo dapat meningkatkan kuat tekan, integritas, dan mampu mengurangi porositas dari mortar. Meskipun demikian, pengaruh porositas dan integritas kecil bila dibandingkan dengan kuat tekannya (Nuruddin, 2010).

2.2. TEKNOLOGI PERAWATAN BETON

Perawatan dilakukan minimal 7 hari agar beton tidak mengalami gangguan seperti keretakan karena kehilangan air yang terlalu cepat (Tri Mulyono, 2004). Berbagai metode yang dapat dilakukan untuk perawatan beton (Taylor, 1977):

1. Perawatan dengan pembasahan
2. Perawatan dengan membran
3. Perawatan dengan penguapan (steam)
   a. Penguapan bertekanan rendah
   b. Penguapan dengan suhu tinggi
4. Perawatan uap bertekanan tinggi (*High-Pressure Steam Curing*)
   Dilakukan dengan meletakkan beton pada mesin silinder baja *autoclave*.

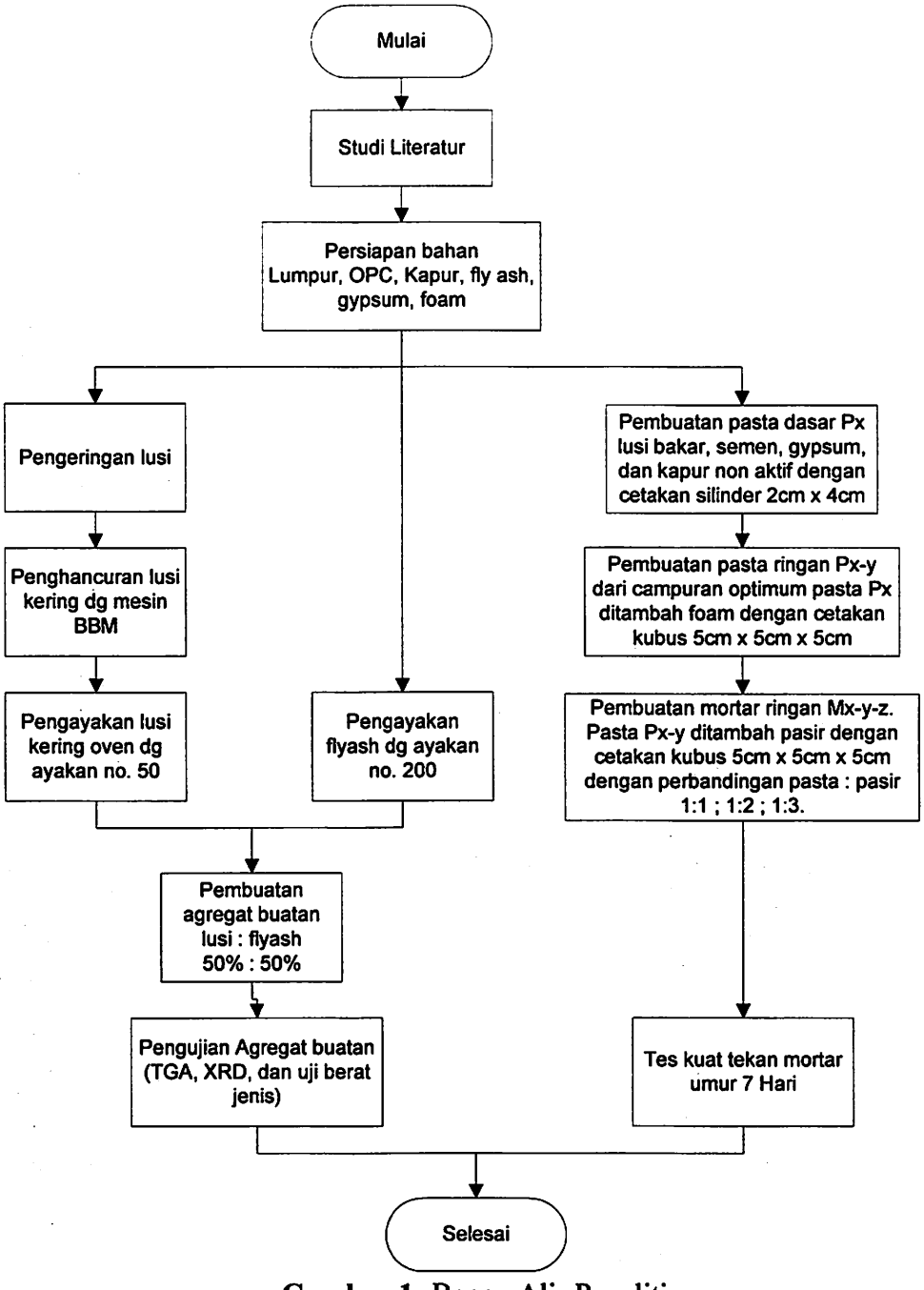
2.3. AGREGAT RINGAN BUATAN

Terminologi ASTM C.125 mendefinisikan bahwa agregat ringan adalah agregat yang digunakan untuk menghasilkan beton ringan meliputi batu apung, scoria, vulkanik ciinder, tuff, diatome, shele, perlite, vermicullite, atau slag atau batu bara dan hasil residu pembakarannya. (Trimulyono, 2004)

Agregat ringan dapat berasal dari alam dapat juga buatan atau yang biasa dikenal dengan ALWA *(Artificial Lightweight Aggregates)*. Agregat ringan buatan merupakan hasil pengolahan bahan baku menjadi bahan buatan dengan ukuran tertentu, ringan, keras, dan dapat digunakan sebagai agregat dalam pembuatan beton ringan (Lasino,2007). Pada sekitar akhir abad 19, seiring denngan berkembangnya beton bertulang, dan mulai jarangnya ketersediaan agregat alam, maka penelitian mengenai agregat ringan buatan mulai berkembang. Agregat dengan kepadatan partikel kurang dari 2000 kg/m^3 merupakan agregat ringan (Clarke, 1993).

3. METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi penelitian yang digunakan adalah eksperimental dengan melakukan percobaan di laboratorium dari berbagai variabel dan benda uji. Percobaan laboratorium terdapat dua tahapan, tahap pertama percobaan mendapatkan komposisi limbah gypsum optimum (Px), pasta ringan (Px-y) untuk mendapatkan *foam* optimum, dan mortar ringan (Mx-y-z) untuk mendapatkan komposisi pasir optimum. Setelah mendapatkan kondisi optimum, maka percobaan tahap kedua dicoba menggantikan pasir dengan agregat ringan buatan (*ALWA*) berbahan dasar lumpur Sidoarjo dengan menambahkan fly ash sebagai material penstabil 50% dari berat total.



Gambar 1: Bagan Alir Penelitian

Uraian kegiatan laboratorium ini meliputi:

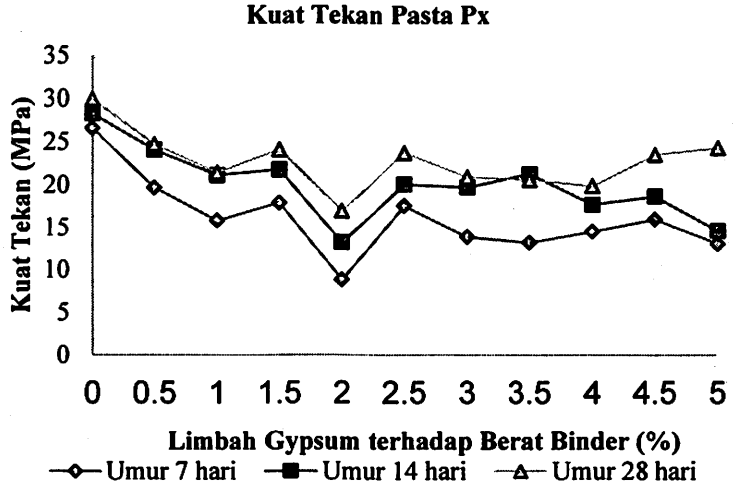
1. Pembuatan Pasta Px (ASTM C109/C 109M-02)
   Pasta Px adalah pasta dasar yang terdiri dari campuran lumpur bakar Sidoarjo, semen, limbah gypsum, dan kapur non aktif. Pembuatannya menggunakan metode konvensional dengan berbagai proporsi yang berbeda sehinga didapatkan hasil yang optimum, dalam hal ini untuk menentukan campuran yang sesuai antara bahan dasar lusi bakar dengan limbah gypsum.Variabel x merupakan prosentase limbah gypsum dari berat total binder. Pengujian kuat tekan pasta Px dilakukan ketika benda uji berumur 7,14, dan 28 hari.

2. Pembuatan Pasta Ringan Px-y (ASTM C 109/C 109M-02)
   Pasta ringan Px-y adalah pasta ringan yang terdiri dari campuran pasta Px dan *foam.*Pembuatan pasta ringan Px-y dilakukan untuk mendapatkan campuran yang cocok antara pasta Px dan *foam.* Tes kuat tekan dilakukan setelah pasta ringan berumur 7 hari.
3. Pembuatan Mortar Ringan Mx-y-z
   Setelah mendapatkan campuran yang optimum dari pasta Px-y, selanjutnya dibuat mortar ringan dengan menambahkan pasir dengan perbandingan yang digunakan antara binder : pasir adalah 1:1 dengan 70% air dari total binder; 1:2 dengan 80% air dari total binder ; dan 1:3 dengan 90% air dari total berat binder. Kemudian dilakukan *steam curing* dengan suhu 80°C selama 3 jam sebagai perawatan mortar. Setelah berumur 7 hari dilakukan pengujian kuat tekan mortar sebanyak 3 buah benda uji.
4. Pembuatan agregat ringan buatan berbahan dasar lumpur Sidoarjo
   Penggantian pasir oleh agregat ringan buatan bertujuan mendapatkan mortar yang benar-benar ringan. Bahan dasar pembuatnya adalah lumpur sidoarjo yang telah dikeringkan oven dan lolos ayakan no.50 dengan mencampurkan fly ash 50% dari berat totalnya. Kemudian dua material tersebut dicampur dengan air selanjutnya dituang ke dalam cetakan silinder 5/10. Cetakan dibuka setelah dua hari dan dikeringkan udara. Selanjutnya benda uji dibakar pada suhu 800°C selama ± 2 jam. Untuk mendapatkan agregat seperti halnya pasir, maka benda uji dihaluskan dan diayak dengan ayakan No. 50 dan tertahan ayakan No.100. Kemudian dilakukan pengujian berat jenis, uji TGA-DSC dan uji XRF terhadap butiran alwa.

4. HASIL PENELITIAN

A. HASIL PENGUJIAN PASTA Px

Tes kuat tekan hancur yang dilakukan terhadap 5 buah benda uji silinder ukuran 2cmx4cm pada umur 7,14, dan 28 hari dapat dilihat pada grafik berikut:

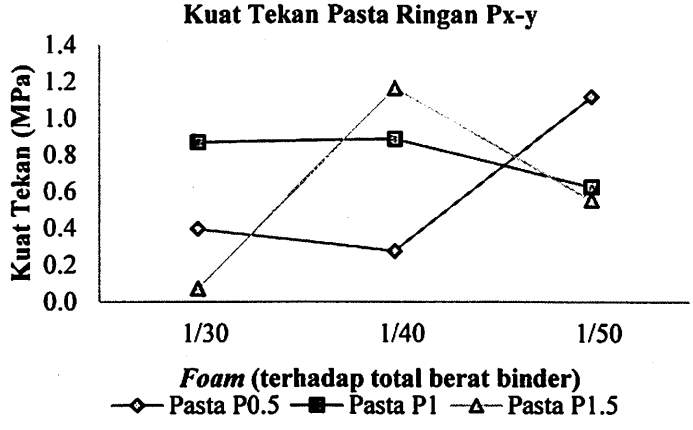


Gambar 2: Grafik kuat tekan Pasta Px terhadap prosentase limbah Gypsum

Setelah dilakukan pengetesan kuat tekan hancur pasta Px, diambil 3 campuran teroptimum untuk digunakan sebagai campuran pasta ringan Px-y dengan menambahkan *foam*. Penambahan Gypsum pada pasta Px cenderung menghasilkan kuat tekan yang seragam karena dengan penambahan limbah gypsum 0.5%-5% kuat tekan yang didapat tidak jauh berbeda.

B. HASIL PENGUJIAN PASTA Px-y

Tes kuat tekan hancur yang dilakukan terhadap 3 buah benda uji silinder ukuran 5cm x 5cm x 5cm pada umur 7 hari dapat dilihat pada grafik berikut:

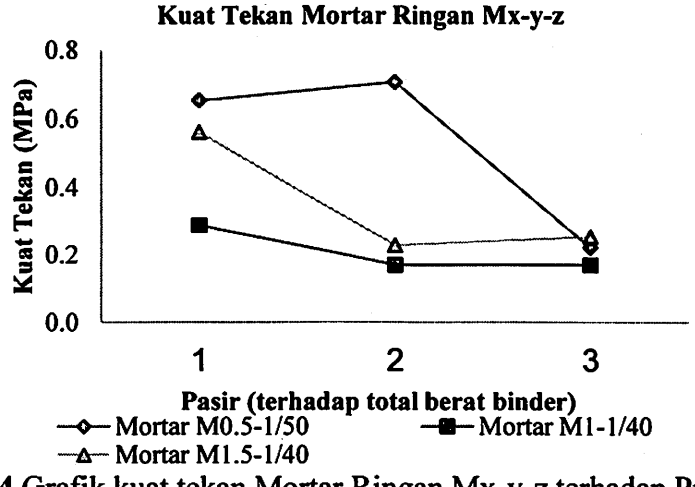


Gambar 3 Grafik kuat tekan Pasta Px-y terhadap prosentase Foam

Analisa: Gambar tersebut menunjukkan bahwa penambahan *foam* ke dalam campuran pasta Px membuat kuat tekan pasta ringan Px-y menjadi lebih rendah daripada kuat tekan pasta Px. Kuat tekan terendah pada campuran pasta ringan P1,5-1/30 sebesar 0,07 Mpa, sedangkan kuat tekan tetinggi pada campuran pasta ringan P1,5-1/40 sebesar 1,17 Mpa.

C. HASIL PENGUJIAN MORTAR RINGAN Mx-y-z

Tes kuat tekan hancur yang dilakukan terhadap 3 buah benda uji silinder ukuran 5cm x 5cm x 5cm pada umur 7 hari dapat dilihat pada grafik berikut:

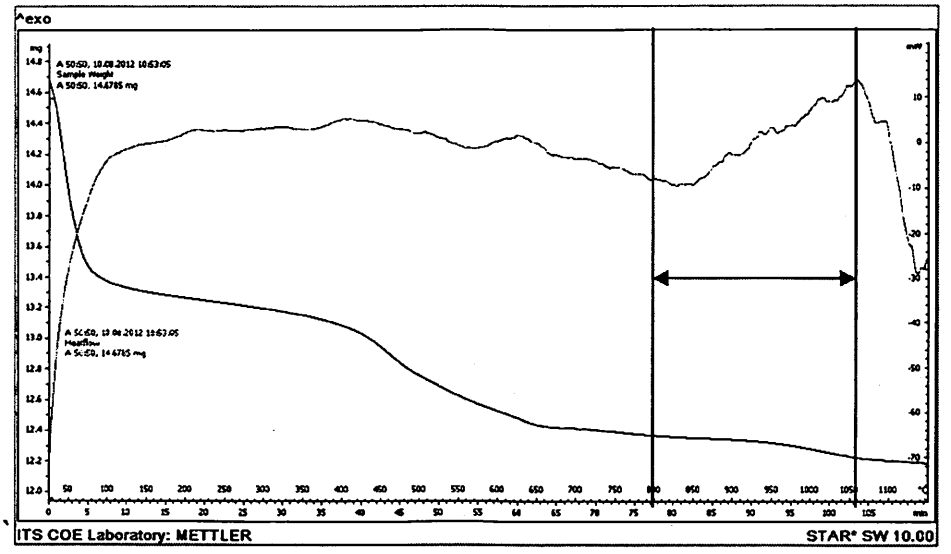


Gambar 4 Grafik kuat tekan Mortar Ringan Mx-y-z terhadap Prosentase Pasir

Analisa: Gambar tersebut menunjukkan bahwa penambahan pasir ke dalam campuran pasta ringan Px-y membuat kuat tekan mortar ringan Mx-y-z menjadi lebih rendah daripada kuat tekan pasta ringan Px-y. Penurunan kuat tekan pada mortar ringan ini dikarenakan filler yang terbentuk terlalu sedikit, sehingga tidak mengikat agregat dengan sempurna serta adanya partikel lumpur yang tidak ikut bereaksi menempel pada permukaan agregat sehingga pengikatan binder dan agregat menjadi tidak sempurna.

D. HASIL PENGUJIAN AGREGAT RINGAN BUATAN

Hasil pengujian TGA-DSC dari agregat ringan yang dibuat dari campuran lumpur Sidoarjo dengan menambahkan fly ash 50% dari berat total adalah sebagai berikut:



Gambar 5 Hasil Pengujian TGA-DSC lumpur:fly ash 50:50

Analisa: perubahan suhu tampak pada heat flow pada suhu terendah 800°C dan suhu tertinggi 1050°C. Interval suhu tersebut menunjukkan suhu optimum pembakaran alwa. Seiring dengan meningkatnya suhu, terjadi perubahan berat alwa relatif tidak besar.

E. HASIL PENGUJIAN BERAT JENIS

Dari hasil pengujian berat jenis agregat ringan buatan (alwa) lumpur:fly ash 50%:50% yang dilakukan di laboratorium didapatkan data sebagai berikut:

Tabel 2 : Data pengujian berat jenis

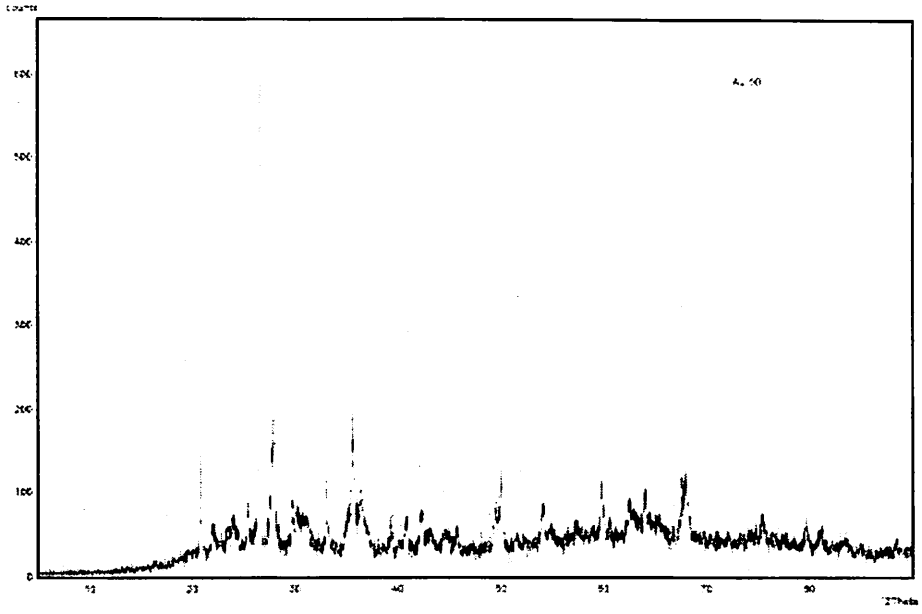
Keterangan	Berat (gram)
Berat labu+air+agregat (Bt)	785
Berat labu	165
Berat agregat ringan	250
Agregat kering oven (Bk)	205
Berat labu + air penuh (B)	660

Analisa:

Berat jenis curah	= Bk/(B+250-Bt)	= 1,64 gr/cm^3
Berat jenis SSD	= 250/(B+250-Bt)	= 2 gr/cm^3
Berat jenis semu	= Bk/(B+Bk-Bt)	= 2,33 gr/cm^3
Penyerapan	= (250-Bk/Bk)x100%	= 18%

F. HASIL PENGUJIAN XRD

Gambar berikut ini merupakan hasil pengujian XRD agregat ringan buatan (alwa) lumpur:fly ash 50%:50%:



Gambar 6: Hasil Pengujian XRD lumpur:fly ash 50:50

5. KESIMPULAN DAN REKOMENDASI

5.1. KESIMPULAN

1. Kuat tekan optimum pasta Px terdapat pada komposisi pasta P0,5 dengan prosentase semen : kapur non aktif : lusi bakar : limbah gypsum 10% : 25% : 64,5% : 0,5% sebesar 24,70 Mpa. Penambahan limbah gypsum pada campuran pasta Px cenderung memiliki hasil kuat tekan dan berat jenis yang seragam.
2. Kuat tekan optimum pasta Px-y terdapat pada komposisi pasta ringan P1,5-1/40 dengan prosentase semen : kapur non aktif : lusi bakar : limbah gypsum : *foam* 10% : 25% : 63,5% : 1,5% : 1/40 sebesar 1,17Mpa. Hasil ini berbeda sangat jauh dengan kuat tekan pasta Px dikarenakan adanya penambahan *foam*, sehingga terdapat rongga udara di dalam pasta yang menjadikan kuat tekan rendah. Penggunaan *foam* mengakibatkan penurunan kuat tekan dan berat jenis pasta ringan Px-y.

3. Kuat tekan optimum mortar Mx-y-z terdapat pada komposisi mortar ringan M0,5-1/50-2 dengan prosentase P0,5-1/50 : pasir 1 : 2 sebesar 0,71 Mpa. Kuat tekan yang rendah dikarenakan adanya penambahan pasir yang mengakibatkan jumlah pori terbuka yang meningkat sehingga kuat tekan menjadi rendah.
4. Seluruh sampel pada pasta Px, pasta ringan Px-y, dan mortar ringan Mx-y-z telah memenuhi syarat sebagai beton ringan, dengan berat jenis lebih rendah dari 1800kg/cm. Berat jenis dari P0,5, P1,5-1/40, dan M0,5-1/50-2 berturut-turut adalah 1738,62 kg/m3 , 1032,00 , dan 1358,93.
5. Berdasarkan uji TGA, suhu optimum pembakaran alwa berkisar antara 800°C - 1050°C. Namun pada penelitian ini baru dicoba dilakukan pembakaran dengan suhu 800°C.
6. Dari hasil pengujian berat jenis dari alwa lumpur:fly ash 50%:50% , berat jenis curah 1,64 gr/cm^3, Berat jenis SSD 2 gr/cm^3, Berat jenis semu 2,33 gr/cm^3 dan daya serap alwa 18%.

5.2. REKOMENDASI

1. Perlu adanya kontrol dalam penggunaan *foam* dan juga perlu dilakukan trial terhadap komposisi *foam* pada beton ringan berbahan dasar lumpur bakar Sidoarjo agar didapat kuat tekan yang lebih tinggi.
2. Penelitian selanjutnya sangat penting dilakukan guna mengembangkan penelitian ini, mengingat hasil pada penelitian ini telah memenuhi syarat sebagai beton ringan.
3. Perlu dilakukan penelitian selanjutnya mengenai alwa dengan menggunakan suhu pembakaran 800°C - 1050°C.

6. DAFTAR PUSTAKA

1. Bardhan Roy, B. K. 1995. *"Lightweight Aggregate Concrete in UK,"* Norway. *International* Symposium on Structural Lightweight Aggregate Concrete.
2. Clarke, J.L. 1993. *Structural Lightweight Aggregate Concrete.* Hong Kong: *Chapmann* & Hall.
3. Fyzingsa, Dekarius Wiyan. 2008. *Pembuatan Beton Ringan dengan Penambahan Lumpur Lapindo dan Agregat Ringan Buatan Berupa Polysterin.* Surabaya: ITS.
4. Lasino. 2007. *Penelitian Pemanfaatan Lumpur Sidoarjo untuk Agregat Buatan. Bandung*: Pusat Litbang Permukiman.
5. Mulyono, Tri. 2004. *Teknologi Beton.* Yogyakarta: Andi.
6. Nuruddin. 2010. *Sidoarjo Mud: A Potential Cement Replacment Material.* vol. 12 No.1, Journal Civil Engineering Dimension.
7. Sid'qon, Hamzah. 2008. *Pemanfaatan Material Lumpur Sidoarjo sebagai Interblok Perkerasan Lentur Jalan.* Surabaya: ITS.

" Halaman ini sengaja dikosongkan "

ISBN 978-979-99327-8-5

REKAYASA STRUKTUR PENINGGIAN STACK BAJA BANGUNAN INDUSTRI
(Studi Kasus Stack Raw Mill Pabrik Semen Gresik di Tuban)

Djoko Irawan [1], Ibnu Pudji Rahardjo [2], Chomaedhi [3]

[1] *Dosen Jurusan Teknik Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Kampus ITS Sukolilo Surabaya.*
[2] *Dosen Diploma 3 Jurusan Teknik Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Kampus ITS Manyar Surabaya.*
[3] *Dosen Diploma 3 Jurusan Teknik Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Kampus ITS Manyar Surabaya.*

ABSTRAK

Untuk memenuhi persyaratan Lingkungan, suatu perusahaan industri kadang kala diwajibkan melakukan peninggian Stack sampai ketinggian tertentu sesuai dengan studi Amdal yang ada. Untuk merubah ketinggian sebuat stack perusahaan industri akan dihadapkan pilihan untuk membongkar dan mengganti dengan yang baru yang tentunya akan membutuhkan biaya mahal dan waktu yang cukup lama atau merenovasi yang lama dengan menambah ketinggian sampai pada elevasi yang diinginkan dengan berbagai cara modifikasi dan perkuatan.
Dalam tulisan ini akan dibahas hasil studi kasus peninggian dua buah Stack di Pabrik Semen gresik di Tuban yang harus memenuhi persyaratan lingkungan. Stack yang dimaksud adalah Stack Raw Mill dari 56 meter menjadi 69.25 meter.
Studi kasus yang dilakukan ini sangat mempertimbangkan biaya, sehingga modifikasi dan perkuatan harus dilakukan seefisien mungkin sehingga hasil modifikasi dapat memberikan biaya yang murah namun masih tetap kokoh dan berfungsi.
Beberapa studi alternatif modifikasi juga ditunjukkan dalam tulisan ini, sehingga akan diketahui beberapa perbedaannya.
Perlu diketahui pula bahwa beban dominan yang sangat berpengaruh dalam studi kasus ini adalah beban angin yang direncanakan berdasarkan Uniform Building Code (UBC) 1991 yang memang terlihat lebih wajar karena besarnya beban bervariasi tergantung elevasi ketinggiannya. Disamping itu pula bahwa beban temperatur merupakan beban dominan yang juga sangat berpengaruh, karena temperatur Stack yang sangat tinggi sangat mempengaruhi besarnya tegangan pada elemen – elemen strukturnya.

Kata Kunci : Peninggian, Stack, Raw Mill.

1. PENDAHULUAN

Stack adalah suatu bagian dari bangunan indurstri yang sangat penting, karena Stack merupakan bagian dari bangunan yang melokalisir asap pembuangan dari proses produksi sebuah pabrik. Asap pembuangan tersebut mengandung unsur - unsur kimia yang akan mengganggu kesehatan manusia. Oleh karena itu ketinggian Stack harus direncanakan sedemikian rupa sehingga tidak mengganggu kesehatan manusia yang berada di sekelilingnya.
Ketinggian Stack biasanya ditentukan berdasarkan peraturan daerah yang mengacu pada hasil Studi Amdal di kawasan industri yang bersangkutan. Dengan berkembangnya penggunaan wilayah industri dan permukiman di suatu kawasan, maka ketinggian Stack bisa berubah sesuai dengan perkembangan tersebut.
Oleh karena itu dalam tulisan ini akan dibahas tentang studi kasus hasil studi kasus peninggian dua buah Stack di Pabrik Semen gresik di Tuban yang harus memenuhi

persyaratan lingkungan. Stack yang dimaksud adalah Stack Raw Mill dari 56 meter menjadi 69.25 meter.
Studi kasus yang dilakukan ini sangat mempertimbangkan biaya, sehingga modifikasi dan perkuatan harus dilakukan seefisien mungkin sehingga hasil modifikasi dapat memberikan biaya yang murah namun masih tetap kokoh dan berfungsi.

2. LINGKUP PEMBAHASAN

Lingkup pembahasan dalam tulisan ini terbatas pada studi kasus peninggian Stack Pabrik Semen Gresik di Tuban yang berupa Peninggian Stack Raw Mill dengan ketinggian 56 m menjadi 69.25 m.

3. STUDI PUSTAKA

3.1. Pengertian Stack

Stack adalah merupakan bangunan yang menyalurkan gas panas dari proses industri. Bangunan tersebut mempunyai kemampuan berdiri sendiri, sehingga seharusnya tidak memerlukan perkuatan.
Untuk dapat merencanakan Stack dengan baik, maka perlu dipertimbangkan hal – hal sebagai berikut :

1. Tinggi dan Diameter Stack yang diinginkan sesuai aturan daerah.
2. Temperatur gas panas yang lewat dalam Stack
3. Komposisi gas yang ada
4. Temperatur gas yang lewat
5. Tekanan atmosphare udara diukur dari permukaan laut

3.2. Jenis Beban

Beban yang diperhitungkan dalam perencanaan Stack adalah :

- **Beban Mati** yng diperhitungkan adalah beratnya sendiri serta berat komponen2 pelengkap yang menempel pada struktur Stack.
- **Beban angin**, yang diperhitungkan berdasarkan UBC 1991, dimana besarnya beban sangat tergantung dari ketinggian Stack dengan perhitungan sebagai berikut :

  P = Ce.Cq.QI
  P = Design Wind Pressure
  Ce = Combined Height, Exposure and Gust Factor Coefficient.
  Cq = Pressure Coefficient
  I = Importance Factor
  Q = Kecepatan Angin

  Beban Gempa, berdasarkan zona gempa dimana stack didirikan. Untuk daerah Tuban, zona gemba diambil zona 2

  Beban temperatur, yang bekerja di struktur stack harus didasarkan panas yang benar-benar terjadi pada struktur stack.

4. KRITERIA REKAYASA

Dalam melakukan studi ini ada beberapa pembatasan dan asumsi yang diikuti antara lain :

4.1. Material dan Mutu

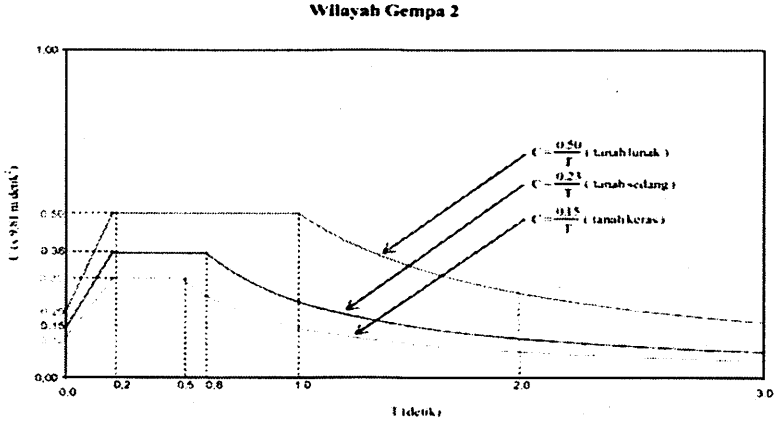
Material yang digunakan adalah material baja dengan mutu sebagai berikut :

- Berat Jenis : 7850 kg/m3
- Mutu Baja ; BJ37
- Baut : A-325

4.2. Pembebanan

Beban yang diperhitungkan dalam rekyasa ini sudah mengikuti persyaratan yang ada sesuai dengan lokasi dan kondisi operasional yang terjadi. Adapun beban – beban tersebut adalah sebagai berikut :

1. **Beban tetap,** sesuai dengan berat volume dan dimensi Stack.
2. **Beban Angin** , ditinjau secara statik dan diambil sesuai ketentuan di UBC (tabel 23-F, berdasarkan ketinggiannya). Kemudian Pressure Coefficient diambil 0.8 sedangkan Faktor kepentingan bangunan diambil 1.15.
   Untuk Kecepatan angin (V) diambil 120 km/jam.
3. **Beban Gempa,** Peninjauan beban gempa pada perencanaan *Struktur Stack* ini ditinjau secara analisis dinamis 3 dimensi. Fungsi *response spectrum* ditetapkan sesuai peta wilayah gempa untuk daerah Tuban adalah wilayah gempa 2 sebagaimana ketentuan dalam SNI 03-1726-2002 serta mempertimbangkan kondisi tanah di lokasi rencana *Struktur Stack* ini, yaitu tanah ***Lunak***.
   Adapun Respons Spektrum yang digunakan adalah sebgai berikut :



Gambar 1, Respons Spectrum

   Adapun jenis tanahnya diambil jenis tanah lunak.
4. **Beban Temperatur,** diambil berdasarkan informasi dari PT. Semen Gresik yaitu bahwa panas yang terjadi sebesar 190° C
5. **Kombinasi Pembebanan,** diambil sebagai berikut:
   1 DL + 1 Wx + 1 TEMP
   1 DL + 1 Wy + 1 TEMP
   1 DL + 1 TEMP + 1 Ex + 0.3 Ey
   1 DL + 1 TEMP + 0.3 Ex + 1 Ey
   <u>dimana:</u>
   DL = Dead Load (Beban Mati Stack, Rangka Baja, Plat form dan Tangga)
   LL = Live Load (Beban Hidup)
   E = Earth Quake Load (Beban Gempa)

W = Wind Load (Beban Angin)
TEMP = Beban akibat Temperatur

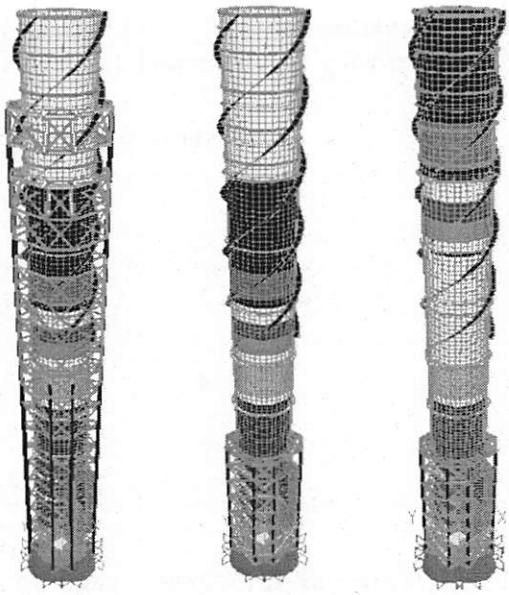
5. KONSEP REKAYASA

Rekayasa peninggian Stack akan dilakukandengan beberapa alternatif yaitu sebagai berikut :

Alternatif 1, adalah peninggian dilakukan dengan tidak mengganggu struktur eksisting, tetapi memberikan struktur secara terpisah, namun hubungan dengan struktur eksisting digunakan penghubung yang fleksibel seperti yang diperlihatkan pada Gbr. 5.1a.

Alternatif 2, adalah dengan memotong bagian atas yang terabrasi, kemudian disambung dengan struktur stack yang baru sampai mencapai ketinggian yang dikehendaki, seperti yang diperlihatkan pada Gbr. 5.1b.

Alternatif 3, adalah dengan memotong struktur stack bagian atas yang terabrasi yang nantinya akan dipasang lagi pada segmen bagian paling atas, sedangkan segmen dibawahnya akan disambung dengan struktur stack yang baru seperti yang diperlihatkan pada Gbr. 5.1c.



Gambar 2, Beberapa Alternatif Rekayasa Perkuatan Stack

6. METODOLOGI

Metodologi yang dilakukan dalam rekayasa ini adalah sebagai berikut :

6.1.Peraturan yang digunakan

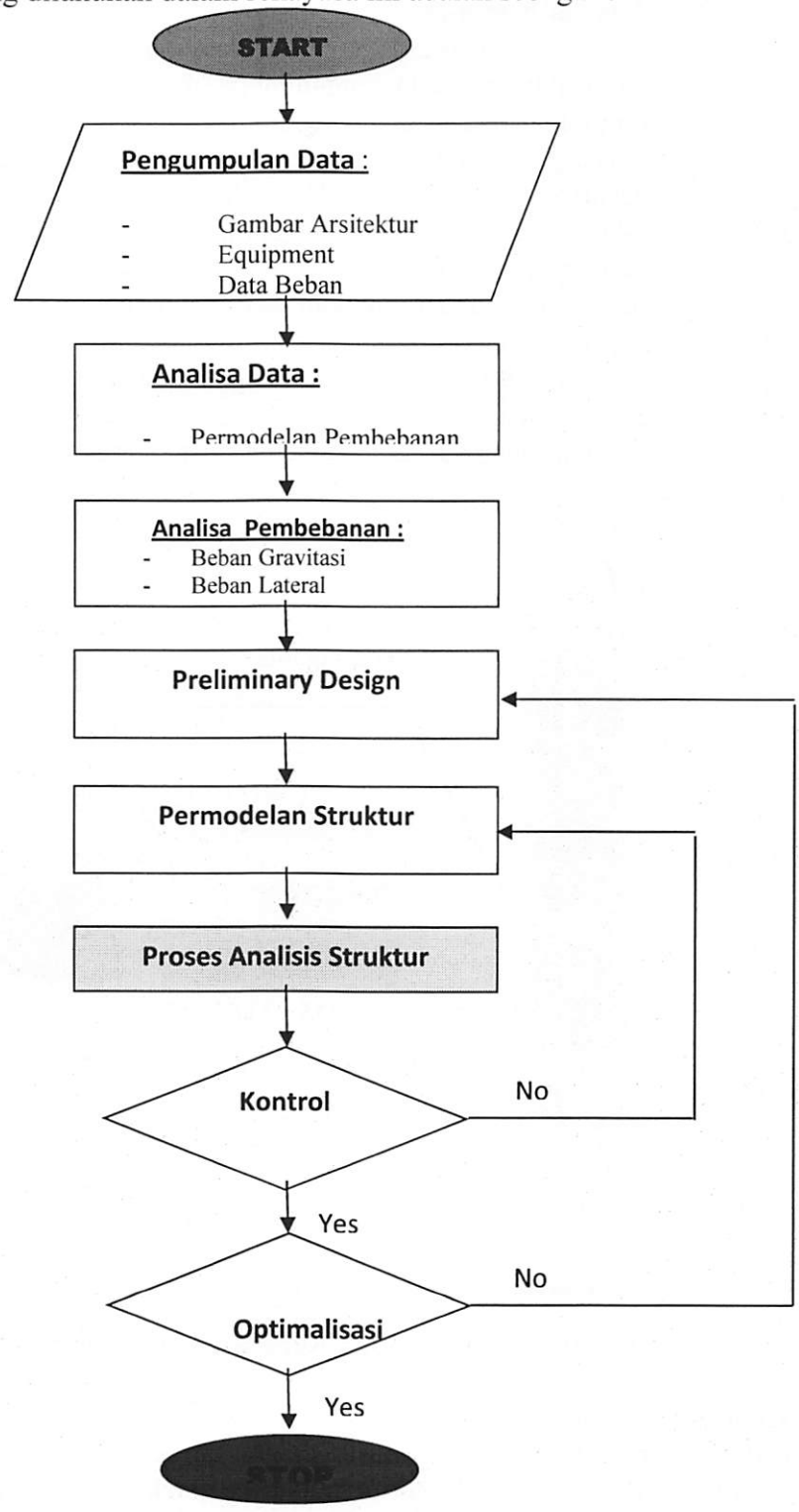
1. SNI 03 - 1729 - 2002
2. UBC – 1991
3. SNI 03 - 1726 - 2002

6.2. Perangkat Lunak yang Digunakan

Perangkat lunak yang digunakan dalam analisis rekayasa ini adalah program SAP 2000 – v.14.2.

6.3. Tahapan Pengerjaan

Adapun tahapan yang dilakukan dalam rekayasa ini adalah sebagai berikut :



Gambar 3, Diagram Alir

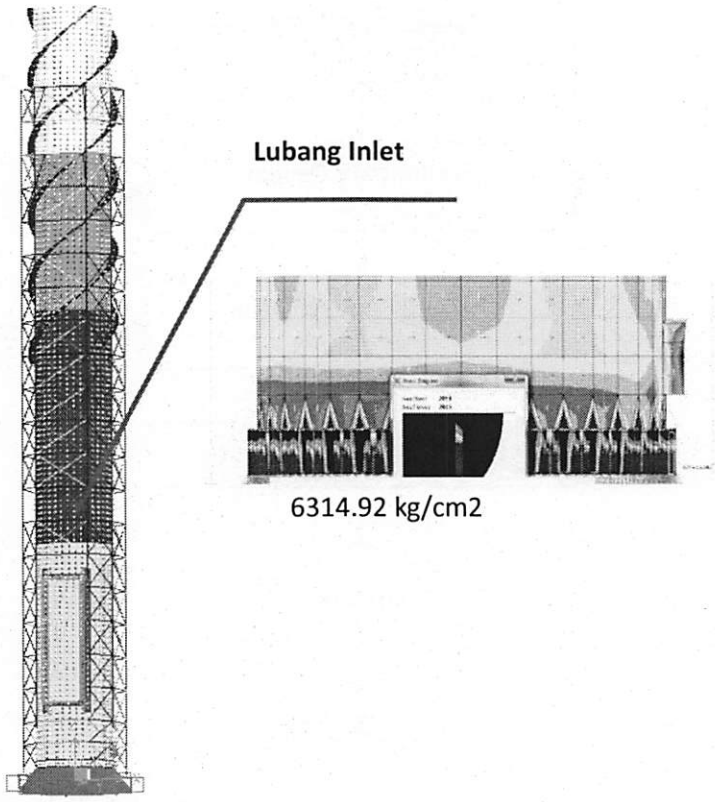
7. PROSES ANALISIS STRUKTUR

7.1. Analisis Rekayasa Pertama

Pada tahap awal analisis rekayasa dilakukan dalam rangka merealisasikan alternatif rekayasa yang pertama **(Alternatif 1)** dengan melakukan penyambungan Stack sampai ketinggian yang diinginkan dan dilakukan perhitungan dengan beban – beban sesuai peraturan dan informasi proses dari PT. Semen Gesik, khususnya masalah beban akibat panas yang informasinya adalah 190° C. Hasil dari analisis ini terlihat bahwa secara struktural elemen stack bagian bawah mengalami tegangan lebih atau tidak mampu menahan beban – beban yang terjadi.

Setelah terlihat tidak kuat, maka dilakukan perkuatan dengan memasang rangka di sekeliling stack sampai ketinggian tertentu. Namun ternyata walaupun dipasang rangka sampai puncak, ada beberapa elemen stack bagian bawah maupun banyak elemen rangka terlihat terjadi tegangan lebih, seperti terlihat pada Gambar.4.

Penyebab dari terjadinya tegangan lebih tersebut terutama akibat dari pengaruh panas 190° C.



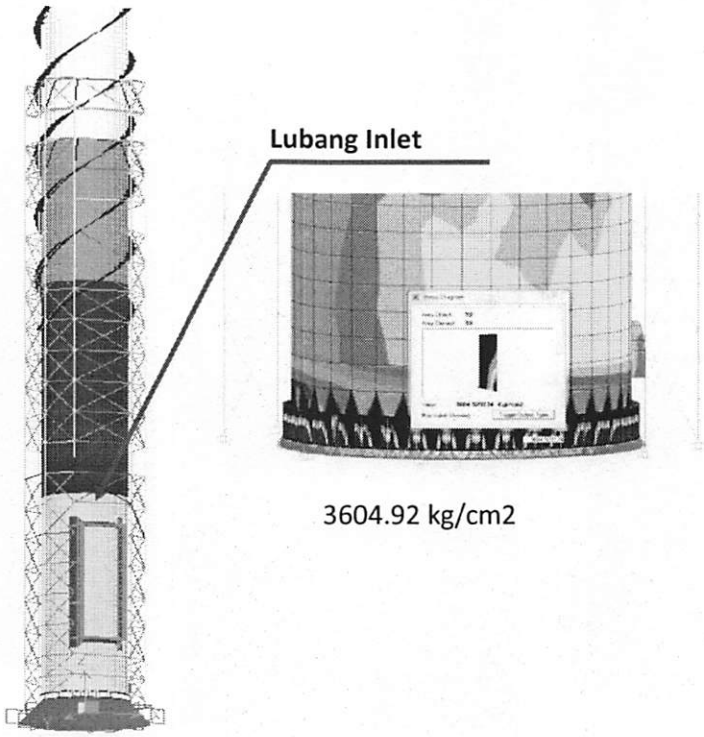
Gambar 4, Alternatif 1 Rekayasa Perkuatan Stack

7.2. Analisis Rekayasa Kedua

Pada analisis kedua ini dilakukan masih dalam rangka merealisasikan **Alternatif 1** dimana penyambungan stack tidak ditumpukan ke stack eksisting, namun ditumpukan pada struktur rangka yang berada disekeliling stack. Sedangkan sambungan stack yang baru dengan eksisting dihubungan dengan sambungan fleksibel.

Setelah dilakukan analisis dengan beban yang sama sseperti pada analisis rekayasa pertama, baik terhadap stack tambahan maupun terhadap stack eksisting, ternyata pada

elemen stack eksisting bagian bawah mengalami tegangan lebih, padahal stack eksisting kenyataannya masih berdiri.
Dengan demikian perlu adanya konfirmasi lagi tentang beban yang diinformasikan terutama terhadap beban akibat panas. Hal ini karena setelah diamati, banyaknya elemen yang bertegangan lebih diakibatkan akibat pengaruh panas.
Oleh karena itu perlu dilakukan pengamatan ulang terhadap panas yang terjadi, sekalian perlu dilakukan pengamatan terhadap dinding stack yang ada, apakah sudah berkurang karena abrasi atau masih utuh.

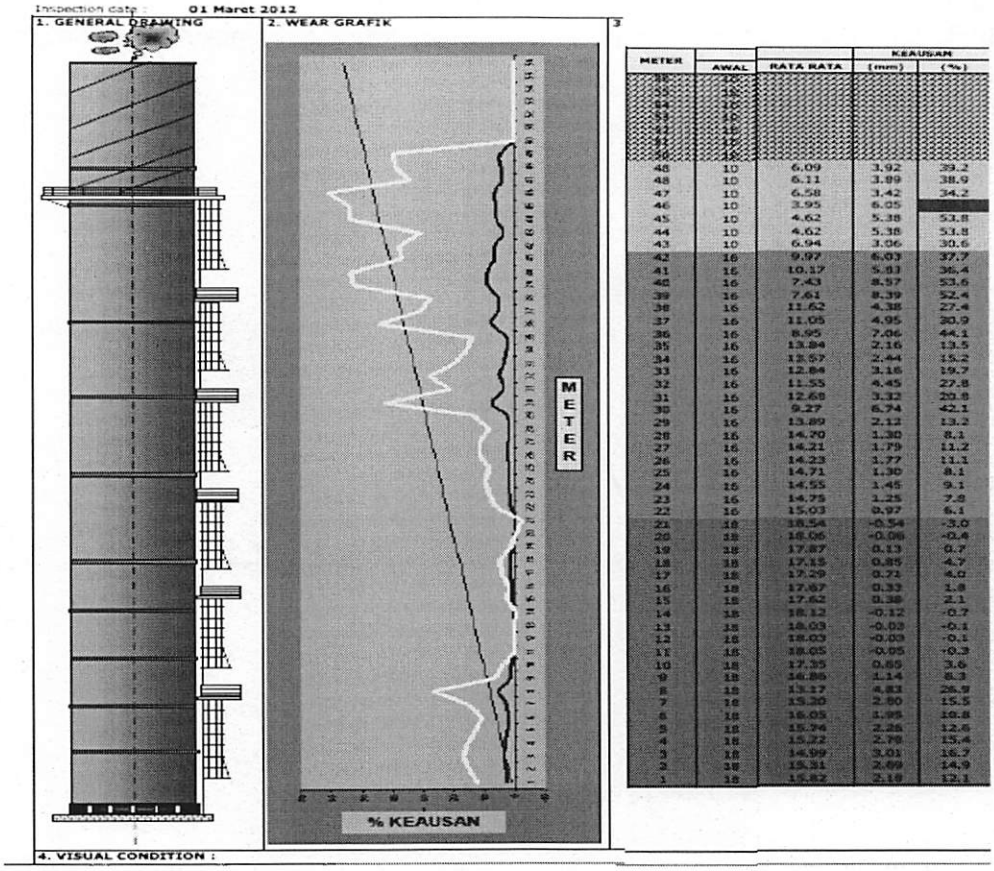


Gambar 5, Alternatif 2 Rekayasa Perkuatan Stack

7.3.Konfirmasi Data

Setelah terlihat adanya ketidak sesuaian hasil analisis yang kedua seperti paga bagian 7.2. terhadap stack eksisting, maka dilakukan pengecekan langsung di lapangan terhadap pengaruh panas dan sekalian dilakukan pengecekan terhadap pengaruh abrasi pada dinding stack.
Dari hasil pemerikaan di lapangan, didapatkan hasil bahwa pada elemen - elemen stack di bagian bawah cerobong inlet besarnya temperatur tidak setinggi 190° C, namun hanya 50° C. Hal ini ternyata di bagian tersebut tidak terkena semburan panas dari cerobong inletnya secara langsung, sehingga panas yang datang dari cerobong inlet langsung disemburkan ke atas, sehingga temperatur dinding bagian bawah stack tidak setinggi 190° C. Sedangkan dibagian atas inlet stack temperatur yang merambat pada dinding stack memang sesuai informasi yang diberikan yaitu 190° C.
Kemudian hasil pengamatan ketebalan dinding Stack eksisting yang dilakukan mulai dari bawah sampai ketinggian puncak dan diamati pada sisi utara, barat, selatan dan timur.

Hasil pengamatan ketebalan pada stack eksisting ini akan digunakan sebgai data dalam Analisis Rekayasa selanjutnya.
Adapun hasil pengamatan kondisi ktebalan dinding stack eksisting adalah sebagai berikut :

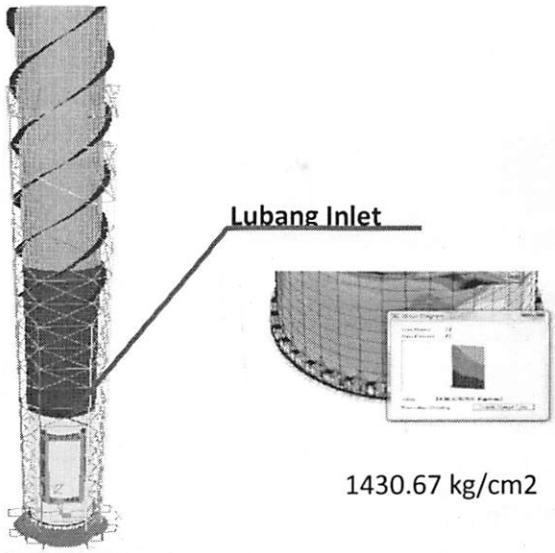


METER	AWAL	RATA RATA	KEAUSAN (mm)	KEAUSAN (%)
48	10	6.09	3.92	39.2
48	10	6.11	3.89	38.9
47	10	6.58	3.42	34.2
46	10	3.95	6.05	
45	10	4.62	5.38	53.8
44	10	4.62	5.38	53.8
43	10	6.94	3.06	30.6
42	16	9.97	6.03	37.7
41	16	10.17	5.83	36.4
40	16	7.43	8.57	53.6
39	16	7.61	8.39	52.4
38	16	11.62	4.38	27.4
37	16	11.05	4.95	30.9
36	16	8.95	7.06	44.1
35	16	13.84	2.16	13.5
34	16	13.57	2.44	15.2
33	16	12.84	3.16	19.7
32	16	11.55	4.45	27.8
31	16	12.68	3.32	20.8
30	16	9.27	6.74	42.1
29	16	13.89	2.11	13.2
28	16	14.70	1.30	8.1
27	16	14.21	1.79	11.2
26	16	14.23	1.77	11.1
25	16	14.71	1.30	8.1
24	16	14.55	1.45	9.1
23	16	14.75	1.25	7.8
22	16	15.03	0.97	6.1
21	18	18.54	-0.54	-3.0
20	18	18.06	-0.06	-0.4
19	18	17.87	0.13	0.7
18	18	17.15	0.85	4.7
17	18	17.29	0.71	4.0
16	18	17.67	0.33	1.8
15	18	17.62	0.38	2.1
14	18	18.12	-0.12	-0.7
13	18	18.03	-0.03	-0.1
12	18	18.03	-0.03	-0.1
11	18	18.05	-0.05	-0.3
10	18	17.35	0.65	3.6
9	18	16.86	1.14	6.3
8	18	13.17	4.83	26.9
7	18	15.20	2.80	15.5
6	18	16.05	1.95	10.8
5	18	15.74	2.26	12.6
4	18	15.22	2.78	15.4
3	18	14.99	3.01	16.7
2	18	15.31	2.69	14.9
1	18	15.82	2.18	12.1

Gambar 6, Hasil Pengamatan Ketebalan Dinding di lapangan

7.4. Analisis Rekayasa Ketiga

Analisis rekayasa ketiga ini masih dalam rangka merealisasikan **Alternatif 1** dengan memasukkan data – data hasil pemeriksaan ketebalan dan temperatur riil, yaitu dengan memasukkan temperatur bagian bawah lubang inlet sebesar 50° C dan ketebalan sesuai hasil pemeriksaan di lapangan, maka terlihat bahwa semua elemen struktur cukup kuat seperti ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7, Alternatif 3 Rekayasa Perkuatan Stack

Analisis Rekayasa Ketiga ini sudah menghasilkan bahwa Struktur Stack cukup kuat dan stabil. Namun bila ditinjau dari faktor ekonomis, perkuatan stack ini dinilai cukup mahal. Oleh karena itu dilakukan Rekayasa lagi untuk mendapatkan sistem struktur perkuatan yang kuat dan ekonomis.

7.5. Analisis Rekayasa Keempat

Sehubungan dengan Analisis Rekayasa ketiga yang menghasilkan sistem struktur yang mahal, maka dicoba untuk membuat sistem struktur seperti **Alternatif 2** dimana stack hanya diperkuat struktur rangka sampai ketinggian sedikit di atas lubang inlet dengan memasukkan pengaruh suhu 50° C pada elemen di bagian bawah lubang inlet dan 190° C pada elemen di atas lubang inlet. Sedangkan beban – beban yang lain tetap sama dengan metode rekayasa sebelumnya.

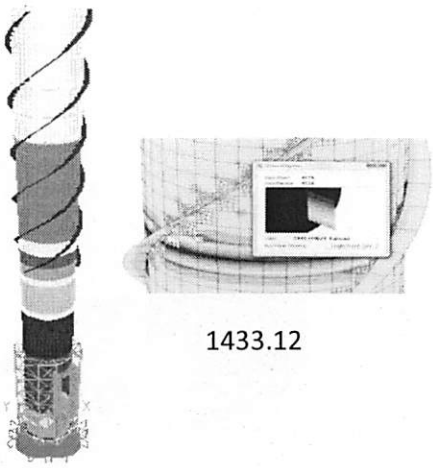
Disamping itu dari hasil pemantauan di lapangan tentang ketebalan dinding Stack, maka dilakukan pula penyesuaian dimensi sesuai dengan kenyataannya yang telah ditunjukkan pada Gambar 7.

Khusus pada dimensi stack pada bagian atas yang banyak terjadi pengurangan ketebalan karena abrasi dilakukan pemotongan setinggi sekitar **20 m (elevasi +36.00 s/d +56)** dan diganti dengan struktur elemen yang baru dengan ketebalan 10 mm dengan ketinggian sampai 69,25 m atau sepanjang **33.25 m**.

Dari analisis keempat ini dengan memasukkan beban akibat temperatur dibawah lubang inlet sebesar 50° C, maka didapatkan bahwa struktur perkuatan dan elemen stack cukup kuat dengan tegangan maksimun masih di bawah yang diijinkan seperti diperlihatkan pada Gambar 8

Untuk rekayasa yang keempat ini memang sudah cukup bisa dipertanggung jawabkan. Hanya saja bagian elemen stack yang diganti masih terlalu banyak, sehingga dinilai masih mahal. Oleh karena itu muncul ide untuk memanfaatkan potongan stack yang masih bisa dimanfaatkan.

Untuk itu dilakukan analisis lagi yang merupakan anaisis kelima untuk mendapatkan hasil rekayasa yang lebih ekonomis.



Gambar 8, Alternatif 4 Rekayasa Perkuatan Stack

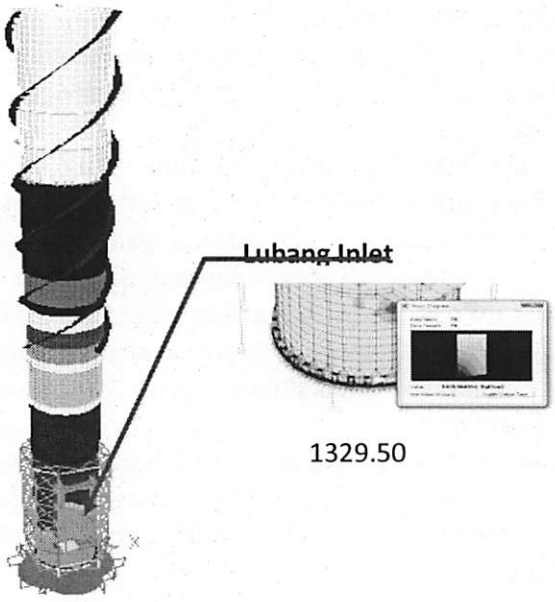
7.6. Analisis Rekayasa Kelima

Pada analisis kelima ini merupakan realisasi dari **Alternatif 3,** dimana bagian stack yang dipotong pada analisis keempat yaitu sebesar 20 m tidak dibuang semua, namun sebagian masih dimanfaatkan dan dipasang kembali pada bagian stack paling atas.

Adapun segmen elemen stack yang dimanfaatkan adalah sepanjang **7 m (elevasi +36 s/d +43)** yang akan diletakkan di bagian paling atas, sedangkan yang diganti baru dengan ketebalan 10 mm adalah sepanjang **26.25 m** yang akan diletakkan dibawahnya.

Dari analisis kelima ini dengan tetap memasukkan beban akibat temperatusr dibawah lubang inlet sebesar 50° C, maka didapatkan bahwa struktur perkuatan dan elemen stack cukup kuat dengan tegangan maksimun masih di bawah yang diijinkan seperti diperlihatkan pada Gambar 9.

Dari beberapa kali analisis, maka analisis kelima inilah yang paling ekonomis dan masih memungkinkan bisa dilaksanakan.



Gambar 9, Alternatif 5 Rekayasa Perkuatan Stack

8. KESIMPULAN DAN SARAN

8.1. Kesimpulan

Dari beberapa analisis rekayasa yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut :

1. Dalam melakukan rekayasa perkuatan stack yang sedang dilakukan peninggian tidak bisa dilakukan sekali rekayasa, namun harus dilakukan beberpa kali dengan berbagai alternatif, sehingga didapatkan hasil rekayasa yang benar – benar optimum dan tentunya juga ekonomis.
2. Dalam melakukan rekayasa tidak diperbolehkan hanya didasarkan pada gambar perencanaan (Engineering Drawing) atau gambar pasca pelaksanaan (As-Built Drawing), namun juga harus disesuaikan dengan kondisi eksisting pada saat dilakukan perekayasaan.
3. Untuk struktur Stack yang terbuat dari baja, temperatur merupakan faktor dominan yang dapat merubah kebutuhan dimensi dan volume perkuatannya. Terbukti dengan menurunkan temperatur pada bagian bawah lubang inlet dari 190° C menjadi 50° C, dapat menghilangkan perkuatan yang sangat signifikan, yaitu dari perkuatan yang dipasang hampir setinggi seluruh badan Stack menjadi perkuatan yang dipasang hanya sampai ketinggian sedikit di atas lubang inlet.

8.2. Saran

Adapun yang disarankan dalam melakukan modifikasi stack baja adalah sebagai berikut :

1. Perlu dilakukan pemeriksaan terhadap kondisi eksisting, baik beban yang bekerja maupun dimensi secara cermat guna mendapatkan hasil rekayasa modifikasi yang optimum.
2. Pemeriksaan terhadap pengaruh panas harus benar – benar cermat untuk semua bagian elemen stack, karena pengaruh temperatur pada struktur baja adalah sangat dominan, sehingga dapat merubah dimensi maupun volume secara signifikan.
3. Dalam melakukan rekayasa modifikasi, perlu pula mempertimbangkan metodologi pelaksanaan dan waktu modifikasi, sehingga model maupun bentuk struktur perkuatannya dapat menyesuaikannya.

DAFTAR PUSTAKA

1. Departemen Pekerjaan Umum Republik Indonesia 2002, *Standar Nasional Indonesia (SNI 03-1729-2002), Tata Cara Perhitungan Bangunan Baja untuk Gedung.*
2. International Conference of Building Official, 1991, *Uniform Building Code (UBC),* California – USA.
3. American Institute of Steel Construction (AISC), 1992, *Manual of Steel Construction,* ASD 9th Edition / LRFD 1st Edition , Volume II.

" Halaman ini sengaja dikosongkan "

STUDI PERCEPATAN GEMPA MAKSIMUM DI BEBERAPA WILAYAH DENGAN INTENSITAS GEMPA TINGGI DI INDONESIA

Iman Wimbadi[1] , Tavio[2], Yella [3]

[1]*Dosen Jurusan Teknik Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Kampus ITS Sukolilo Surabaya, Telp 031-5946094, email: imanwim@hotmail.com*
[2]*Dosen Jurusan Teknik Sipil FTSP, ITS, Kampus ITS Sukolilo Surabaya, Telp 031-5946094, email: email2@gmail.com*
[2]*Alumni Jurusan Teknik Sipil FTSP, ITS, Kampus ITS Sukolilo Surabaya, Telp 031-5946094,*

ABSTRAK

Indonesia menempati zona tektonik yang sangat aktif karena tiga lempeng besar dunia dan sembilan lempeng kecil lainnya saling bertemu di wilayah Indonesia dan membentuk jalur-jalur pertemuan lempeng.
Studi ini membahas intensitas gempa untuk wilayah *Jakarta, Medan, Lampung, Jawa Barat, Lombok dan Ambon yang* melengkapi dan menyempurnakan studi sebelumnya berupa ITSquake.
Percepatan gempa di beberapa wilayah dengan intensitas gempa tinggi di Indonesia berdasarkan data yang diperoleh dari United States Geological Survey (USGS) dengan metode PSHA

Kata Kunci: Percepatan Gempa, USGS, PSHA, ITSquake.

I. LATAR BELAKANG

Penulis berusaha untuk membahas serta menampilkan perhitungan percepatan gempa maksimum yang telah terintegrasi ke dalam sistem perangkat lunak untuk beberapa wilayah dengan intensitas gempa tinggi di Indonesia. Perangkat lunak ini direncanakan menggunakan perumusan geologi dan statistika yang selaras dengan perumusan peta percepatan gempa. Data gempa yang digunakan sebagai bahan studi ini didapatkan dari catatan gempa yang dikeluarkan oleh *United States Geological Survey (USGS).*

Pengambilan data dilakukan dengan metode *point source* dengan radius pengambilan data gempa adalah 500 km

Titik yang ditinjau adalah di pusat beberapa wilayah dengan intensitas gempa tinggi, yaitu :

a. **Jakarta, ---------:pada koordinat 6.183 LS dan 106.833 BT**
b. **Medan, ---------:pada koordinat 1.833 LU dan 98.817 BT**
c. **Lampung, ------:pada koordinat 4.950 LS dan 105.017 BT**
d. **Jawa Barat,----: pada koordinat 6.867 LS dan 107.60 BT**
e. **Lombok, -------:pada koordinat 8.565 LS dan 116.351 BT**
f. **Ambon, --------:pada koordinat 3.70 LS dan 128.167 BT**

Pengambilan data di atas diperoleh dari *(united State Geological Survey (USGS)* dengan batasan sebagai berikut : yang diunduh dari web http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eqarchives/epic/epic_circ.php.

- Radius gempa ditinjau : 500 KM (Metode pengambilan data *circural area*)
- Rentang waktu : 01/01/1900 s/d 06/11/2012

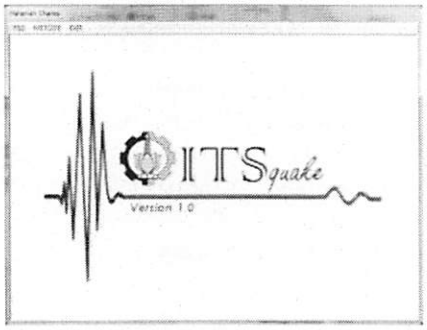
- Kekuatan gempa : 1 – 9,9 SR
- Kedalam gempa : 1 – 200 Km

Berikut adalah korelasi skala magnitude untuk wilayah Indonesia.

Korelasi Konversi
$Mw = 0.143M_s^2 - 1.051M_s + 7.285$
$Mw = 0.114m_b^2 - 0.556m_b + 5.560$
$Mw = 0.787M_E - 1.537$
$mb = 0.125M_L^2 - 0.389M_L - 3.513$
$M_L = 0.717M_D + 1.003$

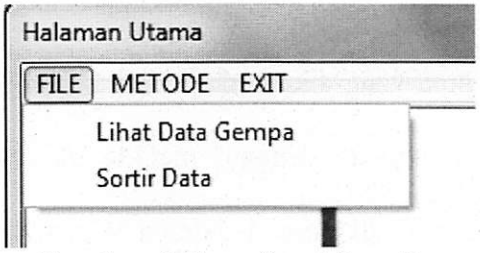
II. HASIL DAN PEMBAHASAN PROGRAM

Berikut adalah tampilan dari program ITSquake yang dijalankan sesuai dengan metodologi pada pembahasan sebelumnya.



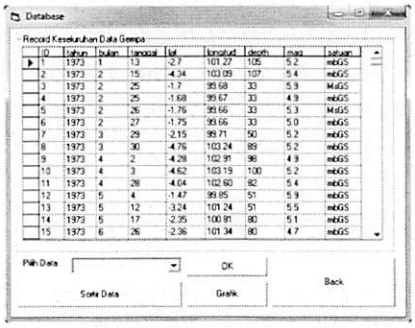
Gambar 1 Tampilan jendela utama ITSquake.

Menu Bar terdiri dari tiga menu utama, yaitu File, Metode dan Exit seperti yang terlihat pada Gambar 2.

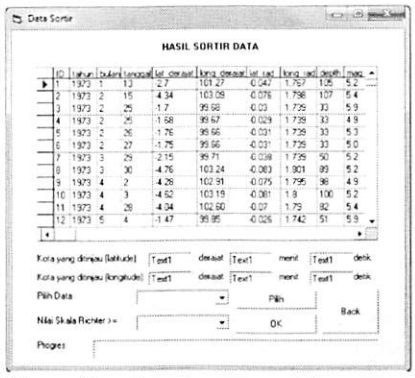


Gambar 2 Tampilan *Menu Bar*

Menu utama *File* terdiri dari dua pilihan, yaitu *Lihat Data Gempa* (Gambar 3) dan *Sortir Data* (Gambar 4).

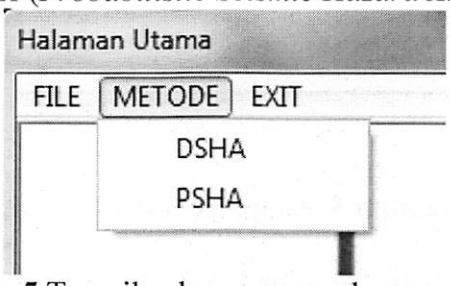


Gambar 3 Tampilan komponen sub menu *Lihat Data Gempa*



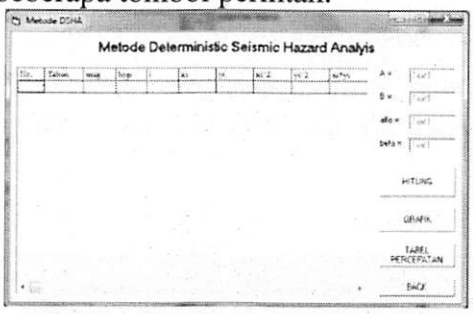
Gambar 4 Tampilan komponen sub menu *Sortir Data*

Menu utama *Metode* terdiri dari dua pilihan, yaitu *DSHA (Deterministic Seismic Hazard Analysis)* dan *PSHA* (*Probabilistic Seismic Hazard Analysis)*.. (Gambar 5)



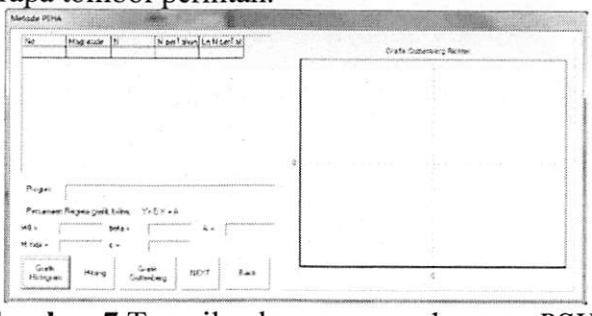
Gambar 5 Tampilan komponen sub menu *Metode*

Tampilan metode *DSHA* secara umum dapat dilihat pada Gambar 6. *Form* ini berisikan *Result Tab* dan beberapa tombol perintah.



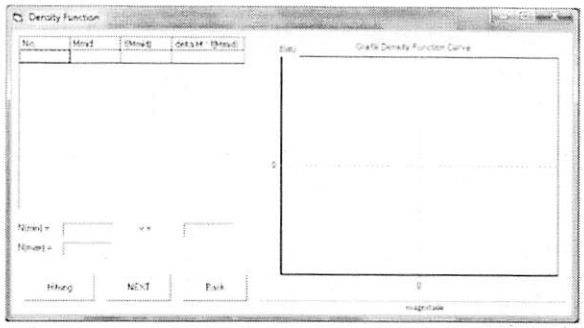
Gambar 6 Tampilan komponen sub menu *DSHA*

Form pada pilihan metode *PSHA* terdiri dari *Result Tab, Hasil Regresi*, tampilan output grafik dan beberapa tombol perintah.

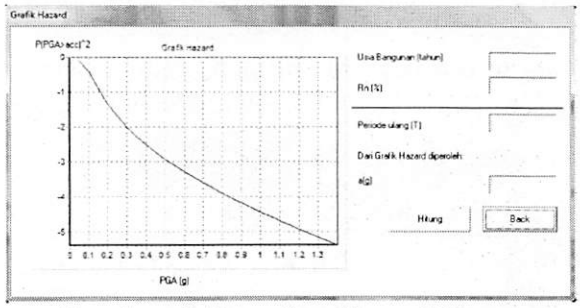


Gambar 7 Tampilan komponen sub menu *PSHA*

ISBN 978-979-99327-8-5



Gambar 8 Tampilan Grafik Fungsi Kerapatan Gempa



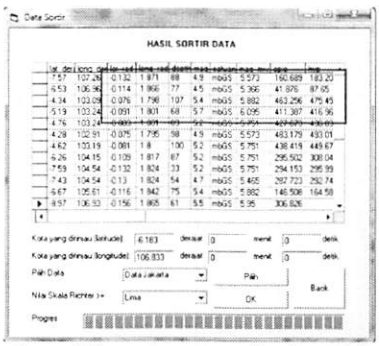
Gambar 9 Tampilan Hazard Curve.

Output dari proses analisa program *ITSquake* adalah berupa nilai percepatan gempa maksimum yang mewakili suatu wilayah tertentu yang telah dipilih sebelumnya. Hasil tersebut ditampilkan dalam satuan g = m/s^2.

III. STUDI KASUS

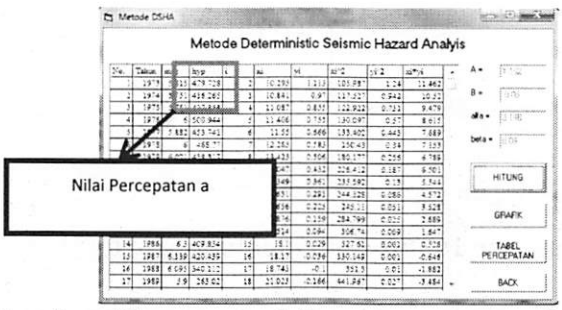
Berikut adalah tampilan hasil analisa percepatan gempa untuk wilayah DKI Jakarta pada koordinat 6.183 LS dan 106.833 BT dengan menggunakan program ITSquake.

Gambar 10 Radius pengambilan data gempa

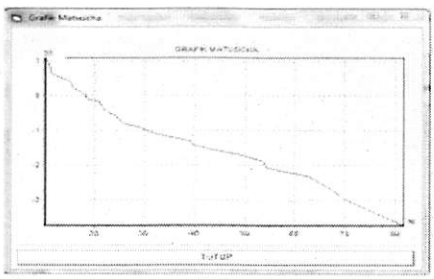


Gambar 11 *output* sortir data gempa

Gambar 12 menampilkan hasil perhitungan konversi satuan, jarak episenter dan hiposenter. Gambar 13 menunjukkan tampilan hasil perhitungan percepatan gempa maksimum menggunakan perumusan Matuscha yang diaplikasikan pada program ITSquake :

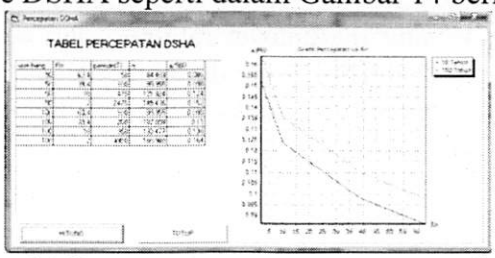


Gambar 12 *output* perhitungan persamaan Matuscha



Gambar 13 Regresi Persamaan Matuscha

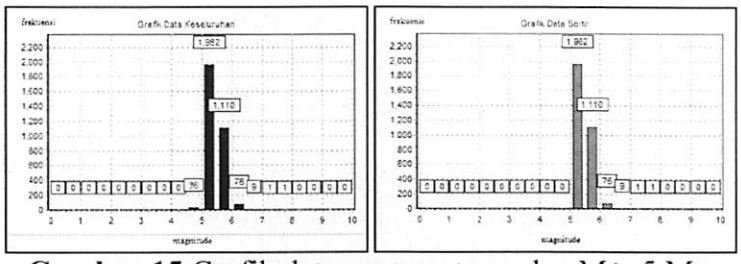
Melalui persamaan regresi linear matuscha, akan didapatkan beberapa variabel seperti A, B, α, dan β. Keempat variabel tersebut digunakan untuk perhitungan percepatan gempa metode DSHA seperti dalam Gambar 14 berikut ini :



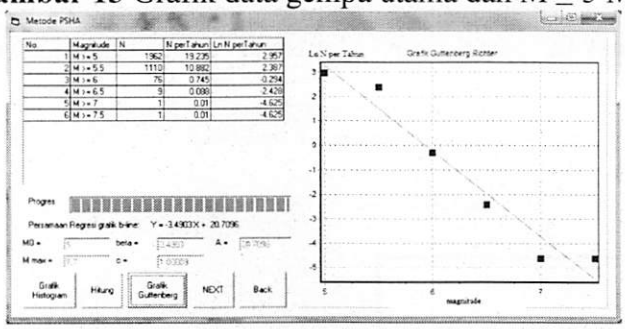
Gambar 14 Output percepatan gempa metode DSHA

Metode DSHA telah menghasilkan nilai percepatan gempa untuk usia bangunan 50 tahun di DKI Jakarta sebesar 0,15 m/s^2 dengan nilai Rn 2%.

Selanjutnya adalah metode PSHA. Sebelum data diproses, terlebih dahulu dilakukan declustering. Kemudian dilakukan perhitungan persamaan regresi Guttenberg Richter untuk mencari nilai β seperti yang terlihat pada Gambar 16.

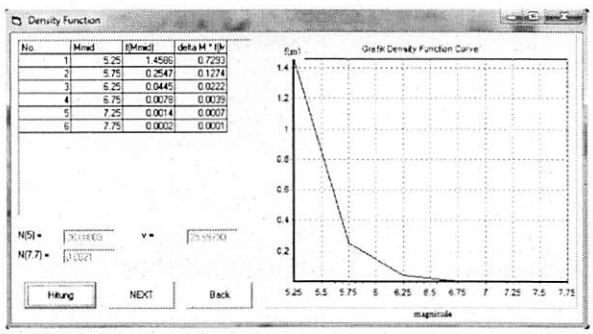


Gambar 15 Grafik data gempa utama dan M ≥ 5 Mw



Gambar 16. *b-line* Gutterburg-Richter

Selain itu, program ITSquake juga dapat menampilkan grafik *density function curve* yang menggambarkan hubungan antara nilai probabilitas $f_m(M)$ dengan kekuatan gempa (*magtitude*).



Gambar 17. Grafik Density Function Curve

Dari tugas akhir sebelumnya, diperoleh data jarak gempa dengan membaginya pada empat perolehan jarak yang merupakan rata-rata dari setiap kemungkinan jarak untuk setiap kejadian gempa. Data jarak yang diambil adalah : 73,53 ; 189,78 ; 320,84 ; 446,27. Berikut adalah nilai percepatan gempa untuk kejadian dengan nilai probabilitas kekuatan gempa dan jarak tertentu.

PGA

		PGA		
Mmid		R		
	73.53	189.78	320.84	446.27
5.25	0.04346	0.01774	0.01026	0.00719
5.75	0.06516	0.0266	0.01538	0.01077
6.25	0.0977	0.03988	0.02306	0.01615
6.75	0.14648	0.05978	0.03457	0.02422
7.25	0.21962	0.08964	0.05183	0.03631
7.75	0.32927	0.13439	0.07771	0.05444

Gambar 18. Nilai percepatan gempa untuk kejadian dengan nilai probabilitas kekuatan gempa dan jarak tertentu

Dari data dalam Gambar 18 kemudian dilakukan perhitungan probabilitas kejadian gempa terlampaui lebih besar dari x, dimana x adalah > 0,05 g. (Gamber 19)

$$P(PGA > acc \mid EQ : R, M) = 1 - \phi\left(\frac{\log(acc) - \log(PGA)}{\sigma_{\log(PGA)}}\right)$$

Peluang PGA

0.05g	0.1g	0.15g	0.2g	0.25g	0.3g	0.35g	0.4g	0.45g	0.5g	0.55g	0.6g	0.65g	0.7g

0.75g	0.8g	0.85g	0.9g	0.95g	1.0g	1.05g	1.1g	1.15g	1.2g	1.25g	1.3g	1.35g	1.4g

		PGA		
Mmid		R		
	73.53	189.78	320.84	446.27
5.25	0.381828907944598	3.58597180248717E-02	1.43372798456448E-03	8.62256089477582E-05
5.75	0.340305453577949	0.16324930749364 2	1.76363889604832E-02	2.01339478763579E-03
6.25	0.145778036908662	0.355776737356434	0.104061761437093	2.27174055320613E-02
6.75	2.98578170224346E-02	0.371463770547335	0.293964341422053	0.122738073055628
7.25	2.92866494464924E-03	0.185732322171015	0.397888059687711	0.317152017301437
7.75	1.37615949925809E-04	4.44940447002903E-02	0.257939260160449	0.392614422231472

Gambar 19. *Output* tabel peningkatan peluang kemunculan 0.05-1.4 PGA

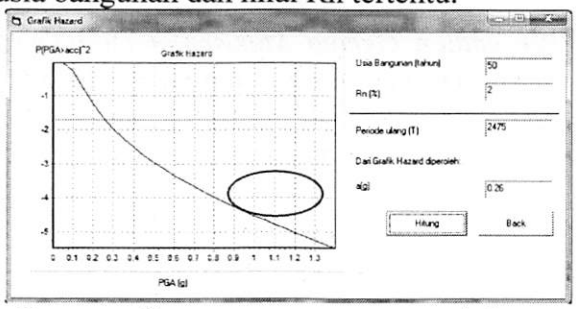
Dari keseluruhan nilai resiko di atas dapat digabungkan menjadi satu tabel Total PGA seperti yang terlihat pada Gambar 20

Total PGA

No.	PGA	P(PGA>acc|EQ)	aprox. P(PGA>ACC)	P(PGA>ACC)
1	0.05	9.75766312869692E-02	2.53679628443231	0.920880529529766
2	0.1	2.73113385641185E-02	0.710039906876568	0.508375422131857
3	0.15	7.08541707812919E-03	0.184206602343032	0.16823605830548
4	0.2	2.28240298772023E-03	5.93378900507205E-02	5.76117082727378E-02
5	0.25	8.98407677004731E-04	2.33567938026922E-02	2.30861352282888E-02
6	0.3	4.11454981785533E-04	1.06970025019105E-02	0.010639993028549
7	0.35	2.10440825277 33E-04	5.47103847115177E-03	5.45609959631144E-03
8	0.4	1.16705740789687E-04	3.03411468199288E-03	3.02951640778049E-03
9	0.45	6.87522978618631E-05	1.78742155228974E-03	1.78582506572678E-03
10	0.5	4.24116774982952E-05	1.10261836748 39E-03	1.10201070721139E-03

Gambar 20. *Output* total peningkatan peluang PGA

Data diatas dapat diplotkan dalam satu tabel untuk memperoleh kurva resiko, yaitu Grafik Hazard. Gambar 21 menunjukkan hasil analisa percepatan gempa dengan metode PSHA untuk usia bangunan dan nilai Rn tertentu.



Gambar 21. Kurva resiko percepatan gempa usia bangunan 50 tahun dengan nilai Rn 2%

Maka, dengan menggunakan metode PSHA diperoleh percepatan gempa wilayah DKI Jakarta untuk usia bangunan 50 tahun dengan Rn 2% adalah sebesar 0.26 m/s^2.

IV. KESIMPULAN

Dengan bantuan program ITSquake dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Sumber data yang digunakan sebagai *database* masih terbatas dari satu sumber, yaitu *USGS*. Sedangkan proses analisa percepatan gempa perlu mencantumkan lebih banyak sumber data gempa untuk mencapai keakuratan hasil yang diperoleh.
2. Keakuratan perhitungan analisa percepatan gempa maksimum menggunakan program ITSquake telah sesuai dengan perhitungan secara manual.
3. Tabel 1 dan Tabel 2 menunjukkan perbandingan hasil percepatan gempa maksimum melalui metode DSHA dan PSHA untuk beberapa wilayah yang dikaji

Tabel 1. Percepatan Gempa DKI Jakarta, Medan dan Lampung

Usia Bangunan (tahun)	Rn (%)	Periode Ulang (Tahun)	Percepatan Gempa (g)					
			DKI Jakarta		Medan		Lampung	
			DSHA	PSHA	DSHA	PSHA	DSHA	PSHA
50	2	2475	0.15	0.26	0.44	0.37	0.22	0.30
50	10	475	0.12	0.17	0.35	0.20	0.18	0.18

Tabel 2. Percepatan Gempa Jawa Barat, Lombok dan Ambon

Usia Bangunan (tahun)	Rn (%)	Periode Ulang (Tahun)	Percepatan Gempa (g)					
			Jawa Barat		Lombok		Ambon	
			DSHA	PSHA	DSHA	PSHA	DSHA	PSHA
50	2	2475	0.18	0.25	0.18	0.28	0.21	0.32
50	10	475	0.15	0.17	0.15	0.18	0.17	0.22

4. Percepatan gempa maksimum yang dihasilkan oleh metode PSHA lebih akurat karena hasil yang diperoleh dari perhitungan PSHA lebih rational dan sudah memperhatikan jumlah kejadian gempa, kekuatan magnituda, serta jarak kejadian gempa.

DAFTAR PUSTAKA

Departemen Pekerjaan Umum. *Peta Hazard Gempa Indonesia 2010 Sebagai Acuan Dasar Perencanaaan dan Perancangan Infrastruktur Tahan Gempa.* Jakarta : DPU, 2010.

Yella Luxcanta. *Studi Percepatan Gempa Maksimum Di Beberapa Wilayah dengan Intensitas Gempa Tinggi Di Indonesia.* Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2013.

STUDI PERILAKU NON LINEAR PERBANDINGAN PANJANG LINK PADA ECCENTRICALLY BRACED FRAME DENGAN FINITE ELEMENT ANALYSIS

Budi Suswanto[1], Data Iranata[2], Harun Alrasyid[3]

[1]*Dosen Jurusan Teknik Sipil, FTSP, ITS, Kampus ITS Sukolilo Surabaya, Telp 031-5946094, email: budisw2000@yahoo.com*
[2]*Dosen Jurusan Teknik Sipil FTSP, ITS, Kampus ITS Sukolilo Surabaya, Telp 031-5946094, email: iranata_data@gmail.com*
[3]*Dosen Jurusan Teknik Sipil FTSP, ITS, Kampus ITS Sukolilo Surabaya, Telp 031-5946094, email: harun_s45@gmail.com*

ABSTRAK

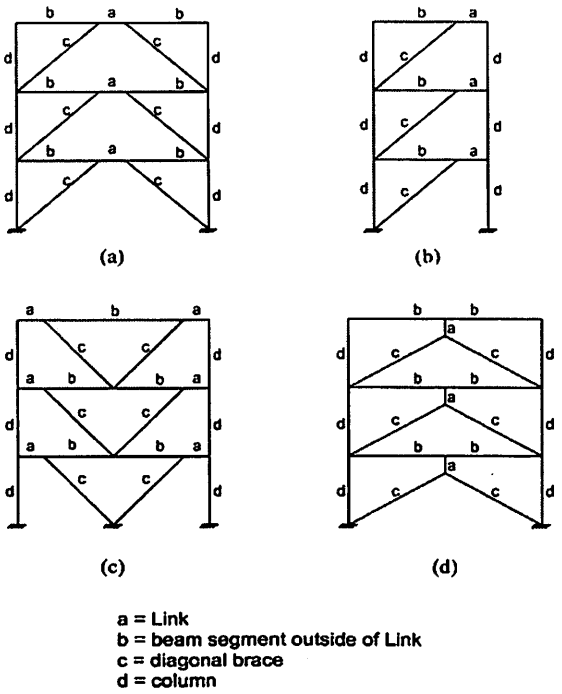
Eccentrically Braced Frames (EBF) adalah sistem rangka dengan balok dan kolom dengan pengaku dimana pada ujung dari setiap pengaku terhubung untuk mengisolasi bagian dari balok yang disebut link. EBF memiliki daktilitas yang tinggi seperti halnya pada sistem rangka pemikul momen, tetapi juga memiliki kekakuan yang tinggi seperti Contrically Braced Frames (CBF). EBF diharapkan menahan deformasi inelastis yang signifikan pada link saat struktur mengalami gaya gempa. Pada EBF, link merupakan bagian terlemah dari EBF jadi pada setiap kegagalan atau keruntuhan pada struktur harus terjadi kerusakan dahulu daripada link, link harus memiliki tingkat daktilitas yang tinggi. Konsep desain EBF adalah link ditetapkan sebagai bagian yang akan rusak sedangkan elemen lain tetap berada dalam kondisi elastik. Pada makalah ini akan membandingkan 4 panjang link yang didesain sesuai dengan ketentuan yang ada dengan menggunakan tipe inverted V. Dari perbandingan link tersebut akan dianalisa dengan menggunakan program bantu Finite Element Analysis (FEA). Dari hasil analisa dengan program bantu FEA dapat disimpulkan bahwa linkdengan panjang 0,6 m memiliki daktilitas yang paling besar yaitu 16 dan link dengan panjang 2,5 m memiliki daktilitas terkecil yaitu 5,07. Link 0,6 m juga memiliki nilai tegangan dan regangan yang semakin besar dibanding yang lain. Sehingga dapat diketahui dari analisa pushover dan finite element analysis bahwa link yang optimum digunakan adalah link pendek atau link geser murni.

Kata kunci: *Eccentrically Braced Frame, Inverted V, link,* daktilitas, kegagalan struktur

1. PENDAHULUAN

Sistem yang umum dipakai untuk menahan beban gempa adalah Moment Resisting Frame (MRF) dan Concentrically Braced Frame (CBF). MRF bersifat daktail tetapi kurang kaku untuk memenuhi persyaratan drift control sedangkan CBF bersifat kaku tetapi memiliki kemampuan menyalurkan energi yang terbatas. Untuk mengatasi kekurangan dari MRF dan CBF maka digunakan struktur lain yaitu Eccentrically Braced Frame (EBF). EBF merupakan konsep desain gabungan antara konsep daktilitas dan disipasi energi yang baik dari desain MRF dengan karakteristik kelakuan elastik yang tinggi dari desain CBF.

EBF biasa disebut sebagai sistem hybrid antara sistem rangka pemikul momen dan CBF, karena EBF mampu memikul kombinasi antara beban rangka dan truss. EBF memiliki daktilitas yang tinggi seperti halnya pada sistem rangka penikul momen, tetapi juga memiliki kekakuan yang tinggi seperti CBF [1]. EBF diharapkan menahan deformasi inelastis yang signifikan pada link saat struktur mengalami gaya gempa. Tipe dari EBF memiliki berbagai desain seperti yang terlihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 1: Desain dari EBF (AISC, 2005)

Konsep desain EBF adalah *link* ditetapkan sebagai bagian yang akan rusak sedangkan elemen lain tetap berada dalam kondisi elastik. Kelelehan yang terjadi pada elemen link dapat berupa kelelehan geser atau kelelehan lentur [2]. Perilaku dari *link* sangat ditentukan oleh panjangnya. Semakin pendek *link* tersebut maka semakin besar pengaruh gaya geser pada kinerja inelastik [3]. Dari penelitian yang sudah ada sebelumnya menganalisa desain *link* pada EBF tehadap rasio panjang balok dan tinggi kolom. Untuk menghasilkan desain EBF yang paling optimum maka pada makalah ini akan menganalisa panjang *link* dengan desain konfigurasi EBF tipe *inverted V* dengan program bantu *Finite Element Analysis* (FEA). Hasil dari analisa struktur ini akan dibandingkan dengan hasil eksperimental yang sudah ada.

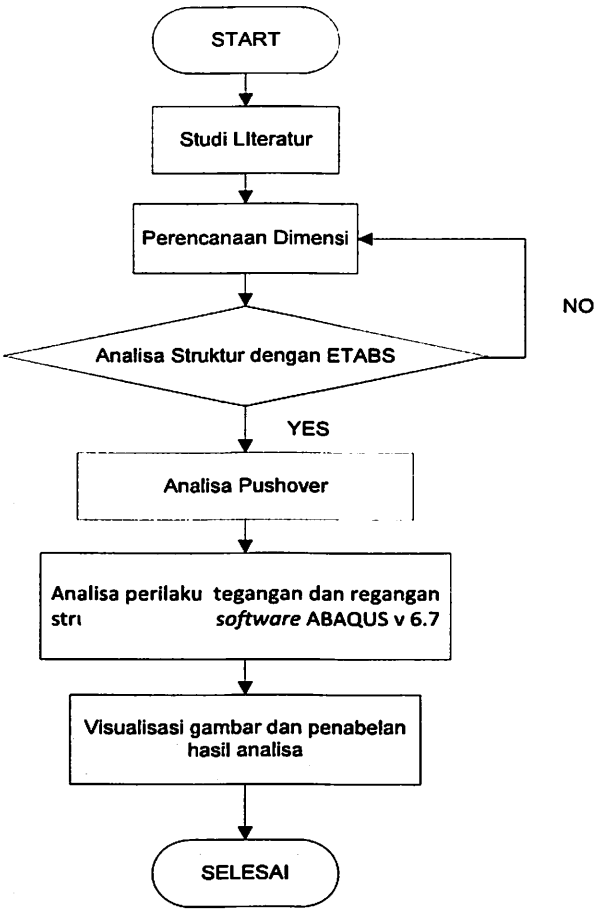
2. URAIAN PENELITIAN

A. JENIS DAN KONSEP PENELITIAN

Penelitian ini membandingkan 4 jenis tipe *link* yaitu *link* geser murni, dominan geser, dominan lentur, dan lentur murni pada satu portal struktur baja. Dari keempat jenis *link* ini akan dibandingkan dari segi daktilitas dan kegagalan strukturnya. Untuk mengetahui kegagalan struktur maka parameter yang digunakan yaitu tegangan dan regangan yang terjadi pada *link*. Dari hasil analisa tersebut dapat diketahui tipe *link* yang paling optimum digunakan.

B. PROSES PENELITIAN

Proses penelitian ini ditampilkan dalam sebuah diagram alir metodologi yang dapat dilihat pada diagram alir di bawah ini :

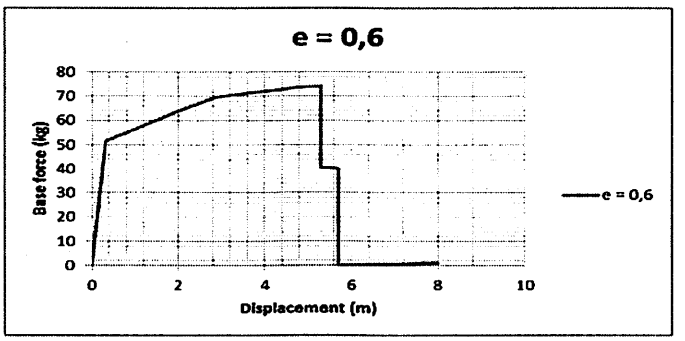


Gambar 2: Diagram alir penelitian (Fitri, 2012) [4]

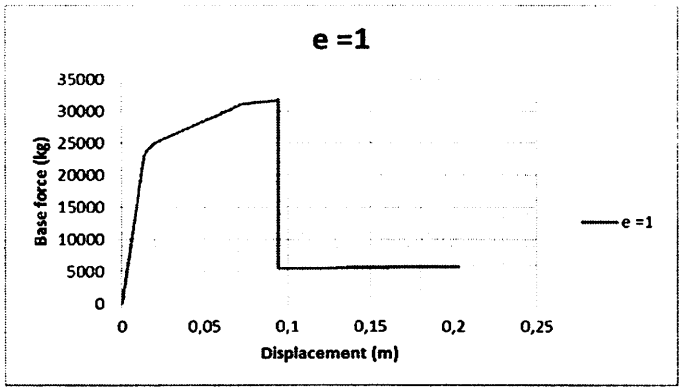
3. HASIL DAN DISKUSI

A. ANALISA *PUSHOVER*

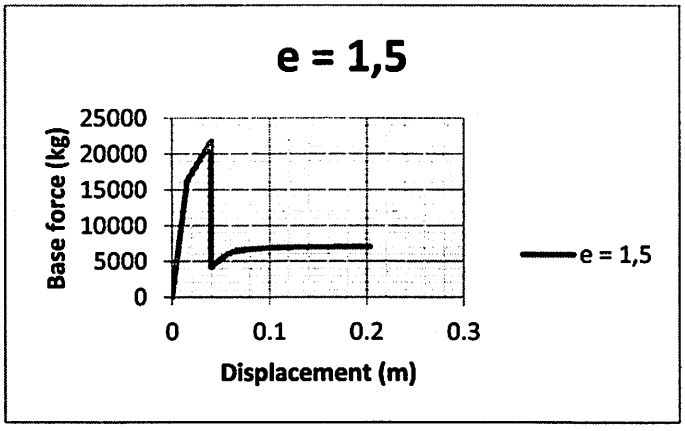
Hasil analisa *pushover* pada struktur berupa kurva kapasitas struktur antara *Base Force* vs *Displacement* seperti dalam gambar di bawah ini.



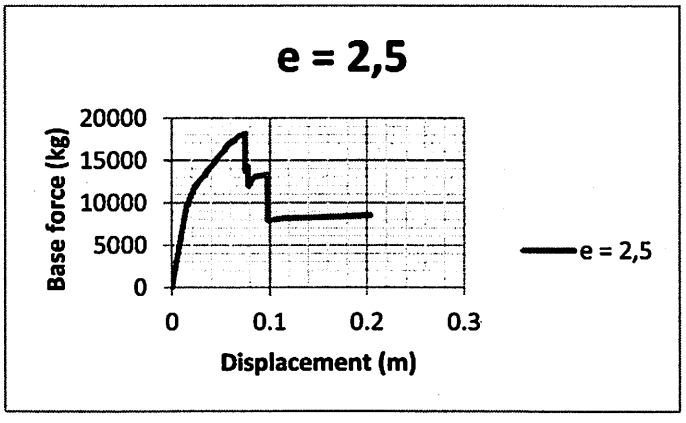
Gambar 3: Kurva Kapasitas Struktur e = 0,6



Gambar 4: Kurva Kapasitas Struktur e = 1



Gambar 5: Kurva Kapasitas Struktur e = 1,5



Gambar 6: Kurva Kapasitas Struktur e = 2,5

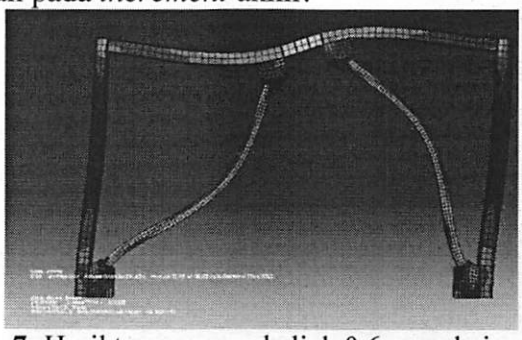
Dari hasil analisa *pushover* dapat dilihat perbandingan antara *base force* dan *displacement* yang terjadi, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3 - 6. Selanjutnya dari hari hasil diagram *base force* dan *displacement* akan dicari tingkat daktilitas dari masing-masing tipe EBF. Faktor daktilitas adalah rasio antar simpangan maksimum struktur gedung pada saat mencapai kondisi di ambang keruntuhan dan simpangan struktur saat terjadinya pelelehan pertama dalam struktur gedung.

Tabel 1: Daktilitas struktur

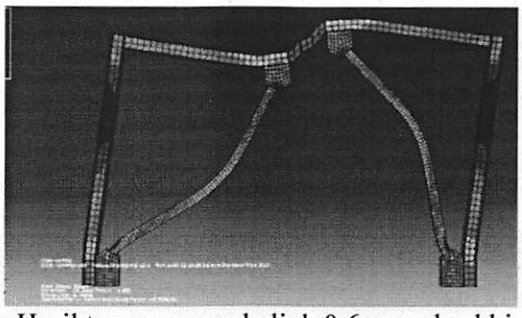
e (m)	Δy	Δm	Daktilitas
0,6	0,008	0,134	16,00
1	0,013	0,095	7,07
1,5	0,015	0,080	5,23
2,5	0,015	0,075	5,07

C. ANALISA HASIL PROGRAM BANTU *FINITE ELEMENT ANALYSIS*

Dalam permodelan *finite element analysis*, beban yang digunakan yaitu beban merata pada balok dan *link* dengan kombinasi pembebanan 1,2 D + 1,6 L. Sedangkan untuk arah lateral beban yang digunakan yaitu pada *finite element* menggunakan "*base force*" dengan besar beban yaitu -0,01 N. Dalam permodelan, hasil yang ditinjau yaitu tegangan dan regangan pada *link*. Sehingga akan dibandingkan dari empat jenis *link* tersebut dari hasil tegangan dan regangan. Berikut ini adalah hasil running dari program bantu FEA. Gambar 7 dan Gambar 8 merupakan dari hasil analisa pada masing-masing *link* pada *increment* 1 dan pada *increment* akhir.

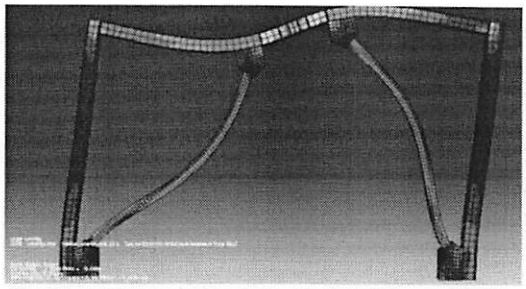


Gambar 7: Hasil tegangan pada link 0,6 m pada increment 1

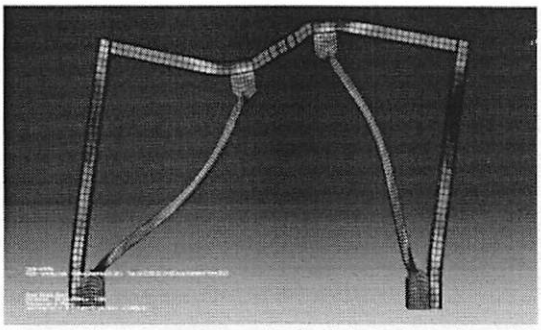


Gambar 8: Hasil tegangan pada link 0,6 m pada akhir increment

Pada gambar di atas dapat dilihat bahwa pada *incremanent* 1 elemen EBF yang terkena leleh yaitu pada *link*. Sedangkan pada increment terakhir elemen yang terkena leleh yaitu ujung bracing.

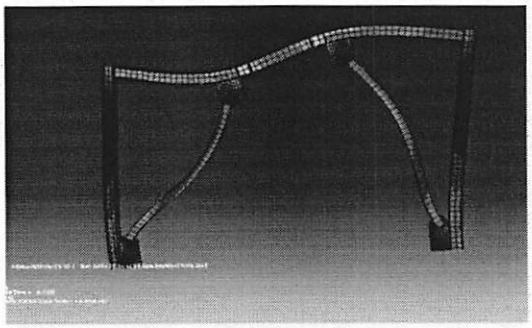


Gambar 9: Hasil tegangan pada *link* 1,0 m pada *increment* 1

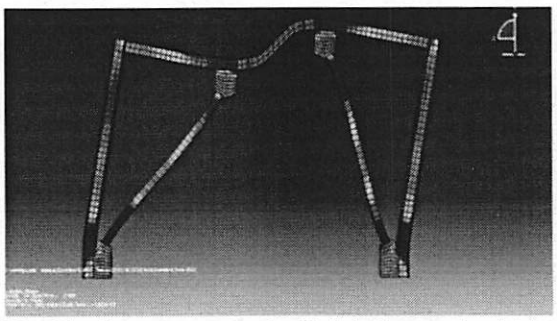


Gambar 10: Hasil tegangan pada *link* 1,0 m pada akhir *increment*

Hasil dari analisa pada *link* 1,0 m hasil akhir dari *increment* tersebut maka terlihat bahwa seluruh bagian link terkena leleh begitu juga pada bagian ujung bracing dan kolom.

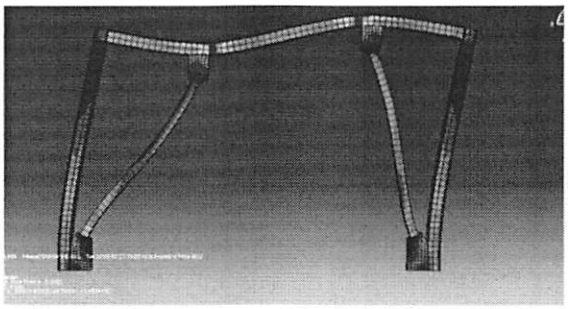


Gambar 11: Hasil tegangan pada *link* 1,5 m pada *increment* 1

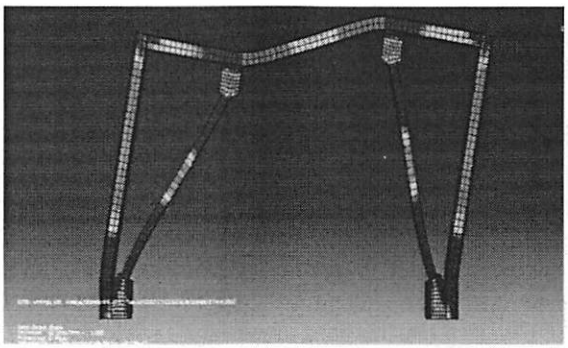


Gambar 12: Hasil tegangan pada *link* 1,5 m pada akhir *increment*

Pada tahap awal saat terkena beban, *link* memiliki kesamaan dengan *link* geser yaitu terkena leleh diawal yaitu *link*. Sedangkan untuk *increment* terakhir elemen balok, kolom dan *bracing* juga terkena leleh.

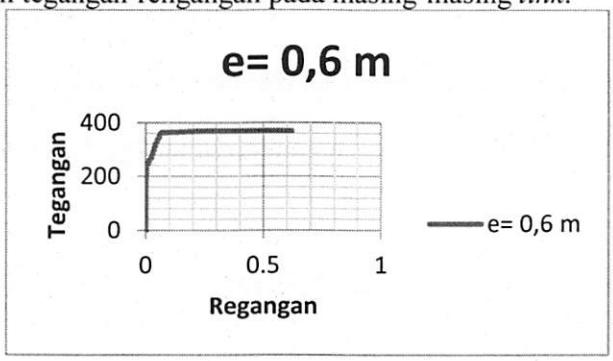


Gambar 13: Hasil tegangan pada *link* 2,5 m pada *increment* 1



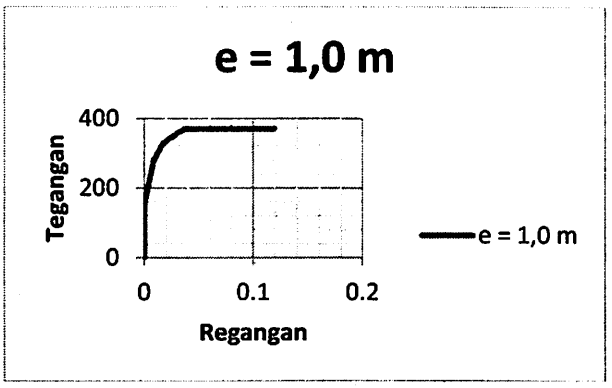
Gambar 14: Hasil tegangan pada *link* 2,5 m pada akhir *increment*

Untuk hasil dari tegangan pada *link* 2,5 m sama dengan hasil tegangan pada *link* 1,5 m yaitu elemen yang terkena leleh semakin besar dibandingkan yang lain yaitu elemen balok, kolom, dan *bracing*. Selanjutnya dari hasil tegangan dan regangan akan ditampilkan dalam grafik dan akan diketahui diagram tegangan-rengangan pada masing-masing *link*.



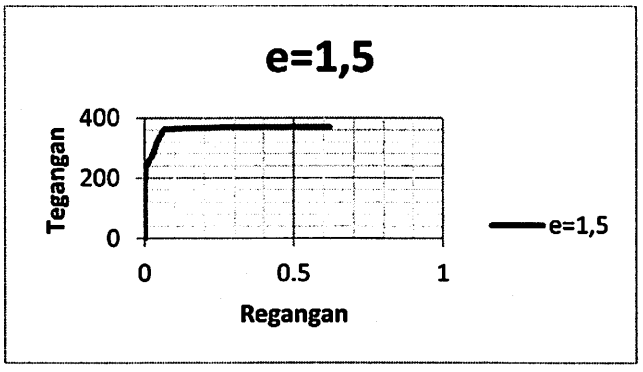
Gambar 15: Diagram tegangan-regangan pada link e = 0,6 m

Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa tegangan leleh pertama terjadi dengan nilai regangan 0,000227.



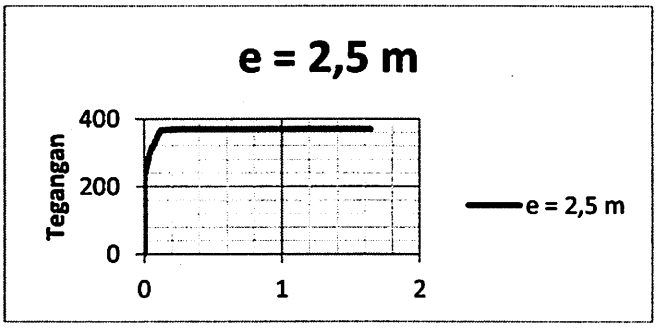
Gambar 16: Diagram tegangan-regangan pada link e = 1,0 m

Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa tegangan leleh pertama terjadi dengan nilai regangan 0,00868.



Gambar 17: Diagram tegangan-regangan pada link e = 1,5 m

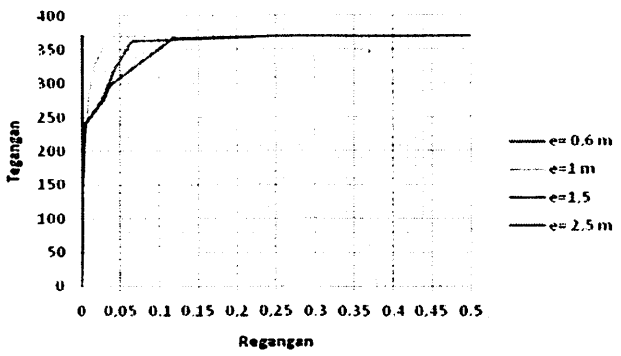
Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa tegangan leleh pertama terjadi dengan nilai regangan 0,0257.



Gambar 18: Diagram Tegangan Regangan e = 2,5 m

Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa tegangan leleh pertama terjadi dengan nilai regangan 0,0286. Dari hasil diagram tegangan-regangan di atas maka dapat diketahui bahwa *link* paling pendek yaitu geser murni mencapai titik leleh dengan nilai regangan yang lebih kecil dibanding tipe *link* yang lain. Dengan demikian *link* dengan panjang 0,6 m mengalami leleh lebih awal daripada *link* yang lain. Desain *link* ini menunjukkan

bahwa *link* akan mengalami keruntuhan yang lebih awal daripada elemen EBF yang lain.



Gambar 19: Diagram tegangan-regangan total empat tipe *link*

Sedangkan perbandingan dari hasil pushover ETABS dan FEA memiliki kesamaan bahwa urutan elemen EBF yang memiliki titik leleh terlebih dahulu yaitu ujung-ujung *link*, ujung kolom bawah, kolom atas dan balok.

4. KESIMPULAN

Setelah dilakukan analisa pushover dan analisa menggunakan Program Bantu *Finite Element Analysis* maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

- Dari hasil analisa pushover maka diketahui bahwa *link* dengan panjang 0,6 m memiliki nilai daktilitas yang tinggi yaitu 16, sedangkan *link* dengan panjang 2,5 memiliki daktilitas terkecil yaitu 5,07. Dengan demikian apabila daktilitas semakin besar maka kemampuannya untuk berdeformasi *inelastic* juga semakin besar sehingga kerusakan yang terjadi pada struktur akan lebih kecil.
- Dari analisa daktilitas maka disimpulkan bahwa *link* dengan panjang 0,6 m merupakan *link* yang paling optimum digunakan, yaitu *link* pendek atau *link* geser murni.
- Dari hasil program bantu FEA terlihat hasil analisa diagram tegangan-regangan. *Link* dengan panjang 0,6 memiliki tegangan dan regangan yang lebih tinggi dibanding *link* yang lain. Dimana pada proses leleh dan runtuh, elemen EBF akan terkena leleh terlebih dahulu yaitu *link*, selanjutnya balok dan kolom.

DAFTAR PUSTAKA

1. Bambang Budiono, Yurisman, Nidiasari (2011) Perilaku Link Panjang Dengan Pengaku Diagonal Badan Pada Sistem Struktur Rangka Baja Tahan Gempa.
2. Engelhardt, Michael D, Popov, Egor P (1989) On Design of Eccentrically Braced Frames, Earthquake Spectra Vol.5, No.3.
3. Jefrey W. Berman, Michael Bruneau (2008) Turbular Links for Eccentrically Braced Frames.
4. Hardiyanti, Fitri (2012) Studi Perilaku Non Linear Perbandingan panjang *Link* Pada *Eccentrically Braced Frame* dengan Program Bantu *Finite Element Analysis*,Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

" Halaman ini sengaja dikosongkan "

EVALUASI KERENTANAN GEDUNG SEKOLAH DASAR BETON BERTULANG DUA LANTAI PASCAGEMPA

Endah Wahyuni[1] , Data Iranata[2], Amien Widodo[3] Djoko Irawan[4]

[1]*Dosen Jurusan Teknik Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Kampus ITS Sukolilo Surabaya, Telp 031-5946094, email: endah@ce.its.ac.id*
[2]*Dosen Jurusan Teknik Sipil FTSP, ITS, Kampus ITS Sukolilo Surabaya, Telp 031-5946094, email: data@ce.its.ac.id*
[3]*Dosen Jurusan Teknik Sipil FTSP, ITS, Kampus ITS Sukolilo Surabaya, Telp 031-5946094, email: amienwidodo@yahoo.com*
[4]*Dosen Jurusan Teknik Sipil FTSP, ITS, Kampus ITS Sukolilo Surabaya, Telp 031-5946094, email: djoko.irawan@gmail.com*

ABSTRAK

Penelitian ini adalah melakukan assesmen kerentanan struktur gedung beton bertulang dengan studi kasus gedung beton bertulang Sekolah Dasar (SD). Diharapkan dengan adanya studi ini maka dapat diketahui kondisi bangunan yang ditempati anak-anak untuk sekolah dan hasil penelitian ini juga dapat sebagai masukan kepada instansi terkait. Tujuan dari penelitian ini adalah melakukan assesmen kerentanan gedung akibat pasca gempa, dengan rincian tujuannya adalah mengidentifikasi dan mendapatkan data gambar bangunan Sekolah Dasar yang berada pada daerah rawan gempa. Dari penelitian sebelumnya telah dilakukan pengetesan-pengetesan di lapangan dan mengevaluasi kondisi fisik gedung apakah ada retak-retak atau tidak. Kemudian dilakukan kajian perilaku struktur gedung SD tersebut terhadap beban gempa secara numerik dengan menggunakan software ETABS, yaitu dengan melakukan analisa pushover. Analisa ini adalah analisa statik yang menyederhanakan beban gempa yang ada. Hasil dari analisa pushover ini dibandingkan dengan hasil dari pengetesan di lapangan. Dan diketahui bahwa gedung sudah mengalami pengurangan 50% kapasitas kolomnya akibat beban gempa yang ada.

Kata kunci: assesmen, kerentanan, beton bertulang, gedung Sekolah Dasar, pascagempa

1. PENDAHULUAN

Gempa bumi dapat merusak bangunan perumahan, sarana dan prasarana penting. Kerusakan akibat gempa bumi di masa lalu menunjukkan bahwa betapa besarnya kerugian yang kita alami. Sekolah-sekolah di daerah yang rawan terhadap gempa bumi sangatlah rentan pada saat terjadinya gempa bumi, terutama resiko terjadinya kerusakan berat bahkan memakan korban baik siswa maupun guru. Masih banyak sekolah yang dibangun tanpa menggunakan dasar dan pondasi bangunan yang kuat terhadap gempa bumi. Apabila pembangunannya tidak mematuhi standar keselamatan bangunan, jumlah sekolah yang rentan akan meningkat. Berdasarkan pengalaman bencana alam di masa lalu, sekolah yang tidak aman menjadi penyebab kematian apabila terjadi bencana.
Akhir-akhir ini sering terjadi gempa seperti gempa Aceh, Nias, Yogyakarta dan di daerah lain yang telah banyak memakan korban jiwa serta kerugian harta benda termasuk hancurnya fasilitas umum seperti sekolah-sekolah yang didirikan tidak memadai untuk mengantisipasi bahaya tersebut. Melihat situasi yang demikian dan melihat adanya kebutuhan primer masyarakat akan pendidikan, maka tentunya bangunan sekolah yang ada, terutama yang daerahnya sudah terjadi gempa, perlu dilakukan assesmen kerentananya. Untuk mengetahui kemampuan gedung setelah terjadi gempa, maka perlu diketahui perilaku dari gedung tersebut. Telah diadakan

pengetesan pada gedung beton bertulang, dari hasil pengetesan tersebut diketahui bagaimana kemampuan gedung tersebut akibat diberinya beban dorong. Dengan melakukan studi numerik dan dibandingkan dengan hasil pengetesan, maka akan didapatkan gambaran pengaruh retak-retak yang ada pada kemampuan struktur. Dengan melihat perbandingan tersebut, maka apabila menemui retak-retak yang sama, dapat dilakukan estimasi berapa penurunan kemampuan dari gedung beton bertulang tersebut.

2. TUJUAN

Berdasarkan latar belakang yang telah disebutkan diatas, maka tujuan penelitian ini adalah melakukan assesmen kerentanan bangunan beton bertulang Sekolah Dasar (SD) akibat pengaruh beban gempa. Sedangkan tujuan rinci dari penelitian ini dapat diuraikan sebagai berikut:

a. Mengkaji data bangunan SD beton bertulang dua lantai yang dilakukan pengetesan untuk mengetahui kemampuan struktur akibat beban Gempa.
b. Mengkaji perilaku struktur gedung SD tersebut terhadap beban gempa secara numerik.
c. Membuat perbandingan antara hasil pengetesan dan uji numerik.

3. METODE PENELITIAN

Langkah-langkah yang akan dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

(1) Kajian teoritik dimulai dengan mencari literatur yang berhubungan dengan asesmen kerentanan bangunan dan juga perilaku bangunan terkena gempa.
(2) Pengambilan data dimulai dengan gambar struktur gedung beton bertulang yang akan dilakukan assesmen kerentanannya terhadap pengaruh gempa. Dicari data hasil pengetesan gedung tersebut dari penelitian sebelumnya.
(3) Kajian Numerikal dilakukan dua kali yaitu:
    a. Kajian Awal: Setelah didapatkan gambar gedung SD yang diteliti, maka akan dilakukan perhitungan dengan bantuan software ETABS. Dalam melakukan analisa ini diperlukan data: Mutu bahan untuk struktur gedung dan atap, dan dimensi elemen struktur dan atap. Gedung digunakan sebagai sekolah, sehingga perhitungan beban dan nilai keutamaan gedung mengacu pada aturan pembebanan Indonesia, yaitu beban mati, hidup dan gempa.
    b. Analisa pertama dilakukan analisa kapasitas, dimana diharapkan diperoleh nilai kapasitas elemen-elemen strukturnya. Nilai kapasitas ini efektif sekitar 0.7. Analisa berikutnya adalah analisa non-linear pushover, dimana akan diketahui posisi sendi plastis yang terjadi di struktur dan mengetahui drift dan base shear struktur.
    c. Analisa tingkat kinerja struktur berdasarkan FEMA 356 (2000), konsep *Structural Performance Levels* didasari pada *Performance Based Design* yang menetapkan tingkat kinerja (*Performance Level*) yang diharapkan dapat dicapai saat struktur mengalami gempa dengan intensitas tertentu. Adapun penetapan tingkat kinerja suatu bangunan dapat didasarkan atas aturan tingkat keselamatan yang diberikan kepada penghuni gedung selama dan sesudah terjadi gempa serta biaya terhadap kerusakan maksimum yang masih diijinkan sesuai dengan

tingkat kepentingan, pertimbangan ekonomis dari pemilik bangunanan. FEMA mengatur tingkat kinerja suatu bangunan sebagai berikut :

d. *Operasional*
Pada level ini gedung diperkirakan dapat meminimalkan kerusakan yang terjadi pada komponen struktur dan *non-structural*. Dan gedung masih dapat dipakai secara normal.

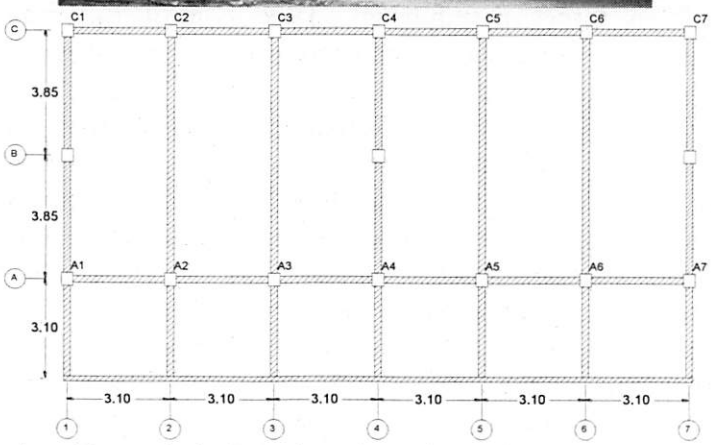
e. *Immediate Occupancy*
Pada level ini gedung diperkirakan dapat meminimalkan kerusakan yang terjadi pada komponen struktur sedangkan pada komponen *non-structural* terjadi keruskaan kecil. Gedung masih dapat berfungsi kembali dengan sedikit perbaikan. Resiko terhadap keamanan gedung adalah sangat kecil.

f. *Life Safety*
Pada level ini gedung diperkirakan mengalami banyak kerusakan struktur dan *non-structural*. Perbaikan dibutuhkan sebelum gedung dapat dipakai kembali dan mungkin tidak ekonomis.

g. *Collapse Prevention*
Pada level ini gedung diperkirakan terjadi kegagalan (*collapse*) pada komponen struktur.

4. PEMODELAN GEDUNG

Dalam penelitian ini dilakukan pengujian pada sekolah dengan struktur beton bertulang dua lantai, dimana tampak dan denah strukturnya dapat dilihat pada Gambar 1. Sedangkan material beton yang digunakan mempunyai mutu fc' = 15.1 Mpa.

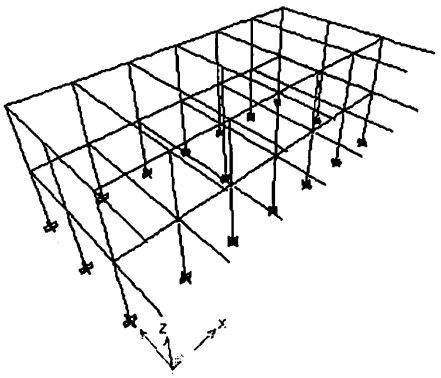


Gambar 1. a. Tampak, b. Denah gedung beton bertulang yang dianalisa

Pemodelan Gedung dilakukan dengan bantuan ETABS. Program bantu ETABS seperti program bantu *finite element* yang lain memiliki beberapa tahapan kerja, antara lain:

1. Pembuatan model struktur sesuai dengan bentuk geometri dan dimensi bangunan.
2. Memasukkan data material, dimensi penampang, balok kolom, jenis beban dan kombinasi beban. Memasukkan besarnya beban luar pada model struktur balok dan kolom. Analisa gaya dan kekuatan struktur dalam menahan beban luar.
3. Melakukan analisa *Non-linear Pushover Analisis.*

Gambar 2 menunjukkan model gedung beton bertulang yang dilakukan dengan program bantu ETABS.



Gambar 2. Model 3D gedung beton bertulang 2 lantai

4. ANALISA PUSHOVER

Tahapan utama dalam analisis *pushover* adalah sebagai berikut:

1. Menentukan titik control untuk memonitor besarnya perpindahan struktur. Rekaman besarnya perpindahan titik control dan gaya geser dasar digunakan untuk menyusun kurva *pushover*.
2. Membuat kurva *pushover* dari berbagai pola distribusi gaya lateral yang ekivalen dengan distribusi gaya inersia, sehingga diharapkan deformasi yang terjadi hampir sama dengan gempa sebenarnya. Karena gempa sifatnya tidak pasti, perlu dibuat beberapa pola pembebanan lateral.
3. Estimasi besarnya target perpindahan. Titik kontrol didorong sampai target tersebut, yaitu suatu perpindahan maksimum yang diakibatkan oleh intensitas gempa rencana yang ditentukan.
4. Mengevaluasi level kinerja struktur ketika titik kontrol tepat berada pada target perpindahan merupakan hal utama dari perencanaan berbasis kinerja. Komponen struktur dianggap memuaskan jika memenuhi persyaratan deformasi dan kekuatan. Karena yang dievaluasi adalah komponen yang jumlahnya relatif sangat banyak maka proses harus dikerjakan oleh komputer.

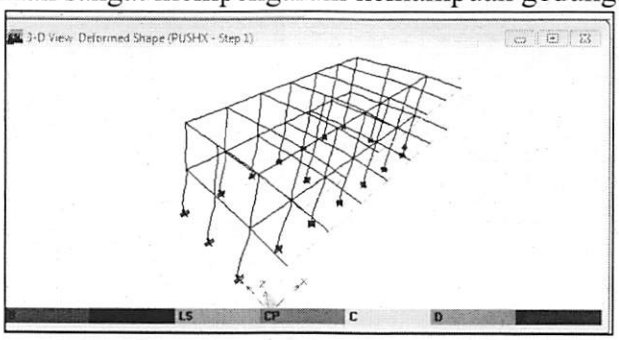
Kurva pushover dapat digambarkan secara kualitatif kondisi kerusakan yang terjadi pada level kinerja yang ditetapkan agar mempunyai bayangan seberapa besar kerusakan itu terjadi. Selain itu dapat dikorelasikan di bawahnya berapa prosentase biaya dan waktu yang diperlukan untuk perbaikan. Informasi itu tentunya sekedar

gambaran perkiraan, meskipun demikian sudah mencukupi untuk mengambil keputusan apa yang sebaiknya harus dilakukan terhadap hasil analisis bangunan tersebut.

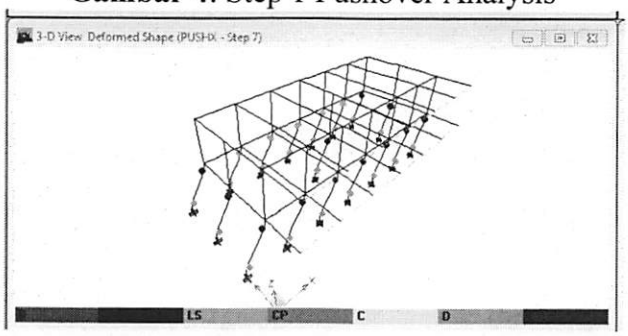
Pada gedung sekolah dasar beton bertulang ini dianalisa penurunan kapasitas kolom, dengan membuat beberapa model yang berbeda yaitu:

- Kapasitas kolom menjadi 70%
- Kapasitas kolom menjadi 60%
- Kapasitas kolom menjadi 50%

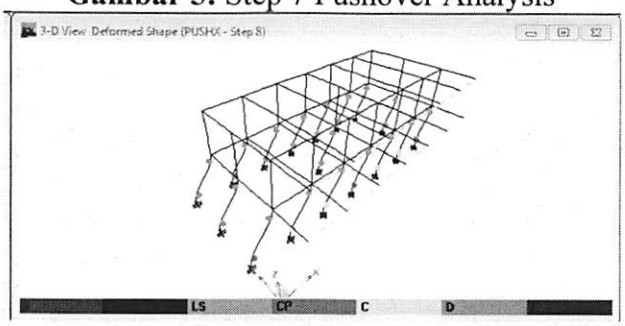
Dari ketiga model yang dianalisa tersebut, diketahui bahwa pada step 1, sudah terjadi sendi plastis, yaitu pada kolom bagian bawah seperti ditunjukkan pada Gambar 4. Pada punurunan kapasitas kolom 70%, terlihat bahwa step 9 terjadi perpindahan dari level aman ke IO, sedangkan struktur memasuki level *Collapse* pada step 10. Sedangkan pada penurunan kapasitas kolom 60% dan 50%, mengalami perpindahan level dari aman ke IO pada step 7, sedangkan step 8 sudah terjadi beberapa kolom mengalami *collapse* seperti ditunjukkan pada Gambar 5 dan 6. Dapat dikatakan bahwa pengaruh kemampuan kolom akan sangat mempengaruhi kemampuan gedung.



Gambar 4: Step 1 Pushover Analysis



Gambar 5: Step 7 Pushover Analysis



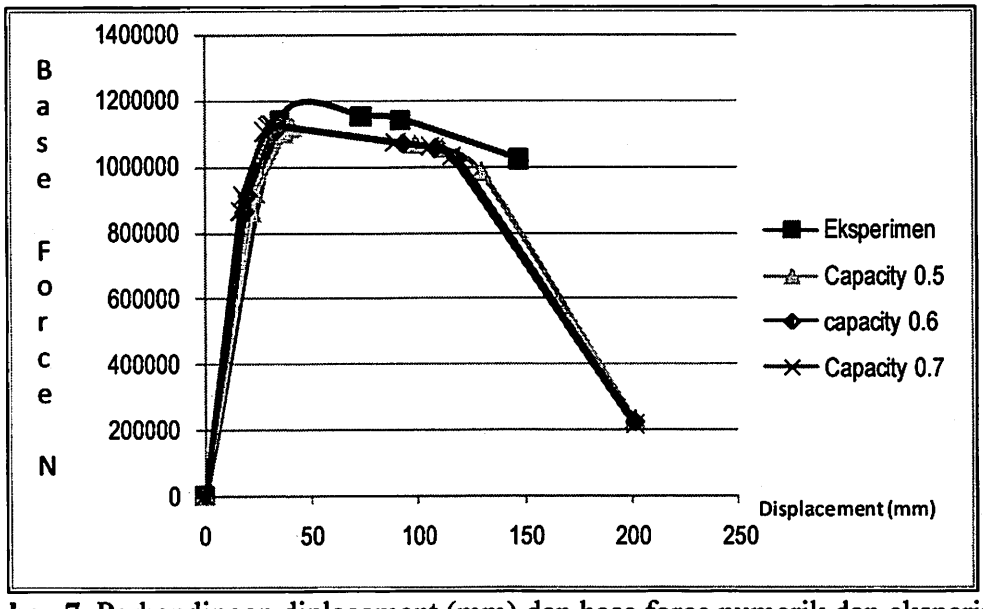
Gambar 6. Step 8 Pushover Analysis

5. PERBANDINGAN DENGAN EKSPERIMEN

Perbandingan antara hasil numerik dan pengetesan dapat dilihat pada Tabel 1. Sedangkan Gambar 2 menunjukkan grafik perbandingan antara hasil eksperimen dan hasil numerik dengan perbandingan kapasitas yang berbeda.

Tabel 1. Perbandingan diplacement (mm) dan base force (N) numerik dan eksperiment

Step	Kapasitas 70%		Kapasitas 60%		Kapasitas 50%		Pengetesan	
	Displ	Base Force	Displ	Base Force	Displ	Base Force	Displ	Base Force
	mm	N	mm	N	mm	N	mm	N
1	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0	0
2	22.12	860649.44	18.83	861339.38	16.47	861119.63	35.28	1140000
3	23.76	916234.06	20.11	912235.69	17.53	909649.69	73.55	1150000
4	37.46	1098571.38	31.95	1100086.25	28.11	1102810.00	91.94	1140000
5	39.80	1115068.88	33.82	1115983.88	29.63	1117623.88	147.1	1020000
6	40.43	1117326.00	34.80	1120285.63	30.48	1121990.00		
7	41.17	1117406.63	35.39	1120674.75	30.90	1123081.88		
8	98.77	1065064.13	92.99	1068402.13	31.34	1123465.38		
9	111.67	1053341.00	108.29	1054513.88	31.75	1123656.75		
10	129.91	981642.44	118.50	1023124.56	89.35	1071433.88		
11	201.39	230904.44	201.20	221100.09	105.95	1056383.63		
12					116.22	1025661.13		
13					201.06	215887.94		



Gambar 7. Perbandingan diplacement (mm) dan base force numerik dan eksperiment

Dari Gambar 7 dapat dilihat perbandingan antara displacement (mm) dan base force (N) pada gedung setelah dilakukan analisa numerik pushover dan hasil eksperiment. Dari perbandingan tersebut dapat dilihat bahwa pada kolom yang

mengalami menurunan 50% lebih mendekati hasil eksperiment dibandingkan dengan hasil numerik pada penurunan kapasitas 60% dan 70%. Sehingga dapat dikatakan bahwa gedung sudah mengalami penurunan kapasitas 50% akibat adanya beban gempa yang terjadi.

6. KESIMPULAN

Dari studi ini diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Elemen-elemen struktur, yaitu kolom, balok dan pelat yang terpasang di lapangan, di cek terlebih dahulu apakah elemen-elemen tersebut mampu menahan beban yang diterima sesuai dengan kombinasi yang ada. Dari analisa ini diperoleh bahwa elemen-elemen yang ada mampu menahan beban-beban yang harus ditahannya, hanya pada elemen kolom, walaupun masih mampu menerima beban yang ada tetapi sudah memiliki rasio 0.7 antara beban ultimat dan kapasitas kolom.
2. Setelah dilakukan analisa pushover dengan mengurangi kemampuan kolom 0.7, 0.6 dan 0.5 dan dibandingkan dengan pengetesan di lapangan, diketahui bahwa kolom dengan pengurang kapasitas 50% yang mendekati dengan hasil pengetesan. Ini menunjukkan bahwa kapasitas gedung yang nyata sudah turun sebesar 50% akibat terkena gaya lateral, yang dalam kenyataannya adalah akibat gaya gempa.
3. Pengetesan dengan displasemen 0.25% menunjukkan bahwa terjadi retak pada komponen non-struktural, sedangkan pada pemberian displacement 0.5% telah terjadi retak-retak pada komponen struktural yaitu kolom. Pada kondisi displasemen sekitar 100 mm adalah kondisi ultimat struktur, setelah itu struktur mengalami kondisi plastis.

7. DAFTAR PUSTAKA

1. ASCE.2000. *FEMA356 : Prestandard and Commentary for The Sismic Rehabilitation of Buildings.*
2. Badan Standarisasi Nasional 2002. *Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung (SNI 03-1726-2002).* Bandung : BSN.
3. Badan Standarisasi Nasional. 2000. *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung (SNI 03-2847-2002).* Bandung : BSN.
4. Berto, L, et al. 2009. "Seismic assessment of existing RC Structures affected by degradation Phenomena", *Structural Safety,* Elsevier, volume 31, pp. 284-279. January 2009.
5. Departemen Pekerjaan Umum. 1983. *Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung (PPIUG) 1983.* Jakarta : DPU.
6. FEMA. 2004. FEMA 424. *Design Guide for Improving School Safety in Earthquakes, Floods and High Winds,* USA.
7. Iranata, D. and Suswanto, B.2010. "*Realistic Pushover Analysis of Reinforced Concrete Low-Rise*" *1st Makassar International Conference on Civil Engineering,* Makassar.

8. Tajunnisa, Y., Wahyuni, E., et al, 2011, "*Earthquake Resistant Design of Reinforced Building with Pushover Analysis*", International Conference 3rd APTECS, 22-23 December 2011, Surabaya

DUKTILITAS PENAMPANG TIANG PANCANG BETON PRATEKAN PRATARIK BULAT BERONGGA HASIL PEMADATAN SENTRUFUGAL

(DUCTILITY OF PRETENSION SPUN CONCRETE PILES SECTION)

I Gusti Putu Raka[1]

[1]*Dosen Jurusan Teknik Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Kampus ITS Sukolilo Surabaya, Telp 031-5946094, HP 0811314414 email: raka@ce.its.ac.id atau igp_raka@yahoo.com*

ABSTRAK

Tiang pancang pratekan bulat berongga hasil pemadatan sentrifugal*(pretension spunt concrete pile)* akhir –akhir ini sangat diminati pasar konstruksi. Disamping mengetahui tentang kemampuannya (Momen batas, Momen retak), kiranya perlu juga dipahami menyangkut prilaku duktilitasnya. Kecendrungan bahwa makin besar prosentase pratekannya, penampang mempunyai duktilitas menurun. Hal serupa juga dijumpai didalam tiang pancang ini, jadi bentuk dan proses pembuatan tampak tidak mempengaruhi duktilitasnya.

Kata kunci: *duktilitas,pratekan,prosentase pratekan,tiang pancang pratekan bulat berongga hasil pemadatan sentrifugal(pretension spuntconcrete pile)*

1. PENDAHULUAN

Duktilitas penampang pada struktur beton memegang peranan sangat penting khususnya menyangkut prilaku saat terjadi keruntuhan. Untuk jenis penampang persegi, berbentuk 'I' atau 'T' sudah banyak diungkap.

Mengingat pemakaian type tiang pancang ini sangat banyak diminati, adanya bentuk penampang dan proses pemadatan beton yang berbeda, maka mengetahui duktilitasnya dirasa sangat perlu. Ada tiga expresi yang biasa dipakai untuk menyatakan duktilitas:

$$\mu\Delta = \frac{\Delta u}{\Delta y} \qquad (1)$$

$$\mu\Phi = \frac{\Phi u}{\Phi y} \qquad (2)$$

$$\mu\theta = \frac{\theta u}{\theta y} \qquad (3)$$

dimana:

$\mu\Delta$, $\mu\Phi$ & $\mu\Theta$ adalah faktor duktilitas berturut-turut: duktilitas defleksi/lendutan (Δ), duktilitas kelengkungan (Φ) dan rotasi (Θ);

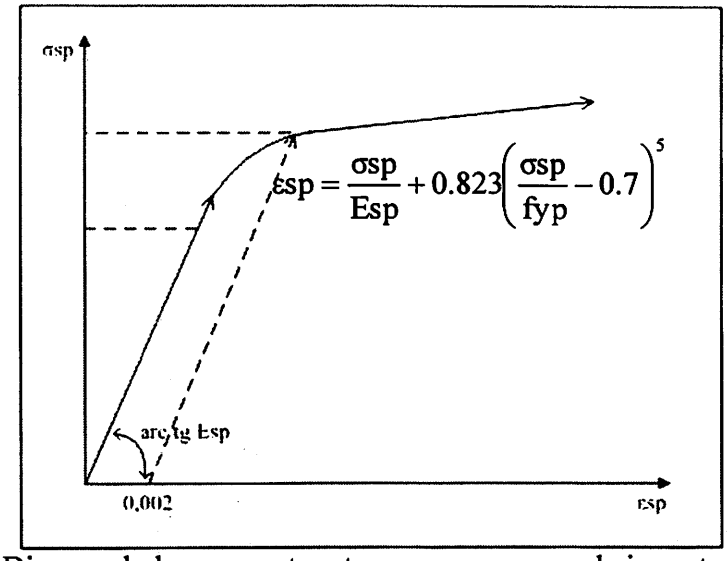
Δu, Φu & Θu adalah berturut-turut: defleksi/lendutan (Δ), kelengkungan (Φ) dan rotasi (Θ) pada keadaan batas *(ultimate);*

Δy, Φy & Θy adalah berturut-turut: defleksi/lendutan (Δ), kelengkungan (Φ) dan rotasi (Θ) pada keadaan leleh pertama.

Adapun pembahasan disini hanya dilakukan pada duktilitas defleksi/lendutan ($\mu\Delta$) dan duktilitas kelengkungan ($\mu\Phi$), sedang untuk duktilitas rotasi ($\mu\Theta$) karena tidak tersedianya peralatan terpaksa tidak dilakukan.

2. TINJAUAN TEORI

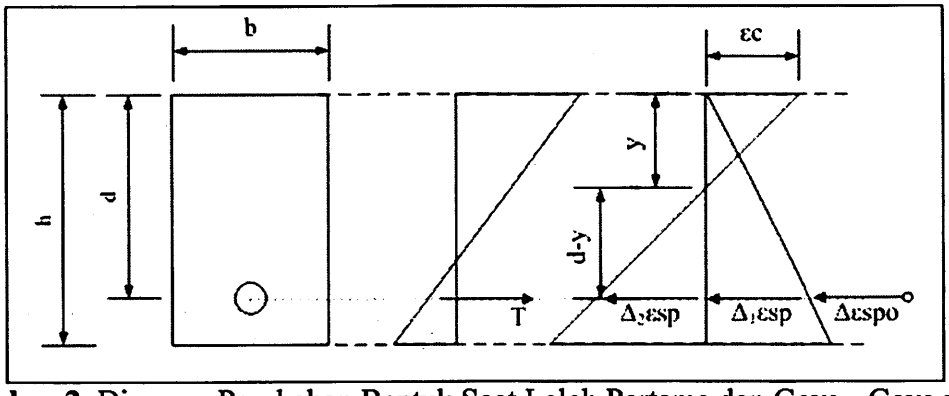
Seperti diketahui,bahwa duktilitas adalah perbandingan antara kondisi batas atas leleh pertama, maka untuk beton pratekan kedua batasan ini harus ditetapkan terlebih dahulu. Mengingat diagram tegangan - regangan (σ-ε) baja prategang (Gambar 1), tidak mempunyai titik leleh yang pasti, maka untuk itu titik lelehnya diambil pada saat terjadi regangan remanen ε_{sp}=2‰.



Gambar 1. Diagram hubungan antara tegangan-regangan baja prategang (σ_{sp}-ε_{sp})

Keadaan leleh pertama

Berbeda dengan beton bertulang, didalam penampang beton pratekan sudah dijumpai adanya tegangan inisiil. Diagram perubahan bentuk saat leleh pertama dan gaya-gaya yang timbul dapat dilihat dalam Gambar 2.



Gambar 2. Diagram Perubahan Bentuk Saat Leleh Pertama dan Gaya - Gaya yang Timbul Dalam Penampang

Memperhatikan adanya regangan inisiil εspo, maka leleh pertama dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\varepsilon sp = \varepsilon spo + \Delta_1 \varepsilon sp + \Delta_2 \varepsilon sp \qquad (4)$$

dalam keadaan leleh $\varepsilon spy = 2‰ + \frac{fspy}{Esp}$ (lihat Gambar 1)

$$\varepsilon spo = \frac{\sigma sp}{Esp}$$

$$\Delta_1 \varepsilon sp = \frac{fdec}{Esp}$$

dari persamaan (4):

$$\Delta_2 \varepsilon sp = 2‰ + \frac{fspy}{Esp} - \Delta_1 \varepsilon sp - \varepsilon spo \qquad (5)$$

$$\frac{\varepsilon c}{\varepsilon c + \Delta_2 sp} = \frac{y}{d} \qquad (6)$$

y adalah jarak garis netral terhadap serat atas.

Dengan keseimbangan

$$\Sigma H = T = C \qquad (7)$$

$$T = Asp \,.\, fspy$$

$$C = \frac{1}{2} b \,.\, fc \,.\, y$$

$$\frac{1}{2} b \,.\, fc \,.\, y = Asp \,.\, fspy \qquad (8)$$

Dari persamaan (6) dan (7), serta dengan asumsi fc = Ec.εc, kondisi leleh pertama dimana hubungan σc-εc masih memenuhi hukum Hook secara murni (σ = ε.E),maka :

$$\frac{\varepsilon c \,.\, d}{\varepsilon c + \Delta_2 \varepsilon sp} = \frac{2Asp \,.\, fspy}{b \,.\, Ec \,.\, \varepsilon c}$$

sedikit diolah, sehingga menjadi persamaan kuadrat sbb:

$$\varepsilon c^2 \,.\, b \,.\, d \,.\, Ec - \varepsilon c \,.\, 2Asp \,.\, fspy - \Delta 2\varepsilon sp \,.\, 2Asp \,.\, fpy = 0 \qquad (9)$$

εc dapat dihitung, maka dengan persamaan (6), y diketahui.
Untuk sudut kecil,

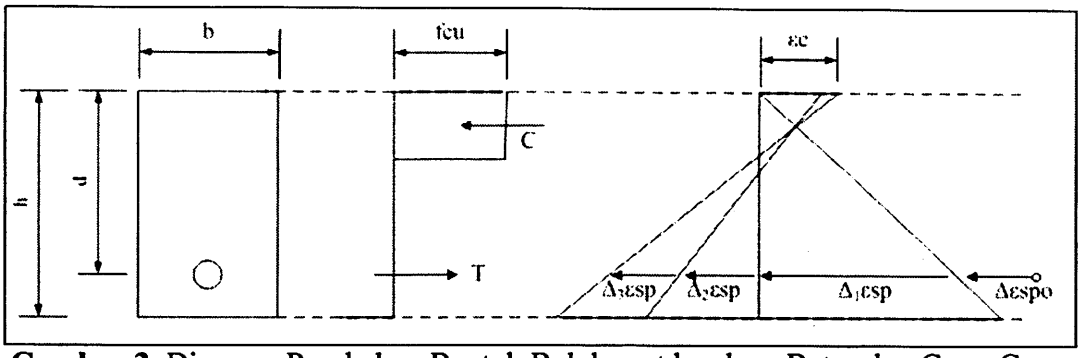
$$\Phi y = tgn\ \Phi y$$

$$\Phi y = \frac{\Delta_2 \varepsilon sp}{d - y} \qquad (10)$$

Jadi sudut kelengkungan saat leleh pertama (Φy) dapat dicari.

Keadaan batas

Untuk keadaan ini dengan mengambil bentuk diagram perubahan bentuk seperti Gambar 3, Φu dapat dicari:



Gambar 3. Diagram Perubahan Bentuk Balok saat keadaan Batas dan Gaya-Gaya yang Timbul dalam Penampang

$$\frac{\varepsilon cu}{\varepsilon cu + \Delta_3 sp + \Delta_2 sp} = \frac{yu}{d} \qquad (11)$$

Harga yu dapat dicari dengan ΣH=0

$$\varphi u = tg\,\varphi u = \frac{\Delta_3 sp + \Delta_2 sp}{d - yu} \qquad (12)$$

dengan

$$\mu_\varphi = \frac{\varphi u}{\varphi y} \qquad (13)$$

dengan persamaan (10) dan (12) persamaa (13), dapat dirubah menjadi:

$$\mu_\varphi = \frac{(\Delta_3 sp + \Delta_2 sp)(d - y)}{(d - yu)\Delta_2 sp}$$

dengan memasukan harga y dan yu (persamaan (6) dan persamaan (11) diperoleh:

$$\mu_\varphi = \frac{(\Delta_3 \varepsilon sp + \Delta_2 \varepsilon sp)\left[d - \dfrac{\varepsilon c\,.\,d}{\varepsilon c + \Delta_3 \varepsilon sp}\right]}{\left[d - \dfrac{\varepsilon cu\,.\,d}{\varepsilon cu + \Delta_2 \varepsilon sp + \Delta_3 \varepsilon sp}\right](\Delta_2 \varepsilon sp)}$$

$$= \frac{(\Delta_3 \varepsilon sp + \Delta_2 \varepsilon sp)d\,(\varepsilon\varepsilon + \Delta_2 \varepsilon sp - \varepsilon c)\,(\varepsilon\varepsilon c + \Delta_2 \varepsilon sp + \Delta_3 \varepsilon sp)}{(\varepsilon\varepsilon c + \Delta_2 \varepsilon sp)d\,(\varepsilon\varepsilon c + \Delta_2 \varepsilon sp + \Delta_3 \varepsilon sp - \varepsilon cu)\,(\Delta_2 \varepsilon sp)}$$

$$= \frac{(\Delta_3 \varepsilon sp + \Delta_2 \varepsilon sp)(\Delta_2 \varepsilon sp)(\varepsilon\varepsilon c + \Delta_2 \varepsilon sp + \Delta_3 \varepsilon sp)}{(\varepsilon\varepsilon + \Delta_2 \varepsilon sp)(\Delta_2 \varepsilon sp + \Delta_3 \varepsilon sp)\Delta_2 \varepsilon sp}$$

$$\mu_\varphi = \frac{(\varepsilon\varepsilon c + \Delta_2 \varepsilon sp + \Delta_3 \varepsilon sp)}{\varepsilon c + \Delta_2 \varepsilon sp} \qquad (14)$$

Dari persamaan ini, μ_φ dapat dihitung karena

εc: ditetapkam dalam "*code*" misal 3‰ (SKSNI T15-1991).

$\Delta_2\varepsilon sp$: dengan persamaan (5), dapat dicari karena fspy, $\Delta_1\varepsilon sp$, εspo diketahui untuk setiap jenis penampang balok.

$\Delta_3\varepsilon sp$: dapat dicari melalui yu, jadi tergantung pada besar Tu dan Cu, dinamika Tu tergantung pada mutu baja fpu dan Asp, Cu tergantung pada mutu beton fc' dan b (lebar balok).

εsp: dengan persamaan Δ_3εsp, dengan

ΣH=0 C = T, dimana C=1/2b . fc. y dan T=Asp . fspy

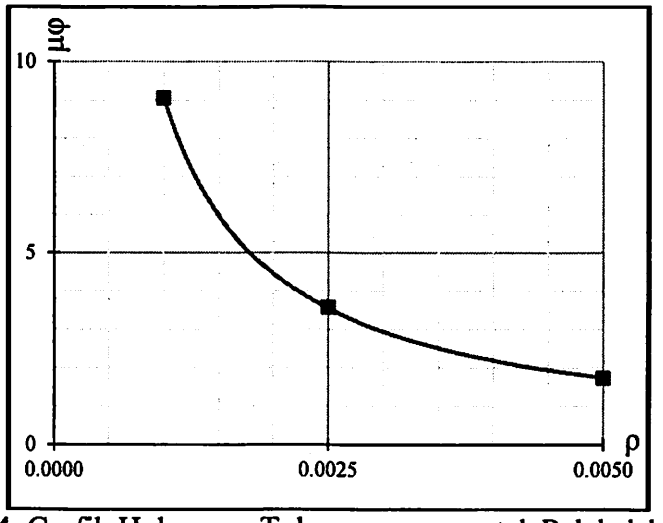
dalam keadaan leleh pertama, dianut: fc= εc.Ec:

Sebagai ilustrasi, dicoba untuk balok pratekan dengan prosentase tulangan ρ=0.5%, ρ=0.25% dan ρ=0.1%, hasil perhitungannya dituangkan dalam Tabel 1 sebagai berikut:

Untuk menggambarkan hubungan ρ dengan μ_φ, hasil yang diperoleh dalam Tabel 1, yang kemudian dituangkan dalam bentuk kurva seperti terlihat dalam Gambar 4.

Tabael 1: Hubungan besaran antara duktilitas kelengkungan μφ,dengan prosentase (ρ) tulangan prategang.

ρ(%)	0.5	0.25	0.1
Asp(mm²)	1400	700	280
εc(‰)	0.53	0.4	0.33
yu(mm)	231.62	115.81	46.32
Δ_3εsp(%)	1.39	10.45	37.66
μφ	1.74	3.57	9.05



Gambar 4. Grafik Hubungan Tulangan ρ - μ_φ untuk Balok dalam Contoh

3. PROSES PERCOBAAN

3.1 Data dan mutu benda uji.

Perlu diketahui bahwa dalam penelitian ini benda uji yang dipakai adalah tiang pancang hasil tes lentur dari pabrikan yang diujikan di Laboratorium Struktur Jurusan Teknik Sipil FTSP-ITS.

Ada dua type benda uji :

- Benda uji yang berasal dari potongan hasil pengujian, tiangnya utuh(tanpa sambungan) ;
- Benda uji yang merupakan sambungan tiang pancang .

ISBN 978-979-99327-8-5

Data lengkap dapat dilihat dalam Tabel 2:

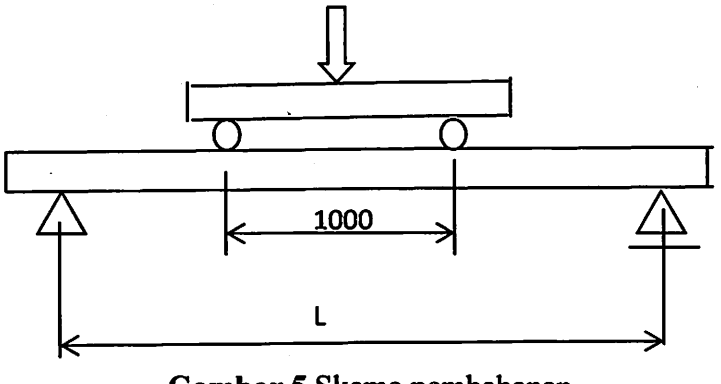
Tabel2: Data benda uji, diameter,tebal beton,prosentase tulangan dan jumlah PC-Wire.

No	Diameter tiang(mm)	Jumlah PC-Wire	Tebal beton(mm)	ρ(%)= Asp/Ac	Keterangan
1	Ø400	12Ø7	75	0.6	Utuh
2	Ø400	12Ø7	75	0.6	Utuh
3	Ø450	14Ø7	80	0.58	Utuh
4	Ø450	14Ø7	80	0.58	Utuh
5	Ø600	21Ø7	100	0.51	Utuh
6	Ø600	21Ø7	100	0.51	Utuh
7	Ø300	12Ø7	60	1.02	Sambung
8	Ø300	12Ø7	60	1.02	Sambung
9	Ø350	14Ø7	70	0.87	Sambung
10	Ø350	14Ø7	70	0.87	Sambung
11	Ø400	21Ø7	75	0.7	Sambung
12	Ø400	21Ø7	75	0.7	Sambung

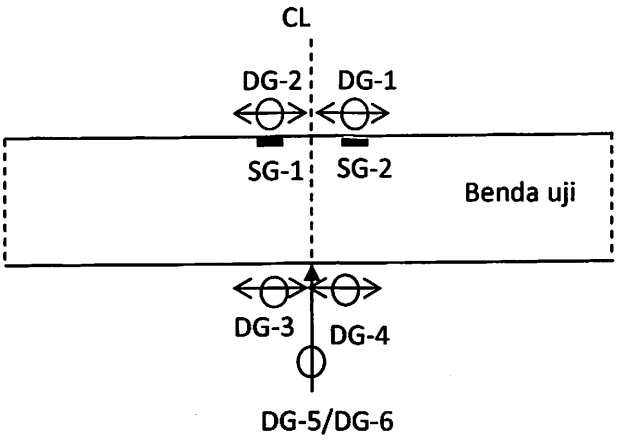
Mutu Bahan

Mutu bahan, beton dan baja prategang diambil dari data pabrikan (podusen tiang pancang).
Beton : K565 atau fc'=47MPa
Baja prategang :fspu=1600MPa,dengan fspy=1450MPa.

3.2 Skhema pembebanan dan penempatan alat ukur



Gambar 5 Skema pembabanan



Gambar 6. Jenis dan skhema penempatan alat ukur

Keterangan:

DG-1 s.d DG-4, adalah dial gauge untuk mengukur perpendekan(tekan) dan perpanjangan(tarik) beton diserat atas dan bawah;
DG-5 dan DG-6, adalah dial gauge untu mengukur lendutan (dipasang dua dial gauge) ;
SG-1 dan SG- 2, adalah strain gauge untuk mengukur perpendekan beton.
CL adalah tengah bentang(centre line).

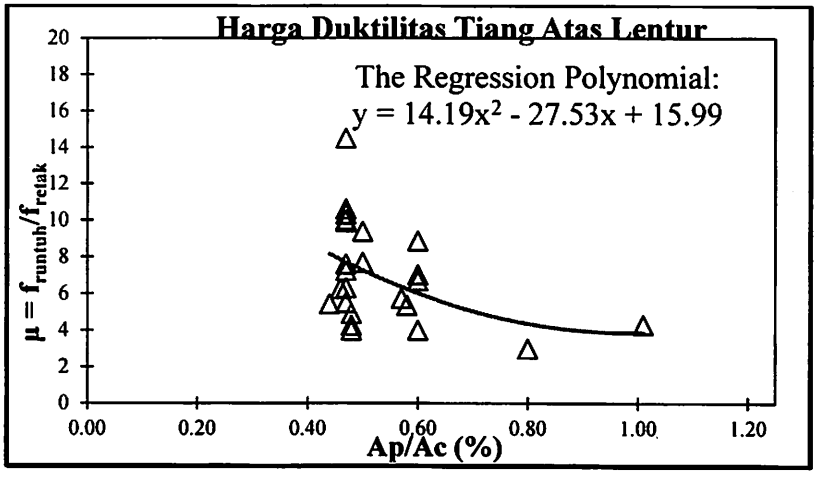
Catatan:
Strain gauge didaerah tarik tidak dipasang, karena pada beton tarik hanya akan berfungsi sampai beton retak.

4.HASIL PERCOBAAN DAN INTERPRETASI.

Hasil pembacaan lengkap tidak ditampilkan.

- **Duktilitas atas lendutan.**

  Curva pada Gambar 7, menunjukan hasil pengukuran duktilitas tiang atas dasar lendutan.



Gambar 7. Hubungan Antara μ_Δ-ρ tiang pancang bulat berongga hasil pemutaran sentrifugal

Secara umum, didapat bahwa minimum harga duktilitas lendutan (μΔ), mendekati persyaratan empat(4),cukup untuk memenuhi kriteria duktilitas deplacement.Harga μΔ, membesar seiring dengan mengecilnya prosentase tulangan seirama dengan prediksi secara teori.

•Duktilitas Curvatur(μϕ).

Untuk duktilitas curcatur tidak dapat ditampilkan dalam curva, karena perbedaan prosentase tulangan sangat tipis. Benda uji yang tersedia terbatas. Secara umum besaran duktilitas curvatur diprololeh cukup memadai(Tabel 3), untuk memberi gambaran bahwa tiang pancang bulat berongga hasil pemadatan sentrifugal ini (spun pile),cukup duktail(**μϕ≥12**).

Tabel 2. Harga $\mu_\phi$dari dasil dercobaan

No	diameter luar tiang (mm)	ρ	Δ_{bu}		Δ_{su}		Δ_{by}		Δ_{sy}		μ_ϕ	Ket.
			DG-3	DG-4	DG-1	DG-2	DG-3	DG-4	DG-1	DG-2		
1	ϕ 400	0.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	tidak didata
2	ϕ 400	0.6	1.81	1.85	0.66	0.87	0.055	0.08	0.065	0.105	**17.02**	
3	ϕ450	0.58	-0.03	7.47	0.86	0.88	0.02	0.4	0.09	0.095	**15.17**	
4	ϕ 450	0.58	-0.54	8.38	0.83	0.8	0.0025	0.41	0.11	0.09	**14.91**	
5	ϕ 600	0.51	-0.09	10.18	0.68	0.63	0.0625	0.46	0.065	0.07	**17.34**	
6	ϕ 600	0.51	-0.81	3.97	1.3	1.2	0.015	0.3	0.055	0.095	**12.17**	

Catatan:

Untuk benda uji no 1, alat baca tidak terbaca(gagal);
Tidak semua pengujian dipasangi dial gauge.

ISBN 978-979-99327-8-5

•Pengukuran dengan strain gauge.

Untuk pengukuran dengan strain gauge hanya dilakukan pada daerah tekan (SG-1 dan SG-2), untuk benda uji seperti pada pengukuran dengan dial gauge.Pengukuran regangan tekan beton yang dapat diukur hanyalah regangan sisa, karena beton sudah dalam keadaan tertekan*(prestres)*. Adapun hasil lengkapnya dapat dilihat dalam Tabel 3 :

Tabel 3 : Hasil pengukuran sisa regangan beton tekan.

No	Diameter (Φ)tiang	fci(MPa) =Fci/Ac	fc'-fci (MPa)	εci (%)	εcu-εci (%)	εc sisa (%)
2	ϕ 400	6.757	49.743	0.191	2.809	2.432
3	ϕ450	6.489	50.011	0.184	2.816	2.300
4	ϕ 450	6.489	50.011	0.184	2.816	2.630
5	ϕ 600	5.765	50.735	0.163	2.837	1.73*)
6	ϕ 600	5.765	50.735	0.163	2.837	2.573

Catatan :
-Untuk benda uji no 1,tidak dapat ditampilkan(pengukuran gagal) ;
-Untuk benda uji 5, hasilnya tidak valid.
-Ec dihitung dengan rumus Ec=4700√fc', maka Ec=35328MPa.
-εcu dianggap seperti diatur dalam standard(εcu=3‰)

Memperhatikan hasil pengukuran, tampak bahwa εc sisa lebih kecil dari prediksi sekitar 12.5%.Hal ini kemungkinan disebabkan bisa bersumber dari mutu beton atau juga karena pengukuran yang pembacaan strain gaugenya dilakukan secara manual.

5 KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil yang diperoleh dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Secara keseluruhan tiang (tiang utuh) pada dasarnya dapat memenuhi ketentuan duktilitas lendutan $\mu\Delta > 3$.Untuk duktilitas curvatur atau kelengkungan diproleh $\mu_\phi > 12$.
2. Hubungan duktilitas dengan prosentase tulangan pada penampang bulat berongga ini menunjukkan kecenderungan yang sama seperti halnya pada penampang bentuk lain. Jadi bentuk penampang balok tidak berpengaruh langsung pada perilaku duktilitasnya.
3. Ada kecenderungan penurunan regangan beton saat runtuh (ε_{cu}). Menurut peraturan ε_{cu} = 3%, dengan adanya regangan initial pada tiang ini, secara umum harusnya ε_{cu} sisa berkisar 2.8%, namun dari hasil pengukuran ε_{cu} sisa diperoleh maksimum 2.63% (penurunan 12.5%). Adanya proses sentrifugal, *steam curing* serta adanya tegangan initial permanen mungkin bisa menjelaskan fenomena ini.

5.2 Saran.

Dari penelitian ini, terasa sangat jauh dari hasil sempurna, alat ukur, mesin pembebanan yang masih manual sukar mendapatan hasil yang ideal. Untuk kedepan sudah waktunya peralatan laboratorium yang ada diremajakan, agar hasil penelitian dapat diandalakan validitasnya.

DAFTAR PUSTAKA

1.Laporan-laporan pengujian Laboratorium Struktur Jurusan Teknik Sipil FTSP-ITS.
2.Raka, I GP; *"Duktilitas penampang tiang pancang pratekan bulat berongga hasil pemadatan sentrifugal"*, Laporan penelitian LPPM-ITS.
3.Prk R and Pauly T.; *'Reinforced Concrete Structure"*
4.Thomson k.J dan Park R; *'Ductility of Prestressed and Partially Prestressed Comcrete Beam Section"*PCI Journal 1980.

Ucapan terima kasih

Adapun penelitian ini dilakukan di laboratorium Struktur Jurusan Teknik Sipil FTSP-ITS, dengan memanfaatkan adanya pengujian tiang oleh para produsen. Untuk itu penulis mengucapka terima kasih. Untuk dik Yoga trimaksih, sudah banyak membantu mengetikan makalah ini.

MAKALAH
BIDANG GEOTEKNIK

Seminar Nasional IX 2013
Teknik Sipil FTSP-ITS

SEMEN INDONESIA
PT Semen Indonesia (Persero) Tbk

PT. SEMEN INDONESIA (PERSERO) TBK

PENELITIAN STABILITAS LERENG TANAH TOWER PLN GRESIK

Musta'in Arif[1], Trihanyndio Rendy S.[2]

[1]*Dosen Jurusan Teknik Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Kampus ITS Sukolilo Surabaya, Telp 031-5928601, email: arifmustain@yahoo.com*
[2]*Dosen Jurusan Teknik Sipil FTSP, ITS, Kampus ITS Sukolilo Surabaya, Telp 031-5928601, email: rendy_star@yahoo.com*

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui stabilitas tanah tower PLN yang berdiri di atas sebuah lereng, bukit kecil, terhadap kemungkinan runtuh, sebagai akibat adanya kegiatan penggalian tanah disekitarnya. Lokasi tower berada di Desa Sekarkurung (Tower 11) dan di Desa Segoromadu (Tower 12) kabupaten Gresik. Perhitungan dan analisa yang dilakukan adalah : Stabilitas tower saat ini (kondisi eksisting), Stabilitas tower apabila lereng bukit dibawah tower dilakukan penggalian. Dengan kata lain analisa dilakukan terhadap sejauh mana lereng tersebut dapat digali dengan tetap memperhatikan aspek kestabilan dan keamanan struktur tower yang ada.
Stabilitas tower akan dianalisa dengan menggunakan program bantu Plaxis 8.2, yang didasarkan atas metode elemen hingga.
Dari hasil kedua lokasi penyelidikan tanah (Boring & SPT) dapat disimpulkan bahwa jenis tanah dilokasi studi adalah Clayey Silt (lanau kelempungan), dengan sedikit pasir dan batu, yang bervariasi dari medium hingga hard.
Angka keamanan dari aspek stabilitas lereng pada kondisi eksisting adalah sebagai berikut : Tower 11 pada lokasi Desa Sekarkurung menghasilkan angka keamanan sebesar 1,467 (aman). Tower 12 pada lokasi Desa Segoromadu menghasilkan angka keamanan sebesar 1,82 (aman).
Besarnya penurunan tanah segera (short term condition) yang terjadi dibawah pondasi Tower 11 karena adanya penggalian adalah sebesar 0,62 mm, sedangkan penurunan tanah segera (short term condition) yang terjadi dibawah pondasi Tower 12 karena adanya penggalian adalah sebesar 0,01 mm.
Kontrol daya dukung pondasi dangkal pada kondisi eksisting dan kondisi modifikasi adalah sebagai berikut : Pondasi tower 11 pada lokasi Desa Sekarkurung memenuhi persyaratan dimana allowable bearing capacity 27,46 t/m^2 > working load 10 t/m^2 dengan safety factor (SF) = 8,20. Pondasi tower 12 pada lokasi Desa Segoromadu memenuhi persyaratan dimana allowable bearing capacity 11,58 t/m^2 > working load 10 t/m^2 dengan safety factor (SF) = 3,47.

Kata kunci: Stabilitas lereng, Tower, metode elemen hingga

1. PENDAHULUAN

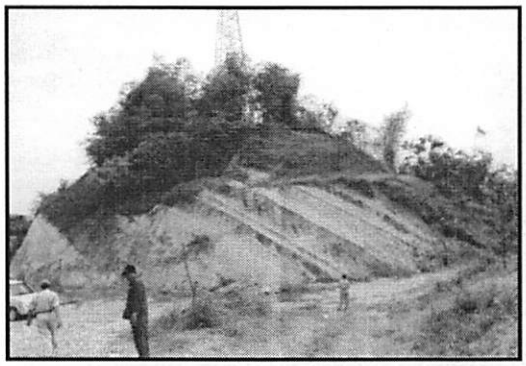
Studi ini bertujuan untuk mengetahui stabilitas tanah tower PLN yang berdiri di atas sebuah lereng, bukit kecil, terhadap kemungkinan runtuh, sebagai akibat adanya kegiatan penggalian tanah disekitarnya. Lokasi tower berada di Desa Sekarkurung (Tower 11) dan di Desa Segoromadu (Tower 12) kabupaten Gresik. Perhitungan dan analisa yang dilakukan adalah :

- Stabilitas tower saat ini (kondisi eksisting)
- Stabilitas tower apabila lereng bukit dibawah tower dilakukan penggalian.

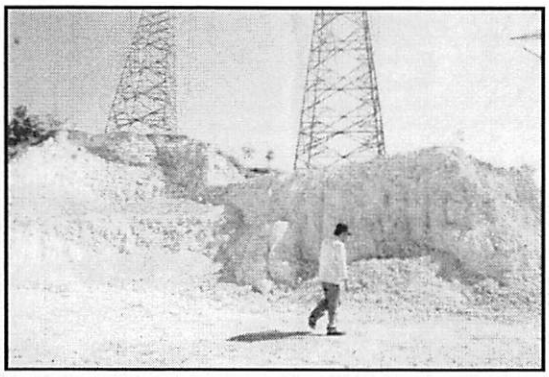
Dengan kata lain analisa dilakukan terhadap sejauh mana lereng tersebut dapat digali dengan tetap memperhatikan aspek kestabilan dan keamanan struktur tower yang ada. Stabilitas tower akan dianalisa dengan menggunakan program bantu Plaxis 8.2, yang didasarkan atas metode elemen hingga.

Pertama kali yang harus dilakukan adalah memetakan kondisi eksisting lapangan, seperti elevasi-elevasi permukaan tanah berikut potongan-potongan melintang dan memanjang. Elevasi-elevasi kontur dan potongan-potongan tersebut nantinya digunakan sebagai input data permodelan geometrik pada program Plaxis.

Pemetaan dilakukan pada kedua lokasi baik di Desa Sekarkurung maupun Desa Segoromadu hingga radius sekitar 50 meter dari as bangunan tower. Berikut ini adalah kondisi eksisting lapangan untuk kedua lokasi tower. **(Gambar 1 & 2)**



Gambar 1



Gambar 2

Gambar 1. Tower 11 PLN di Desa Sekarkurung Gresik ;
Gambar 2. Tower 12 PLN di Desa Segoromadu Gresik

2. TINJAUAN PUSTAKA

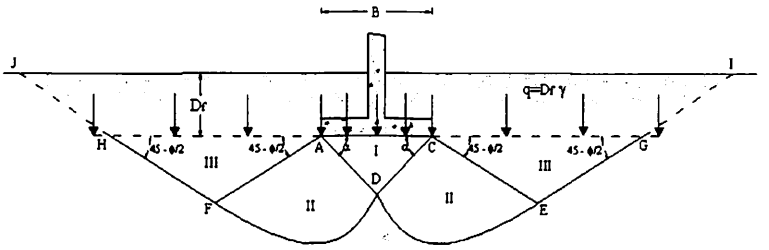
2.1. Daya Dukung Pondasi Dangkal

Terzaghi (1943) mengevaluasi besarnya daya dukung tanah di bawah pondasi dangkal yang memanjang. Untuk pertimbangan praktis, pondasi yang mempunyai rasio antara panjang dan lebar lebih besar 5 dinamakan pondasi lajur, dan pondasi didefinisikan sebagai pondasi dangkal apabila kedalaman $D_f \leq$ lebar pondasi. Tetapi pada percobaan lanjutan dianggap pondasi dangkal, jika kedalaman D_f sama dengan 3 – 4 kali lebar pondasi.

Mekanisme keruntuhan pondasi memanjang yang memanjang pada kedalaman D_f dan mempunyai dasar yang kasar, dianalisis dengan anggapan bahwa keruntuhan terjadi pada kondisi keruntuhan geser umum. Di samping itu, Terzaghi menganggap bahwa berat tanah di sebelah kanan dan kiri pondasi sampai kedalaman dasar pondasi, diganti dengan beban terbagi rata (*surcharge*), $q = \gamma \times D_f$. Zona keruntuhan di bawah pondasi dapat dibagi menjadi 3 bagian yaitu :

1. Zona segi tiga ACD adalah di dalam zona elastis
2. Zona geser radial ADF dan CDE dengan kurva DE dan DF merupakan busur spiral logaritmis
3. Zona pasif menurut Rankine pada segi tiga AFH dan CEG

Dua sudut CAD dan ACD dianggap sama dengan sudut geser ϕ. Dengan catatan perpindahan tanah di atas dasar pondasi sama dengan beban merata q, tahanan geser tanah sepanjang garis keruntuhan GI dan HJ diabaikan. Analisa keruntuhan daya dukung menurut Terzagi dapat dilihat pada **Gambar 3.**



Gambar 3 Analisa keruntuhan daya dukung (Terzaghi,1943)

Dengan menggunakan analisa keseimbangan, Terzaghi menyatakan daya dukung batas dengan rumus :

$$Q_u = C.N_c + q.N_q + 0{,}5.\gamma.B.N_\gamma \qquad (2.49)$$

Dimana :

C = kohesi

γ = berat volume tanah

$q = \gamma.D_f$

N_c, N_q, N_γ = faktor daya dukung menurut terzaghi

B = lebar pondasi

2.2. Amplitudo & Waktu Settlement

2.2.1. Consolidation Settlement

Perhitungan besarnya penurunan konsolidasi (consolidation settlement) dihitung berdasarkan kondisi tanah "Normally consolidated clay (NC Clay)"sesuai hasil soil investigation, dengan persamaan sebagai berikut:

$$S_{cp} = \frac{Cc.H}{1+eo}\log\left[1+\frac{\Delta\sigma}{\sigma_0'}\right]$$

dimana:

Sc	= primery consolidation settlement
Cc	= index compression
e_o	= void ratio
H	= thicknes of compressible soil
σ_o'	= effective pressure (t/m^2)
$\Delta\sigma$	= surcharge & preloading
h	= tinggi timbunan (m)

2.2.2. Waktu Penurunan Alami

Perhitungan waktu konsolidasi alami tanpa penggunaan PVD (**Prefabricated Vertical Drain**) dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$t = \frac{Tv.Hdr^2}{Cv}$$

Dimana:

t	= natural time of consolidation
Tv	= time of factor, tergantung derajat konsolidasi (U), dengan:

$$Tv = \frac{\pi}{4} \times \left(\frac{U\%}{100}\right)^2 \quad \text{untuk } U = 0 - 60\%$$

$$Tv = 1{,}781 - 0{,}933 . \log (100\text{-}U\%) \quad \text{untuk } U > 60\%$$

Hdr = panjang aliran drainase dalam lapisan tanah.
Cv = coefisien of vertical consolidation

2.3. Perhitungan Stabilitas Lereng Teoritis

Metode Analisis stabilitas lereng yang digunakan adalah teknik reduksi kekuatan geser metode elemen hingga dengan software Plaxis 8.2. Kelebihan menggunakan metode ini menurut Griffiths et al (1999) adalah :

1. Asumsi dalam penentuan posisi bidang longsor tidak dibutuhkan, bidang ini akan terbentuk secara alamiah pada zona dimana kekuatan geser tanah tidak mampu menahan tegangan geser yang terjadi.
2. Metode ini mampu memantau perkembangan *progressive failure* termasuk *overall shear failure*.

Berdasarkan persamaan tegangan geser tanah (τ) Mohr-Coulomb (1776), kekuatan geser tanah yang tersedia atau yang dapat dikerahkan oleh tanah adalah :

$$\tau = c' + (\sigma - u).\tan \varnothing'$$

Dalam metode ini, parameter kekuatan geser tanah yang tersedia berturut-turut direduksi secara otomatis hingga kelongsoran terjadi. Sehingga Safety factor (SF) stabilitas lereng menjadi :

$$\Sigma M_{sf} = \tan \varnothing_{input} / \tan \varnothing_{reduksi}$$
$$= c_{input} / c_{reduksi}$$
$$SF = \frac{\text{Kekuatan geser yang tersedia}}{\text{Kekuatan geser saat longsor}}$$
$$= \text{Nilai } \Sigma M_{sf} \text{ pada saat kelongsoran.}$$

dengan,

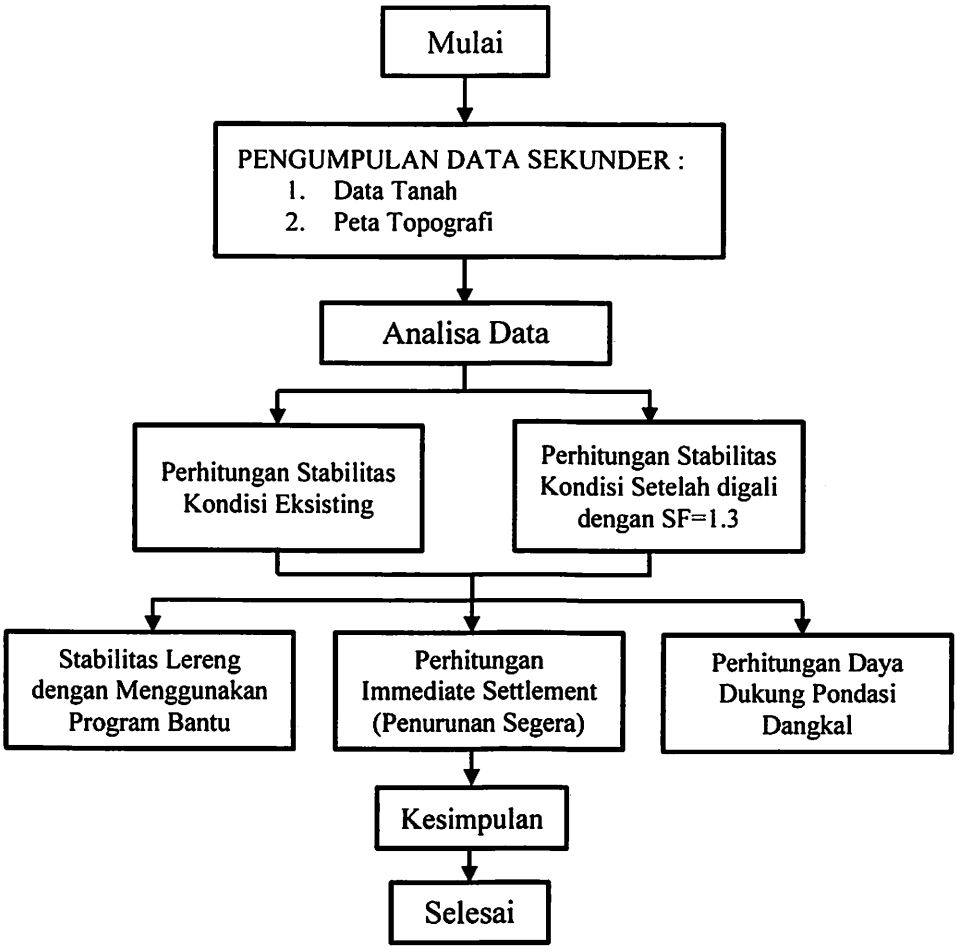
c_{input} = kohesi tanah
$\varnothing_{input}$ = sudut geser dalam tanah
$c_{reduksi}$ = kohesi tanah tereduksi
$\varnothing_{reduksi}$ = sudut geser dalam tereduksi

Adapun kriteria keamanan nilai Safety factor (SF) stabilitas lereng untuk lereng galian timbunan (*cut and fill*) menurut Sowers (1979) dalam Cheng Liu (1981) adalah :

$SF < 1$ – Tidak Aman
$1 \leq SF \leq 1{,}2$ – Stabilitas lereng meragukan
$SF > 1{,}2$ – Aman

3. METODOLOGI

Diagram alir penelitian dapat dilihat pada **Gambar 4.**



Gambar 4. Diagram Alir Penelitian

Analisa kestabilan lereng dilakukan terhadap beberapa kondisi yaitu :

1. Kondisi eksisting bentuk dan lapisan tanah apa adanya saat ini.
2. Kondisi sejauh mana lereng tersebut bisa digali tetapi tetap stabil, dengan SF (safety factor) ≈ 1,3 minimum.

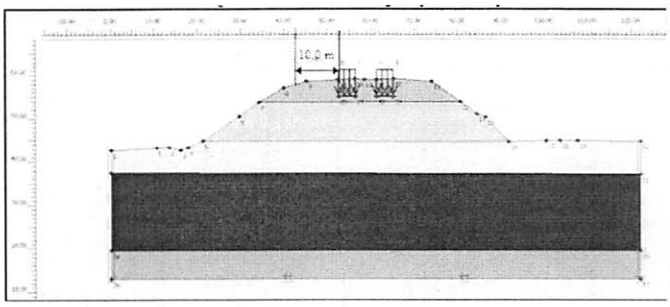
Beban tower berdasarkan data yang diterima dari PT. PLN adalah ekivalen q = 10 ton/m^2.

Stabilitas dari aspek penurunan (settlement) dalam kondisi short term dan aspek daya dukung pondasi juga diperhitungkan dalam penelitian ini.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

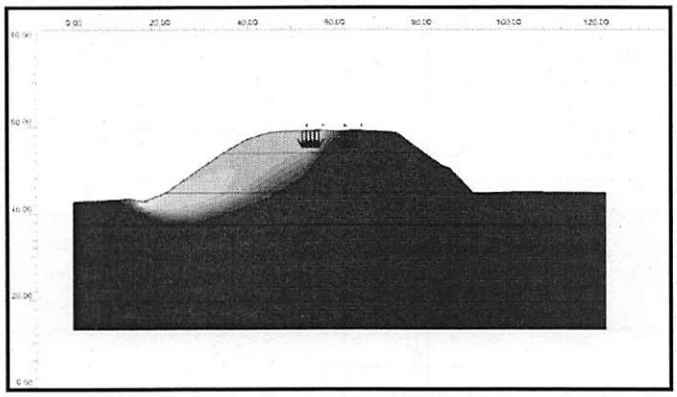
4.1. ANALISA STABILITAS LERENG DI DESA SEKARKURUNG

Model geometri, beban dan data tanah dalam rangka analisa stabilitas lereng pada Tower 11 di Desa Sekarkurung untuk kondisi eksisting, dapat dilihat pada **Gambar 5.**



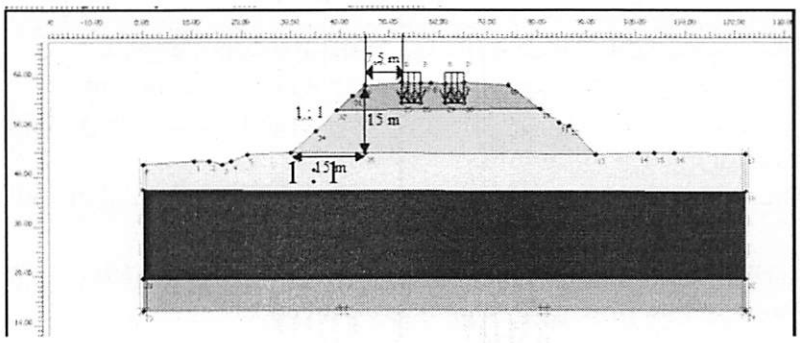
Gambar 5. Model geometri dan beban untuk Tower 11 di Desa Sekarkurung untuk kondisi eksisting

Dari hasil running program Plaxis dengan geometri tersebut diperoleh SF (safety factor) = 1,467 **(Gambar 5)**.

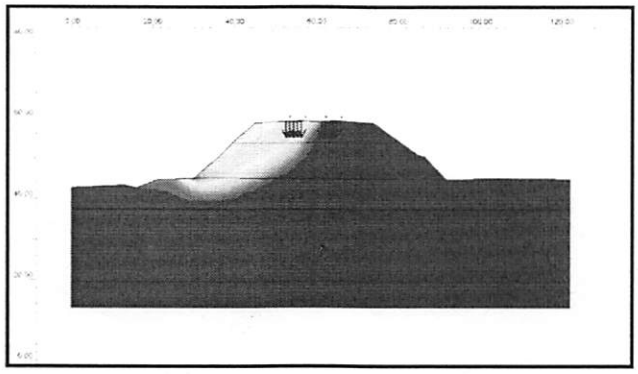


Gambar 6. Displacement butiran tanah yang terjadi, dengan Safety Factor (SF) = 1,467, kondisi eksisting dilokasi Tower 11 Desa Sekarkurung.

Kemudian pada kondisi (2) dimana lereng tersebut digali tetapi masih tergolong stabil yaitu dengan safety factor 1,30 minimum **(Gambar 7)**.

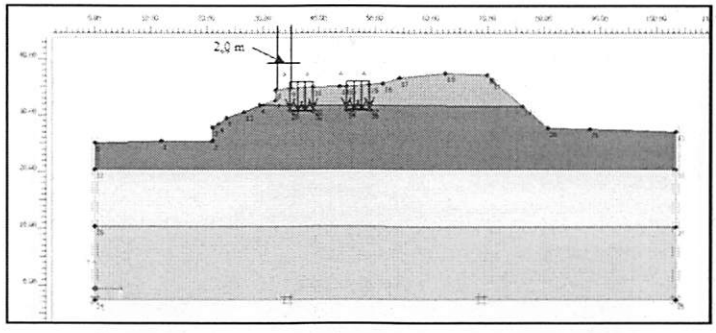


Gambar 7. Model geometri dan beban untuk Tower 11 di Desa Sekarkurung kondisi digali sampai dengan jarak 7,5 m dari dasar pondasi Tower 11 dengan kemiringan 1 : 1, tetapi masih stabil dengan SF (safety factor) yang terjadi = 1,398.



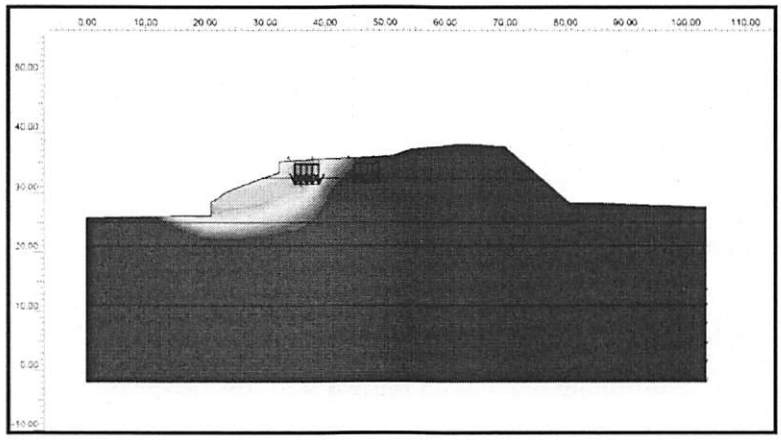
Gambar 8. Displacement butiran tanah yang terjadi, dengan Safety Factor (SF) = 1,398, kondisi digali sampai dengan jarak 7,5 m dari dasar pondasi Tower 11 Desa Sekarkurung dengan kemiringan 1 : 1, tetapi masih stabil.

4.2. ANALISA STABILITAS LERENG DI DESA SEGOROMADU



Gambar 9. Model geometri dan beban untuk Tower 12 di Desa Segoromadu untuk kondisi eksisting

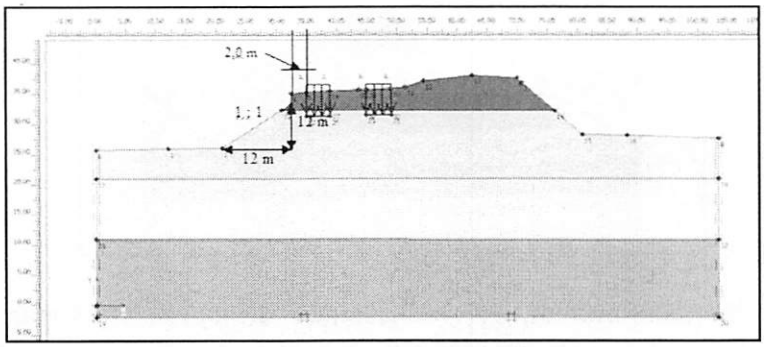
Dari analisa stabilitas lereng terhadap model geometrik dan beban seperti **Gambar 9**, diperoleh SF (safety factor) = 1,82 **(Gambar 10)**.



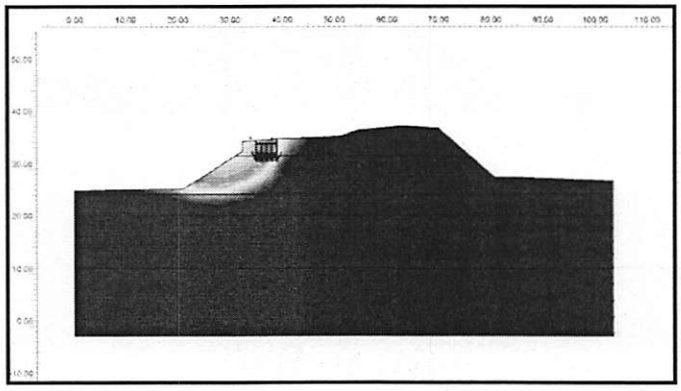
Gambar 10. Displacement butiran tanah yang terjadi, dengan Safety Factor (SF) = 1,82, kondisi eksisting dilokasi Tower 12 Desa Segoromadu.

ISBN 978-979-99327-8-5

Kemudian pada kondisi (2) dimana lereng tersebut digali tetapi masih stabil yaitu seperti berikut **(Gambar 11)**.



Gambar 11. Model geometri dan be ban untuk Tower 12 Desa Segoromadu kondisi digali dengan kemiringan 1:1 tetapi jarak dari dasar pondasi Tower 12 tetap 2,0 m dengan hasil masih stabil. SF (safety factor) yang terjadi = 1,70.



Gambar 12. Kemungkinan bidang longsor yang terjadi, dengan Safety Factor (SF) = 1,70, kondisi dikeruk dengan kemiringan 1:1 tetapi jarak dari dasar Tower 12 tetap sebesar 2,0 m, pada lokasi di Desa Segoromadu.

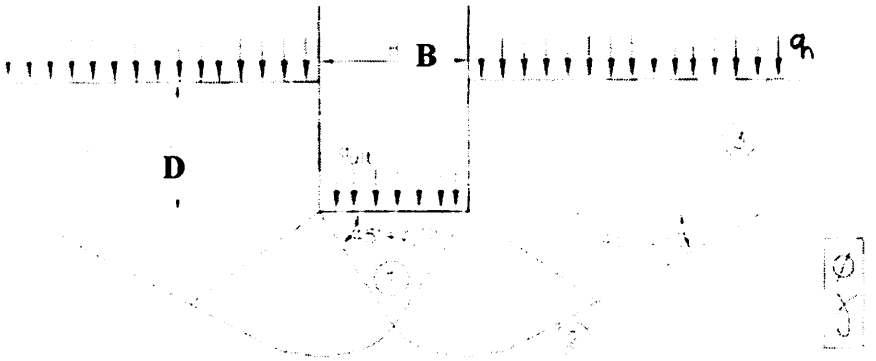
4.3. SETTLEMENT

Besarnya penurunan tanah segera (short term condition) yang terjadi dibawah pondasi Tower 11 karena adanya penggalian adalah sebesar 0,62 mm, sedangkan penurunan tanah segera (short term condition) yang terjadi dibawah pondasi Tower 12 karena adanya penggalian adalah sebesar 0,01 mm.

4.4. DAYA DUKUNG PONDASI DANGKAL

Perhitungan disini mengasumsikan bahwa struktur tower menumpu pada sebuah struktur pondasi. Untuk menentukan jenis pondasi tersebut termasuk pondasi dalam atau pondasi dangkal, maka dilakukan kontrol sebagai berikut :

$\frac{D}{B} = \frac{4\,m}{4\,m} = 1$ ➔ $\frac{D}{B} < 4\ atau\ 5$ ➔ Termasuk Pondasi Dangkal



Untuk menentukan jenis pondasi tersebut termasuk pondasi setempat atau pondasi menerus, maka dilakukan kontrol sebagai berikut :

$\frac{L}{B} = \frac{4\,m}{4\,m} = 1$ ➔ $\frac{L}{B} \leq 10$ ➔ Termasuk Pondasi Setempat

Untuk dasar pondasi segi empat (L x B), (Terzaghi), persamaannya adalah :

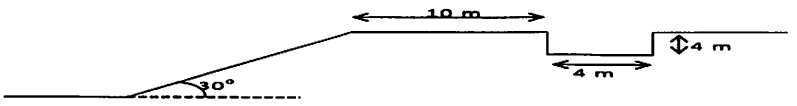
$$q_L = \left(1 - 0{,}2\frac{B}{L}\right)\gamma\frac{B}{2}N\gamma + \left(1 + 0{,}2\frac{B}{L}\right)C.Nc + \gamma.D.Nq$$

q_L = Daya dukung pondasi dangkal ultimate (t/m^2)
B = Lebar Pondasi (m)
L = Panjang Pondasi (m)
γ = Berat Volume Tanah (t/m^3)
C = Kohesi Tanah (t/m^2)
D = Kedalaman Penanaman (m)
N_γ , Nc , Nq = Koefisien Daya Dukung

4.4.1. KONTROL DAYA DUKUNG PONDASI DANGKAL DI DESA SEKARKURUNG

Berikut ini adalah perhitungan kontrol daya dukung pondasi tower pada lokasi Desa Sekarkurung kondisi eksisting :

EXISTING CONDITION



$$qL = \left(1 - 0{,}2\frac{B}{L}\right)\gamma'\frac{B}{2}N\gamma + \left(1 + 0{,}2\frac{B}{L}\right)C'.Nc + \gamma'.D.Nq$$

Data Tanah Dasar :

Depth : 0 - 4,00 m				Depth : 4,00 - 14,00 m			
γ'	=	0.689	t/m³	γ'	=	1	t/m³
C'	=	1.445	t/m²	C'	=	3.33	t/m²
Φ'	=	14	°	Φ'	=	20	°

Harga Koefisien :

Nγ	=	3.5
Nc	=	14.8
Nq	=	6.4

Detail Pondasi Dangkal :

Df	=	4	m
B	=	4	m
L	=	4	m

q_L = 82.3792 t/m²

KONTROL

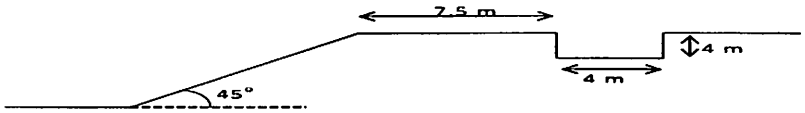
Working Load = Tower = 10 t/m²

Safety factor (SF) = $\frac{82.3792}{10}$ = 8.24

STATUS = (aman)

Berikut ini adalah perhitungan kontrol daya dukung pondasi tower pada lokasi Desa Sekarkurung kondisi modifikasi (setelah lereng digali 1 : 1) :

MODIFIED CONDITION



$$qL = \left(1 - 0{,}2\frac{B}{L}\right)\gamma'\frac{B}{2}N\gamma + \left(1 + 0{,}2\frac{B}{L}\right)C'Nc + \gamma'D.Nq$$

Data Tanah Dasar :

Depth : 0 - 4,00 m
γ' = 0.689 t/m³
C' = 1.445 t/m²
ϕ' = 14 °

Depth : 4,00 - 14,00 m
γ' = 1 t/m³
C' = 3.33 t/m²
ϕ' = 20 °

Harga Koefisien :
Nγ = 3.5
Nc = 14.8
Nq = 6.4

Detail Pondasi Dangkal :
Df = 4 m
B = 4 m
L = 4 m

q_L = 82.3792 t/m²

KONTROL
Working Load = Tower = 10 t/m²

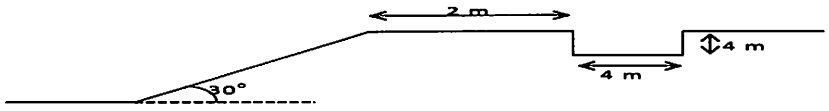
$$\text{Safety factor (SF)} = \frac{82.3792}{10} = 8.24$$

STATUS = (aman)

4.4.2. KONTROL DAYA DUKUNG PONDASI DANGKAL DI DESA SEGOROMADU

Berikut ini adalah perhitungan kontrol daya dukung pondasi tower pada lokasi Desa Segoromadu kondisi eksisting :

EXISTING CONDITION



$$qL = \left(1 - 0{,}2\frac{B}{L}\right)\gamma'\frac{B}{2}N\gamma + \left(1 + 0{,}2\frac{B}{L}\right)C'Nc + \gamma'D.Nq$$

Data Tanah Dasar :
Depth : 0 - 6,00 m
γ' = 0.689 t/m³
C' = 1.445 t/m²
ϕ' = 14 °

Harga Koefisien :
Nγ = 1.82
Nc = 11.76
Nq = 4.48

Detail Pondasi Dangkal :
Df = 4 m
B = 4 m
L = 4 m

q_L = 34.74509 t/m²

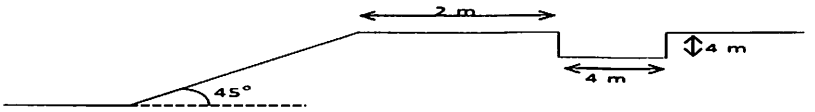
KONTROL
Working Load = Tower = 10 t/m²

$$\text{Safety factor (SF)} = \frac{34.74509}{10} = 3.47$$

STATUS = (aman)

Berikut ini adalah perhitungan kontrol daya dukung pondasi tower pada lokasi Desa Segoromadu kondisi modifikasi (setelah lereng digali 1 : 1) :

MODIFIED CONDITION



$$qL = \left(1 - 0{,}2\frac{B}{L}\right)\gamma'\frac{B}{2}N\gamma + \left(1 + 0{,}2\frac{B}{L}\right)C'.Nc + \gamma'.D.Nq$$

Data Tanah Dasar :
Depth : 0 - 6,00 m

γ'	=	0.689	t/m³
C'	=	1.445	t/m²
Φ'	=	14	°

Harga Koefisien :

Nγ	=	1.82
Nc	=	11.76
Nq	=	4.48

Detail Pondasi Dangkal :

Df	=	4	m
B	=	4	m
L	=	4	m

q_L = 34.74509 t/m²

KONTROL

Working Load = Tower = 10 t/m²

Safety factor (SF) = $\frac{34.74509}{10}$ = 3.47

STATUS = (aman)

5. KESIMPULAN

Resume hasil studi stabilitas tanah tower PLN Gresik ini dapat disajikan sebagai berikut:

1). Dari hasil kedua lokasi penyelidikan tanah (Boring & SPT) dapat disimpulkan bahwa jenis tanah dilokasi studi adalah Clayey Silt (lanau kelempungan), dengan sedikit pasir dan batu, yang bervariasi dari medium hingga hard.

2). Angka keamanan dari aspek stabilitas lereng pada kondisi eksisting adalah sebagai berikut :
   - Tower 11 pada lokasi Desa Sekarkurung menghasilkan angka keamanan sebesar 1,467 (aman).
   - Tower 12 pada lokasi Desa Segoromadu menghasilkan angka keamanan sebesar 1,82 (aman).

3). Besarnya penurunan tanah segera (short term condition) yang terjadi dibawah pondasi Tower 11 karena adanya penggalian adalah sebesar 0,62 mm, sedangkan penurunan tanah segera (short term condition) yang terjadi dibawah pondasi Tower 12 karena adanya penggalian adalah sebesar 0,01 mm.

4). Kontrol daya dukung pondasi dangkal pada kondisi eksisting dan kondisi modifikasi adalah sebagai berikut :
   - Pondasi tower 11 pada lokasi Desa Sekarkurung memenuhi persyaratan dimana allowable bearing capacity 27,46 t/m^2 > working load 10 t/m^2 dengan safety factor (SF) = 8,20.
   - Pondasi tower 12 pada lokasi Desa Segoromadu memenuhi persyaratan dimana allowable bearing capacity 11,58 t/m^2 > working load 10 t/m^2 dengan safety factor (SF) = 3,47.

6. DAFTAR PUSTAKA

Bowles, J.E., 1988, **Analisis dan Desain Pondasi**, Erlangga, Jakarta.

Brinkgreve & Vermeer, (1998), *Plaxis: Finite Element Code for Soil and Rock Analyses,* A. Balkema, Rotterdam.

Das, B.M., 1993, **Mekanika Tanah, Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis**, Penerbit Erlangga, Jakarta.

Das, B.M., 1985, "**Mekanika Tanah, Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknik**", Penerbit Erlangga, Jakarta.

Liu C., Evett B.J, (1981), *Soil and Foundations, Printice Hall*, New Jersey.

TINJAUAN POTENSI KEMBANG SUSUT, TEKANAN PENGEMBANGAN DAN KONSOLIDASI TANAH LEMPUNG KALIOSO KARANGANYAR

Qunik Wiqoyah[1], Untung Achmad Rifai[2]

1) Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta
Jl.Ahmad Yani, Tromol Pos 1 Pabelan Kartasura, Surakarta
2) Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta
Jl.Ahmad Yani, Tromol Pos 1 Pabelan Kartasura, Surakarta
E-mail: qunik_w@yahoo.co.id

ABSTRAK

Tanah di daerah Kaliyoso Karanganyar adalah termasuk tanah yang labil, hal ini teridentifikasi dengan adanya tanah yang retak-retak, bergelombang, dan keras pada musim kemarau, sedang pada musim penghujan tanah berubah menjadi lembek dan menyebabkan permukaan jalan banyak retak-retak dan berlobang. Oleh karena itu perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui bagaimana potensi kembang susut, tekanan pengembangan dan konsolidasi pada tanah tersebut. Pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini meliputi : uji sifat fisis dan mekanis,. Ujian mekanis terdiri dari : kepadatan tanah, uji potensi kembangan susut, uji tekanan pengembangan dan uji konsolidasi. Semua uji yang dilakukan mengacu pada standar ASTM (*Annual Book of ASTM Standards*). Hasil penelitian menunjukkan bahwa berdasarkan metode klasifikasi AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Officials*), termasuk klasifikasi A-7-6 . dan menurut metode USCS (*Unified Soil Classification System)*, termasuk dalam kelompok CL (lempung tidak organik dengan plastisitas rendah sampai sedang, lempung berkerikil, lempung berpasir, lempung berlanau), sedangkan persentase potensi pengembangan maksimum sebesar 9,088 % terjadi pada 90 % γd maks dengan kadar air 13,5 % dan minimum sebesar 5,959 % terjadi pada 90 % γd maks dengan kadar air 34,5 % . Persentase tekanan pengembangan maksimum sebesar 3,75 % terjadi pada 90 % γd maks dengan kadar air 13,5 % dan persentase tekanan pengembangan minimum sebesar 1,1 % terjadi pada 90 % γd maks dengan kadar air 34,5 %. Nilai maksimum *coefficient consolidation* (Cv) sebesar 0.00082 pada 95 % γd maks dengan kadar air 16.5 % dan nilai minimum sebesar 0.0008 pada 95 % γd maks dengan kadar air 31 %.

Kata kunci : *potensi pengembangan, penyusutan,tekanan pengembangan dan konsolidasi.*

1. PENDAHULUAN

Fenomena pengembangan (*swelling*) dan penyusutan (*shrinkage*) terjadi akibat dari perubahan kadar air tanah. Iklim tropis di Indonesia berpotensi besar mendukung terjadinya perubahan air mulai dari optimum hingga paling minimum, sehingga berpengaruh pada tanah yang ekspansif. Tanah tersebut mengalami pergerakan karena adanya perubahan pada volume tanah sehingga nilai kuat dukung tanah selalu berubah yang berakibat merusak struktur di atasnya. Selain disebabkan adanya fenomena mengembang tanah, kerusakan struktur bangunan juga disebabkan oleh adanya penyusutan volume tanah. Penyusutan ini mengakibatkan terjadinya rongga dibawah struktur dan mengakibatkan penurunan struktur di beberapa titik. Hal ini yang terjadi di daerah Kaliyoso Karanganyar. Tanah di daerah tersebut labil, hal ini teridentifikasi dengan adanya tanah yang retak-retak, membengkak, dan keras pada musim kemarau, sedang pada musim penghujan tanah berubah menjadi lembek. Kondisi ini menyebabkan permukaan jalan banyak bergelombang dan retak-retak. Oleh karena itu

diperlukan penelitian untuk mengetahui nilai kembang susut tanah, nilai kuat dukung tanah dan penurunan tanah tersebut.

a. Mineral Lempung (*Clay*)

Tanah lempung merupakan kelompok partikel berukuran koloid dengan diameter butiran kurang dari 0,002 mm, terjadi karena pelapukan batuan akibat reaksi kimia. Butiran tanah ini berupa agregat mineral kristalin (berbentuk serpih, berukuran mikroskopis dan sub mikroskopis) yang mempunyai ciri khas dari sifat khas koloida yaitu plastisitas, kohesif dan kemampuan mengaborsi ion. Sifat tersebut akan dimiliki lempung pada kisaran kadar air yang besar. Karena permukaannya berupa lembaran dan memiliki bentuk spesifik (*specific surface*), maka partikel lempung sangat dipengaruhi oleh gaya-gaya permukaan (Hardiyatmo, 2002).

b. Tanah lanau (*Silt*)

Menurut Sudarmo (1997) tanah lanau sebagian merupakan fraksi mikroskopis (butiran sangat kecil) dari tanah yang terdiri dari butiran-butiran *quartz* yang sangat halus dan sejumlah partikel berbentuk lempengan-lempengan pipih berupa pecahan-pecahan dari mineral mika.Bowles (1991), mengemukakan bahwa tanah lanau selalu terkontaminasi dengan mineral lempung, hal ini menyebabkan lanau bersifat kohesif. Kandungan 5 % sampai 10 % lempung pada lanau telah menyebabkan tanah tersebut kohesif. Kekohesifan tanah ini yang menyebabkan sifat plastisitas tinggi, perubahan kembang susut dan penurunan yang relatif besar.

c. Pengembangan Tanah

Suatu struktur tanah pada tingkat kepadatan yang sama, karena pengaruh penambahan kadar air, volume tanah akan mengalami peningkatan.. Tanah yang berperilaku demikian dikenal dengan istilah tanah mengembang. Potensi pengembangan adalah persentase pengembangan kearah lateral dimana sampel harus direndam dengan tekanan > 1 psi, untuk tanah *disturb* yang dipadatkan agar mencapai kepadatan maksimum dan kadar air optimum digunakan standar pemadatan AASTHO. Tekanan pengembangan adalah besarnya tekanan yang diperlukan untuk menahan pemuaian dari tanah sehubungan dengan pengaruh air. Menurut Krebs, 1971 (dalam Supriyono, 1993) tekanan pengembangan sangat dipengaruhi oleh tingkat kandungan air dan kepadatan dari tanah. Makin meningkat kepadatan suatu tanah, meningkat pula tekanan pengembangan tetapi pada keadaan dimana kadar air meningkat, terjadi penurunan tekanan pengembangan .

Uji pengembangan mengacu pada ASTM D 4546-90 metode A dengan referensi ASTM D 2435-90. Pada pengujian tersebut dapat diketahui nilai pengembangan (*swelling*) dan tekanan mengembang (*swelling pressure*) pada tanah yang diidentifikasi mengembang. Nilai pengembangan tanah (*swelling*) dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

a. Penentuan tinggi awal (H_1).

$$H_1 = \frac{V^1}{V} \times H_0 \quad \text{.....1}$$

dengan : V^1 = volume setelah kering *oven* (ml)
V = volume sebelum kering *oven* (ml)
H_0 = tinggi tanah semula 2 cm

b Perhitungan mengembang.

$$\text{Nilai pengembangan (\%)} = \frac{\Delta H}{H_1} \times 100\% \quad \text{.....2}$$

dengan : $\Delta H = H_2 - H_1$ (perubahan tinggi setelah direndam 48 jam)(cm)
H_1 = tinggi awal (dianggap kondisi kering *oven*)(cm)
H_2 = tinggi akhir setelah mengembang (cm)

Nilai tekanan pengembangan (*swelling pressure*)dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

a. angka pori awal

$$e_{awal} = \frac{H_1 - H_t}{H_t} \quad \text{.....3}$$

$$H_t = \frac{W_s}{A \times G_s} \quad \text{.....4}$$

b. angka pori setiap pembebanan

$$e' = e_0 - \Delta e \quad \text{.....5}$$

$$e_0 = \frac{H_1 + \Delta H - H_t}{H_t} \quad \text{.....6}$$

$$\Delta e = \frac{\Delta S}{H_t} \quad \text{.....7}$$

dengan :

W_s : berat kering oven sampel tanah (gram)
A : luas alas sampel tanah (cm^2)
e^1 : angka pori setiap pembebanan
e_0 : angka pori saat pengembangan maksimum
ΔH : peubahan tinggi pada pengembangan maksimum (cm)
ΔS : perubahan tinggi setiap pembebanan (cm)
Δe : perubahan angka pori
H_I : tinggi awal sampel (cm)
H_t : tinggi efektif tanah (cm)
Gs : berat jenis sampel tanah

d. Uji Konsolidasi Tanah (*Consolidation Test*)

Konsolidasi merupakan perubahan volume tanah jenuh sebagai akibat keluarnya air yang menempati pori-pori tanah. Koefisien konsolidasi menunjukkan lama waktu atau kecapatan konsolidasi hingga selesai.

Koefisien konsolidasi (Cv) dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$Cv = \frac{TvH^2}{t_i} \quad \text{.....8}$$

dengan : Tv = panjang waktu (*time factory*)
H = panjang aliran rata-rata yang harus ditempuh selama proses konsolidasi (cm)
T_i = waktu ke-I persentasi terjadinya konsolidasi (detik)

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dimulai dengan pengambilan sampel tanah, dilanjutkan dengan uji sifat fisis tanah meliputi : uji berat jenis (*specific gravity)*, uji kadar air (*water content)*, uji analisa saringan dan uji *hydrometer* (*grain size analysis)*, sedang uji sifat mekanis meliputi : uji CBR (*California Bearing Ratio*) kondisi terendam (*soaked*) dan kondisi tidak terendam (*unsoaked*), uji potensi pengembangan, uji tekanan pengembangan dan uji penurunan konsolidasi. Uji mekanis dilakukan pada kepadatan kering maksimum, 95% dan 90% kepadatan maksimum kering dan basah. Semua uji yang dilakukan

mengacu pada standar ASTM (*Annual Book of ASTM Standards*. Hasil uji disajikan dalam bentuk tabel dan grafik selanjutnya dilakukan analisis dan diambil keputusan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Uji sifat fisis tanah

Hasil uji sifat fisis dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil uji sifat fisis tanah

Specific Grafity	Batas cair (%)	Batas plastis (%)	Batas susut (%)	Indeks plastis (%)	Lolos saringan No 200 (%)
3,576	43,185	26,191	39, 818	16,994	71,151

Berdasarkan uji yang dilakukan terhadap sampel, didapatkan nilai indeks plastis sebesar 16,994 %, nilai batas cair sebesar 43,185 % dan fraksi lempung lolos saringan no 200 sebesar 71,151, maka didapatkan nilai indeks kelompok (GI) sebagai berikut :

GI = (F-35) (0.2+0.005 (LL-40)) + 0.01 (F-15) (PI–10)
= (71,151-35) (0.2+0.005 (43,185-40)) + 0.01(71,151-15) (16,994–10)
= 11,733

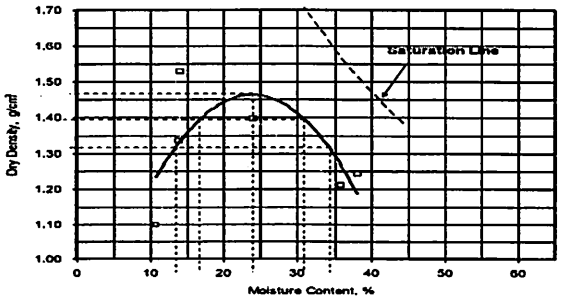
Berdasarkan hasil perhitungan GI dan nilai uji sifat fisis dapat diketahui bahwa klasifikasi tanah Kalioso Karanganyar berdasarkan metode *American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO), termasuk dalam kelompok A-2-5. Menurut metode *Unified Soil Clasification System* (USCS) tanah Kalioso Karanganyar termasuk dalam kelompok SC (campuran pasir - lempung).

b. Pemadatan Tanah

Uji pemadatan tanah yang dilakukan meliputi uji *Standard Proctor* dengan tujuan untuk mendapatkan berat isi kering maksimum, dan kadar air optimum. Hasil uji *Standard Proctor* pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil uji *Standard Proctor*

(%) Kepadatan	Kadar air %	γd (kg/cm^3)
90	13.5 %	1.319
95	16.5 %	1.392
100	24 %	1.465
95	31 %	1.392
90	34.5 %	1.319



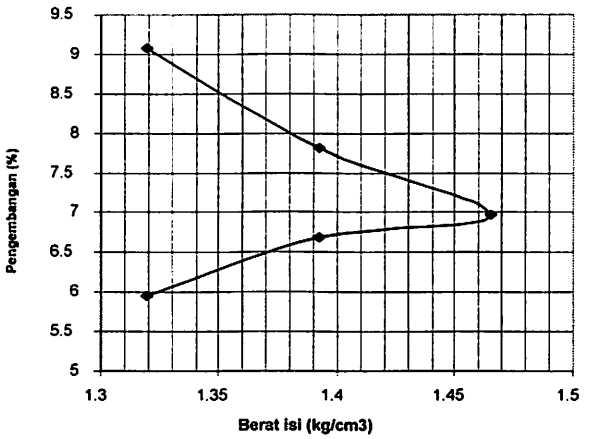
Gambar 1. Grafik Hubungan berat isi (kg/cm^3) dengan kadar air (%)

c. Pengembangan tanah

Hasil analisa perhitungan persen pengembangan ditabelkan dan digambarkan pada Tabel 3 dan Gambar 2.

Tabel 3. Nilai pengembangan tanah.

Kadar air (W) (%)	Berat isi kering (γd)(kg/cm^3)	Persentase pengembangan (%)
13.5	1.319 (90 % γdmax)	9.088
16.5	1.392 (95 % γdmax)	7.811
24	1.465 (γdmax)	6.982
31	1.392 (95 % γdmax)	6.682
34.5	1.319 (90 % γdmax)	5.959

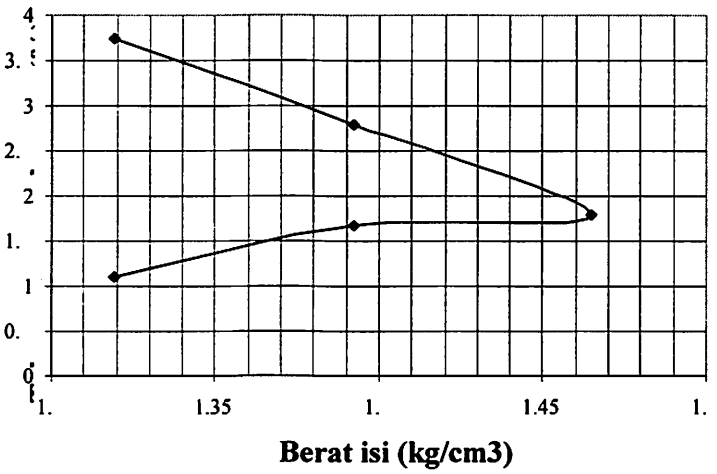


Gambar 2. Grafik hubungan pengembangan tanah dengan berat isi kering

Hasil uji tekanan pengembangan dapat dilihat pada Tabel 4 dan Gambar 3.

Tabel 4. Hasil uji tekanan pengembangan tanah.

Kadar air (W) (%)	Berat isi kering (γd)(kg/cm^3)	Persentase tekanan pengembangan (%)
13.5	1.319 (90 % γdmax)	3.75
16.5	1.392 (95 % γdmax)	2.8
24	1.465 (γdmax)	1.8
31	1.392 (95 % γdmax)	1.675
34.5	1.319 (90 % γdmax)	1.1



Gambar 3. Grafik hubungan tekanan pengembangan tanah dengan berat isi kering

a). Nilai pengembangan.

Hasil pengujian yang di tampilkan dalam Gambar 2. pengembangan maksimum terjadi pada 90 % berat isi kering sebesar 9.088 %. Dari Gambar 3 dapat dirumuskan

bahwa semakin kecil kadar air semakin besar nilai persentase pengembangan yang terjadi.

b). Pengujian tekanan pengembangan.

Berdasarkan Gambar 3 dapat disimpulkan bahwa tekanan pengembangan pada tanah Kalioso karanganyar dipengaruhi oleh kadar air. Semakin tinggi kadar air maka semakin kecil tekanan pengembangan, begitu sebaliknya semakin kecil kadar airnya maka tekanan pengembangan semakin besar.

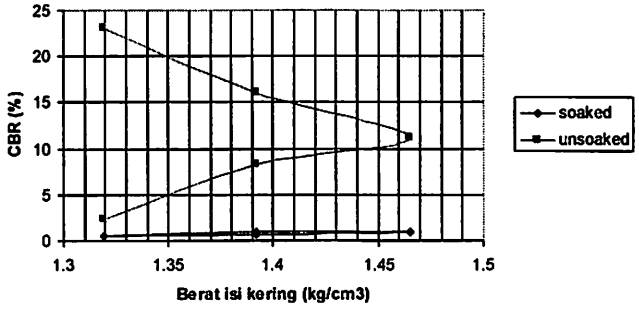
d. *California Bearing Ratio* (CBR)

Uji CBR *unsoaked* dan *soaked*

Pengujian CBR *unsoaked* dilakukan dengan variasi kadar air 13.5 % (90 % $\gamma d_{maksimum}$), 16.5 % (95 % $\gamma d_{maksimum}$), 24 % ($\gamma d_{maksimum}$), 31 % (95 % $\gamma d_{maksimum}$), dan 34.5 % (90 % $\gamma d_{maksimum}$). Hasil pengujian adalah sebagai berikut :

Tabel 5. Hasil pengujian CBR *Unsoaked* dan *Soaked*

Berat isi kering (γd)(kg/cm^3)	Nilai CBR (%)	
	Unsoaked	*Soaked*
1.319 (90 % γdmax)	23.11	0.515
1.392 (95 % γdmax)	16	0.9665
1.465 (γdmax)	11.225	1
1.392 (95 % γdmax)	8.23	0.6775
1.319 (90 % γdmax)	2.335	0.4975



Gambar 4. Grafik Hubungan berat isi kering dengan CBR *Soaked & Unsoaked.*

a). CBR tanpa rendaman (*Unsoaked*)

Berdasarkan Gambar 4. dapat diketahui bahwa semakin kecil berat isi kering semakin besar nilai CBR yang terjadi. Semakin jauh kadar air dari kadar air optimum maka semakin besar perbedaan nilai CBR-nya, baik kondisi γd basah dan kering. Hasil pengujian ini menunjukkan nilai CBR maksimum sebesar 23.11 % pada 90 % γdmax sis kering.

b). CBR dengan rendaman (*Soaked*).

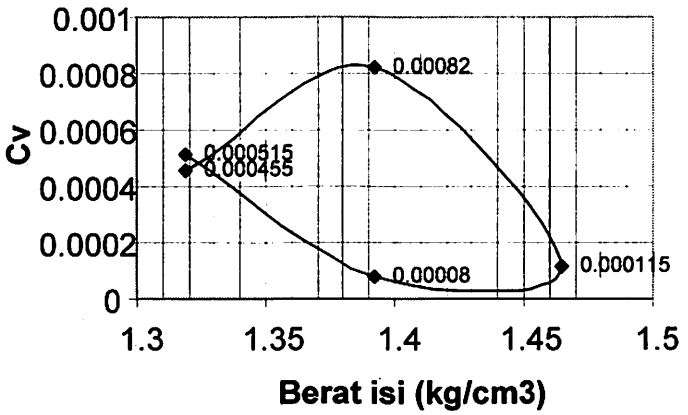
Berdasarkan pada Gambar 6. dapat ditarik kesimpulan Nilai CBR *soaked* sangat bervariasi, baik kondisi γd basah dan kering berbeda. Nilai CBR maksimum sebesar 1 % pada γdmaksimum.

e. Konsolidasi

Pengujian konsolidasi dilakukan terhadap sampel yang diambil langsung dari lapangan. Hasil pengujian konsolidasi ditampilkan dalam Tabel 6.

Tabel 6. Hasil pengujian konsolidasi.

Kadar air (W) (%)	Berat isi kering (γd)(kg/cm^3)	Cv (cm^2/dtk)
13.5	1.319 (90 % γdmax)	0.000515
16.5	1.392 (95 % γdmax)	0.00008
24	1.465 (γdmax)	0.000115
31	1.392 (95 % γdmax)	0.00082
34.5	1.319 (90 % γdmax)	0.000455



Gambar 6. Grafik Hubungan Cv dengan berat isi kering.

Berdasarkan Gambar 6 terlihat bahwa Nilai *coeffisien concolidation* (Cv) senantiasa berubah baik sisi kiri maupun sisi kanan dari kadar air optimum. Nilai CV tertinggi sebesar 0.000515 90 % γdmax sisi kering.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisa terhadap tanah Kalioso Karanganyar dapat diambil kesimpulkan sebagai berikut :

1. Klasifikasi tanah menurut metode AASHTO, tanah Kalioso Karanganyar termasuk dalam kelompok A-2-5. Menurut metode USCS, tanah Kalioso Karanganyar termasuk dalam kelompok SC (campuran pasir-lempung).
2. Persentase pengembangan maksimum terjadi pada 90 % γd maks sisi kering dengan kadar air 13.5 % sebesar 9.088 % dan minimum terjadi pada 90 % γd maks sis basah pada kadar air 34.5 %. sebesar 5.959 % .
3. Persentase tekanan pengembangan maksimum terjadi pada 90 % γd maks sisi kering dengan kadar air 13.5 % sebesar 3.75 % dan minimum terjadi pada 90 % γd maks sisi basah pada kadar air 34.5 %. sebesar 1.1 % .
4. Nilai CBR maksimum untuk *unsoaked* terjadi pada 90 % γd maks sisi kering sebesar 23.11 % dan *soaked* terjadi pada γd maks sebesar 1 %, sedangkan nilai CBR minimum untuk *unsoaked* terjadi pada 90 % γd sisi basah maks sebesar 2.335 % dan *soaked* terjadi pada 90 % γd maks sisi basah sebesar 0.4975 %
5. Pada kondisi OMC (*Optimum Moisture Content)*, CBR *unsoaked* sebesar 11.225 % dan CBR *soaked* sebesar 1 %.
6. Nilai maksimum *coefficient consolidation* (Cv) terjadi pada 90 % γd maks sisi basah sebesar 0.000515 dan nilai minimum *coefficient consolidation* (Cv) terjadi pada 95 % γd maks sisi kering sebesar 0.00008 .

ISBN 978-979-99327-8-5

DAFTAR PUSTAKA

Anonim, 1997, "*Annual Bord of Asian Standard*," Section 4, Volume 04 08, Philadelphia, USA.

Bowles Joseph E., 1991, *Sifat-sifat Tanah dan Geoteknis Tanah*, Penerbit Erlangga, Jakarta.

Didit N A, dan Hari A, 2003, *Tinjauan Potensi Kembang Susut, Daya Dukung dan Penurunan Konsolidasi Tanah Pada Kadar Air dan Kepadatan Tertentu (penelitian Tanah di Kecamatan Geyer Purwodadi Semarang pada km 77 + 050)*, Tugas Akhir, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta, Surakarta.

Hardiyatmo, H. Cristady, 2002, *Mekanika Tanah I*, P.T Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.

Masykuri, N, 2000, *Tinjauan Potensi Mengembang dan Susut Tanah di Giriwoyo Pada Kadar Air dan Kepadatan Tertentu*, Tugas Akhir, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret, Surakarta.

Soedarmo, D. Purnomo, 1997, *Mekanika Tanah I*, P.T KANISIUS, Yogyakarta

Supriyono, 1993, *Studi Tekanan Pengembangan Tanah Lempung Dengan Alat Geonor*. Tesis, Program Pasca Sarjana, Institut Teknologi Bandung, Bandung.

WesleyL. D.,1977, *Mekanika Tanah*, Badan Penerbit Umum, Jakarta.

Widodo S, 1995., *Mekanika Tanah II*, Buku Ajar, Universitas Muhammadiyah Surakarta, Surakarta.

APLIKASI *FUZZY LOGIC* UNTUK MEMPERKIRAKAN JUMLAH DAN KEDALAMAN PONDASI TIANG BERDASARKAN FRICTION PILE UNTUK TIPE PILE CAP PERSEGI

Suwarno[1]

[1]*Dosen Jurusan Teknik Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Kampus ITS Sukolilo Surabaya, Telp 031-5946094, email: suwarno_its@yahoo.com*

ABSTRAK

Permasalahan yang sering dijumpai dalam merencana pondasi tiang group adalah menentukan konfigurasi (susunan) tiang yang meliputi jumlah tiang, jarak antar tiang, serta kedalaman tiang. Untuk mengatasi permasalahan diatas, dibuat suatu cara menggunakan metode *fuzzy logic*.

Makalah ini membahas suatu program bantu (software) untuk mendapatkan konfigurasi tiang yang paling optimum dari segi jumlah, ukuran dan kedalaman tiang pancang dengan bantuan program Matlab 7 dan visual basic memakai metoda *fuzzy logic*, khusus untuk daya dukung tiang yang dihitung berdasarkan *friction* (*friction pile*).

Input program ini adalah beban vertikal (V), momen arah sumbu X (Mx) dan arah sumbu Y (My), dimensi tiang (diameter atau sisi). Selain itu diinputkan data tanah (SPT), ukuran pile cap, angka keamanan yang diinginkan (SF), jumlah tiang maksimum dalam baris dan kolom.

Contoh *Running program* mempergunakan input beban jembatan standar Bina Marga BM-100 untuk bentang 20, 30, 40 meter. Ukuran bentang ini diambil karena struktur bangunan bawahnya sebagian besar menggunakan pondasi tiang group.

Untuk menghindari kesalahan-kesalahan perhitungan yang dihasilkan oleh program bantu ini, maka dilakukan pengecekan seluruh nilai *output* yang dihasilkan dengan perhitungan secara manual sebagai kontrol.

Hasil yang diperoleh adalah :

a. Matrik jumlah tiang
b. Qijin 1tiang dalam group
c. Pmax tiang group.
d. Effisiensi.
e. Kedalaman tiang.
f. Daya dukung tiang tunggal dan grafiknya.

Kata kunci : *pondasi tiang group, fuzzy logic, friction pile.*

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam perencanaan pondasi tiang group, permasalahan yang sering dijumpai adalah konfigurasi (susunan) tiang yang meliputi jumlah tiang, jarak antar tiang dan kedalaman tiang yang mempengaruhi biaya pondasi. Untuk itu diperlukan metode yang praktis sebagai dasar untuk menentukan jumlah dan kedalaman tiang sesuai dengan beban rencana yang ada. Untuk keperluan itu, dibuat suatu cara dengan menggunakan metode *fuzzy logic*, dengan program Matlab 7 yang kemudian dibuat visualisasinya dalam *visual basic*. Dalam makalah ini, daya dukung tiang dihitung berdasarkan *friction* (*friction pile*) saja.

Running program menggunakan input beban jembatan standar Bina Marga BM-100 untuk bentang 20, 30, dan 40 meter. Ukuran bentang ini diambil karena struktur bangunan bawahnya sebagian besar menggunakan pondasi tiang group.

1.2 Permasalahan

Permasalahan yang akan dibahas adalah bagaimana menentukan konfigurasi (susunan) tiang yang meliputi jumlah tiang, jarak antar tiang dan kedalaman tiang yang memenuhi syarat-syarat yang telah ditetapkan.

1.3 Tujuan

Mendapatkan konfigurasi (susunan) tiang yang meliputi jumlah tiang, jarak antar tiang dan kedalaman tiang dengan biaya konstruksi sistem pondasi yang paling murah.

1.4 Batasan Masalah

1. Data tanah yang digunakan adalah data Standar Penetration Test (SPT).
2. Daya dukung tiang pancang hanya dihitung berdasarkan *friction (friction pile).*

2. DASAR TEORI FUZZY LOGIC.

Zadeh (1965) memodifikasi teori himpunan dimana setiap anggotanya memiliki derajat keanggotaan yang bernilai kontinu antara 0 sampai 1. Himpunan ini disebut himpunan kabur (Fuzzy set). Logika fuzzy adalah suatu cara yang tepat untuk memetakan suatu ruang input ke dalam suatu ruang output. Antara ruang input dan output terdapat satu kotak hitam yang harus memetakan input ke output yang sesuai. Selama ini, ada beberapa cara yang mampu bekerja pada kotak hitam tersebut antara lain sistem fuzzy, sistem linier, jaringan syaraf, persamaan differensial dan lain-lain. Ada beberapa alasan mengapa orang menggunakan logika fuzzy, antara lain konsep logika fuzzy sederhana, sangat fleksibel; memiliki toleransi terhadap data-data yang tidak tepat.

2.1 Himpunan Fuzzy

2.1.1 Himpunan Crisp dan himpunan Fuzzy.

Himpunan Crisp A didefinisikan oleh item-item yang ada pada himpunan itu. Jika $a \in A$, maka nilai yang berhubungan dengan a adalah 1. Namun, jika $a \notin A$,maka nilai yang berhubungan dengan nilai a adalah 0. Himpunan fuzzy akan mencakup bilangan real pada interval [0,1], tidak hanya berada pada 0 atau 1, namun juga nilai yang terletak di antaranya.

2.1.2 Fuzzy Linier Programing.

Salah satu contoh model linier programing klasik, adalah :

$$\text{Maksimumkan : } f(x) = c^T x$$

dengan batasan : $Ax \leq b$

$$x \geq 0 \quad \text{dengan c, } x \in R^n, b \in R^m, A \in R^{mxn}$$

A, b dan c adalah bilangan-bilangan Crisp, tanda $\leq$ pada kasus maksimasi dan tanda $\geq$ pada kasus minimasi.

2.2 Kombinasi Pembebanan pada Jembatan

Ada 5 kombinasi pembebanan berdasarkan buku Pedoman Perencanaan Pembebanan Jembatan Jalan Raya yaitu :

1. M + H + Ta
2. M + Ta + Gg + A
3. Kombinasi (I) + Rm + Gg + A

4. M + Tag + Hg
5. M + P1

Lebar abutmen , B = 21,00 m
dimana :
M = beban mati (dead load)
H = beban hidup (live load)
Ta = tekanan tanah aktif (dikonversi untuk B abutment)
Gg= gaya gesek = 0,15 (M+H)
Rmt = gaya rem (traffic force)
A = beban angin (wind load)
Hg= gaya gempa (earthquake)

2.3 Perhitungan Daya Dukung Tiang.

2.3.1 Perhitungan Daya Dukung Tiang Tunggal.

Perhitungan daya dukung tanah memakai metode Luciano Decourt (1982) :

$$Q_L = Q_P + Q_S$$

dimana :

Q_L : Daya dukung tanah maximum pada pondasi
Q_P : Resistance ultimate di dasar pondasi
Q_S : Resistance ultimate akibat lekatan lateral

2.3.2 Perhitungan Daya Dukung Tiang Kelompok

Dalam kasus ini daya dukung hanya dihitung berdasarkan friction (Qs) sebagai berikut :

$$Q_L \text{ (group)} = Q_L \text{ (1 tiang)} \times n \times \eta$$

$$Q_L \text{ (1 tiang)} = Q_S = q_S \times A_S = (\check{N}_S/3 + 1) \times A_S$$

dimana :

q_S = Tegangan akibat lekatan lateral dalam t/m^2
$\check{N}_S$ = Harga rata - rata sepanjang tiang yang tertanam, dengan batasan :

$$3 \leq N \leq 50$$

A_S = Keliling x panjang tiang yang terbenam (luas selimut tiang)

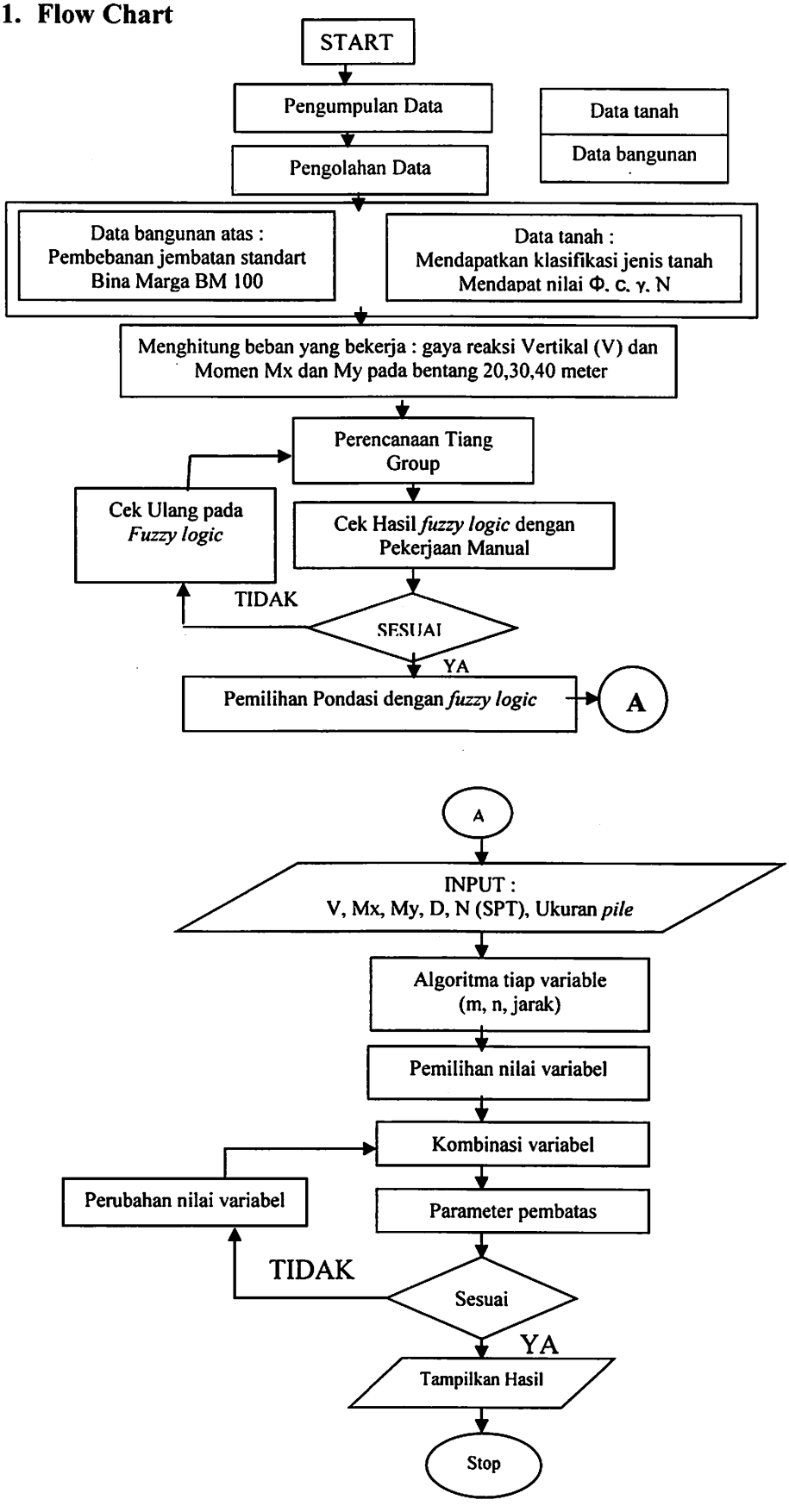
Koefisien efisiensi menggunakan perumusan dari Converse Labarre :

$$\eta = 1 - \arctan \frac{D}{S}\left(\frac{(m-1)n + (n-1)m}{90mn}\right)$$

D : Diameter sebuah tiang pondasi
S : Jarak minimum as ke as antar tiang dalam group
m : Jumlah baris tiang dalam group
n : Jumlah kolom tiang dalam group

3. METODOLOGI

3.1. Flow Chart



Perancangan pondasi tiang group dengan *fuzzy logic* dengan urutan pengerjaan sebagai berikut :

- Peng-inputan data
- Memasukkan algoritma untuk masing-masing variabel.
- Kombinasi variabel
- Pengecekan hasil perhitungan dengan syarat yang telah ditentukan
- Bila sesuai maka ditampilkan hasil.
- Cek hasil *fuzzy logic* dengan desain awal (manual).

4. PERENCANAAN PONDASI JEMBATAN

4.1. Umum

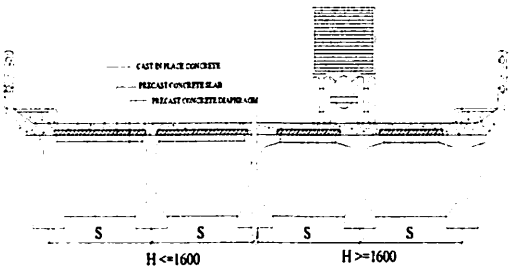
Dalam perencanaan abutment ini akan direncanakan untuk pondasi jembatan standar bina marga dengan panjang bentang 20 meter sebagai contoh.

4.2 Pembebanan

4.2.1 Pembebanan Struktur Atas

4.2.1.1 Beban Mati

Dengan menggunakan balok girder Bina marga BM 100 untuk bentang 20 meter.



Gambar 4.1 Cros Section Jembatan

Tabel 4.12 Rangkuman data beban untuk bentang 20 m

Beban	Koef.	V (ton)	V v	Hx (ton)	Hx v	Hy (ton)	Hy v	Ordinat (m)	Mx (ton m)	Mx v	My (ton m)	My v
M	1.2	1158.52	1390	-	-	-	-	-	65.54	78.642	-	-
H	1.6	330.24	528.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ta	1.6	-	-	193.6	309.8	-	-	-	241.33	386.13	-	-
Gg	1.2	-	-	223.31	267.98	-	-	3.50	781.6	937.92	-	-
Rmt	1.2	-	-	25.00	30.00	-	-	3.50	87.5	105	-	-
A	1.3	-	-		-	1.8125	2.3563	3.50	-	-	6.3438	8.2469
Hg	0.9	-	-	368.28	331.45	110.48	99.435	-	208.16	187.34	62.45	56.202

dimana : Lebar abutmen : B = 21,00 m

4.3 Perhitungan Daya Dukung Tiang Kelompok

Perumusan untuk mencari daya dukung tiang kelompok adalah sebagai berikut :

Q_L (group) $= Q_L$ (1 tiang) x n x η

Q_L (1 tiang) $= Q_S = q_S \times A_S = (\check{N}_S/3 + 1) \times A_S$

Dimana :

q_S = Tegangan akibat lekatan lateral dalam t/m^2

$\check{N}_S$ = Harga rata - rata sepanjang tiang yang tertanam, dengan batasan : $3 \leq N \leq 50$

A_S = Keliling x panjang tiang yang terbenam (luas selimut tiang)

Tabel 4.24 Daya dukung tiang group

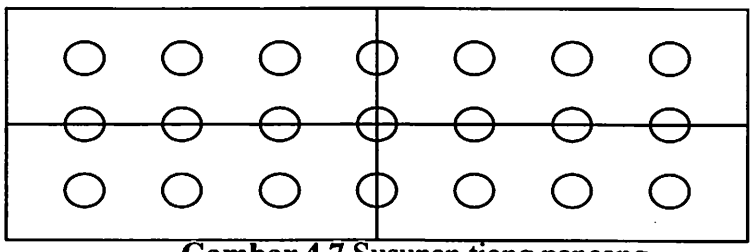
Ø = 0.40 m SF = 3

Depth (m)	N	Ns1	Ns	Ňs	qs (t/m^2)	As (m^2)	Qs (ton)	Qall (ton)
0	0	3	3.0	3.0	2.0	0.00	0.0	0.0
1	0	3	3.0	3.0	2.0	1.26	0.6	0.6
2	0	3	3.0	3.0	2.0	2.51	1.3	1.3
3	10	10	10.0	4.8	2.6	3.77	2.5	2.5
4	8	8	8.0	5.4	2.8	5.03	3.6	3.6
5	6	6	6.0	5.5	2.8	6.28	4.5	4.5
dst	dst							dst
43	35	35	35.0	13.6	5.5	54.04	76.4	76.4
44	35	35	35.0	14.1	5.7	55.29	80.4	80.4
45	**35**	**35**	**35.0**	**14.5**	**5.8**	**56.55**	**84.4**	**84.4**
46	35	35	35.0	15.0	6.0	57.81	88.5	88.5
47	35	35	35.0	15.4	6.1	59.06	92.5	92.5
48	35	35	35.0	15.8	6.3	60.32	96.5	96.5
49	35	35	35.0	16.2	6.4	61.58	100.5	100.5
50	35	35	35.0	16.5	6.5	62.83	104.6	104.6

Dari kombinasi beban didapatkan beban rencana maksimum dari kombinasi 3 yaitu :

- Vo = 2725,40 ton
- Mx = 1903,75 t.m
- My = 6,3 t.m

Direncanakan pondasi tiang pancang dengan susunan :



Gambar 4.7 Susunan tiang pancang

Koefisien efisiensi menggunakan perumusan dari Converse-Labarre :

$$\eta = 1 - \left[\frac{(m-1)n + (n-1)m}{90.m.n}\right]\theta \quad = 0.766$$

Perhitungan beban vertikal ekivalen (Pv) akibat beban vertikal (V), dan momen (M) pada pile cap adalah sebagai berikut :

$$\text{Pv} = \frac{V}{n} + \frac{Mx.Y}{\sum X^2} + \frac{My.X}{\sum Y^2}$$

$$= \frac{2725.4}{39} + \frac{1903.8x10.2}{1577.94} + \frac{6.34x1.7}{75.14}$$

= 82.33 ton < Q ijin (1 tiang) = 110.18 x 0.766 = 84.4 ton ***(Ok)***

Kedalaman tiang pancang = 45 m.

Dari perhitungan dengan fuzzy logic didapatkan hasil :

Diameter	= 0.4	meter
Jumlah tiang dalam kolom	= 13	buah
Jumlah tiang dalam baris	= 3	buah
Qijin (1tiang)	= 82.431	ton
Pv	= 82.280	ton
Effisiensi	= 0.766	
Kedalaman	= 44.2	meter

Tabel 4.27 Perbandingan hasil perhitungan awal dan fuzzy

Variabel	Desain Awal	Hasil Fuzzy	Satuan
	Nilai	Nilai	
Diameter	0.4	0.4	Meter
m	13	13	
n	3	3	
Jarak	1.7	1.7	Meter
Pv	82.33	82.2804	Ton
Qijin	84.4	82.4317	Ton
Effisiensi	0.766	0.7661	
Kadalaman	45	44.2	Meter

5. FUZZY LOGIC

5.1 Input Data

Untuk mempermudah penggunaan metode fuzzy logic ini (jika terjadi perubahan-perubahan data yang terjadi dalam berbagai kasus), maka beberapa data yang nantinya akan digunakan untuk perhitungan akan dibuat sebagai input, sehingga dapat diubah-ubah sesuai dengan kondisi di lapangan. Adapun input data adalah :

1. P = Beban vertikal (ton)
2. Mx = Momen arah X (t.m)
3. My = Momen arah Y (t.m)
4. D = Diameter tiang pancang (meter)
5. N = Data tanah dari hasil SPT
6. Lc = Panjang pile cap (arah X) dalam meter
7. Wc = Lebar pile cap (arah Y) dalam meter
8. SF = *Safety Factor*

5.2 Parameter

Untuk memperoleh hasil yang optimum dan menentukan parameter-parameter algoritma, maka parameter yang digunakan adalah sebagai berikut :

1. Pmaks < Qall
2. Jarak antar tiang antara 2,5 – 6,0 diameter.
3. Jumlah tiang maksimum 25 x 25
4. Effisiensi minimum 60%

ISBN 978-979-99327-8-5

5.3 Output Data

Output ditampilkan dengan bantuan visual basic untuk memudahkan mengetahui output dari masing-masing data. Adapun yang ditampilkan sebagai output adalah:

- Matrik jumlah tiang

Qijin 1 tiang dalam group

- Pmax tiang group.
- Effisiensi.
- Kedalaman tiang.
- Daya dukung tiang tunggal dan grafiknya.

5.4 Urutan Pengerjaan Fuzzy Logic.

Adapun urutan pengerjaan dengan metode ini adalah sebagai berikut :

1. Menentukan daya dukung tiang tunggal dengan input nilai SPT dan diameter tiang seperti dibawah ini:

```
for i=1:50;
        if n(i,1)<3;
ns(i,1)=3;
        elseif n(i,1)>50;
ns(i,1)=50;
        else
ns(i,1)=n(i,1);
        end
        ns1(i,1)=sum(ns);
        h(i,1)=i;
        ns2(i,1)=ns1(i,1)/h(i,1);
        as(i,1)=pi*d*h(i,1);
        i1(i,1)=ns2(i,1)/3+1;
        qb(i,1)=(i1(i,1)*as(i,1))/SF;
end
```

Algoritma diatas digunakan untuk meneghitung nilai daya dukung tiang tunggal pada setiap kedalaman yang angka keamananya (SF) disesuaikan dengan keinginan. Selanjutnya untuk menentukan daya dukung tiang tunggal dengan kedalaman yang lebih teliti digunakan algoritma dibawah ini.

```
for ii=1:500
yy=ceil(ii/10);
qbt(ii,1)=(i1(yy,1)*as(yy,1))/SF;
if yy<=1
        qbt2(ii,1)=abs((qb(yy,1)/10)*(ii-(10*(yy-1))));
else
qbt2(ii,1)=qb(yy-1,1)+abs(((qb(yy,1)-qb(yy-1,1))/10)*(ii-(10*(yy-1))));
        end
end
```

2. Menghitung effisensi tiang group dengan parameter pembatasnya.

```
for i=1:25;
        for j=1:25;
        for k=1:40;
        s(k,1)=0.1*k;
        t(k,1)=d/s(k,1);
        o(k,1)=atand(t(k,1));
                i1(i,j)=((i-1)*j+(j-1)*i)
                /(90*i*j);
        end
        end
end
for i=1:25;
```

```
            for j=1:25;
            for k=1:40;
            c(i,1)=i;
            C(j,1)=j;
            smin=2.5*d;
            smax=6.0*d;
                    lg(i,k)=((c(i,1)-1)*x1(k,1)+d);
                    bg(j,k)=((C(j,1)-1)*x1(k,1)+d);          x1(k,1)=0.1*k;
            e(1,1,k)=x1(k,1);
            v(i,j,k)=i1(i,j)*o(k,1);
            e(i,j,k)=1-v(i,j,k);
    if x1(k,1)<smin;
       e(i,j,k)=0;
    elseif x1(k,1)>smax;
       e(i,j,k)=0;
    elseif Pa-lg(i,k)>2*d;
       e(i,j,k)=0;
    elseif Le-bg(j,k)>2*d;
       e(i,j,k)=0;
    elseif lg(i,k)>Pa;
       e(i,j,k)=0;
    elseif bg(j,k)>Le;
       e(i,j,k)=0;
    elseif e(i,j,k)<=emin;
       e(i,j,k)=0;
    end
            end
            end
    end
```

Dari algoritma di atas akan dihasilkan nilai effisinsi tiang yang nilainya diatas 60% dengan jumlah tiang yang apabila dihitung panjang totalnya tidak melebihi panjang pile cap-nya.

3. Mencari nilai Pmax.

```
    for i=1:25;
            for j=1:25;
            n(i,j)=i*j;
            r(i,j)=pv/(n(i,j));
            end
    end
    for i=1:25
            for j=1:25;
            for k=1:40;
    M(i,1)=i;
    N(j,1)=j;
    S(k,1)=k;
    sx(k,1)=S(k,1)/10;
    sy(k,1)=S(k,1)/10;
    Lg(i,k)=(M(i,1)-1)*sx(k,1)+2*(d/2);
    Bg(j,k)=(N(j,1)-1)*sy(k,1)+2*(d/2);
    x(i,k)=((M(i,1)/2)-0.5)*sx(k,1);
    mxx(i,k)=Mx*x(i,k);
    sigmax(i,j,k)=((M(i,1)^3-M(i,1))
            *2*N(j,1)*(sx(k,1)^2))/24;
     if sigmax(i,j,k)<=0;
  r1(i,j,k)=0;
else
  r1(i,j,k)=mxx(i,k)/sigmax(i,j,k);
```

```
end
            end
            end
        end

        for i=1:25
            for j=1:25;
            for k=1:40;
        M(i,1)=i;
        N(j,1)=j;
        S(k,1)=k;
        sy(k,1)=S(k,1)/10;
        y(i,k)=((N(i,1)/2)-0.5)*sy(k,1);
        myy(i,k)=My*x(i,k);
        sigmay(i,j,k)=((N(i,1)^3-M(i,1))
            *2*M(j,1)*(sy(k,1)^2))/24;
        if sigmay(i,j,k)<=0;
        r2(i,j,k)=0;
        else
        r2(i,j,k)=myy(i,k)/sigmay(i,j,k);
        end
            end
            end
        end
        for i=1:25;
            for j=1:25;
            for k=1:40;
        p(1,1,k)=x1(k,1);
        if sx(k,1)<smin;
        p(i,j,k)=0;
        elseif sx(k,1)>smax;
        p(i,j,k)=0;
        elseif Lg(i,k)>Pa;
        p(i,j,k)=0;
        elseif Bg(j,k)>Le;
        p(i,j,k)=0;
        elseif Pa-Lg(i,k)>2*d;
        p(i,j,k)=0;
        elseif Le-Bg(j,k)>2*d;
        p(i,j,k)=0;
        else

        p(i,j,k)=r(i,j)+r1(i,j,k)+r2(i,j,k);
        end
            end
            end
        end
```

Dari algoritma diatas apabila tidak diberi batasan maka akan menghasilkan matrik dengan ukuran 25 x 25 x 40

4. Menentukan daya dukung tiang tunggal dalam kelompok.

```
for i=1:25;
    for j=1:25;
    for k=1:40;
    for l=1:500;
 Qg(1,1,k)=x1(k,1);
 if p(i,j,k)<=0;
```

```
Qg(i,j,k)=0;
        elseif p(i,j,k)<=qbt2(l,1)*e(i,j,k);        Qg(i,j,k)=qbt2(l,1)*e(i,j,k);,break
end
                end
        end
        end
end
```

Dari algoritma diatas nilai Qijin tiang tunggal dalam kelompok dicari yang lebih besar dari nilai Pmax. Hal ini dilakukan dengan cara melakukan iterasi sebanyak 25 x 25 x 40 x 500, dengan mengubah nilai m dan n (jumlah tiang), jarak antar tiang, serta kedalaman tiang dengan tetap memperhatikan syarat-syarat yang harus dipenuhi. Dengan mengetahui daya dukung tiang tunggal dalam kelompok maka dapat diketahui kedalaman tiang.

5. Untuk menentukan kedalaman tiang yang dibutuhkan dapat dicari dengan:

```
for i=1:25;
        for j=1:25;
        for k=1:40;
        for l=1:500;
        z(1,1,k)=x1(k,1);
        if p(i,j,k)<=0;
  z(i,j,k)=0;
                elseif p(i,j,k)<=qbt2(l,1)*e(i,j,k);
  z(i,j,k)=l/10;,break
        end
        end
        end
        end
end
```

Dari algoritma diatas dapat dilihat kebutuhan kedalamn tiang untuk masing-masing konfigurasi.

6. Selanjutnya adalah menentukan daya dukung tiang tunggal, yang berfungsi sebagai kontrol apakah perhitungan daya fukung tiang tunggal dalam kelompok benar atau tidak, hal ini dilakukan dengan menggunakan:

```
        for i=1:25;
                for j=1:25;
                for k=1:40;
                for l=1:500;
        qq(1,1,k)=x1(k,1);
        if p(i,j,k)<=0;
  qq(i,j,k)=0;
                elseif p(i,j,k)<=qbt2(l,1)*e(i,j,k);
        qq(i,j,k)=qbt2(l,1);,break
        end
                        end
                end
                end
        end
```

Untuk memudahkan dalam pembacaan hasil (output) perhitungan diatas, maka digunakan program visual basic dengan urutan pengerjaan sebagai berikut:

1. Masukkan input meliputi

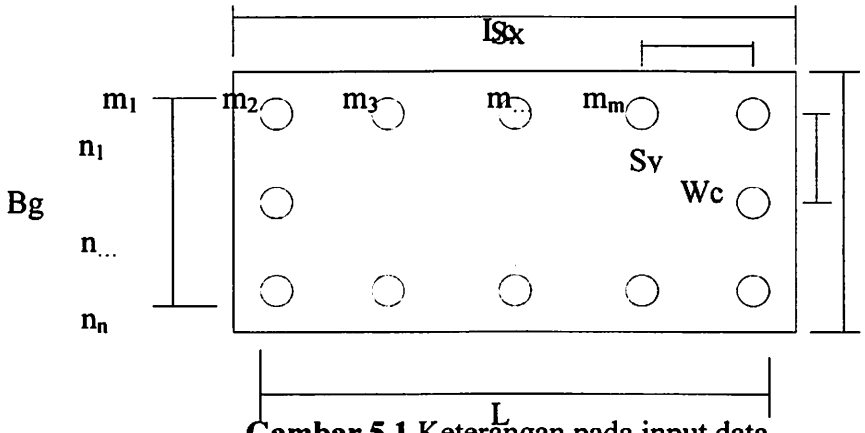
Data SPT sebagai contoh data tanah di daerah Puri Surya Jaya dengan nilai SPT sebagi berikut :

Tabel 5.1 Input data SPT

Depth (m)	SPT Value
1	0
2	0
3	10
4	8
5	6
6	4
7	5
8	7
9	8
10	9
dst	dst
40	35
41	35
42	35
43	35
44	35
45	35
46	35
47	35
48	35
49	35
50	35

- Input beban V = 2725.4 kg
  Mx = 1903.75 kg
  My = 6.3438 kg

- Input data tiang kelompok:
  Lc = 21 m
  Wc = 4 m
  d = 0.5 m
  SF = 3
- Input spacing (jarak antar tiang) pilih: 1.5 meter



Gambar 5.1 Keterangan pada input data

Keterangan:

Lc = panjang pile cap (meter)

Wc = lebar pile cap (meter)

Sx = jarak antar tiang arah lebar (meter)

Sy = jarak antar tiang arah panjang (meter)

Lg = $(m-1)Sx + 2.(d/2)$

Bg = $(n-1)Sy + 2.(d/2)$

$1 \le m, n \le 25$

$0{,}1 \le Sx, Sy \le 4{,}0$ (meter)

2. Tekan start untuk mengeluarkan hasil. Output pertama yang muncul adalah nilai Qijin tiang dalam group.

Tabel 5.2 Nilai Qijin tiang group

m x n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0								
3	0	0	0	0								
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0					0	0	0	0	0	0	0
6	0					0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0							0	0	0	0	0
10	0							0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	77.15	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0						0	0	0	0
16	0	0	0						0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Jumlah tiang dalam kolom

Jarak antar tiang

Jumlah tiang dalam baris

Nilai Qijingroup

3. Dengan cara yang sama maka dapat diketahui nilai Pmax

Tabel 5.3 Nilai Pmax

m x n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	77.02	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0				0	0	0	0	0
16	0	0	0	0				0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Nilai Pmax

4. Kedalaman tiang group

Tabel 5.4 Nilai kedalaman tiang pancang

m x n	1	2	3	4
1	1.5	0	0	0
2	0	0	0	0
3	0	0	0	0
4	0	0	0	0
5	0	0	0	0
6	0	0	0	0
7	0	0	0	0
8	0	0	0	0
9	0	0	0	0
10	0	0	0	0
11	0	0	0	0
12	0	0	0	0
13	0	0	0	0
14	0	0	41.2	0
15	0	0	0	0

Nilai Kedalaman

5. Effisiensi tiang group.

Tabel 5.5 Effisensi tiang group

m x n	1	2	3	4
1	1.5	0	0	0
2	0	0	0	0
3	0	0	0	0
4	0	0	0	0
5	0	0	0	0
6	0	0	0	0
7	0	0	0	0
8	0	0	0	0
9	0	0	0	0
10	0	0	0	0
11	0	0	0	0
12	0	0	0	0
13	0	0	0	0
14	0	0	0.673	0
15	0	0	0	0

Effisiensi

6. Daya dukung tiang tunggal

Tabel 5.6 Nilai daya dukung tiang tunggal

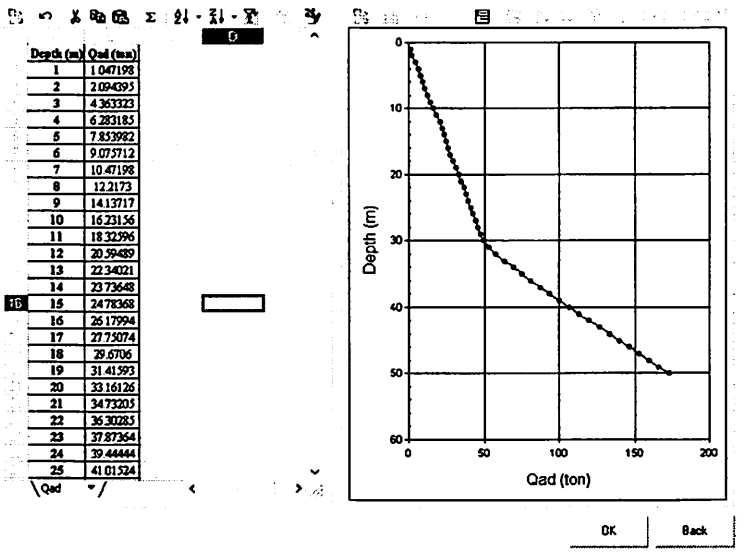
m x n	1	2	3	4
1	1.5	0	0	0
2	0	0	0	0
3	0	0	0	0
4	0	0	0	0

ISBN 978-979-99327-8-5

5	0	0	0	0
6	0	0	0	0
7	0	0	0	0
8	0	0	0	0
9	0	0	0	0
10	0	0	0	0
11	0	0	0	0
12	0	0	0	0
13	0	0	0	0
14	0	0	114.6	0
15	0	0	0	0

Nilai daya dukung tiang tunggal

7. Tabel nilai Qdaya dukung tiang tunggal beserta grafiknya.



Gambar 5.2 Tabel dan grafik output daya dukung tiang tunggal

5.5 Contoh Hasil Akhir

Dengan cara yang sama maka untuk beban pada masing-masing bentang dapat di cari konfigurasi tiangnya (Tabel 5.7 dan Tabel 5.8).

Tabel 5.7 Beban kombinasi III bentang 20m

Beban			
Vo	=	1918.604	ton
Mx	=	1507.688	ton.m
My	=	6.3438	ton.m

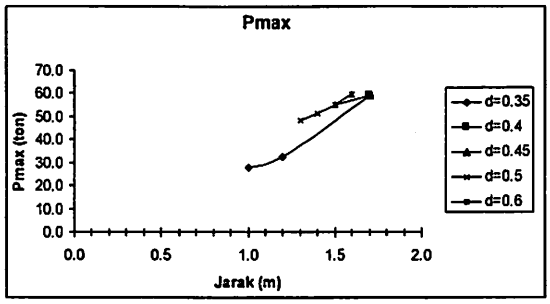
Tabel 5.8 Konfigurasi tiang bentang 20m

D (m)	Jarak (m)	Jumlah tiang M	Jumlah tiang n	Qall (ton)	Pmax (ton)	h (m)	Effisiensi (%)	Q_{1tiang} (ton)	Lg (m)	Bg (m)
0.35	1.0	21	4	27.988447	27.756170	32.9	0.635122	44.067818	20.35	3.35
	1.2	18	4	32.255665	32.180971	33.5	0.693867	46.486845	20.75	3.95
	1.7	13	3	59.308042	58.981774	40.0	0.794506	74.647732	20.75	3.75
0.40	1.7	13	3	59.315305	58.981774	38.5	0.766122	77.422806	20.80	3.80
0.45	1.7	13	3	59.223018	58.981774	37.3	0.738108	80.236276	20.85	3.85
0.50	1.3	16	3	48.871240	48.534373	35.5	0.625026	78.190750	20.00	3.10
	1.4	15	3	52.029018	51.647662	35.8	0.650599	79.970986	20.10	3.30
	1.5	14	3	55.461447	55.293865	36.2	0.673243	82.379541	20.00	3.50

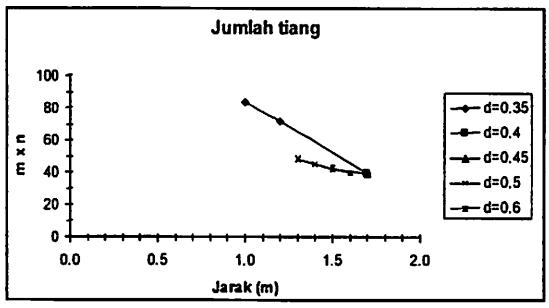
ISBN 978-979-99327-8-5

	1.7	13	3	59.398548	58.981774	36.4	0.710498	83.601271	20.90	3.90
0.60	1.5	14	3	55.386262	55.293865	35.0	0.613573	90.268429	20.10	3.60
	1.6	13	3	59.759792	59.593456	35.5	0.636902	93.828901	19.80	3.80

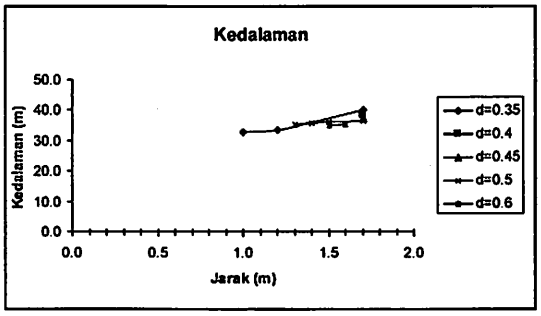
Dari tabel konfigurasi diatas dapat dibuat grafik-grafik sebagai berikut :



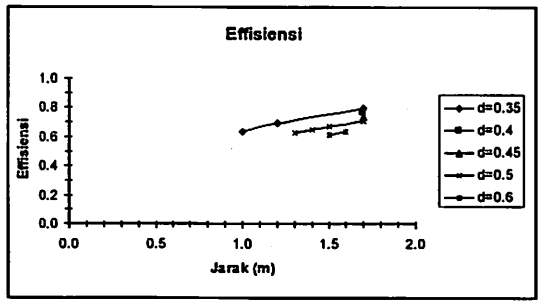
Gambar 6.1
Grafik hubungan antara jarak antar tiang dengan Jumlah Tiang



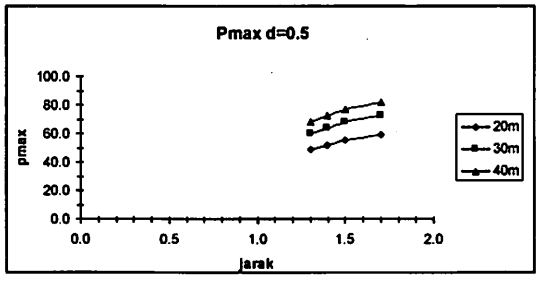
Gambar 6.2
Grafik hubungan antara jarak (spacing) dengan Pmax



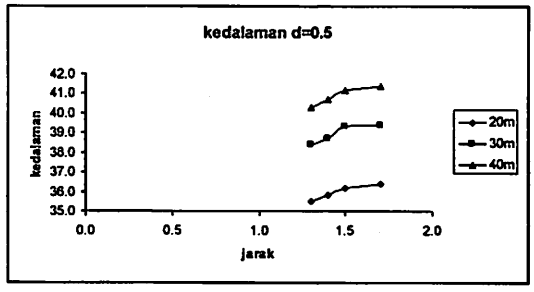
Gambar 6.3
Grafik hubungan antara jarak (spacing) dengan kedalaman tiang



Gambar 6.4
Grafik hubungan antara jarak (spacing) dengan Efficiency Tiang Group



Gambar 6.5
Grafik hubungan Pmax pada tiap bentang jembatan



Gambar 6.6
Grafik hubungan antara kedalaman tiang Dan Tipe Bentang Jembatan.

5.6 Cek dengan Pengerjaan Manual

Perbandingan nilai *output* yang dihasilkan adalah sebagai berikut :

Fuzzy logic :	**Desain awal (secara manual) :**
Pmax = 82.2804	Pmax = 82.33
Qall = 82.4317	Qall = 84.4

Dari hasil perbandingan di atas, maka nilai *error* adalah 0,0602 %.

6. KESIMPULAN

Dari perencanaan pondasi tiang group dengan menggunakan metode *fuzzy logic*, maka diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Program ini sangat membantu dalam perancangan awal (pradesign).
2. Hasil running program dengan input beban jembatan bentang 20 meter yang diperoleh adalah :
   a. Matrik jumlah tiang
   b. Qijin 1tiang dalam group
   c. Pmax tiang group.
   d. Effisiensi.
   e. Kedalaman tiang.
   f. Daya dukung tiang tunggal dan grafiknya.
3. Perbandingan antara Fuzzy logic dengan cara manual adalah sebagai berikut :

Fuzzy logic	**Desain awal (perhitungan manual)**
Pmax = 82.2804	Pmax = 82.33
Qall = 82.4317	Qall = 84.4

Dari hasil perbandingan di atas, maka nilai *error* adalah 0,0602 %.

DAFTAR PUSTAKA

Arhami, Mohammad. 2005. Pemrograman MATLAB. AndiYogyakarta.
Das, Braja M. 1994. Principal of Foundation Engineering: PWS-Kent Publishing Company.
Bowles, Joseph E. 1982. Foundation Analysis and Design.McGraw-Hill Book Co.
Wahyudi, Herman.1999.Daya Dukung Pondasi Dalam.Jurusan Teknik Sipil FTSP-ITS
Jang, Jyh-Shing Roger.1997. Neuro-Fuzzy and Soft Computing.Prentice Hall Inc.
Kusumadewi,Sri.2002.Analisis dan Desain Sistem Fuzzy.Graha Ilmu.
Madcom.2005.Panduan Pemrograman dan Referensi Kamus Visual Basic 6.0.Andi Offset.
Abadai,Gunaidi.2006.The Shortcut of Matlab Programing.Informatika.

" Halaman ini sengaja dikosongkan "

ISBN 978-979-99327-8-5

PERBANDINGAN PARAMETER HASIL UJI KONSOLIDASI ANTARA TANAH YANG DISTABILISASI DENGAN KAPUR DAN DENGAN SEMEN

Desiana Vidayanti[1], Muhammad Sholehuddin[2]

[1]*Dosen Program Studi Teknik Sipil, Universitas Mercu Buana, Kampus Meruya, Jakarta Barat, telp: 021-5840816, email : desianavidayanti@gmail.com*
[2]*Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, Universitas Mercu Buana, Kampus Meruya, Jakarta Barat, telp:085694042346,email : muhammad_sholehuddin@yahoo.co.id*

ABSTRAK

Salah satu upaya untuk meningkatkan daya dukung pada tanah yang mempunyai daya dukung rendah yaitu dengan stabilisasi tanah secara kimiawi. Sudah banyak penelitian mengenai stabilisasi tanah yang terutama pada lempung lunak maupun lempung ekspansif. Dari penelitian yang telah dilakukan masih jarang dijumpai adanya penelitian untuk mencari parameter hasil uji konsolidasi, misalnya : tegangan prakonsolidasi (Pc), indeks kompresi (Cc) serta indeks rekompresi (Cr). Padahal di sisi lain parameter uji konsolidasi tersebut sangat dibutuhkan dalam perhitungan penurunan tanah yang merupakan salah satu syarat stabilitas dalam perancangan fundasi.

Penelitian ini dilakukan dengan mengambil obyek tanah di Muara Teweh – Puruk Cahu. Bertujuan untuk mengetahui parameter uji konsolidasi. Sampel dari lokasi tersebut dicampur kapur maupun dicampur semen dengan prosentase 3%, 5%, dan 7% dari berat tanah. Tanah asli yang dicampur kapur maupun dengan semen pada prosentasi tersebut, kemudian diperam selama 14 hari, kemudian dilakukan pengujian konsolidasi 1 dimensi dengan alat oedometer.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai indeks kompresi dan indeks rekompresi mengalami penurunan sejalan dengan bertambahnya prosentase bahan aditif, dan terlihat lebih signifikan pada tanah yang dicampur kapur dibanding dengan tanah yang dicampur semen.

Kata kunci : tanah, stabilisasi tanah, kapur, semen, konsolidasi

1.PENDAHULUAN

Tanah mempunyai sifat – sifat teknis yang sangat bervariasi. Dalam bidang teknik sipil tanah mempunyai peranan yang sangat penting yaitu sebagai pendukung kekuatan suatu struktur, salah satunya sebagai pendukung struktur jalan. Tidak semua jenis tanah mempunyai sifat yang sama karena dipengaruhi oleh keadaan geografis suatu tempat, ada tanah yang memiliki kekuatan dukung yang baik dan ada pula tanah yang memiliki kekuatan dukung yang kurang baik. Untuk memperbaiki tanah yang kurang daya dukungnya dapat dilakukan distabilisasi agar menjadi tanah yang lebih baik.

Stabilisasi tanah yang umum digunakan yaitu secara mekanis maupun kimiawi. Metode mekanis yaitu penambahan kekuatan atau daya dukung tanah dengan cara mengatur gradasi tanahnya, sedangkan metode kimiawi yaitu usaha untuk mendapatkan tanah dasar yang lebih stabil dengan menggunakan bahan campur *(stabilizing agent)*.

Pada tanah yang distabilisasi dengan menggunakan bahan campur (misalnya: kapur, semen dan *fly ash*) belum banyak ditemukan penelitian tentang pengujian konsolidasi.

Penelitian yang ada lebih banyak mengamati perubahan *index properties* dan *engineering properties* tanpa melakukan pengujian konsolidasi. Padahal untuk mendesain daya dukung pondasi salah satu syarat yang harus dipenuhi yaitu harus stabil terhadap penurunan, antara lain penurunan konsolidasi.

Di proyek pembangunan dan pengembangan jalan di daerah Muara Teweh – Puruk Cahu ditemukan banyak titik kerusakan, yang mengakibatkan umur jalan yang tidak lama. Pada lokasi tersebut telah kami lakukan beberapa penelitian tentang stabilisasi tanah, baik dengan menggunakan semen maupun kapur, namun pada penelitian tersebut belum dilakukan pengujian konsolidasi. Maka pada penelitian ini akan diamati besar parameter konsolidasi dari lokasi Muara Teweh- Puruk Cahu baik yang distabilisasi dengan kapur maupun yang distabilisasi dengan semen.

2. STUDI PUSTAKA

2.1. Penurunan Konsolidasi Tanah

Konsolidasi adalah proses dimana tanah yang jenuh air mengalami kompresi akibat beban dalam suatu periode waktu tertentu, di mana kompresi berlangsung akibat pengaliran air keluar dari pori-pori tanah. Akibat peristiwa konsolidasi yang terjadi pada tanah menyebabkan suatu penurunan konsolidasi. Penurunan konsolidasi terutama terjadi pada tanah yang kompresibel. Pada peristiwa penurunan konsolidasi ada dua hal yang perlu diperhatikan, yaitu besar penurunan yang akan terjadi dan waktu terjadinya konsolidasi Untuk memperkirakan besar dan waktu terjadinya konsolidasi pada suatu lokasi, diperlukan parameter-parameter hasil uji konsolidasi. Uji konsolidasi yang umum dipakai adalah uji konsolidasi satu dimensi, yang pertama-tama diperkenalkan oleh Terzaghi.

Uji konsolidasi bertujuan untuk menentukan sifat pemampatan suatu jenis tanah, yaitu sifat-sifat perubahan isi dan proses keluarnya air dari dalam tanah yang diakibatkan adanya perubahan tekanan vertikal pada tanah tersebut. Karakteristik suatu tanah selama terjadi konsolidasi satu dimensi atau pemuaian ditentukan dengan menggunakan uji oedometer. Adapun parameter hasil uji konsolidasi antara lain :

1) Nilai *Compression Index* (Cc)
   Adalah nilai parameter suatu tanah Cc dicari dari grafik e-logP berdasarkan hasil percobaan konsolidasi laboratorium. Diperoleh dari pengamatan penurunan setelah konsolidasi pembacaan 24 jam. Dari kurva hasil tes konsolidasi kompresi asli merupakan bagian kurva dengan tekanan melebihi tekanan pra-konsolidasi yang bentuk kurvanya mendekati linier. Dari bagian kurva ini dapat dihitung Indeks Kompresi *(Compression Index)* Cc yang merupakan kemiringan dari bagian kurva ini.
2). Tekanan Pra–Konsolidasi (*Preconsolidation Pressure)*
   Tegangan yang pernah terjadi pada tanah tersebut di masa lampau sebelum sekarang. Kondisi prakonsolidasi dapat diketahui dengan Metode Cassagrande
3). Rekompresi dan Pengembangan (*Recompression and Swell*)
   Bagian rekompresi dari kurva konsolidasi menunjukkan tingkah laku tanah jika mengalami tambahan beban kembali setelah sebelumnya mengalami penurunan tegangan. Dari bagian kurva ini dapat dihitung Indeks pengembangan *(Swelling Index)* dan Indeks rekompresi *(Recompression Index).*

- Swelling Index (**Cs**) merupakan kemiringan kurva pada saat mengalami penurunan tegangan.
- Recompression Index (**Cr**) merupakan kemiringan kurva pada saat mengalami kenaikan tegangan kembali *(reloading)* setelah mengalami penurunan tegangan.

Sedangkan untuk penurunan konsolidasi, rumus yang banyak digunakan adalah :

Untuk tanah NC clay : $Sc = cc\dfrac{Ho}{1+eo}\log\dfrac{\sigma o'+\Delta\sigma'}{\sigma o'}$

Untuk tanah OC clay :

a) $\sigma o'+\Delta\sigma' \leq \sigma p'$, maka $Sc = cr\dfrac{Ho}{1+eo}\log\dfrac{\sigma o'+\Delta\sigma'}{\sigma o'}$

b). $\sigma o'+\Delta\sigma' > \sigma p'$, maka $Sc = cr\dfrac{Ho}{1+eo}\log\dfrac{\sigma p'}{\sigma o} + cc\dfrac{Ho}{1+eo}\log\dfrac{\sigma o'+\Delta\sigma'}{\sigma o'}$

Di mana menurut riwayat pembebanannya tanah dibedakan atas:

- *Normally consolidated*	OCR= 1
- *Over consolidated*	OCR> 1
- Under consolidated	OCR< 1

dimana:

OCR = overconsolidation ratio = $\sigma p'/\sigma o'$

$\sigma p'$ = preconsolidation pressure.

$\sigma o'$ = effektive overburden pressure (beban karena lapisan di atas pertengahan clay yang akan dihitung settlementnya.

$\Delta\sigma'$ = beban yang ditambahkan pada lapisan tanah tersebut (timbunan, struktur).

e_0 = angka pori awal.

2.2. Stabilisasi Tanah

Stabilisasi tanah adalah upaya rekayasa untuk memperbaiki mutu tanah yang tidak baik menjadi baik agar mendapatkan hasil yang optimal. Tujuan dari stabilisasi tanah yaitu meningkatkan daya dukung tanah dalam menahan beban dan menjaga tingkat kestabilan tanahnya.

Metode stabilisasi tanah yang dikenal antara lain stabilisasi secara mekanis dan stabilisasi secara kimia. Stabilisasi tanah secara mekanis adalah penambahan kekuatan atau daya dukung tanah dengan cara mengatur gradasi tanahnya. Metode ini biasanya digunakan pada tanah berbutir kasar dimana mempunyai fraksi tanah (lolos saringan no.200) paling besar 25%. Prinsip stabilisasinya karena adanya kait mengkait dan geseran antar butiran tanah serta daya antar butiran tanah oleh bagian halus dan kestabilan akan tercapai setelah diberi usaha pemadatan yang cukup. Sedangkan stabilisasi tanah secara kimiawi merupakan usaha untuk mendapatkan tanah dasar yang lebih stabil dengan menggunakan bahan campur *(stabilizing agent)*, metode stabilisasi ini biasanya digunakan pada tanah berbutir halus. *stabilizing agent* yang banyak dipergunakan di antaranya dengan kapur, semen, *fly ash*, dan lain-lain.

Stabilisasi tanah dengan kapur sudah banyak digunakan pada proyek – proyek jalan di banyak negara. Untuk hasil yang optimum kapur yang digunakan biasanya antara 3% sampai dengan 7%. Thomson (1968) menemukan bahwa dengan kadar kapur 5% sampai dengan 7 % akan menghasilkan kekuatan yang lebih besar dari kadar kapur 3%. Untuk stabilisasi dengan semen hasil yang didapat hampir sama dengan stabilisasi tanah

dengan kapur. Menurut Chen (1988) dengan menambahkan semen pada tanah akan dapat meningkatkan *shrinkage limit* dan *shear strength.*

2.2.1. Kapur

Istilah kapur mengandung tiga pengertian, yaitu kalsium karbonat ($CaCO_3$) untuk keperluan pertanian, kalsium hidroksida {$Ca(OH)_2$} yang terhidrasi atau kapur mati (*slake lime*), dan kalsium oksida (CaO) yang disebut kapur hidup atau *quick lime*. Menurut ketentuan direktorat penyelidikan masalah tanah dan jalan Departemen Pekerjaan Umum, kapur yang disarankan untuk stabilisasi tanah adalah kapur kembang (CaO) atau kapur padam {$Ca(OH)_2$}. Dalam penelitian ini digunakan jenis kapur padam (*hidrated high-calcium lime*). Kapur padam adalah hasil pemadaman kapur tohor dengan air dan membentuk hidrat. Di bawah ini diberikan daftar perkiraan jumlah kebutuhan kapur untuk berbagai macam tanah sesuai dengan tabel dibawah ini.

Tabel 1. Jumlah kandungan kapur untuk berbagai macam tanah

Tipe Tanah	Kapur Kembang (Quicklime)	Kapur Padam (Hydrated lime)
Clayed gravel/(GC, GM-GC)/(A-26, A-2-7)	2 – 3 %	2 – 4 %
Silty clays/(CL)/(A-6, A-7-6)	3 – 8 %	5 – 10 %
Clays/(CH)/(A-6, A-7-6)	3 – 10 %	3 – 8 %

(Sumber: Departemen Pekerjaan Umum)

2.2.2. Semen

Semen adalah material yang mempunyai sifat-sifat adhesif dan kohesif sebagai perekat yang mengikat fragmen-fragmen mineral menjadi suatu kesatuan yang kompak. Semen dikelompokan ke dalam 2 (dua) jenis yaitu semen hidrolis dan semen non hidrolis (Dipohusodo,I 1999). Semen hidrolis adalah suatu bahan pengikat yang mengeras jika bereaksi dengan air serta menghasilkan produk yang tahan air. Contohnya seperti semen Portland, semen putih dan sebagainya, sedangkan semen non hidrolis adalah semen yang tidak dapat stabil dalam air. Distribusi ukuran butir semen portland adalah antara 0,5-100 mikron. Campuran tanah dengan semen umumnya berkisar antara (4-15)% dari berat tanah. Dalam pencampuran ini akan mengakibatkan kenaikan kekuatan dengan periode waktu kekuatan perawatan yang relatif singkat sehingga untuk melanjutkan konstruksi tidak harus menunggu lama. Hal ini menguntungkan jika pelaksanaan pekerjaan menunjukkan waktu yang kritis. Oleh karena itu, waktu pelaksanaan stabilisasi tanah-semen tidak boleh melebihi waktu proses pengerasan (pengikatan) PC yaitu kurang lebih 2 (dua) jam, sebab tanah bisa pecah akibat pemadatan

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Bahan Uji

1) Sampel tanah asli diambil dari Muara Teweh – Puruk Cahu dalam keadaan terganggu (*disturb*), dengan kondisi sampel kering udara.
2) Kapur yang digunakan merupakan jenis kapur padam $Ca(OH)_2$.
3) Semen yang digunakan semen portland Tiga Roda jenis I.

3.2. Tahap-Tahap Penelitian

1. Pengujian tanah asli. Meliputi parameter sifat-sifat indeks tanah dan pamater uji konsolidasi.
2. Pengujian tanah yang distabilisasi dengan kapur dengan prosentase 3%, 5%, 7%, kemudian dengan semen dengan prosentase 1%, 3%, 5%, 7%, yang meliputi parameter sifat-sifat indeks tanah dan parameter uji konsolidasi dengan masa peram 14 hari.
3. Uji konsolidasi yang dilakukan adalah uji konsolidasi 1 Dimensi Terzaghi, menggunakan alat oedometer berdasarkan ASTM D4546-90.
4. Tanah yang digunakan yaitu tanah campuran (tanah dengan kapur dan tanah dengan semen) yang sudah mengalami proses pemeraman didalam plastik selama 14 hari lalu dicetak di cincin. Cincin (bagian dari sel konsolidasi) dibersihkan dan dikeringkan, kemudian ditimbang dengan ketelitian 0,1 gram. Proses pemasukan tanah kedalam cincin dilakukan dengan pemadatan manual karena tanah yang dipakai dalam keadaan terganggu (*disturb)*, dengan kondisi sampel kering udara.
5. Setiap pengujian pada kadar kapur atau semen tertentu jumlah specimen uji masing-masing 2 buah.
6. Pengujian dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah Universitas Mercu Buana.

4. HASIL PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN

4.1. Pengujian Tanah Asli

Hasil pengujian tanah asli dapat dilihat pada Tabel 2.

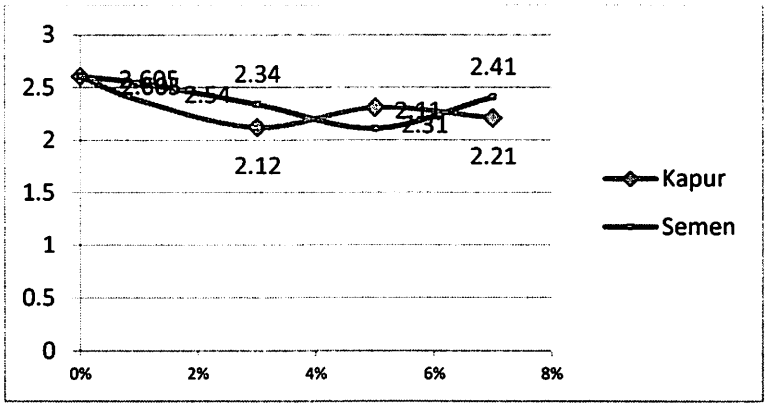
Tabel 2. Hasil Pengujian Tanah Asli

Pengujian	**Nilai**
Kadar Air	34.51%
Berat Jenis	2.605
Batas Plastis	24.1 %
Batas Cair	50.25 %
Batas Susut	8.5 %
Indeks Plastisitas	27.91 %
Aktivitas	0.95
Nilai Swelling CBR (Soaked)	1.57%
Parameter Uji Konsolidasi	
Pc	1.483 kg/cm^2
Cc	0.295
Cr	0.051

Diperoleh nilai rata-rata untuk masing-masing parameter konsolidasi yaitu nilai *Preconsolidation Pressure* (Pc) sebesar 1.483 kn/m^2, nilai *Compression Index* (Cc) sebesar 0.295 dan nilai *Recompression Index* (Cr) sebesar 0.051. Nilai Cc sebesar 0.295 termasuk ke dalam jenis tanah lempung medium s/d lunak (0.15-1.0)

4.2. Pengujian Tanah Yang Telah Distabilisasi Dengan Kapur dan Dengan Semen

Pada tanah yang distabilisasi dengan 2 macam campuran berikut ini, yaitu kapur dan semen ini telah dilakukan pengujian berat jenis dan konsolidasi. Hasil pengujian Berat Jenis pada tanah yang distabilisasi dapat dilihat pada Gambar 1.

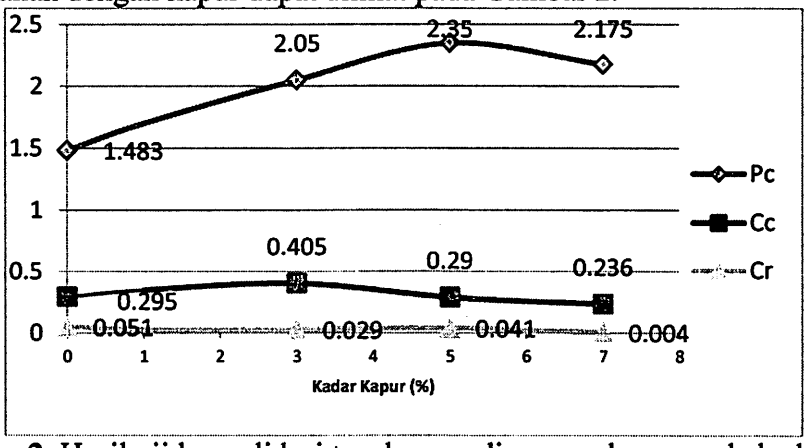


Gambar 1. Kurva Berat Jenis Tanah Berdasarkan Prosentase Kapur dan Semen Dalam Pemeraman 14 Hari

Gambar di atas menunjukkan bahwa terjadi penurunan berat jenis tanah dibandingkan dengan berat jenis tanah asli yaitu **2,605 gr/cm^3**, meskipun penurunan yang terjadi tidak konstan.

4.2.1 Hasil Pengujian Konsolidasi Tanah Dengan Kapur

Pengujian ini bertujuan untuk mendapatkan nilai- nilai *Compression Index* (Cc), *Recompression Index* (Cr), *Preconsolidation Pressure* (Pc). Resume hasil pengujian konsolidasi tanah dengan kapur dapat dilihat pada Gambar 2.

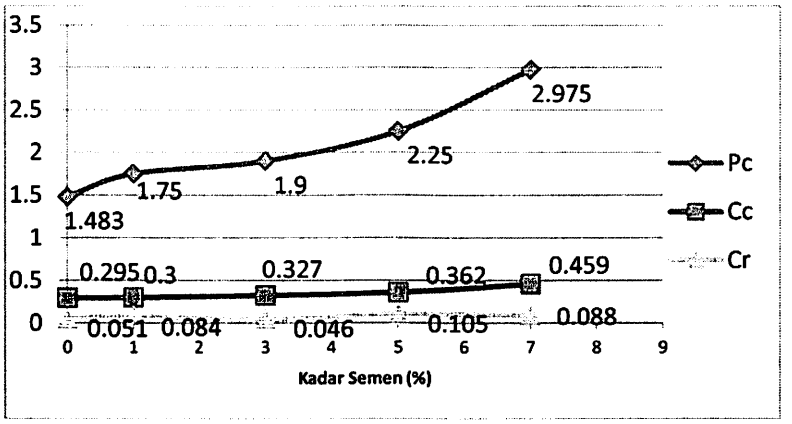


Gambar 2. Hasil uji konsolidasi tanah yang dicampur kapur pada kadar kapur 3%,5% dan 7%, dengan masa peram 14 hari.

Pada grafik di atas dapat dilihat bahwa pada semua persentase kapur mengalami kenaikan nilai Pc dibanding nilai Pc tanah asli. Nilai Pc meningkat pada kadar kapur 5%, yaitu sebesar 2.35, tetapi mengalami penurunan kembali menjadi 2.175 pada kadar kapur 7%. Untuk Cc mengalami kenaikan pada kadar kapur 3% yaitu 0.405 tetapi pada kadar kapur 5% dan 7% mengalami penurunan. Sedangkan untuk nilai Cr mengalami penurunan yang konstan pada setiap kadar kapur.

4.2.2. Hasil Pengujian Konsolidasi Tanah Dengan Semen

Pada pengujian konsolidasi, tanah yang diuji adalah tanah yang distabilisasi dengan cara pencampuran semen 1%, 3%, 5%, dan 7% dari berat tanah. Resume hasil pengujian konsolidasi tanah dengan semen dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 3. Hasil uji konsolidasi tanah yang dicampur semen pada kadar semen 1%,3%,5%,7% dengan masa peram 14 hari.

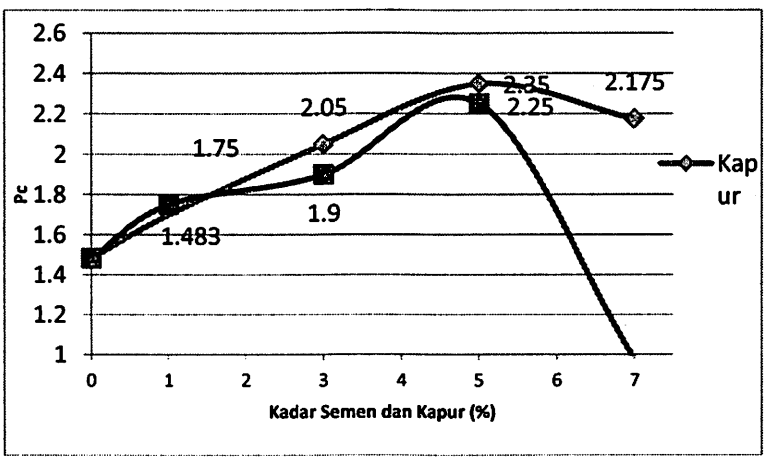
Dari Gambar 3 dapat dilihat bahwa untuk nilai Pc terjadi peningkatan yang konstan pada setiap persentase. Nilai tertinggi terdapat pada kadar semen 7% yaitu 2.975 dan sebesar 0.459 pada kadar semen 7% untuk nilai Cc. Pada nilai Cr terdapat kenaikan dan penurunan yang tidak stabil, kenaikan tertinggi pada kadar semen 5% sebesar 0.105 dan penurunan paling rendah terdapat pada kadar semen 3% sebesar 0.046.

4.3 Perbandingan Hasil Pengujian Konsolidasi

Perbandingan ini dilakukan untuk melihat hasil nilai *Preconsolidation Pressure* (Pc), *Compression Index* (Cc) dan *Recompression Index* (Cr) yang didapat dari pengujian tanah asli, tanah + kapur dan tanah + semen.

4.3.1 Perbandingan Nilai *Preconsolidation Pressure* (Pc)

Dari Gambar 4 dapat dilihat bahwa nilai Pc untuk tanah yang distabilisasikan untuk semua persentase mengalami peningkatan dari nilai Pc tanah asli sebesar 1.483. Pada tanah + kapur didapat peningkatan optimum pada kadar 5% kapur sebesar 2.35 sedangkan pada tanah + semen didapat peningkatan optimum pada kadar 7% semen sebesar 2.975.

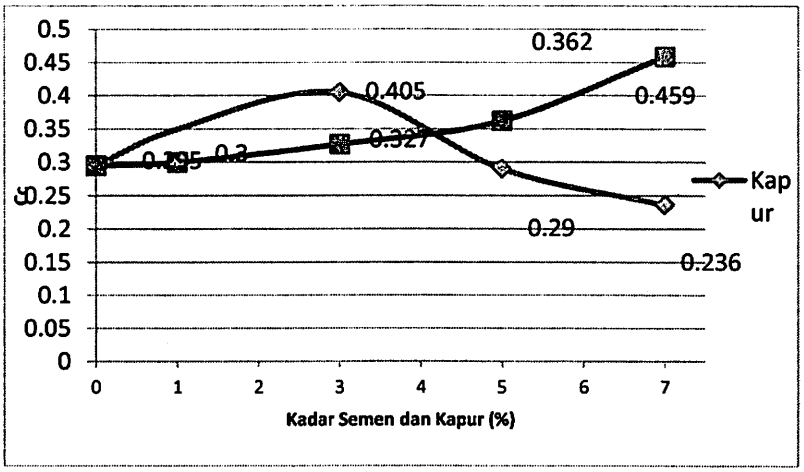


Gambar 4. Kurva perbandingan nilai *preconsolidation pressure* (Pc) dari pengujian tanah asli, tanah + kapur dan tanah + semen

Hasil Pengujian *Preconsolidation Pressure* (Pc) untuk kedua bahan stabilitas ini kurang relevan karena seharusnya tanah yang di stabilisasi dengan bahan campuran (tanah dengan kapur dan tanah dengan semen) hasil pengujian nilai Pc nya menurun dari tanah asli yaitu sebesar 1.483 tetapi pada hasil pengujian ini naik.

4.3.2. Perbandingan Nilai *Compression Index* (Cc)

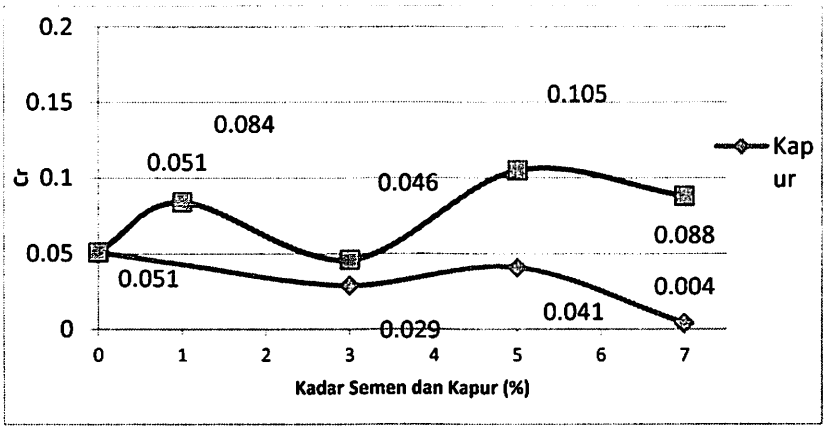
Dari Gambar 5. dapat dilihat bahwa nilai Cc untuk tanah yang distabilisasikan dengan kapur mengalami peningkatan yang tidak konstan, di mana optimum kenaikan nilai Cc terdapat pada kadar kapur 3% sebesar 0.405 dan mengalami penurunan melebihi nilai Cc tanah asli pada kadar kapur 5% sebesar 0.236. Untuk tanah yang distabilisasikan dengan semen mengalami peningkatan yang konstan dari tanah asli, di mana kenaikan paling optimum terdapat di kadar semen 7% yaitu sebesar 0.459. Nilai Cc pada tanah + semen seharusnya menurun dibanding nilai Cc tanah asli. Tetapi pada hasil pengujian ini hasilnya naik secara konstan. Semakin kecil nilai Cc maka penurunan konsolidasi akan semakin kecil.



Gambar 5 Kurva Perbandingan Nilai *Compression Index* (Cc) dari pengujian tanah asli, tanah + kapur dan tanah + semen

4.3.3. Perbandingan Nilai *Recompression Index* (Cr)

Dari Gambar 6. dapat dilihat bahwa nilai Cr untuk tanah yang distabilisasikan dengan semen mengalami peningkatan yang tidak konstan, di mana optimum kenaikan nilai Cr terdapat pada kadar semen 5% sebesar 0.105 dan mengalami penurunan melebihi nilai Cr tanah asli pada kadar semen 3% sebesar 0.046. Untuk tanah yang distabilisasikan dengan kapur mengalami penurunan yang konstan dibanding tanah asli, dimana penurunan paling besar terdapat di kadar kapur 7% yaitu sebesar 0.004. Hasil penelitian nilai Cr pada tanah + semen seharusnya menurun dari nilai Cr tanah asli tetapi pada hasil pengujian ini, hasil kenaikan dan penurunan tidak konstan. Semakin kecil nilai Cr maka penurunan konsolidasi akan semakin kecil.



Gambar 6. Kurva perbandingan nilai *recompression index* (Cr) dari tanah + kapur dan tanah + semen

4. KESIMPULAN

1. Dari hasil pengujian konsolidasi tanah asli diperoleh nilai rata-rata untuk masing-masing parameter konsolidasi yaitu nilai *Preconsolidation Pressure* (Pc) sebesar 1.483 kn/m^2, nilai *Compression Index* (Cc) sebesar 0.295 dan nilai *Recompression Index* (Cr) sebesar 0.051. Nilai *Compression Index* Cc sebesar 0.295 termasuk kedalam jenis tanah lempung medium s/d lunak dimana batasnya 0.15-1.0.
2. Penambahan kapur lebih baik sebagai bahan stabilitas tanah untuk pengujian konsolidasi dibandingkan dengan semen hal ini dapat dilihat pada nilai Cc, pada tanah+kapur nilai Cc mengalami penurunan optimum pada kadar kapur 7% masa pemeraman 14 hari sebesar 0.236 dibandingkan pada tanah asli sebesar 0.295. Sedangkan pada pada tanah+semen nilai Cc mengalami kenaikan optimum pada kadar kapur 7% masa pemeraman 14 hari sebesar 0.459 dibandingkan pada tanah asli sebesar 0.295. Nilai Cc ini dipergunakan dalam perhitungan nilai Sc (nilai penurunan konsolidasi) pada tanah yang *normally consolidation.* Semakin kecil nilai Cc maka penurunan konsolidasi akan semakin kecil.
3. Pada hasil pengujian tanah yang distabilisasi, nilai Cr pada tanah+kapur lebih baik penurunannya bila dibandingkan dengan tanah+semen. Nilai Cr pada tanah+kapur mengalami penurunan yang konstan dimana penurunan optimum terjadi pada kadar kapur 7% sebesar 0.004 sedangkan nilai Cr pada tanah+semen mengalami penurunan yang tidak konstan dimana penurunan optimum terjadi pada kadar semen 3% sebesar 0.046. Nilai Cr ini dipergunakan dalam perhitungan nilai Sc (nilai penurunan konsolidasi) pada tanah *over consolidation.* Semakin kecil nilai Cr maka penurunan konsolidasi akan semakin kecil.

5. DAFTAR PUSTAKA

1. Chen,F.H., 1975, *Foundation on Expansive Soils*, Elsevier Scientific Publishing Company, New York.
2. Das, B. M, 1998, *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknik)*, Jilid 1, Erlangga, Jakarta.
3. Departemen Pekerjaan Umum, 2007, *Perencanaan Stabilisasi dengan Bahan Serbuk Pengikat Untuk Konstruksi Jalan.*

4. Direktorat Jenderal Bina Marga (1992), *Spesifikasi Standart untuk Pekerjaan Jalan.*
5. Hardiyatmo, H.C, 2002, *Mekanika Tanah II*, Penerbit Gadjah Mada, University Press Yogyakarta.
6. Ingles, O.G and Metcalf, J.B. (1972), *Soil Stabilization Principles and Practice*, Butterworths Sydney-Melbourne, Brisbane.
7. Kerbs, R.D., and Walker, R.D. (1971), *Highway Materials, McGrawhill Book Company*, New York.
8. Mayrahman, H, 2012 , *Stabilisasi Tanah Dengan Kapur Pada Lokasi Muara Teweh –Puruk Cahu Kalimantan Tengah,* Universitas Mercu Buana, Jakarta.
9. Nurhidayanti, 2012, *Stabilisasi Tanah Dengan Semen Di Muara Teweh – Puruk Cahu Kalimantan Timur,* Universitas Mercu Buana, Jakarta

PENGARUH PENAMBAHAN ABU GERGAJI KAYU TERHADAP KEKUATAN DAN PENGEMBANGAN (*SWELLING*) PADA *SUBGRADE* DARI TANAH LEMPUNG BERPLASTISITAS TINGGI

Syahril.[1] dan Koeswahono.[2]

[1] *Dosen Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Bandung, Jl. Gegerkalong Hilir Ds. Ciwaruga Bandung, Telp./Fax. 022-2016150, e-mail: syahril_polban@yahoo.com*
[2] *Dosen Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Bandung, Jl. Gegerkalong Hilir Ds. Ciwaruga Bandung, Telp./Fax. 022-2016150.*

ABSTRACT

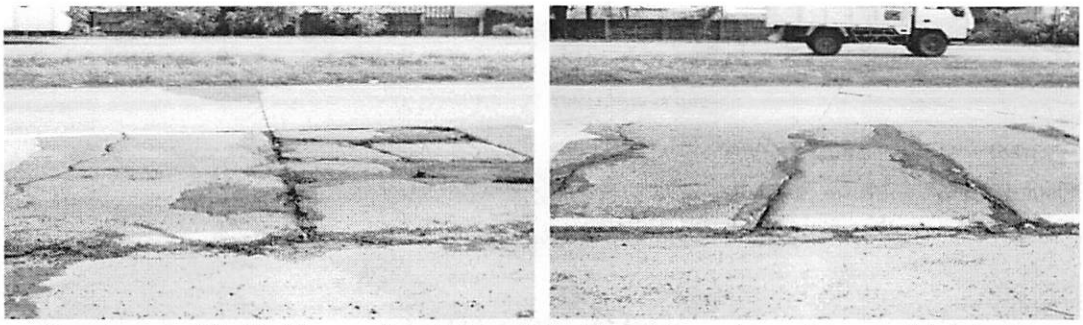
In a pavement of road construction, soil is an important part which has a function as a roadbed and it also has to have an ability to bear the traffic load that work on it. The strength, swelling plasticity, and bearing capacity of a subgrade will be the most important thing to be considered in the pavement of road construction. A high plasticity clay which is used as a subgrade is generally has a low capability of bearing capacity. If the bearing capacity of subgrade is very poor, it has to change with another good soil or it has to be improved. Therefore, one way to improve the soil condition is by a stabilization process.
Stabilization is a way to improve soil characteristic, to increase soil strength, and to increase the stiffness of soil. In order to have a high quality of soil improvement, an optimum process of soil stabilization could be done for the high plasticity clay which has a poor bearing capacity as a subgrade by adding the wood saws ash. This research used wood saws ash and took the soft soil which has a high plasticity index value of Padalarang-West Java as the sample by adding with a varying levels of the wood saws ash of 5%, 10%, 15%, and 20%.
The results of this research could decrease the value of plasticity index (PI) from 33,07% to 16.55%, increase the value of UCS from 4,072 kg/cm^2 to 7,438 kg/cm^2, and decrease the value of swelling pressure from 0,0159 kg/cm^2 to 0,00082 kg/cm^2.

Keywords: subgrade, wood saws ash, strength, swelling, road pavement.

1. LATAR BELAKANG

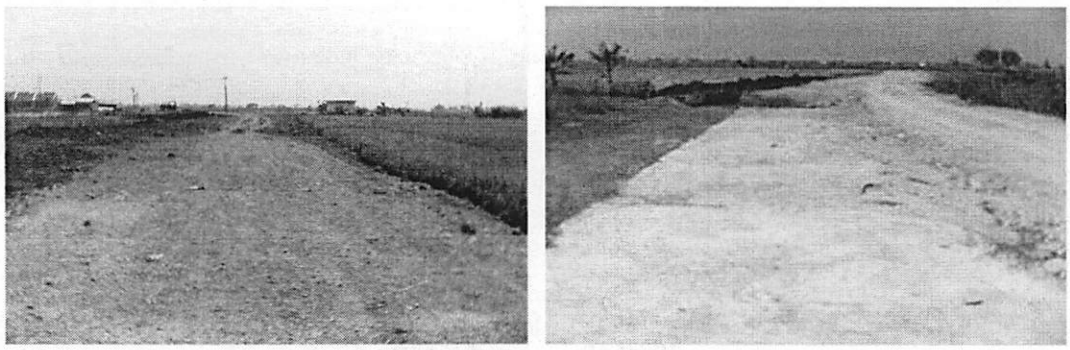
Tanah didefinisikan sebagai material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral-mineral padat yang tidak tersementasi (terikat secara kimia) satu sama lain dan dari bahan-bahan organik yang telah melapuk (yang berpatikel padat) disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang-ruang kosong diantara partikel-partikel padat tersebut.
Tanah berguna sebagai pendukung pondasi bangunan dan juga tentunya sebagai bahan bangunan itu sendiri. Tanah yang berfungsi sebagai lapis pondasi dasar (*subgrade*) merupakan elemen yang sangat penting dalam suatu pekerjaan konstruksi jalan, dimana daya dukung tanah merupakan unsur utama dalam pembangunan konstruksi jalan tersebut.
Tanah sebagai tempat berdirinya suatu konstruksi harus mampu menahan beban yang bekerja diatasnya karena tanah merupakan landasan yang menerima dan menahan beban-beban yang bekerja diatasnya.
Pemilihan jenis tanah yang dapat dijadikan tanah dasar melalui penyelidikan tanah menjadi penting karena tanah dasar akan sangat menentukan tebal lapis perkerasan diatasnya, sifat fisik perkerasan di kemudian hari, dan kelakuan perkerasan seperti deformasi permukaan dan lain sebagainya.

Kekuatan yang tidak memadai (ketahanan terhadap deformasi) merupakan masalah yang sering dijumpai pada pelaksanaan konstruksi jalan dan merupakan penyebab kerugian secara ekonomis atau juga bisa menyebabkan terjadi kecelakaan, seperti terlihat pada gambar 1.



Gambar 1. Tipikal kerusakan jalan akibat kualitas *subgrade* yang tidak baik

Tanah merupakan elemen penting yang berfungsi sebagai landasan yang dapat menahan beban lalu lintas. Agar dalam suatu pembangunan konstruksi perkerasan jalan dapat memiliki kontruksi yang baik haruslah memiliki daya dukung tanah yang mampu memikul beban lalu lintas diatasnya. Untuk itu tanah harus memenuhi persyaratan kualitas, baik secara fisik maupun secara teknis. Namun umumnya tanah dalam keadaan aslinya masih kurang memenuhi persyaratan kualitas untuk pekerjaan konstruksi, seperti terlihat pada gambar 2. Karena itu perlu dilakukan usaha perbaikan sifat-sifat tanah untuk memenuhi persyaratan yang ditentukan misalnya dengan stabilisasi tanah.



Gambar 2. Tipikal permukaan dan kualitas lapisan tanah dasar yang tidak baik

Perbaikan tanah pada lapisan tanah dasar (*subgrade*) dengan stabilisasi merupakan salah satu pilihan untuk mengatasi kondisi tersebut. Maksud dari stabilisasi lapisan tanah dasar (*subgrade*) pada konstruksi jalan adalah suatu usaha untuk perbaikan sifat-sifat tanah eksisting agar memenuhi spesifikasi teknis.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Lapisan Tanah Dasar (*Subgrade*)

Lapisan penyangga konstruksi perkerasan jalan yang terbawah dinamakan *subgrade* (artinya tanah dasar). Tanah dasar dalam keadaan asli merupakan suatu bahan yang kompleks dan sangat bervariasi kandungan mineralnya. Tebal lapisan ini umumnya 60 cm, kisarannya antara 60-100 cm. Konstruksi *subgrade* ini dipersiapkan secara khusus

agar didapatkan pondasi yang stabil bagi perkerasan dengan cara memadatkan tanah material *subgrade* menggunakan alat berat.
Daya dukung tanah dasar merupakan faktor penting yang sangat menentukan tebal perkerasan, komposisi, dan kinerjanya. Kekuatan tanah dasar tergantung pada kondisi tanah tersebut baik pada saat konstruksi maupun selama umur rencana perkerasan. Tipe tanah, kepadatan dan kadar air adalah faktor-faktor yang sangat menentukan daya dukung tanah. Karena material *subgrade* dari tanah, maka diperlukan perlindungan agar tahan terhadap perubahan cuaca dan air tanah. Perlindungan *subgrade* didapat dengan memadatkan tanah sehingga memperkecil rongga antar butiran (*porosity*)-nya dan meningkatkan sifat tidak mudah ditembus oleh air (*impermeability*)-nya, juga adanya lapisan *surface* dari bahan campuran bitumen-agregat yang kedap air dan konstruksi drainase yang baik di bahu jalan akan turut memperpanjang umur *subgrade*.

2.2 Tanah Lunak

Tanah lunak dapat didefinisikan sebagai tanah yang mempunyai sebagian besar ukuran butirnya sangat halus (lolos ayakan standar No. 200). Tanah lunak dapat dikelompokkan dalam butiran tanah lempung (*clay*) dan lanau (*silt*). Kedua jenis butiran tanah tersebut mempunyai kadar air yang tinggi dan kandungan pasir lepas yang terletak dekat atau dibawah permukaan air tanah.
Tanah lempung (*clay*) merupakan tanah yang berukuran mikroskopis sampai dengan sub mikroskopis yang berasal dari pelapukan unsur-unsur kimiawi penyusun batuan. Tanah lempung sangat keras dalam keadaan kering dan bersifat plastis pada kadar air sedang. Pada kadar air lebih tinggi lempung bersifat lengket (kohesif) dan sangat lunak. Tanah lempung memiliki butiran-butiran tanah yang halus dan menunjukan sifat plastis, dan kohesi. Kohesi menunjukkan kenyataan bahwa bagian-bagian itu melekat satu sama lainnya, sedangkan sifat plastis memungkinkan bentuk bahan itu dirubah tanpa perubahan isi atau tanpa kembali ke bentuk aslinya, dan tanpa terjadi retakan-retakan. Sifat yang khas dari tanah lempung adalah dalam keadaan kering dia akan bersifat keras, dan jika basah akan bersifat lunak plastis, dan kohesif, mengembang dan menyusut dengan cepat, sehingga mempunyai perubahan volume yang besar dan itu terjadi karena pengaruh air.
Tanah lanau (*silt*) merupakan peralihan antara lempung dan pasir halus. Tanah lanau memiliki sifat kurang plastis dan lebih mudah ditembus air dari pada lempung. Ukuran butiran tanah lanau adalah lebih kecil dari 0,075 mm (lolos ayakan standar No. 200).

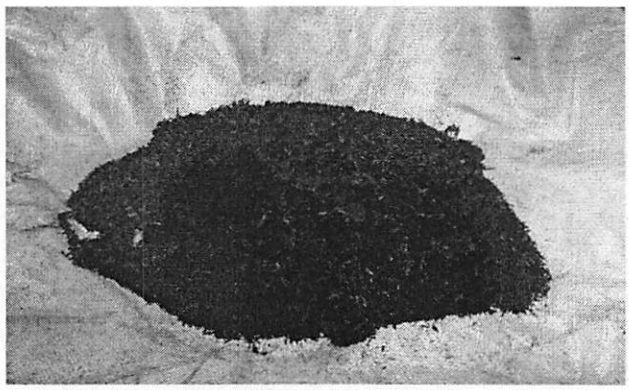
2.3 Stabilisasi Tanah

Stabilisasi didefinisikan sebagai suatu usaha untuk perbaikan sifat-sifat tanah eksisting agar memenuhi spesifikasi teknis yang diharapkan. Stabilisasi, apabila di desain dengan benar, dapat memberikan keuntungan secara ekonomis dan lingkungan dalam aplikasinya pada rehabilitasi dan pembangunan jalan. Stabilisasi tanah dapat terdiri dari salah satu tindakan sebagai berikut :

a. Meningkatkan kerapatan tanah.
b. Menambah material yang tidak aktif sehingga meningkatkan kohesi dan/atau tahanan gesek yang timbul.
c. Menambah bahan untuk menyebabkan perubahan-perubahan kimiawi dan/atau fisis pada tanah.
d. Menurunkan muka air tanah (drainase tanah).

e. Mengganti tanah yang buruk.

2.4 Abu Gergaji Kayu



Gambar 3. Abu gergaji kayu
Sumber: google.com

Abu gergaji kayu (wood saws ash) seperti terlihat pada gambar 3, merupakan limbah industri penggergajian kayu yang dapat dipakai sebagai material pozollan, yaitu material yang banyak mengandung silika dan alumina. Jumlah ketersediaan abu gergaji kayu per tahunnya dimulai dari tahun 2002 hingga tahun 2006 sangat besar seperti terlihat pada tabel 1. Namun tidak semua abu gergaji yang ada telah termanfaatkan, sehingga bila tidak ditangani dengan baik maka dapat menjadi masalah lingkungan yang serius.

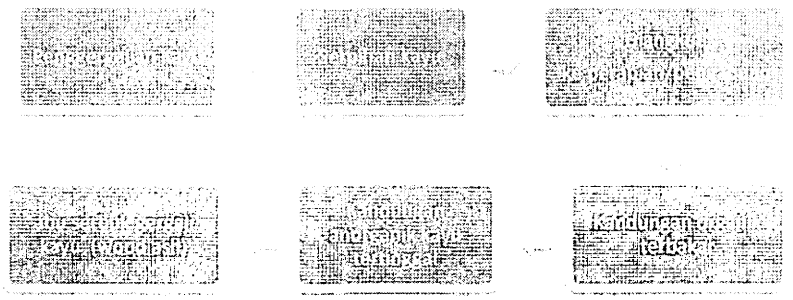
Umumnya sebagian limbah abu gergaji ini hanya digunakan sebagai bahan bakar tungku, atau dibakar begitu saja, sehingga dapat menimbulkan pencemaran lingkungan. Padahal abu gergaji kayu merupakan bio massa yang belum termanfaatkan secara optimal dan memiliki nilai kalor yang relatif besar. Dengan mengubah abu gergaji kayu menjadi stabilisator tanah, maka akan meningkatkan nilai ekonomis bahan tersebut, serta mengurangi pencemaran lingkungan. Untuk memanfaatkan abu gergaji kayu sebagai stabilisator tanah maka dilakukan proses pembakaran/pengabuan abu gergaji kayu.

Tabel 1: Jumlah ketersediaan abu gergaji kayu (2002-2006)

Tahun	Produksi kayu gergajian (m^3)	Serbuk gergajian (m^3)	Sebetan (m^3)	Potongan ujung (m^3)	Limbah lain (m^3)
2002	623.495	46.762	77.936	31.174	311.747
2003	762.604	57.195	95.325	38.130	381.302
2004	432.967	32.472	54.120	21.648	216.483
2005	1.471.614	11.0371	18.3951	73.580	735.807
2006	679.247	50.943	84.905	33.962	339.623

Sumber: Departemen Kehutanan (2006)

Dalam proses pengabuan, bahan-bahan organic yang terkandung dalam kayu akan terbakar sedangkan bahan-bahan anorganik akan tertinggal.Bahan anorganik yang tersisa ini ditimbang dan dinyatakan sebagai kadar abu. Besarnya kadar abu dalam suatu kayu umumnya lebih kecil daripada 1% dari berat kayu keringnya, jarang lebih besar. Secara garis besar proses penghasilan abu gergaji kayu sebagai berikut.



Gambar 4. Proses penghasilan abu gergaji kayu *(wood saws ash)*
Sumber : Departemen Kehutanan Indonesia

2.5 Komponen Penyusun Abu Gergaji Kayu

Menurut Tarun et al.(2003) komposisi kimia abu kayu adalah senyawa silikat (SiO2) sebesar (4%-60%), Al2O3 sebesar (5-20%) Fe2O3 sebesar (1%-9%), CaO sekitar (2%-37%), MgO sebesar (0,7%-5%), TiO2 sebesar (0%-1,5%), K2O sebesar (0,4%-14%), SO3 sebesar (0,15-15%), LOI (0,1%-33%). Besar kecil kandungan senyawa tersebut tergantung dari jenis kayu yang dibakar. Hal ini ditunjukkan dari hasil penelitian pada tabel 2 berikut.

Tabel 2: Komposisi kimia abu beberapa jenis kayu (Taipale dan Vesterinen, 2003)

Jenis Kayu	Presentase dalam abu %									
	CaO	K2O	P2O5	MgO	Fe2O3	SO3	SiO2	Na2O	Al2O3	TiO2
Birch	46	15	14.9	11.6	1.3	2.6	0.9	8.6	-	-
Cemara	42	15.2	1	16	5.5	4.5	4.6	3		
Spruce	36.7	29.6	1	10	8.5	4.2	1	3.2		
Willow	30.8	26.5	4.8	5.1	0.2	2.1	0.43	0.3	0.3	0.02
Abu Cemara	41.8	12.3	5.2	11.8	1.9	1.9	8.3	0.2	2	1

Sumber: Materrials Handbook Thirteeath Edition,2003

Penelitian yang dilakukan oleh Suyono et al. (1991) mengenai kandungan kimia abu kayu (*wood saws ash*) dibandingkan dengan abu sekam padi (*rice hush ash*) dan kapur (*lime*) adalah sebagai berikut.

Tabel 3: Komposisi kimia abu kayu, abu sekam padi dan kapur (Suyono, et al., 1991).

Komposisi Kimia	Abu Kayu	Abu Sekam Padi	Kapur
SiO_2	60,00%	96,31%	35,57%
CaO	23,5%	0,30%	60,51%
MgO	3,32%	0,28%	3,67%
Na_2O	0,16%	0,06%	0,04%
Fe_2O_3	0,19%	0,08%	0,01%
Al_3O_3	1,04%	0,96%	0,07%
K_2O	9,60%	0,96%	0,01%
P_2O_3	2,34%	0,88%,	0,01%

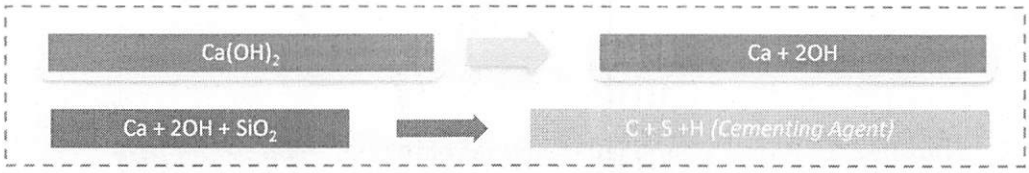
Sumber: Materials Handbook Thirteeath Edition,2003

2.6 Reaksi Kimiawi antara Abu Kayu dan Tanah

Sebagaimana dijelaskan pada tabel 3 bahwa kandungan senyawa kimia yang terkandung dalam abu gergaji kayu beraneka ragam. Dan senyawa kimia yang paling dominan ada 2 jenis antara lain :

1. SiO_2 60% , unsur kimia yang diperoleh adalah Silica.
2. CaO 23.5 % , unsur kimia yang diperoleh ialah Kalsium.

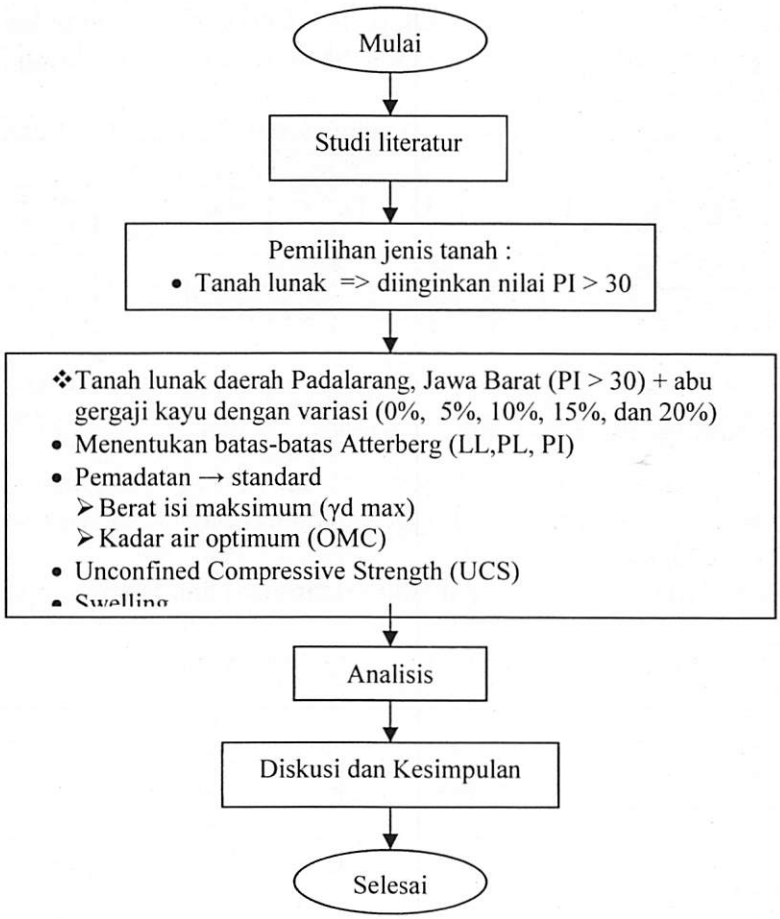
Jika kedua unsur kimia tersebut bercampur dan terhidrasi maka akan membentuk pozzolan yang disebut kalsium silika semen (*cementing agent*) dimana pozzolan ini berguna untuk menjadi bahanpengganti semen dalam tanah lunak nantinya. Berikut adalah reaksi kimia pencampuran silika dan kalsium.



Keterangan : C adalah CaO , S adalah SiO2 dan H adalah H2O

Gambar 5. Reaksi kimiawi abu gergaji kayu *(wood saws ash)*
Sumber : Wikipedia

3. METODOLOGI PENGUJIAN



Gambar 6. Metodologi pengujian

Dalam stabilisasi ini yang ingin diketahui adalah seberapa jauh peningkatan atau penurunan dari perubahan perilaku tanah akibat adanya penambahan bahan stabilisasi abu gergaji kayu. Secara garis besar, metodologi pengujian yang akan dilakukan dapat dilihat pada gambar 6 diatas.

4. HASIL PENGUJIAN DAN DISKUSI

4.1 Pengujian Konsistensi Tanah (*Atterberg Limits*)

Konsistensi dari suatu jenis tanah berubah seiring dengan perubahan kadar airnya, apabila kadar airnya meningkat maka tanah menjadi lebih lunak, dan sebaliknya akan mengeras bila kadar airnya berkurang. Dibawah ini adalah tabel hasil pengujian konsistensi tanah (*atterberg limits*) pada tanah asli. Setelah dibuat grafik dan di plotkan pada ketukan ke 25, didapat nilai batas cair (LL) sebesar 66,37%, batas plastis (PL) sebesar 33,30%. Maka indeks plastisitas(PI)nya adalah:

$$PI = LL(\%) - PL(\%)$$
$$PI = 66{,}37(\%) - 33{,}30(\%)$$
$$PI = 33{,}07\%$$

Tabel 4: Hasil pengujian konsistensi tanah asli (*Atterberg Limits*)

Pengujian	Batas cair (LL)				Batas Plastis (PL)	
No, Percobaan	1	2	3	4	1	2
Jumlah Ketukan	11	20	31	38		
Berat Cawan (gr)	15,56	15,63	15,69	15,7	15,73	15,35
Berat Cawan + Tnh Basah (gr)	32,04	31,34	30,18	32,6	17,09	17,18
Berat Cawan + Tnh Kering (gr)	25,2	25,02	24,5	26,09	16,76	16,71
Berat Air (gr)	6,84	6,32	5,68	6,51	0,33	0,47
Berat Tanah Kering (gr)	9,64	9,39	8,81	10,39	1,03	1,36
Kadar Air (%)	70,95	67,31	64,47	62,66	32,04	34,56
Kadar Air Rata - rata (%)	66,35				33,30	
Nilai Batas	**LL = 66,37**				**PL = 33,30**	

Sumber: Dokumentasi Pribadi

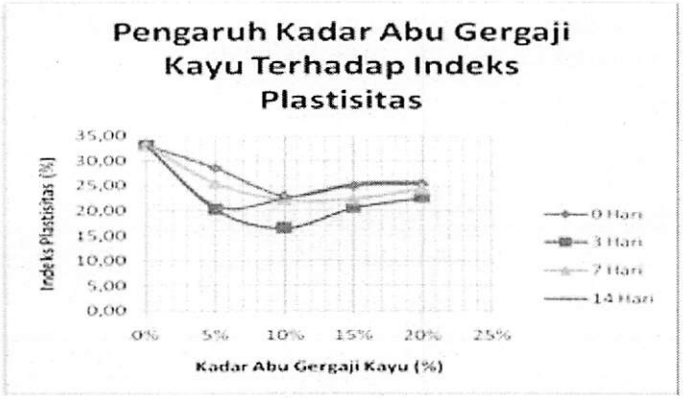
4.2 Hasil Pengujian Konsistensi Tanah (*Atterberg Limits*) dari Campuran Tanah dan Abu Gergaji Kayu

Pada pengujian ini diharapkan terjadi penurunan nilai indeks plastisitas (PI) akibat pencampuran menggunakan abu gergaji kayu selama waktu pemeraman yang dimulai dari 0, 3, 7 dan 14 hari. Dalam hal ini pemeraman yang dilakukan adalah dengan mencapurkan tanah dengan bahan campuran abu gergaji kayu, kemudian setelah dicampur, campuran dimasukan dalam plastik, dan ditempatkan pada ruang terkondisi.

Dalam pengujian ini, kadar abu gergaji kayu yang ditambahkan adalah 0%, 5%, 10%, 15%, dan 20%, dengan vaiasi pemeraman 0, 3, 7 dan 14 hari.

Tabel 5: Indeks plastisitas dari pengujian konsistensi tanah (*Atterberg Limits*) akibat penambahan abu gergaji kayu

Bahan Tambah/ Stabilisasi		Abu Gergaji Kayu				
		0%	5%	10%	15%	20%
Tanah + Hari Pemeraman	0	33,07	28,53	22,97	24,88	25,38
	3	33,07	20,21	16,55	20,42	22,54
	7	33,07	25,46	22,14	22,35	24,41
	14	33,07	21,06	22,41	25,34	25,85



Gambar 7. Grafik hubungan kadar abu gergaji kayu dengan indeks plastisitas
Sumber : Dokumentasi Pribadi

Besarnya nilai indeks plastisitas (PI) akibat penambahan 10% abu gergaji kayu 3 hari peram dapat dihitung sebesar :

$$PI = LL(\%) - PL(\%)$$
$$PI = 63{,}39(\%) - 46{,}83(\%)$$
$$PI = 16{,}55\%$$

4.3 Hasil Pengujian Kuat Tekan Bebas (*UCS*) Campuran Tanah dan Abu Gergaji Kayu

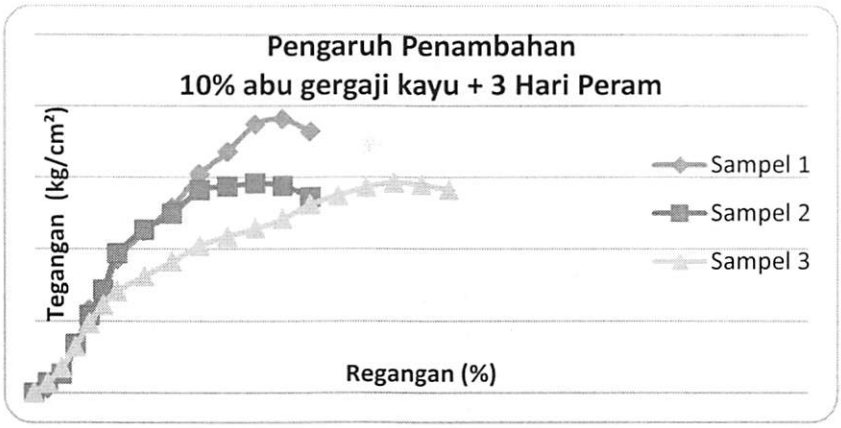
Pada pengujian kuat tekan bebas (*UCS*) campuran, yang menjadi variabel adalah kadar abu gergaji kayu dan jumlah hari pemeraman. Pembuatan sampel tanah pada pengujian ini berbeda dengan pengujian pemadatan, pada pengujian ini sampel tanah dicetak kemudian diperam sesuai dengan jumlah hari pemeramannya. Hasil pengujian kuat tekan bebas (*UCS*) dapat dilihat dalam tabel dibawah ini.

Tabel 6: Hasil pengujian kuat tekan bebas campuran tanah

Hari Pemeraman	Hasil UCS	Abu Gergaji Kayu (%)				
		0%	5%	10%	15%	20%
0	q_u (kg/cm²)	4,072	4,405	5,486	3,626	4,447
3			4,662	7,438	5,083	4,768
7			4,282	5,180	4,734	4,438

Sumber : Dokumentasi Pribadi

❖ Penambahan 10% Abu Gergaji Kayu



Gambar 8. Grafik hasil pengujian kuat tekan bebas (*UCS*) akibat penambahan 10% abu gergaji kayu

Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa pada penambahan 10% abu gergaji kayu, nilai kuat tekan bebas (*UCS)* terbesar terdapat pada pemeraman 3 hari, dengan besarnya tegangan yang diperoleh 7,438 kg/cm^2.

4.4 Pengujian *Swelling*

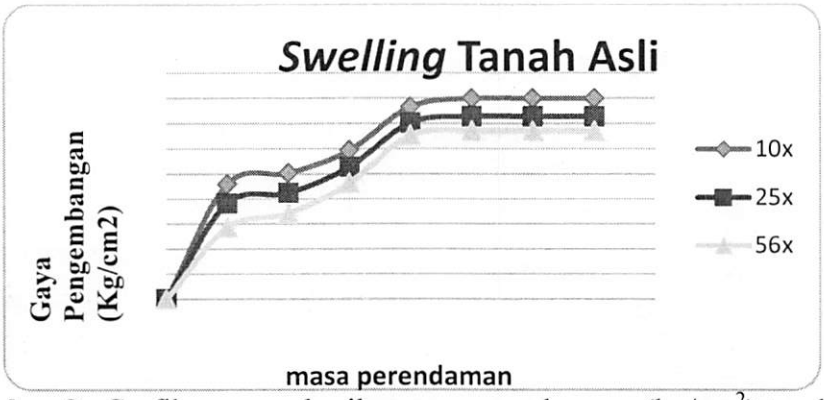
Uji *swelling* ini adalah suatu percobaan yang dilakukan terhadap suatu sampel tanah untuk mengukur besarnya pengembangan suatu tanah apabila berada pada kondisi ekstrim (jenuh air). Pada pengujian swelling ini kita melakukan 2 kali pembacaan diantaranya:

1. Menentukan Gaya Pengembangan (*Swelling*) dengan cara membaca dial dari proving ring yang di kalibrasi.
2. Menentukan Nilai *Swelling Potential* dalam bentuk persentase dengan cara membaca perubahan tinggi yang terjadi.

Tabel 7: Resume *Swelling Pressure* (kg/cm^2) tanah asli

A	*Swelling* Tanah Asli					
	Bacaan Proving Ring			Gaya Pengembangan (kg/cm^2)		
	10x	25x	56x	10x	25x	56x
182.65	0	0	0	0	0	0
	168	140	105	0,0091979	0,0076649	0,0057487
	184	155	125	0,0100739	0,0084862	0,0068437
	217	193	169.5	0,0118806	0,0105667	0,00928
	280	257	239	0,0153299	0,0140706	0,0130851
	292	266	242.5	0,0159869	0,0145634	0,0134136
	292	266	245	0,0159869	0,0145634	0,0134136
	292	266	245	0,0159869	0,0145634	0,0134136

ISBN 978-979-99327-8-5

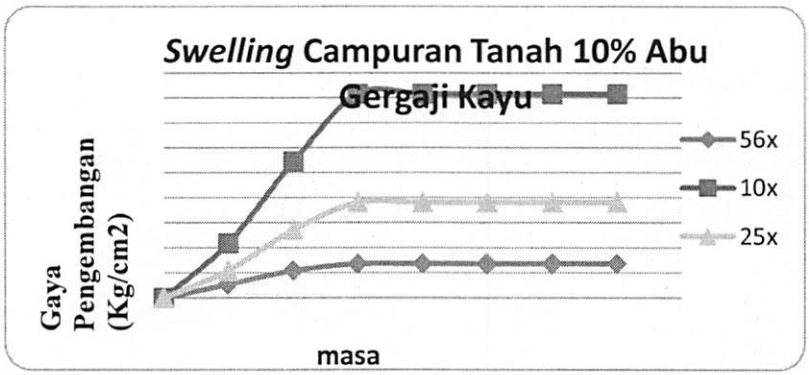


Gambar 9. Grafik resume hasil gaya pengembangan (kg/cm^2) tanah asli

Berdasarkan tabel dan grafik diatas dapat dilihat bahwa *swelling* tanah terbesar terjadi pada tanah asli dengan jumlah tumbukan 10x dengan nilai gaya pengembangan sebesar 0,0159 kg/cm^2.

Tabel 8. Resume *Swelling Pressure* (kg/cm^2) campuran 10% abu gergaji kayu

A	*Swelling Campuran Tanah + 10% Abu gergaji kayu*					
	Bacaan Proving Ring			Gaya Pengembangan (kg/cm^2)		
	10x	25x	56x	10x	25x	56x
183.85	0	0	0	0	0	0
	4	2	1	0,0002176	0,0001088	0,00005397
	10	5	2	0,0005439	0,000272	0,000108784
	15	7	2.5	0,0008159	0,0003807	0,00013598
	15	7	2.5	0,0008159	0,0003807	0,00013598
	15	7	2.5	0,0008159	0,0003807	0,00013598
	15	7	2.5	0,0008159	0,0003807	0,00013598
	15	7	2.5	0,0008159	0,0003807	0,00013598



Gambar 10. Grafik resume hasil gaya pengembangan (kg/cm^2) tanah campuran

Berdasarkan tabel dan grafik diatas dapat dilihat bahwa *swelling* tanah terbesar terjadi pada tanah asli dengan jumlah tumbukan 10x dengan nilai gaya pengembangan sebesar 0,00082kg/cm^2.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa stabilisasi pada tanah lunak yang akan digunakan sebagai lapisan tanah dasar (subgrade) suatu perkerasan, dengan menggunakan bahan abu gergaji kayu dapat meningkatkan kemampuan tanah sebagai bahan alternatif pengganti yang memenuhi persyaratan teknis.

Stabilisasi dengan menggunakan abu gergaji kayu dapat menurunkan indeks plastisitas tanah dari 33,07% menjadi 16.55%. Perubahan sifat fisik dan sifat mekanik tanah lainnya yang terjadi pada saat tanah lunak distabilisasi dengan bahan abu gergaji kayu adalah meningkatnya nilai kekuatan tanah (q_u) dari 4,072 kg/cm^2 menjadi 7,438 kg/cm^2, serta menurunkan nilai pengembangan (*swelling*) tanah dari 0,0159 kg/cm^2 menjadi 0,00082 kg/cm^2.

DAFTAR PUSTAKA

1. Ausroad (1998), Guide to Stabilisation in Roadworks, *Materials and Design,* Ausroad Incorporated Publishing, Canberra, Australia.
2. Bowles J.E. (1984), Physical and Geotechnical Properties of Soils, *Materials and Design*, McGraw-Hill Inc.,USA.
3. Holtz, R.D. and W.D. Kovacs (1981), *An Introduction to Geotechnical Engineering*, Prentice-Hall, Englewood Cliff, NJ, USA.
4. Ingles O.G. and Metcalf J.B (1972), *Soil Stabilization Principles and Practice*, Butterworths,Sydney, Australia.
5. Hought, E. (3003), *Material Handbook 13rd Ed.,* Elsevier Publising Company, Amsterdam.

" Halaman ini sengaja dikosongkan "

ISBN 978-979-99327-8-5

KARAKTERISTIK RESAPAN PADA LAPISAN TANAH DAN PASIR MATERIAL TIMBUNAN PADA LAHAN PEMBANGUNAN INFRASTRUKTUR

Halidin Arfan[1]

[1]*Dosen-Lektor Kepala, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, Kampus UNHAS Tamalanrea, Makassar, Telp 0411-587636, email: halidinarfan@gmail.com*

ABSTRAK

Dalam rangka percepatan pembangunan infrastruktur di Indonesia, dominan pematangan suatu lahan pembangunan infrastruktur dilakukan dengan penambahan pasir material timbunan di atas lapisan tanah dasar. Dengan tingginya tingkat curah hujan, akan memberikan dampak tersendiri terhadap tingkat kejenuhan lapisan tanah dan timbunan, sehingga memberikan konsekuensi pada fungsi resapan dari lapis permukaan lahan. Untuk itu, penelitian ini bertujuan mengkaji secara eksperimental karakteriktik resapan pada lapisan tanah dan pasir material timbunan pada suatu lahan pembangunan infrastruktur melalui model pengembangan kriteria hujan sintetik metode *rainfall simulator - constant head.* Material tanah resapan dan timbunan disampel dari lahan zona kritis genangan sesaat, representasi titik-titik banjir di Kota Makassar. Uji index dan fisis tanah material resapan lanau dan pasir dilakukan sesuai standarisasi uji laboratorium. Uji model experimental tingkat infiltrasi dan limpasan permukaan dilakukan dengan variasi intensitas hujan dan kompisi tanah pada kondisi ada timbunan. Hasil penelitian merepresentasikan bahwa variasi intensitas hujan dengan tingkat kepadatan tanah yang sama memiliki kurva laju infiltrasi yang hampir sama. Pada intensitas hujan kategori rintik (120 mm/jam) kurva infiltrasi kondisi laju stabil lebih lambat dibanding hujan sedang (275 mm/jam) dan hujan lebat (450 mm/jam). Sedangkan tingkat laju infiltrasi bertambah dengan peningkatan intensitas hujan sebagaimana kurva teoritis infiltrasi.

Kata kunci: Resapan, infrastruktur, pasir material timbunan, *rainfall simulator – constant head.*

1. PENDAHULUAN

Dalam rangka percepatan pembangunan infrastruktur di Indonesia, dominan pematangan suatu lahan pembangunan infrastruktur dilakukan dengan penambahan pasir material timbunan di atas lapisan tanah dasar. Dengan tingginya tingkat curah hujan, akan memberikan dampak tersendiri terhadap tingkat kejenuhan lapisan tanah dan timbunan, sehingga memberikan konsekuensi pada fungsi resapan dari lapis permukaan lahan.

Dalam usaha untuk menanggulangi masalah akibat penutupan lahan yang berdampak pada berkurangnya daerah resapan di perkotaan, inovasi teknologi telah banyak dikembangkan dewasa ini. Penggunaan lapisan *sand lens* cukup efektif sebagai lapisan untuk penyimpan air di dalam tanah (Harianto, 2008). Beberapa peneliti lain menggunakan lapisan *capillary barrier* dalam usaha untuk meningkatkan kapasitas air yang dapat diserap ke dalam tanah (Khire et al. 1999; Stormont, J.C, 1995).

Beberapa model hidrologi juga dikembangkan untuk menentukan keseimbangan air, misalnya model infiltrasi. Model infiltrasi untuk mengetahui tentang berapa besar limpasan permukaan atau genangan (*ponding*) yang dapat terinfiltrasi. Infiltrasi tersebut penting untuk menjaga ketersediaan air tanah pada daerah tersebut. Infiltrasi dipengaruhi volume hujan atau tampungan, keadaan permukaan tanahnya dan unsur-

unsur lainnya. Laju infiltrasi dan kemampuan maksimum infiltrasi akan berbeda-beda untuk karakteristik dan keadaan mula-mula tanah yang berbeda (Sosrodarsono, 1993). Resiko peningkatan limpasan dan perubahan kualitas air akibat perubahan fungsi lahan dapat dikurangi dengan langkah yang tepat. Langkah tersebut sering dikatakan sebagai *"low impact development (LID)"* atau dikatakan juga sebagai *"best managent practice (BMP)"* dalam pengelolaan limpasan permukaan. Beberapa contoh BMP adalah kolam resapan *(infiltration bed)*, saluran resapan *(infiltration trenches)*, tampungan resapan *(infiltration swales)*, kebun tadah hujan *(rain garden)* dan resapan buatan *(bioretention)* (Anonim, 2005). Selisih limpasan permukaan akibat beban tiap areal yang terbangun (berubah menjadi kedap) akan menjadi beban pada resapan buatan yang dikembangkan. Resapan buatan sebagai salah satu BMP mampu memberikan pengurangan volume limpasan, menjaga kualitas air, menurunkan debit puncak, meningkatkan isian air tanah dan mengurangi dampak aliran permukaan (Atchison at al, 2006).

Mencermati permasalahan mendasar tersebut, maka penelitian ini bertujuan mengkaji secara eksperimental karakteriktik resapan pada lapisan tanah dan pasir material timbunan pada suatu lahan pembangunan infrastruktur melalui model pengembangan kriteria hujan sintetik metode *rainfall simulator - constant head.*

2. BAHAN DAN METODE PENELITIAN

Material Tanah

Material tanah resapan dan timbunan disampel dari lahan zona kritis genangan sesaat, representasi titik-titik banjir di Kota Makassar.

Metode Pengujian

(a) Pengujian sifat-sifat fisik / Indeks Properties

Pengujian karakteristik dasar dari tanah yang digunakan seperti kadar air, berat jenis spesifik, distribusi ukuran tanah, dan batas-batas Atterberg (batas cair dan batas plastis) didasarkan pada standar tes ASTM D422-63, D854-58, D4318-00, and D427-61.

(b) Pengujian Pemadatan Tanah (Standart Proctor Test)

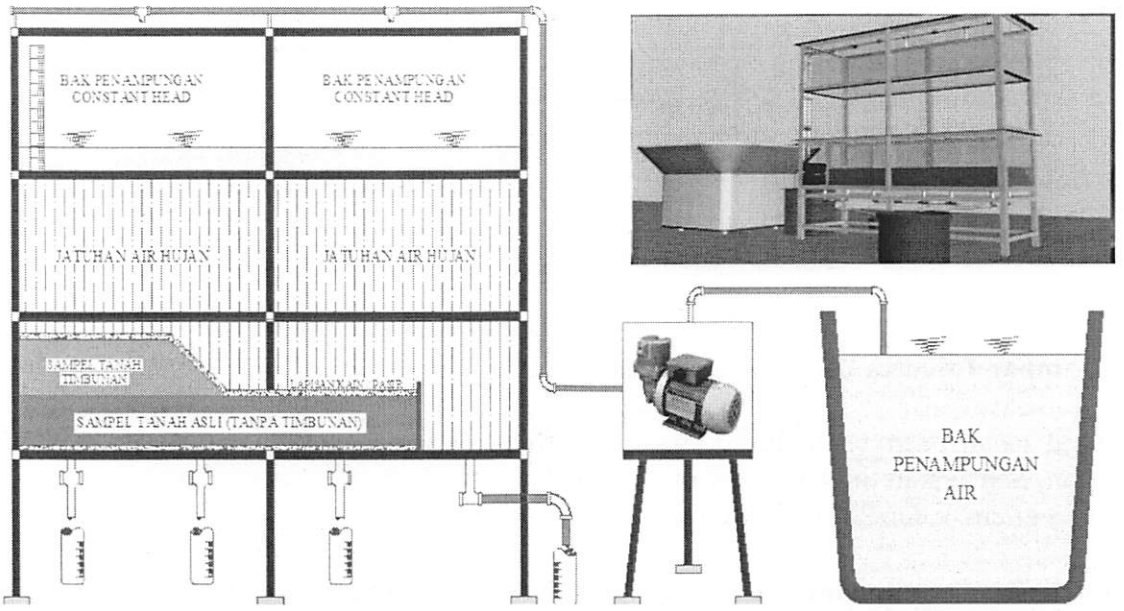
Metode pengujian yang dilakukan mengacu pada standar AASHTO T-99 dan ASTM D-698. Untuk mendapatkan garis kurva pemadatan yang normal, maka disediakan 5 sampel uji masing-masing seberat 2,0 kg. Data-data hasil pengujian di laboratorium ini selanjutnya di analisis untuk memperoleh grafik hubungan kadar air dengan berat isi tanah kering (γ_{dry}) pada masing-masing sampel uji, hasil yang diperoleh adalah kadar air maksimum dan berat isi tanah kering optimum pada masing-masing sampel uji.

(c) Pengujian Rainfall Simulator

Untuk penyiapan tanah, terlebih dahulu material tanah dikeringkan sampai mencapai kondisi kering udara lalu kemudian butiran-butirannya dihancurkan sampai lolos saringan no.4. Selanjutnya tanah dan air dicampur sesuai dengan takaran kadar air optimum secara merata untuk mendapatkan kadar air yang diinginkan.

Setelah persiapan pengujian telah selesai, intensitas curah hujan diberikan kepada model uji dengan variasi curah hujan antara lain 120, 275, 450 mm/jam. Selama proses pengujian (pemberian curah hujan), gambar perilaku rembesan diamati dengan

mengambil foto bidang rembes untuk beberapa waktu tertentu (5, 15, 30, 60 menit). Selanjutnya, perubahan kadar air juga diamati selama pengujian. Air limpasan *(runoff)* dikoleksi selama pengujian serta perkolasi diukur dengan menghitung volume air yang merembes ke dalam tanah dan ditampung pada wadah penyimpan air yang disediakan di bagian bawah dari kotak uji.



Gambar 15. Pengujian model laboratorium dengan lapisan Penimbunan

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sifat Indeks dan Klasifikasi Tanah

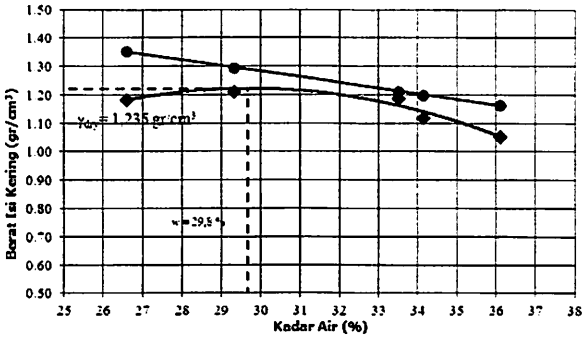
Hasil pengujian sifak indeks dan klasifikasi tanah disajikan pada Tabel 1. Berdasarkan sifat-sifat tanah pada Tabel 1 tersebut, maka berdasarkan karakteristik tanah menurut USCS dan AASHTO, karakteristik material tanah tersebut dapat diklasifikasikan sebagai tanah Pasir berlanau (OH) dan sifat plastisitas rendah.

Tabel 1: Sifak Indeks dan Klasifikasi Tanah

Jenis pemeriksaan	Hasil pemeriksaan
1. Kadar air asli	29,33 %
2. Berat jenis spesifik	2,5036
3. Gradasi butiran	Pasir = 48,38 % Lanau = 35,94 % Lempung = 5,68 %
4. Batas-batas atterberg	Batas Cair (LL) = 51,32 % Batas Plastis (PL) = 44,77 %
5. Klasifikasi Tanah	Batas Susut (SL) = 35,62 % Indeks Plastis (PI) = 6,55 % USCS → OH AASHTO → A-2-5 termasuk dalam klasifikasi tanah pasir berlanau atau berlempung dengan tingkat plastisitas rendah.

Karakteristik Tingkat Kepadatan

Pengujian kompaksi *Proctor* standar dilakukan untuk mengetahui karakteristik pemadatan dari sampel tanah tanpa campuran pasir/*Sand Content* (SC = 0%), sehingga dapat diketahui berat tanah gembur untuk kepadatan tanah yang diinginkan. Hasil pengujian tingkat kepadatan tanah disajikan pada Gambar 1.

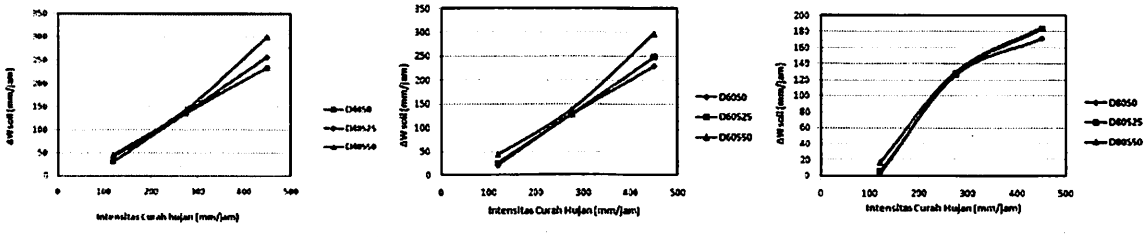


Gambar 1: Kurva kompaksi tanah asli tanpa campuran pasir/Sand Content (SC = 0%)

Berat tanah pasir yang dicampurkan diperoleh dari (0%, 25%, dan 50%) dari berat tanah. Sedangkan tingkat kepadatan digunakan 3 variasi yakni 40% (0,49 gr/cm^3), 60% (0,73 gr/cm^3), dan 80% (0,98 gr/cm^3).

Kapasitas Penyimpanan Air dalam Tanah (*Water Balance Analysis*)

Hasil percobaan variasi kepadatan dan intensitas curah hujan terhadap perubahan kapasitas penyimpanan air dalam tanah (Δw_{soil}) disajikan pada Gambar 2.



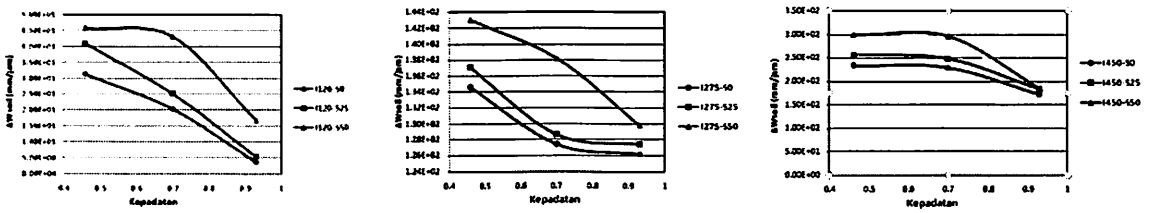
a. Kepadatan 40% b. Kepadatan 60% c. Kepadatan 80%

Gambar 2: Hubungan Δw_{soil} dan Intensitas Curah Hujan

Gambar 2a menunjukkan nilai Δw_{soil} minimum terdapat pada intensitas 120 mm/jam dengan gradasi tanah D40-S0 sebesar 31,20 mm/jam, dan nilai Δw_{soil} maksimum terdapat pada intensitas 450 mm/jam dengan gradasi tanah D40-S50 sebesar 298,80 mm/jam. Gambar 2b menunjukkan nilai Δw_{soil} minimum terdapat pada intensitas 120 mm/jam dengan gradasi tanah D60-S0 sebesar 20,40 mm/jam, dan nilai Δw_{soil} maksimum terdapat pada intensitas 450 mm/jam dengan gradasi tanah D60-S50 sebesar 296,64 mm/jam. Gambar 2c menunjukkan nilai Δw_{soil} minimum terdapat pada intensitas 120 mm/jam dengan gradasi tanah D80-S0 sebesar 3,60 mm/ jam, dan nilai Δw_{soil} maksimum terdapat pada intensitas 450 mm/jam dengan gradasi tanah D80-S50 sebesar 184,80 mm/jam. Maka berdasarkan nilai-nilai yang diperoleh tersebut dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi intensitas curah hujan, maka semakin tinggi pula nilai Δw_{soil} yang dihasilkan.

ISBN 978-979-99327-8-5

Sebaliknya, hubungan kepadatan terhadap Δw_{soil} untuk berbagai variasi intensitas curah hujan diperlihatkan pada Gambar 3. Gambar 3a menunjukkan nilai Δw_{soil} minimum terdapat pada kepadatan dengan gradasi tanah D80-S0 dengan intensitas curah hujan 120 mm/jam sebesar 3,60 mm/ jam, dan nilai Δw_{soil} maksimum terdapat pada kepadatan dengan gradasi tanah D40-S50 sebesar 45,84 mm/jam. Gambar 3b menunjukkan nilai Δw_{soil} minimum terdapat pada kepadatan dengan gradasi tanah D80-S0 dengan intensitas curah hujan 275 mm/jam sebesar 126,20 mm/ jam, dan nilai Δw_{soil} maksimum terdapat pada kepadatan dengan gradasi tanah D40-S50 sebesar 143 mm/jam. Gambar 3c menunjukkan nilai Δw_{soil} minimum terdapat pada kepadatan dengan gradasi tanah D80-S0 dengan intensitas curah hujan 450 mm/jam sebesar 171,12 mm/ jam, dan nilai Δw_{soil} maksimum terdapat pada kepadatan dengan gradasi tanah D40-S50 sebesar 298,80 mm/jam.

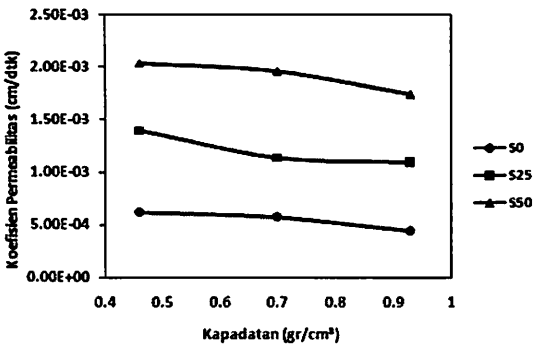


a. Intensitas Hujan 120 mm/jam b. Intensitas Hujan 275 mm/jam c. Intensitas Hujan 450 mm/jam

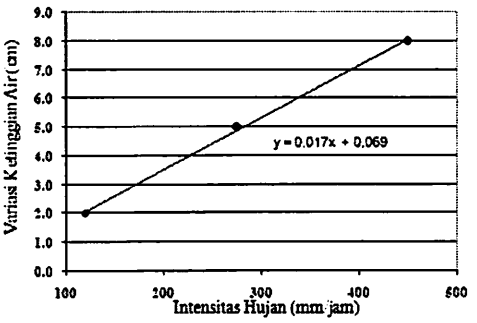
Gambar 3 Tegangan-Regangan Sedimen Pengerukan Stabilisasi Semen

Tingkat Permeabilitas Lapisan Tanah

Hasil pengujian permeabilitas pada berbagai variasi kepadatan disajikan pada Gambar 4.



Gambar 4 Hasil Uji Permeabilitas



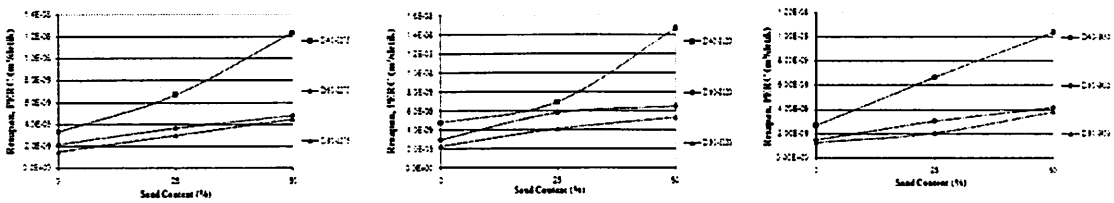
Gambar 5. Debit Vs. Intensitas Hujan

Gambar 4 menunjukkan nilai koefisien permeabilitas meningkat pada variasi kadar pasir 50% dan kepadatan 40% yaitu sebesar $2{,}04 \times 10^{-3}$ cm/dtk, sedangkan nilai koefisien permeabilitas paling rendah pada variasi kadar pasir 0% dan kepadatan 80% yaitu sebesar $4{,}43 \times 10^{-4}$ cm/dtk. Hasil ini mengindikasikan hubungan antara koefisien permeabilitas dengan kepadatan berbanding terbalik. Semakin tinggi nilai kepadatan maka semakin kecil nilai koefisien permeabilitas. Sedangkan hubungan antara koefisien permeabilitas dengan gradasi tanah berbanding lurus, yaitu semakin tinggi kadar pasir, maka semakin tinggi nilai kofisien permeabilitasnya

Gambar 5 menunjukkan hubungan antara debit (Q) terhadap intensitas (I) dimana terlihat berbanding lurus yaitu semakin tinggi debit maka intensitas juga tinggi. Dari grafik diperoleh 3 intensitas yaitu : 120 mm/jam , 275 mm/jam ,dan 450 mm/jam.

Pola Resapan Variasi Intensitas Hujan dan Komposisi Material

Dari hasil pengujian raifall simulator, diperoleh pola resapan variasi intensitas hujan dan komposisi material sebagaimana disajikan pada Gambar 6.



a. Intensitas hujan 120 mm/jam b. Intensitas hujan 275 mm/jam c. Intensitas hujan 450 mm/jam

Gambar 6 Hubungan resapan dan jenis tanah (*sandcontent)* tiap kepadatan

Gambar 6 memperlihatkan kecenderungan peningkatan nilai resapan seiring dengan peningkatan kadar pasir didalam lapisan tanah.

4. KESIMPULAN

Karakteristik resapan pada lapisan tanah dan pasir tipe timbunan. dari berbagai intensitas hujan telah dielaborasi pada studi ini. Intensitas curah hujan 120 mm/jam menunjukkan peningkatan resapan pada variasi kepadatan 40% (0,47 gr/cm^3) dan kadar pasir *(sand content)* 50% yaitu sebesar 1,47 x 10^{-8} m^3/detik, sedangkan resapan paling rendah pada variasi kepadatan 80% (0,98 gr/cm^3) dan kadar pasir *(sand content)* 0% yaitu sebesar 2,33 x 10^{-9} m^3/detik. Untuk intensitas curah hujan 275 mm/jam, resapan meningkat pada variasi kepadatan 40% (0,47 gr/cm^3) dan kadar pasir 50% yaitu sebesar 1,23 x 10^{-8} m^3/detik, sedangkan resapan paling rendah pada variasi kepadatan *(density)* 80% (0,98 gr/cm^3) dan kadar pasir *(sand content)* 0% yaitu sebesar 1,50 x 10^{-9} m^3/detik. Pada intensitas curah hujan 450 mm/jam, resapan meningkat pada variasi kepadatan 40% (0,47 gr/cm^3) dan kadar pasir 50% yaitu sebesar 1,03 x 10^{8} m^3/detik, sedangkan resapan paling rendah pada variasi kepadatan 80% (0,98 gr/cm^3) dan kadar pasir 0% yaitu sebesar 1,23 x 10^{-9} m^3/detik..

Hasil yang diperoleh dalam penelitian ini dapat menjadi bahan rujukan dalam hal uji model lebih lanjut untuk berbagai variasi kepadatan, kadar pasir, dan tebal lapisan.

5. DAFTAR PUSTAKA

1. Anonim, (2005) *Infiltration Trench,* **Fairfax County, LID BMP Fact Sheet. Northern Virginia.**
2. Harianto, T., (2008) *Study on innovative multi-layer design of landfill cover barrier layer.* **Doctoral Dissertation, Saga University, Japan.**
3. Khire, M.V., Benson, C.H., dan Bosscher, P.J., (1999) *Field data from a capillary barrier and model predictions with UNSAT-H.* **Journal of Geotechnical and Geoenviromental Engineering, ASCE.**

4. Stormont, J.C., (1995) *The effect of constant anisotropy on capillary barrier performance*, **Water Resources Research, vol. 31, 783-786.**
5. Sosrodarsono, Suyono., dan Takeda, K., (1993) Hidrologi untuk Pengairan, Pradnya Paramita. **Jakarta.**
6. Atchison, Potter, dan Severson, (2006) *Design Guidelines for Stromwater Bioretention Fasilities*, **Civil and Environmental Engineering University of Wiconsin, Madison.**

" Halaman ini sengaja dikosongkan "

STUDI STABILISASI MATERIAL SEDIMEN PENGERUKAN SUNGAI JENEBERANG DENGAN SEMEN SEBAGAI MATERIAL SUBGRADE INFRASTRUKTUR JALAN

M. Isran Ramli[1], S. Hijraini Nur[2], Hamzah Yusuf[3], Lawalenna Samang[4]

[1]*Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, Kampus UNHAS Tamalanrea, Makassar, Telp 0411-587636, email: muhisran@yahoo.com*
[2]*Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, Kampus UNHAS Tamalanrea, Makassar, Telp 0411-587636, email: aini_2111@yahoo.com*
[3]*Mahasiswa S-3 Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, Kampus UNHAS Tamalanrea, Makassar, Telp 0411-587636, email: hamzah_yusuf31@yahoo.com*
[4]*Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, Kampus UNHAS Tamalanrea, Makassar, Telp 0411-587636, email: samang_l@yahoo.com*

ABSTRAK

Tingginya sedimentasi yang terjadi di Sungai Jeneberang di Sulawesi Selatanmemerlukan upaya pengerukan secara kontinyu agar tidak melumpuhkan fungsi Bendungan Bili-Bili. Material hasil pengerukan sediman ini dapat dimanfaatkan sebagai material konstruksi baik untuk konstruksi jalan maupun bangunan. Dalam konteks tersebut, penelitian ini berfokus pada kajian potensi pemanfaatannya sebagai material konstruksi tanah dasar (*subgrade*) infrastruktur perkerasan jalan. Studi ini melakukan pengkajian kelayakan teknis material melalui pengujian laboratorium terhadap karakteristik dan kualitas material dalam memenuhi spesifikasi teknis sebagai material subgrade jalan. Hasil pengujian karakteristik material pengerukan dan pengujian CBR laboratorium memperlihatkan bahwa material pengerukan sedimen Sungai Jeneberang memerlukan upaya stabilisasi untuk dapat digunakan sebagai materialsubgrade perkerasan jalan. Lebih jauh, stabilisasi material sedimen hasil pengerukan tersebut dengan menggunakan semen Portland memperlihatkan kelayakan teknis penggunaannya sebagai material subgrade jalan, dimana kadar penambahan semen dapat bervariasi dari 5% hingga 10%. Hasil ini memberikan acuan dasar untuk penelitian lanjutan dalam rangka memodelkan deformasi kekuatan sisa lapisan tanah dasar infrastruktur jalan yang menggunakan materian sedimen pengerukan stabilisasi semen.

Kata kunci: Material Sedimen Pengerukan, Sungai Jeneberang, Subgrade, Infrastruktur Jalan.

1. PENDAHULUAN

Dalam kurun waktu 10 tahun terakhir ini, permasalahan sedimentasi Sungai Jeneberang, Sulawesi Selatan, Indonesia, diperburuk dengan terjadinya beberapa kali runtuhan Gunung Bawakaraeng, satu gunung tertinggi di Sulawesi Selatan yang terletak di bagian hulu Sungai Jeneberang. Longsoran terakhir Juli 2005, telah meluncurkan ± 300 juta m^3 tanah dan pasir melalui Sungai Jeneberang atas – Waduk Bili-Bili - Sungai Jeneberang bawah (Pemkot Makassar, 2011).

Material hasil pengerukan sediman Dam Bili-Bili ini selanjutnya dapat dimanfaatkan sebagai material konstruksi baik untuk konstruksi jalan maupun bangunan. Namun demikian, terlebih dahulu diperlukan kajian-kajian yang dapat menjadi bahan pertimbangan penggunaannya sebagai material konstruksi subgrade jalan khususnya untuk konstruksi perkerasan jalan lentur. Hal ini terkait dengan daya dukung struktur tanah dasar dari material sedimen yang diduga sangat lemah, serta menghindari

terjadinya *settlement* akibat adanya konsolidasi tanah. Sebagaimana diketahui, keawetan dan kekuatan konstruksi jalan sangat dipengaruhi oleh sifat-sifat daya dukung tanah. Masalah yang sering terjadi menyangkut tanah tersebut yaitu perubahan bentuk tetap dari jenis tanah tertentu akibat dari beban lalu lintas. Salah satu upaya efektif untuk memperbaiki kekuatan tanah adalah stabilisasi tanah.

Beberapa penelitian terdahulu tentang stabilisasi tanah dengan menggunakan berbagai bahan stabilisasi telah dilakukan. Diantaranya adalah Moayedi, dkk. (2011) dengan natrium silikat, Beeghly dan Schrock (2010) dengan penambahan pozzolan dan sulfo-pozzolan. Islam dan Hashim (2008), serta Kalantari dan Huat (2009) telah menstabilisasi tanah gambut dengan bahan silika, semen portland, dan abu batu. Naji, dkk. (2010) telah menggunakan abu batu dan soil cement untuk meningkatkan modulus resilient dan kuat tekan bebas dari suatu material beku dan material cair. Di sisi lain, Joel dan Agbede (2010), Jauberthie dkk. (2010), Cetin, dkk (2010), dan Solanki, dkk. (2009) telah meneliti penggunaan kapur dan semen sebagai bahan stabilisasi tanah yang memberikan nilai CBR yang meningkat. Kombinasi bahan stabilisasi semen dengan limbah lumpur juga memperlihatkan kuat tekan bebas meningkat 3-7 kali setelah stabilisasi (Chen dan Lin, 2009; Anagnostopoulos and Chatziangelou, 2008).

Dalam konteks stabilisasi tanah pengerukan, Penelitian stabilisasi material pengerukan yang dilakukan oleh Grubb, dkk. (2010) menunjukkan bahwa dimungkinkan untuk melakukan stabilisasi tanah pengerukan dengan skala besar, dengan biaya yang efektif, ramah lingkungan dan kesehatan. Lebih jauh, Grubb, dkk. (2010) menyatakan bahwa penelitian stabilisasi material pengerukan tersebut menunjukkan bahwa, kuat tekan, pemadatan, dan karakteristik menjadikan stabilisasi ini lebih butuhkan untuk aplikasi perbaikan tanah dasar.

Studi-studi terdahulu tersebut, memberikan dasar dan dukungan teoritis terhadap hipotesa dan rencana penelitian ini dalam melakukan stabilisasi tanah hasil pengerukan sedimen Sungai Jeneberang untuk dimanfaatkan sebagai bahan tanah dasar (subgrade) jalan. Untuk itu, penelitian ini bertujuan menganalisis karakteristik dasar material sedimen pengerukan Sungai Jeneberang untuk berpotensi digunakan sebagai bahan subgrade konstruksi jalan lentur. Lebih jauh, penelitian ini menganalisis potensi kekuatan (kuat tekan) tanah dasar perkerasan jalan lentur dengan menggunakan material sedimen pengerukan yang distabilisasi dengan Portland Cement (PC) untuk berbagai variasi kadar semen dan waktu pemeraman melaui uji kuat tekan dan uji CBR.

2. BAHAN DAN METODE PENELITIAN

Metode Penelitian

Metode penelitian secara ringkas terdiri dari tahapan studi literatur, kegiatan experimental di laboratorium dan kegiatan analisis data. Tahapan pertama untuk mendapatkan gambaran mengenai berbagai upaya dan studi terdahulu tentang stabilisasi tanah yang telah banyak dilakukan dengan menggunakan berbagai material tanah dan bahan stabilisasi. Tahapan selanjutnya adalah melakukan studi experimental di laboratorium. Pada tahapan ini, dilakukan metode stabilisasi tanah terhadap tanah hasil pengerukan tersebut. Dengan mencermati hasil-hasil pengujian laboratorium terhadap karakteristik tanah sedimen tersebut, maka dilakukan stabilisasi dengan menggunakan

semen, dimana kadar semen divariasikan dan di sisi lain juga dilakukan variasi durasi pemeraman tanah yang distabilisasi. Lebih jauh, untuk penggunaan tanah stabilisasi ini sebagai bahan tanah dasar perkerasan jalan lentur, dilakukan pengujian lanjutan berupa uji CBR laboratorium dan CBR lapangan serta pengujian kuat tekan campuran tanah stabilisasi. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kinerja lapisan tanah dasar dari material tanah sedimen hasil pengerukan yang distabilisasi dengan penambahan semen portland untuk variasi 5%, 10%, dan 20%. Tahapan selanjutnya adalah menganalisis hasil-hasil pengujian di laboratorium tersebut untuk mengetahu lebih jauh dampak dan efek tanah sedimen pengerukan yang distabilisasi dengan semen.

Material Sedimen

Material tanah sedimen pengerukan yang digunakan pada penelitian ini diambil pada lokasi Sungai Jeneberang tepatnya dari material sedimen yang tertampung di sekitar Intake Bendungan Bili-bili yang berlokasi di Kabupaten Gowa Provinsi Sulawesi Selatan, tepatnya pada radius 100 – 200 m dari pintu intake Bendungan dengan kedalaman +30 m dibawah permukaan air.

Metode Pengujian

(a) Pengujian sifat-sifat fisik / Indeks Properties

Prosedur pengujian karakteristik dasar tanah sedimen pengerukan mengacu pada standar prosedur seperti AASHTO, ASTM, dan SNI. Adapun jenis penujian tersebut adalah seperti berikut; data distribusi ukuran butir tanah, data analisis hidrometer, data batas-batas atterberg (batas cair, batas plastis, batas susut, dan indeks plastisitas), data berat jenis (*Gs*), data kadar air (*w*), data berat isi tanah (γ), porositas (*n*), kohesi (*c*), derajat kejenuhan (*Sr*), sudut geser dalam ($\varnothing$), kuat tekan bebas (*qu*), pemadatan standar (berat isi kering maksimum dan kadar air optimum), dan nilai daya dukung (CBR), baik CBR rendaman maupun tanpa rendaman.

(b) Pengujian dengan stabilisasi semen

Metode pengujian sedimen pengerukan dengan stabilisasi semen menggunakan standar dari AASHTO T 144-74, sedangkan untuk ASTM 558-82 (1990) dan SNI 03 3438-1990 pembuatan dengan semen portland untuk jalan dan SNI 03 3440-1994 untuk pelaksanaan dengan semen portland untuk jalan.

(c) Pengujian Pemadatan Tanah (Standart Proctor Test)

Uji pemadatan standar dilakukan untuk tanah asli (0% semen) dan tanah stabilisasi semen portland (penambahan variasi campuran semen adalah 5%, 10%, dan 20%). Metode pengujian yang dilakukan mengacu pada standar AASHTO T-99 dan ASTM D-698. Untuk mendapatkan garis kurva pemadatan yang normal, maka disediakan 5 sampel uji masing-masing seberat 2,0 kg, baik untuk tanah asli (0%) maupun untuk tanah stabilisasi (5%, 10%, dan 20%). Sampel uji tersebut, kemudian ditambahkan air yang sesuai sedemikan rupa yaitu dengan takaran air masing-masing 22% (440 ml), 24% (480 ml), 26% (520 ml), 28% (560 ml), dan 30% (600 ml), lalu sampel uji ini didiamkan/diperam dalam plastik tertutup ± 24 jam, dengan maksud agar tanah tersebut bisa tercampur air secara merata. Pengujian pemadatan dilakukan setelah pemeraman 24 jam. Masing-masing sampel di uji dengan penumbukan sebanyak 25 kali tumbukan dalam tiap lapis (3 lapis). Data-data hasil pengujian di laboratorium ini selanjutnya di analisis untuk memperoleh grafik hubungan kadar air dengan berat isi tanah kering

(γ_{dry}) pada masing-masing sampel uji, hasil yang diperoleh adalah kadar air maksimum dan berat isi tanah kering optimum pada masing-masing sampel uji.

(d) Pengujian kuat tekan bebas
Sebelum dilakukan uji kuat tekan bebas terlebih dahulu disiapkan bahan cetakan. Cetakan dibuat dari pipa pvc dengan ukuran cetakan adalah diameter 5,5 cm dan tinggi 10 cm. sampel/spesimen yang digunakan adalah tanah asli dan tanah-semen (variasi 5%,10%, dan 20%). Jumlah sampel yang digunakan dalam pengujian ini ada 32 sampel, masing-masing sampel (0%, 5%, 10%, dan 20%) , kemudian sampel tersebut diperam selama 3 hari, 7 hari, 14 hari, dan 28 hari. Selanjutnya dilakukan pengujian kuat tekan di laboratorium. Hasil dari pengujian laboratorium ini selanjutnya di analisis untuk memperoleh grafik hubungan tegangan-regangan untuk masing-masing sampel pada setiap waktu pemeraman.

(e) Pengujian California Bearing Ratio (CBR)
Pengujian CBR yang dilakukan terdiri atas pengujian CBR laboratorium dan CBR lapangan, pada pengujian CBR laboratorium terbagi lagi menjadi CBR tanpa rendaman dan CBR rendaman. Pada pengujian CBR laboratorium menggunakan peralatan CBR yang ada dilaboratorium, sedangkan pada pengujian CBR lapangan menggunakan peralatan CBR sesuai standar yang digunakan di lapangan pada umumnya. Pengujian CBR laboratorium dilakukan dengan menggunakan peralatan CBR di Laboratorium Mekanika Tanah. Sampel yang digunakan adalah sampel tanah asli dan tanah stabilisasi semen (5%, 10%, dan 20%), berat sampel masing-masing kurang lebih 5 Kg dengan penambahan air sebanyak kadar air optimum (uji pemadatan). Ke empat sampel tersebut (tanah asli dan penambahan variasi semen) dipadatkan dalam mold standar sebagai cetakan. Selanjutnya dilakukan pengujian (menggunakan alat CBR laboratorium) pada setiap sampel+mold yang telah dipadatkan.

(f) Pengujian Model Fisik Prototipe Lapiasan Tanah Satabilisasi Semen
Pengujian ini dilakukan dengan pembuatan wadah berupa cetakan dari pelat baja ukuran 100x50x40 cm sebagai tempat pemadatan tanah stabilisasi semen (5%, 10%, dan 20%) yang disebut sebagai model fisik subgrade jalan stabilisasi semen. model fisik subgrade jalan tersebut digunakan untuk pengujian CBR Lapangan dan pengujian pembebanan (*plate bearing test*). Metode pengujian tersebut antara lain: material tanah sedimen pengerukan stabilisasi semen dalam cetakan tersebut dipadatkan dengan pemadatan standar untuk masing-masing variasi penambahan persentase semen. Setelah berumur 28 hari, dilakukan pengujian CBR lapangan, pengujian ini dilakukan dengan menggunakan peralatan standar yang sama dengan yang digunakan dilapangan pada umumnya.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Mineral Material Sedimen Pengerukan
Hasil pengujian karakteristik mineral material sedimen pengerukan menghasilkan bahwa material sedimen pengerukan mengandung berbagai jenis mineral seperti SiO2, AL2O3, H2O, Fe, CaO, Na2O, K2O, dan MgO. Tabel 5 lebih jauh memperlihatkan bahwa unsur mineral Silikon-Oksida (SiO2) merupakan jenis mineral yang mempunyai komposisi terbesar yaitu sekitar 75,42%-77,31%, di susul Aluminium Oksida (Al2O3)

sekitar 6,76%-6,81%, kemudian H2O (6,20%- 7,21%), serta Fe total (4,12% - 4,21%). Adapun unsur-unsur mineral lainnya relatif sangat kecil. Mineral lempung pada tanah sedimen ini merepresentasikan mineral lempung *illite* dengan tipe tanah lanau-lempung.

Karakteristik Fisik Material Sedimen Pengerukan

Hasil-hasil pengujian laboratorium terhadap berbagai indeks karakteristik fisik material sedimen pengerukan disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1: Indeks properties material sedimen

Indeks Properties	Satuan	Hasil Uji
Berat jenis (Gs)	-	2,435 - 2,520
Kadar air (w)	%	71,476 - 88,679
Berat isi basah (γwet)	gr/cm^3	1,443 - 1,529
Berat isi kering (γdry)	gr/cm^3	0,771 - 0,890
Batas cair (LL)	%	47,19 - 48,40
Batas plastis (PL)	%	30,13 - 30,62
Indeks plastis (PI)	%	17,06 - 17,78
Batas susut (SL)	%	15,089 - 15,972
Angka pori (e)	%	1,828 – 2,248
Porositas (n)	%	64,640 – 69,210
Derajat kejenuhan (Sr)	%	94,867 – 99,026
Sudut geser (Ø)	degree	18°23' - 20°56'
Kohesi (c)	kg/cm^2	0,061 - 0,077
Koefisien permeabilitas (k)	cm/det	$4,6203.10^{-6}$ - $2,1475.10^{-6}$
Distribusi ukuran butir		
a) Pasir	%	2,56 – 3,69
b) Lanau	%	95,93 – 96,47
c) Lempung	%	0,97 – 1,31

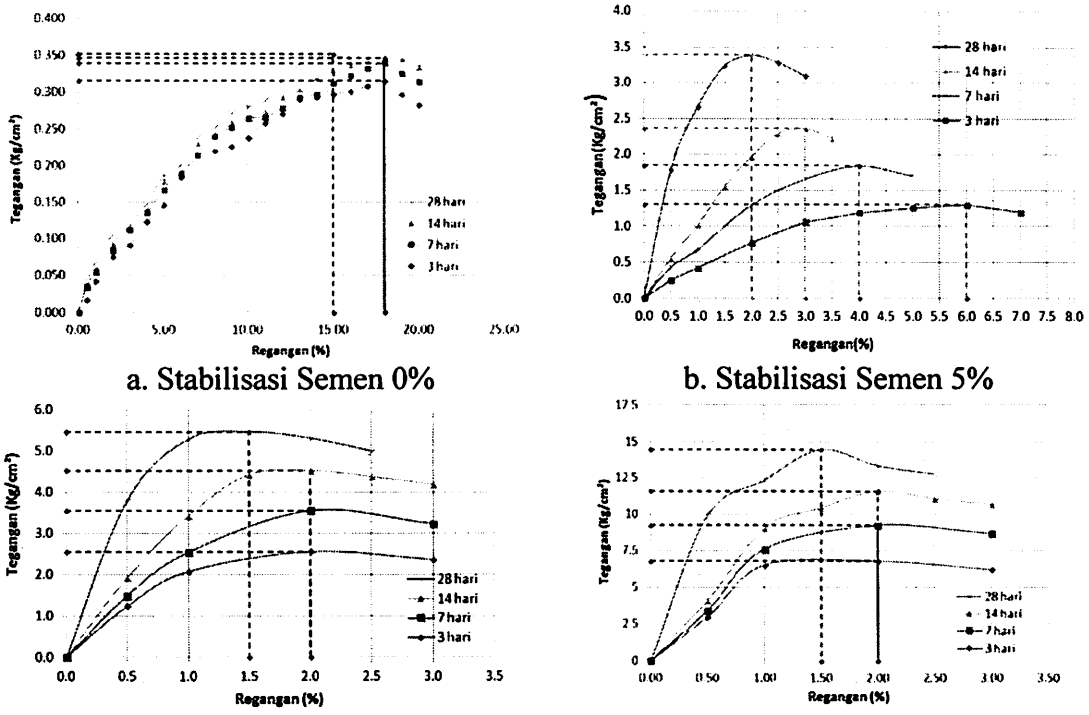
Tabel 1 memperlihatkan bahwa nilai berat jenis material tersebut sekitar 2,435 sampai 2,520. Berdasarkan nilai berat jenis tersebut, jenis tanah sedimen ini dapat diinterpretasikan sebagai tipe tanah lanau-lempung yang merupakan kategori tipe tanah inorganic. Tanah jenis ini merupakan jenis tanah berbutir halus yang mempunyai sifat kembang susut yang besar. Dengan karakteristik ini, bila sedimen pengerukan ini digunakan secara langsung sebagai lapisan tanah dasar (subgrade) jalan, dapat menimbulkan kerusakan pada lapisan perkerasan jalan. Untuk itu, material sedimen pengerukan masih memerlukan upaya memperbaiki sifat-sifat tanah dengan stabilisasi.

Hasil-hasil analisis saringan di laboratorium terhadap beberapa titik sample material sedimen pengerukan Sungai Jeneberang memberikan karakteristik distribusi ukuran butiran tanah sedimen pengerukan. Analisis distribusi ukuran butir memperlihatkan bahwa prosentase gradasi ukuran butir pasir berkisar 2,56–3,69%, lanau berkisar 95,93–96,47%, dan lempung berkisar 0,97–1,31%. Hasil ini menunjukkan bahwa, tanah berbutir halus mendominasi jenis tanah sedimen ini yaitu sekitar 96,5% dan tanah berbutir kasar sekitar 3,5%. Berdasarkan hasil ini, sedimen pengerukan dapat diklasifikasikan sebagai material konstruksi kelas gradasi A75 (AASHTO), yaitu tanah yang mempunyai sifat-sifat fisik dan sifat mekanis yang kurang menguntungkan untuk digunakan secara langsung sebagai *subgrade* konstruksi jalan, karena dapat memberikan

perubahan bentuk pada lapisan tanah dasar perkerasan jalan atau penyebab kerusakan konstruksi jalan.

Hasil Analisis Kuat Tekan Bebas

Hasil-hasil pengujian laboratorium terhadap berbagai indeks karakteristik fisik material sedimen pengerukan disajikan pada Gambar 2.

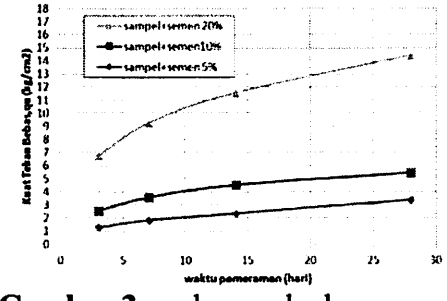


a. Stabilisasi Semen 0% b. Stabilisasi Semen 5%

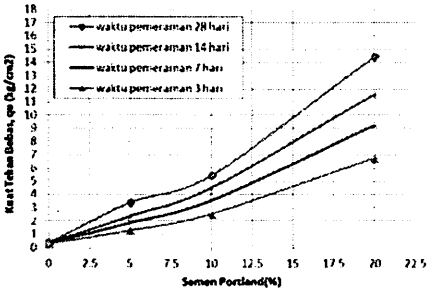
c. Stabilisasi Semen 10% d. Stabilisasi Semen 20%

Gambar 2 Tegangan-Regangan Sedimen Pengerukan Stabilisasi Semen.

Analisis hubungan kuat tekan bebas (qu) dengan kadar semen dan waktu pemeraman disajikan pada Gambar 3 dan Gambar 4 mengindikasikan bahwa nilai kuat tekan bebas untuk tanah sedimen pengerukan stabilisasi semen cenderung terjadi peningkatan kapasitas daya dukung dengan penambahan persentase semen dan waktu pemeraman.



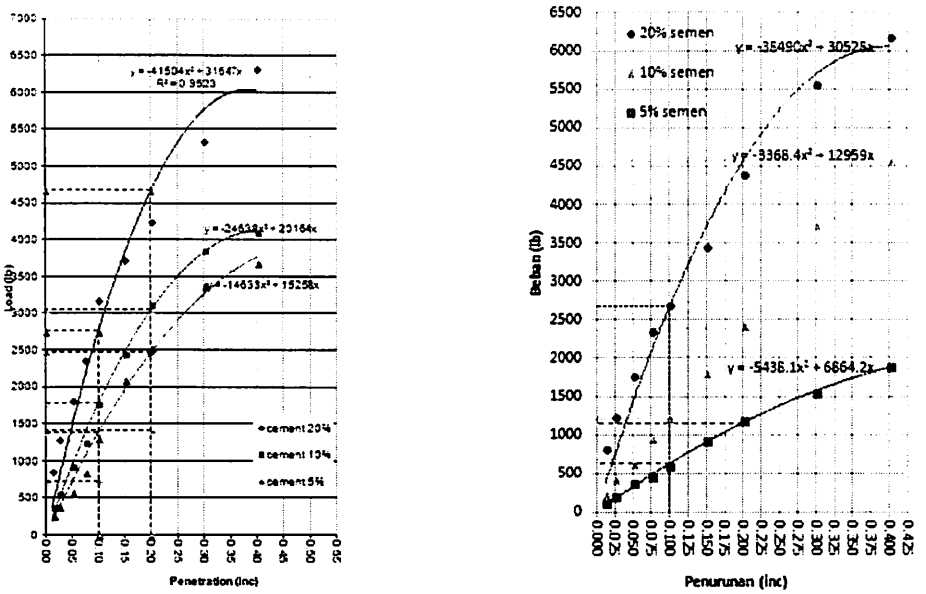
Gambar 3 qu dengan kadar semen



Gambar 4 qu dengan waktu

Hasil Pengujian CBR

Hasil pengujian CBR laboratorium tanpa rendaman dan dengan perendaman yang menggunakan material sedimen pengerukan dengan stabilisasi semen untuk berbagai variasi kadar semen mulai 5%, 10% dan 20%, disajikan pada Gambar 5.



a. CBR Tanpa Rendaman b. CBR Rendaman

Gambar 5 Hasil Pengujian CBR Laboratorium

Gambar 5 memperlihatkan bahwa baik CBR rendaman maupun CBR tanpa rendaman dari tanah stabilisasi semen terjadi perubahan dan peningkatan nilai CBR dibandingkan terhadap sedimen tanah asli. Dalam hal ini, nilai CBR rendaman lebih rendah dibanding dengan nilai CBR tanpa rendaman. Perbedaan nilai-nila CBR ini disebabkan karena pada CBR rendaman, kekuatan tanah dipengaruhi oleh masuknya air melalui rongga-rongga campuran tanah dan tanah-semen.

4. KESIMPULAN

Kelayakan material pengerukan sedimen sungai Jeneberang melalui pengujian laboratorium mengenai karakteristik material sedimen dan stabilisasi tanah dengan semen untuk meningkatkan kekuatan tanah sedimen sebagai subgrade perkerasan jalan lentur telah dikaji dalam penelitian ini.

Hasil pengujian karakteristik dasar tanah sedimen pengerukan Sungai Jeneberang memperlihatkan bahwa tanah sedimen merupakan katagori tanah berbutir halus lanau-lempung, sehingga penggunaan material sedimen secara langsung sebagai lapisan tanah dasar jalan lentur, dapat menimbulkan kerusakan pada lapisan perkerasan jalan.

Hasil pengujian lanjutan untuk memperbaiki sifat-sifat asli tanah tersebut memperlihatkan bahwa tanah sedimen pengerukan yang distabilisasi dengan semen cenderung mengalami peningkatan kekuatan dengan penambahan semen dan waktu pemeraman. Hal ini diindikasi dengan peningkatan nilai-nilai kuat tekan tanah stabilisasi semen dan peningktaan nilai-nilai CBR seiring peningkatan kadar semen.

Hasil yang diperoleh dalam penelitian ini dapat menjadi bahan rujukan dalam hal perencanaan perkerasan tanah dasar lapisan perkerasan jalan khususnya dalam memanfaatkan bahan sedimen Sungai Jeneberang yang distabilisasi dengan semen.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada LP2M Universitas Hasanuddin yang telah mendanai penelitian ini melalui Penelitian Program Studi LP2M-UNHAS T.A. 2012.

6. DAFTAR PUSTAKA

1. Anonim, 2011, Profil Kota Makassar, Pemkot Makassar, Makassar.
2. Behzad Kalantari and Bujang B.K. Huat, 2009, Effect of Fly Ash on the Strength Values of Air Cured Stabilized Tropical Peat with Cement Electronic Journal of Geotechnical Engineering Vol 14.
3. Bora Cetin, Ahmet H. Aydilek, Yucel Guney, 2010, Stabilization of recycled base materials with high carbon fly ash Journal Resources, Conservation and Recycling 54.
4. Costas A. Anagnostopoulos and Maria Chatziangelou, 2008, Compressive Strength of Cement Stabilized Soils. A New Statistical Model Electronic Journal of Geotechnical Engineering vol 13 B.
5. Dennis G. Grubb; Maria Chrysochoou; Charles J. Smith; and Nicholas E. Malasavage, 2010, Stabilized Dredged Material. I: Parametric Study Journal Of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering Asce.
6. Dennis G. Grubb, Nicholas E. Malasavage, Charles J. Smith, and Maria Chrysochoou, 2010, Stabilized Dredged Material. II: Geomechanical Behavior Journal Of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering Asce.
7. Hossein Moayedi, Bujang B. K. Huat, Fatemeh Moayedi, Afshin Asadi, Alireza Parsaie, 2011, Effect of Sodium Silicate on Unconfined Compressive Strength of Soft Clay Electronic Journal of Geotechnical Engineering vol 16.
8. Joel Beeghly and Michael Schrock, 2010, Dredge Material Stabilization Using the Pozzolanic or Sulfo-Pozzolanic Reaction of Lime By-Products to Make an Engineered Structural Fill International Journal of Soil, Sediment and Water., Vol.3 Issue 1.
9. Li Chen and Deng-Fong Lin, 2009, Stabilization treatment of soft subgrade soil by sewage sludge ash and cement Journal of Hazardous Materials 162.
10. Manasseh Joel and Isaac O. Agbede, 2010, Cement Stabilization of Igumale Shale Lime Admixture for Use as Flexible Pavement Construction Material Electronic Journal of Geotechnical Engineering Vol 15.
11. Naji,N. Khoury, and Robert Brooks, 2010, Performance of a Stabilized Aggregate Base Subject to Different Durability Procedures. J.Mater.Civ.Eng.,22(5), 506-514.

12. Islam, S., and Hashim, R., 2008, Stabilization of Peat by Deep Mixing Method: A Critical Review of the State of Practice Electronic Journal of Geotechnical Engineering Vol 13 H.
13. Solanki, P., Khoury, N., Zaman, M.M., 2009, Engineering Properties and Moisture Susceptibility of Silty Clay Stabilized with Lime, Class c FlyAsh, and Cement Kiln Dust.
14. Sueyoshi, K., 2005, Design Report of Kaliadem Sabo Dam, Yachiyo Eng. Co. Ltd., Yogyakarta.

" Halaman ini sengaja dikosongkan "

PEMODELAN PERGERAKAN MUDFLOW DI LABORATORIUM

Budijanto Widjaja[1], Shannon Hsien-Heng Lee[2]

[1]*Dosen Jurusan Teknik Sipil, Universitas Katolik Parahyangan, Bandung, Telp 022-2033691 Ext 445, email: geotek.gw@gmail.com*
[2]*Profesor, Department of Constcruction Engineering, Taiwan Tech, Taipei, Taiwan, email: leeshh39@gmail.com*

ABSTRAK

Mudflow (aliran lumpur) sebagai salah bentuk pergerakan tanah merupakan salah satu bencana yang perlu diwaspadai. Hal ini karena kejadian ini berlangsung sangat cepat dan mendadak. Faktor utama pemicu pergerakan mudflow adalah akibat adanya perubahan kadar air pada longsoran tanah yang terjadi sebelumnya. Peningkatan kadar air melebihi batas cairnya merupakan salah satu kriteria kualitatif yang umum digunakan. Namun, hingga saat ini belum ada penjelasan kuantitatif mengenai alasan mengapa mudflow dapat terjadi. Oleh karena itu, di dalam makalah ini, pergerakan mudflow direplika sebagai kurva hubungan kecepatan aliran dan waktu. Dengan kata lain, pergerakan mudflow dapat dimodelkan dalam hubungan perpindahan-waktu sebagai integrasi dari kurva kecepatan-waktu. Oleh karena itu, dengan menggunakan data pergerakan-waktu tersebut dikembangkan alat uji laboratorium yang disebut Flow Box Test. Alat ini digunakan untuk memperoleh parameter rheologi mudflow yaitu viskositas. Model laboratorium tersebut dikembangkan dengan memadukan teori trap-door dari Terzaghi dan model Bingham. Keluaran yang diperoleh dari Flow Box Test adalah hubungan perpindahan-waktu. Dengan menggunakan metode grafis berupa penyepadanan kurva perpindahan-waktu antara hasil uji laboratorium dan perhitungan analitik, dapat diperoleh viskositas untuk kadar air tertentu. Keuntungan utama dari alat ini adalah mampu memberikan informasi viskositas tanah, baik untuk kondisi plastis dan viscous liquid. Hal tersebut tidak dapat dilakukan dengan viskometer konvensional yang terbatas pengukurannya untuk kondisi viscous liquid. Hasil yang diperoleh dengan menggunakan tanah dari tiga lokasi mudflow menunjukkan bahwa viskositas dari Flow Box Test berada di dalam rentang hasil penelitian sebelumya. Jadi, penelitian ini mampu memberikan gambaran kuantitatif proses transportasi mudflow hingga deposisinya.

Kata kunci: mudflow, kadar air, batas cair, flow box test, viskositas

1. LATAR BELAKANG

Salah satu pergerakan tanah yang berbahaya adalah mudflow (aliran lumpur). Mudflow ini melaju dengan sangat cepat di atas permukaan tanah dan mampu membawa benda-benda pada lokasi yang dilaluinya. Klasifikasi geologi [1] secara kualitatif menggolongkan mudflow sebagai material tanah berbutir halus yang jenuh air dengan rentang kadar air dapat sama atau lebih dari batas cairnya (LL).

Hingga saat ini, belum ada penjelasan kuantitatif yang mampu menjelaskan bagaimana mudflow dapat terjadi. Oleh karena itu, di dalam makalah ini, mekanisme mudflow dijelaskan dengan menggunakan gabungan konsep *trap door* dari Terzagi (1943) dan model rheologi Bingham berupa pengembangan alat laboratorium untuk mengukur viskositas yang disebut *flow box test*.

2. STUDI LITERATUR

Mudflow merupakan salah jenis pergerakan tanah yang umum dijumpai di Indonesia. Aliran bahan rombakan yang didominasi oleh material berbutir halus (lempung dan

lanau) dalam kondisi jenuh air. Mudflow umumnya disebabkan oleh peningkatan air seperti akibat dari hujan lebat. Air akan masuk melalui rekahan-rekahan yang terjadi dan menyebabkan peningkatan kadar air. Rentang kadar air berada pada kondisi sama atau lebih dari batas cairnya. Pemicu pertama dapat berupa longsoran yang akhirnya diikuti oleh perilaku berupa aliran kental. Setelah itu, mudflow akan bergerak di atas permukaan tanah yang dilaluinya. Umumnya mudflow mengalir melewati celah-celah terendah pada daerah pegunungan atau perbukitan dan akhirnya berhenti di daerah deposisi. Analisis mudflow dapat dibagi menjadi tiga bagian yakni sumber mduflow, daerah transportasi, dan daerah deposisi.

Karena kadar air mudflow lebih tinggi dari batas cair, kondisi material adalah cairan kental (*viscous liquid state*). Oleh karena itu, diperlukan pengetahuan yang membahas aliran di mana penggunaan hukum konstitutif tidak memadai. Cabang ilmu yang membahas hal tersebut disebut rheologi. Untuk mudflow, perlu diketahui dua parameter rheologi yaitu *yield stress* (τ_y) dan viskositas (η). Jika tegangan geser material (τ) lebih rendah dari τ_y, material tidak berada dalam kondisi mengalir. Namun, jika tegangan geser material lebih tinggi dari τ_y yield stress, maka material akan berperilaku mengalir. Perilaku mengalir ini ditentukan oleh parameter η. Material yang diatur oleh dua parameter yang disebutkan dikenal sebagai material Non-Newtonian.

Salah satu model rheologi yang umum digunakan adalah Bingham model. Viskositas dinyatakan sebagai gradien dari garis dalam hubungan tegangan geser dan *shear strain rate*. Perpotongan garis ini pada sumbu tegangan geser disebut sebagai yield stress dari Bingham. Persamaan model Bingham dapat dinyatakan dalam bentuk berikut:

$$\tau = \tau_{yB} + \eta\dot{\gamma} \quad \text{.....} \quad (1)$$

dengan τ_{yB} adalah *yield stress* dari model Bingham, η adalah viskositas dan $\dot{\gamma}$ adalah *shear strain rate*.

3. TUJUAN PENELITIAN

Tujuan penelitian adalah untuk mereplika mudflow yang terjadi di lapangan dengan menggunakan alat flow box test. Replika ideal mudflow dimodelkan dalam hubungan kecepatan terhadap waktu.

4. METODE PENELITIAN

Hingga saat ini belum ada penjelasan secara kuantitatif yang bisa memberikan penjelasan mekanisme terjadinya mudflow. Oleh karena itu, penulis mengembangkan alat baru untuk mengukur viskositas. Alat baru ini disebut sebagai "flow box test". Asumsi pengujian laboratorium ini adalah kondisi dalam plane strain, material adalah isotropik baik dalam kondisi diam (at rest) maupun dalam kondisi bergerak (flow), bidang keruntuhan yang terjadi adalah vertikal, viskositas adalah tergantung waktu, *trap door* bergerak menjauhi tanah (dalam kondisi aktif), *yield stress* dan temperatur konstan.

Persamaan utama dari Flow Box Test (FBT) dikembangkan dengan menggabungkan teori trap door (Terzaghi, 1943) dan model rheologi Bingham. Persamaannya dinyatakan sebagai berikut:

$$\frac{d\sigma_v}{dz} + C_1 \cdot \sigma_v = \gamma + 2c\sqrt{K_a}\frac{P}{A} \quad \text{.....} \quad (2)$$

dengan σ_v adalah tegangan vertikal total, z adalah kedalaman yang ditinjau, γ adalah berat isi tanah, K_a adalah koefisien tekanan tanah aktif, P adalah keliling, A adalah luas yang tegak lurus gaya vertikal, dan C_1 adalah konstanta yang dinyatakan sebagai:

$$C_1 = \frac{P}{A} K_a \quad \text{.....} \quad (3)$$

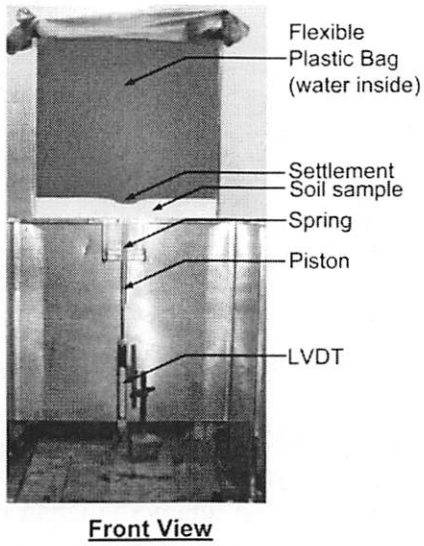
Detail penurunan persamaan utama dapat dilihat di referensi [2]. Kecepatan aliran pada waktu t [v(t)] dapat diturunkan dari persamaan 2. Dengan mempertimbangkan adanya beban luar (q) maka kecepatan aliran dinayatakan sebagai:

$$v(t_2) = \frac{-c\left(2 + H/\left(BC_2\right)\right) + q - \frac{\gamma}{C_1} + \frac{\gamma H}{C_2}}{\eta H/\left(B^2 C_2\right)} + v(t_1) \quad \text{.....} \quad (4)$$

Jika viskositas mengecil makan kecepatan aliran cairan kental akan semakin besar seperti ditunjukkan di dalam persamaan 4. C_2 didefinisikan sebagai

$$C_2 = \left(1 - e^{-C_1 \cdot H}\right) \quad \text{.....} \quad (3)$$

Ilustrasi flow box test (FBT) dapat dilihat pada gambar 1. Kontainer dipisahkan menajdi dua yakni kontainer bagian bawah untuk sampel tanah dan kontainer atas untuk beban.

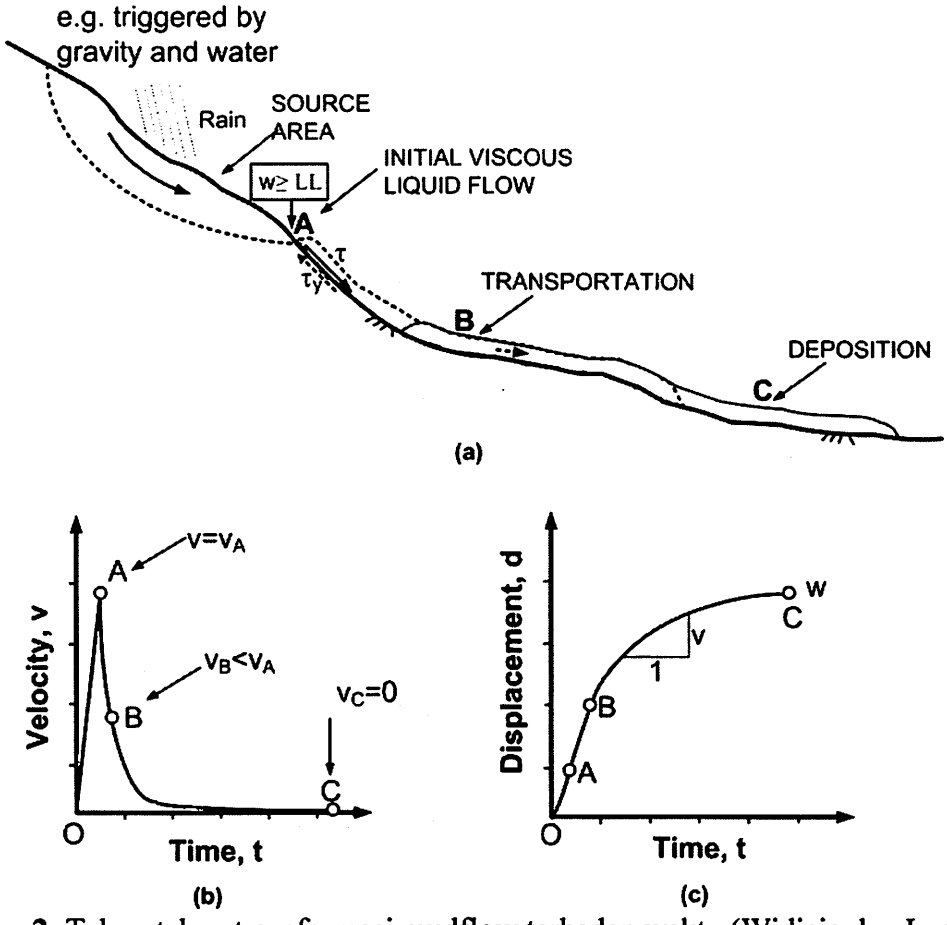


Gambar 1: Tampak depan alat uji FBT

Kontainer bawah memiliki dimensi tinggi 5 cm, lebar 8 cm, dan panjang 40 cm. Kontainer atas memiliki dimensi yang sama dengan dimensi kontainer bawah namun dengan tinggi 40 cm. Kontainer bawah dilengkapi dengan trap door pada bagian tengah dengan lebar 8 cm dan panjang 10 cm. Trap door ini dihubungkan dengan piston yang dilengkapi dengan pegas untuk menahan kecepatan aliran sewaktu diuji. Kemudian piston disambungkan ke LVDT untuk mengetahui berapa besar pergerakan yang terjadi pada waktu tertentu.

FBT dikembangkan untuk mereplika kejadian mudflow di lapangan untuk dimodelkan di dalam laboratorium. Mudflow dapat terjadi akibat gravitasi dan air dan menyebabkan

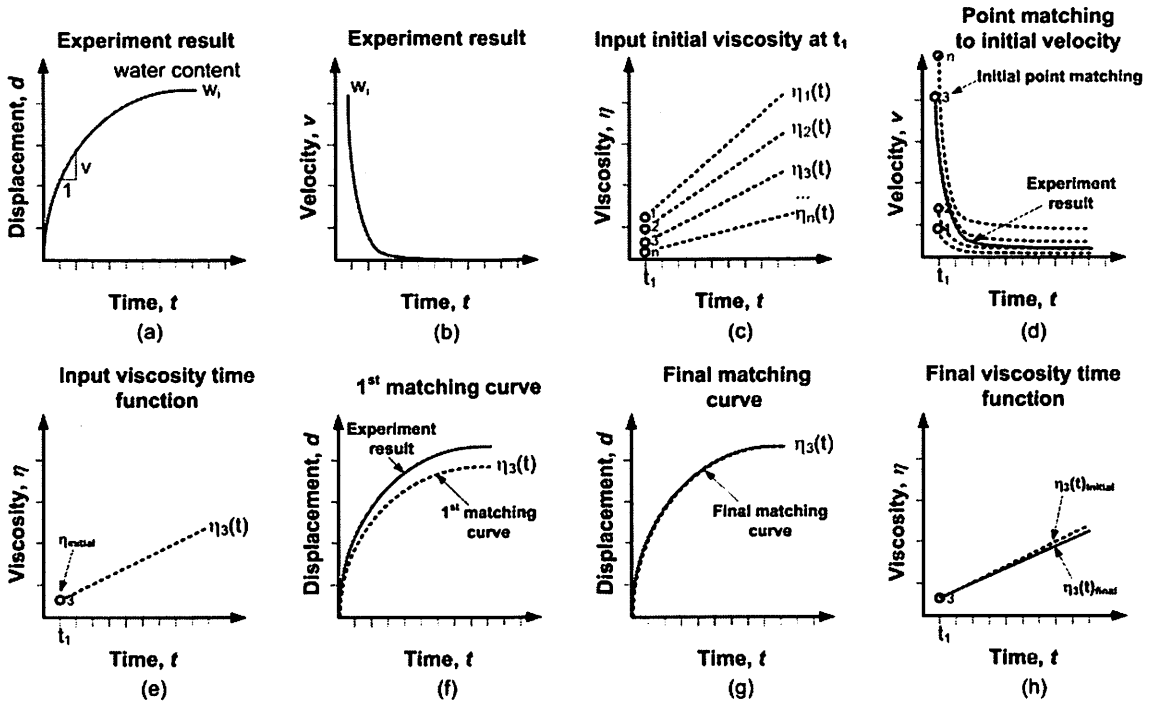
kadar air menjadi sama atau lebih tinggi dari batas cairnya (LL), seperti ditunjukkan pada titik A pada gambar 2(a). Akibat peningkatan ini, tegangan geser kemungkinan besar akan melampaui yield stress dan menyebabkan mudflow terjadi dan bergerak sepanjang permukaan tanah (titik B) dan akan berhenti di titik C yakni di daerah deposisinya.



Gambar 2: Tahap-tahap transformasi mudflow terhadap waktu (Widjaja dan Lee, 2013)

Gambar 2(b) menjelaskan pada titik A, kecepatan yang terjadi adalah tiba-tiba membesar (instantaneous velocity) yaitu sebesar v_A dari kondisi mudflow diam. Kecepatan ini akan melambat (v_B) akibat adanya tahanan dari viskositas dan berhenti pada titik C (v_C=0). Untuk penelitian ini, penulis membatasi pada zona A, B, dan C.
Jika gambar 2(b) diintegrasikan, makan hubungan kecepatan-waktu berubah menjadi hubungan perpindahan-waktu. Perpindahan terbesar terletak pada titik C seperti ditunjukkan pada gambar 2(c).
Dengan replika gambar 2 di atas, FBT mampu menyediakan informasi hubungan perpindahan-waktu. Kemudian kecepatan dan waktu dapat diturunkan sebegai turunan pertama perpindahan-waktu.
Selanjutnya, untuk menentukan viskositas (η) dari FBT dapat mengikuti prosedur seperti yang ditunjukkan pada gambar 3. Dari hasil uji FBT diperoleh kurva hubungan perpindahan-waktu [gambar 3(a)]. Turunan pertama berupa hubungan kecepatan-waktu ditunjukkan pada gambar 3(b). Kemudian, dengan mengasumsikan bahwa viskositas berupa hubungan linear terhadap waktu, viskositas dihitung dengan menggunakan

persamaan yang diturunkan dari persamaan utama [gambar 3(c)]. Kemudian, kecepatan dihitung menggunakan nilai viskositas dari gambar 3(c). Perhitungan dihentikan jika titik awal dari hasil pengujian FBT dan hasil perhitungan kecepatan sepadan. Titik 3 pada gambar 3(d) adalah titik yang dimaksud. Selanjutnya, dapat dipilih persamaan viskositas yang memuat informasi awal dari titik 3 tersebut [gambar 3(e)]. Kemudian, hubungan perpindahan-waktu dapat digambarkan sebagai integral dari hubungan kecepatan-waktu [gambar 3(f)]. Selanjutnya, dengan cara *trial-error* dengan mengaplikasikan modifikasi model Herscell-Bulkley, ditentukan kurva hasil perhitungan hingga sepadan dengan kurva hasil pengujian FBT [gambar 3(g)]. Sebagai langkah akhir, viskositas perlu dimodifikasi nilainya dengan menggunakan hasil padanan kurva dari langkah sebelumnya (gambar 3[h]). Setelah itu, dapat ditentukan nilai viskositas awal pada waktu t=0. Nilai viskositas inilah yang digunakan selanjutnya di dalam penelitian ini.



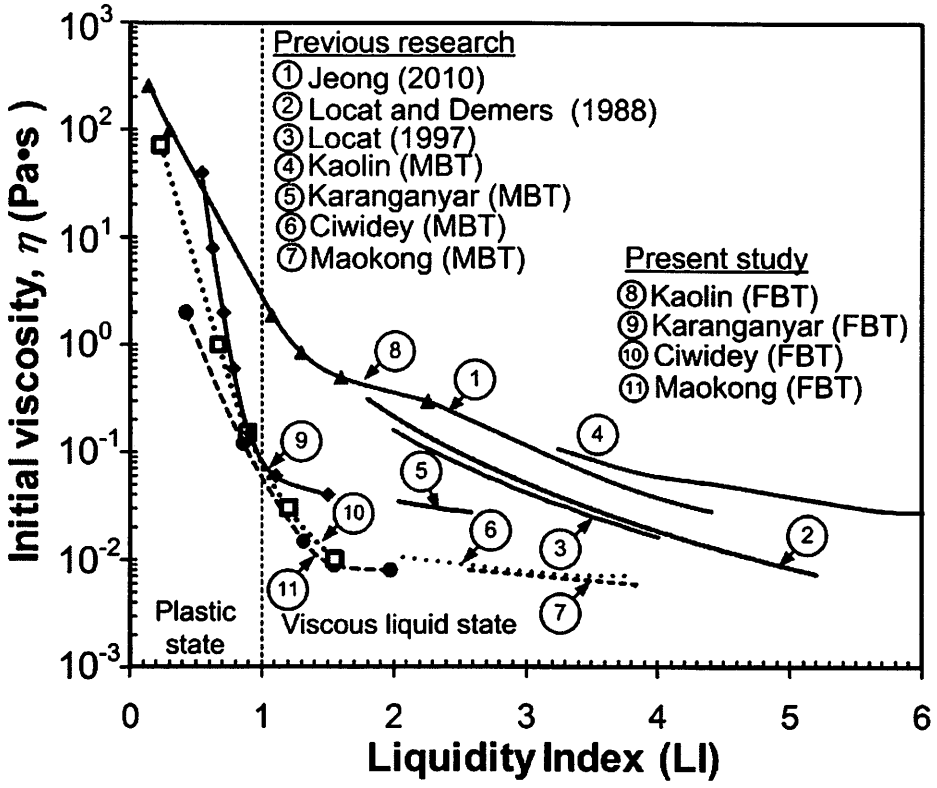
Gambar 3: Tahapan penentuan viskositas (Widjaja dan Lee, 2013)

5. HASIL PENELITIAN

Hasil FBT ditunjukkan pada kurva nomor 8 hingga 11 pada gambar 4. Pada saat kadar air sama dengan batas cair, *liquidity index* (LI) adalah sama dengan satu. Jika nilai LI kurang dari satu, kondisi disebut sebagai kondisi plastis. Untuk LI lebih besar dari satu, kondisinya disebut kondisi cairan kental (*viscous liquid state).*

Untuk mengetahui karakteristik umum mudflow, digunakan material kaolin (kurva nomor 8). Pada saat awal dari kondisi plastis, material akan bergerak dengan lambat dikarenakan tingginta nilai viskositas. Seiring dengan peningkatan kadar air dan penurunan viskositas, misalnya akibat hujan yang lebat, kadar air akan meningkat hingga kadar air akan bertambah dan persis sama dengan batas cair. Pada saat batas cair, viskositas akan menurun dengan sangat signifikan dan pada posisi inilah, mudflow dapat terjadi.

Sebagai perbandingan, nilai viskositas pada kondisi plastis untuk material kaolin adalah 3 Pa•s - 300 Pa•s. Untuk kondisi cairan kental, viskositas berada dalam rentang 0.2 Pa•s – 3 Pa•s. Perbandingan nilai maksimum dan minimum viskositas untuk kondisi plastis dan cairan kental masing-masing adalah 100 kali dan 15 kali. Hasil lainnya dari Karanganyar, Ciwidey dan Maokong menunjukkan karakteristik yang serupa. Hasil penelitian ini berada di dalam rentang yang diusulkan oleh peneliti lain.



Gambar 4: Hubungan viskositas awal dan *liquidity index*

6. KESIMPULAN

Dengan menggunakan flow box test sebagai model replika pergerakan mudflow di laboratorium, dapat ditunjukkan karakteristik umum terjadinya mudflow berdasarkan hubungan *liquidity index* dan viskositas. Karakteristik umum mudflow terjadi pada saat kadar air sama atau lebih besar dari batas cairnya. Adanya perubahan drastis nilai viskositas dari kondisi plastis ke kondisi cairan kental menyebabkan mudflow terjadi. Jadi, kontribusi penting dari penelitian ini adalah memberikan alasan kuantitatif penyebab terjadinya mudflow berdasarkan hasil pengujian flow box.

DAFTAR PUSTAKA

1. Hungr, O., Evans, S.G., Bovis, M.J. ,and Hutchinson, J.N. (2001) A review of the classification of landslides of the flow type, *Environ. and Eng. Geoscience*, **VII**(3), 221-238.
2. Widjaja, B. and Lee, S.H.H (2013) Flow box test for the viscosity in plastic and viscous liquid states. Soils and Foundations, **53**(1).

PERILAKU TANAH EKSPANSIF DI ZONA AKTIF

Denny Hosen[1], Indarto[2]

[1]*Mahasiswa Pasca Sarjana Jurusan Teknik Sipil bidang Keahlian Geoteknik, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Kampus ITS Sukolilo Surabaya, Telp 031-5946094, email: denny_hosen@yahoo.com*
[2]*Guru Besar Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, ITS, Kampus ITS Sukolilo Surabaya, Telp 031-5946094, email: indarto1992@gmail.com*

ABSTRAK

Perubahan kembang susut yang paling krusial dari tanah ekspansif, umumnya terjadi pada zona aktif. Makalah ini, merupakan studi karakteristik tanah ekspansif pada zona aktif yang mengalami proses pembasahan dan pengeringan. Untuk melihat perilaku tersebut maka dilakukan pengujian tanah ekspansif *undisturbed* di daerah Citraland, Surabaya pada kedalaman 1m, 2m, 3m, 4m, 5m.
Dari pengujian tersebut ditentukan zona aktif pada daerah tersebut, kemudian di setiap kedalaman 1 m, dilakukan penambahan dan pengurangan kadar air. Dari setiap penambahan dan pengurangan kadar air dilakukan pengujian *swelling pressure*, *swelling potential* dan *uncofined compression*. Khusus untuk pengujian CBR, percobaan dilakukan dalam keadaan *disturbed* dengan kadar air disesuaikan dengan proses pembasahan dan pengeringan.
Dari percobaan tersebut, hasil menunjukkan bahwa zona aktif di daerah tersebut berada antara 4 – 5 m. Secara umum dari kelima kedalaman, siklus *dry wetting* menunjukkan bahwa karakteristik yang terjadi tidak terlalu berbeda meskipun kadar air inisial dan kepadatan memiliki nilai yang berbeda. Besarnya *Swelling potential* antara 14.03 % sampai 24.40% sedangkan *Swelling Pressure* 93 kPa sampai 195 kPa. Dan besarnya qu 19.1 kPa sampai 91 kPa serta CBR antara 2.02% sampai 8.77%.

Kata kunci: Variasi kadar air, zona aktif, parameter tanah ekspansif

1. PENDAHULUAN

Tanah lempung ekspansif banyak ditemukan diberbagai belahan di dunia. Tanah ini telah mengakibatkan kerusakan yang serius terhadap struktur bangunan dan pondasi seperti yang terjadi di India, Israel, Afrika Selatan, Amerika Serikat, Kanada dan Australia. Kerugian akibat tanah ekspansif melebihi kerugian akibat bencana alam seperti gempa, banjir dan tornado. Menurut Jones dan Holtz (1973), akibat dari perilaku kembang susut tanah ekspansif yang terjadi di amerika telah menyebabkan kerusakan pondasi dan bangunan senilai $ 2,3 milyar per tahun. Biaya yang dikeluarkan untuk mengatasi kerusakan yang ditimbulkan oleh tanah ekspansif jauh lebih besar dari kerusakan akibat bencana alam. Di Indonesia banyak kerusakan-kerusakan bangunan akibat perilaku tanah ekspansif, tetapi belum terekam dengan baik. Namun belajar dari pengalaman yang ada menunjukkan bahwa, setiap perbaikan dari kerusakan bangunan yang diakibatkan oleh tanah ekspansif memerlukan perbaikan yang menelan biaya tidak kurang dari Rp.500 juta rupiah (Indarto, 2011)
Sifat ekspansif ini disebabkan karena dalam keadaan tidak jenuh tanah tersebut bersifat sangat peka terhadap perubahan–perubahan kadar air. Peningkatan kadar air dalam massa tanah tidak saja menyebabkan penurunan kuat geser tetapi juga pengembangan volume dan pengembangan tekanan yang mengakibatkan retakan pada bangunan, pengembangan lantai dan perkerasan jalan yang tidak merata. Demikian juga halnya dengan penurunan kadar air dapat mengakibatkan penyusutan tanah dan penurunan muka tanah. Jenis tanah dengan sifat–sifat demikian dapat kita jumpai di Surabaya Barat. Pada daerah tersebut banyak dijumpai kerusakan–kerusakan pada bangunan baru

yang didirikan maupun bangunan yang telah jadi yang disebabkan terutama oleh perilaku kembang susut dari tanah lempung di daerah tersebut.
Menurut Indarto (2008), Beberapa kasus rill yang terjadi akibat pembasahan pada tanah ekspansif di surabaya sebagai berikut :

1. Kasus longsornya dinding penahan dari *soldiers pile* untuk pembuatan *basement* area Ciputra World Surabaya dimana daerah tersebut merupakan tanah ekspansif, yang mengalami pembasahan saat hujan dan akibat kebocoran saluran KMS.
2. Runtuhnya dinding penahan yang didukung oleh tiang strauss untuk menahan tanah timbunan setinggi 3 m diatas tanah ekspansif di suatu rumah tinggal di Citraraya, yang runtuh saat pembasahan akibat hujan yang lebat beberapa hari saat musim penghujan.
3. Penurunan pada beberapa perumahan Isen yang kolom – kolomnya berdiri di atas pondasi *bored pile* sepanjang 7 m.

Makalah ini mencoba untuk mempelajari perilaku tanah ekspansif di daerah zona aktif akibat adanya siklus pembasahan dan pengeringan.

2. DASAR TEORI

Tanah lempung ekspansif

Chen (1975) menyatakan bahwa perilaku kembang-susut tanah ekspansif adalah akibat dari perubahan kadar air yang dikandung dan jenis mineral yang sangat kuat menyerap air, sehingga dapat terindikasi pada tanah lempung akan bersifat ekspansif pada nilai Indeks Plastisnya > 35 %. Tanah ekspansif dapat diklasifikasikan berdasarkan indeks property seperti kandungan lempung dan plastisitas. (Chen 1988) juga mengemukakan metode single indeks untuk mengindentifikasikan derajat ekspansif dari suatu jenis tanah berdasarkan indeks plastisitasnya seperti pada Tabel 1.
Menurut (Chen, 1975), Sifat pengembangan tanah lempung dipelajari dengan alat uji konsolidasi satu dimensi (*One dimension consolidation*), dimana benda ujinya tertahan secara lateral. Pengembangan kearah vertical dari benda uji setelah direndam diukur sebagai prosentase pengembangan. Pengembangan bebas (*free swell*) adalah prosentase pengembangan tanpa beban *surcharge*. Tekanan yang diperlukan supaya tidak terjadi perubahan volume karena perendaman disebut *tekanan pengembangan* (*swelling pressure*). Prosentase pengembangan benda uji yang telah dipadatkan dan diberi beban *surcharge* sebesar 6.8 kPa sebelum direndam disebut sebagai potensi pengembang (*swelling potensial*).

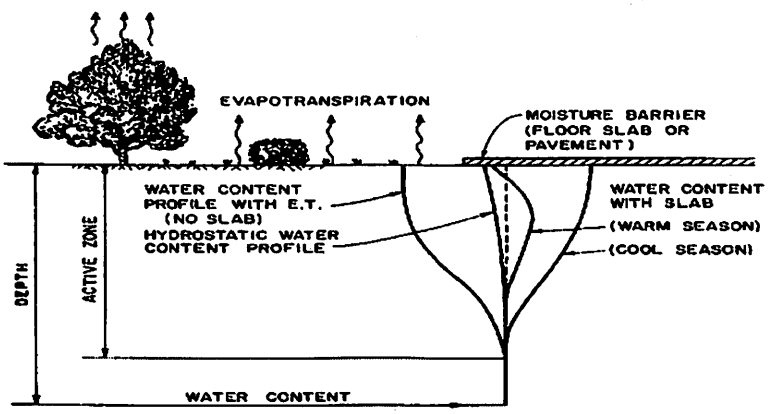
Tabel 1. Klasifikasi tanah ekspansif berdasarkan indeks plastisitas

Liquid Limit (LL)	Plasticity Index (PI)	Swelling Potensial (%)	Swelling Pressure (Kg/cm^2)
< 30	0 - 15	Rendah	0.48
30 – 40	10 - 35	Medium	1.45 – 2.42
40 - 60	20 – 55	Tinggi	2.42 – 9.67
> 60	> 35	Sangat tinggi	> 9.67

Sumber : Chen 1988

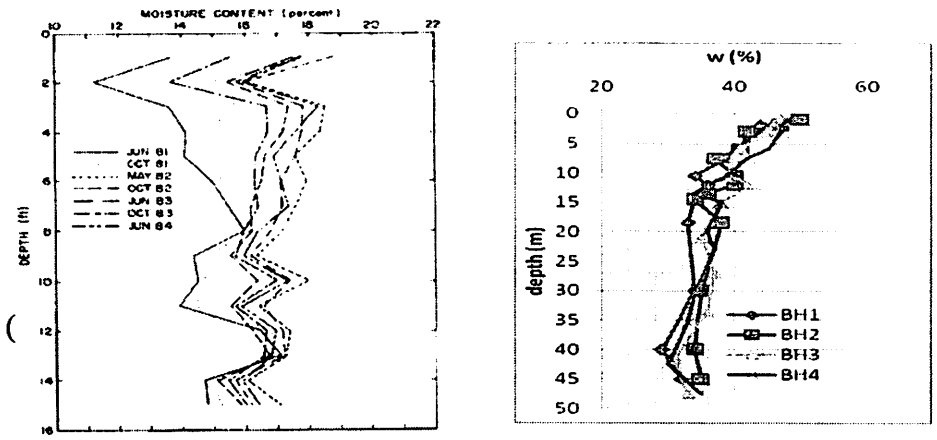
Zona Aktif

Nelson dan Miller (1992), menggambarkan zona aktif seperti gambar 2. Distribusi kadar air pada zona aktif yang merupakan hasil faktor iklim dan transpirasi penguapan, berbeda dengan kadar air pada kondisi keseimbangan hydrostatis. Kondisi – kondisi hydrostatis merupakan gambaran suatu tegangan air pori negatif (*suction*) diatas muka air tanah yang bervariasi secara linier dengan tinggi diatas muka air tanah. Pada zona ini, derajat kejenuhan akan sama dengan 100% atau kurang tergantung karakteristik retensi air dari tanah. Profile kadar air hydrostatik dapat dilihat pada Gambar 2.12. Pada gambar tersebut terlihat bahwa akibat transpirasi penguapan kadar air pada musim kering dan semi kering, keadaan setempat akan lebih kering dibanding dengan profile kadar air hydrostatis.



Gambar 1. Profile kadar air pada zona aktif (Nelson dan Miller 1992)

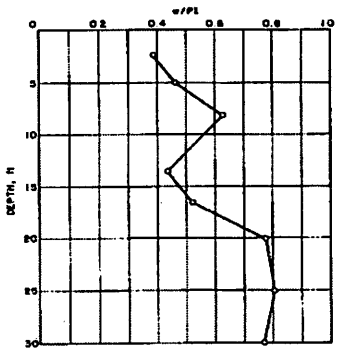
Menurut Nelson dan Miller (1992), pengamatan lapangan dapat memberikan informasi yang memungkinkan penentuan zona aktif. Pada lokasi kering dan semi kering, kadar air umumnya akan meningkat dengan kedalaman sampai pada suatu titik dimana kadar air menjadi konstan dengan meningkatnya kedalaman. Pengamatan di Colorado yang dilakukan oleh Hamberg (1985) memberikan hubungan antara kadar air dan kedalaman pada beberapa musim seperti terlihat dalam profil tanah pada Gambar 2a. Fluktuasi kadar air ditemukan kecil setelah kedalaman 5.5 m (13 ft), yang mengindikasikan zona aktif pada lokasi itu adalah dari permukaan sampai kedalaman tersebut. Sebagai perbandingan pada Gambar 2.b, dapat dilihat hubungan antara kadar air dengan kedalaman tanah ekspansif di kawasan Bojonegoro Jawa Timur (Setiawan, Indarto, dan Agustina 2010), dimana dari grafik pada Gambar 2 dapat diperkirakan letak zona aktif sekitar kedalaman 7 m. Dengan mengembangkan gambar yang sama dari kadar air sebagai fungsi kedalaman dalam beberapa musim kering dan basah, zona aktif pada suatutempat dapat diestimasikan. Pada kasus-kasus dimana tanah tidak homogen dengan kedalaman, atau jika ada beberapa lapisan, perbedaan dalam type tanah dapat dikompensasi dengan penggambaran kadar air dibagi indeks plastis $\frac{w}{PI}$, atau indeks kecairan $\frac{(LL-w)}{PI}$ sebagai mana diusulkan Nelson dan Miller (1992).



(a) (b)

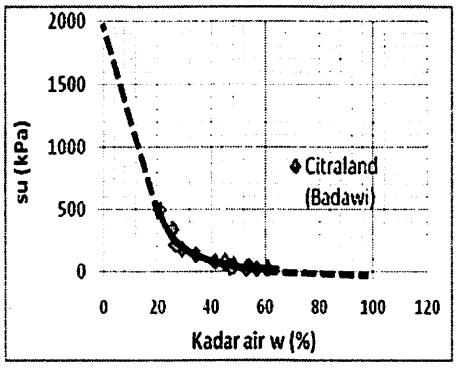
Gambar 2. (a) Profile kadar air pada berbagai musim di Colorado (Hamberg,1985);
(b)Profile kadar air pada beberapa bor log dikawasan Bojonegoro Jawa Timur (Setiawan dan Indarto, Agustina 2010)

Gambar 3 Adalah salah satu contoh hasil penentuan zona aktif pada tanah dengan beberapa lapisan yang memiliki indeks plastis dari non plastis sampai 36%.



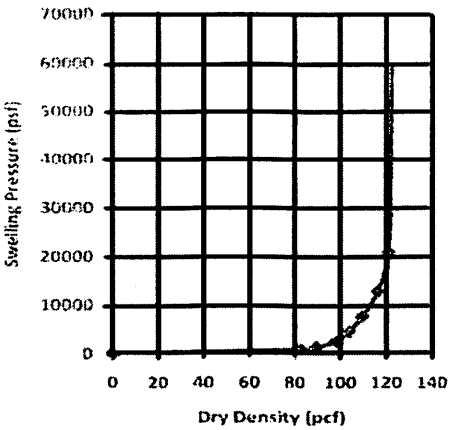
Gambar 3. Contoh hasil penentuan zona aktif pada tanah dengan beberapa lapisan yang memiliki indeks plastis dari non plastis sampai 36%.

Badawi (2010) memberikan gambaran hubungan antara kadar air dengan kohesi su. Apabila terjadi siklus penambahan kadar air, maka nilai dari qu semakin berkurang dan sebaliknya adanya pengurangan kadar air, nilai qu akan membesar seperti terlihat pada gambar 4.



Gambar 4. Hubungan antara kadar air dengan kohesi unconfined su (Badawi 2010)

Menurut Chen (1975), besar dari swelling juga dipengaruhi oleh dry *density*nya yang langsung berhubungan dengan kadar air. Bila dry *density*nya besar maka kemampuan swellingnya semakin besar seperti terlihat pada gambar 5.



Gambar 5. Efek dari variasi kepadatan terhadap tekanan pengembangan untuk benda uji dengan kadar air constant (Menurut Chen 1975)

3. METEDOLOGI PENELITIAN

Sampel tanah asli (*undisturbed)* yang diambil dari daerah Citraland Surabaya mulai dari kedalaman 0 m sampai dengan -5 m. Di setiap kedalaman tersebut dilakukan siklus pembasahan dan pengeringan kadar air, setelah itu dilakukan pengujian *swelling potential*, *swelling pressure*, *unconfined compression* tes dan *California Bearing Rasio*. Khusus untuk pengujian *California Bearing Rasio*, sampel tanah berupa *disturbed* yang dipadatkan dalam mold CBR dengan mengacu kepadatan tanah *undisturbed*. Kepadatan dalam mold CBR menurut pedoman standard proctor. Zona aktif dapat ditentukan dengan memetakan nilai kadar air terhadap fungsi kedalaman dari sampel tanah yang diambil pada musim kemarau maupun hujan.

4. HASIL DAN DISKUSI

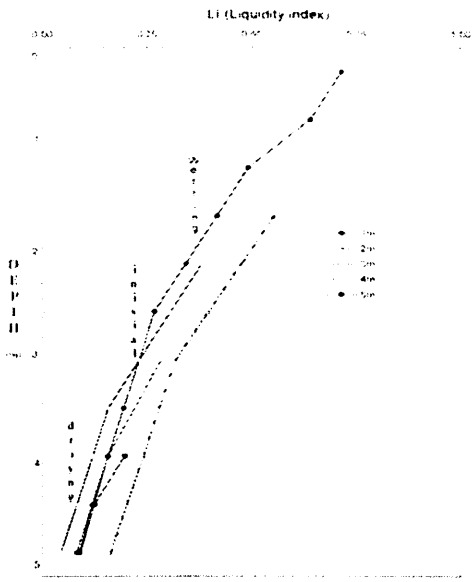
Penentuan zona aktif

Pada kasus-kasus dimana tanah tidak homogen dengan kedalaman, atau jika ada beberapa lapisan, perbedaan dalam tipe tanah dapat dikompensasi dengan penggambaran kadar air dibagi indeks plastis $\frac{w}{PI}$, atau indeks kecairan $\frac{(LL-w)}{PI}$ sebagaimana diusulkan Nelson dan Miller (1992). Parameter dari indeks kecairan dapat dilihat pada tabel 2. Adanya perubahan kadar air dari kedalaman - 1 m sampai dengan – 5 m sehingga daerah tersebut dapat dikatakan zona aktif seperti terlihat pada gambar 6.

Tabel 2. Nilai Indeks kecairan

Depth	Nilai indeks kecairan (LI)											
- 1 m	0.08	0.12	0.16	0.19	0.23	0.27	0.34	0.42	0.49	0.57	0.64	0.72
- 2 m		0.16	0.20	0.24	0.28	0.32	0.40	0.48	0.55	0.63		
- 3 m			0.14	0.17	0.20	0.24	0.30	0.37	0.40			
- 4 m				0.09	0.12	0.15	0.22	0.28				
- 5 m					0.18	0.21	0.27					

ISBN 978-979-99327-8-5

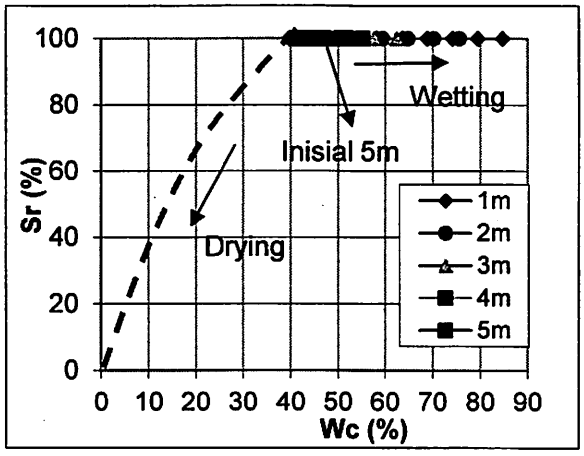


Gambar 6. Grafik hasil penentuan zona aktif

Pengaruh penambahan dan pengurangan kadar air pada tanah ekspansif *undisturbed*

a. Derajat Kejenuhan (Sr)

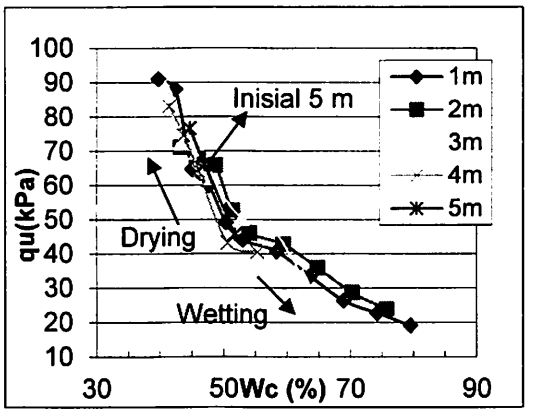
Kadar air (wc) inisial pada kedalaman 5 m sebesar 47% sehingga derajat kejenuhan telah mencapai 100%, dengan adanya siklus penambahan dan pengurangan kadar air dapat mempengaruhi derajat kejenuhan. Adanya perbedaan derajat kejenuhan (ΔSr) sebesar 4% dari pengujian yang telah dilakukan oleh Badawi(2010) disebabkan karena pengambilan sampel tanah pada musim yang berbeda dan dari sifat heterogen tanah tersebut. Secara umum, nilai derajat kejenuhan pada tiap kedalaman menunjukkan angka yang sama yaitu sebesar 100% terlihat pada gambar 7.



Gambar 7. Hubungan antara kadar air w dengan derajat kejenuhan Sr

ISBN 978-979-99327-8-5

b. Kohesi uncofined (Qu)

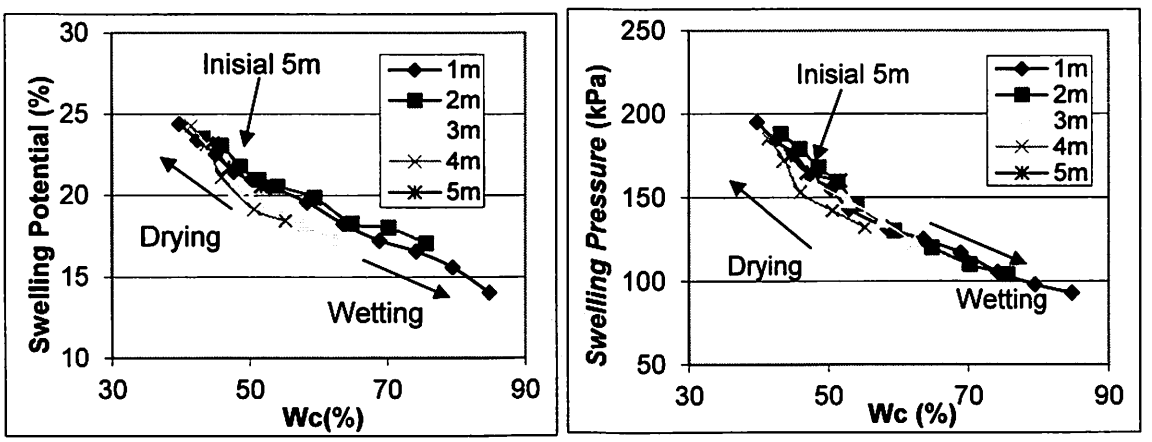


Gambar 8. Hubungan antara kadar air (Wc) dengan kohesi uncofined qu

Nilai qu pada kedalaman 5 m (inisial) yaitu 66 kPa. Akan mengalami penurunan *unconfined* saat mengalami pembasahan dan sebaliknya terjadi penambahan *unconfined* pada saat pengeringan. Secara umum, di setiap kedalaman menunjukkan garis yang berdekatan satu sama yang lain seperti terlihat pada gambar 8. Dengan kadar air antara 40 – 80%, maka parameter kohesi *unconfined* berkisar dari 19.3 – 91 kPa dimana hasil tersebut kurang lebih sama dengan yang dilakukan oleh Badawi (2010).

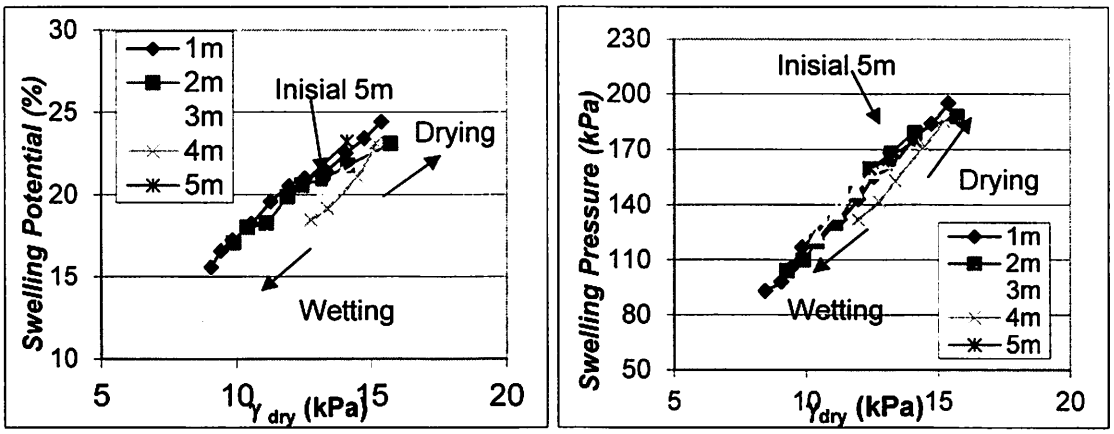
c. *Swelling Potential* dan *Swelling pressure*

Dengan kadar air (wc) inisial sebesar 47%, maka *swelling potential* sebesar 21.70 % dan *swelling pressure* 165 kPa. Pada gambar 9 (a) dan (b) menunjukkan bahwa ada pengurangan kadar air, maka parameter dari *swelling potential* dan *swelling pressure* akan bertambah. Sebaliknya dengan penambahan kadar air menyebabkan penurunan *swelling potenti*al dan *swelling pressure.* Secara umum, dari setiap kedalaman menunjukkan tren yang sama baik pada *swelling pressure* maupun *swelling potential.*



(a) (b)

Gambar 9. Perilaku tanah ekspansif *undisturbed* Citraland Surabaya saat mengalami variasi kadar air : (a) Grafik Hubungan antara Wc dengan Swelling Potential; (b) Hubungaan antara Wc dengan Swelling Pressure



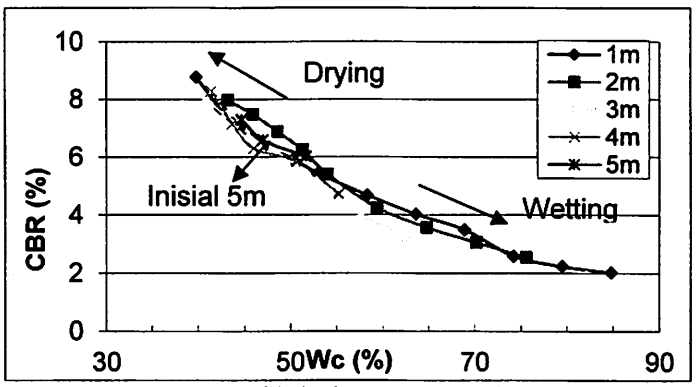
(a) **(b)**

Gambar 10. Perilaku tanah ekspansif *undisturbed* citraland surabaya saat mengalami variasi kadar air : (a) Grafik hubungan antara γ_{dry} dengan *Swelling Potential*; (b) Grafik hubungan antara γ_{dry} dengan *Swelling Pressure*

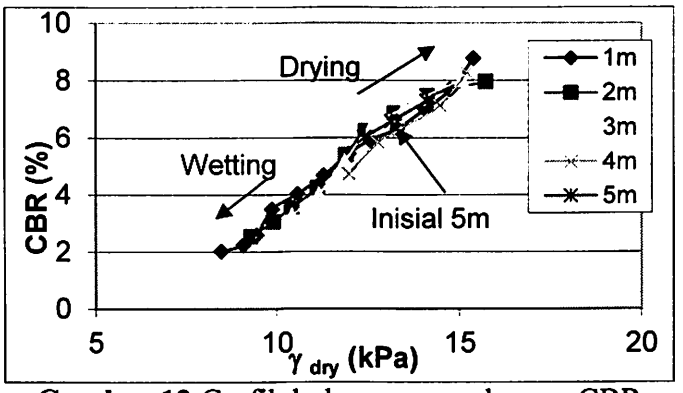
Dari percobaan inisial, didapatkan γ_{dry} adalah 13.13 kPa. Apabila tanah tersebut mengalami siklus pengeringan/padat, maka *swelling potential* dan *swelling pressure* akan semakin besar. Sebaliknnya apabila mengalami siklus pembasahan, maka *swelling potential* dan *swelling pressure* akan semakin berkurang. Secara umum, parameter dari masing masing kedalaman menunjukkan adanya tren yang hampir sama, dapat dilihat pada gambar 10 (a) dan (b).

Pengaruh penambahan dan pengurangan kadar air di tanah ekspansif *disturbed* pada pengujian *California Bearing Rasio* (CBR)

Untuk kadar air awal sebesar 47% dengan *California Bearing Rasio* diperoleh sebesar 6.58 %. Akibat adanya penambahan kadar air, terlihat bahwa parameter tersebut akan berkurang. Sebaliknya dengan pengurangan kadar air, maka *California Bearing Rasio* akan meningkat. Dari setiap kedalaman yang telah dilakukan pengujian, terlihat bahwa ada garis yang menunjukkan kesamaan seperti yang pada gambar 11.



Gambar 11. Grafik hubungan Wc dengan CBR.



Gambar 12. Grafik hubungan γ_{dry} dengan CBR

Pada gambar 12 menunjukkan dengan kepadatan inisial sebesar 13.13 kPa dijumpai besarnya *California Bearing Rasio* 6.58 %. Adanya pengeringan dari sampel tersebut maka CBR akan semakin besar pula. Dan sebaliknya, terjadinya pembasahan maka CBR akan berkurang. Dari masing-masing kedalaman, terlihat bahwa membentuk satu garis yang sama.

5. KESIMPULAN

Zona aktif dari daerah citraland surabaya berada di kedalaman antara -1 m sampai -5 m. Dengan penambahan kadar air, maka parameter dari *swelling pressure*, *swelling potential* akan mengecil. Parameter dari kohesi qu dan CBR akan mengecil apabila terjadi penambahan kadar air. Secara umum, terlihat dari hasil percobaan akibat siklus *drying-wetting* menunjukkan bahwa nilai-nilai pada setiap kedalaman membentuk garis yang hampir berdekatan.

DAFTAR PUSTAKA

Alwan I (2010), Studi Pengaruh Variasi Kadar Air Terhadap Daya Dukung Pondasi Tiang Type *Friction Pile* Pada Tanah Ekspansif (Uji Model Tiang Baja Di Laboratorium), Tesis Program Magister Bidang Keahlian Geoteknik Jurusan FTSP-ITS Maret 2010

Badawi, S (2010), Studi Behaviour Of Expansive Undisturbedand Remolded Soil Under Drying-Wetting Cycle Of Citraland, Tesis Program Magister Bidang Keahlian Geoteknik Jurusan FTSP-ITS Maret 2010

Chen F. H, (1975), Foundation on Expansive Soils Elsevier Scientific Publishing Company.

Das, B.M., (1990), Principles of Foundation Engineering, PWS–KENT Publishing Company pp. 572 – 577.

Departemen Pekerjaan Umum (2000), Pedoman Konstruksi dan Bangunan, Penanganan Tanah Ekspansif untuk Konstruksi Jalan.

Fredlund, D.G. dan Rahardjo H., (1993), Soil Mechanics for the Unsaturated Soil, Jhon Wiley & Sons Inc, New York.

Hardiyatmo, H.C., (2002), *Mekanika Tanah I,* Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.

Indarto (1995), Metode Kertas Filter Untuk Menentukan Karakteristik Tegangan Air Pori Negatif pada Tanah, *Majalah IPTEK ITS*, Nopember 1995

Indarto (2011), Kelakuan Tanah Ekspansif dan Konsekwensinya terhadap Rekayasa Geoteknik, Prosiding Seminar Kegagalan Struktur Geoteknik, Kerjasama Laboratorium Uji Material – FTSP ITS, HATTI Komda Jatim, HAKI Komda Jatim Surabaya, Oktober 2011

Indarto (2008), Pathologie Pondasi dan Tantangan Bagi Industri Bangunan Sipil, Pidato Pengukuhan untuk Jabatan Guru Besar dalam Bidang Mekanika Tanah pada Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya,Oktober 2008

Indarto (2009), Peranan Variasi Kadar Air Terhadap Kestabilan Struktur Pondasi dan Geoteknik, Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Prasarana Wilayah Program Diploma Teknik Sipil, FTSP, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya Maret 2009.

Indarto (2008), Peranan Siklus Drying-Wetting terhadap Kegagalan Pondasi.Proceeding Seminar HATTI-2008, Bandung.

Nelson, J.D., Miller, D.J., (1992), Expansive soil, Problem and Practice in Foundation and Pavement Engineering, John Wiley & Son, Inc., USA

Sunarko V. (2008), Pengaruh pembasahan dan pengeringan pada tanah dasar jalan ekspansif yang distabilisasi terhadap daya dukung dan kuat tekan Tesis Program Magister Bidang Keahlian Geoteknik Jurusan FTSP-ITS Maret 2010

Sholeh M. (2009), Pengaruh pengeringan dan pembasahan pada tanah ekspansif yang distabilisasi dengan kapur dan bahan stabilisasi ecomix sc-100, Tesis Program Magister Bidang Keahlian Geoteknik Jurusan FTSP-ITS Maret 2010

MAKALAH
BIDANG TATA RUANG DAN WILAYAH

Seminar Nasional IX 2013
Teknik Sipil FTSP-ITS

JAYA KONSTRUKSI
Strive for the Best !

PT. JAYA KONSTRUKSI MANGGALA PRATAMA TBK

JASAMARGA
Indonesia Highway Corporation

PT. JASA MARGA (PERSERO) TBK

PENGARUH TATA LETAK PERMUKIMAN TEPIAN AIR TERHADAP PEMBENTUKAN POLA JALAN
Kasus : Permukiman Tepi Laut Mariso Makassar

Edward Syarif[1], Endang TS Darjosanjoto[2], I Gusti Ngurah Antaryama[3]

1) Jurusan Asitektur Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, Makassar, Telp. 0411-586265, Mahasiswa Program Doktor Pascasarjana Jurusan Arsitektur Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Surabaya, e-mail : edosyarif@yahoo.com
2) Pembimbing Utama Program Doktor Arsitektur, FTSP ITS, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya, Telp. 031-5927290, e-mail : endar@arch.its.ac.id
3) Pembimbing II Program Doktor Arsitektur, FTSP ITS, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya, Telp. 031-5927290, e-mail : antaryama@yahoo.co.uk

ABSTRAK

Permukiman Mariso merupakan permukiman yang terletak ditepi laut Makassar dan terbentuk karena proses perubahan area laut menjadi daratan yang dilakukan oleh masyarakat setempat. Proses reklamasi menyebabkan terbentuknya permukiman baru Mariso dan mempengaruhi pola permukiman. Tulisan ini mendeskripsikan pengaruh tata letak permukiman terhadap pembentukan pola jalan pada kawasan permukiman tepi laut Mariso sebagai konsekwensi permukiman padat yang terbentuk karena proses reklamasi. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode teknik analisa *diachronic reading* yang didukung oleh teknik analisa *typhomorphology* terhadap struktur ruang permukiman dan hasil penelitian sebelumnya. Hasil dari penelitian ini menjelaskan bahwa; *pertama*, proses reklamasi laut telah mempengaruhi tata letak permukiman tepi laut Mariso dan mempengaruhi pembentukan pola jalan. *Kedua*, pola jalan terbentuk mengikuti tata letak rumah yang terbentuk secara spontan oleh masyarakat Mariso sebagai akibat ketergantungan terhadap pantai. Tata letak dan pola jalan permukiman yang terbentuk di Mariso sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan dan interaksi sosial masyarakat dalam lingkungannya. Hasil dari kajian ini dapat menjadi usulan konsep untuk perbaikan permukiman pada kawasan reklamasi yang sesuai dengan karakteristik lingkungan dan masyarakat tepian air.

Kata Kunci : reklamasi, pola permukiman, pola jalan.

1. PENDAHULUAN

Sejarah perkembangan kota pantai (*historical waterfront*) menjelaskan bahwa kawasan perairan merupakan salah satu sarana dan wadah yang vital bagi kehidupan manusia dari dulu hingga sekarang [1]. Keadaan ini disusul dengan tumbuhnya sejumlah aktivitas lain yang juga cenderung memilih tempat di pantai mengakibatkan pantai menjadi kawasan yang sangat potensial, bernilai tinggi dan menjadi objek pembangunan.

Untuk memenuhi tuntutan kebutuhan akan lahan, kota-kota di pesisir pantai cenderung menambah luasan lahannya dengan mereklamasi pantai atau menimbun area laut dengan maksud untuk memperoleh lahan siap bangun. Perkembangan kota pantai akibat reklamasi telah menyebabkan perubahan morfologi permukiman tepian air. Disamping itu reklamasi pantai yang terbentuk secara spontan dan tidak terencana akan mengakibatkan terbentuk permukiman yang tidak teratur, padat dan terjadi perubahan garis pantai yang secara ekologis dapat merusak lingkungan tepian air dan memperburuk wajah kota.

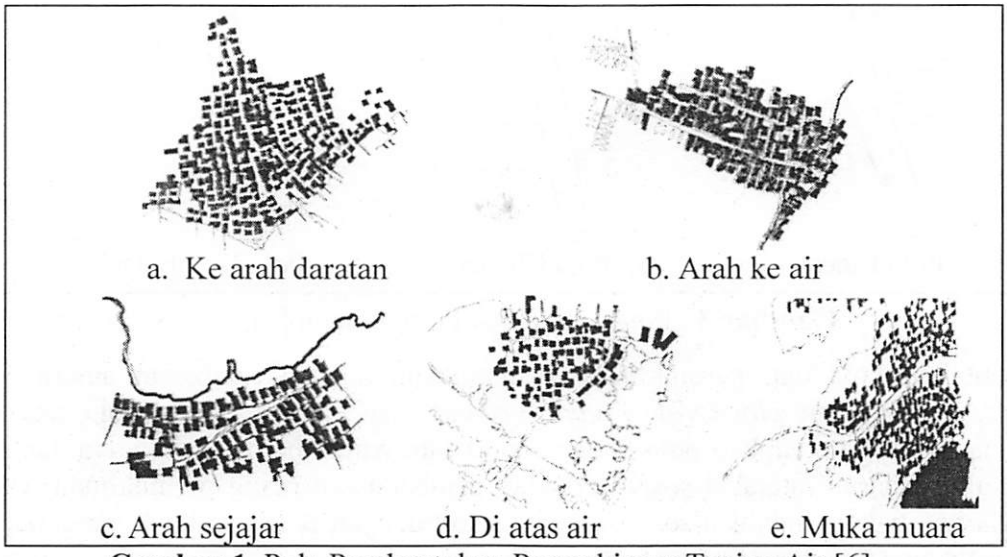
Fenomena yang terjadi di kawasan tepi laut Makassar menjelaskan bahwa penimbunan area laut yang dilakukan oleh masyarakat secara spontan menyebabkan terbentuknya permukiman baru dan telah mengubah bentuk permukiman tepian air Makassar. Masyarakat tidak lagi memperhatikan karakteristik lingkungan dan tidak mengindahkan peraturan bangunan setempat, sehingga muncul permukiman yang tidak teratur, padat, dan mengubah fungsi pantai. Laut yang dahulunya diperuntukkan sebagai jalur transportasi dan mata pencaharian bagi masyarakat nelayan berubah menjadi permukiman baru dan mengubah garis pantai. Reklamasi dan penimbunan laut juga telah menyebabkan perubahan tata letak permukiman dan mempengaruhi terbentuknya akses dan pola jalan baru pada permukiman Mariso. Pola jalan dalam hubungannya dengan pola pergerakan pada permukiman pesisir dipengaruhi oleh kondisi lingkungan dan kondisi sosial masyarakatnya [2].
Oleh karena itu tujuan penelitian ini adalah untuk mendeskripsikan pengaruh tata letak permukiman tepian air terhadap pembentukan pola jalan pada permukiman tepi laut Mariso sebagai konsekwensi permukiman yang terbentuk karena proses reklamasi.

2. DASAR TEORI

Kawasan tepian air (*waterfront*) adalah bentuk dari pengembangan struktur ruang kota (*urban*) yang berorientasi keperairan danau, sungai, laut yang bertujuan untuk memaksimalkan potensi dan karakteristik kotanya [3]. Permukiman tepian air adalah permukiman yang berada langsung di pinggir air, dimana permukiman tersebut secara maksimal dan efisien memanfaatkan potensi perairan yang ada di dekatnya [4].
Dampak reklamasi terhadap bentuk kota menyebabkan terjadinya perubahan konfigurasi spasial serta adanya hubungan antara karakteristik spasial dengan pergembangan kota yang secara keseluruhan menunjukkan sinkronisasi antara struktur pola pergerakan dan konteks kota yang lebih luas [5]. Hal ini memberikan argumen bahwa perubahan fisik kawasan tepian air karena proses reklamasi menggambarkan adanya hubungan dengan pola tata letak, konfigurasi spasial dan pola pergerakan permukiman tepian air.
Proses pembentukan permukiman tepian air dipengaruhi oleh aspek fisik lingkungan dan aspek non fisik. Secara fisik terbentuknya permukiman ditepi air dipengaruhi oleh keadaan topografi perairan yang membentuk pola jalan dan blok-blok bangunan. Pola pembentukan permukiman tepi air yaitu [6] :

a. Ke arah daratan (*inland water village*), pola pemukiman ini berkembang dari tepi air ke arah daratan.
b. Arah ke air (*outward water village*), pola pemukiman ini berkembang dari daratan ke tengah perairan. dan pemukiman ini didirikan diatas air berbentuk panggung.
c. Arah sejajar (*parallel water village*), pemukiman ini terbentuk dan berkembang mengikuti topografi tepian air, terbentuknya melalui proses alamiah dan organik.
d. Di atas air (*water village*), pemukiman ini terbentuk di atas air dan bangunan berbentuk rumah panggung.
e. Muka muara (*river mouth water village*), perkembangan pemukiman ini disepanjang muara sungai dan selat yang dapat dilintasi perahu.

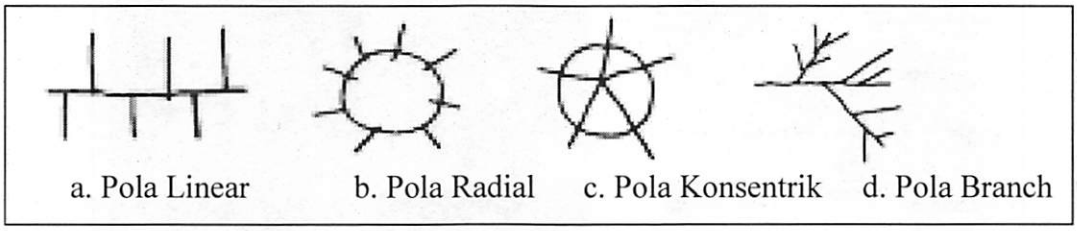
Pola pembentukan permukiman tepian air dapat dijelaskan pada gambar 1.



Gambar 1. Pola Pembentukan Permukiman Tepian Air [6]

Pola perkembangan ruang pada kawasan tepian air terbentuk sesuai dengan bentuk fisik lingkungannya. Pola morfologi yang terbentuk pada kawasan tepi air (*waterfront*) adalah [4] :

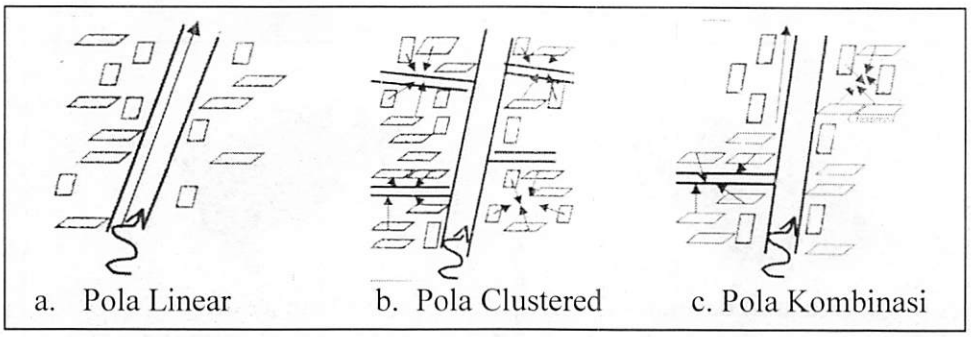
a. Pola linear adalah pola permukiman yang berbentuk menyebar dan memanjang sepanjang garis tepi air.
b. Pola radial adalah pola susunan ruang dan massanya mengelilingi suatu wilayah perairan.
c. Pola konsentrik merupakan pengembangan dari bentuk radial yang menyebar secara linear ke arah belakang dari pusat radial.
d. Pola branch adalah pola yang terbentuk karena adanya anak sungai dan kanal.



Gambar 2. Pola Morfologi Kawasan Tepi Air [4]

Terkait pola tata letak permukiman tepi air terhadap pembentukan pola jalan dapat dijelaskan sebagai berikut [7] :

a. Liniar merupakan pola tata letak permukiman yang memanjang pada tepi air dan jalan.
b. Clustered merupakan pola tata letak permukiman yang berbentuk mengelompok mengelilingi sesuatu yang dianggap memiliki nilai penting atau pengikat seperti ruang terbuka untuk aktivitas bersama.
c. Kombinasi merupakan pola gabungan antara pola liniar dan pola cluster yang menunjukkan bahwa selain ada pertumbuhan juga menggambarkan adanya pengembangan ruang untuk kepentingan lain.

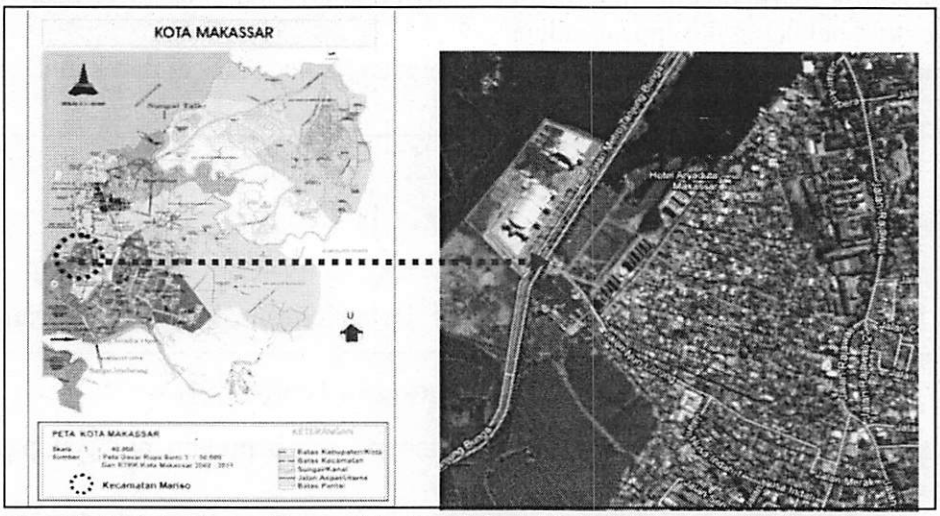


Gambar 3 : Pola Tata Letak Permukiman [7]

Pembentukan kota dan permukiman menunjukkan adanya rangkaian antara *figure ground*, *linkage* dan *place* [8]. *Figure ground* menekankan pada pola tata letak bangunan, *linkage* mengkaji pola pergerakan dalam wujud berupa pola jalan dan *place* mengkaji pengaruh interaksi sosial terhadap pembentukan ruang permukiman. Hal ini menjelaskan bahwa interaksi sosial sangat terkait dengan pola tata letak bangunan dan pembentukan pola jalan permukiman.

3. METODOLOGI

Penelitian dilakukan di kawasan permukiman tepi laut Mariso Kampung Mariso Kecamatan Mariso, Kota Makassar, Propinsi Sulawesi Selatan yang merupakan permukiman baru yang terbentuk karena adanya proses penimbunan dan perubahan area laut menjadi daratan.



Gambar 4. Letak Permukiman Mariso dalam Kota Makassar (MDA dan Google 2012)

Berdasarkan tujuan dari penelitian ini akan mendeskripsikan pengaruh perubahan bentuk permukiman tepian air terhadap pola pergerakan, maka akan digunakan teknik analisa *diachronic reading* yang didukung oleh teknik analisa *typhomorphology*. Untuk mengetahui perkembangan permukiman dilakukan dengan penelusuran membaca perkembangan permukiman dengan menggunakan teknik pembacaan data secara diakronik berdasarkan peta dari beberapa tahun sebelumnya [9]. Selanjutnya Teknik analisa tipomorfologi digunakan untuk mendiskripsikan mengenai tipologi yang

ditunjukkan oleh berbagai artefak kota, misalnya jalan, bangunan, ruang luar dan sebagainya. [9].

4. HASIL dan DISKUSI

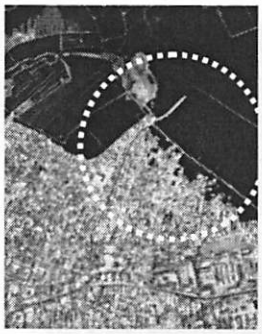
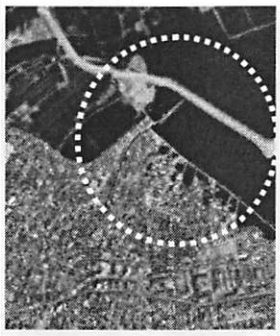
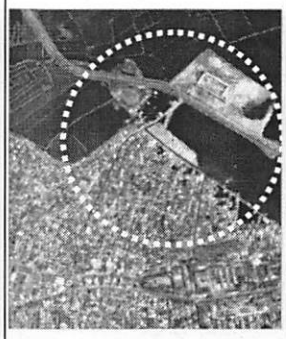
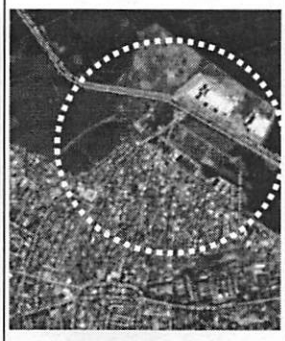
4.1. Pola Perkembangan Permukiman Mariso

Permukiman Mariso berada sebelah barat kota Makassar dan terletak di tepi laut teluk losari yang berkembang karena ketergantungan masyarakat terhadap pantai dalam hal ini masyarakat nelayan dan lokasi yang dekat dengan pusat kota sehingga banyak masyarakat yang memilih tinggal dan bekerja di Mariso. Permukiman Mariso terbentuk dan berkembang akibat reklamasi yang dilakukan oleh masyarakat setempat hingga membentuk permukiman baru.

Berdasarkan teori pola perkembangan permukiman tepian air [6], maka pola perkembangan permukiman tepi laut Mariso berbentuk arah ke air, dengan pertumbuhan dari daratan ke laut.

Pola perkembangan permukiman Mariso dapat dijelaskan pada tabel 1.

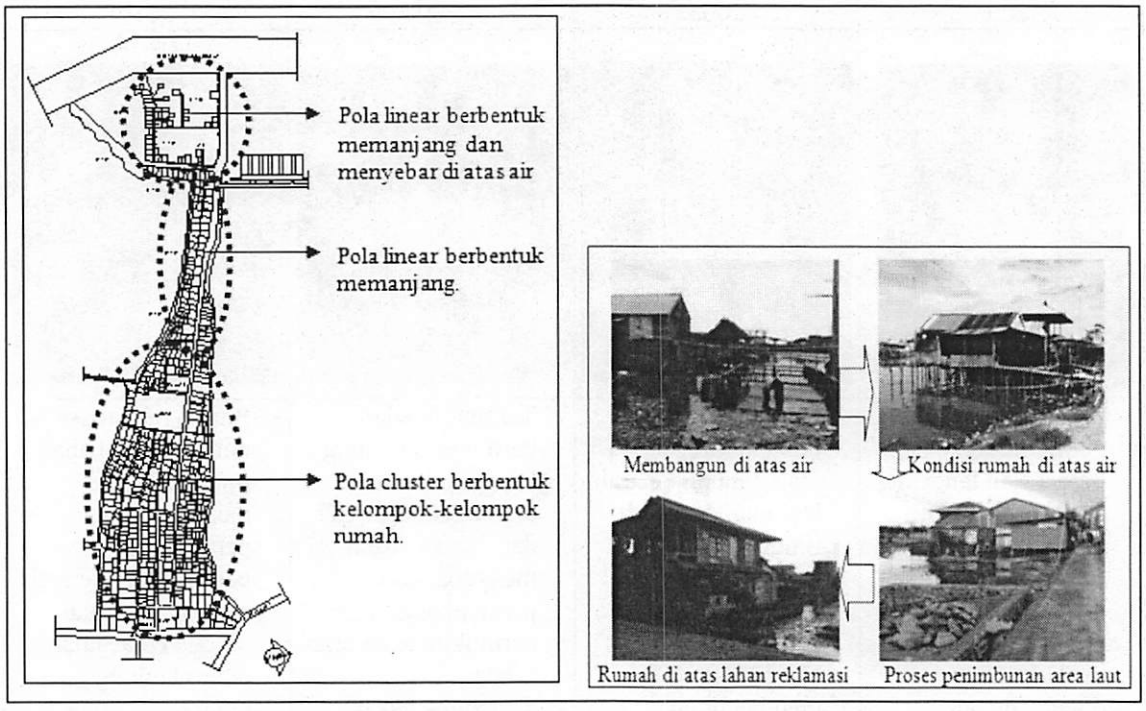
Tabel 1. Pola Perkembangan Permukiman Tepi Laut Mariso

TAHUN PERKEMBANGAN 2003	TAHUN PERKEMBANGAN 2005	TAHUN PERKEMBANGAN 2007	TAHUN PERKEMBANGAN 2011
			
- Awalnya permukiman berbatasan langsung dengan tepi laut. - Permukiman berkembang dari arah daratan ke arah laut atau dari arah timur ke barat, diawali dengan terbentuknya rumah diatas air secara menyebar. - Terjadi perubahan fungsi, laut menjadi permukiman.	- Permukiman berkembang dari arah daratan ke arah laut atau dari arah timur ke barat mengisi area laut. - Terbentuk jalan baru metro tanjung bunga yang membelah laut, sehingga permukiman menjadi tertutup.	- Terbentuk jalan baru metro tanjung bunga, reklamasi untuk gedung CCC dan rumah susun menyebabkan perkembangan permukiman ke arah selatan. - Terbentuk akses baru yang menghubungkan permukiman dengan jalan baru metro tanjung bunga, sehingga permukiman menjadi terbuka.	- Proses reklamasi untuk penambahan rumah susun menyebabkan permukiman berkembang ke arah barat dan selatan hingga batas jalan metro tanjung bunga. - Terjadi perubahan fungsi laut yang semula sebagai sumber mata pencaharian dan transportasi berubah menjadi area permukiman.

Tabel 1 menjelaskan bahwa proses pemadatan areal laut menjadi permukiman di Mariso, dimana pada tahun 2003 letak permukiman Mariso berbatasan langsung dengan pesisir pantai teluk losari. Permukiman Mariso berkembang ke arah pantai dengan pola perkembangan memanjang dari daratan ke arah laut membentuk permukiman baru dan merubah garis pantai. Dampak dari reklamasi di Mariso adalah ; 1) perubahan luas wilayah, 2) perubahan tata letak bangunan dan jaringan jalan, 3) perubahan fungsi kawasan menjadi permukiman, 4) terjadi kepadatan 64 % melebihi Peraturan Ditjen Cipta Karya, 2002 (kepadatan pada kawasan tepi air maksimum 25 %), dan 5) muncul bangunan tidak teratur, berderet rapat dan tidak memperhatikan garis sempadan pantai (Kepres 32, 1990 berjarak 100 meter).

4.2. Pola Tata Letak Permukiman Mariso

Berdasarkan teori tata letak permukiman tepi air maka pola tata letak [7], maka pola tata letak pemukiman yang terbentuk pada permukiman Mariso merupakan kombinasi dari dua pola yaitu pola linier dan pola cluster. Pola linear terbentuk mengikuti pertumbuhan rumah yang memanjang ke arah laut akibat pengaruh pola aktifitas masyarakat nelayan, sedangkan pola cluster terbentuk dari kelompok-kelompok rumah karena faktor kekerabatan. Untuk lebih jelasnya pola tata letak dan proses terbentuknya permukiman Mariso dapat dilihat dalam gambar 5.

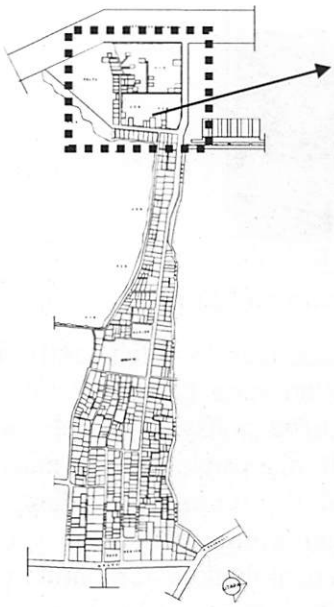
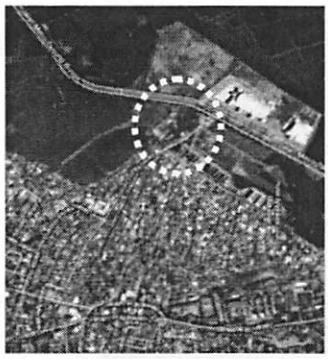
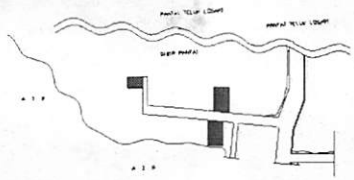
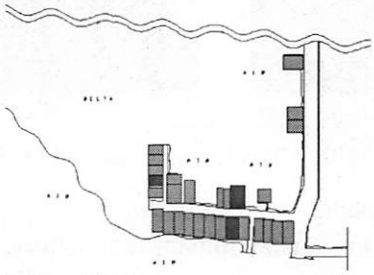
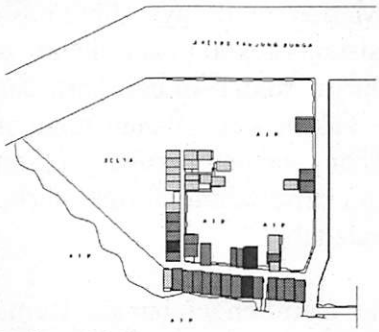
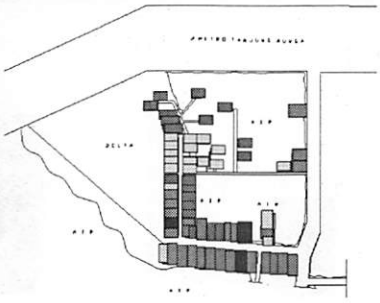


Gambar 5. Pola Tata Letak dan Proses Terbentuknya Permukiman Tepi Laut Mariso

Pola tata letak rumah yang terjadi di permukiman Mariso di awali dengan terbentuknya rumah-rumah di atas air secara menyebar kemudian berkembang secara linear ke arah laut dengan pola permukiman berbentuk memanjang dan terbentuk cabang-cabang.. Pola jalan yang terbentuk awalnya mengikuti pola tata letak rumah yang berkembang menjadi jalan lingkungan sebagai akses dalam permukiman. Terbentuknya pola jalan tersebut juga mempengaruhi pola tata letak rumah dalam permukiman Mariso.

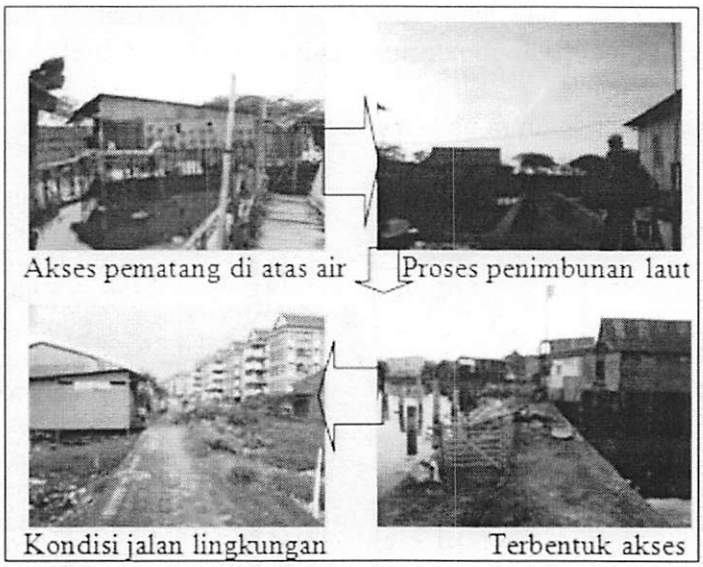
Untuk lebih jelasnya proses tata letak rumah pada permukiman Mariso dapat dilihat pada tabel 2. Proses tata letak rumah permukiman Mariso dapat dijelaskan pada tabel 2.

Tabel 2. Proses Tata Letak Rumah pada Permukiman Tepi Laut Mariso

Tata letak rumah tahun 2000 – 2012  	Tahun 2000  Tahun 2004  Tahun 2010  Tahun 2012 	- Awalnya permukiman berada di atas air, di awali munculnya rumah milik Pak Karim, Dg. Sikki dan Dg.Tobo di atas air dengan akses pematang bambu. - Permukiman berkembang ke arah selatan, kemudian berkembang memanjang ke arah barat. - Awalnya akses ke rumah dijangkau dengan jalan pematang bambu di atas air, kemudian berkembang menjadi pola jalan baru. - Adanya pembangunan jalan baru Metro Tanjung Bunga menyebabkan terbentuk akses baru masuk ke permukiman yang menghubungkan permukiman dengan jalan lingkungan. - Terbentuk jalan baru yang membelah area air untuk menghubungkan permukiman yang berada di selatan permukiman dengan jalan lingkungan menyebabkan terjadi perubahan orientasi rumah ke arah jalan baru yang terbentuk.

4.2. Pembentukan Pola Jalan Permukiman Mariso

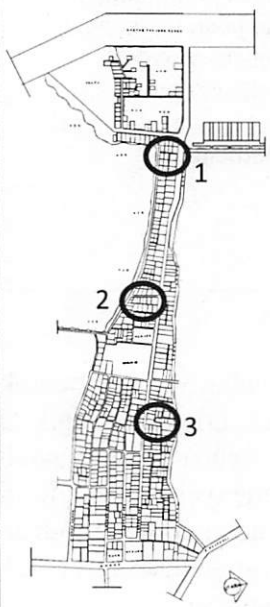
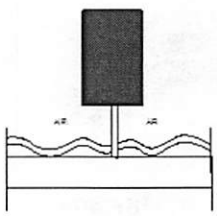
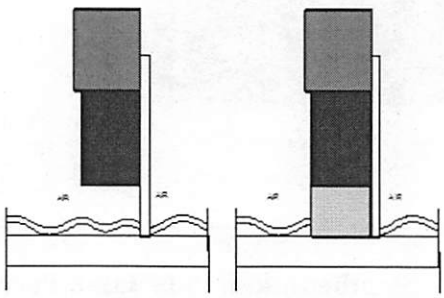
Berdasarkan teori pola jalan permukiman tepian air [4], maka pola jalan yang terbentuk pada permukiman tepi laut Mariso berbentuk linear dan berbentuk branch mengikuti tata letak rumah. Pola jalan terbentuk secara spontan dan tidak terencana yang di awali dengan terbentuknya akses jalan pematang di atas air secara menyebar mengikuti pertumbuhan kelompok rumah. Kemudian berkembang karena adanya penimbunan lahan sehingga membentuk jalan baru menghubungkan pola jalan yang sudah terbentuk sebelumnya. Proses terbentuknya pola jalan dapat dijelaskan pada gambar 7.



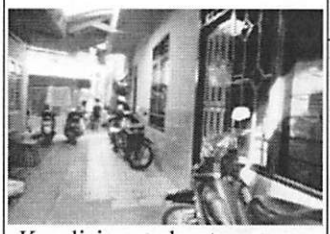
Gambar 6. Proses Terbentuknya Pola Jalan di Permukiman Mariso

Pola jalan yang terbentuk pada permukiman Mariso dipengaruhi oleh aktifitas masyarakat nelayan dan interaksi sosial mastarakat. Pola jalan yang berbentuk linear dan memanjang ke arah pantai merupakan gambaran pola aktifitas masyarakat nelayan. Disamping itu permukiman Mariso umumnya dihuni oleh masyarakat yang masih bertalian keluarga sehingga sistem kekerabatan dalam hal ini ingin dekat dengan keluarga menyebabkan tumbuhnya rumah-rumah baru dengan komposisi rumah yang rapat dan membentuk lorong. Faktor kekerabatan telah mengakibatkan terbentuknya pola permukiman berbentuk cabang-cabang berupa gang tembus dan gang buntu akibat yang mempengaruhi akses dalam permukiman. Proses terbentuknya akses karena faktor kekerabatan dapat dijelaskan pada tabel 3.

Tabel 3 : Akses Yang Terbentuk Dari Pengembangan Rumah Karena Kekerabatan

LETAK	BENTUK AWAL	BENTUK PERUBAHAN
	Kasus 1 	
	- Awalnya rumah induk terletak diatas air dengan akses jalan pematang. - Kemudian berkembang rumah anak di belakang dan didepan. - Terbentuk akses jalan samping dan menjadi pola jalan lingkungan.	

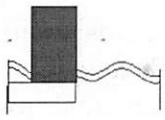
Batas rumah, jalan dan laut

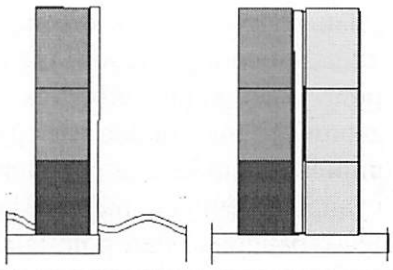


Kondisi gang buntu

Kondisi gang tembus

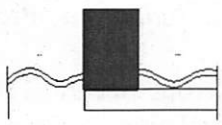
Kasus 2

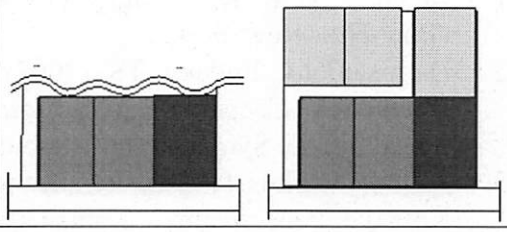




- Awalnya berdiri rumah induk di atas air dengan akses jalan pematang.
- Kemudian terbentuk rumah keluarga di belakang dan samping rumah induk dalam kapling dengan akses jalan tengah.
- Terbentuk akses jalan berupa gang tembus yang menghubungkan dengan jalan lingkungan.

Kasus 3





- Awalnya rumah induk terletak diatas air dengan akses jalan pematang
- Kemudian terbentuk rumah keluarga disamping dan dibelakang pada batas kapling.
- Terbentuk akses gang diantara rumah dan menjadi pola jalan lingkungan.

Pada tabel 3 dapat dijelaskan bahwa akses gang terbentuk karena adanya penambahan rumah-rumah anggota keluarga dalam kapling rumah induk. Rumah baru yang terbentuk tersebut mengelilingi rumah induk dengan jalan gang sebagai akses. Gang yang terbentuk adalah gang buntu dan gang tembus yang kemudian berubah menjadi akses jalan lingkungan. Disamping itu gang-gang juga dimanfaatkan sebagai area untuk bermain bagi anak-anak dan sebagai ruang sosial. Terbentuknya gang-gang sempit akan berdampak pada terbatasnya pola pergerakan dalam permukiman.

5. KESIMPULAN

Permukiman Mariso merupakan permukiman yang terbentuk dan berkembang akibat reklamasi area laut yang dilakukan oleh masyarakat setempat. Reklamasi menyebabkan terbentuknya permukiman baru Mariso dengan pola perkembangan ke arah air berbentuk memanjang dari daratan ke arah laut. Reklamasi juga mempengaruhi pola tata letak permukiman dan mempengaruhi pembentukan pola jalan. Pola tata letak permukiman Mariso berbentuk linear dan berbentuk cluster, sedangkan pola jalan

berbentuk linear memanjang dan membentuk cabang mengikuti pola tata letak rumah. Pola jalan yang terbentuk dipengaruhi oleh tata letak rumah dan sebaliknya pola tata letak rumah juga dipengaruhi oleh terbentuknya pola jalan. Pola tata letak permukiman dan pola jalan yang terbentuk dipermukiman tepi laut Mariso dipengaruhi oleh ketergantungan masyarakat terhadap pantai dan sistem kekerabatan dalam hal ini senang berkumpul. Sistem kekerabatan telah menyebabkan terbentuknya gang tembus dan gang buntu yang berkembang menjadi jalan lingkungan.

Tata letak bangunan dan pola jalan yang terbentuk pada permukiman tepi laut Mariso terbentuk secara spontan dan tidak teratur sehingga mempengaruhi kenyamanan pergerakan dalam permukiman. Oleh sebab itu dalam mengelola dan mengembangkan kawasan permukiman tepian air hendaknya dapat mempertimbangkan karakteristik lingkungan dan kondisi sosial masyarakatnya. Disamping itu diperlukan aturan-aturan yang cukup jelas untuk melakukan penataan dan pemeliharaan lingkungan permukiman tepian air.

6. DAFTAR PUSTAKA

1. Breen, Ann & Dick Rigby (1994), *Waterfront-Cities Reclaim Their Edge*. Mc. Graw-Hill, New York.
2. Darjosanjoto, Endang TS (2007), *Permeability Maps of Residential Settlemets Within The Coastal Area of Surabaya, Indonesia*, Proceedings, 6th International Space Syntax Symposium, İstanbul.
3. Zahnd, Markus (1999), Perancangan Kota Secara Terpadu : Teori Perancangan Kota dan Penerapannya, Kanisius, Yogyakarta.
4. Rahman, Hendra (2006), *Pola Penataan Zona, Massa dan Ruang Terbuka Pada Perumahan Waterfront*, Jurnal Dimensi Teknik Arsitektur Petra Vol 34 No. 2, Surabaya.
5. Feng Chen, et al. (2012), *The Morphological Evolution Of Macau,* Proceedings: Eighth International Space Syntax Symposium, Santiago de Chile.
6. Hassan, Ahmad Sanusi (2010), *Reviews On Old City Landscape With Reference to Traditional Fishing Village Settlements in Western Coastal Region, Peninsular Malaysia*, Journal of Human Settlements, Vol. 2 July 2010, Bandung.
7. Kostof, Spiro, *The City Shaped*, 1991, MIT Press, New York.
8. Trancik, Roger (1986), *Finding Lost Space*, VNR Company, New York
9. Darjosanjoto, Endang TS (2006), *Penelitian Arsitektur di bidang Perumahan dan Permukiman*, ITS Press, Surabaya.

PEMAHAMAN TENTANG AKSESIBILITAS DALAM KONTEKS MORFOLOGI PERKOTAAN PADA LAHAN BERKONTUR

Kota Donggala, Sulawesi Tengah sebagai Referensi Lokasi

Asyra Ramadanta [1], Endang T.S. Darjosanjoto [2], I Gusti Ngurah Antaryama [3]

[1]*Jurusan Arsitektur, Fakultas Teknik, Universitas Tadulako, Kampus Bumi Tadulako Tondo, Palu, Telp. 0451-422611, Mahasiswa Program Doktor Arsitektur FTSP, ITS, email: a.ramadanta2@gmail.com*
[2]*Pembimbing Utama, Program Doktor Arsitektur, FTSP, ITS, Kampus ITS Sukolilo Surabaya, Telp. 031- 5927290, email: endar@arch.its.ac.id*
[3]*Pembimbing II, Program Doktor Arsitektur, FTSP, ITS, Kampus ITS Sukolilo Surabaya, Telp. 031- 5927290, email: antaryama@arch.its.ac.id*

ABSTRAK

Kawasan perkotaan pada lahan berkontur memerlukan beberapa pertimbangan dalam penataannya, berkaitan dengan keterhubungan antar ruang di dalam kawasan perkotaan. Keterhubungan tersebut meliputi interaksi antar ruang yang mengacu pada jalur pergerakan secara fisik dan jangkauan pengamatan antar bagian kawasan secara visual. Interaksi antar ruang berdasarkan pergerakan menentukan sejauh mana bagian ruang dapat dilintasi secara fisik, sedangkan interaksi visual berhubungan dengan pengamatan terjauh dan terluas dari pengguna terhadap bagian lain dari kawasan. Keterhubungan yang dimaksud diungkapkan melalui penjelasan tentang akses sebagai media penghubung antar ruang pada kawasan perkotaan yang dipengaruhi oleh perletakan bangunan dan ruang terbuka berdasarkan kondisi bentang alam kawasan perkotaan,

Tulisan ini merupakan kajian literatur sebagai bagian dari penelitian disertasi pada Program Doktor Arsitektur FTSP-ITS. Kajian ini dimaksudkan untuk mengisi celah pengetahuan tentang aksesibilitas dalam konteks ruang perkotaan. Kajian ini bertujuan untuk menjelaskan aspek keterhubungan antar ruang kota dalam wujud aksesibilitas melalui pola pemanfaatan yang mempengaruhi morfologi ruang kotanya. Pembahasan tentang peranan aksesibilitas dalam menentukan perubahan ruang perkotaan diungkapkan melalui penerapannnya pada lahan berkontur. Secara umum aksesibilitas pada kawasan perkotaan dapat dijelaskan melalui pola jalan sebagai salah satu elemen morfologi.

Metode yang digunakan dalam pengungkapan gagasan tentang keterkaitan antara aksesibilitas dan morfologi perkotaan dilakukan dengan cara mengelaborasi teori. Elaborasi teori dirumuskan dari berbagai pemahaman tentang aksesibilitas dalam kajian morfologi perkotaan dengan referensi lokasi pada kawasan berkontur untuk menjelaskan kajian awal terhadap subyek penelitian.

Hasil penelitian ini akan menjelaskan pemahaman tentang aksesibilitas dari sudut pandang sebagai "jalur penghubung" dan sebagai "ruang yang dihubungkan". Berdasarkan perspektif pemahaman tersebut akan menjelaskan peranan aksesibilitas sebagai indikator dari jaringan perkotaan melalui fungsinya sebagai media penghubung secara fisik berdasarkan pergerakan dan secara visual berdasarkan keleluasaan pengamatan.

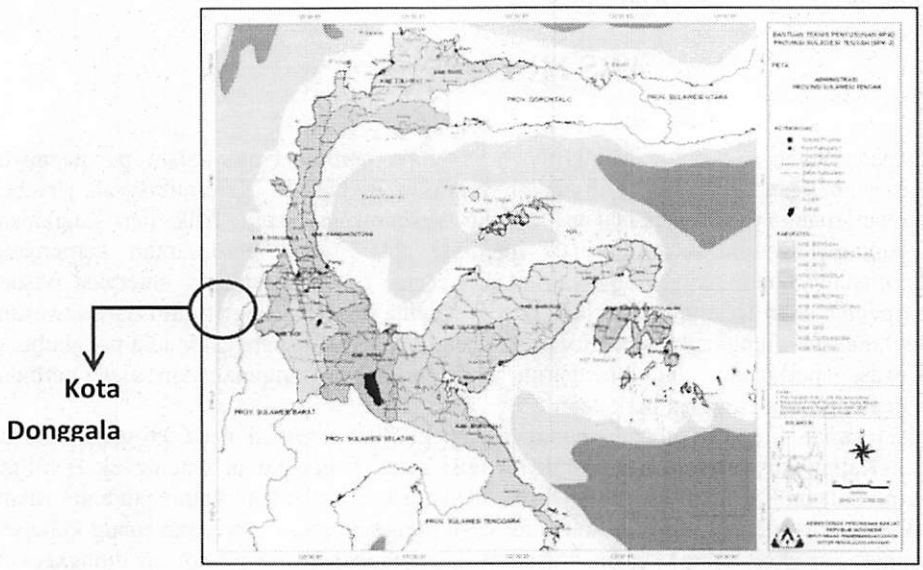
Kata kunci: Aksesibilitas, Kontur, Morfologi, Ruang Kota

1. PENDAHULUAN

Pengaturan ruang kota berhubungan dengan konfigurasi yang memiliki pengertian sebagai hubungan antar ruang yang melibatkan ruang lainnya. Konfigurasi berperan dalam mewujudkan tatanan dan struktur ruang kota yang efisien. Untuk mewujudkan struktur ruang kota yang efisien, dikemukakan beberapa dasar teori yang relevan dengan kondisi empiris pada lokasi penelitian. Hillier mengemukakan bahwa,

tatanan konfigurasi ruang berkorelasi positif dengan intensitas pemanfaatannya [7]. Dasar teori yang dikemukakan berhubungan dengan karakteristik pemanfaatan ruang kota pada lahan berkontur. Salah satu komponen konfigurasi adalah keterhubungan yang akan dijelaskan dalam pemahaman aksesibilitas selain yang terkait dengan ranah transportasi, dimana aksesibilitas dijelaskan sebagai indikator dari jalan sebagai wadah pergerakan yang merupakan elemen morfologi.

Sebagai referensi lokasi pada penelitian ini adalah Kota Donggala yang merupakan ibukota Kabupaten Donggala di Propinsi Sulawesi Tengah sebagaimana ditampilkan pada Gambar 1. Kota Donggala menunjukkan fenomena yang berhubungan dengan kajian empiris tentang pergerakan antar ruang yang direpresentasikan oleh hubungan antara aktifitas dan bentuk fisik kota, dimana pergerakan antar ruang tidak berlangsung pada bidang datar melainkan pada kawasan perkotaan dengan karakteristik permukaan yang berkontur, sebagaimana ditampilkan pada Gambar 2.



Gambar 1: Peta Orientasi Geografis Kabupaten Donggala
Sumber: http://www.perkim.sultengprov.go.id ; diunduh 22/01/2013 ; 13:06

Gambar 2: Peta 3D Kota Donggala
Sumber: *Google Earth* ; diunduh 19/05/2012 ; 08:27 WIB

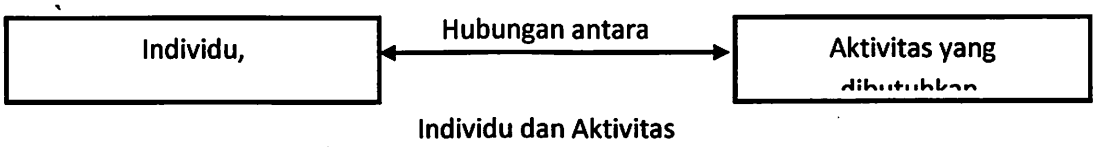
Dalam hal pemenuhan kebutuhan ruang bagi aktifitas perkotaan, dibutuhkan pertimbangan khusus terhadap hubungan antar ruang kota dan karakteristik pemanfaatannya. Pertimbangan tersebut harus melibatkan karakteristik bentang bentang alam. Aksesibilitas dipahami sebagai kemampuan untuk menghubungkan sebuah ruang kota dengan ruang kota yang lainnya. Sebagai penghubung antar ruang kota, aksesibilitas tidak hanya dinterpretasikan sebagai jalur pergerakan secara fisik tetapi juga secara visual. Aksesibilitas merupakan wujud dari kualitas hubungan antar ruang yang menentukan pola pemanfaatan dan aktifitas perkotaan.

2. DASAR TEORI

Definisi Aksesibilitas

Aksesibilitas dapat didefinisikan secara sederhana sebagai kondisi di mana kegiatan dapat dicapai, seperti pusat perdagangan dan jasa, serta pelayanan publik yang mencerminkan kebutuhan masyarakat. Pengukuran jarak adalah cara yang paling sederhana untuk mengukur aksesibilitas, menghitung jarak dari satu lokasi ke beberapa peluang yang berbeda, di mana waktu merupakan biaya yang paling utama. Pertimbangan terhadap aksesibilitas tidak hanya sebagai ukuran jarak sekaligus sebagai ukuran konektivitas, tetapi jarak juga merupakan sumber daya. Aksesibilitas adalah atribut yang terdiri dari orang dan barang lebih dari sekedar moda transportasi atau penyediaan jasa, dan menggambarkan sistem yang terintegrasi dari sudut pandang pengguna [6].

Terdapat tiga komponen utama yang membentuk aksesibilitas, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3: Tiga Komponen Primer Pembentuk Aksesibilitas
Sumber: Halden et.al (2005)

Dalam membangun pemahaman tentang aksesibilitas, Halden dkk. mengemukakan beberapa kesimpulan berdasarkan definisi aksesibilitas dari beberapa penulis sebagaimana ditampilkan pada tabel 1.

Tabel 1: Rangkuman dari beberapa definisi tentang aksesibilitas [6]

Penulis	Definisi	Kesimpulan terhadap Pengertian aksesibilitas
Litman, 2003a	Aksesibilitas mengacu pada kemampuan daan kesempatan untuk mencapai tempat yang diinginkan. Aksesibilitas bergantung pada mobilitas, pergantian mobilitas, dan kesempatan.	Kebutuhan untuk mempertimbangkan ketersediaan moda, kenyamanan dan keamanan dan seluruh aktifitas potensial berdasarkan penggunaan lahan. Pentingnya pemahaman komponen aksesibilitas berdasarkan definisi "kemampuan dan keterjangkauan terhadap aktifitas dan tujuan" .
David Simmonds Consultancy et al (1998)	Sebuah cara untuk mengukur kemudahan berdasarkan kategori khusus dari tiap orang untuk dapat mencapai tujuan dari tempat asalnya (aksesibilitas asal), atau kemudahan	Tiap orang memiliki tingkat aksesibilitas yang berbeda yang didefinisikan berdasarkan "kategori khusus dari tiap orang yang berbeda"

	berdasarkan tujuannya (aksesibilitas tujuan) dengan kemampuan individu.	
SEU Report, 2003	Kemampuan dan kemudahan untuk memperoleh pelayanan dengan alasan biaya dan kemudahan waktu.	Kata kunci "kemampuan" dan "beralasan" perlu didefinisikan lebih lanjut.
DfT, 2001	Kesulitan dalam naik turun kendaraan, item bawaan, dan kesulitan penggunaan oleh penyedia jasa.	Akses fisik terhadap kendaraan dan kebutuhan pengguna perlu dipahami oleh penyedia transportasi
Geurs et al, 2001	Perluasan terhadap kemungkinan guna lahan dan sistem transportasi untuk sekelompok individu atau barang untuk mencapai aktifitas atau tujuan yang menggabungkan moda transportasi.	Aksesibilitas adalah pertimbangan terbaik dengan menggabungkan beberapa aspek tinjauan terhadap moda.
Ross, 2000	Kemudahan untuk mencapai beberapa tujuan, termasuk asumsi biaya dalam pengertian waktu dan jarak perjalanan, tingkat kenyamanan, ketersediaan dan kelayakan transportasi publik.	Realitas dan prakiraan terhadap beberapa penghalang merupakan hal penting.
Gray, 1989	Pengukuran terhadap akses relatif dari sebuah kawasan atau zona untuk populasi, pekerjaan, kesempatan dan pelayanan komunitas.	Perbandingan aksesibilitas dapat menjadi penting pada tingkatan yang mutlak.
Handy, 2004	Kemampuan untuk memperoleh sesuai yang diinginkan berdasarkan pilihan tujuan dan moda.	"Kebutuhan" dan "kondisi ideal terhadap pilihan" merupakan konsep yang penting.

Berdasarkan beberapa definisi yang merangkum pemahaman tentang aksesibilitas [6], pada tabel 1 pembahasan aksesibilitas mengacu pada kemudahan, kemampuan, hambatan dan kesempatan yang berkaitan dengan keterjangkauan terhadap sebuah objek dalam pengertian yang umum. Selain beberapa definisi tentang aksesibilitas yang dikemukakan pada tabel 1, penulis merangkum beberapa definisi lain tentang aksesibilitas yang membahas tentang kemampuan, pencapaian, keterjangkauan dan keterhubungan terhadap tempat tertentu yang secara khusus mengacu pada lokasi, sebagaimana ditampilkan pada tabel 2.

Tabel 2: Beberapa definisi aksesibilitas yang dirangkum oleh penulis

Penulis	Definisi	Kesimpulan terhadap Pengertian Aksesibilitas
Evans, 2009	Aksesibilitas berhubungan dengan kemampuan untuk menjangkau fasilitas sosial, rekreasi atau lokasi pekerjaan dari rumah atau asal termasuk terhadap jalur pejalan kaki dan sistem transportasi [5].	Aksesibilitas dan mobilitas dalam lingkungan perkotaan ditentukan oleh desain dan tata letak bangunan serta infrastruktur jalan, berhubungan dengan kemampuan untuk mencapai berbagai fasilitas dan karena itu menyangkut pejalan kaki dan sistem transportasi
Topçu, 2009	Aksesibilitas berfokus pada akses ke CBD, sub-pusat kegiatan ekonomi dan, fasilitas sosial, potensi sumber daya, tempat rekreasi, area prestise dan sarana perkotaan di sepanjang dan sekitar koridor utama [11].	Untuk mengevaluasi setiap hubungan parameter lahan dan nilai aksesibilitas digunakan nilai integrasi spasial untuk menunjukkan karakteristik organisasi spasial kota yang memungkinkan untuk mengomentari kualitas ruang dan aksesibilitas

Carr, 1995	Akses visual atau visibilitas diperlukan untuk membuat orang merasa bebas untuk memasuki sebuah ruang. Visibilitas memungkinkan orang untuk memperkirakan tingkat keamanan atau penerimaan untuk memasuki sebuah ruang [2].	Secara umum, sebuah ruang yang lebih terlihat semakin dianggap sebagai ruang publik. Selain akses visual, juga terdapat derajat akses yang didefinisikan berdasarkan penghalang, bagaimana ruang terlihat atau tersembunyi, yang dapat dilihat dari titik tertentu
Mohamed, 2012	Penjabaran akses melalui keterhubungan antar bagian kota yang dikemukakan berdasarkan definisi menurut Lynch (1960) melalui keterbacaan ruang kota sebagai "kemudahan" dimana bagiannya dapat dikenali dan diatur dalam sebuah pola yang koheren [9].	Aksesibilitas dan visibilitas digunakan untuk membentuk ruang arsitektur, menciptakan perbedaan antara unsur-unsur mengenai hierarki, kenampakan dan keterbacaan

Tabel 1 berorientasi pada definisi akses sebagai media penghubung dengan tingkat kemudahan sebagai parameter, sedangkan tabel 2 berorientasi pada aspek ruang yang dihubungkan dengan dengan nilai integrasi sebagai parameter pemanfaatan ruang yang efisien berdasarkan kualitas keterhubungan antar ruang perkotaan.
Dari perbandingan kedua tabel tersebut dapat disimpulkan bahwa akses dan aksesibilitas dapat ditinjau dari dua perspektif, pertama; sebagai media penghubung yang berhubungan dengan pencapaian antar segmen perkotaan dan kedua; berdasarkan perpektif ruang yang dihubungkan melalui kualitas keterhubungan berdasarkan pola jalan yang membentuk jaringan perkotaan, keleluasaan visual untuk tujuan kejelasan dan orientasi. Lebih lanjut dengan mengelaborasi kedua perspektif pemahaman tersebut merupakan dasar untuk membahas pengaruh aksesibilitas dalam perubahan wujud fisik kawasan perkotaan.

Aksesibilitas dan Jaringan Perkotaan dalam Konteks Morfologi Perkotaan
Dalam hubungannya dengan morfologi perkotaan aksesibilitas yang diterjemahkan berdasarkan kualitas hubungan antar ruang di dalam kawasan perkotaan dapat dijelaskan melalui pengamatan terhadap jalur jalan yang menyusun jaringan perkotaan.
Jalur jalan merupakan hubungan jaringan, dimana kita mengamati bagian struktur dan hirarki yang tepat. Pengamatan terhadap hubungan, dan topologi hubungan-hubungan diuraikan ke dalam tiga hal prinsip, yang dinyatakan sebagai berikut [12]:

a) ***Nodes*/simpul** ; Jaringan perkotaan merupakan magnet pada simpul-simpul kegiatan dimana saling keterhubungan membentuk jaringan. Unsur-unsur alam dan arsitektur menyediakan atau memperkuat simpul kegiatan dan jalur penghubung, jaringan menentukan jarak dan perletakan bangunan.
b) ***Connections*/hubungan** ; Hubungan antar bagian membentuk simpul komplementer, dimana jalur pejalan kaki yang terdiri dari penggal jalan yang pendek di antara simpul tidak boleh melebihi panjang maksimum tertentu. Untuk mengakomodasi beberapa hubungan antara dua titik, beberapa jalan berbentuk melengkung atau tidak teratur. Jalur yang ideal didefinisikan secara jelas oleh batas tepi antara wilayah datar dan bentuk-bentuk di sepanjang perbatasan.
c) ***Hierarchy*/jenjang** ; jaringan perkotaan mengorganisir sendiri bagiannya dengan menciptakan hirarki hubungan pada beberapa tingkatan skala yang berbeda, mulai dari skala terkecil (jalan setapak) menuju ke skala yang lebih besar (peningkatan kapasitas).

Dimensi morfologi desain perkotaan meliputi tata letak dan konfigurasi bentuk dan ruang perkotaan. Morfologi berasal dari beberapa elemen kunci, termasuk ruas jalan, tipe jalan, penggunaan lahan dan pengembangan pola struktur Unsur-unsur yang berhubungan langsung dengan bentuk perkotaan dan ruang seperti pola jalan, skala dan kepadatan, *walkability*, arsitektur, serta moda transit dan pelayanan menentukan karakter dari masing-masing lingkungan [8].

Aksesibilitas pada Lahan Berkontur

Kondisi alami perkotaan sering dianggap menghambat pengembangan atau menjadi rintangan, seperti dalam hal banjir atau tanah longsor. Untuk itu dibutuhkan pertimbangan terhadap hubungan antara alam dan urbanitas [3]. Pada lahan berkontur kualitas dan sifat lahan, secara umum akan mempengaruhi ukuran bangunan dan lingkungan binaan dengan cara mengatur "hubungan" antara satu dengan yang lainnya. Lereng alami dengan kemiringan di atas 30% akan menciptakan hubungan internal yang penting terutama dalam hal akses. Hal tersebut dapat menjadi potensi visual melalui ungkapan lain dari kawasan berdasarkan keterhubungan secara visual, tergantung pada ketinggian permukaan. Kualitas alam seperti ini merupakan cara terbaik untuk mengamati bagian kawasan pada skala yang sesuai [3].

Berbeda dengan pemahaman aksesibilitas pada lahan datar yang relatif memiliki lebih banyak peluang dan alternatif dalam hal penataan dan pemanfaatannya, pada lahan berkontur memerlukan perhatian yang lebih dalam merencanakan keterhubungan berdasarkan kedekatan antar ruang. Untuk itu pada kajian ini keterhubungan antar ruang kota pada lahan berkontur memerlukan pembahasan secara khusus terkait dengan ruang yang secara fisik berdampingan tetapi terletak pada elevasi yang berbeda memerlukan beberapa pertimbangan dalam penataannya, berkaitan dengan keterhubungan antar ruang, dimana jalan sebagai media penghubung akan menjadi lebih panjang. Pada titik tertentu pengamatan visual antar ruang memiliki jangkauan yang lebih luas oleh perbedaan ketinggian. Keterhubungan tersebut merupakan wujud interaksi antar ruang yang mengacu pada aksesibilitas dalam pengertian sebagai ukuran kualitas dari pencapaian secara fisik dan visual. Interaksi antar ruang berdasarkan pergerakan menentukan sejauh mana bagian ruang dapat dilintasi secara fisik, sedangkan interaksi visual berhubungan dengan pengamatan terjauh dan terluas dari pengguna ruang secara visual, yang umumnya dipengaruhi oleh perletakan bangunan dan ruang terbuka berdasarkan kondisi bentang alam kawasan perkotaan.

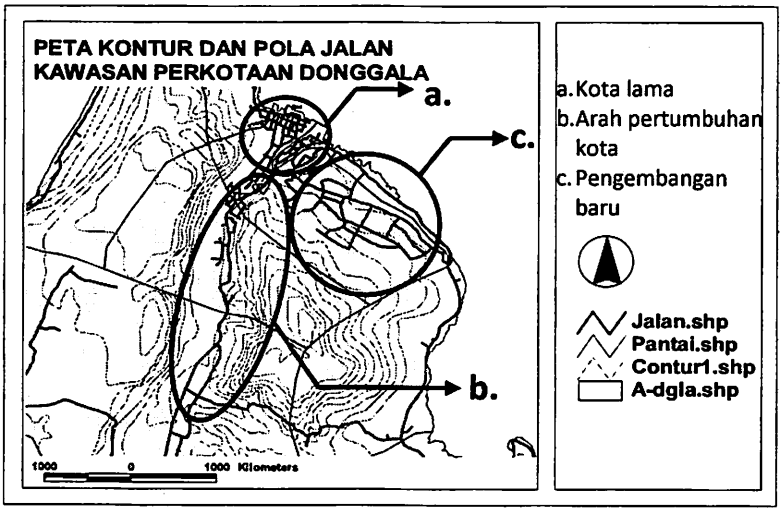
3. METODE

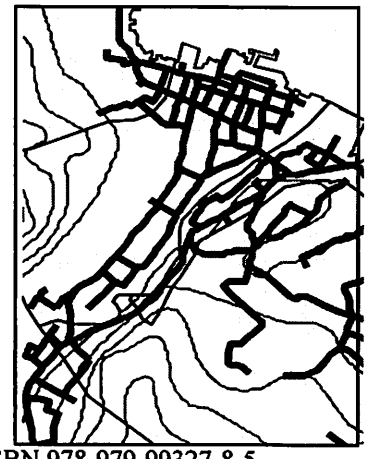
Metode yang diajukan untuk mengungkapkan gagasan tentang keterkaitan antara aksesibilitas dan morfologi perkotaan dilakukan dengan cara elaborasi teori berdasarkan sintesa kajian dari berbagai pemahaman tentang aksesibilitas, keterkaitan aksesibilitas dalam kajian morfologi perkotaan. Selanjutnya keterkaitan aksesibilitas dalam kajian morfologi perkotaan akan dikembangkan sebagai referensi dan dasar pertimbangan untuk mengungkapkan kontekstualitas dari penelitian, yaitu pada kawasan perkotaan di lahan berkontur.

4. HASIL DAN DISKUSI

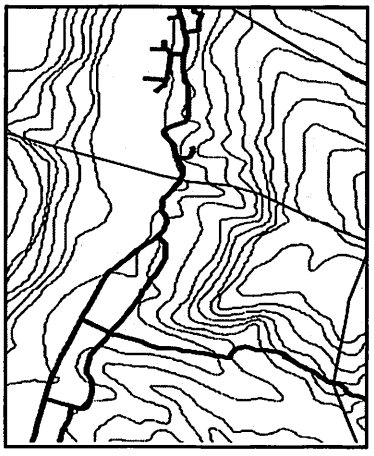
Hasil yang dikemukakan pada artikel ini merupakan sintesa kajian berdasarkan komparasi dari beberapa definisi tentang aksesibilitas yang disimpulkan oleh Halden dkk. [6] dan definisi aksesibilitas yang dirangkum oleh penulis dari berbagai kajian teori. Selanjutnya elaborasi dari kedua sumber dijadikan sebagai dasar untuk membentuk pemahaman tentang aksesibilitas berdasarkan kondisi empiris pada referensi lokasi. Hasil dari kajian tersebut akan dijadikan sebagai dasar dalam penyusunan argumen. Argumen yang dikemukakan dimaksudkan untuk menjelaskan peranan aksesibilitas sebagai dasar pertimbangan dalam pengembangan kerangka teoritis studi perkotaan pada lahan berkontur. Kajian ini juga diharapkan dapat memperluas ranah penelitian morfologi perkotaan melalui pembahasan tentang keterhubungan antar segmen kawasan pada skala ruang kota berdasarkan aspek pergerakan yang mempertimbangkan relief kawasan dalam penataannya.

Pengungkapan gagasan tentang aksesibilitas dari aspek fisik dan visual pada lahan berkontur merupakan tanggapan terhadap topografi kawasan yang menentukan wujud fisik ruang kota secara morfologis. Kualitas hubungan antar ruang mengacu pada kemudahan dan efisiensi secara fisik dan pemanfaatan potensi visual dalam mewujudkan legibilitas kawasan yang mendukung kelancaran aktifitas mempermudah pergerakan antar ruang melalui kemudahan berorientasi dalam sebuah atau rangkaian ruang perkotaan secara konfiguratif. Interaksi antar ruang berdasarkan pergerakan dapat dilihat pada Gambar 4 sebagai data awal penelitian ini untuk memahami aksesibilitas kawasan berdasarkan topografi di Kota Donggala.

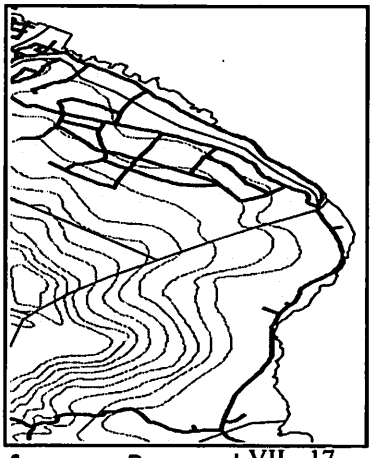




4.a. Kota lama



4.b. Arah pertumbuhan awal



4.c. Pengembangan

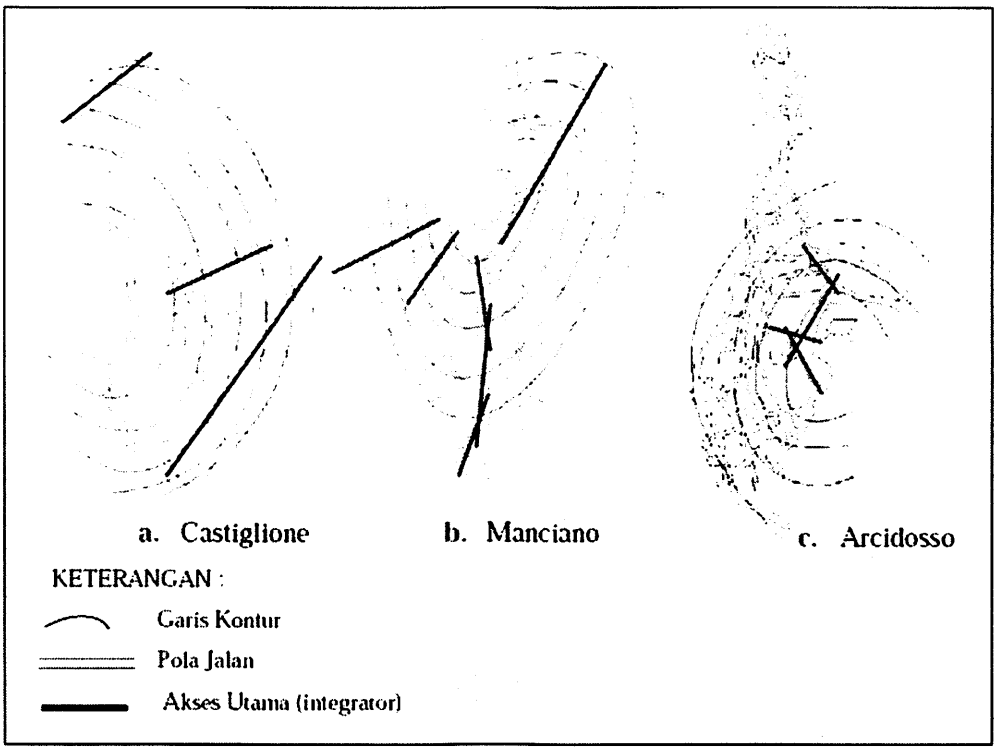
Aksesibilitas berdasarkan topografi akan mengungkapkan tentang kualitas pencapaian antar segmen kawasan pada skala ruang kota berdasarkan konteks lokasinya. Fakta empiris di Kota Donggala menunjukkan karakteristik pola jalan yang berbeda berdasarkan periode pertumbuhan kotanya. Pada gambar 4a menunjukkan pola jalan yang cenderung berbentuk grid karena terletak pada bagian kawasan yang relatif datar. Pada awal pembentukan kotanya aktifitas perkotaan berorientasi ke kawasan pelabuhan. Dari aspek pencapaian wilayah perbukitan cenderung dianggap sebagai pembatas fisik. Gambar 4b menunjukkan arah pertumbuhan awal yang linear dan hanya mengisi celah lembah yang relatif datar dengan alasan kemudahan pergerakan tanpa mempertimbangkan jarak. Gambar 4c menunjukkan pengembangan baru yang memanfaatkan puncak bukit yang relatif datar dengan pertimbangan terhadap ketersediaan ruang.

Pada kondisi yang ada sekarang, sarana perkotaan yang terkonsentrasi pada puncak bukit yang datar (pengembangan baru), sementara kawasan permukiman lama terkonsentrasi pada bagian kota yang relatif datar dengan orientasi utama ke pusat perdagangan dan wilayah pelabuhan (kota lama). Pengembangan pusat pertumbuhan baru di Kota Donggala menyebabkan tumbuhnya beberapa akses lokal yang menyebar pada lereng perbukitan yang terjal sebagai penghubung dari kawasan permukiman lama ke beberapa sarana perkotaan yang dibangun di wilayah perbukitan. Pada beberapa bagian pola jalan mengikuti kontur sementara pada bagian internal kawasan terdapat beberapa jalur penghubung yang cenderung menyimpang dari penanganan yang semestinya karena dibuat tegak lurus terhadap garis kontur. Kondisi ini beberapa diantaranya merupakan tanggapan terhadap kondisi fisik kawasan dengan penanganan yang bersifat inkremental. Dari ketiga karakteristik kawasan berdasarkan periode pengembangan kota menunjukkan bahwa keterhubungan secara fisik mengalami pergkembangan dimana kondisi lahan berkontur tidak lagi dianggap sebagai penghambat aksesibilitas. Keterhubungan secara visual dari bagian kota lama ke kawasan pengembangan baru di perbukitan terkendala oleh perbedaan elevasi yang sangat terjal dari arah jalur jalan utama yang mengikuti garis pantai. Demikian halnya dari permukiman yang terletak pada arah pertumbuhan awal kawasan yang terhalang oleh kemiringan yang terlalu terjal dan jalan sebagai media penghubung yang terlalu sempit. Selain itu yang perlu dipertimbangkan adalah dampak pengembangan tersebut terhadap kondisi lingkungan.

Sebagai pembanding dalam mengungkapan aksesibilitas pada lahan berkontur, penelitian Cutini mengemukakan bahwa dalam permukiman perkotaan kemiringan jalan berkorelasi dengan distribusi integrasi yang diuji pada beberapa kota bersejarah di Italia (Castiglione, Manciano, dan Arcidosso). Kota-kota tersebut dibangun dan diatur pada lereng yang terjal dan curam dan memberikan konfirmasi tentang hubungan aksesibilitas dan visibilitas terhadap bentuk fisik kotanya yang terletak pada lahan berkontur [4].

Pola jalan di Castiglione (gambar 5a) cenderung berbentuk grid dan menunjukkan keteraturan dimana sisi terpanjang dari arah jalan mengikuti sisterpanjang dari garis kontur. Castiglione dibangun sebagai pos militer yang dikelilingi oleh dinding, dengan jalan masuk pada bagian yang mudah diamati secara visual dari arah bukit. Terdapat tiga akses utama yang menghubungkan bagian yang lebih landai dengan bagian yang curam, dimana terdapat jalan yang melintasi dinding bukit yang terjal secara tegak lurus. Pada kawasan perbukitan di Manciano (gambar 5b) pola jalan cenderung mengikuti bentuk kontur dengan kastil yang terletak di puncak bukit sebagai pusat

orientasi. Pada kawasan ini juga terdapat akses utama dari bagian yang landai ke puncak bukit dengan melintasi lereng terjal secara tegak lurus. Untuk kota bersejarah Arcidosso (gambar 5c) pada bagian yang berkontur memiliki kesamaan dengan Manciano, dimana kastil yang terletak di puncak bukit sebagai pusat orientasi. Pada lereng yang terjal pola jalan juga cenderung mengikuti kontur, sementara pada bagian yang landai pola jalan cenderung linear tetapi masih menyesuaikan dengan topografi kawasan.



Gambar 5: Ilustrasi perletakan pola jalan berdasarkan karakteristik fisik pada beberapa Kota Kecil di lahan berkontur, Italia
Sumber : Cutini, 2007

Sebagai pembanding terhadap fakta empiris di Kota Donggala, penelitian Cutini memberikan gambaran tentang bagaimana jalan sebagai akses atau media penghubung yang dibangun untuk tujuan tertentu dengan menanggapi karakteristik topografi dalam hal ini adalah kontur (yang menyatakan cara melintasi) dan nilai konfigurasional (yang menyatakan cara saling terhubung) dari jalur perkotaan. Tidak hanya integrasi, termasuk bagaimana sebuah pemukiman perkotaan berkaitan dengan cara dan bentuk penggunaan, tetapi juga dapat menggambarkan cara penyelesaian perkotaan sesuai dengan bentang alam yang spesifik, termasuk visibilitas antar ruang yang mengacu pada fungsi-fungsi dan aktifitas utama seperti pasar, plaza, benteng pertahanan dan kastil sebagai pusat orientasi, selain pertimbangan terhadap konteks geografis secara lokal.
Untuk konteks ruang perkotaan pada lahan berkontur berdasarkan kondisi empiris Kota Donggala sebagai referensi lokasi, keterhubungan antar ruang kota yang diinterpretasikan melalui aksesibilitas memerlukan analisis yang lebih lanjut untuk menerjemahkan pengaruh aspek vertikal pada permukaan kawasan dalam konteks pergerakan antar ruang secara fisik dan jangkauan visual yang mempengaruhi pengamatan dan pergerakan melalui kognisi dan pengalaman ruang, termasuk motivasi pengembangan dari pengguna ruang.

5. KESIMPULAN

Aksesibilitas secara fisik dan visual merupakan indikator dari keterhubungan antar ruang kota yang lebih lanjut mempengaruhi pola pemanfaataan ruang perkotaan melalui efisiensi pelayanan. Untuk itu dibutuhkan penataan terhadap ruang perkotaan dalam konteks media penghubung yang mempertimbangkan kondisi bentang alam melalui potensi fisik dan visual. Keterkaitan antara aksesibilitas dan morfologi dapat dijelaskan melalui wujud fisik ruang kota yang dipengaruhi oleh aktifitas perkotaan dan pola pemanfaatannya berdasarkan kualitas hubungan antar ruang kota. Keterhubungan secara fisik dan visual pada lahan berkontur dapat diamati melalui pola jalan sebagai salah satu elemen morfologi dan perletakan bangunan berdasarkan kondisi fisiografi kawasan. Hasil kajian dari artikel ini akan dikembangkan pada penelitian yang lebih lanjut untuk mengungkapkan nilai-nilai integrasi spasial pada kawasan perkotaan berdasarkan keterhubungan antar ruang perkotaan.

6. DAFTAR PUSTAKA

1. Anonimous (2006) *Sistem Informasi dan Manajemen Perkotaan* (SIMKOT) Kota Donggala Tahun 2006
2. Carr, S. et.al (1995). *Public Space*, Cambridge University Press. Cambridge
3. Cohen, N (2001) *Urban Planning Coservation and Preservation*, McGraw-Hill, New York
4. Cutini, V (2007), *Axial Lines and Contour Lines: climbing up the centre*, Proceedings, 6th International Space Syntax Symposium, İstanbul
5. Evans, G (2009) *Accessibility, Urban Design and the Whole Journey Environment*, Built Environment, Vol. 35 No. 3, p.366-385, http://www.fdcw.unimaas.nl
6. Halden, D, et.al (2005) *Measuring Accessibility as Experienced by Different Socially Disadvantaged Groups*, Edinburgh , Funded by the EPSRC FIT Programme, Working Paper 3
7. Hillier, B. et.al (1993) *Natural Movement: or, Configuration and Attraction in Urban Pedestrian Movement*, Environment and Planning B: Planning and Design, , p.29-66, UK, Volume 20
8. Jones, D. and Wienckowski, J (2009) *Street Topology and Urban Morphology: A Northeast Baltimore Case Study*, Environmental Science and Sustainability ISSN: 1790-5095, ISBN: 978-960-474-136-6, http://www.wseas.org.
9. Mohamed, A. A (2012) *Evaluating Way-Finding Ability Within Urban Environment*, Proceedings: Eighth International Space Syntax Symposium, Santiago de Chile: PUC, http://www.sss8.cl/media/upload/paginas/seccion/8204_2.pdf
10. Situs Resmi Pemda Sulteng (2013) *Peta Administrasi Provinsi Sulawesi Tengah*, http://www.perkim.sultengprov.go.id/images/peta-administrasi-provinsi-sulawesi-tengah.jpg diunduh 22/01/2013 ; 13:06
11. Topçu, M (2009) *Accessibility effect on urban land value*, Scientific Research and Essay-November, 2009, ISSN 1992-2248, pp. 1286-1291, © 2009 Academic Journals Vol.4(11) http://www.academicjournals.org/SRE
12. Van Bilsen, A (1998) *The Theory of Urban Web*, Journal of Urban Design, vol. 3, 1998, pp. 53-71.

PENATAAN KAWASAN INDUSTRI KEBOMAS GRESIK DALAM UPAYA MENINGKATKAN IDENTITAS KAWASAN DENGAN PENEKANAN PERANCANGAN BERKELANJUTAN

Samira[1], Ispurwono Soemarno,[2] Bambang Soemardiono[3]

[1]*Program Magister Perancangan Kota, Jurusan Arsitektur, FTSP, ITS, Kampus ITS Sukolilo Surabaya, Telp 031-5946094, email: samira_smeer@yahoo.co.id*
[2]*Dosen Jurusan Arsitektur, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Kampus ITS Sukolilo Surabaya, Telp 031-5946094, email: isp4251@yahoo.com*
[3]*Dosen Jurusan Arsitektur, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Kampus ITS Sukolilo Surabaya, Telp 031-5946094, email: bamsoem03@yahoo.com*

ABSTRAK

Kabupaten Gresik merupakan salah satu lokasi kawasan industri utama di Jawa Timur. Namun, perkembangan perindustrian di Kabupaten Gresik menimbulkan berbagai masalah di perkotaan. Hal ini menyebabkan turunnya identitas kawasan sebagai kawasan industri, terutama di sekitar Jalan Mayor Jendral Sungkono Gresik yang dikenal sebagai kawasan Industri Kebomas. Permasalahan tersebut meliputi pola tatanan massa yang terkesan kurang tertata, pemanfaatan lahan yang kurang terarah dan tampilan bangunan terkesan kurang mendukung fungsi kawasan sebagai kawasan industri. Adapun tatanan massa dan pemanfaatan lahan untuk permukiman berdekatan dengan lahan industri sehingga akan berdampak negatif bagi masyarakat dan lingkungan. Kawasan ini tergolong kawasan yang strategis dan cepat tumbuh sehingga untuk mengatasi permasalahan dibutuhkan konsep untuk menciptakan kawasan industri yang memiliki identitas dan berwawasan lingkungan demi perancangan berkelanjutan.

Teori utama yang digunakan adalah teori identitas kawasan oleh Lynch. Penelitian ini merupakan penelitian kualitatif, yang diawali dengan mengeksplorasi data yang terdapat di lapangan melalui telaah pustaka, observasi, wawancara, dan kuisioner sebagai pendukung data. Kemudian untuk memproses data akhir maka data tersebut dianalisa menggunakan teknik analisa deskriptif kualitatif, analisa faktor, triangulasi dan pemograman dalam arsitektur.

Hasil dari penelitian ini adalah kriteria dan konsep penataan kawasan industri Kebomas Gresik bangunan yang berguna untuk meningkatkan identitas kawasan dengan mempertimbangkan perancangan berlanjutan dalam kawasan industri, yakni dengan penerapan kawasan industri yang berwawasan lingkungan yang mengedepankan *green infrastructure* pada kawasan.

Kata kunci: identitas, industri, perancangan berkelanjutan

1. PENDAHULUAN

Kabupaten Gresik merupakan salah satu kawasan industri utama di Jawa Timur. Dimana kawasan industri merupakan salah satu pilar pembangunan ekonomi nasional yang diarahkan dengan menerapkan prinsip-prinsip pembangunan industri berkelanjutan yang didasarkan pada aspek pembangunan ekonomi, sosial dan lingkungan hidup [1]. Berdasarkan RTWP (Rencana Tata Ruang Wilayah Propinsi) yang berlaku hingga 2020, menyatakan bahwa Gresik diarahkan sebagai wilayah yang mampu menjadi penyangga Kota Surabaya dalam bidang perumahan, pariwisata, industri, perdagangan dan jasa. Perekonomian di Kabupaten Gresik tergolong maju pesat dan sektor industri merupakan pendukung perekonomian utama. Salah satu kawasan industri di Kabupaten Gresik, yakni kawasan industri di sekitar koridor jalan Mayor Jendral Sungkono Gresik yang dikenal sebagai Kawasan Industri Kebomas (gambar 1). Kawasan ini menunjukkan

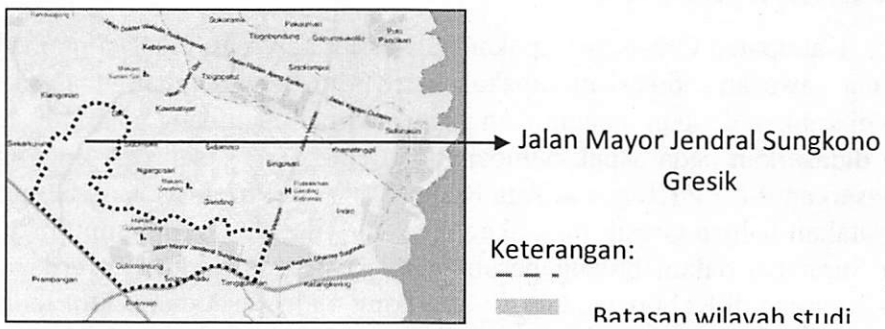
adanya pertumbuhan perekonomian lokal yang ditandai dengan banyaknya industri yang mempengaruhi pengembangan kawasan tersebut.

Perkembangan perindustrian ini memunculkan berbagai masalah perkotaan, yakni masalah pemanfaatan lahan, dimana terdapat lahan permukiman, pabrik dan Ruang Terbuka Hijau (RTH) yang telah ada terkesan kurang tertata dengan baik. Terdapat beberapa lahan permukiman berdekatan dengan pabrik tanpa adanya batas berupa ruang terbuka sehingga secara visual terkesan kurang tertata dan dapat menyebabkan polusi yang menganggu kesehatan. Hal ini sesuai dengan teori yang diungkapkan oleh Shirvani (1985) bahwasannya ruang kota, baik berupa lapangan maupun koridor/jaringan, merupakan salah satu elemen rancang kota yang sangat penting dalam pengendalian kualitas lingkungan ekologis dan sosial [2]. Pola tatanan dan pemanfaatan lahan yang terabaikan dilatarbelakangi oleh faktor ekonomi, dimana masyarakat menganggap kawasan ini sangat stategis untuk bermukim karena berdekatan dengan tempat kerja dan mampu memberikan kehidupan.

Kawasan industri Kebomas tergolong kawasan strategis dan cepat tumbuh sehingga terbentuk secara alamiah tanpa arahan penataan yang mengikat yang menyebabkan perancangan berkelanjutan tidak terlaksana dan identitas kawasan menurun. Dimana kawasan industri yang baik tercermin dari pola tatanan kawasan yang baik dan didukung dengan tampilan bangunan dalam kawasan. Dalam mewujudkan tampilan bangunan yang baik harus memperhatikan beberapa bagian dari bangunan, yakni atap, lantai dan dinding dengan tetap memperhatikan aturan kawasan industri.

Kawasan industri ini merupakan salah satu sektor ekonomi utama di Gresik maka identitas kawasan harus dijaga dan ditingkatkan. Secara tata ruang, pembangunan kawasan industri yang baik dilengkapi dengan prasarana dan sarana penunjang seperti penyediaan energi listrik, telekomunikasi, fasilitas jalan, fasilitas umum dan lain sebagainya. Kawasan industri mendukung sepenuhnya peningkatan kualitas lingkungan hidup di kawasan secara menyeluruh dengan menyediakan fasilitas pengelolaan dan pengendalian limbah sehingga kegiatan industri di kawasan tidak terganggu (File Investasi, Selasa, 13 April 2010, Kawasan Industri sebagai Pusat Kegiatan Industri)

Berdasarkan uraian sebelumnya, maka keterkaitan berbagai permasalahan tersebut dapat menurunkan identitas kawasan industri di Gresik. Kawasan ini tergolong kawasan strategis dan cepat tumbuh maka dalam jangka panjang kawasan berpotensi dijadikan pusat industri yang besar dengan industri yang tertata dengan baik. Potensi dan permasalahan ini menjadi dasar perlu dilakukannya penataan kawasan yang lebih terarah dengan penekanan perancangan berkelanjutan dan dapat meningkatkan identitas.



Gambar 1. Peta batasan wilayah studi Kec. Kebomas Gresik
(Sumber: http://maps.google.co.id/maps=Peta/kawasan/industri/di/kota/Gresik, 2 Maret 2012)

2. TEORI PENELITIAN

Untuk meningkatkan identitas terdapat lima elemen pokok yang perlu diolah karena digunakan oleh orang untuk membangun gambaran mental (citra) mereka terhadap sebuah kota [3 dan 4], yaitu:

a. *Path* (jalur) merupakan rute-rute sirkulasi yang digunakan orang untuk melakukan pergerakan secara umum, yakni jalan, gang, saluran dan lain sebagainya.
b. *Edge* (Tepian) merupakan batas antara dua kawasan tertentu dan berfungsi sebagai pemutus linear, seperti: pantai, tembok, topografi dan lain sebagainya.
c. *District* (kawasan) merupakan kawasan kota dalam skala dua dimensi dan memiliki ciri khas yang mirip (bentuk, pola dan wujudnya) dan khas dalam batasnya.
d. *Node* (simpul) merupakan simpul atau lingkaran daerah strategis dimana arah atau aktivitasnya saling bertemu, misalnya stasiun, pasar, taman dan lain sebagainya.
e. *Landmark* (tengeran) merupakan titik referensi dan bisa dilihat dari luar letaknya dengan bentuk visual yang menonjol, misalnya gedung tinggi dan lain sebagainya.

Perancangan berkelanjutan dalam kawasan industri dapat diwujudkan dengan penerapan kawasan industri yang berwawasan lingkungan/*Eco-Industrial Park* (EIP) yang bertujuan untuk memperbaiki kinerja ekonomi bagi industri-industri di dalamnya dengan cara meminimalkan dampak lingkungannya [5].
Perwujudan dari EIP membutuhkan infrastruktur fisik/sistem jaringan, seperti:

a. Infrastruktur transportasi, bertujuan mengurangi penggunaan energi dan meminimalisasi dampak terhadap lingkungan.
b. Infrastruktur energi, bertujuan mengoptimalkan penggunaan energi dan sumber daya yang terbarukan, seperti: penggunaan energi matahari, *photovoltaics* (PV).
c. Infrastruktur air, bertujuan mengurangi permintaan air dari suplai luar (*reuse*).
d. Infrastruktur pengolahan limbah dan penyimpanan, bertujuan untuk pengelolaan limbah, drainase dan sampah yang aman dan meminimalisasi dampak lingkungan.
e. Infrastuktur telekomunikasi, bertujuan untuk mendukung transaksi dan mampu mendukung pendektesian dini terhadap segala masalah lingkungan dalam kawasan.
f. Fasilitas umum, bertujuan untuk mendukung kawasan dan dapat digunakan oleh semua orang dalam kawasan.

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini termasuk dalam penelitian paradigma rasionalistik, dikarenakan untuk menentukan sebuah konsep penataan kawasan membutuhkan adanya kerjasama antara empiri sensual dan logik [6]. Sebelum terjun ke lapangan, pendekatan ini mengharuskan peneliti menyusun teori terlebih dahulu sedangkan pada saat kegiatan survei dan observasi lapangan mengunakan pendekatan deskriptif atau naturalistik, dimana pendekatan ini menyusun kesimpulan dari kondisi yang ada di lapangan.

Jenis penelitian ini termasuk penelitian deskriptif, penelitian yang dilakukan sebagai prosedur pemecahan masalah yang diteliti dengan cara menggambarkan atau melukiskan keadaan objek penelitian berdasarkan fakta yang ditempuh dan apa adanya [7]. Metode pada penelitian ini menggunakan metode penelitian kualitatif yang disesuaikan dengan perumusan masalah dan tujuan penelitian. Metodologi penelitian kualitatif merupakan prosedur penelitian yang menghasilkan data deskriptif. Berikut langkah-langkah penelitiannya: teknik pengumpulan data, teknik penentuan sampel dan metode analisa data.

Teknik pengumpulan data

- Data primer, teknik-teknik yang digunakan, yaitu berupa observasi lapangan, kuisioner, wawancara dan dokumentasi lapangan.
- Data sekunder, menggunakan teknik studi kepustakaan/literatur serta data instansi.

Teknik penentuan sampel

Pengambilan sampel bertujuan untuk mempermudah memperoleh data primer. Dilakukan di 4 desa/kelurahan, yakni Gulomantung, Sukorejo, Segoromadu dan Sekarkurung. Sampel yang dipilih merupakan orang-orang yang terlibat dalam pengamatan kawasan, masyarakat setempat dan tokoh/pakar terkait dalam penataan kawasan industri. Dalam menentukan ukuran sampel menggunakan rumus Yamane, dengan formula sebagai berikut:

$$n = \frac{N}{Nd^2 + 1} \qquad \text{.....(1)}$$

Keterangan :

n = ukuran sampel yang diinginkan
N = jumlah populasi
d = tingkat presisi (10%)

Jumlah populasi masyarakat dan pekerja kawasan adalah 6448 jiwa [8]. Berdasarkan rumus di atas dengan tingkat presisi 10%, maka diperoleh ukuran sampel yakni 99 responden.

Metode analisa data

a. Sasaran 1, Identifikasi pola tatanan, pemanfaatan lahan, tampilan bangunan, identitas kawasan dan beberapa aspek dalam kawasan industri terkait perancangan berkelanjutan.
   Metode analisa: analisa deskriptif kualitatif
b. Sasaran 2, Analisa faktor-faktor yang dapat meningkatkan identitas kawasan industri dan tercapainya perancangan berkelanjutan.
   Metode analisa: Analisa Faktor
c. Sasaran 3 dan 4, yaitu:
   - Merumuskan kriteria-kriteria penataan kawasan industri dalam pola tatanan, pemanfaatan lahan, tampilan bangunan dan beberapa aspek dalam perancangan berkelanjutan.
   - Merumuskan konsep penataan kawasan, tampilan bangunan dan pemanfaatan lahan yang dapat meningkatkan identitas kawasan industri dan mendukung perancangan berkelanjutan.

   Metode analisa: analisa Triangulasi dan *Programing*

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada hasil dan pembahasan penelitian ini terdiri dari 2 faktor utama sesuai pada variabel penelitian(tabel 1), yakni faktor yang dapat meningkatkan identitas kawasan dan faktor yang mendukung perancangan berkelanjutan dalam kawasan industri. Kedua faktor saling terkait dimana peningkataan identitas mendukung terwujudnya perancangan berkelanjutan dalam kawasan industri, yakni melalui kawasan industri yang berwawasan lingkungan dan sebaliknya.

Tabel 1: Variabel penelitian

Faktor pendukung	Variabel (1)	Parameter (2)
Identitas kawasan	Elemen ruang luar	Sirkulasi dan parkir, ruang terbuka dan pedestrian way
	Kejelasan/ signaged	Street furniture, meliputi sistem rambu, penanda, sistem marka dan penerangan jalan
	Karakter kawasan	Paths (jalur), edges (tepian), districts (kawasan), nodes (simpul) dan landmark (tengeran)
	Tampilan bangunan	Komposisi dan proporsi fasad
	Bentuk bangunan	Bentuk dan gaya bangunan
	Ketinggian bangunan	Sesuai /tidak sesuai aturan kawasan, skala bangunan
	Warna dan material bangunan	Macam warna, material/tekstur
	Garis Sempadan Bangunan	Sesuai /tidak sesuai standar GSB
Perancangan berkelanjutan (EIP)	Pemanfaatan lahan	Jenis pemanfaatan lahan dan aturan pemanfatan lahan
	Jaringan jalan dan transportasi	Dimensi jalan, pola jaringan jalan dan jenis transportasi
	Jaringan prasarana dan limbah	Jaringan air bersih, drainase, limbah, persampahan dan telekomunikasi
	Energi	Jaringan listrik dan energi
	Fasilitas umum	Jenis fasilitas umum

Sumber: Sintesa teori, tahun 2012

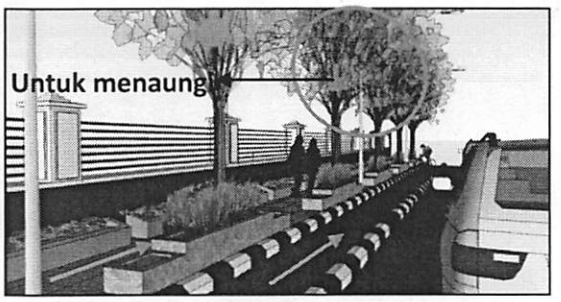
Dalam meningkatkan identitas kawasan terdapat beberapa faktor yang harus diperhatian, yakni:

1. Elemen ruang luar

Fakta: Ruang terbuka dan penghijauan jalan yang ada kurang tertata dan dirasa kurang sebagai pembatas kawasan permukiman dan industri. Tidak terdapat *pedestrian way* secara menerus di sepanjang jalur jalan dan *pedestrian way* tidak ternaungi oleh pohon.

Konsep: Menghadirkan ruang terbuka yang berguna untuk taman bermain, berinteraksi sosial, area santai bagi pekerja dan mampu mereduksi dampak negatif industri (gambar 2). Memisahkan jalur pejalan kaki, sepeda dan kendaraan bermotor dalam kawasan (gambar 3). Pada jalur pejalan kaki dan sepeda menggunakan pohon yang berdaun lebat dan dapat menyerap CO2, seperti Trembesi. Memberikan *box planter* sebagai penghijauan dengan tanaman teh-tehan. Pada area permukiman penghijauan dilakukan dengan *urban farming*, seperti mangga, jambu dan lain sebagainya.

Gambar 2. Taman bermain dan kantin

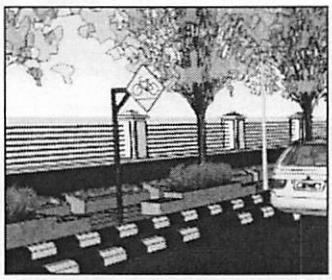


Gambar 3. Pemisahan jalur pejalan kaki dan sepeda

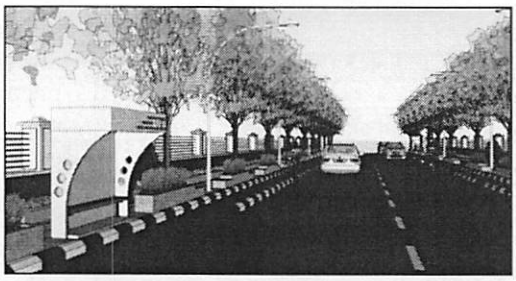
2. Kejelasan/*signaged*

Fakta: Penerangan jalan hanya terdapat di sebagian koridor jalan. Penanda atau pengarah dirasa kurang dapat membantu pelintas dalam berorientasi. Belum terdapat halte untuk bongkar muat penumpang pengguna transportasi publik.

Konsep: Penanda di tempatkan di tempat yang strategis dan tidak tertutupi oleh pohon sehingga setiap orang yang melintas dapat melihatnya (gambar 4). Penambahan penerangan di malam hari. Diberikan halte dengan jarak antar halte 500 m di tepi ruas jalan (gambar 5).



Gambar 4. Peletakan dan desain

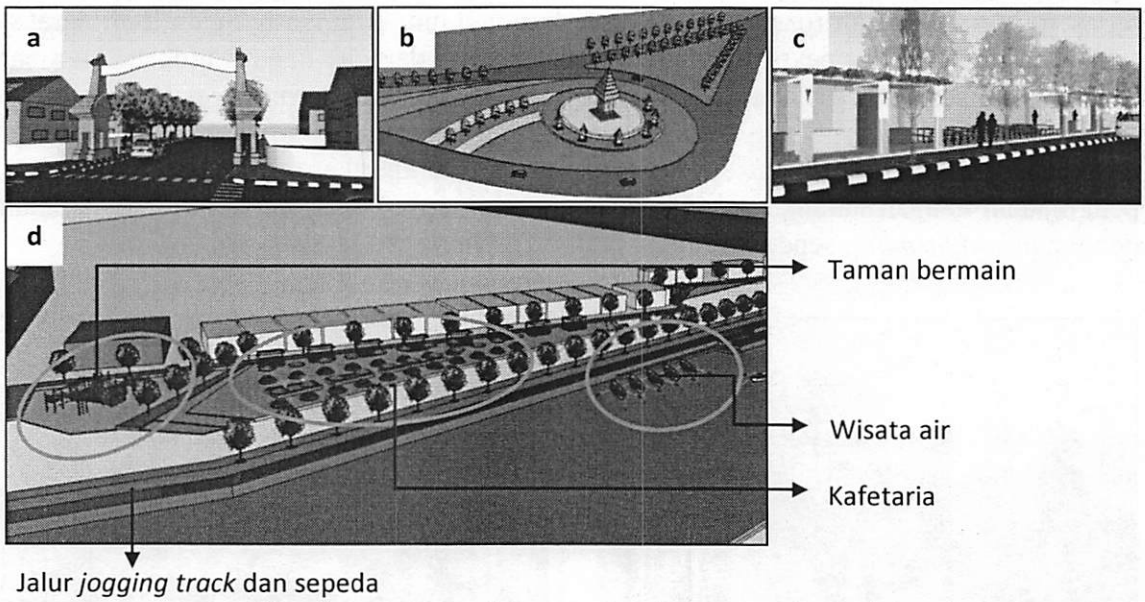


Gambar 5. Peletakan dan desain halte

3. Karakter kawasan

Fakta: Kelima elemen pembentuk karakter kawasan, yaitu *paths, edges, districts, nodes* dan *landmark* dirasa kurang mendukung terbentuknya karakter/identitas kawasan.

Konsep: Menambahkan elemen gate sekaligus menjadi *landmark* untuk memperkuat karakter *paths* (gambar 6.a). Menghadirkan elemen tugu/*landmark* yang bercirikan Gresik pada pusat orientasi pergerakan (gambar 6.b). Mengolah area pusat orientasi aktifitas secara arsitektural (gambar 6.c). Pada *edge* dimanfaatkan sebagai area bermain dan berinteraksi sosial, *jogging track,* wisata magrove dan lain sebagainya (gambar 6.d). Furniture *edge* menggunakan material/bahan sisa industri, seperti baja dan kayu sisa.

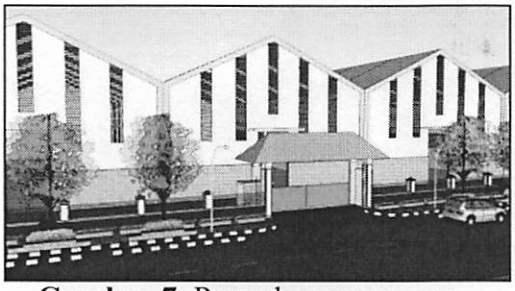


Gambar 6. Pengolahan pada elemen pembentuk karakter

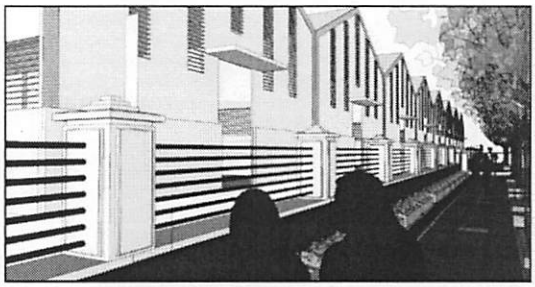
4. Tampilan bangunan, bentuk bangunan, warna dan material bangunan

Fakta: Terdapat komposisi dari fasad bangunan yang beragam. Fasad bangunan industri tertutupi oleh dinding masif yang terkesan tertutup dan monoton. Material, warna dan unsur dekoratif yang digunakan pada bangunan bervariasi sehingga kurang selaras.

Konsep: Menghadirkan pengulangan dari bentuk, material dan ornamen dari bangunan kunci (gambar 7). Menyelaraskan ketinggian dari bukaan yang ada baik jendela maupun yang lain. Memberikan pagar dengan ketinggian 1,2-1,5 m dan tidak masif secara keseluruhan (gambar 8). Bangunan perumahan dan perdagangan jasa menggunakan pengulangan dari gaya arsitektur yang sudah ada, yakni tropis lembab dan minimalis.



Gambar 7. Pengulangan gapura pada enterance bangunan

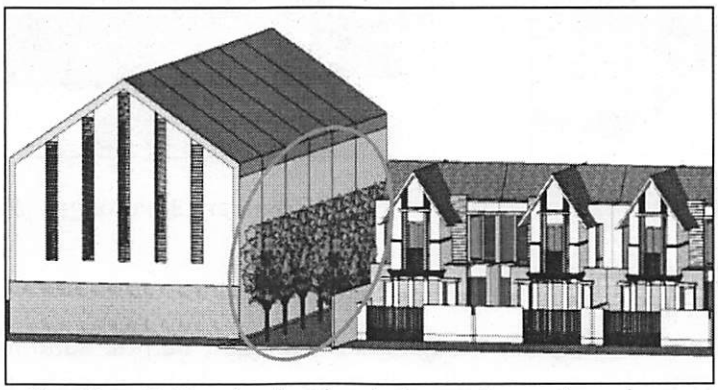


Gambar 8. Desain pagar pembatas tidak masif

5. Ketinggian bangunan dan garis sempadan bangunan (GSB)

Fakta: Mayoritas bangunan yang ada terdiri dari 1-2 lantai, namun mempunyai perbedaan ketinggian yang mencolok antara bangunan industri dan perumahan karena 1 lantai bangunan industri setara dengan 3 lantai perumahan. GSB bervariasi antara 1-30 meter dan beberapa bangunan mempunyai GSB kurang dari 7 m (GSB=1/2 ROW)

Konsep: Perbedaan ketinggian yang mencolok dapat diatasi dengan memberikan jarak antar bangunan atau menggunakan elemen *softscape*/tanaman untuk memperlembut *skyline* (gambar 9). Jenis tanaman yang digunakan, yakni Trembesi dan Beringgin dan mampu menyerap polusi. Pada bangunan dengan ketinggian lebih dari 12 meter dapat menambah GSB dari standar di kawasan untuk menghasilkan kualitas ruang yang baik.



Gambar 9. Pemberian jarak dan pohon sebagai pelembut *skyline*

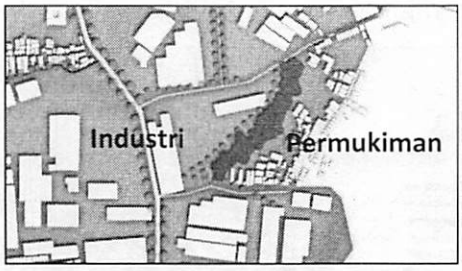
Dalam mendukung kawasan industri berwawasan lingkungan terdapat beberapa faktor yang harus diperhatian, yakni:

1. Tata guna lahan

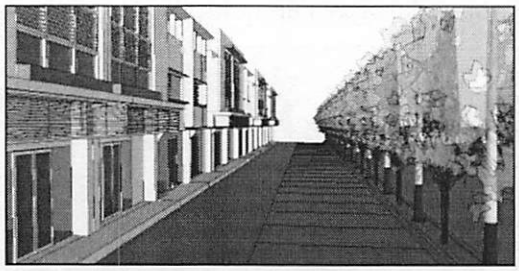
Fakta: Terdapat berbagai macam pemanfaatan lahan, yakni industri/pergudangan; fasilitas umum; permukiman dan perdagangan jasa. Mayoritas pemanfaatan lahan untuk industri dan permukiman terlalu berdekatan tanpa ada batas yang jelas.

Konsep: Pada pemanfaatan lahan untuk permukiman dan industri yang berdekatan diberikan jarak 8-10 m atau sisa lahan dimanfaatkan untuk *buffer zone.* Pada kawasan

industri yang sedang berkembang mewajibkan memberikan *space* untuk *buffer zone* dan RTH (gambar 10). Perkembangan pemanfaatan lahan mengikuti pola grid. Untuk mengurangi dampak dari kendaraan yang parkir di pinggir jalan maka jenis pemanfaatan untuk perdagangan/jasa dan industri memberikan area parkir (gambar 11).



Gambar 10. Pemberian *buffer zone*



Gambar 11. Area parkir depan bangunan perdagangan dan jasa

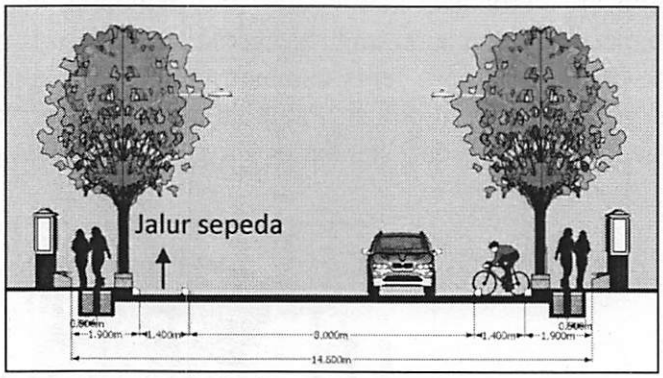
2. Jaringan jalan dan transportasi

Fakta: Akses utama (Jl. Mayor Jenderal Sungkono) membentuk pita panjang (linear) dan tidak semua jaringan jalan menghubungkan area terbangun dan belum terdapat halte

Konsep: Menggunakan pola jalan berbentuk grid yang mampu menghubungkan area-area terbangun untuk memudahkan sistem organisasi dan lebih efisien (gambar 12). Mewujudkan *green transportation*, pada tepi jalan dilengkapi halte, jalur pejalan kaki dan sepeda yang nyaman dan terlindungi dari panas (gambar 13).

Massa industri baru dengan jalur jalan baru yang menghubungkan area terbangun.

Gambar 12. Penataan berpola grid

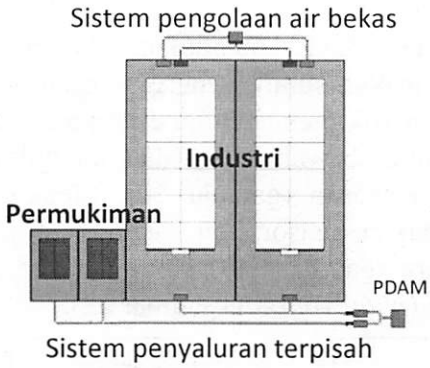


Gambar 13. Potongan jalan utama

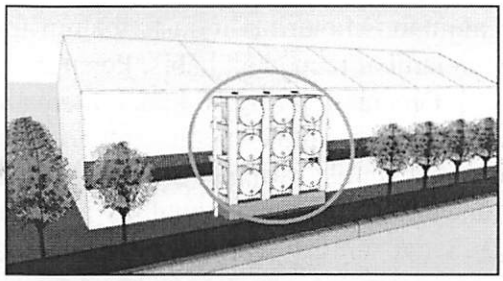
3. Jaringan prasarana dan limbah
   a. Jaringan air bersih

Fakta: Saluran air bersih telah menjangkau sebagian namun saluran air bersih untuk industri dan permukiman jadi satu sehingga seringkali kawasan permukiman tidak mendapatkan air pada jam-jam puncak kegiatan industri berjalan.

Konsep: Meningkatkan kapasitas jaringan menuju permukiman. Pengembangan jaringan yang terpisah antara pengguna dari golongan industri dan umum/permukiman (gambar 14). Pengoptimalan penggunaan air dari air sungai dan pengolahan dari air bekas. Menggunakan *water collection system,* untuk menampung air hujan (gambar 15).



Gambar 14. Sistem air bersih

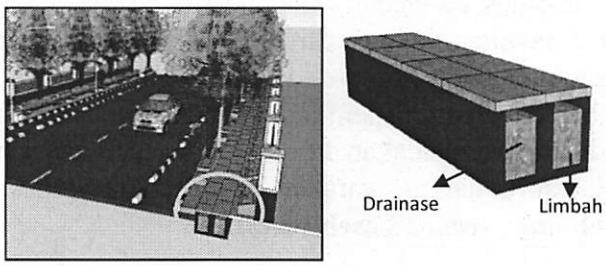


Gambar 15. *Water collection system*

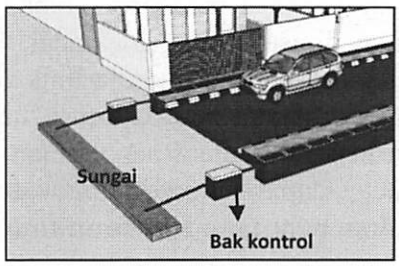
b. Jaringan drainase dan limbah

Fakta: Mayoritas sistem drainase terbuka dan tidak terawat sehingga menganggu kenyamanan. Pada saluran drainase air hujan masih tercampur dengan limbah industri.

Konsep: Saluran drainase di bawah jalur pejalan kaki, terpisah dengan saluran limbah cair dan dilengkapi sensor untuk mendeteksi pencemaran (gambar 16). Saluran drainase permukiman dilengkapi bak pengendali tingkat polusi air secara sederhana (gambar 17). Setiap industri harus memiliki saluran IPAL atau memiliki IPAL bersama.



Gambar 16. Sistem drainase terpisah

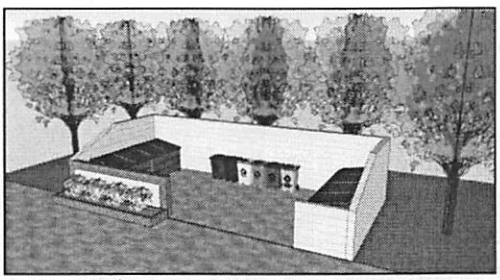


Gambar 17. Bak kontrol pada saluran drainase

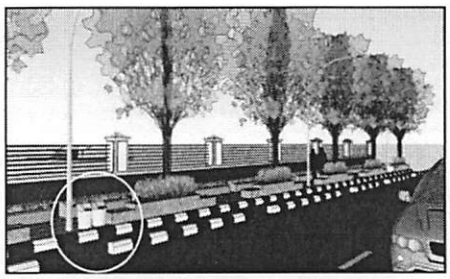
c. Jaringan persampahan

Fakta: TPS pada kawasan kurang memadai untuk menampung sampah dan tidak terdapat pengolahan sampah di TPS sehingga jumlah sampah terus meningkat.

Konsep: Menambahkan jumlah TPS dan mendesainnya (gambar 18). Menyediakan 1 bak sampah/100 m (gambar 19). Menerapkan 3R (*Reuse–Recycle–Reduce*) untuk mengurangi sampah. Mengkhususkan tempat sampah, yakni organik, anorganik dan sampah industri (B3)



Gambar 18. Desain TPS

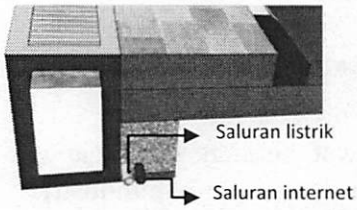


Gambar 19. Penempatan bak sampah

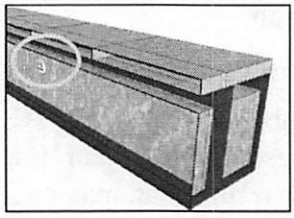
d. Jaringan telekomunikasi, listrik dan energi

Fakta: Jaringan telekomunikasi belum sepenuhnya mendukung perancangan berkelanjutan. Mayoritas industri belum menggunakan sumber energi yang terbarukan sehingga lambat laun akan habis. Penataan kabel listrik mengganggu estetika kawasan.

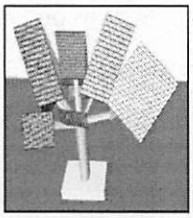
Konsep: Penataan jaringan kabel menjadi saluran bawah tanah dan mengikuti sisi saluran drainase untuk meningkatkan estetika kawasan (gambar 20). Menggunakan kabel optik untuk jaringan internet. Menggunakan sensor dan fasilitas monitoring otomatis untuk memantau kualitas air dan udara (gambar 21). Menggunakan tenaga surya sebagai sumber energi dengan bantuan alat (*photovoltaic*) (gambar 22).



Gambar 20. Penempatan saluran listrik



Gambar 21. Sensor air



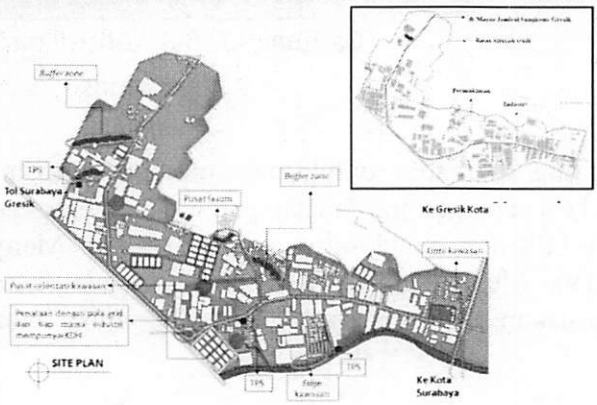
Gambar 22. Pohon *photovoltaic*

4. Fasilitas umum

Fakta: Terdapat beberapa sarana, seperti: fasilitas kesehatan, rusunawa dan sebagainya namun dirasa kurang memadai. Berikut 3 fasilitas yang seharusnya ada berdasarkan hasil kuisioner, yakni: poliklinik 28,8%, sarana ibadah 17,5% dan sarana olah raga 15%.

Konsep: Sarana berupa taman bermain berada diantara pemukiman dan untuk taman kota berada diantara pemukiman dan industri. Mengadakan fasum yang memadai dan strategis dapat bermafaat bagi para pekerja pabrik dan masyarakat, seperti kantin.

Arahan penataan Kawasan Industri Kebomas secara keseluruhan



Gambar 23. Penataan Kawasan Industri

5. KESIMPULAN

Terdapat dua faktor yang dapat mendukung penataan kawasan industri kebomas, yakni faktor yang dapat meningkatkan identitas, yakni dengan menyelaraskan tampilan bangunan, memberikan pembatas/pagar dengan ketinggian 1,2-1,5 m yang tidak masif secara keseluruhan dan mengolah elemen pembentuk karakter kawasan. Sedangkan faktor yang dapat mendukung tercapainya perancangan berkelanjutan dalam kawasan, yakni dengan pola penataan massa menggunakan pola grid untuk mempermudah aktifitas dalam kawasan, menerapkan *green infrastructure,* menggunakan energi yang

terbarukan dan memberikan *Buffer zone* dengan demikian identitas kawasan dapat meningkat dan perancangan berkelanjutan dapat tercapai.

6. DAFTAR PUSTAKA

1. Budihardjo, Eko dan Djoko Sujarto (2005) *Kota Berkelanjutan.* Bandung: Alumni.
2. Shirvani, Hamid (1985) *The Urban Design Process.* New York: Van Nostrand Reinhold Company.
3. Lynch, Kevin (1960) *Image of The city.* Cambridge: MIT Press.
4. Zahnd, Markus dan Heinz Frick (1999) *Strategi Arsitektur 2: Perancangan Kota Secara Terpadu.* Yogyakarta: Kanisius.
5. Djajadiningrat, Surna T., dan Famiola, Melia (2004) *Kawasan Industri Berwawasan Lingkungan (Eco-Industrial Park).* Bandung: Rekayasa Sains.
6. Muhadjir, Noeng (1990) *Metodologi Penelogi Penelitian Kualitatif.* Yogyakarta: Rake Sarasin.
7. Nawawi, Handari Mim Martini (1996) *Penelitian Terapan.* Yogyakarta: Gajah Mada university Press
8. _____, (2011), *Kecamatan Kebomas dalam Angka*, BPS Kabupaten Gresik, Gresik.

" Halaman ini sengaja dikosongkan "

ISBN 978-979-99327-8-5

OPTIMASI SISTEM PENGANGKUTAN SAMPAH DI KOTA GORONTALO

Olis Bakari[1] , Joni Hermana[2], Wahju Herijatno[3]

[1] *Mahasiswa Pascasarjana Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember-Surabaya*
E-mail :olisbakari@yahoo.com
[2] *Dosen Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember-Surabaya*
[3] *Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember-Surabaya*

ABSTRAK

Pengelolaan persampahan di Kota Gorontalo yang dilaksanakan oleh Badan Lingkungan Hidup masih menghadapi berbagai permasalahan, terutama kondisi pola pengumpulan dan pengangkutan yang tidak efisien dan efektif. Tujuan dari penelitian ini adalah mengkaji tingkat efisiensi kondisi eksisisting pelayanan sistem pengangkutan sampah di wilayah Kota Gorontalo serta mengoptimasi sistem pengangkutan sampah untuk meningkatkan cakupan layanan pengelolaan sampah yang maksimum.
Metode yang digunakan yaitu metode deskriptif dan untuk mendapatkan hasil Optimasi yang efisien digunakan Analisis Pola Pengumpulan Komunal Langsung serta dengan pendekatan metode *Traveling Salesman Problem* (TSP). Alternatif optimasi yang diperoleh kemudian dijabarkan ke dalam program dan rencana kerja.
Hasil analisis kondisi eksisting menunjukkan bahwa: Pelayanan pengangkutan sampah belum efisien, Analisis Optimasi menghasilkan peningkatan terhadap cakupan layanan pengelolaan persampahan menjadi **74,73%** dari jumlah penduduk yang terlayani dengan biaya operasional dan pemeliharaan pengumpulan serta pengangkutan sampah yang optimum.

Kata Kunci : Sistem pengumpulan/pengangkutan, *Traveling Salesman Problem* (TSP) , efisien, maksimum dan optimum

Pendahuluan

Kota Gorontalo adalah salah satu kota yang berada di bawah wilayah administrasi Provinsi Gorontalo yang keberadaannya sebagai Ibu Kota Provinsi Gorontalo, Kota dengan luas 64,79 km^2 memiliki jumlah penduduk 180.127 jiwa yang tersebar di enam kecamatan, 49 Kelurahan, yang dibatasi oleh Kabupaten Bone Bolango dan Kabupaten Gorontalo (BPS 2011).
Pola pengangkutan sampah yang dilakukan pada saat ini, adalah merupakan pola pengangkutan dengan sistem kontainer yang diangkat dan pola pengangkutan dengan sistem pengumpulan individual langsung dari tempat sumber sampah ke lokasi TPA, yang memakan waktu yang cukup lama.
Dalam proses pengangkutan sampah dijadwalkan dari 07.00 s/d 15.00 atau 8 jam sehari selesai, dengan fasilitas kenderaan yang ada serta ditunjang dengan jumlah personil 225 orang. Biaya yang dianggarkan pertahun oleh Pemerintah Kota Gorontalo adalah Rp. 2.424.999.580.00,-. Selama ini belum ada kajian tentang evaluasi sistem pengangkutan sampah yang dijalankan oleh BLH Kota Gorontalo. Hal ini yang

merupakan tantangan untuk mengkaji tingkat efisien dari sistem pengangkutan sampah di Kota Gorontalo. adapun tujuan penelitian adalah :

1. Mengkaji sejauh mana tingkat efisiensi pelayanan pengangkutan sampah eksisting.
2. Mengoptimasi sistem pengangkutan sampah untuk meningkatkan cakupan pelayanan pengelolaan sampah yang maksimum.

Metode Penelitian.

Berdasarkan latar belakang dan sesuai dengan tujuan penelitian, maka penelitian ini menggunakan metode penelitian deskriptif. Dengan pengumpulan data melalui:

1. Kajian pustaka yang dilakukan bersumber dari buku-buku yang relevan, undang-undang/peraturan/SNI serta penelitian-penelitian sebelumnya/ terdahulu.
2. Observasi (pengamatanlangsung) ke lokasi, serta melalui wawancara.

Untuk mencapai tujuan penelitian, tahapan yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu:

1. Analisis Kondisi
   EksistingAnalisis ini dilakukan untuk menganalisis kondisi eksisting pada tiga aspek yaitu aspek teknis, aspek pembiayaan dan Aspek Kelembagaan sehingga diperoleh gambaran secara umum pengelolaan persampahan di Kota Gorontalo.
2. Mengoptimasi Sistem Pengangkutan
   Dengan mengubah pola pengangkutan serta menganalisa rute terpendek menggunakan metode *Traveling Salesmen Program* (TSP) diharapkan dapat mereduksi waktu pengangkutan serta hanya memperhitungkan waktu antara TPS – TPA. sehingga diperoleh sistem pengangkutan sampah yang Efisen.

Hasil dan Analisa

1. Analisa Kondisi Eksisting

a. Aspek Teknis

- Timbulan Sampah

Timbulan sampah yang dihasilkan oleh penduduk Kota Gorontalo berdasarkan data dari Badan Lingkungan Hidup Kota Gorontalo diperoleh timbulan sampah sebesar 2,60 liter/orang/hari. Hasil perhitungan Proyeksi Jumlah timbulan sampah tiap harinya sampai tahun 2023 dapat di lihat pada Tabel sebagai berikut :

No	Tahun	Jumlah Timbulan Sampah (m3/hr)	Total Timbulan sampah (m3/hr)
1	2013	345,00	126,15
2	2014	351,90	128,673
3	2015	358,94	131,24
4	2016	373,30	136,49
5	2017	391,96	143,32
6	2018	415,48	151,92
7	2019	427,94	156,47
8	2020	445,96	162,73
9	2021	453,96	165,99
10	2022	467,58	170,97
11	2023	481,61	176,10

- Pewadahan
  Pewadahan sampah saat ini belum dilakukan pemisahan antara sampah organik dan anorganik. Wadah sampah individual yang digunakan masyarakat antara lain wadah seadanya, kantong sampah, tong, keranjang dan bak pasangan batu. Kapasitas rata-rata pewadahan sampah individual berdasarkan timbulan sampah yang ada dari hasil perhitungan adalah 31liter.

- Pengumpulan Sampah
  Pola pengumpulan sampah menerapkan kombinasi pola individual langsung dan pola komunal langsung, yaitu dengan mengumpulkan sampah dari masing-masing rumah/sumber sampah dan dari titik-titik komunal atau lokasi yang dianggap TPS. Kombinasi pengumpulan ini menggunakan Dump Truk yang sekaligus sebagai pengangkut sampah ke TPA.

- Pengangkutan Sampah
  Pola Pengangkutan sampah di Kota Gorontalo dari TPS bak terbuka maupun kontainer ke tempat pemrosesan akhir sampah menggunakan dua jenis kendaraan pengangkut yaitu: Dump Truk (12 unit) dan Arm Roll (3 unit) serta pick-up (4 unit). Kendaraan Dump Truk melakukan pengangkutan dengan sistem kontainer tetap (stationery container system) dan juga melaksanakan pengumpulan individual langsung dari rumah ke rumah (door to door). Untuk jenis angkutan armroll, sitem angkutan menggunakan sistem kontainer angkat (Hauled Container System) cara satu. Dari hasil perhitungan jumlah ritasi pengangkutan per hari, ritasi dump truk belum efisien hanya 1 ritasi per hari sedangkan armroll truck masih dapat ditingkatkan menjadi 3 ritasi per hari.
- Rute Pengangkutan
  Pemilihan rute pengangkutan sampah di Kota Gorontalo sudah sesuai dengan kriteria-kriteria sebagai berikut:

a. Kelas Jalan yang diperbolehkan untuk dilewati kendaraan pengangkut sampah
b. Kepadatan jalan eksisting
c. Kondisi Jalan (lebar jalan, kondisi permukaan jalan)
d. Kepadatan jalan eksisting (kondisi lalu lintas).

b. Aspek Pembiayaan

Pembiayaan pengelolaan sampah Kota Gorontalo meliputi biaya operasional Pengumpulan dan Pengangkutan sampah sampai saat ini biaya pengelolaan sampah terbesar masih diperoleh dari subsidi Pemerintah Daerah Kota Gorontalo yaitu sebesar 98,85%.

c. Aspek Kelembagaan

Lembaga mempunyai fungsi untuk menggerakan dan mengaktifkan orang- orang atau bagian-bagian yang terlibat didalamnya untuk mencapai suatu tujuan :

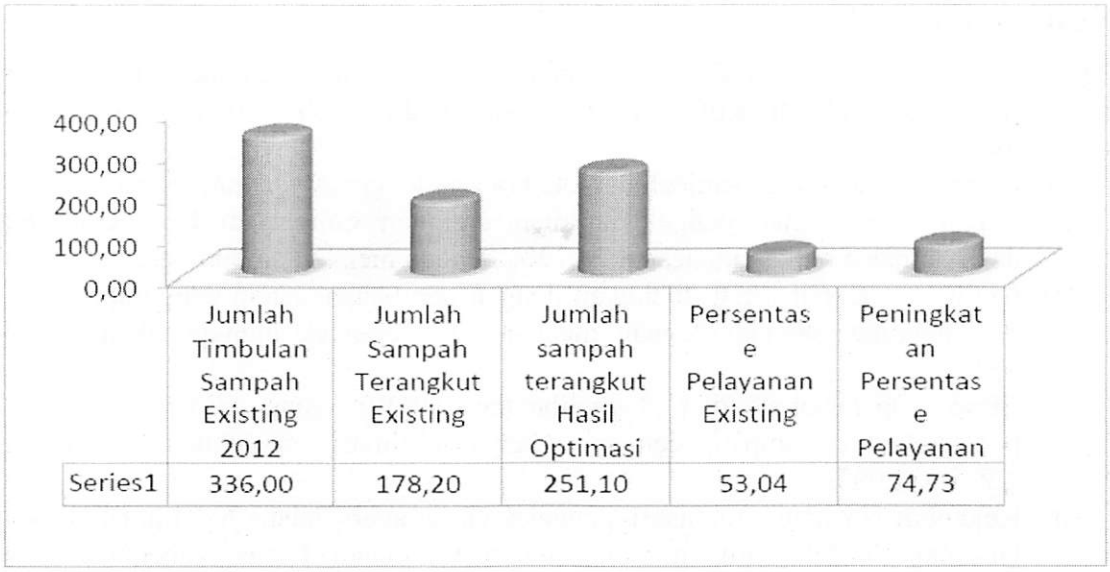
- Bentuk organisasi untuk pengelolaan persampahan hanya berupa Bidang dari sebuah Badan.
- Sistem pengendalian operasional lapangan masih belum maksimal karena adanya keterbatasan personil .
- Dalam melakukan pencatatan dan pendataan tidak di dukungnya oleh suatu sistem administrasi pendataan/pencatatan rutin yang lengkap dan teratur.

Hasil analisa eksisting menunjukan cakupan layananan saat ini adalah Timbulan Sampah 366 m3/hari terangkut 178,20/hari = 53,04% Penduduk yang terlayani jumlah ini masih bisa dimaksimalkan.

2. Mengoptimasi Sistem Pengangkutan Sampah.

Hasil Analisa dilanjutkan dengan langkah mengubah pola pengumpulan serta menganalisa rute jarak terpendek antara TSP. Maka :

a. Dengan pola individual langsung menjadi pengumpulan pola komunal langsung, diharapkan perubahan pola pengumpulan ini dapat mereduksi waktu pengumpulan *door to door* dengan hanya memperhitungkan waktu pengumpulan sampah di TPS – TPA.
b. Dengan menggunakan metode TSP. Diperoleh alternatif-alternatif maksimalisasi ritase serta rute dengan jarak terpendek antara TPS. Sehingga dapat diperoleh hasil peningkatan cakupan layanan sistem pengangkutan sampah sebagaimana seperti yang dapat dilihat pada gambar 2 di bawah ini :



Gambar 2. Perbandingan Jumlah sampah terangkut existing dengan hasil optimasi.

c. Biaya Operasional dan Pemeliharan Pengangkutan dengan adanya peningkatan ritasi berdasarkan hasil analisis, dapat diketahui perbandingan biaya total BOP pelayanan pengangkutan sampah dari peningkatan trip kendaraan/truk (dengan optimasi perubahan pola pengumpulan dan rute jarak terpendek) tahun 2012 – sampai dengan tahun 2013 sebagai berikut:

Tabel : Hasil Perbandingan Total BOP Tahun 2012 sampai Tahun 2013.

Total BOP Eksisting (Rp./Tahun)	BOP Tahun 2013 Peningkatan Trip (Rp./Tahun)	Selisih Tahun 2013 (Rp./Tahun)
2.424.999.580	2.715.434.903	290.435.323

Sumber : Perhitungan.

Karena bentuk kelembagaan yang disarankan Departemen Pekerjaan Umum dalam modul PLP mengenai "Prinsip-prinsip dasar pengelolaan sampah" untuk kategori kota sedang (penduduk > 250.000 jiwa) adalah Dinas Kebersihan sebaiknya pemerintah Kota Gorontalo segera merubah bentuk institusi yang ada sekarang menjadi Dinas Kebersihan. berdasarkan tuntutan agar pengelolaan sampah diurus oleh satu dinas yang langsung bertanggung jawab terhadap kebersihan Kota Gorontalo dengan tupoksi dan struktur organisasi yang relevan.

d. Beberapa kelemahan yang masih di jumpai pada BLH Kota Gorontalo antara lain; kualitas dan kuantitas sumber daya manusia (SDM) pada instansi pengelola masih kurang memadai. Dengan jumlah pegawai BLH sebanyak 225 orang, tercatat yang bertugas dalam Bidang Kebersihan sebanyak 184 orang dan yang berlatar belakang pendidikan Teknik Lingkungan belum ada. Berdasarkan standar normatif, pegawai pengelola sampah yaitu 2-3 orang pegawai berdasarkan perhitungan tersebut, jumlah minimum pegawai yang harus ada Dinas Kebersihan sebesar 360 orang pegawai. Dengan demikian, jumlah pegawai yang ada masih sebesar 51.07%.

Kesimpulan.

Berdasarkan hasil evaluasi dan analisis pengelolaan pelayanan system pengangkutan sampah di Kota Gorontalo dapat diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Pelayanan Pengangkutan sampah di Kota Gorontalo ternyata belum efisien
   a) Cakupan pelayanan pengelolaan pengangkutan sampah di Kota Gorontalo dapat dimaksimalkan mencapai **74,73%** dengan melakukan optimasi.
   b) Optimasi tersebut dapat dilakukan dengan perubahan sistem pengumpulan dan pengangkutan sampah dengan mencari rute terendek menggunakan metode TSP.
   c) Biaya Operasional dan Pemeliharaan (BOP) yang diperlukan untuk pengangkutan sampah dengan adanya optimasi pertahun sebesar Rp. 2.715.434.903,
   d) Kelembagaan atau organisasi pengelolaan sampah dalam hal ini BLH Kota Gorontalo sudah harus merubah institusi menjadi Dinas Kebersihan yang didukung oleh SDM baik secara kwantitas dan kwalitas , hal ini sangat diperlukan dalam mengatasi permasalahan-permasalahan dilapangan, salah satunya dalam pengangkutan sampah.

Daftar Pustaka

Anonim, (1998), Tata Cara Survai dan Pengkajian Demografi dan Ketatakotaan,Departemen Pekerjaan Umum, Ditjen Cipta Karya.

Agus Suharjanto, (2007), Evaluasi Pengoperasian Kenderaan Pengangkut Sampah Sebagai Aset Daerah, Prposal, Jurusan Teknik Sipil, FTSP-ITS, Surabaya.

Binatama, Wirawredha Konsultan, (2003), National Action Plan Bidang Persampahan, Jakarta,

Badan Standardisasi Nasional, (1994), Tata Cara Pengelolaan Sampah di Permukiman, SNI 19-3234-1994, BSN, Jakarta.

Badan Standardisasi Nasional, (2002), Tata Cara Teknik Opeasional Pengelolaan Sampah di Permukiman, SNI 19-2454-2002, BSN, Jakarta

Badan Lingkungan Hidup Kota Gorontalo, (2011), Laporan Kegiatan Penanganan Samapah di Kota Gorontalo, BLH, Gorontalo,

Bramono, Sandhi Eko. 2007. Menghitung Biaya Sistem Penanganan Sampah. Didownload dari: http://tirtaamartya.wordpress.com/2007/11/06/ menghitung-biaya-sistem-penanganan-sampah/ Pada hari dan tanggal: 09 Meii 2012, 22:44:00

Balitbang PU, Departemen Pekerjaan Umum. 1990. SKSNI T-13-1990-F Tata Cara Pengelolaan Teknik Sampah Perkotaan. Balitbang PU.

Balitbang PU, Departemen Pekerjaan Umum. 1993. SKSNI S-04-1993-03 Spesifikasi Timbulan Sampah Untuk Kota Sedang dan Kota Kecil di Indonesia. Bandung: Yayasan LPMB.

KAJIAN KELAYAKAN PENERAPAN TEMPAT PENGOLAHAN SAMPAH TERPADU (TPST) UNTUK MENINGKATKAN CAKUPAN PELAYANAN SAMPAH DI KOTA BENGKULU

Kurniawan[1], Joni Hermana[2]

[1]*Mahasiswa Pascasarjana Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember –Surabaya*
E-Mail: kurni0508@gmail.com
[2]*Dosen Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember - Surabaya*

ABSTRAK

Untuk meningkatkan pelayanan sampah yang masih bertumpu pada pendekatan akhir, yaitu pola kumpul-angkut-buang, Pemerintah Kota Bengkulu mengeluarkan Peraturan Daerah (Perda) Nomor 02 Tahun 2011 tentang Pengelolaan Sampah di Kota Bengkulu. Perda ini mengatur pengolahan sampah melalui TPST sebelum sampah dibuang ke TPA, yang pengelolaannya akan dilaksanakan masyarakat melalui Lembaga Permberdayaan Masyarakat (LPM). Penelitian ini dilakukan untuk mengkaji kelayakan penerapan TPST tersebut untuk meningkatkan cakupan pelayanan sampah di Kota Bengkulu.

Metode penelitian yang digunakan adalah melakukan analisa kelayakan penerapan TPST dari aspek teknis yaitu penerapan TPST pada setiap kecamatan di Kota Bengkulu, aspek kelembagaan Dinas dan LPM, serta aspek keuangan dengan NPV, IRR, dan PP.

Dari hasil analisa diperoleh, penerapan TPST pada setiap kecamatan berupa pengembangan 4 TPST *eksisting* dan pembangunan 5 TPST, dapat mencapai target cakupan pelayanan sampah yang ditetapkan yaitu sebesar 45,33 % pada tahun 2015, meningkat dari cakupan pelayanan sampah sebesar 31,66% di tahun 2011. Perlu dibentuk pengelola TPST dari LPM yang telah ada di setiap kelurahan di Kota Bengkulu. Dari analisa kelayakan keuangan, investasinya layak dilaksanakan bila investasi awal untuk pengembangan 4 TPST *eksisting* disubsidi pemerintah sebesar Rp. 2.431.400.000,-, Nilai NPV dengan tingkat suku bunga 15 % bernilai positif, IRR > MARR 15 %, dan PP 6,86 tahun, lebih pendek dari periode investasi 10 tahun.

Kata kunci: IRR, LPM, NPV, PP, dan TPST

1. PENDAHULUAN

Kota Bengkulu sebagai Ibukota Provinsi Bengkulu, merupakan pusat pemerintahan dan sekaligus sebagai pusat pertumbuhan ekonomi. Salah satu dampak langsung yang dirasakan dari keberadaan pusat kegiatan tersebut adalah masalah kebersihan terutama sampah. Laju pertambahan penduduk yang disertai arus urbanisasi mengakibatkan bertambahnya jumlah sampah dan adanya perubahan pola konsumsi masyarakat menghasilkan jenis sampah yang semakin beragam. Jumlah penduduk Kota Bengkulu pada tahun 2010 berjumlah 308.544 jiwa, dengan laju pertumbuhan penduduk sebesar 2,44% (Kota Bengkulu Dalam Angka, 2011), jika besaran timbulan sampah yang dihasilkan sebesar 2,21 lt/org/hr maka timbulan sampah yang dihasilkan adalah 676.750 lt/hari atau setara dengan 676,75 m^3/hari. Timbulan sampah ini perlu dikelola dengan baik agar tidak memberikan dampak negatif terhadap lingkungan.

Kondisi saat ini, pengelolaan sampah di Kota Bengkulu masih bertumpu pada Dinas Pertamanan dan Kebersihan Kota Bengkulu, adapun cakupan layanan yang dapat dilaksanakan oleh dinas tersebut sekitar 33,01% dari total timbulan sampah yang ada.

Keterbatasan sarana dan prasarana yang dimiliki oleh Dinas Pertamanan dan Kebersihan membuat cakupan pelayanan sulit untuk ditingkatkan.
Cara penyelesaian yang ideal dalam penanganan sampah perkotaan adalah dengan melakukan pengolahan sampah secara terpadu. Seperti yang tercantum dalam Undang-Undang Nomor 18 Tahun 2008 tentang pengelolaan sampah, bahwa sampah telah menjadi permasalahan nasional sehingga pengelolaannya perlu dilakukan secara komprehensif dan terpadu, agar memberikan manfaat secara ekonomi, sehat bagi masyarakat dan aman bagi lingkungan, serta mengubah perilaku masyarakat.
Pemerintah Kota Bengkulu, dalam mewujudkan pengelolaan sampah yang berwawasan lingkungan dan memberikan pelayanan yang optimal dalam pengelolaan kebersihan, telah menetapkan Peraturan Daerah (Perda) nomor 02 tahun 2011 mengenai pengelolaan sampah di Kota Bengkulu. Dalam Perda tersebut dijelaskan kegiatan pengelolaan sampah dilaksanakan secara terpadu antara pemerintah daerah dan masyarakat, salah satu penerapannya dengan peran serta LPM. LPM memiliki fungsi dan tanggung jawab untuk menangani sampah rumah tangga dan sampah sejenis sampah rumah tangga yang berasal dari kawasan permukiman dan tempat usaha industri sampai ke pengelolaan di TPST, sedangkan Dinas Pertamanan dan Kebersihan bertanggung jawab untuk pengelolaan sampah pada kawasan komersil dan pengangkutan ke TPA untuk sisa sampah yang tidak bisa diolah di TPST.
Untuk mencapai tujuan yang diharapkan dari Perda tersebut, maka sistem pengolahan sampah melalui TPST harus dapat berjalan maksimal, sehingga peningkatan cakupan pelayanan sampah dapat tercapai. Untuk itu penelitian bertujuan untuk mengkaji kelayakan penerapan TPST di Kota Bengkulu untuk meningkatkan cakupan pelayanan sampah yang ditinjau dari aspek teknis, kelembagaan dan keuangan.

2. METODE PENELITIAN

Kajian kelayakan penerapan pengolahan sampah di TPST ditinjau dari aspek teknis, aspek kelembagaan serta aspek keuangan. Sesuai dengan program pengembangan persampahan yang terdapat pada RTRW Kota Bengkulu, bahwa akan dibangun TPST di kecamatan yang belum terdapat TPST dan pengembangan TPST *eksisting,* maka pada penelitian ini penerapan TPST akan di simulasikan pada setiap kecamatan yang terdapat di Kota Bengkulu. Penerapan TPST ini akan dilaksanakan dengan skala prioritas untuk setiap tahunnya, dimana prioritas utama adalah daerah perkotaan dan sekitarnya yang memiliki tingkat kepadatan penduduk tinggi.
Tingkat pelayanan sampah yang dicapai dengan penerapan TPST ini, akan dikatakan layak bila dapat mencapai tingkat layanan yang ditetapkan. Kajian sistem pengolahan sampah di TPST ini meliputi:
a. Aspek Teknis;
Analisa aspek teknis dilakukan untuk mengetahui peranan pengolahan sampah di TPST dalam meningkatkan cakupan pelayanan sampah. Analisa yang dilakukan adalah sebagai berikut:
1) Mengetahui komposisi sampah di TPS yang dapat didaur ulang dan komposisi sampah yang harus dibuang ke TPA.
2) Mengestimasi perkembangan volume sampah.
3) Mengestimasi peningkatan pelayanan sampah dengan adanya pengolahan sampah di TPST.

b. Analisa Aspek Kelembagaan;
Analisis kelembagaan dilakukan untuk mengetahui permasalahan yang dihadapi dinas pengelolaan sampah dan LPM dalam melakukan penanganan sampah. Analisa kelembagaan ditinjau dari bentuk struktur organisasi dan sumber daya manusia (SDM) yang terdapat di dinas dan LPM. Analisa kelembagaan dilakukan dengan metode deskriktif.
c. Penilaian Kelayakan Keuangan;
Dalam penilaian kelayakan investasi pengolahan sampah di TPST, dilakukan suatu perhitungan atau penilaian ekonomis untuk jangka waktu 10 tahun. Adapun metode penilaian kelayakan tersebut sebagai berikut :
1) Menghitung investasi awal ;
Untuk mengetahui investasi yang dikeluarkan di dalam pengolahan sampah di TPST, dapat dilakukan dengan menghitung :
a) Pembangunan TPST berserta aset penunjangnya.
b) Aliran kas masuk yang akan diterima dari penjualan produk sampah yang dihasilkan di TPST dan aliran kas keluar termasuk untuk upah tenaga kerja dan biaya operasional TPST selama 10 tahun.
2) Menghitung *Nilai Net Present Value* (NPV), *Internal Rate of Return* (IRR), dan *Payback Period* (PP).
Dalam penelitian ini, pengumpulan data dilakukan melalui :
1. Kajian pustaka yang dilakukan bersumber dari buku-buku yang relevan, undang-undang/peraturan/SNI serta penelitian-penelitian sebelumnya/terdahulu.
2. Observasi (pengamatan langsung0 ke lokasi dan wawancara.

3. ANALISA DATA

I. Analisa Kondisi *Eksisting* Pengelolaan Sampah
a. Timbulan Sampah
Didapatkan bahwa timbulan sampah rata-rata yang dihasilkan penduduk adalah sebesar 2,21 l/orang/hari atau setara dengan 0,49 kg/orang/hari. Sehingga total timbulan sampah yang dihasilkan setiap hari di Kota Bengkulu pada tahun 2010 dengan jumlah penduduk sebesar 308.544 jiwa adalah 151.186,56 kg/hari.
b. Komposisi Sampah
Didapatkan komposisi sampah yang berbentuk sisa makanan dan dedaunan sebesar 65,71%, plastik sebesar 14,29%, kertas sebesar 11,43%, kain sebesar 0,43%, logam sebesar 0,19%, kaca sebesar 0,33% dan lain-lain sebesar 7,62%.
c. Dari total volume timbulan sampah yang dihasilkan, diketahui tingkat pelayanan sampah yaitu pengangkutan sampah yang diberikan oleh Dinas Pertamanan dan Kebersihan Kota Bengkulu jika dibandingkan dengan timbulan sampah yang terangkut ke TPA didapatkan bahwa tingkat pelayanan sampah pada tahun 2010 baru mencapai 33,01%.
d. Alokasi anggaran program pengembangan kinerja pengelolaan persampahan selama 3 tahun dari tahun 2009–2011, menunjukkan kecenderungan yang terus menurun mulai dari 1,03 % pada tahun 2009, menjadi 1,22 % pada tahun 2010, dan 0,66 % tahun 2011. Kemudian, jika penerimaan retribusi persampahan dibandingkan dengan alokasi anggaran untuk kegiatan pengelolaan persampahan di dalam APBD Kota Bengkulu Tahun Anggaran 2011 dari 0,66 % anggaran kegiatan pengelolaan persampahan, sebesar 96,19 % bersumber dari APBD dan 3,81 % bersumber dari penerimaan

retribusi. Sehingga anggaran pengelolaan sampah di Kota Bengkulu dan realisasi penerimaan retribusi persampahan harus terus ditingkatkan karena masih jauh dari standar yang ditetapkan.

II. Aspek Teknis Kajian Kelayakan Penerapan TPST Untuk Meningkatkan Cakupan Pelayanan Sampah Di Kota Bengkulu.

Jumlah sampah yang harus dikelola di TPST yang ada di Kota Bengkulu, untuk mencapai target pelayanan sampah yang dituju yaitu 45,33 % penduduk terlayani pada tahun 2015 sebesar 197,40 m^3/hari atau 72.051 m^3/tahun. Sesuai dengan program pengembangan persampahan yang terdapat pada RTRW Kota Bengkulu, akan dibangun TPST di kecamatan yang belum terdapat TPST dan peningkatan kapasitas penanganan sampah pada TPST *eksisting*. Saat ini ada 5 (lima) kecamatan yang belum memiliki TPST, maka bila ditambah 4 (empat) TPST yang ada sekarang, akan terdapat 9 (sembilan) TPST di Kota Bengkulu. Bila terdapat 9 (sembilan) TPST, maka setiap TPST akan mengolah sampah sebesar 21,93 m^3/hari.

Untuk rencana penerapan TPST, maka wilayah Kota Bengkulu dibagi menjadi 3 (tiga) wilayah pengembangan. Pembagian wilayah pengembangan yang menjadi prioritas pertama tahun 2012 adalah WP 1 adalah kecamatan yang telah memiliki TPST yaitu Kecamatan Muara Bangkahulu, Kecamatan Selebar dan Kecamatan Gading Cempaka. Prioritas kedua tahun 2013 adalah WP 2 Kecamatan Ratu Agung dan Kecamatan Kampung Melayu. Prioritas ketiga tahun 2014 adalah WP 3 adalah Kecamatan Ratu Samban, Kecamatan Teluk Segara dan Kecamatan Sungai Serut.

Dari hasil perhitungan, diperoleh luas kebutuhan lahan untuk mengolah timbulan sampah dengan volume 21,93 m^3/hari di TPST adalah 370 m^2. Sedangkan luas bangunan TPST *Eksisting* adalah 137 m^2, sehingga diperlukan pengembangan seluas 233 m^2. Sedangkan kebutuhan tenaga kerja untuk melakukan pengolahan sampah di setiap TPST adalah 15 orang.

Volume sampah yang akan dibuang ke TPA dengan adanya pengolahan di TPST dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Volume Sampah Yang di Buang Ke TPA

No.	Volume Sampah Yang di Buang Ke TPA	Tahun			
		2012	2013	2014	2015
1	WP. 1				
	Pengolahan di TPST (m^3/hari)	68,80	68,80	68,80	68,80
	Timbulan Sampah (m^3/hari)	735,87	767,33	800,14	834,36
	Total (m^3/hari)	667,07	698,54	731,35	765,56
2	WP.1 dan WP.2				
	Pengolahan di TPST (m^3/hari)		103,19	103,19	103,19
	Timbulan Sampah (m^3/hari)		767,33	800,14	834,36
	Total (m^3/hari)		664,14	696,95	731,17
3	WP.1, WP.2 dan WP.3				
	Pengolahan di TPST (m^3/hari)			154,79	154,79
	Timbulan Sampah (m^3/hari)			800,14	834,36
	Total (m^3/hari)			645,35	679,57

Sedangkan peningkatan pelayanan persampahan dengan adanya pengolahan sampah di TPST dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Peningkatan Pelayanan Persampahan

No	Penanganan Timbulan	Tahun (m^3/hari)			
		2012	2013	2014	2015
1	WP.1				
	Pengolahan di TPST	68,80	68,80	68,80	68,80
	Pelayanan Pengangkutan	223,40	223,40	223,40	223,40
	Total Pelayanan Persampahan	292,20	292,20	292,20	292,20
	Proyeksi Timbulan Sampah	735,87	767,33	800,14	834,36
	Tingkat Pelayanan Persampahan (%)	39,71%	38,08%	36,52%	35,02%
2	WP.1 dan WP.2				
	Pengolahan di TPST		103,19	103,19	103,19
	Pelayanan Pengangkutan		223,40	223,40	223,40
	Total Pelayanan Persampahan		326,59	326,59	326,59
	Proyeksi Timbulan Sampah		767,33	800,14	834,36
	Tingkat Pelayanan Persampahan (%)		42,56%	40,82%	39,14%
3	WP.1, WP.2 dan WP.3				
	Pengolahan di TPST			154,79	154,79
	Pelayanan Pengangkutan			223,40	223,40
	Total Pelayanan Persampahan			378,19	378,19
	Proyeksi Timbulan Sampah			800,14	834,36
	Tingkat Pelayanan Persampahan (%)			47,27%	45,33%

Dari Tabel 2 dapat dilihat dengan pengolahan sampah di TPST dilakukan pada wilayah pengembangan 1, 2 dan 3 menjadi 45,33% pada tahun 2015.

III. Aspek Kelembagaan Kajian Kelayakan Penerapan TPST Untuk Meningkatkan Cakupan Pelayanan Sampah Di Kota Bengkulu.

Saat ini telah terbentuk LPM di setiap kelurahan di Kota Bengkulu yang berjumlah 67 LPM, sesuai dengan jumlah kelurahan yang ada di Kota Bengkulu. LPM di bentuk berdasarkan keputusan kepala kelurahan dan disahkan oleh Walikota Bengkulu. Dalam manjalankan fungsinya, LPM mendapatkan subsidi dari pemerintah daerah, yang pengelolaannya diserahkan kepada masing-masing LPM, sesuai kebutuhan di wilayah masing-masing. Tetapi belum terbentuk oganisasi yang akan berfungsi sebagai pengelolaan TPST. Hambatan dalam pelaksanaan pengolahan sampah di TPST karena belum adanya juknis tentang pengolahan sampah di TPST, dan tidak ada pendampingan dari dinas terkait, baik berupa pendampingan dalam pengolahan sampah maupun sosialisasi teknis.

IV. Aspek Keuangan Kajian Kelayakan Penerapan TPST Untuk Meningkatkan Cakupan Pelayanan Sampah Di Kota Bengkulu.

Analisa kelayakan keuangan yang dilakukan pada penerapan TPST di Kota Bengkulu, meliputi antara lain :

a. Biaya investasi, dalam hal ini adalah biaya konstruksi dan juga pengadaan peralatan yang diperlukan dalam melakukan pengolahan sampah di TPST. Biaya investasi peralatan di 1 TPST *eksisting* diperlukan Rp. 141.850.000,-. Maka biaya investasi yang diperlukan untuk pengembangan 4 TPST *eksisting* yaitu sebesar Rp. 567.400.000,-. Sedangkan biaya investasi peralatan yang diperlukan untuk penambahan 1 TPST baru sebesar Rp. 213.500.000,-. Maka biaya investasi yang

diperlukan untuk pembangunan 5 TPST adalah Rp. 1.067.500.000,-. Untuk biaya perlengkapan dan peralatan pendukung sebesar Rp. 8.512.652,14 untuk 1 TPST eksisting dan Rp. 8.992.652,14 untuk TPST yang baru. Maka total biaya perlengkapan dan peralatan pendukung yang diperlukan untuk TPST eksisting adalah Rp. 34.050.068,55, dan untuk TPST baru adalah sebesar Rp. 35.970.608,55.

b. Biaya operasional dan pemeliharaan, adalah biaya yag diperlukan dalam pengolahan sampah di TPST oleh pihak pengelola. Total biaya yang diperlukan untuk pembayaran gaji pekerja per tahun untuk setiap TPST adalah Rp. 257.679.240,-. Sedangkan biaya bahan bakar dan pemeliharaan peralatan di TPST sebesar Rp. 59.162.500,-/tahun untuk 1 TPST.

c. Potensi pendapatan, dilakukan dengan memproyeksi perhitungan potensi pendapatan hasil penjualan sampah yang dilakukan selama 10 tahun sampai dengan tahun 2021, mencapai Rp. 5.806.126.905,-.pertahun.

d. Berdasarkan perhitungan nilai kelayakan keuangan didapatkan hasil, bila investasi hanya memanfaatkan hasil penjualan produk daur ulang sampah didapatkan nilai NPV < 0, jadi disimpulkan tidak layak dilaksanakan. Sedangkan bila investasi awal untuk pengembangan lahan 4 TPST *eksisting* dan pengadaan peralatannya didapatkan dari subsidi pemerintah, Didapatkan nilai NPV pada tingkat suku bunga 15 %, NPV yang bernilai positif sebesar Rp. 1.392.440.752, IRR sebesar 22,25 % lebih besar dari MARR sebesar 15 %, dan PP selama 6,86 tahun, sehingga investasi pengolahan sampah di TPST bisa dikatakan layak untuk dilaksanakan

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisa data dan pembahasan, dapat ditarik kesimpulan penerapan TPST untuk meningkatkan cakupan pelayanan sampah di Kota Bengkulu dapat dikatakan layak bila ditinjau dari aspek teknis, aspek kelembagaan, dan aspek keuangan, yaitu:

1. Dari aspek teknis, penerapan pengolahan sampah di TPST pada setiap kecamatan di Kota Bengkulu, berupa pengembangan 4 TPST *eksisting* dan pembangunan 5 TPST, dengan kapasitas total pengolahan sampah sebesar 197,40 m^3/hari, hasil yang didapatkan :

a. Volume sampah yang dibuang ke TPA pada tahun 2015 adalah sebesar 679,57 m^3/hari, sedangkan bila tidak dilakukan pengolahan sampah di TPST, volume sampah yang dibuang ke TPA adalah sebesar 834,36 m^3/hari.

b. Tingkat pelayanan persampahan pada tahun 2015 adalah sebesar 45,33%, sesuai dengan target pelayanan persampahan yang ditetapkan. Sedangkan bila tidak dilakukan pengolahan sampah di TPST, tingkat pelayanan persampahan adalah sebesar 26,78%.

2. Dari aspek kelembagaan, telah terbentuk 67 LPM di Kota Bengkulu, tetapi belum terbentuk organisasi pengelola TPST. Merujuk kepada Perda No. 02 tahun 2011, disebutkan untuk pengelolaan TPST, LPM-LPM dapat membentuk organisasi pengelola TPST.

3. Dari kelayakan keuangan, hasil yang didapatkan :

a. Bila investasi hanya memanfaatkan hasil penjualan produk daur ulang sampah didapatkan nilai NPV < 0, jadi disimpulkan tidak layak dilaksanakan.

b. Bila investasi awal untuk pengembangan lahan 4 TPST *eksisting* dan pengadaan peralatannya yaitu sebesar Rp. 2.431.400.000,- didapatkan dari subsidi pemerintah, Sedangkan untuk kebutuhan investasi yang lainnya memanfaatkan hasil penjualan

produk daur ulang sampah. Didapatkan nilai NPV pada tingkat suku bunga 15 %, NPV yang bernilai positif sebesar Rp. 1.392.440.752, IRR sebesar 22,25 % lebih besar dari MARR sebesar 15 %, dan PP selama 6,86 tahun (6 tahun 10 bulan 9 hari) yang berarti lebih pendek dari periode investasi selama 10 tahun, sehingga investasi pengolahan sampah di TPST bisa dikatakan layak untuk dilaksanakan.

5. DAFTAR PUSTAKA

Anonim (2008) *Pengelolaan Sampah*, Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 18 Tahun 2008. Jakarta: Dep. Hukum dan HAM.

Anonim (2008) *Uraian Tugas, Fungsi dan Tata Kerja Dinas Daerah Kota Bengkulu*, Peraturan Walikota Bengkulu Nomor 26 Tahun 2008. Bengkulu: Bagian Organisasi dan Kepegawaian Setda Kota Bengkulu.

Anonim (2011) *Pengelolaan Sampah di Kota Bengkulu*, Peraturan Daerah Kota Bengkulu Nomor 02 Tahun 2011. Bengkulu: Setda Kota Bengkulu.

Anonim (2011) *Retribusi Pelayanan Persampahan di Kota Bengkulu*, Peraturan Daerah Kota Bengkulu Nomor 05 Tahun 2011. Bengkulu: Setda Kota Bengkulu.

BPS Kota Bengkulu (2012), *Kota Bengkulu Dalam Angka 2011*. Bengkulu.

Badan Lingkungan Hidup Kota Bengkulu (2010) *Laporan Periodik Sampah Kota Bengkulu Tahun 2010*. Bengkulu.

Departemen Pekerjaan Umum (2006) *Pedoman Tata Cara Pengelolaan Sampah 3R*, Ditjen Cipta Karya. Jakarta.

Dinas Pertamanan dan Kebersihan Kota Bengkulu (2012) *Profil Tahun 2012*, Bengkulu.

Kodoatie, R.J. (1995) *Analisis Ekonomi Teknik*, Andi. Yogyakarta.

Kementerian Pekerjaan Umum (2011) *Materi I Bidang Sampah*, Ditjen Cipta Karya. Jakarta.

SNI 19-3983-1995 (1995) *Spesifikasi Timbulan Sampah Untuk Kota Kecil dan Sedang di Indonesia*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.

SNI 19-2454-2002 (2002) *Tata Cara Teknik Operasional Pengelolaan Sampah Perkotaan*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.

SNI 3242-2008 (2008) *Tata Cara Pengelolaan Sampah di Permukiman*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.

Tchobanoglous, G., Theisen, H., Vigil, S. (1993) *Integrated Solid Waste Management Issues*. Mc. Graw-Hill International Edition.

Teguh (2001) *Kajian Pengadaan dan Penerapan TPST di TPA Km 14 Kota Palangkaraya*. Surabaya: Tesis Magister, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Widiastutik, R. (2009) *Pengelolaan Sampah Terpadu di TPA Tlekung Kota Batu*. Surabaya: Tesis Magister, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

" Halaman ini sengaja dikosongkan "

ISBN 978-979-99327-8-5

PENERAPAN KOLAM RETENSI DALAM PENGENDALIAN DEBIT BANJIR AKIBAT PENGEMBANGAN WILAYAH KAWASAN INDUSTRI

Albert Wicaksono[1], Doddi Yudianto[2], Bambang Adi Riyanto[3], Gneis Setia Graha[4]

[1]*Staf pengajar Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Katolik Parahyangan Bandung, telp. 022-2033691, email: albert.wcso@unpar.ac.id*
[2]*Staf pengajar Jurusan Teknik Sipil Unpar, telp. 022-2033691, email: doddi_yd@yahoo.com*
[3]*Staf pengajar Jurusan Teknik Sipil Unpar, telp. 022-2033691, email: b_adiriyanto@yahoo.com*
[4]*Alumni Jurusan Teknik Sipil Unpar, email: gneissg@gmail.com*

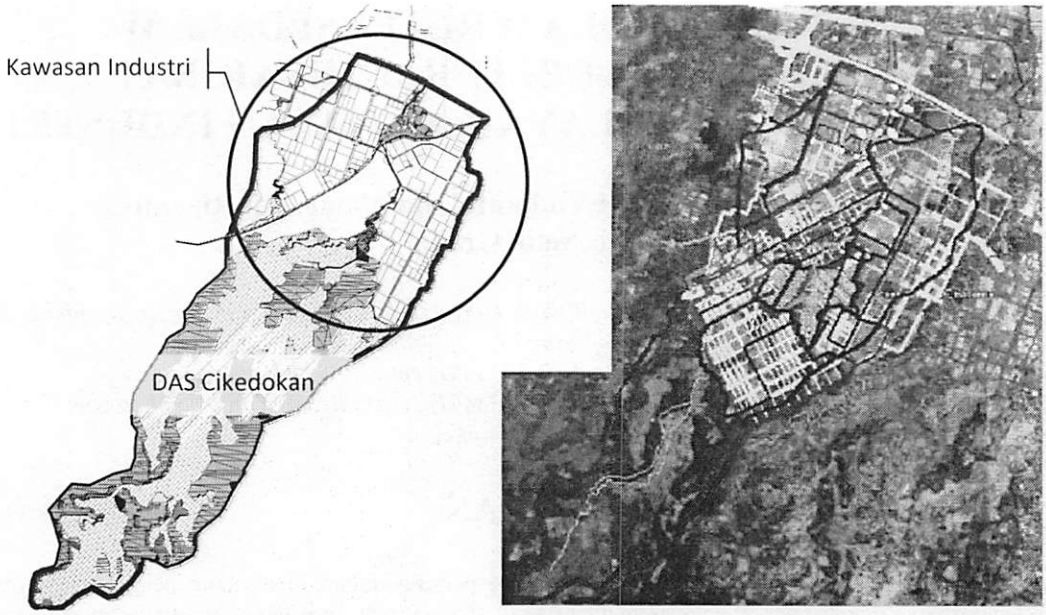
ABSTRAK

Penyediaan lahan industri merupakan salah satu faktor penting dalam menunjang pergerakan industri seiring peningkatan perekonomian negara. Akibat pengembangan kawasan yang kurang terencana dengan baik, salah satu kawasan industri di Provinsi Jawa Barat kini mengalami genangan di sejumlah lokasi. Berdasarkan hasil analisis, diketahui bahwa perluasan lapisan kedap air di daerah hulu menyebabkan peningkatan debit yang sangat signifikan dari 34 m^3/s menjadi 91 m^3/s. Terkait hal tersebut, maka studi ini akan mencoba mencari solusi yang dapat digunakan untuk mengendalikan peningkatan puncak debit banjir tersebut. Salah satu alternatif solusi adalah menggunakan kolam retensi, namun terbatasnya ketersediaan lahan bagi penyediaan kolam retensi dalam hal ini menjadi salah satu kendala pengendalian limpasan. Dengan memanfaatkan luas lahan yang tersedia sebesar 1,5 ha dan 3 ha, limpasan yang terjadi hanya mampu direduksi menjadi 50 m^3/s. Permasalahan lain yang juga dihadapi adalah lokasi outlet saluran drainase yang berada tepat di hulu gorong-gorong dan memiliki elevasi di bawah kedalaman normal muka air saluran utama. Kondisi ini menyebabkan terjadinya aliran balik yang pada akhirnya menuntut dilakukannya peninggian elevasi muka jalan setinggi 50 cm sepanjang 175 m serta penggantian gorong-gorong.

Kata kunci: pengembangan kawasan industri, pengendalian limpasan permukaan, penerapan kolam retensi

PENDAHULUAN

Peningkatan ekonomi negara menyebabkan daya beli masyarakat meningkat yang ditandai dengan semakin konsumtifnya masyarakat tersebut. Peningkatan permintaan dari masyarakat ini menyebabkan pihak produsen meningkatkan kapasitas produksinya dengan mendirikan pabrik atau gudang baru. Mendirikan pabrik atau gudang tentunya membutuhkan lahan dan biasanya lahan tersebut terletak tidak berjauhan dengan lokasi pabrik lama sehingga pengembangan pabrik ini akan dilakukan di kawasan industri yang sama. Hal inilah yang juga dihadapi oleh salah satu kawasan industri yang berlokasi di Cibitung, Kotamadya Bekasi, Provinsi Jawa Barat. Apabila ditinjau dari aspek hidrologis, maka kawasan ini berada di Daerah Aliran Sungai (DAS) Cikedokan sebagaimana tergambar pada 0.

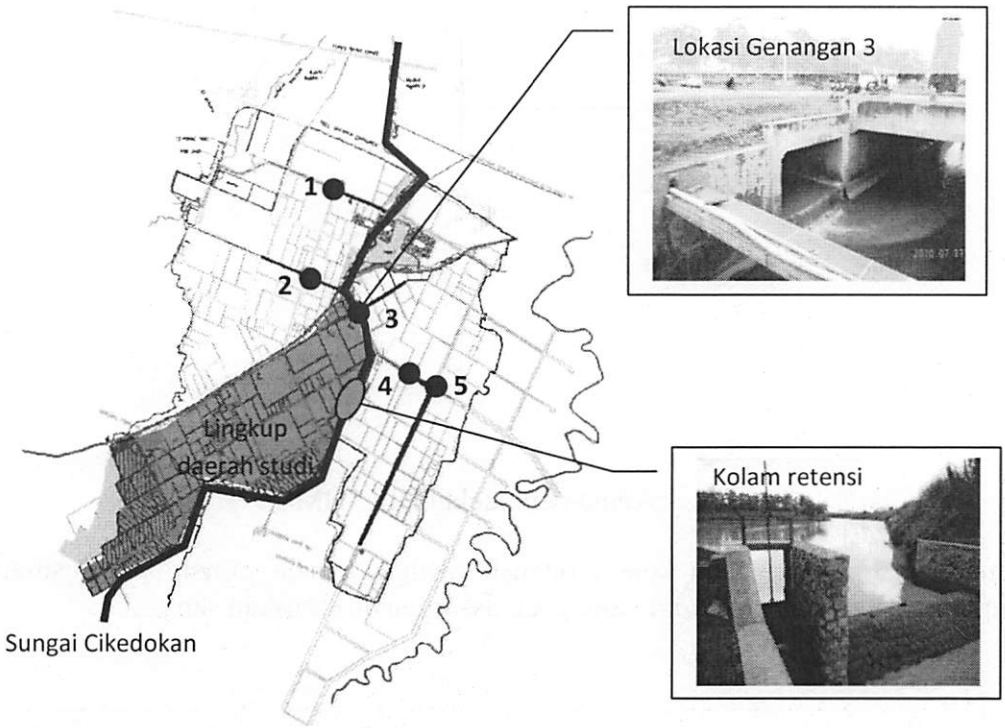


Tata Guna Lahan DAS Cikedokan[1]

Kawasan industri yang berdiri sejak tahun 1990 ini pada awalnya memilki lahan seluas 805 ha yang dikembangkan dalam tiga fase pengembangan yaitu fase 1, 2 dan 3. Saat ini, seiring perkembangan dari pabrik-pabrik yang berada di dalam kawasan ini, maka saat ini lahan yang diperlukan mencapai 1.200 ha yang akan dilakukan secara bertahap. Pengembangan kawasan ini tentunya akan merubah jenis tutupan lahan DAS Cikedokan yang awalnya berupa sawah dan lahan terbuka yang mampu meresapkan air menjadi kawasan kedap air. Perubahan tata guna lahan ini akan menyebabkan air hujan yang jatuh akan langsung berubah menjadi limpasan permukaan yang akibatnya akan menaikkan nilai puncak debit banjir pada kawasan tersebut.

Dampak dari perubahan nilai puncak debit banjir ini sudah mulai terasa pada kawasan ini, ditandai dengan semakin seringnya terjadi genangan di beberapa lokasi di dalam kawasan industri sebagaimana tergambar pada 0. Namun, studi ini hanya memfokuskan pada permasalahan genangan di lokasi 3 yang merupakan titik outlet dari salah satu kawasan yang akan dikembangkan dari yang semula hanya 60,1 ha menjadi 183,25 ha. Selain itu, pada lokasi ini terdapat pertemuan aliran dari saluran drainase kawasan dengan Sungai Cikedokan. Elevasi dasar saluran drainase yang hanya 50 cm di atas dasar sungai mengakibatkan ketika muka air di sungai cukup tinggi, aliran dari saluran drainase tidak dapat mengalir ke sungai dan menyebabkan limpasan di daerah tersebut.

Pada kawasan industri ini sebenarnya sudah terdapat beberapa kolam retensi yang telah dibuat menyebar di beberapa lokasi pada kawasan ini. Salah satunya berada pada alur Sungai Cikedokan dengan luas 2,71 ha. Saat ini kolam tersebut mampu mereduksi debit limpasan dari daerah hulu sebesar 30%. Namun kolam retensi ini tidak mampu untuk mereduksi debit limpasan akibat pengembangan wilayah yang terjadi. Melihat permasalahan yang terjadi, maka studi ini akan mencoba melakukan analisis dan simlasi untuk mencari alternatif solusi yang dapat digunakan untuk mengendalikan limpasan yang terjadi di kawasan ini.



Lokasi genangan dan lingkup daerah studi[1]

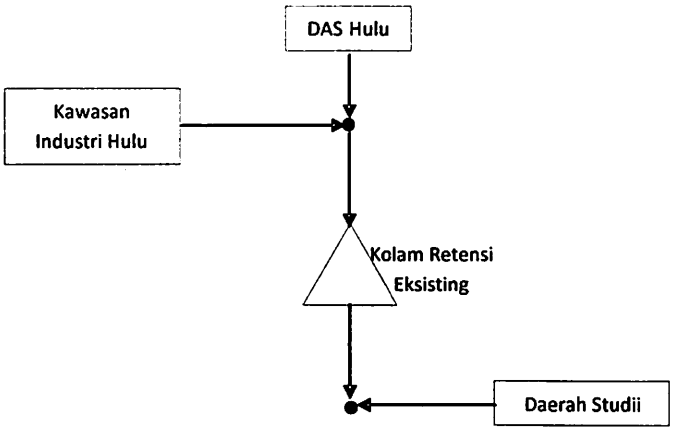
METODOLOGI

Analisis debit banjir dilakukan menggunakan hidrograf satuan sintetik (HSS) SCS dimana memperhitungkan faktor tata guna lahan dengan nilai *Curve Number* (CN) yang bervariasi antara 1 sampai 100 dimana semakin besar nilainya maka limpasan yang terjadi semakin besar pula. Dengan adanya parameter ini, maka perubahan tata guna lahan dapat dianalisis dengan mudah. Secara matematis, besarnya debit banjir yang dihitung berdasarkan metode SCS dinyatakan sebagai berikut[2]:

$$q_p = \frac{C \cdot A}{T_p} \quad \text{.....} (1)$$

Dengan q_p adalah debit banjir puncak (m^3/sekon), C adalah koefisien pengali (2,08 untuk satuan SI), A adalah luas daerah pengaliran (km^2) dan T_p adalah waktu dari awal hujan sampai puncak banjir (jam).

Analisis debit dilakukan dengan bantuan perangkat lunak HEC-HMS versi 3.5 berdasarkan rangkaian data hujan harian selama 15 tahun (1989–2003) hasil pencatatan stasiun Bekasi. Analisis dilakukan pada debit banjir periode ulang 5 tahun dengan asumsi hujan terdistribusi selama 3 jam. Distribusi hujan yang digunakan berdasarkan pola distribusi di Pulau Jawa, dimana menggunakan pola 68%, 24% dan 8% untuk jam pertama, kedua dan ketiga. Adapun pemodelan HEC-HMS mengacu pada skema model yang secara sederhana tersaji pada 0.



Skema pemodelan HEC-HMS

Simulasi tampungan pada kolam retensi, mengacu pada prinsip penelusuran banjir tampungan (*reservoir routing*) yang pada dasarnya dirumuskan sebagai[3]:

$$I - O = \frac{\Delta S}{\Delta t} \quad \text{.....} (2)$$

Dengan I adalah aliran yang masuk ke dalam tampungan (*inflow*) (m^3/s), O adalah aliran yang dikeluarkan dari tampungan (*outflow*) (m^3/s), ΔS adalah perubahan tampungan (m^3) dan Δt adalah selang waktu (s).

Analisis debit banjir dilakukan pada dua kondisi, yaitu kondisi eksisting saat ini dan kondisi yang akan datang. Kondisi akan datang yang dimaksud adalah kondisi dimana terjadi pengembangan kawasan industri. Selain analisis debit banjir dan simulasi tampungan, juga akan dilakukan analisis profil muka air pada Sungai Cikedokan dan saluran drainase. Analisis hidraulik menggunakan bantuan perangkat lunak HEC-RAS versi 4.1 yang merupakan model aliran satu dimensi. Analisis aliran pada model HEC-RAS mengacu pada aliran langgeng dan profil muka air pada setiap penampang dihitung berdasarkan persamaan Manning yang dirumuskan sebagai berikut[4]:

$$Q = \frac{1}{n} \times A \times R^{\frac{2}{3}} \times \sqrt{S_f} \quad \text{.....} (3)$$

Dengan Q adalah nilai debit (m^3/s), n adalah koefisien kekasaran Manning, A adalah luas penampang basah (m^2), R adalah keliling basah (m) dan S_f adalah kemiringan garis energi. Perangkat lunak HEC-RAS pada dasarnya hanya akan mencari nilai kedalaman pada setiap penampang dimana kedalaman ini berada di dalam variabel luas dan keliling basah[4]. Data masukan pada model HEC-RAS berupa data penampang memanjang dan melintang saluran yang diperoleh dari pihak pengelola kawasan industri.

HASIL ANALISIS

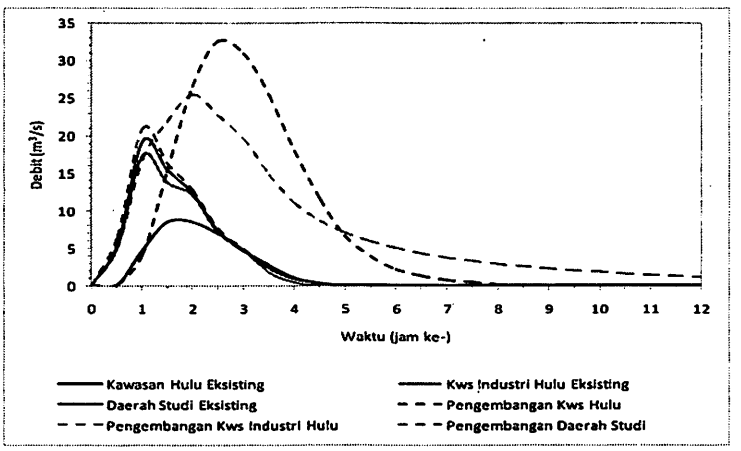
Kondisi Eksisting

Informasi tata guna lahan memperlihatkan bahwa saat ini terdapat 805 ha lahan yang telah dikembangkan menjadi kawasan industri. Sementara itu di bagian hulu dari kawasan industri masih berupa lahan sawah (44,95%), kawasan permukiman (42,62%) dan sisanya berupa lahan terbuka ataupun hutan kecil. Kondisi tata guna lahan ini akan menyebabkan debit limpasan yang masuk ke kawasan ini dari DAS hulu sebesar 8,57 m^3/s dan kawasan industri hulu sebesar 25,7 m^3/s atau total sebesar 34,27 m^3/s di hulu kolam retensi eksisting. Pemanfaatan kolam retensi mampu mereduksi nilai debit menjadi 12,67 m^3/s. Sementara itu nilai puncak debit di lokasi 3 tercatat sebesar 19,3 m^3/s dengan hanya 60,1 ha berupa lahan terbangun dan 123,15 ha masih berupa lahan sawah dan pemukiman.

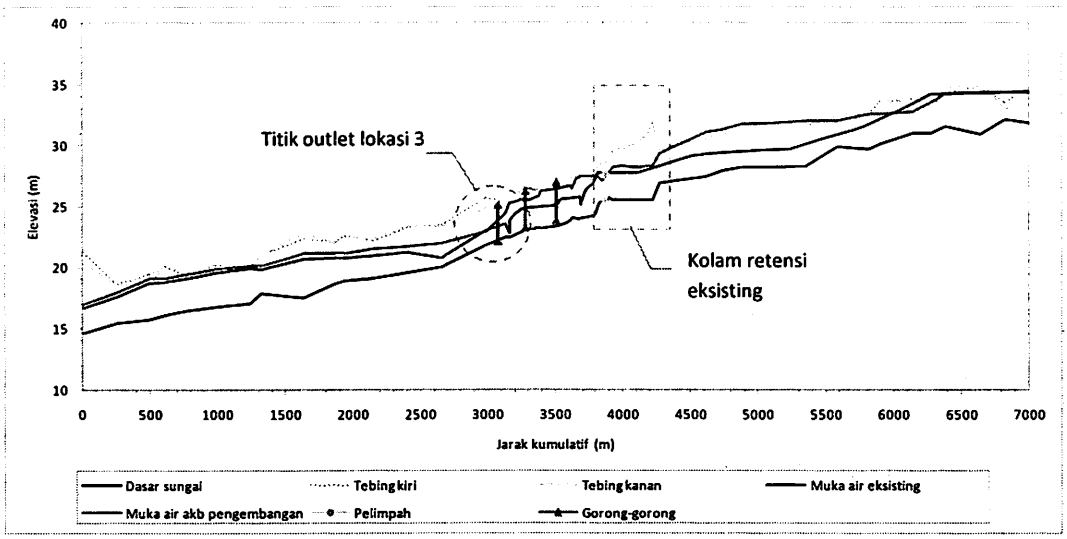
Kondisi Pengembangan yang Akan Datang

Perubahan areal sawah, pemukiman, lahan terbuka dan hutan yang awalnya mendominasi bagian hulu DAS Cikedokan menjadi kawasan industri mengakibatkan peningkatan nilai debit yang masuk ke kawasan industri. Nilai puncak debit dari DAS hulu meningkat menjadi 32,6 m^3/s dan dari kawasan industri di hulu daerah studi meningkat menjadi 58 m^3/s atau total debit yang masuk ke kolam retensi eksisting sebesar 90,6 m^3/s. Sementara itu perubahan 123,15 ha lahan yang awalnya berupa lahan terbuka menjadi kawasan industri pada daerah studi, mengakibatkan peningkatan nilai debit puncak banjir menjadi 20,98 m^3/s di titik outler lokasi 3. Perubahan nilai debit yang terjadi pada kawasan ini dapat dilihat pada 0.

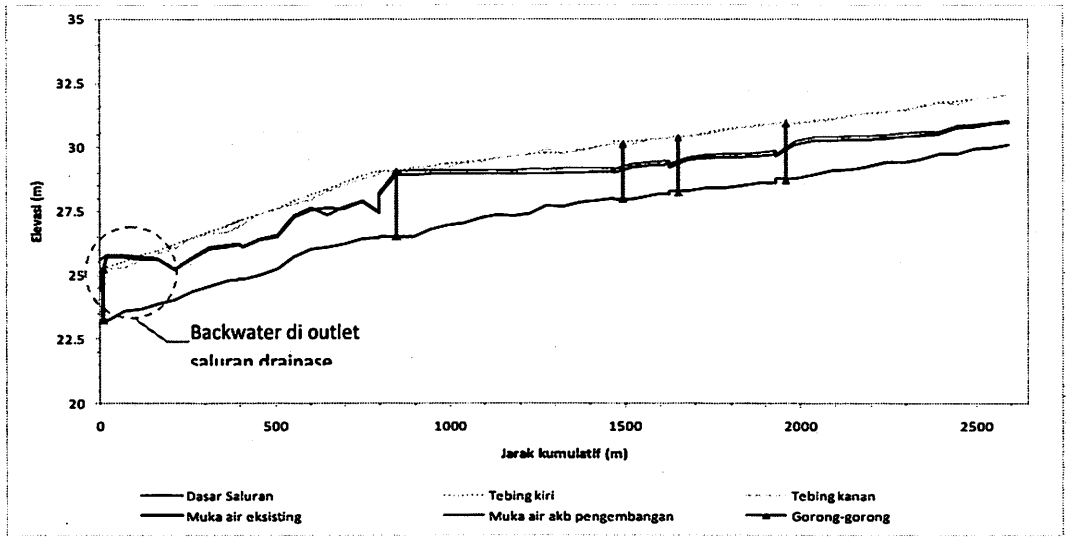
Peningkatan debit aliran ini juga mengakibatkan peningkatan muka air di Sungai Cikedokan sebagaimana tergambar pada 0. Sementara itu pada 0 dapat dilihat bahwa terjadi aliran-balik (*backwater*) di hilir saluran drainase akibat tidak dapat mengalirnya air ke sungai.



Perubahan nilai debit banjir pada daerah studi



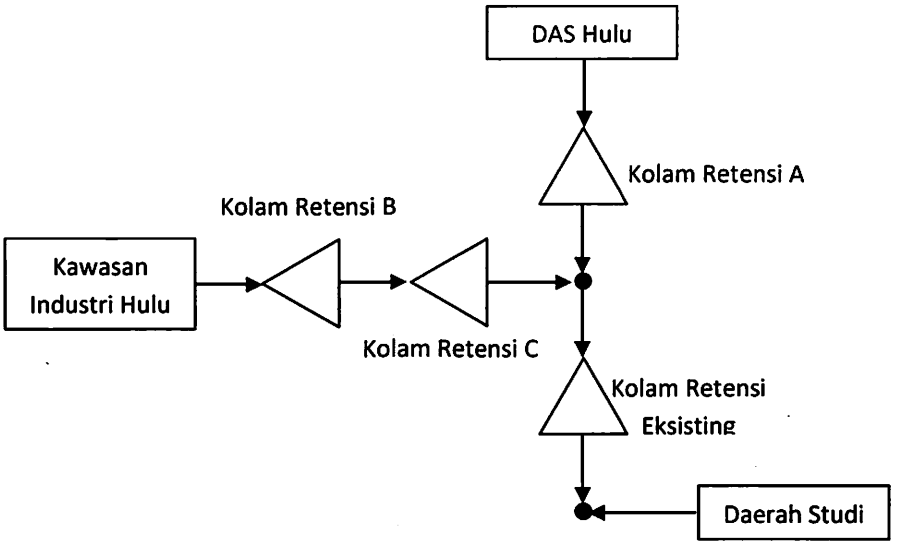
Perubahan profil muka air Sungai Cikedokan akibat pengembangan wilayah



Perubahan profil muka air di saluran drainase akibat pengembangan wilayah

Alternatif Solusi Pengendalian Banjir

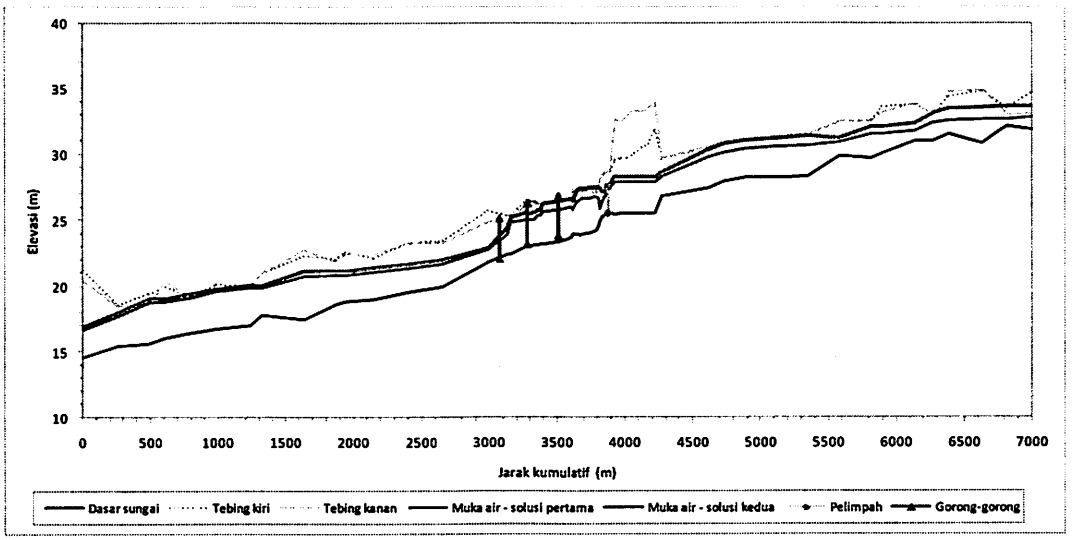
Untuk mengendalikan peningkatan debit banjir tersebut diupayakan beberapa alternatif solusi, antara lain dengan menggunakan tiga kolam retensi yang ditempatkan di hulu. Satu kolam akan digunakan untuk mengurangi nilai puncak debit dari DAS Hulu (Kolam A) dan dua kolam digunakan untuk mengurangi nilai puncak dari kawasan industri hulu (Kolam B dan C). Dalam studi ini terdapat dua kondisi yang disimulasikan dalam studi ini, yaitu kondisi pertama dengan menggunakan kondisi ideal dimana luasan kolam yang digunakan semaksimal mungkin untuk mengurangi debit limpasan sehingga tidak membebani kawasan. Sementara kondisi kedua luasan kolam terbatas sesuai dengan luasan lahan yang tersedia untuk dijadikan sebagai kolam retensi. Secara skematis, alternatif solusi ini dapat digambarkan seperti pada 0.



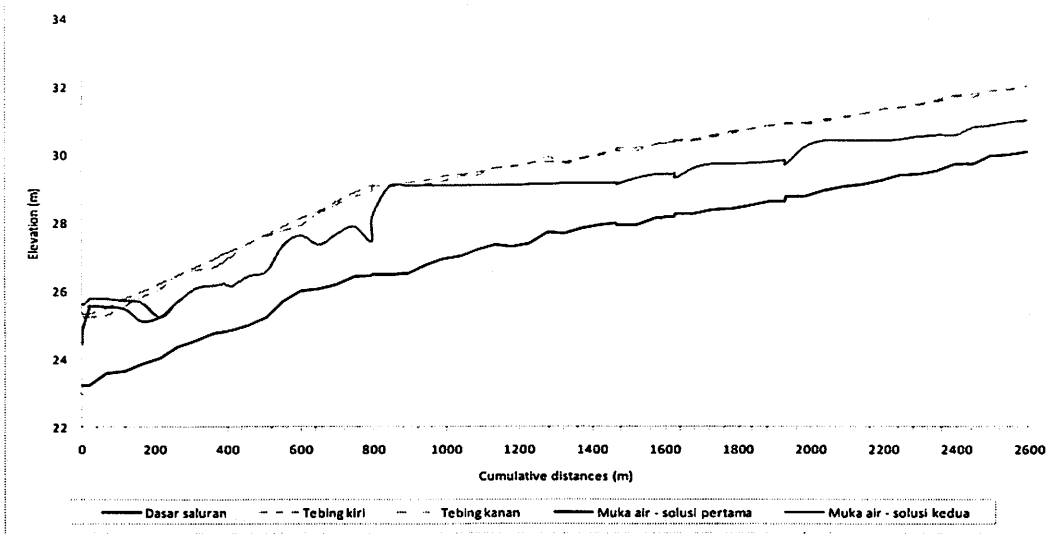
Skema hidrologi alternatif solusi

Pada kondisi ideal, nilai puncak debit banjir dari DAS Hulu dapat direduksi menjadi 1,4 m^3/s dan dari kawasan industri hulu menjadi 41 m^3/s atau total debit yang masuk ke kolam retensi eksisting menjadi 42,4 m^3/s. Sementara itu pada kondisi kedua, nilai puncak debit dari kawasan industri hulu hanya mampu direduksi menjadi 48,9 m^3/s sehingga debit masuk ke kolam retensi eksisting sebesar 50,3 m^3/s.

Profil aliran di Sungai Cikedokan dan saluran drainase pada penerapan kedua solusi ini dapat dilihat pada 0 dan 0.



Profil muka air Sungai Cikedokan pada kedua alternatif solusi



Profil muka air saluran drainase pada kedua alternatif solusi

PEMBAHASAN

Perubahan tata guna lahan pada suatu dari lahan terbuka menjadi kawasan industri akan menyebabkan perubahan nilai koefisien limpasan di wilayah tersebut dimana dalam hal ini dinyatakan dalam perubahan nilai CN. Menurut tabel nilai CN dalam Chow (1998) nilai CN pada wilayah ini saat kondisi eksisting sebesar 56. Sementara itu ketika sudah berubah menjadi kawasan industri, nilai CN berubah menjadi 83. Bertambah besarnya nilai CN ini menunjukkan bahwa daerah kedap air di wilayah ini semakin luas sehingga hampir seluruh hujan yang jatuh ke wilayah ini akan berubah menjadi limpasan dan menaikkan nilai puncak debit banjir wilayah tersebut sebagaimana tergambar pada 0.

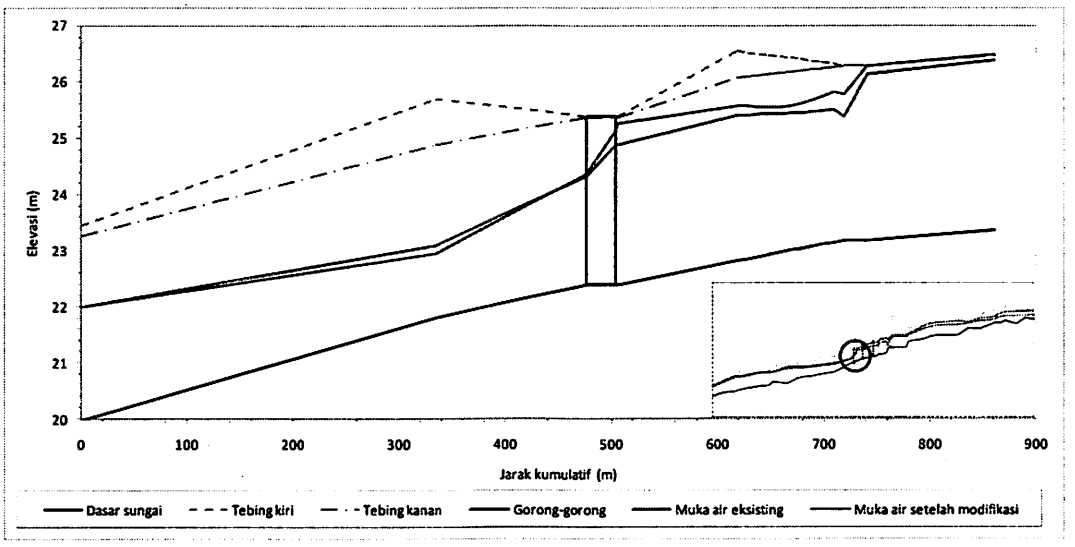
Peningkatan nilai puncak debit banjir mengakibatkan terjadinya kenaikan muka air di sepanjang Sungai Cikedokan seperti tergambar pada 0 yang menyebabkan terjadinya genangan di beberapa lokasi sepanjang aliran Sungai Cikedokan. Selain itu, sebagaimana tergambar pada 0, kenaikan muka air di Sungai Cikedokan dan elevasi dasar saluran drainase yang rendah mengakibatkan terjadinya efek aliran-balik (*backwater*) di bagian hilir saluran yang menyebabkan terjadinya genangan di hilir saluran drainase. Permasalahan ini semakin diperparah dengan dimensi dari gorong-gorong yang lebih kecil sehingga menyebabkan terjadinya efek sumbatan (*bottle-neck*) pada aliran Sungai Cikedokan.

Melihat kondisi ini maka diperlukan suatu solusi yang dapat mengurangi atau mengendalikan nilai puncak debit banjir dari daerah hulu. Salah satu metode yang dapat mengurangi nilai puncak debit banjir adalah dengan memanfaatkan kolam retensi. Menurut hasil analisis, secara ideal kolam retensi A seharusnya memiliki luasan 35 ha, kolam B dengan luas 6 ha dan kolam C memiliki luas 1,51 ha. Dengan menggunakan solusi ini, dapat mengurangi nilai puncak debit banjir dari DAS Hulu menjadi 1,4 m^3/s dan nilai debit dari kawasan industri hulu dapat dikurangi menjadi 41 m^3/s. Dengan adanya pengurangan debit dari daerah hulu, debit outflow dari kolam retensi eksisting dapat berkurang menjadi 26,2 m^3/s.

Sementara itu, pengaplikasian dari alternatif solusi kedua memberikan dampak yang pengurangan yang lebih kecil dibandingkan dengan solusi pertama. Pada solusi kedua, luasan kolam A dan C sama dengan solusi pertama. Namun karena keterbatasan lahan yang tersedia, maka luasan kolam B hanya sebesar 2,88 ha. Pada kondisi ini, maka nilai puncak debit dari DAS Hulu tetap mampu tereduksi menjadi 1,4 m^3/s namun puncak debit dari kawasan industri hulu hanya mampu direduksi menjadi 48,9 m^3/s. Dengan demikian, nilai debit outflow dari kolam retensi eksisting masih cukup besar yaitu sebesar 37,6 m^3/s.

Melihat hasil kedua alternatif solusi ini, pemanfaatan kolam retensi di daerah hulu mampu mengurangi debit inflow ke kolam retensi eksisting dan akibatnya juga mengurangi outflow dari kolam retensi eksisting tersebut. Akibatnya adalah tinggi muka air di Sungai Cikedokan mengalami penurunan sehingga air dari saluran drainase dapat mengalir ke sungai sebagaimana ditunjukkan pada 0 dan 0. Namun pada kedua gambar tersebut masih terlihat adanya genangan di sisi hilir dari saluran drainase. Untuk mengantisipasi hal ini maka diperlukan solusi lain yaitu peninggian elevasi muka jalan yang bervariasi dari 20 hingga 50 cm sepanjang 175 m. Peninggian muka jalan ini merupakan solusi praktis yang dapat dilakukan untuk mengatasi genangan di jalan yang berada di sisi saluran drainase.

Selain itu, untuk memperlancar aliran air dan menghindarkan efek sumbatan yang terjadi maka dapat dilakukan peninggian gorong-gorong yang terdapat di alur sungai setinggi 50 cm. Secara hidraulik peninggian gorong-gorong ini mampu mengurangi ketinggian muka air di sungai seperti pada 0. Namun perlu dilakukan analisis lebih lanjut terkait kekuatan struktural dan proses pekerjaan mengingat lokasi gorong-gorong berada di bawah jalan yang dilewati kendaraan dengan beban berat.



Profil muka air setelah modifikasi gorong-gorong

KESIMPULAN

Dari hasil analisis dan pengamatan lapangan diketahui bahwa penyebab utama terjadinya genangan di lokasi studi adalah adanya efek aliran-balik di saluran drainase akibat tidak mampunya air dari saluran drainase masuk ke badan sungai. Hal ini

disebabkan elevasi dari hilir dasar saluran drainase yang relatif rendah. Selain itu, perubahan tata guna lahan di daerah hulu mengakibatkan terjadinya peningkatan debit yang signifikan, yang berdampak pada naiknya muka air di sepanjang aliran sungai dan diperparah dengan adanya efek sumbatan di pertemuan saluran drainase dan sungai ini.

Solusi yang dianggap sesuai adalah dengan menggunakan tiga buah kolam retensi dimana satu kolam retensi akan menampung debit dari DAS Hulu dan dua buah kolam retensi menampung air dari kawasan industri di sisi hulu daerah studi. Berdasarkan kondisi ideal maka diperlukan kolam dengan luas 35, 6 dan 1,5 ha namun karena keterbatasan lahan yang tersedia maka hanya dapat dibuat kolam retensi dengan luas 35, 2,88 dan 1,5 ha. Pemanfaatan tiga kolam ini mampu mereduksi nilai puncak debit banjir sebesar 46%, dari semula 90 m^3/s menjadi 48,9 m^3/s.

Pemanfaatan kolam retensi ternyata masih belum mampu mengurangi genangan hingga 100%, karenanya diperlukan solusi praktis lainnya yaitu berupa peninggian elevasi muka jalan setinggi 20–50 cm sepanjang 175 m di jalan yang berada di sisi saluran drainase. Selain itu, peninggian elevasi puncak gorong-gorong sebesar 50 cm juga mampu memperlancar aliran di Sungai Cikedokan dan mengurangi ketinggian muka air di sebelah hulu gorong-gorong.

DAFTAR PUSTAKA

Yudianto, Doddi, Bambang A.R., Albert W., Gneis S.G. (2011), *Final Report: Flood Control and New Retention Ponds of MM2100 Industrial Development*. Bandung: BITA.

Chow, Ven Te (1959), *Open-Channel Hydraulics*, Tokyo: McGraw-Hill.

Ponce, Victor Miguel (1989), *Engineering Hydrology – Principles and Practices*, New Jersey: Prentice Hall.

Mays, Larry.W., Ven Te Chow and David R. Maidment (1998), *Applied Hydrology*. New York: McGraw-Hill Book Company.

Brunner, Gary W. (2010), *HEC-RAS: Hydraulic Reference Manual*. California: US Army Corps of Engineers.

KEBENARAN TOPONIMI PETA SURABAYA KARYA ENRIQUE DENGAN METODE *GROUND TRUTH*

Satriana Fitri MS

Dosen Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya, Kampus Ketintang Surabaya,
email:satriana_fms@yahoo.co.id

ABSTRAK

Bermula dari ketersediaan peta, selanjutnya proses perencanaan dan pelaksanaan dapat berjalan dengan baik. Pada dasarnya peta Surabaya yang beredar di masyarakat cukup banyak ragamnya. Ini terjadi karena tidak ada aturan yang mengatakan bahwa peta harus dibuat oleh suatu lembaga yang mengikuti aturan yang ada. Peta merupakan sumber informasi. Sehingga, dengan adanya peta seharusnya orang atau masyarakat menjadi mengerti atau lebih mengerti dari sebelum mendapat peta, tetapi kalau dengan keberadaan peta malah membuat orang menjadi tidak tahu dan bingung, maka peta tersebut dapat dikatakan peta yang tidak atau kurang baik.

Kartografi adalah ilmu dan seni membuat peta yang pekerjaannya merepresentir di atas peta hasil-hasil ukuran dan pengumpulan data berbagai unsur permukaan bumi, yang dilakukan oleh surveyor, geograf, kartograf dan lain-lain orang, sedemikian hingga peta itu mudah dibaca, mudah dimengerti, mudah ditafsir dan mudah dianalisa sehingga memberi manfaat yang semaksimal mungkin sesuai dengan maksud dan tujuannya.

Untuk mengetahui toponimi dari peta tersebut, dimana menggunakan peta Surabaya karya Enrique dengan skala 1 : 15000, maka dilakukan evaluasi terhadap peta Surabaya dan pengecekan peta. Untuk menegevaluasi kebenarannya dilakukan dengan metode *ground truth.*

Pada penelitian ini, setelah dianalisa didapatkan bahwa Peta Surabaya Karya Enrique dengan studi kasus daerah Kelurahan Wonorejo terdapat banyak kekurangan dari toponimi nya seperti: kesalahan penulisan toponimi, penggunaan lahan, dan lainnya. Setelah dianalisa didapat kebenaran toponimi sebesar 86,15% yang belum sesuai.

Kata kunci : Peta Surabaya, Legenda, Toponimi

LATAR BELAKANG

Bermula dari ketersediaan peta, selanjutnya proses perencanaan dan pelaksanaan pekerjaan fisik dapat berjalan dengan baik. Pada dasarnya peta Surabaya yang beredar di masyarakat cukup banyak ragamnya. Ini dapat terjadi karena tidak ada aturan yang mengatakan bahwa peta itu harus dibuat oleh lembaga yang mengikuti aturan yang ada.

PERMASALAHAN

Sejauhmana tingkat kebenaran toponimi peta Surabaya yang diterbitkan Enrique dengan peta Topografi yang baku menggunakan metode *Ground Truth.*

KAJIAN PUSTAKA

1. Hakekat pemetaan

Peta adalah suatu representasi/gambaran unsur-unsur atau kenampakan abstrak yang dipilih dari permukaan bumi atau yang ada kaitannya dengan permukaan bumi dan umunya digambarkan suatu bidang datar dan diperkecil/diskalakan International Cartographic Association (Anonim I,1973). Suatu peta yang menggambarkan fenomena

geografikal tidak hanya sekedar pengecilan suatu fenomena saja,tetapi lebih dari itu. Jika peta dibuat dan didesain dengan baik, akan merupakan alat yang baik untuk kepentingan : melaporkan, memperagakan dan menganalisis. Secara umum untuk pemahaman saling berhubungan dari benda-benda secara keruangan.

Fungsi peta yang paling penting adalah menempatkan sesuatu ke dalam batas pandangan kita. Semua peta, mempunyai satu hal yang sifatnya umum yaitu menambah pengetahuan dan pemahaman geografikal bagi si pengguna peta-peta tersebut. Secara umum peta diartikan sebagai sumber informasi. Tetapi banyak definisi tentang peta,yang ada pada dasarnya,hakekat peta adalah: 1) peta adalah alat peraga. 2) melalui alat peraga itu seorang penyusun peta ingin menyampaikan idenya kepada orang lain. 3) ide yang dimaksud adalah hal-hal yang berhubungan dengan kedudukannya dalam ruang. Supaya peta tidak membingungkan,peta dilengkapi dengan: keterangan/legenda, skala peta, judul peta, bagian dunia mana. Supaya mudah dimengerti maknanya digunakan: tata warna, simbol, proyeksi.

2. Pengertian kartografi

Kartografi adalah ilmu dan seni membuat peta yang pekerjaannya merepresentir di atas peta hasil-hasil ukuran dan pengumpulan data berbagai unsur permukaan bumi yang dilakukan oleh surveyor,geograf,kartograf dan lain-lain orang, sedemikian hingga peta itu mudah dimengerti, mudah ditafsir dan mudah dianalisa.

Berdasarkan buku kartografi dasar (Yuwono,2000) yang diterbitkan program studi teknik geodesi institut teknologi sepuluh nopember Surabaya, bahwa peta bisa dijeniskan berdasarkan macam, isi, skala, penurunan atau penggunaan. Peta berdasarkan macam terdiri dari peta foto berupa bayangan fotogrametris, peta garis berupa bayangan pada peta garis dan peta spasial berupa bayangan pada remote sensing. Peta berdasarkan isi terdiri dari peta hidrogragi yang memuat informasi tentang kedalaman dasar laut, peta geologi memuat informasi tentang keadaan geologis suatu daerah serta peta topografi memuat informasi umum tentang keadaan permukaan bumi. Peta berdasarkan skala terdiri dari peta skala besar, peta skala sedang dan peta skala kecil. Peta berdasarkan penggunaannya terdiri dari peta dasar/topografi digunakan untuk membuat peta turunan dan perencanaan umum dan peta tematik dibuat atau diturunkan berdasarkan peta dasar dan memuat tema-tema tertentu.

METODE PENELITIAN

Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :Peta Surabaya karya *Enrique;* Peta yang digunakan adalah peta Surabaya dengan lokasi kecamatan sukolilo, kota Surabaya yang diterbitkan oleh P.T Enrique Indonesia. Dengan skala 1 : 15000 yang dibuat berwarna tahun 1999 dengan grid tegak dengan huruf dan mendatar dengan angka. Peta topografi bakosurtanal; Peta topografi ini dibuat, dicetak dan diedarkan oleh Badan Koordinasi Survey dan Pemetaan Nasional (Bakosurtanal) dengan skala 1 : 25000.

Perangkat keras dan perangkat lunak yang digunakan; Perangkat keras adalah laptop dimana alat ini digunakan untuk memasukkan, mengolah, memproses serta menganalisa data yang digunakan. Perangkat lunak adalah Microsoft word dan excel, dimana alat ini digunakan untuk mengedit serta menuliskan hasil analisa dari hasil evaluasi terhadap data yang digunakan.

Prosedur kerja meliputi persiapan antara lain menentukan daerah yang akan disurvey atau diteliti: menentukan daerah mana dulu yang harus disurvey, menentukan apa yang

disurvey, menentukan kapan pelaksanaan survey, menyiapkan peralatan yang diperlukan, mencari literatur-literatur untuk dijadikan acuan penelitian ini mengenai standar peta yang sesuai

Pengolahan data

Pengolahan data, ini meliputi mengevaluasi peta Surabaya yang diterbitkan PT. Enrique Indonesia berdasarkan literatur yang didapat dan melakukan pengecekan kebenaran toponimi dari peta Surabaya. Dimana pengecekan toponimi dilakukan dengan survey langsung ke lapangan sehingga diharapkan hasil pengecekan toponimi mencapai kebenaran yang dapat dipertanggung jawabkan.

Analisa data

Setelah data diolah maka tahap berikutnya adalah menganalisa. Analisa ini dilakukan dengan ketentuan kartografis dan hasil perhitungan tingkat kebenaran toponimi nya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Hasil Analisis

Analisis terhadap peta Surabaya dilakukan tetap dengan memperhatikan ketentuan kartografis,sebagai berikut :

a. Tentang Pemilihan Spheroid dan Proyeksi Peta
   Untuk mengelompokkan peta tematik misal: peta Surabaya tentu ada peta dasar yang
   digunakan sebagai kerangkanya, umumnya peta dasar berupa peta topografi. Peta dasar selalu berhubungan dengan proyeksi peta yang digunakan dan berkaitan erat dengan spheroid yang digunakan.
b. Tentang Skala
   Pencantuman skala grafis untuk mempermudah pemakaian atau pembacaan peta masih tetap diperlukan bagi masyarakat yang belum menganggap peta sebagai bagian dalam kehidupan.
c. Tentang Lembar Peta Lembar
   Peta erat sekali hubungannya dengan kemampuan mesin cetak peta, skala peta yang diinginkan dan kepraktisan peta
d. Tentang Macam Peta
   Dari segi kemudahan, biaya dan waktu pembuatan peta tematik menggunakan peta garis. Dengan telah tersedianya peta dasar, maka peta tematik tinggal menempelkan saja tema yang diinginkan pada kerangka peta dasar dan menghilangkan unsur-unsur yang tidak diperlukan pada peta dasarnya.
e. Tentang Informasi Ketinggian
   Pada peta ini tidak tercantum satupun informasi ketinggian
f. Tentang Warna
   Warna-warna dominan yang digunakan pada peta ini jumlahnya 5(lima), yaitu: biru, hijau, kuning, coklat, dan hitam (umumnya untuk tulisan). Warna biru diartikan sebagai air (tambak, waduk, laut). Warna hijau diartikan sebagai taman, ladang, hutan. Warna kuning diartikan sebagai jalan arteri. Warna coklat muda berarti pemukiman, kabupaten, sedangkan warna coklat tua berarti jalan utama.

2. Hasil Pembahasan

Berdasarkan hasil analisis terhadap Peta Surabaya karya *Enrique* dan survey kenyataan di lapangan saat ini menunjukkan bahwa beberapa daerah tidak mengalami perubahan terhadap nama jalan, letak dan lokasi, perubahan yang ada terjadi meliputi penambahan

sungai dan penambahan beberapa jalan yang tidak termasuk jalan utama serta penambahan taman.. Secara rinci beberapa perubahan yang terjadi pada Kelurahan Wonorejo disajikan dalam tabel di bawah ini:

Tabel 1 : Hasil pembahasan perubahan peta yang terjadi

Nama	Toponomi pada peta Surabaya karya *Enrique*	Kenyataan di lapangan
sungai	Tidak ada	Kali wonorejo
	Jl. wonorejo	Jl. Wonorejo
	Jl. Wonorejo rungkut I	Jl. Wonorejo rungkut I
	Jl. Wonorejo indah	Jl. Wonorejo indah
	Jl. Wonorejo rungkut jaya	Jl. Wonorejo rungkut jaya
	Jl. Wonorejo rungkut utara I	Jl. Wonorejo rungkut utara I
	Jl. Wonorejo rungkut utara II	Jl. Wonorejo rungkut utara II
	Jl. Wonorejo rungkut utara III	Jl. Wonorejo rungkut utara III
	Jl. Wonorejo rungkut utara IV	Jl. Wonorejo rungkut utara IV
	Jl. Wonorejo rungkut utara V	Jl. Wonorejo rungkut utara V
	Jl. Wonorejo rungkut utara VI	Jl. Wonorejo rungkut utara VI
	Jl. Wonorejo rungkut utara VII	Jl. Wonorejo rungkut utara VII
	Jl. Wonorejo rungkut utara VIII	Jl. Wonorejo rungkut utara VIII
	Jl. Wonorejo rungkut utara IX	Jl. Wonorejo rungkut utara IX
	Jl. Wonorejo rungkut utara X	Jl. Wonorejo rungkut utara X
	Jl. Wonorejo rungkut utara XI	Jl. Wonorejo rungkut utara XI
	Jl. Wonorejo asri I	Jl. Wonorejo asri I
	Jl. Wonorejo asri II	Jl. Wonorejo asri II
	Jl. Wonorejo asri III	Jl. Wonorejo asri III
	Jl. Wonorejo asri IV	Jl. Wonorejo asri IV
	Jl. Wonorejo asri V	Jl. Wonorejo asri V
	Tidak ada	Jl. Wonorejo asri VI
	Tidak ada	Jl. Wonorejo asri VII
	Tidak ada	Jl. Wonorejo asri VIII
	Tidak ada	Jl. Wonorejo asri IX
	Tidak ada	Jl. Wonorejo asri X
	Jl. Wonorejo asri XI	Jl. Wonorejo asri XI
	Jl. Wonorejo asri XII	Jl. Wonorejo asri XII
	Jl. Wonorejo selatan	Jl. Wonorejo selatan
	Jl. Wonorejo selatan I	Jl. Wonorejo selatan I
	Jl. Wonorejo selatan II	Jl. Wonorejo selatan II
	Jl. Wonorejo selatan III	Jl. Wonorejo selatan III
	Jl. Wonorejo Permai Timur I	Jl. Wonorejo Permai Timur I
	Jl.taman wonorejo permai timur	Jl.taman wonorejo permai timur
	Jl. Wonorejo Permai Timur III	Jl. Wonorejo Permai Timur III
	Jl. Wonorejo Permai Timur IV	Jl. Wonorejo Permai Timur IV
	Jl. Wonorejo Permai Timur V	Jl. Wonorejo Permai Timur V
	Jl. Wonorejo Permai Timur VI	Jl. Wonorejo Permai Timur VI

	Jl. Wonorejo Permai Timur VII	Jl. Wonorejo Permai Timur VII
	Jl. Wonorejo Permai Timur VIII	Jl. Wonorejo Permai Timur VIII
	Jl. Wonorejo Permai Timur IX	Jl. Wonorejo Permai Timur IX
	Jl. Wonorejo Permai Timur X	Jl. Wonorejo Permai Timur X
	Jl. Wonorejo Permai	Jl. Wonorejo Permai
	Tidak ada	Jl. Wonorejo Permai Utara I
	Tidak ada	Jl. Wonorejo Permai Utara II
	Jl. Wonorejo Permai utara III	Jl. Wonorejo Permai Utara III
	Jl. Wonorejo Permai utara IV	Jl. Wonorejo Permai utara IV
	Jl. Wonorejo Permai utara V	Jl. Wonorejo Permai utara V
	Jl. Wonorejo Permai utara VI	Jl. Wonorejo Permai utara VI
	Jl. Wonorejo Permai utara VII	Jl. Wonorejo Permai utara VII
	Jl. Wonorejo Permai utara VIII	Jl. Wonorejo Permai utara VIII
	Jl. Wonorejo Permai utara IX	Jl. Wonorejo Permai utara IX
	Jl. Wonorejo Permai selatan	Jl. Wonorejo Permai selatan
	Jl. Wonorejo Permai selatan I	Jl. Wonorejo Permai selatan I
	Jl. Wonorejo Permai selatan II	Jl. Wonorejo Permai selatan II
	Jl. Wonorejo Permai selatan III	Jl. Wonorejo Permai selatan III
	Jl. Wonorejo Permai selatan IV	Jl. Wonorejo Permai selatan IV
	Jl. Wonorejo Permai selatan V	Jl. Wonorejo Permai selatan V
	Jl. Wonorejo Permai selatan VI	Jl. Wonorejo Permai selatan VI
	Jl. Wonorejo Permai selatan VII	Jl. Wonorejo Permai selatan VII
	Jl. Wonorejo Permai selatan VIII	Jl. Wonorejo Permai selatan VIII
	Perum pondok tanjung permai blok A,B,C,D,E,F	Perum pondok tanjung permai blok A,B,C,D,E,F
Penggunaan lahan	Ladang tambak	Ladang tambak
Sekolah SD	Tidak ada	SD wonorejo

Berdasarkan tabel di atas, didapat jumlah total toponimi yang sesuai kenyataan dari hasil survey lapangan ada 65 titik. Hasil kajian dan analisis terhadap peta Surabaya karya *Enrique* terdapat toponimi yang sesuai sebanyak 56 titik. Hasil analisis untuk toponimi yang tidak sesuai berjumlah 9 titik.

Perhitungan Tingkat kebenaran toponimi peta Surabaya dilakukan berdasarkan rumus :

$$\frac{jumlahtoponimiyangsesuai}{jumlahtotaltoponimi} \times 56/65x100\% = 86{,}15\%$$

Dari Tingkat ketelitian dan keakuratan didapat hasil sebesar 90%.

Dengan demikian hasil pembahasan menunjukkan bahwa peta Surabaya karya *Enrique* tidak banyak mengalami perubahan yang berarti untuk daerah Kelurahan Wonorejo

KESIMPULAN

Peta Surabaya yang diterbitkan PT. Enrique Indonesia dengan skala peta 1:15000 yang dibuat berwarna pada tahun 1999, ditinjau dari kartografis dan toponimi terdapat beberapa perubahan tentang nama jalan, letak daerah, penulisan jalan.
Hasil analisis dan evaluasi menunjukkan bahwa peta Surabaya karya *Enrique* mempunyai tingkat kebenaran toponimi sebesar ± 86,15%, dengan tingkat ketelitian dan keakuratan sebesar ± 90%, hal ini berarti bahwa peta Surabaya karya *Enrique* tidak banyak mengalami perubahan yang berarti untuk daerah Kelurahan Wonorejo.

SARAN

1. Pengguna peta dalam memilih peta Surabaya khususnya memperhatikan aturan segi toponimi dan kartografis yang ada agar lebih mudah memahami, menggunakan dan memanfaatkan peta.
2. Untuk pembuat atau penerbit peta disarankan untuk lebih memperhatikan dan melengkapi baik dari segi kartografis atau toponimi.

DAFTAR PUSTAKA

1. Marc le Mouller,1999,peta Surabaya, versi 1.1, Surabaya, Penerbit PT. Enrique Indonesia, , ISBN : 979-96177-6-6,
2. Sukwardjono,1997, Pengantar Perpetaan, Yogyakarta: PUSPICS- Fakultas Geografi, Universitas Gajah Mada- PT.KOGAS,DRIYAP
3. Umaryono,1987,Pengukuran Topografi, Bandung: Jurusan Teknik Geodesi,Institut Teknologi Bandung
4. Wongsotjitro S,1980,Ilmu Ukur Tanah, Yogyakarta , Penerbit Kanisius,ISBN:979-413-219-5,
5. Yuwono,2000,Kartografi Dasar, ,Surabaya: Program Studi Teknik Geodesi,Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

PENGUKURAN TINGKAT KEBERLANJUTAN STRUKTUR RUANG KOTA MALANG

(Studi kasus: Kecamatan Lowokwaru dan Kecamatan Kedungkandang)

Septiana Hariyani[1] , Endang Titi Sunarti Darjosanjoto[2], Haryo Sulistyarso[2]

[1]*Mahasiswa S3 Jurusan Arsitektur ITS, Dosen Jurusan Perencanaan Wilayah dan Kota Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Telp 08123 3125 99, email: septianahariyanipwk@yahoo.co.id*
[2]*Pembimbing Program Doktor Jurusan Arsitektur FTSP, ITS, Kampus ITS Sukolilo Surabaya, Telp 0817376937, email: endar@arch its.ac.id; endar@indo.net.id, Telp 081333 999 314, email: haryo.its@gmail.com*

ABSTRAK

Perkembangan kota berakibat pada perluasan kota, perluasan kota disebabkan oleh berkembangnya penduduk, tingginya arus urbanisasi. Semakin bertambahnya penduduk kota menyebabkan semakin bertambahnya kebutuhan masyarakat terhadap perumahan, perkantoran, dan fasilitas sosial ekonomi lain. Fenomena ini lebih dikenal dengan *urban sprawl* atau pemekaran kota. *Urban sprawl* menyebabkan terjadinya kecenderungan penduduk perkotaan memilih bertempat tinggal di wilayah pinggiran kota (*sub-urban*). Akibatnya terjadilah kantong-kantong permukiman, sehingga terjadi peningkatan kebutuhan akan sarana dan prasarana serta ketidakefisienan penyediaan sarana dan prasarana.
Penelitian ini bertujuan untuk merumuskan struktur ruang Kota Malang ditinjau dari konsep keberlanjutan. Dalam merumuskan struktur ruang kota digunakan metode kuantitatif melalui perhitungan tingkat keberlanjutan Kota Malang. Sampel yang digunakan untuk mengukur tingkat keberlanjutan adalah dua kecamatan yaitu Kecamatan Lowokwaru dan Kecamatan Kedungkandang. Kedua sampel tersebut diukur dengan kriteria keberlanjutan yaitu kepadatan, keragaman, guna lahan campuran, dan kompaksi untuk merumuskan suatu struktur ruang kota termasuk kedalam keberlanjutan.
Interpretasi hasil perhitungan menggunakan referensi dari penelitian sejenis. Hasil perhitungan didapatkan bahwa struktur Kota Malang termasuk di tingkat keberlanjutan sedang, dimana tingkat kepadatan penduduk tergolong sedang (101,1-200 jiwa/ha), kepadatan bangunan sedang (20-40 bangunan/ha), tingkat keragaman random (1,1-1,36) dan rata-rata indeks entropy (0,51-0,56), serta kompaksi termasuk ke dalam hampir tidak merata(koefisien gini 0,78-0,8).

Kata kunci: keberlanjutan, struktur ruang kota

1. PENDAHULUAN

Perkembangan kota yang berakibat pada perluasan kota disebabkan oleh semakin berkembangnya penduduk dan semakin tingginya arus urbanisasi. Semakin bertambahnya penduduk kota menyebabkan semakin bertambahnya kebutuhan masyarakat terhadap perumahan, perkantoran, dan fasilitas sosial ekonomi lain (Rosul, 2008:1). Fenomena ini lebih dikenal dengan *urban sprawl* atau pemekaran kota. *Urban sprawl* tersebut menyebabkan terjadinya kecenderungan penduduk perkotaan memilih bertempat tinggal di wilayah pinggiran kota (*sub-urban*). Akibatnya terjadilah kantong-kantong permukiman, sehingga terjadi peningkatan kebutuhan akan sarana dan prasarana serta ketidakefisienan penyediaan sarana dan prasarana (Munawir, 2008:1).

Untuk mengatasi masalah ketidakefisienen penyediaan sarana dan prasarana dengan cara pembangunan kota yang tidak terpusat, keberadaan jaringan utilitas dan infrastruktur yang dibangun dengan pola konsentrik dari pusat kota menuju kawasan pinggiran (*fringe areas*) akan mendorong perkembangan fisik kota yang kompak dan menerus kesegala arah pinggiran. Kondisi ini di masa datang memungkinkan terjadinya

efisiensi pembiayaan dalam penyediaan infrastruktur ruang kota (Azman, 2006:5). Pembangunan kota seperti yang diungkpkan oleh (Azman, 2006) diatas mendorong terjadinya struktur ruang kota yang berkelanjutan.

Permasalahan yang dihadapi Kota Malang adalah perkembangan penduduk dan tingginya arus urbanisasi. Semakin bertambah penduduk kota menyebabkan semakin bertambah kebutuhan masyarakat terhadap perumahan, perkantoran, dan fasilitas sosial ekonomi lain. Permasalahan tersebut menghasilkan permasalahan bagi perkembangan Kota Malang, terutama terkait dengan perkembangan struktur ruang kota meliputi ketimpangan perkembangan kota mencakup pola penyebaran permukiman dan pemusatan fasilitas umum.

Penelitian ini bertujuan untuk merumuskan struktur ruang kota Kota Malang ditinjau dari konsep keberlanjutan. Sampel yang digunakan untuk mengukur tingkat keberlanjutan adalah dua kecamatan yaitu Kecamatan Lowokwaru dan Kecamatan Kedungkandang. Kedua sampel tersebut diukur dengan kriteria keberlanjutan yaitu kepadatan, keragaman, guna lahan campuran, dan kompaksi untuk merumuskan suatu struktur ruang kota termasuk kedalam keberlanjutan.

2. DASAR TEORI

Untuk merumuskan struktur ruang kota berkelanjutan diperlukan beberapa teori yang mendukung, antara lain :

Pertama, Kepadatan

Kepadatan merupakan perbandingan antara penduduk atau unit bangunan dengan luas lahan suatu kawasan. Pengaruh kepadatan terhadap keberlanjutan terjadi melalui perbedaan kepadatan, penggunaan lahan untuk perumahan, jalan, prasarana kota. Hubungan antara kepadatan dan karakter perkotaan juga didasarkan pada konsep batas yang layak: di kepadatan tertentu (ambang batas), yaitu jumlah orang yang berada dalam suatu wilayah untuk menghasilkan interaksi yang dibutuhkan untuk membuat fungsi perkotaan atau kegiatan berjalan dengan layak. Kepadatan tinggi dan tata guna lahan yang terintegrasi akan mendorong interaksi sosial melelui kompaksi. Kenworthy (2006) juga mengungkapkan dengan meningkatkan kepadatan kota, meningkatkan kualitas pusat kota, akan mengoptimalkan lahan di dalam kota.

Semakin tinggi kepadatan penduduk dalam suatu wilayah, maka semakin berkelanjutan perkembangannya. Kepadatan penduduk dapat dikategorikan ke dalam (Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 20/PRT/M/2011) serta semakin tinggi kepadatan bangunan dalam suatu wilayah, maka semakin berkelanjutan perkembangannya.

Kedua, Keragaman

Keragaman aktivitas merupakan esensi dari kota berkelanjutan. Kriteria keragaman didasarkan pada variasi jenis perumahan, kepadatan bangunan, ukuran rumah tangga, usia, budaya dan pendapatan masyarakat. Jika keragaman tinggi, maka keberlanjutan suatu wilayah juga akan tinggi (Jacobs, 2002).

Ketiga, Kompaksi

Konsep kompaksi diterapkan untuk mengarahkan perkembangan kota pada struktur kota yang ada, sehingga dapat meminimalkan energi untuk keperluan transportasi, sarana dan prasarana kota. Pengembangan kota secara intensifikasi

merupakan strategi utama untuk mencapai kompaksi, kepadatan bangunan dan aktivitas sehingga pada akhirnya penggunaan lahan kota menjadi efisien dan lebih *sustainable*.

Penelitian Acioly Jr dan Claudio (2000) mengemukakan bahwa kompaksi merupakan tipologi penting untuk mencapai kota berkelanjutan dimana kota berkelanjutan mempunyai ciri kompak, padat, beragam dan terintegrasi.

3. METODOLOGI

ANALISIS KUANTITAS PADA STRUKTUR RUANG KOTA

Kuantifikasi data nilai variabel pada struktur ruang, terutama pada variabel keragaman, kesenjangan, dan kompaksi. Beberapa metode yang akan digunakan antara lain:

Pertama, Koefisien GINI

Koefisien Gini merupakan angka atau indeks yang menunjukkan ketidakmerataan secara spasial.Nilai/indeks koefisien Gini berada antara 0 yang bersifat kemerataan sempurna sampai dengan 1 yang bersifat ketidakmerataan sempurna (Tsai 2001: 329)

$$ID = 0{,}5 \sum_{I=1}^{N} |X_I - Y_I| \quad \text{.....} \quad (1)$$

Keterangan:

Xi : Nilai variabel spasial, dalam penelitian ini digunakan luas wilayah

Yi : Nilai variabel yang akan diukur tingkat kesenjangannya (misalnya: bangunan, penduduk, fasilitas pendidikan, sosial, ekonomi,dll)

Kedua, Indeks Entropy (Entropy Index)

Indeks entropy digunakan untuk menjelaskan konsistensi distribusi tata guna lahan pada suatu area (Dashti, 1999:71). Rumus tingkat heterogenitas tata guna lahan (nilai entrpy/EI) adalah:

EI = - {[R1*log(R1)] + [R2*log(R2)] + [R3*log(R3)] + [K1*log(K1)] + [K2*log(K2)] + [K3*log(K3)] + [I1*log(I1)] + [FP*log(FP)] + [PK*log(PK)] + [TR*log(TR)] + [H*log(H)]} / log(k).....(2)

Keterangan:

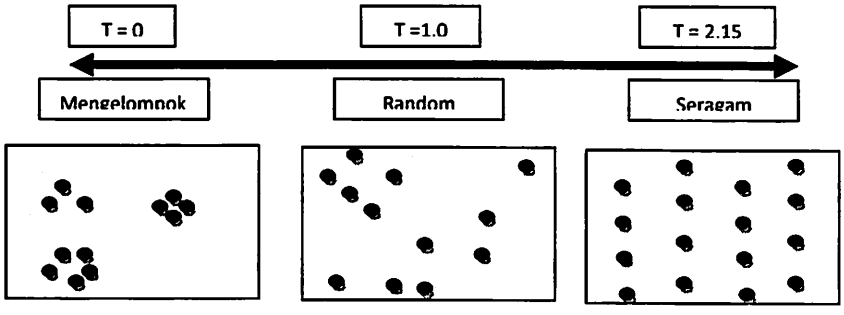
R1 : persentase luas penggunaan lahan rumah tunggal/ kopel/ deret/townhouse
R2 : persentase luas penggunaan lahan rumah susun, apartemen
R3 : persentase luas penggunaan lahan rumah kampung
K1 : persentase luas penggunaan lahan perdagangan dan jasa skala kota dan regional
K2 : persentase luas penggunaan lahan perdagangan dan jasa skala BWK dan kecamatan
K3 : persentase luas penggunaan lahan perdagangan dan jasa skala kelurahan dan lingkungan
I : persentase luas penggunaan lahan industri
FP : persentase luas penggunaan lahan fasilitas pelayanan umum, sosial
PK : persentase luas penggunaan lahan fasilitas pemerintahan, pertahanan, dan keamanan
TR : persentase luas penggunaan lahan sarana transportasi (terminal, stasiun, pelabuhan, dll)
H : persentase luas penggunaan lahan ruang terbuka hijau
k : jumlah kategori penggunaan lahan yang telah ditentukan (dalam penelitian ini berjumlah sebelas jenis penggunaan lahan)

Ketiga, Analisis Tetangga terdekat

Metode Analisis Tetangga Terdekat adalah analisis untuk mengidentifikasikan pola kawasan struktur ruang kota dan pelayanan distribusi air bersih, secara kuantitatif. Pola tersebut bersifat :

1) *seragam (uniform),*
2) *random,*
3) *mengelompok (clustered)*

Indeks tetangga terdekat diklasifikasikan dalam 3 nilai yang masing-masing memiliki tipe persebaran. Jika T=0 maka pola persebaran adalah mengelompok, jika T=1 maka pola persebaran adalah random dan jika T=2,15 maka persebaran adalah seragam (Bintarto dan Hadisumarno, 1991 dan Buyong, Taher, 2007).



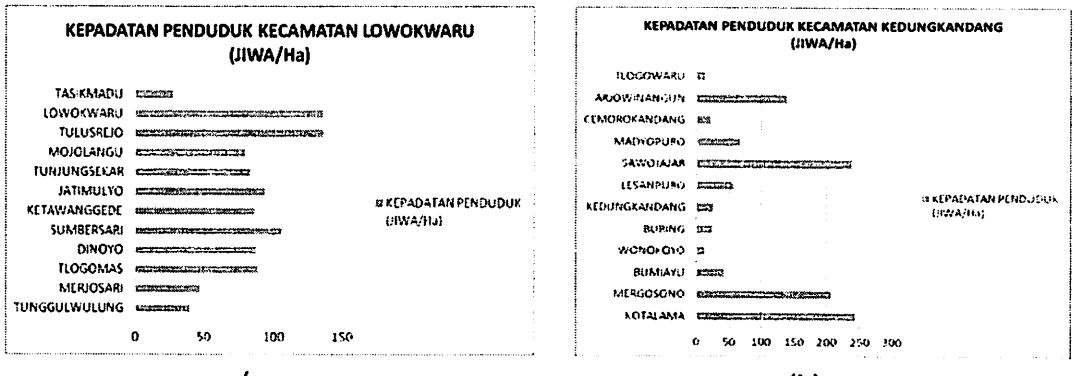
Gambar 1 Indeks dan Pola Analisis Tetangga Terdekat
(Sumber : Bintarto, 1991, dan Buyong, Taher,2007)

4. HASIL DISKUSI

Pertama, Tingkat Kepadatan Penduduk dan Bangunan

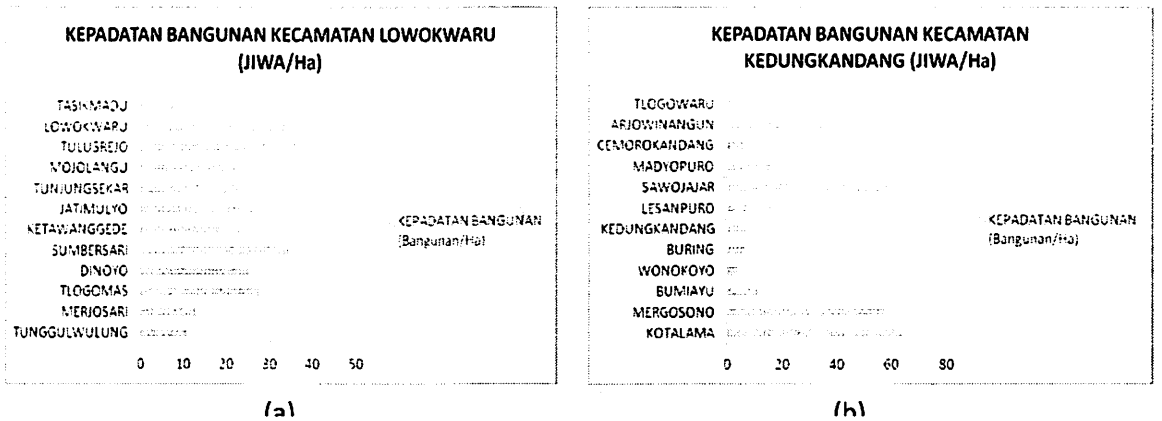
Berdasarkan hasil analisis, kelurahan dengan kepadatan penduduk tertinggi berada di Kelurahan Lowokwaru, Tulusrejo dan sumbersari (Kecamatan Lowokawaru) dan Kelurahan Sawojajar dan Mergosono (Kecamatan Kedungkandang).

Pusat konsentrasi perkembangan penduduk di dua kecamatan tersebut terdapat di kelurahan-kelurahan tersebut. Tersedianya prasarana dan sarana di kelurahan-kelurahan tersebut melayani satu kecamatan.



(a (b)

Gambar 2. Grafik Kepadatan penduduk (a) Kecamatan Lowokwaru (b)Kecamatan Kedungkandang

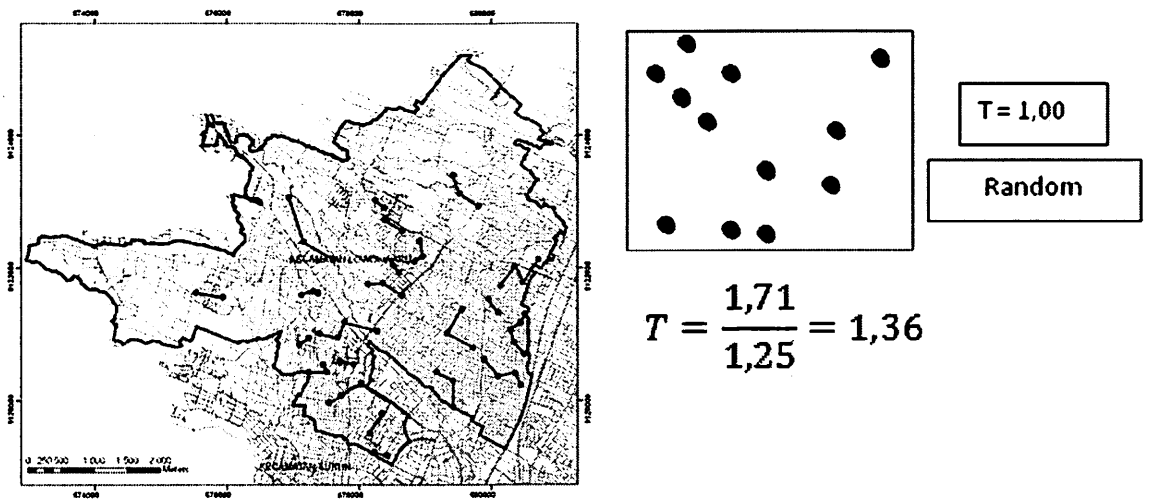


Gambar 3. Grafik Kepadatan Bangunan (a) Kecamatan Lowokwaru (b)Kecamatan Kedungkandang

Kedua, Tingkat Keragaman

1. Analisis Tetangga Terdekat

Berikut ini adalah gambar persebaran fasilitas umum di Kecamatan Lowokwaru dan Kecamatan Kedungkandang berupa sarana pendidikan, kesehatan dan ruang terbuka hijau (RTH). Setiap fasilitas umum diwakili oleh node yang saling berhubungan dengan node lain yang memiliki jarak paling dekat.

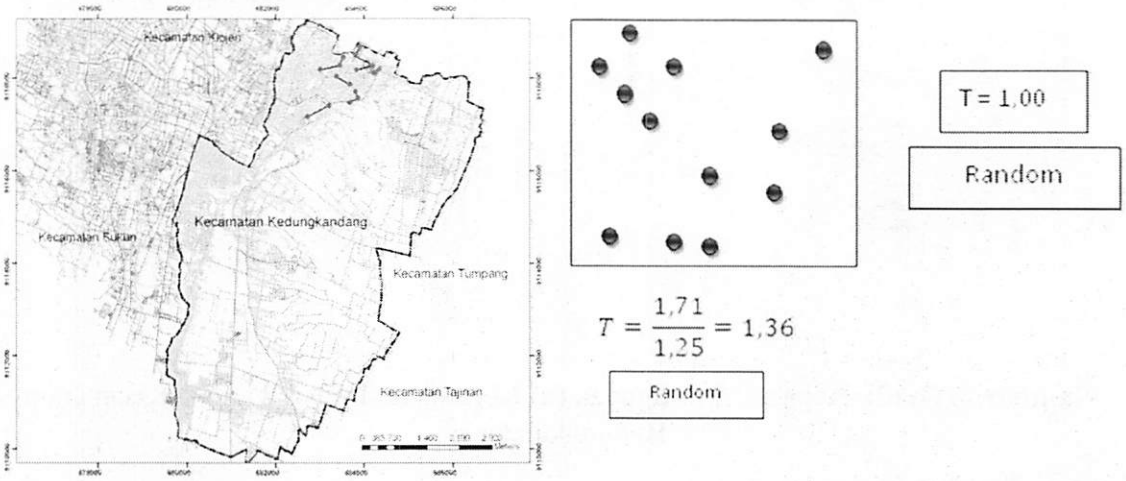


Gambar 4. Indeks Tetangga Terdekat Struktur Ruang Di Kecamatan Lowokwaru

Nilai T untuk struktur ruang Kecamatan Lowokwaru adalah 1,11 mengindikasikan pola persebaran fasilitas bersifat random, hal ini disebabkan tiap fasilitas umum di kawasan permukiman terletak tidak merata, sehingga jarak yang dihasilkan bervariasi, yaitu jarak pendek 2 km,dan jarak yang panjang 7 km. Selain itu, kawasan permukiman di sebelah utara Kecamatan Lowokwaru belum terlayani fasilitas umum, fasilitas umum di Kecamatan Lowokwaru terpusat di Kelurahan Dinoyo dan Sumbersari sehingga turut menyebabkan persebaran fasilitas umum menjadi acak.

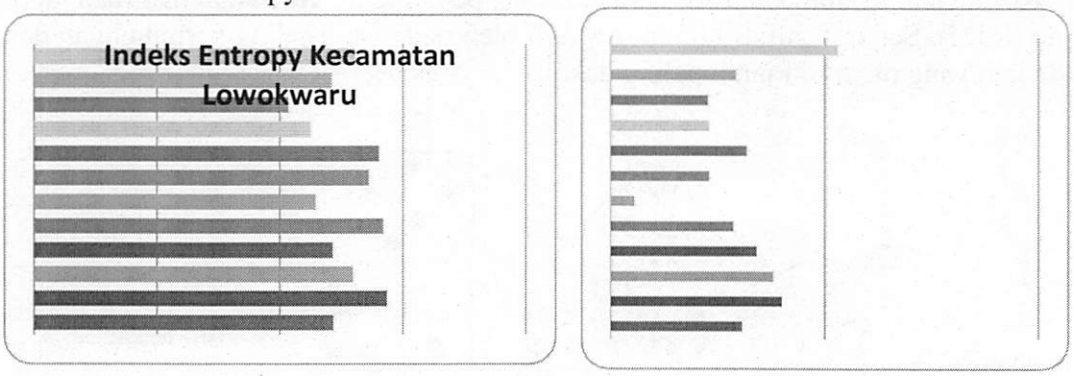
Kecamatan Kedungkandang juga memiliki nilai T yang tergolong random dengan nilai T=1,36. Hal ini disebabkan pola permukiman di Kecamatan Kedungkandang yang tidak merata, luas lahan tak terbangun (2119,7 Ha) yang lebih besar dari luas lahan terbangun (1869,7 Ha), pembangunan kawasan yang belum

merata, pusat pelayanan hanya berada di Kelurahan Sawojajar, sedangkan kawasan yang lain belum mendapatkan pelayanan fasilitas umum secara maksimal.



Gambar 5. Indeks Tetangga Terdekat Struktur Ruang Di Kecamatan Kedungkandang

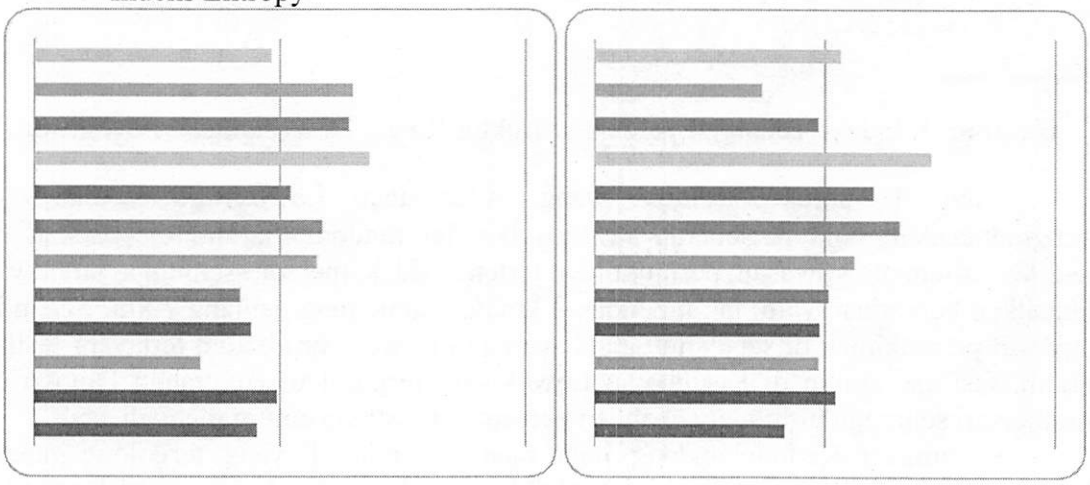
2. Indeks Entropy



(a) Fasilitas (b) Lahan

Gambar 6. Grafik Indeks Entropy Kecamatan Lowokwaru (a) Fasilitas (b) Lahan

3. Indeks Entropy



(a) Fasilitas (b) Lahan

Gambar 7. Grafik Indeks Entropy Kecamatan Kedungkandang (a) Fasilitas (b) Lahan

Ketiga, Tingkat Kompaksi

Berdasarkan Tsai, 2001, metode Analisis Koefisien Gini ini bertujuan untuk mengetahui ketidakmerataan atau kata lain kesenjangan dalam suatu wilayah khususnya Kota Malang. Metode analisis koefisien Gini menggunakan rumus sebagai berikut.

Koefisien Gini merupakan angka atau indeks yang menunjukkan ketidakmerataan secara spasial.Nilai/indeks koefisien Gini berada antara 0 yang bersifat kemerataan sempurna sampai dengan 1 yang bersifat ketidakmerataan sempurna (Tsai 2001: 329)

$$G = 1 - \sum_{i=1}^{k} \frac{P_i(Q_i + Q_{i-1})}{10.000} \qquad \text{.....(3)}$$

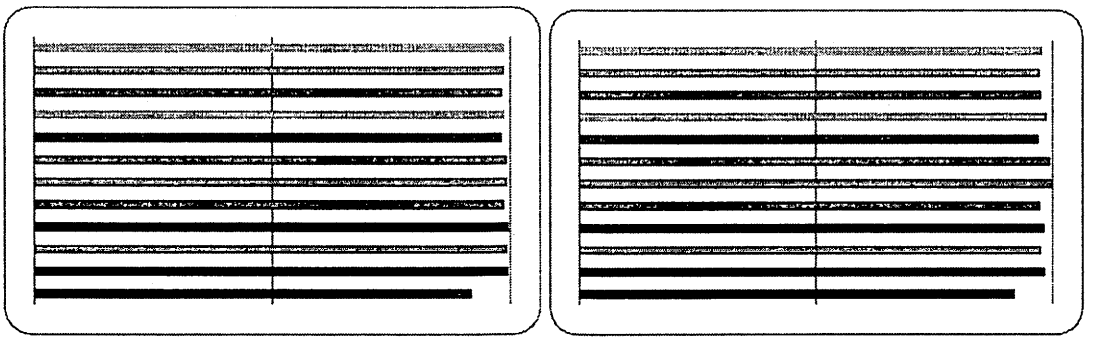
Keterangan:

P_i : persentase luas daerah pada kelas ke-i

Q_i : persentase kumulatif total jumlah penduduk sampai kelas ke-i

Dari hasil perhitungan, didapatkan koefisien GINI dari wilayah Kecamatan lowokwaru sebesar 0,85 dan Kecamatan Kedungkandang sebesar 0.78. Hal ini menunjukan bahwa wilayah Kecamatan lowokwaru dan Kecamatan Kedungkandang tidak merata. Hal ini dapat dilihat dari sarana prasaranan dan sarana dari dua kecamatan tersebut.

Dilhat dari teori yang diungkapkan (Tsai, 2001) mengenai Koefisien GINI dan perhitungan yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa Kecamatan Lowokawaru dan Kecamatan Kedungkandang memiliki distribusi sarana dan prasarana tidak merata menyebar di seluruh bagian wilayah.



(a) Kecamatan Lowokwaru (b) Kecamatan Kedungkandang

Gambar 8. Grafik Koefisien Gini

Keempat, Tingkat Keberlanjutan

Interpretasi tingkat keberlanjutan struktur ruang Kota Malang didapatkan dari hasil perhitungan dengan menggunakan referensi dari penelitian sejenis. Interpretasi menggunakan penelitian sejenis yaitu untuk 1) tingkat kepadatan penduduk dan bangunan dari Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 20/PRT/M/2011; 2) tingkat keragaman atau Analisis Tetangga Terdekat dari Bintarto, 1991, dan Buyong, Taher,2007; 3)Indeks entropy dari Dashti, 1999; dan 4) koefisien gini dari Tsai, 2001.

Hasil perhitungan tingkat keberlanjutan struktur ruang Kota Malang dapat dilihat dalam Tabel 1.

Tabel 1 Analisis Tingkat Keberlanjutan

Aspek		Kecamatan		Kesimpulan
		Lowokwaru	Kedungkandang	
Kepadatan	Kepadatan Penduduk	sedang (101,1-200 jiwa/ha)	sedang (101.1-200 jiwa/ha)	Kepadatan penduduk di kedua wilayah kecamatan tergolong kepadatan sedang
	Bangunan	sedang (20-40 bangunan/ha)	sedang (20-40 bangunan/ha)	Kepadatan bangunan kedua wilayah kecamatan tergolong kepadatan sedang
Keragaman	Tetangga terdekat	1,1 (random)	1,36 (random)	Kedua wilayah kecamatan termasuk dalam kategori random dimana persebaran sarana dan prasarana menyebar ke seluruh wilayah kecamatan
IE	Entropy	0,51	0,56	IE Kecamatan Lowokwaru dan Kedungkandang memiliki keragaman sedang, dimana fasilitas menyebar tidak merata.
Kompaksi	Koefisien gini	0,78	0,85	Dapat disimpulkan bahwa kedua wilayah kecamatan , persebaran hampir tidak merata

Sumber: Hasil Analisis, 2012

Hasil perhitungan dan intepretasi dari penelitian sejenis, didapatkan bahwa struktur Kota Malang termasuk di tingkat keberlanjutan sedang, dimana tingkat kepadatan penduduk tergolong sedang (101,1-200 jiwa/ha), kepadatan bangunan sedang (20-40 bangunan/ha), tingkat keragaman random (1,1-1,36) dan rata-rata indeks entropy (0,51-0,56), serta kompaksi termasuk ke dalam hampir tidak merata(koefisien gini 0,78-0,85).

5. KESIMPULAN

Hasil penelitian pengukuran tingkat keberlanjutan struktur ruang Kota Malang didapatkan bahwa struktur Kota Malang termasuk di tingkat keberlanjutan sedang(101,1-200 jiwa/ha), kepadatan bangunan sedang (20-40 bangunan/ha), tingkat keragaman random (1,1-1,36) dan rata-rata indeks entropy (0,51-0,56), serta kompaksi termasuk ke dalam hampir tidak merata(koefisien gini 0,78-0,85).

DAFTAR PUSTAKA

1. Azman, Fauzi, (2006), *Kerangka Pengembangan Kota dalam Mengantisipasi kecenderungan Perkembangan Perkotaan.*
2. Buyong, Taher, (2007), *Spatial Data Analysis For Geographic Information Science*, Johor Bahru, UTM, Kuala Lumpur.
3. Jacobs, Jane. (2002), *The Uses of Sidewalks:Safety from the Death and Life of Great American Cities dalamThe City Rider* (editor Richard T.LeGates dan FredericStout). Routledge, Taylor & Francis Group. London and New York.
4. Kentworthy, Jeffrey R. (2006), *The Eco-city:Ten Key Transport Planning Dimension for Sustainable Development.* Environmentand Urbanization. Vol 18, No.1
5. Munawir, Ridho, (2008), *Suburbanisasi,* http:// ridlomunawir.wordpress.com/2008/04/02/suburbanisasi/.
6. Peraturan Menteri No. 20 Tahun 2011 Tentang Pedoman Penyusunan RDTRK
7. R. Bintarto dan Hadisumarno, (1991), Metode Analisis Geografi, (LP3ES), Jakarta

8. Rosul, (2008), *Urban Sprawl (Pemekaran Kota).* http://mrosul.edublogs.org/urban-sprawl/.
9. Rossi, Aldo. 1982. *The Architecture of the City.* Cambridge: MIT Press
10. Tsai, Yu-hsin (2001), *Travel –Eficient Urban Form:A Nationwide Study of Small Metropolitan Areas*, The University of Michigan.

" Halaman ini sengaja dikosongkan "

ISBN 978-979-99327-8-5

PEMAHAMAN TENTANG AKSESIBILITAS DALAM KONTEKS MORFOLOGI PERKOTAAN PADA LAHAN BERKONTUR

Kota Donggala, Sulawesi Tengah sebagai Referensi Lokasi

Asyra Ramadanta [1], Endang T.S. Darjosanjoto [2], I Gusti Ngurah Antaryama [3]

[1]*Jurusan Arsitektur, Fakultas Teknik, Universitas Tadulako, Kampus Bumi Tadulako Tondo, Palu, Telp. 0451-422611, Mahasiswa Program Doktor Arsitektur FTSP, ITS, email: a.ramadanta2@gmail.com*
[2]*Pembimbing Utama, Program Doktor Arsitektur, FTSP, ITS, Kampus ITS Sukolilo Surabaya, Telp. 031- 5927290, email: endar@arch.its.ac.id*
[3]*Pembimbing II, Program Doktor Arsitektur, FTSP, ITS, Kampus ITS Sukolilo Surabaya, Telp. 031- 5927290, email: antaryama@arch.its.ac.id*

ABSTRAK

Kawasan perkotaan pada lahan berkontur memerlukan beberapa pertimbangan dalam penataannya, berkaitan dengan keterhubungan antar ruang di dalam kawasan perkotaan. Keterhubungan tersebut meliputi interaksi antar ruang yang mengacu pada jalur pergerakan secara fisik dan jangkauan pengamatan antar bagian kawasan secara visual. Interaksi antar ruang berdasarkan pergerakan menentukan sejauh mana bagian ruang dapat dilintasi secara fisik, sedangkan interaksi visual berhubungan dengan pengamatan terjauh dan terluas dari pengguna terhadap bagian lain dari kawasan. Keterhubungan yang dimaksud diungkapkan melalui penjelasan tentang akses sebagai media penghubung antar ruang pada kawasan perkotaan yang dipengaruhi oleh perletakan bangunan dan ruang terbuka berdasarkan kondisi bentang alam kawasan perkotaan,

Tulisan ini merupakan kajian literatur sebagai bagian dari penelitian disertasi pada Program Doktor Arsitektur FTSP-ITS. Kajian ini dimaksudkan untuk mengisi celah pengetahuan tentang aksesibilitas dalam konteks ruang perkotaan. Kajian ini bertujuan untuk menjelaskan aspek keterhubungan antar ruang kota dalam wujud aksesibilitas melalui pola pemanfaatan yang mempengaruhi morfologi ruang kotanya. Pembahasan tentang peranan aksesibilitas dalam menentukan perubahan ruang perkotaan diungkapkan melalui penerapannnya pada lahan berkontur. Secara umum aksesibilitas pada kawasan perkotaan dapat dijelaskan melalui pola jalan sebagai salah satu elemen morfologi.

Metode yang digunakan dalam pengungkapan gagasan tentang keterkaitan antara aksesibilitas dan morfologi perkotaan dilakukan dengan cara mengelaborasi teori. Elaborasi teori dirumuskan dari berbagai pemahaman tentang aksesibilitas dalam kajian morfologi perkotaan dengan referensi lokasi pada kawasan berkontur untuk menjelaskan kajian awal terhadap subyek penelitian.

Hasil penelitian ini akan menjelaskan pemahaman tentang aksesibilitas dari sudut pandang sebagai "jalur penghubung" dan sebagai "ruang yang dihubungkan". Berdasarkan perspektif pemahaman tersebut akan menjelaskan peranan aksesibilitas sebagai indikator dari jaringan perkotaan melalui fungsinya sebagai media penghubung secara fisik berdasarkan pergerakan dan secara visual berdasarkan keleluasaan pengamatan.

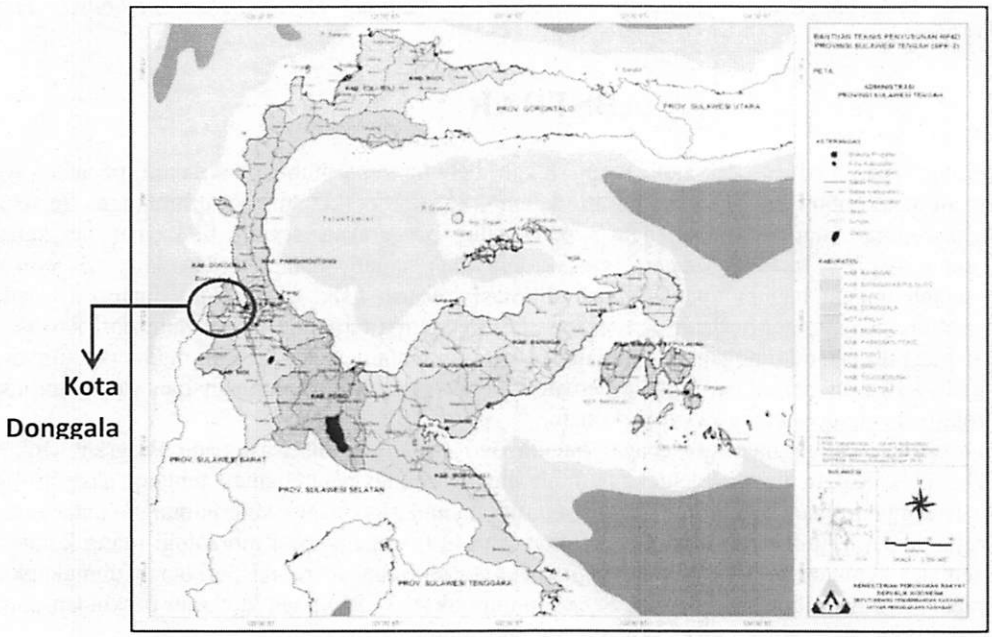
Kata kunci: Aksesibilitas, Kontur, Morfologi, Ruang Kota

1. PENDAHULUAN

Pengaturan ruang kota berhubungan dengan konfigurasi yang memiliki pengertian sebagai hubungan antar ruang yang melibatkan ruang lainnya. Konfigurasi berperan dalam mewujudkan tatanan dan struktur ruang kota yang efisien. Untuk mewujudkan struktur ruang kota yang efisien, dikemukakan beberapa dasar teori yang relevan dengan kondisi empiris pada lokasi penelitian. Hillier mengemukakan bahwa, tatanan konfigurasi ruang berkorelasi positif dengan intensitas pemanfaatannya [7]. Dasar teori yang dikemukakan berhubungan dengan karakteristik pemanfaatan ruang

kota pada lahan berkontur. Salah satu komponen konfigurasi adalah keterhubungan yang akan dijelaskan dalam pemahaman aksesibilitas selain yang terkait dengan ranah transportasi, dimana aksesibilitas dijelaskan sebagai indikator dari jalan sebagai wadah pergerakan yang merupakan elemen morfologi.

Sebagai referensi lokasi pada penelitian ini adalah Kota Donggala yang merupakan ibukota Kabupaten Donggala di Propinsi Sulawesi Tengah sebagaimana ditampilkan pada Gambar 1. Kota Donggala menunjukkan fenomena yang berhubungan dengan kajian empiris tentang pergerakan antar ruang yang direpresentasikan oleh hubungan antara aktifitas dan bentuk fisik kota, dimana pergerakan antar ruang tidak berlangsung pada bidang datar melainkan pada kawasan perkotaan dengan karakteristik permukaan yang berkontur, sebagaimana ditampilkan pada Gambar 2.



Gambar 1: Peta Orientasi Geografis Kabupaten Donggala
Sumber: http://www.perkim.sultengprov.go.id ; diunduh 22/01/2013 ; 13:06 WIB

Gambar 2: Peta 3D Kota Donggala
Sumber: *Google Earth* ; diunduh 19/05/2012 ; 08:27 WIB

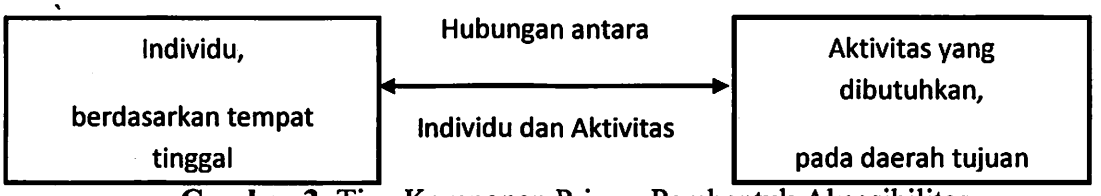
Dalam hal pemenuhan kebutuhan ruang bagi aktifitas perkotaan, dibutuhkan pertimbangan khusus terhadap hubungan antar ruang kota dan karakteristik pemanfaatannya. Pertimbangan tersebut harus melibatkan karakteristik bentang bentang alam. Aksesibilitas dipahami sebagai kemampuan untuk menghubungkan sebuah ruang kota dengan ruang kota yang lainnya. Sebagai penghubung antar ruang kota, aksesibilitas tidak hanya dinterpretasikan sebagai jalur pergerakan secara fisik tetapi juga secara visual. Aksesibilitas merupakan wujud dari kualitas hubungan antar ruang yang menentukan pola pemanfaatan dan aktifitas perkotaan.

2. DASAR TEORI

Definisi Aksesibilitas

Aksesibilitas dapat didefinisikan secara sederhana sebagai kondisi di mana kegiatan dapat dicapai, seperti pusat perdagangan dan jasa, serta pelayanan publik yang mencerminkan kebutuhan masyarakat. Pengukuran jarak adalah cara yang paling sederhana untuk mengukur aksesibilitas, menghitung jarak dari satu lokasi ke beberapa peluang yang berbeda, di mana waktu merupakan biaya yang paling utama. Pertimbangan terhadap aksesibilitas tidak hanya sebagai ukuran jarak sekaligus sebagai ukuran konektivitas, tetapi jarak juga merupakan sumber daya. Aksesibilitas adalah atribut yang terdiri dari orang dan barang lebih dari sekedar moda transportasi atau penyediaan jasa, dan menggambarkan sistem yang terintegrasi dari sudut pandang pengguna [6].

Terdapat tiga komponen utama yang membentuk aksesibilitas, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3: Tiga Komponen Primer Pembentuk Aksesibilitas
Sumber: Halden et.al (2005)

Dalam membangun pemahaman tentang aksesibilitas, Halden dkk. mengemukakan beberapa kesimpulan berdasarkan definisi aksesibilitas dari beberapa penulis sebagaimana ditampilkan pada tabel 1.

Tabel 1: Rangkuman dari beberapa definisi tentang aksesibilitas [6]

Penulis	Definisi	Kesimpulan terhadap Pengertian aksesibilitas
Litman, 2003a	Aksesibilitas mengacu pada kemampuan daan kesempatan untuk mencapai tempat yang diinginkan. Aksesibilitas bergantung pada mobilitas, pergantian mobilitas, dan kesempatan.	Kebutuhan untuk mempertimbangkan ketersediaan moda, kenyamanan dan keamanan dan seluruh aktifitas potensial berdasarkan penggunaan lahan. Pentingnya pemahaman komponen aksesibilitas berdasarkan definisi "kemampuan dan keterjangkauan terhadap aktifitas dan tujuan" .
David Simmonds Consultancy et al (1998)	Sebuah cara untuk mengukur kemudahan berdasarkan kategori khusus dari tiap orang untuk dapat mencapai tujuan dari tempat asalnya	Tiap orang memiliki tingkat aksesibilitas yang berbeda yang didefinisikan berdasarkan "kategori khusus dari tiap orang yang berbeda"

	(aksesibilitas asal), atau kemudahan berdasarkan tujuannya (aksesibilitas tujuan) dengan kemampuan individu.	
SEU Report, 2003	Kemampuan dan kemudahan untuk memperoleh pelayanan dengan alasan biaya dan kemudahan waktu.	Kata kunci "kemampuan" dan "beralasan" perlu didefinisikan lebih lanjut.
DfT, 2001	Kesulitan dalam naik turun kendaraan, item bawaan, dan kesulitan penggunaan oleh penyedia jasa.	Akses fisik terhadap kendaraan dan kebutuhan pengguna perlu dipahami oleh penyedia transportasi
Geurs et al, 2001	Perluasan terhadap kemungkinan guna lahan dan sistem transportasi untuk sekelompok individu atau barang untuk mencapai aktifitas atau tujuan yang menggabungkan moda transportasi.	Aksesibilitas adalah pertimbangan terbaik dengan menggabungkan beberapa aspek tinjauan terhadap moda.
Ross, 2000	Kemudahan untuk mencapai beberapa tujuan, termasuk asumsi biaya dalam pengertian waktu dan jarak perjalanan, tingkat kenyamanan, ketersediaan dan kelayakan transportasi publik.	Realitas dan prakiraan terhadap beberapa penghalang merupakan hal penting.
Gray, 1989	Pengukuran terhadap akses relatif dari sebuah kawasan atau zona untuk populasi, pekerjaan, kesempatan dan pelayanan komunitas.	Perbandingan aksesibilitas dapat menjadi penting pada tingkatan yang mutlak.
Handy, 2004	Kemampuan untuk memperoleh sesuai yang diinginkan berdasarkan pilihan tujuan dan moda.	"Kebutuhan" dan "kondisi ideal terhadap pilihan" merupakan konsep yang penting.

Berdasarkan beberapa definisi yang merangkum pemahaman tentang aksesibilitas [6], pada tabel 1 pembahasan aksesibilitas mengacu pada kemudahan, kemampuan, hambatan dan kesempatan yang berkaitan dengan keterjangkauan terhadap sebuah objek dalam pengertian yang umum. Selain beberapa definisi tentang aksesibilitas yang dikemukakan pada tabel 1, penulis merangkum beberapa definisi lain tentang aksesibilitas yang membahas tentang kemampuan, pencapaian, keterjangkauan dan keterhubungan terhadap tempat tertentu yang secara khusus mengacu pada lokasi, sebagaimana ditampilkan pada tabel 2.

Tabel 2: Beberapa definisi aksesibilitas yang dirangkum oleh penulis

Penulis	Definisi	Kesimpulan terhadap Pengertian Aksesibilitas
Evans, 2009	Aksesibilitas berhubungan dengan kemampuan untuk menjangkau fasilitas sosial, rekreasi atau lokasi pekerjaan dari rumah atau asal termasuk terhadap jalur pejalan kaki dan sistem transportasi [5].	Aksesibilitas dan mobilitas dalam lingkungan perkotaan ditentukan oleh desain dan tata letak bangunan serta infrastruktur jalan, berhubungan dengan kemampuan untuk mencapai berbagai fasilitas dan karena itu menyangkut pejalan kaki dan sistem transportasi
Topçu, 2009	Aksesibilitas berfokus pada akses ke CBD, sub-pusat kegiatan ekonomi dan, fasilitas sosial, potensi sumber daya, tempat rekreasi, area prestise dan sarana perkotaan di sepanjang dan sekitar koridor utama [11].	Untuk mengevaluasi setiap hubungan parameter lahan dan nilai aksesibilitas digunakan nilai integrasi spasial untuk menunjukkan karakteristik organisasi spasial kota yang memungkinkan untuk mengomentari kualitas ruang dan aksesibilitas

Carr, 1995	Akses visual atau visibilitas diperlukan untuk membuat orang merasa bebas untuk memasuki sebuah ruang. Visibilitas memungkinkan orang untuk memperkirakan tingkat keamanan atau penerimaan untuk memasuki sebuah ruang [2].	Secara umum, sebuah ruang yang lebih terlihat semakin dianggap sebagai ruang publik. Selain akses visual, juga terdapat derajat akses yang didefinisikan berdasarkan penghalang, bagaimana ruang terlihat atau tersembunyi, yang dapat dilihat dari titik tertentu
Mohamed, 2012	Penjabaran akses melalui keterhubungan antar bagian kota yang dikemukakan berdasarkan definisi menurut Lynch (1960) melalui keterbacaan ruang kota sebagai "kemudahan" dimana bagiannya dapat dikenali dan diatur dalam sebuah pola yang koheren [9].	Aksesibilitas dan visibilitas digunakan untuk membentuk ruang arsitektur, menciptakan perbedaan antara unsur-unsur mengenai hierarki, kenampakan dan keterbacaan

Tabel 1 berorientasi pada definisi akses sebagai media penghubung dengan tingkat kemudahan sebagai parameter, sedangkan tabel 2 berorientasi pada aspek ruang yang dihubungkan dengan dengan nilai integrasi sebagai parameter pemanfaatan ruang yang efisien berdasarkan kualitas keterhubungan antar ruang perkotaan.

Dari perbandingan kedua tabel tersebut dapat disimpulkan bahwa akses dan aksesibilitas dapat ditinjau dari dua perspektif, pertama; sebagai media penghubung yang berhubungan dengan pencapaian antar segmen perkotaan dan kedua; berdasarkan perpektif ruang yang dihubungkan melalui kualitas keterhubungan berdasarkan pola jalan yang membentuk jaringan perkotaan, keleluasaan visual untuk tujuan kejelasan dan orientasi. Lebih lanjut dengan mengelaborasi kedua perspektif pemahaman tersebut merupakan dasar untuk membahas pengaruh aksesibilitas dalam perubahan wujud fisik kawasan perkotaan.

Aksesibilitas dan Jaringan Perkotaan dalam Konteks Morfologi Perkotaan

Dalam hubungannya dengan morfologi perkotaan aksesibilitas yang diterjemahkan berdasarkan kualitas hubungan antar ruang di dalam kawasan perkotaan dapat dijelaskan melalui pengamatan terhadap jalur jalan yang menyusun jaringan perkotaan.

Jalur jalan merupakan hubungan jaringan, dimana kita mengamati bagian struktur dan hirarki yang tepat. Pengamatan terhadap hubungan, dan topologi hubungan-hubungan diuraikan ke dalam tiga hal prinsip, yang dinyatakan sebagai berikut [12]:

d) ***Nodes*/simpul** ; Jaringan perkotaan merupakan magnet pada simpul-simpul kegiatan dimana saling keterhubungan membentuk jaringan. Unsur-unsur alam dan arsitektur menyediakan atau memperkuat simpul kegiatan dan jalur penghubung, jaringan menentukan jarak dan perletakan bangunan.

e) ***Connections*/hubungan** ; Hubungan antar bagian membentuk simpul komplementer, dimana jalur pejalan kaki yang terdiri dari penggal jalan yang pendek di antara simpul tidak boleh melebihi panjang maksimum tertentu. Untuk mengakomodasi beberapa hubungan antara dua titik, beberapa jalan berbentuk melengkung atau tidak teratur. Jalur yang ideal didefinisikan secara jelas oleh batas tepi antara wilayah datar dan bentuk-bentuk di sepanjang perbatasan.

f) ***Hierarchy*/jenjang** ; jaringan perkotaan mengorganisir sendiri bagiannya dengan menciptakan hirarki hubungan pada beberapa tingkatan skala yang berbeda, mulai dari skala terkecil (jalan setapak) menuju ke skala yang lebih besar (peningkatan kapasitas).

Dimensi morfologi desain perkotaan meliputi tata letak dan konfigurasi bentuk dan ruang perkotaan. Morfologi berasal dari beberapa elemen kunci, termasuk ruas jalan,

tipe jalan, penggunaan lahan dan pengembangan pola struktur Unsur-unsur yang berhubungan langsung dengan bentuk perkotaan dan ruang seperti pola jalan, skala dan kepadatan, *walkability*, arsitektur, serta moda transit dan pelayanan menentukan karakter dari masing-masing lingkungan [8].

Aksesibilitas pada Lahan Berkontur

Kondisi alami perkotaan sering dianggap menghambat pengembangan atau menjadi rintangan, seperti dalam hal banjir atau tanah longsor. Untuk itu dibutuhkan pertimbangan terhadap hubungan antara alam dan urbanitas [3]. Pada lahan berkontur kualitas dan sifat lahan, secara umum akan mempengaruhi ukuran bangunan dan lingkungan binaan dengan cara mengatur "hubungan" antara satu dengan yang lainnya. Lereng alami dengan kemiringan di atas 30% akan menciptakan hubungan internal yang penting terutama dalam hal akses. Hal tersebut dapat menjadi potensi visual melalui ungkapan lain dari kawasan berdasarkan keterhubungan secara visual, tergantung pada ketinggian permukaan. Kualitas alam seperti ini merupakan cara terbaik untuk mengamati bagian kawasan pada skala yang sesuai [3].

Berbeda dengan pemahaman aksesibilitas pada lahan datar yang relatif memiliki lebih banyak peluang dan alternatif dalam hal penataan dan pemanfaatannya, pada lahan berkontur memerlukan perhatian yang lebih dalam merencanakan keterhubungan berdasarkan kedekatan antar ruang. Untuk itu pada kajian ini keterhubungan antar ruang kota pada lahan berkontur memerlukan pembahasan secara khusus terkait dengan ruang yang secara fisik berdampingan tetapi terletak pada elevasi yang berbeda memerlukan beberapa pertimbangan dalam penataannya, berkaitan dengan keterhubungan antar ruang, dimana jalan sebagai media penghubung akan menjadi lebih panjang. Pada titik tertentu pengamatan visual antar ruang memiliki jangkauan yang lebih luas oleh perbedaan ketinggian. Keterhubungan tersebut merupakan wujud interaksi antar ruang yang mengacu pada aksesibilitas dalam pengertian sebagai ukuran kualitas dari pencapaian secara fisik dan visual. Interaksi antar ruang berdasarkan pergerakan menentukan sejauh mana bagian ruang dapat dilintasi secara fisik, sedangkan interaksi visual berhubungan dengan pengamatan terjauh dan terluas dari pengguna ruang secara visual, yang umumnya dipengaruhi oleh perletakan bangunan dan ruang terbuka berdasarkan kondisi bentang alam kawasan perkotaan.

2. METODE

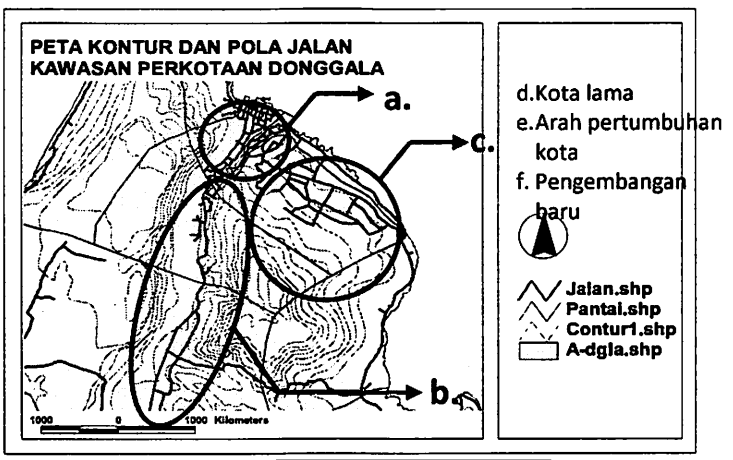
Metode yang diajukan untuk mengungkapkan gagasan tentang keterkaitan antara aksesibilitas dan morfologi perkotaan dilakukan dengan cara elaborasi teori berdasarkan sintesa kajian dari berbagai pemahaman tentang aksesibilitas, keterkaitan aksesibilitas dalam kajian morfologi perkotaan. Selanjutnya keterkaitan aksesibilitas dalam kajian morfologi perkotaan akan dikembangkan sebagai referensi dan dasar pertimbangan untuk mengungkapkan kontekstualitas dari penelitian, yaitu pada kawasan perkotaan di lahan berkontur.

3. HASIL DAN DISKUSI

Hasil yang dikemukakan pada artikel ini merupakan sintesa kajian berdasarkan komparasi dari beberapa definisi tentang aksesibilitas yang disimpulkan oleh Halden dkk. [6] dan definisi aksesibilitas yang dirangkum oleh penulis dari berbagai kajian teori. Selanjutnya elaborasi dari kedua sumber dijadikan sebagai dasar untuk

membentuk pemahaman tentang aksesibilitas berdasarkan kondisi empiris pada referensi lokasi. Hasil dari kajian tersebut akan dijadikan sebagai dasar dalam penyusunan argumen. Argumen yang dikemukakan dimaksudkan untuk menjelaskan peranan aksesibilitas sebagai dasar pertimbangan dalam pengembangan kerangka teoritis studi perkotaan pada lahan berkontur. Kajian ini juga diharapkan dapat memperluas ranah penelitian morfologi perkotaan melalui pembahasan tentang keterhubungan antar segmen kawasan pada skala ruang kota berdasarkan aspek pergerakan yang mempertimbangkan relief kawasan dalam penataannya.

Pengungkapan gagasan tentang aksesibilitas dari aspek fisik dan visual pada lahan berkontur merupakan tanggapan terhadap topografi kawasan yang menentukan wujud fisik ruang kota secara morfologis. Kualitas hubungan antar ruang mengacu pada kemudahan dan efisiensi secara fisik dan pemanfaatan potensi visual dalam mewujudkan legibilitas kawasan yang mendukung kelancaran aktifitas mempermudah pergerakan antar ruang melalui kemudahan berorientasi dalam sebuah atau rangkaian ruang perkotaan secara konfiguratif. Interaksi antar ruang berdasarkan pergerakan dapat dilihat pada Gambar 4 sebagai data awal penelitian ini untuk memahami aksesibilitas kawasan berdasarkan topografi di Kota Donggala.



4.a. Kota lama **4.b.** Arah pertumbuhan awal **4.c.** Pengembangan

Gambar 4: Peta komposit ruas jalan dan kontur di Kota Donggala
Sumber : SIMKOT Kota Donggala, 2006

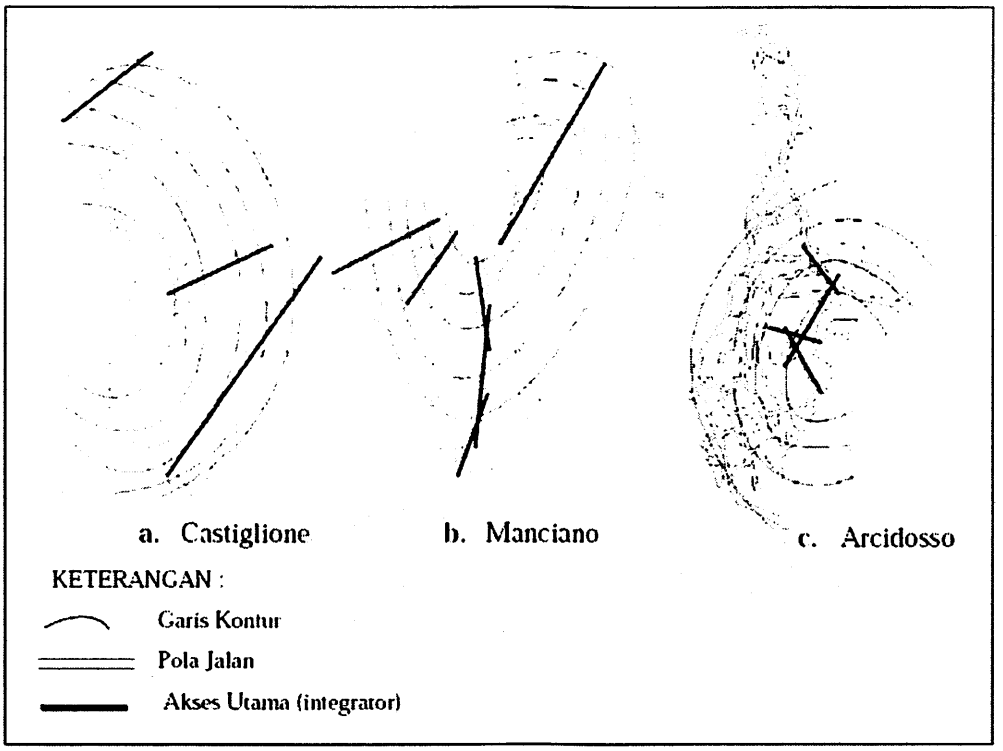
Aksesibilitas berdasarkan topografi akan mengungkapkan tentang kualitas pencapaian antar segmen kawasan pada skala ruang kota berdasarkan konteks lokasinya. Fakta empiris di Kota Donggala menunjukkan karakteristik pola jalan yang berbeda berdasarkan periode pertumbuhan kotanya. Pada gambar 4a menunjukkan pola jalan yang cenderung berbentuk grid karena terletak pada bagian kawasan yang relatif datar. Pada awal pembentukan kotanya aktifitas perkotaan berorientasi ke kawasan pelabuhan. Dari aspek pencapaian wilayah perbukitan cenderung dianggap sebagai pembatas fisik. Gambar 4b menunjukkan arah pertumbuhan awal yang linear dan hanya mengisi celah lembah yang relatif datar dengan alasan kemudahan pergerakan tanpa mempertimbangkan jarak. Gambar 4c menunjukkan pengembangan baru yang memanfaatkan puncak bukit yang relatif datar dengan pertimbangan terhadap ketersediaan ruang.

Pada kondisi yang ada sekarang, sarana perkotaan yang terkonsentrasi pada puncak bukit yang datar (pengembangan baru), sementara kawasan permukiman lama terkonsentrasi pada bagian kota yang relatif datar dengan orientasi utama ke pusat perdagangan dan wilayah pelabuhan (kota lama). Pengembangan pusat pertumbuhan baru di Kota Donggala menyebabkan tumbuhnya beberapa akses lokal yang menyebar pada lereng perbukitan yang terjal sebagai penghubung dari kawasan permukiman lama ke beberapa sarana perkotaan yang dibangun di wilayah perbukitan. Pada beberapa bagian pola jalan mengikuti kontur sementara pada bagian internal kawasan terdapat beberapa jalur penghubung yang cenderung menyimpang dari penanganan yang semestinya karena dibuat tegak lurus terhadap garis kontur. Kondisi ini beberapa diantaranya merupakan tanggapan terhadap kondisi fisik kawasan dengan penanganan yang bersifat inkremental. Dari ketiga karakteristik kawasan berdasarkan periode pengembangan kota menunjukkan bahwa keterhubungan secara fisik mengalami pergkembangan dimana kondisi lahan berkontur tidak lagi dianggap sebagai penghambat aksesibilitas. Keterhubungan secara visual dari bagian kota lama ke kawasan pengembangan baru di perbukitan terkendala oleh perbedaan elevasi yang sangat terjal dari arah jalur jalan utama yang mengikuti garis pantai. Demikian halnya dari permukiman yang terletak pada arah pertumbuhan awal kawasan yang terhalang oleh kemiringan yang terlalu terjal dan jalan sebagai media penghubung yang terlalu sempit. Selain itu yang perlu dipertimbangkan adalah dampak pengembangan tersebut terhadap kondisi lingkungan.

Sebagai pembanding dalam mengungkapan aksesibilitas pada lahan berkontur, penelitian Cutini mengemukakan bahwa dalam permukiman perkotaan kemiringan jalan berkorelasi dengan distribusi integrasi yang diuji pada beberapa kota bersejarah di Italia (Castiglione, Manciano, dan Arcidosso). Kota-kota tersebut dibangun dan diatur pada lereng yang terjal dan curam dan memberikan konfirmasi tentang hubungan aksesibilitas dan visibilitas terhadap bentuk fisik kotanya yang terletak pada lahan berkontur [4].

Pola jalan di Castiglione (gambar 5a) cenderung berbentuk grid dan menunjukkan keteraturan dimana sisi terpanjang dari arah jalan mengikuti sisterpanjang dari garis kontur. Castiglione dibangun sebagai pos militer yang dikelilingi oleh dinding, dengan jalan masuk pada bagian yang mudah diamati secara visual dari arah bukit. Terdapat tiga akses utama yang menghubungkan bagian yang lebih landai dengan bagian yang curam, dimana terdapat jalan yang melintasi dinding bukit yang terjal secara tegak lurus. Pada kawasan perbukitan di Manciano (gambar 5b) pola jalan cenderung mengikuti bentuk kontur dengan kastil yang terletak di puncak bukit sebagai pusat

orientasi. Pada kawasan ini juga terdapat akses utama dari bagian yang landai ke puncak bukit dengan melintasi lereng terjal secara tegak lurus. Untuk kota bersejarah Arcidosso (gambar 5c) pada bagian yang berkontur memiliki kesamaan dengan Manciano, dimana kastil yang terletak di puncak bukit sebagai pusat orientasi. Pada lereng yang terjal pola jalan juga cenderung mengikuti kontur, sementara pada bagian yang landai pola jalan cenderung linear tetapi masih menyesuaikan dengan topografi kawasan.



Gambar 5: Ilustrasi perletakan pola jalan berdasarkan karakteristik fisik pada beberapa Kota Kecil di lahan berkontur, Italia
Sumber : Cutini, 2007

Sebagai pembanding terhadap fakta empiris di Kota Donggala, penelitian Cutini memberikan gambaran tentang bagaimana jalan sebagai akses atau media penghubung yang dibangun untuk tujuan tertentu dengan menanggapi karakteristik topografi dalam hal ini adalah kontur (yang menyatakan cara melintasi) dan nilai konfigurasional (yang menyatakan cara saling terhubung) dari jalur perkotaan. Tidak hanya integrasi, termasuk bagaimana sebuah pemukiman perkotaan berkaitan dengan cara dan bentuk penggunaan, tetapi juga dapat menggambarkan cara penyelesaian perkotaan sesuai dengan bentang alam yang spesifik, termasuk visibilitas antar ruang yang mengacu pada fungsi-fungsi dan aktifitas utama seperti pasar, plaza, benteng pertahanan dan kastil sebagai pusat orientasi, selain pertimbangan terhadap konteks geografis secara lokal.
Untuk konteks ruang perkotaan pada lahan berkontur berdasarkan kondisi empiris Kota Donggala sebagai referensi lokasi, keterhubungan antar ruang kota yang diinterpretasikan melalui aksesibilitas memerlukan analisis yang lebih lanjut untuk menerjemahkan pengaruh aspek vertikal pada permukaan kawasan dalam konteks pergerakan antar ruang secara fisik dan jangkauan visual yang mempengaruhi pengamatan dan pergerakan melalui kognisi dan pengalaman ruang, termasuk motivasi pengembangan dari pengguna ruang.

4. KESIMPULAN

Aksesibilitas secara fisik dan visual merupakan indikator dari keterhubungan antar ruang kota yang lebih lanjut mempengaruhi pola pemanfaataan ruang perkotaan melalui efisiensi pelayanan. Untuk itu dibutuhkan penataan terhadap ruang perkotaan dalam konteks media penghubung yang mempertimbangkan kondisi bentang alam melalui potensi fisik dan visual. Keterkaitan antara aksesibilitas dan morfologi dapat dijelaskan melalui wujud fisik ruang kota yang dipengaruhi oleh aktifitas perkotaan dan pola pemanfaatannya berdasarkan kualitas hubungan antar ruang kota. Keterhubungan secara fisik dan visual pada lahan berkontur dapat diamati melalui pola jalan sebagai salah satu elemen morfologi dan perletakan bangunan berdasarkan kondisi fisiografi kawasan. Hasil kajian dari artikel ini akan dikembangkan pada penelitian yang lebih lanjut untuk mengungkapkan nilai-nilai integrasi spasial pada kawasan perkotaan berdasarkan keterhubungan antar ruang perkotaan.

5. DAFTAR PUSTAKA

1. Anonimous (2006) *Sistem Informasi dan Manajemen Perkotaan* (SIMKOT) Kota Donggala Tahun 2006
2. Carr, S. et.al (1995). *Public Space*, Cambridge University Press. Cambridge
3. Cohen, N (2001) *Urban Planning Coservation and Preservation*, McGraw-Hill, New York
4. Cutini, V (2007), *Axial Lines and Contour Lines: climbing up the centre*, Proceedings, 6th International Space Syntax Symposium, İstanbul
5. Evans, G (2009) *Accessibility, Urban Design and the Whole Journey Environment*, Built Environment, Vol. 35 No. 3, p.366-385, http://www.fdcw.unimaas.nl
6. Halden, D, et.al (2005) *Measuring Accessibility as Experienced by Different Socially Disadvantaged Groups*, Edinburgh , Funded by the EPSRC FIT Programme, Working Paper 3
7. Hillier, B. et.al (1993) *Natural Movement: or, Configuration and Attraction in Urban Pedestrian Movement*, Environment and Planning B: Planning and Design, , p.29-66, UK, Volume 20
8. Jones, D. and Wienckowski, J (2009) *Street Topology and Urban Morphology: A Northeast Baltimore Case Study*, Environmental Science and Sustainability ISSN: 1790-5095, ISBN: 978-960-474-136-6, http://www.wseas.org.
9. Mohamed, A. A (2012) *Evaluating Way-Finding Ability Within Urban Environment*, Proceedings: Eighth International Space Syntax Symposium, Santiago de Chile: PUC, http://www.sss8.cl/media/upload/paginas/seccion/8204_2.pdf
10. Situs Resmi Pemda Sulteng (2013) *Peta Administrasi Provinsi Sulawesi Tengah,* http://www.perkim.sultengprov.go.id/images/peta-administrasi-provinsi-sulawesi-tengah.jpg diunduh 22/01/2013 ; 13:06
11. Topçu, M (2009) *Accessibility effect on urban land value*, Scientific Research and Essay- November, 2009, ISSN 1992-2248, pp. 1286-1291, © 2009 Academic Journals Vol.4(11) http://www.academicjournals.org/SRE
12. Van Bilsen, A (1998) *The Theory of Urban Web*, Journal of Urban Design, vol. 3, 1998, pp. 53-71.

ZONA POTENSI AIRTANAH CEKUNGAN AIRTANAH (CAT) PALU SULAWESI TENGAH BERDASARKAN KARAKTERISTIK AIRTANAH PADA SETIAP SATUAN HIDROMORFOLOGI DAN HIDROGEOLOGI

Zeffitni

Dosen Jurusan Teknik Sipil, Universitas Tadulako, Kampus Bumi Tadulako, Palu- Sulawesi Tengah, Telp 0821 8934 6012, email: zefitni_04@yahoo.com

ABSTRAK

Potensi airtanah pada setiap satuan hidromorfologi dan hidrogeologi ditentukan oleh karakteristik akuifer pada setiap sistem akuifer. Penelitian ini mencoba mengintegrasikan antara pendekatan geomorfologi dan geologi untuk penentuan tingkat potensi airtanah di Cekungan Airtanah (CAT) Palu Propinsi Sulawesi Tengah, baik pada sistem airtanah bebas maupun airtanah tertekan. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengindentifikasi satuan hidromorfologi dan hidrogeologi CAT Palu dalam penentuan tingkat potensi relatif airtanah berdasarkan karakteristik airtanah. Metode analisis dalam penelitian ini adalah analisis spasial dan lingkungan (spasio ekologikal). Analisis spasial ditujukan untuk mengetahui agihan airtanah (bebas, mataair dan tertekan) dengan satuan bentuklahan sebagai satuan evaluasinya. Analisis kelingkungan digunakan untuk mengetahui karakteristik airtanah pada setiap satuan bentuklahan. Metode analisis ditujukan untuk variabel karakteristik airtanah dengan menyusun: 1). satuan hidromorfologi untuk airtanah bebas dan mataair dengan lingkup kajian, antara lain: kedalaman muka airtanah (freatik), fluktuasi airtanah, permeabilitas akuifer, kuantitas dan kualitas airtanah, 2). satuan hidrogeologi untuk penentuan tingkat potensi airtanah tertekan dengan lingkup kajian, antara lain: geometri dan konfigurasi akuifer, litologi penyusun akuifer, parameter akuifer dan non akuifer, muka piezometrik, kuantitas (debit jenis dan debit optimum) dan kualitas airtanah. Meskipun ruang lingkup kajian tersebut berbeda, namun dalam analisis tingkat potensi airtanah baik pada sistem akuifer bebas ataupun tertekan, antara satuan hidromorfologi dan hidrogeologi, diintegrasikan untuk mendapatkan hasil yang lebih komprehensif dan tidak bersifat regional semata. Hasil penelitian sebagai berikut: 1). atas dasar bentuklahan, kondisi geologi dan karakteristik airtanah maka daerah penelitian secara umum dikategorikan sebagai Satuan Hidromorfologi Dataran Aluvial yang disusun oleh satuan geologi Aluvium dan Formasi Pakuli. Meskipun di CAT Palu juga terdapat satuan bentuklahan perbukitan denudasional tapi keberadaan airtanah pada satuan bentuklahan ini hanya setempat – setempat, 2). berdasarkan satuan bentuklahan CAT Palu maka satuan hidromorfologi CAT Palu pada umumnya didominasi oleh satuan hidromorfologi dataran aluvial, 3). karakteristik airtanah di CAT Palu berbeda pada setiap satuan bentuklahan dan dipengaruhi oleh litologi batuan penyusun akuifer pada Aluvium dan Formasi Pakuli, dan 4). tingkat potensi relatif airtanah CAT Palu berdasarkan karakteristik airtanah pada satuan hidromorfologi dataran aluvial, berkisar dari sedang – tinggi.

Kata kunci: cekungan, airtanah, akuifer, hidromorfologi, hidrogeologi

1. PENDAHULUAN

Airtanah merupakan komponen dari suatu daur hidrologi *(hydrologic cycle)* yang melibatkan banyak aspek biogeofisik, bahkan aspek politik dan sosial budaya yang sangat menentukan keterdapatan airtanah di suatu daerah (Pusat Lingkungan Geologi, 2007). Masalah yang sangat relevan dengan kajian geografi yang menyangkut sumberdaya air adalah distribusi spasial dan temporal yang tidak merata dari sumberdaya air tersebut. Selain itu, distribusi penduduk sebagai pengguna air yang tidak

merata juga merupakan masalah yang tidak kalah pentingnya. Kota - kota besar yang berpenduduk padat permasalahan yang terkait dengan sumberdaya air semakin meningkat, baik ketersediaan air pada musim penghujan maupun pada musim kemarau. Salah satu fenomena fisik yang memerlukan pendekatan analisis keruangan adalah airtanah (Sutikno, 2005). Pengamatan variasi parameter airtanah yang terus - menerus dan dilakukan dengan pendekatan analisis keruangan, sangat diperlukan untuk mendapat jawaban yang tepat tentang fenomena fisik airtanah (Hadian, 2006; Lubis, 2006).

Airtanah di Cekungan Airtanah Palu (CAT Palu) merupakan salah satu fenomena fisik yang memerlukan pendekatan analisis spasial. Keberadaan CAT Palu erat kaitannya dengan struktur graben di Cekungan Palu, yaitu Sesar Palu. Secara administratif CAT Palu berada di Provinsi Sulawesi Tengah dan meliputi wilayah Kota Palu (sebagai ibukota Provinsi Sulawesi Tengah), Kabupaten Donggala, dan Sigi. Dengan demikian airtanah di CAT Palu merupakan salah satu sumber pemasok air bersih bagi penduduk di Kota Palu serta di sebagian Kabupaten Donggala dan Sigi. Peningkatan jumlah penduduk dan pengembangan berbagai sektor seperti domestik, industri, jasa, pertanian dan sektor lainnya di Kota Palu, secara langsung maupun tidak langsung menuntut penyediaan sumber air bersih yang semakin meningkat. Di sisi lain dihadapkan ke fenomena airtanah sebagai sumberdaya yang terbatas menurut ruang dan waktu. Jika hal ini tidak diantisipasi maka degradasi kuantitas dan kualitas airtanah akan terus meningkat. Kondisi ini akan semakin meningkat jika diiringi dengan pemahaman yang keliru tentang fenomena airtanah, disamping karena dampak dari pembangunan serta aktivitas manusia.

Potensi airtanah pada setiap satuan hidromorfologi dan hidrogeologi ditentukan oleh karakteristik akuifer pada setiap sistem akuifer. Penelitian ini mencoba mengintegrasikan antara pendekatan geomorfologi dan geologi untuk penentuan tingkat potensi airtanah di Cekungan Airtanah (CAT) Palu Propinsi Sulawesi Tengah, baik pada sistem airtanah bebas maupun airtanah tertekan. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengindentifikasi satuan hidromorfologi dan hidrogeologi CAT Palu dalam penentuan tingkat potensi relatif airtanah berdasarkan karakteristik airtanah.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan geomorfologi dan geologi untuk penentuan tingkat potensi airtanah, baik pada sistem airtanah bebas maupun tertekan. Identifikasi awal tentang batasan lingkup kajian satuan hidromorfologi dan hidrogeologi sangat diperlukan. Kajian karakteristik airtanah dengan menyusun satuan hidromorfologi ditujukan untuk penentuan potensi airtanah bebas dan mataair, dengan lingkup kajian, antara lain: kedalaman muka airtanah (freatik), fluktuasi airtanah, permeabilitas akuifer, kuantitas dan kualitas airtanah.

Kajian karakteristik airtanah dengan menyusun satuan hidrogeologi ditujukan untuk penentuan tingkat potensi airtanah tertekan dengan lingkup kajian, antara lain: geometri dan konfigurasi akuifer, litologi penyusun akuifer, parameter akuifer dan non akuifer, muka piezometrik, kuantitas (debit jenis dan debit optimum) dan kualitas airtanah. Meskipun ruang lingkup kajian tersebut berbeda, namun dalam analisis tingkat potensi airtanah baik pada sistem akuifer bebas ataupun tertekan, antara satuan hidromorfologi dan hidrogeologi, dapat diintegrasikan untuk mendapatkan hasil yang lebih komprehensif. Analisis spasial dan kelingkungan digunakan dalam bagian ini. Analisis spasial ditujukan untuk mengetahui agihan airtanah (bebas, mataair dan tertekan) dengan satuan bentuklahan sebagai satuan evaluasinya. Analisis kelingkungan digunakan untuk mengetahui karakteristik airtanah pada setiap satuan bentuklahan.

Pendekatan geomorfologi untuk kajian airtanah dalam penelitian ini digunakan untuk penyusunan satuan hidromorfologi. Satuan hidromorfologi merupakan sintesa antara aspek geomorfologi yaitu bentuklahan dengan karakteristik airtanah. Satuan hidrogeologi merupakan sintesa antara aspek geologi yaitu litologi, stratigrafi dan struktur batuan dengan karakteristik airtanah. Informasi litologi, stratigrafi dan struktur geologi dapat dikaji melalui pendekatan geomorfologi terutama yang menekankan pada bentuklahan. Berdasarkan hal tersebut maka pada bagian ini mengintegrasikan pendekatan geomorfologi dan geologi untuk menentukan karakteristik airtanah di CAT Palu.

3. HASIL PENELITIAN

Atas dasar bentuklahan, kondisi geologi dan karakteristik airtanah maka daerah penelitian secara umum dikategorikan sebagai Satuan Hidromorfologi Dataran Aluvial yang disusun oleh satuan geologi Aluvium dan Formasi Pakuli. Meskipun di CAT Palu juga terdapat satuan bentuklahan perbukitan denudasional tapi keberadaan airtanah pada satuan bentuklahan ini hanya setempat – setempat. Berdasarkan hal tersebut maka dalam penelitian ini lebih difokuskan pada satuan hidromorfologi dataran aluvial. Satuan hidromorfologi dataran aluvial terbentuk karena struktur geologi berupa Graben Palu yang membentuk CAT Palu.

3.1. Tingkat Potensi Airtanah Bebas Berdasarkan Karakteristik Airtanah Pada Satuan Hidromorfologi Dataran Aluvial

Karakteristik airtanah bebas merupakan dasar untuk perkiraan potensi airtanah bebas yang ditentukan oleh parameter: kedalaman muka freatik, fluktuasi airtanah, nilai permeabilitas, kuantitas, dan kualitas airtanah. Agihan kedalaman muka freatik di CAT Palu berkisar dari dangkal – sedang. Muka freatik paling dangkal 1,38 meter dpt di bagian barat di Kecamatan Palu Barat dan muka freatik sedang 2,70 meter dpt di bagian timur yaitu di Kecamatan Gumbasa. Fluktuasi muka freatik di CAT Palu pada umumnya rendah (<1,0 meter). Fluktuasi muka freatik paling rendah di CAT bagian barat yaitu di Kecamatan Dolo Barat 0,48 meter sedangkan yang tertinggi di CAT bagian timur yaitu di Kecamatan Biromaru 0,85 meter.

Nilai permeabilitas yang digunakan dalam penelitian ini merupakan nilai permeabilitas akuifer bebas dan berdasarkan hasil analisis data uji pemompaan dan data pemboran Dinas Pekerjaan Umum Provinsi Sulawesi Tengah (2000). Agihan nilai permeabilitas akuifer pada umumnya tinggi dengan nilai >45 m/hari atau rata – rata 53,09 m/hari. Tingkat potensi kuantitatif airtanah bebas berkisar dari kecil – sedang.

Tingkat potensi klas kecil (<1,0 liter/detik) hanya menempati CAT bagian timur yaitu Kecamatan: Palu Timur, Palu Selatan, dan Dolo. Tingkat potensi klas sedang (1,0 – 5,0 liter/detik) ternyata mencakup keseluruhan CAT bagian barat dan hanya 40% di bagian timur (Biromaru dan Gumbasa). Kualitas airtanah bebas di CAT Palu pada umumnya baik. Tingkat potensi airtanah bebas pada umumnya berada pada klas sedang – tinggi. Di daerah Palu Timur berada pada klas sedang – rendah karena analisis data hanya berdasarkan daerah yang masuk CAT Palu.

Berdasarkan hasil analisis data karakteristik airtanah bebas maka dapat ditentukan tingkat potensi airtanah bebas. Agihan potensi airtanah bebas meliputi seluruh CAT Palu pada satuan hidromorfologi dataran aluvial. Tingkat potensi airtanah bebas klas tinggi agihan di bagian timur yaitu di Kecamatan Biromaru dan di bagian barat yaitu di Kecamatan Palu Barat dan Marawola. Tingkat potensi airtanah klas sedang berada di bagian timur yaitu Kecamatan Dolo dan Gumbasa. Di bagian barat agihan di Kecamatan Palu Selatan, Dolo Barat, dan Dolo Selatan. Tingkat potensi airtanah bebas klas rendah hanya ditemukan di bagian timur, yaitu di Kecamatan Palu Timur dan Palu Selatan.

3.2. Tingkat Potensi Mataair Berdasarkan Karakteristik Mataair Pada Satuan Hidromorfologi Dataran Aluvial

Tingkat potensi kuantitatif mataair berada pada tingkat potensi kecil dan besar. Tingkat potensi kuantitatif kecil (< 5,0 liter/detik) agihan di seluruh CAT bagian timur dan barat. Mataair dengan tingkat potensi besar (>10 liter/detik), di CAT bagian timur agihan di Kecamatan Gumbasa sedangkan di bagian barat, di Kecamatan Marawola, Dolo Barat dan Dolo Selatan. Hasil analisis menunjukkan bahwa kualitas mataair di pada umumnya baik. Berdasarkan kondisi geologi berada di Aluvium dan Formasi Pakuli dengan litologi penyusun akuifer terdiri dari: kerikil, pasir, lanau, pasir lempungan, kerikil pasiran, dan pasir kerikilan.

Berdasarkan hasil analisis data karakteristik mataair, maka dapat ditentukan tingkat potensi mataair di CAT Palu. Pada umumnya tingkat potensi mataair berkisar dari tinggi - sedang. Tingkat potensi mataair klas tinggi agihan di CAT bagian timur, yaitu di Kecamatan Gumbasa sedangkan di bagian barat, di Kecamatan Marawola, Dolo Barat dan Dolo Selatan. Tingkat potensi mataair klas tinggi, ditandai oleh nilai karakteristik mataair secara keseluruhan baik, yaitu: kuantitas besar dan kualitas baik. Agihan potensi mataair klas sedang, di bagian timur di Kecamatan Palu Timur, Palu Selatan, Dolo, dan Biromaru. Di bagian barat di Kecamatan Palu Barat dan Palu Selatan. Tingkat potensi mataair klas sedang ditandai dengan nilai karakteristik mataair secara keseluruhan baik, yaitu: kuantitas kecil dan kualitas baik. Berdasarkan satuan hidromorfologi, pada umumnya berada di bentuklahan dataran aluvial.

3.3. Tingkat Potensi Airtanah Tertekan Berdasarkan Karakteristik Airtanah Pada Satuan Hidromorfologi Dataran Aluvial

Secara lateral, CAT Palu mempunyai batas tanpa aliran eksternal *(external zero-flow boundary)* yaitu bidang kontak antara akuifer dan non akuifer yang membentuk CAT Palu. Akumulasi airtanah terbentuk karena adanya dua aliran airtanah dengan arah berlawanan dan akuifer utama bersifat tidak tertekan. Batas aliran airtanah masuk *(inflow boundary)* berada di bagian timur dan barat Sungai Palu yaitu dari tekuk lereng perbukitan struktural Gunung Gawalise dan Gunung Tanggungguno. Batas aliran airtanah keluar *(outflow boundary)* berada di bagian utara yaitu Teluk Palu. Secara

vertikal CAT Palu dapat dijelaskan bahwa: 1). batas tanpa aliran internal *(internal zero-flow boundary),* adalah bidang kontak antara akuifer dan non akuifer, yang berfungsi sebagai dasar akuifer *(aquifer basement),* meliputi seluruh dataran aluvial CAT Palu, 2). batas muka air permukaan internal *(internal head-controlled boundary)* bersifat periodik (temporal), dan 3). batas muka airtanah bebas *(free surface boundary)* merupakan batas CAT Palu. Hasil penelitian yang berkaitan dengan batas vertikal, bahwa CAT Palu merupakan bagian dari Cekungan Palu, terbentuk sebagai akibat dari struktur geologi (Graben Palu), yaitu sesar Palu. Konfigurasi sistem akuifer CAT Palu terdiri atas: 1). akuifer produktif yang berada pada litologi endapan aluvium, batuan sedimen klastika dan batuan tersier dan 2). sistem akuifer terdiri atas sistem akuifer dataran aluvial dan perbukitan denudasional.

Berdasarkan hasil interpretasi dan analisis data sekunder geolistrik (Direktorat Geologi dan Tata Lingkungan, 1994) dan data pemboran (Dinas Pekerjaan Umum Provinsi Sulawesi Tengah, 2000). Litologi penyusun akuifer di CAT Palu. Berdasarkan hubungan antara tahanan jenis dengan material penyusun akuifer di CAT Palu, terdiri atas: pasiran pada lapisan atas sebagai lapisan tanah penutup, lapisan pasir dan kerakal meluas ke arah timur Formasi Pakuli, material aluvium berupa pasir kerikilan, pasir lempungan, lempung pasiran di Aluvium dan Formasi Pakuli. Kemampuan suatu lapisan pengandung air untuk menyimpan dan meluluskan air, tergantung pada ketebalan dan luas penyebaran, porositas serta permeabilitas dan transmisivitas. Nilai permeabilitas akuifer bebas di CAT Palu pada umumnya tinggi dengan nilai >45 m/hari atau rata – rata 53,09 m/hari dan agihan di seluruh bagian wilayah. Berdasarkan hasil analisis data bahwa di CAT Palu nilai transmisivitas akuifer rata – rata sangat tinggi yaitu 2.725,91 m^2/hari.

Kedalaman Muka Piezometrik. Di CAT Palu muka piezometrik berkisar dangkal - dalam. Muka piezometrik dangkal (<5,0 meter dpt) agihan di bagian timur (Palu Timur) dan barat (Palu Selatan dan Marawola). Muka piezometrik dalam (> 10,0 meter dpt) agihan di bagian timur (Palu Selatan dan Biromaru) dan barat (Palu Barat). Kuantitas dan Kualitas Airtanah Tertekan. Tingkat potensi kuantitatif airtanah tertekan untuk air minum ditentukan oleh debit optimum. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa di CAT Palu, debit optimum rata – rata berjumlah 54,24 liter/detik. Di bagian timur berjumlah 51,02 liter/detik dan di bagian barat yaitu 124,90 liter/detik. Tingkat potensi kualitatif airtanah tertekan di CAT Palu, pada umumnya termasuk klas baik. Di CAT bagian timur agihan di Kecamatan: Palu Timur, Palu Selatan, dan Biromaru. Di CAT bagian barat agihan di Kecamatan: Palu Barat, Palu Selatan dan Marawola.

Tingkat potensi airtanah tertekan hanya berkisar pada klas tinggi dan nihil. Tingkat potensi airtanah tertekan klas tinggi, agihan di CAT bagian timur, yaitu di Kecamatan Biromaru, sedangkan di CAT bagian barat, yaitu di Kecamatan Marawola. Pada umumnya nilai karakteristik airtanah ditandai dengan: piezometrik dangkal - dalam, kedalaman dan ketebalan akuifer dalam - nihil, debit jenis besar - nihil, kuantitas besar, dan kualitas bernilai baik. Potensi airtanah tertekan dengan nilai nihil, agihan di CAT bagian timur, yaitu di Kecamatan Palu Timur, Palu Selatan, Dolo dan Gumbasa, sedangkan di bagian barat di Kecamatan Palu Barat, Palu Selatan, Dolo Barat dan Dolo Selatan. Nilai nihil dalam penelitian ini diartikan sebagai tidak ada data pendukung sehingga keterdapatan potensi airtanah tidak diketahui.

Berdasarkan hasil analisis sistem aliran akuifer (bahwa CAT Palu merupakan suatu sistem aliran akuifer. Batas aliran airtanah yang masuk *(inflow boundary)* berada di bagian timur dan barat Sungai Palu yaitu dari tekuk lereng perbukitan struktural

Gunung Gawalise dan Gunung Tanggungguno. Batas aliran airtanah yang keluar *(outflow boundary)* berada di bagian utara yaitu Teluk Palu. Berdasarkan hasil analisis maka dapat dikemukakan beberapa kesimpulan untuk pembuktian hipotesis ketiga, yaitu: potensi airtanah pada setiap satuan hidromorfologi dan hidrogeologi memiliki karakteristik airtanah yang berbeda dan ditentukan oleh karakteristik akuifer pada setiap sistem akuifer. Hasil penelitian bahwa karakteristik akuifer di CAT Palu, sangat ditentukan oleh parameter akuifer dan dapat diketahui dengan integrasi pendekatan geomorfologi dan geologi. Kondisi topografi dan litologi merupakan aspek geomorfologi yang mempunyai pengaruh kontrol morfostruktur dan hidromorfologi terhadap karakteristik sebaran hidrogeologi, yang mempunyai pengaruh terhadap sirkulasi airtanah di CAT Palu. Berdasarkan stratigrafi penyusun akuifer bahwa satuan bentuklahan yang tersebar di Aluvium dengan litologi penyusun akuifer material permeabilitas tinggi, memiliki agihan akuifer lebih tebal dibandingkan di Formasi Pakuli dengan litologi penyusun akuifer material permeabilitas rendah

Meskipun ruang lingkup kajian tersebut berbeda, namun dalam analisis tingkat potensi airtanah secara keseluruhan, antara satuan hidromorfologi dan hidrogeologi, dapat diintegrasikan untuk mendapatkan hasil yang lebih komprehensif. Hasil penelitian ini sependapat dengan yang dikemukakan oleh: 1). Seaber, *et al.,* (1988) bahwa informasi geologi diantaranya: pemetaan dan penampang *(cross section)* geologi, log pemboran dan konstruksi sumur airtanah yang dikombinasi dengan informasi hidrogeologi akan menunjukkan unit hidrostratigrafi dari suatu cekungan airtanah, 2). Rosid dan Muhammad (2008) bahwa dengan pemetaan hidrogeologi, gambaran sistem akuifer akan lebih mudah untuk diketahui, dan 3). Purnama dkk., (2007) bahwa sistem akuifer dan potensi airtanah dapat dikaji dari kondisi geologi dan geomorfologi.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan bentuklahan CAT Palu, maka secara umum terdiri atas satuan hidromorfologi dataran aluvial. Agihan potensi airtanah berdasarkan karakteristik airtanah (bebas, mataair dan tertekan) pada satuan hidromorfologi dataran aluvial berada di seluruh bagian CAT Palu dengan tingkat potensi sedang – tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

Dinas Pekerjaan Umum. 2000. Pembangunan Sumur Produksi dan Sumur Eksplorasi di Kabupaten Donggala Provinsi Sulawesi Tengah. *Final Report.* Dinas Pekerjaan Umum - Bagian P2AT. Provinsi Sulawesi Tengah

Dinas Pekerjaan Umum. 2006. Survey Geolistrik. *Laporan Kegiatan.* Dinas Pekerjaan Umum - Bagian P2AT. Provinsi Sulawesi Tengah

Hadian, M.S.D, Mardiana, U., dan Abdurahman, O. 2006. Sebaran Akuifer dan Pola Aliran Airtanah di Kecamatan Batuceper dan Kecamatan Benda Kota Tangerang, Provinsi Banten. *Jurnal Geologi Indonesia, Vol.1 No.3 September 2006:115-128.* Pusat Geologi Lingkungan. Bandung.

Lubis, R.F. 2006. Bagaimana Menentukan Daerah Resapan Airtanah. *Inovasi online.* Vol 6/XVIII/Maret 2006. ISSN : 0917-8376. Edisi Vol.6/XVIII/Maret

Pusat Lingkungan Geologi. 2007. *Kumpulan Panduan Teknis Pengelolaan Airtanah.* Pusat Lingkungan Geologi. Bandung.

Sutikno. 2005. Peran Geografi Dalam Pengelolaan Sumberdaya Air. *Prosiding Seminar Nasional.* UMS. 23 - 24 September 2005. Surakarta.

Seaber, P.R, Sosenshein, J.S, and Back, W. 1988. Hydrostratigraphic Units, In: Hydrogeology. *Journal The Geology of North America*, V. 0-2, Geol.Soc.Amer.

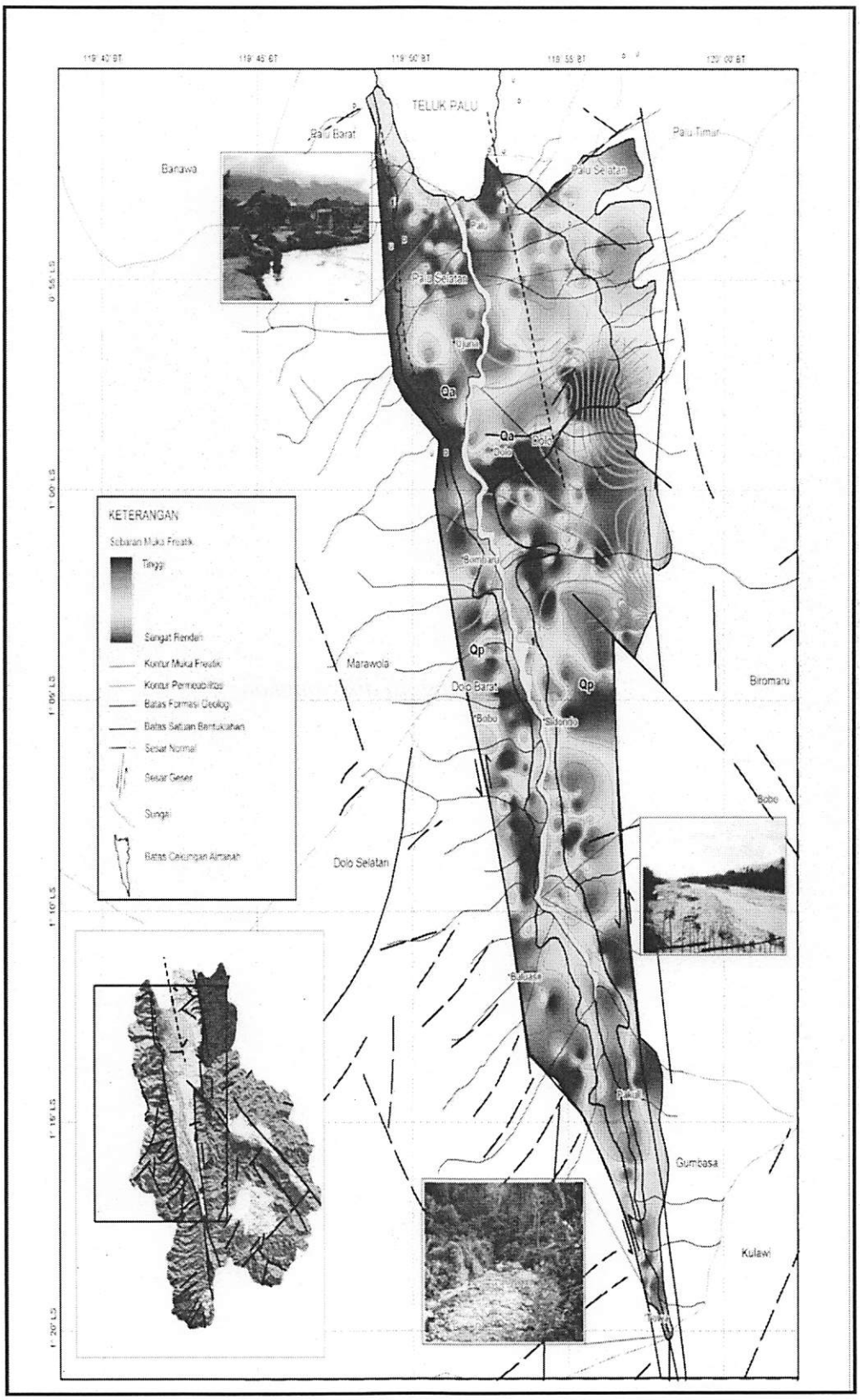
Rosid, S. dan Muhammad, J. Pemetaan Hidrogeologi Dengan Menggunakan Metode Geolistrik. *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi-II, 2008. Universitas Lampung, 17-18 November 2008.* Unila. Lampung.

Purnama, S., Suyono, dan Sulaswono, B. 2007. Sistem Akuifer dan Potensi Airtanah Daerah Aliran Sungai (DAS) Opak. *Forum Geografi, Vol. 21, No.2, Desember 2007: 111-122.* Fakultas Geografi –UMS. Surakarta.

Tabel. Tingkat Potensi Airtanah Berdasarkan Hasil Analisis Karakteristik Airtanah Pada Setiap Satuan Hidromorfologi dan Hidrogeologi di CAT Palu

Tipe	Lokasi	Hasil Analisis Karakteristik Airtanah																Tingkat Potensi Relatif			Hasil Analisis
		TMA	Klas	Fluktuasi	Klas	K	Klas	Kedalaman	Klas	Ketebalan	Klas	Qs	Klas	Kuantitas	Klas	Kualitas	Klas	Potensi	Klas	Satuan	Sistem Aliran Akuifer
	I. Cekungan Airtanah Bagian Timur																				
B	Palu Timur	2.25	D1	0.60	F1	-	K0	-	-	-	-	-	-	0.57	Q3	2.00	M1	Sedang	B	D1.F1.K0.Q3.M1	Sedang
T		3.57	Pz1	-	-	-	-	-	D0	-	T0	-	Qs0	-	Q0	2.00	M1	S - T	D	Pz1.D0.T0.Qs0.Q0.M1	Sedang - Tinggi
MA		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.38	Q3	2.00	M1	Sedang	B	Q3.M1	Sedang
B	Palu Selatan	2.35	D1	0.67	F1	-	K0	-	-	-	-	-	-	0.86	Q3	1.89	M1	Sedang	B	D1.F1.K0.Q3.M1	Sedang
T		15.93	Pz3	-	-	-	-	-	D0	-	T0	-	Qs0	-	Q0	2.00	M1	S - T	D	Pz3.D0.T0.Qs0.Q0.M1	Sedang - Tinggi
MA		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.50	Q3	2.00	M1	Sedang	B	Q3.M1	Sedang
B	Dolo	1.54	D1	0.55	F1	-	K0	-	-	-	-	-	-	0.55	Q3	2.00	M1	Sedang	B	D1.F1.K0.Q3.M1	Sedang
T		-	Pz0	-	-	-	-	-	D0	-	T0	-	Qs0	-	Q0	-	M0	Nihil	D	Pz0.D0.T0.Qs0.Q0.M0	Sedang - Tinggi
MA		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.67	Q3	1.67	M1	Sedang	B	Q3.M1	Sedang
B	Biromaru	2.27	D1	0.85	F1	49.18	K1	-	-	-	-	-	-	1.19	Q2	1.93	M1	Tinggi	A	D1.F1.K1.Q2.M1	Tinggi
T		13.97	Pz3	-	-	-	-	36.00	D2	90.17	T1	4.49	Qs2	41.32	Q1	1.95	M1	Tinggi	A	Pz3.D2.T1.Qs2.Q1.M1	Tinggi
MA		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.87	Q3	1.76	M1	Sedang	B	Q3.M1	Sedang
B	Gumbasa	2.70	D1	0.80	F1	-	K0	-	-	-	-	-	-	1.74	Q2	2.00	M1	S - T	A/B	D1.F1.K0.Q2.M1	Sedang - Tinggi
T		-	Pz0	-	-	-	-	-	D0	-	T0	-	Qs0	-	Q0	-	M0	Nihil	D	Pz0.D0.T0.QS0.Q0.M0	Sedang - Tinggi
MA		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	17.30	Q1	1.90	M1	Tinggi	A	Q1.M1	Tinggi
	II. Cekungan Airtanah Bagian Barat																				
B	Palu Barat	1.38	D1	0.59	F1	-	K0	-	-	-	-	-	-	1.15	Q2	1.92	M1	S - T	A/B	D1.F1.K0.Q2.M1	Sedang - Tinggi
T		12.15	Pz3	-	-	-	-	-	D0	-	T0	-	Qs0	-	Q0	2.00	M1	S - T	D	Pz3.D0.T0.Qs0.Q0.M1	Sedang - Tinggi
MA		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.78	Q3	1.57	M1	Sedang	B	Q3.M1	Sedang
									-												
B	Palu Selatan	1.79	D1	0.83	F1	-	K0	-	-	-	-	-	-	1.38	Q2	2.00	M1	S - T	A/B	D1.F1.K0.Q2.M1	Sedang - Tinggi
T		2.70	Pz1	-	-	-	-	-	D0	-	T0	-	Qs0	-	Q0	2.00	M1	S - T	D	PZ1.D0.T0.Qs0.Q0.M1	Sedang - Tinggi
MA		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.75	Q3	2.00	M1	Sedang	B	Q3.M1	Sedang
B	Marawola	1.90	D1	0.71	F1	57.00	K1	-	-	-	-	-	-	1.34	Q2	2.00	M1	Tinggi	A	D1.F1.K1.Q2.M1	Tinggi
T		4.09	Pz1	-	-	-	-	37.50	D2	76.32	T1	13.10	Qs1	124.90	Q1	2.00	M1	Tinggi	A	Pz1.D2.T1.Qs1.Q1.M1	Tinggi
MA		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12.93	Q1	1.87	M1	Tinggi	A	Q1.M1	Tinggi
B	Dolo Barat	1.65	D1	0.48	F1	-	K0	-	-	-	-	-	-	1.47	Q2	2.00	M1	S - T	A/B	D1.F1.K0.Q2.M1	Sedang - Tinggi
T		-	Pz0	-	-	-	-	-	D0	-	T0	-	Qs0	-	Q0	-	M0	Nihil	D	Pz0.D0.T0.Qs0.Q0.M0	Sedang - Tinggi
MA		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	16.23	Q1	1.93	M1	Sedang	B	Q1.M1	Sedang
B	Dolo Selatan	1.75	D1	0.57	F1	-	K0	-	-	-	-	-	-	1.41	Q2	1.75	M1	S - T	A/B	D1.F1.K0.Q2.M1	Sedang - Tinggi
T		-	Pz0	-	-	-	-	-	D0	-	T0	-	Qs0	-	Q0	-	M0	Nihil	D	Pz0.D0.T0.Qs0.Q0.M0	Sedang - Tinggi
MA		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	29.57	Q1	1.83	M1	Sedang	B	Q1.M1	Sedang
CAT Palu																					
B		1.96	D1	0.66	F1	53.09	K1	-	-	-	-	-	-	1.17	Q2	1.95	M1	S - T	A/B	D1.F1.K1.Q2.M1	Sedang - Tinggi
T		8.73	Pz2	-	-	-	-	36.75	D2	83.24	T1	8.80	Qs1	83.11	Q1	1.99	M1	S - T	A/B	Pz2.D2.T1.Qs1.Q1.M1	Sedang - Tinggi
MA		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9.60	Q2	1.85	M1	S - T	A/B	Q2.M1	Sedang - Tinggi
Airtanah CAT Palu																		S - T	A/B		Sedang - Tinggi

ISBN 978-979-99327-8-5



Gambar. Peta Satuan Hidrogeologi
Pada Satuan Hidromorfologi Dataran Aluvial CAT Palu

" Halaman ini sengaja dikosongkan "

ISBN 978-979-99327-8-5

KAJIAN RUANG TERBUKA HIJAU PERKOTAAN (STUDI KASUS KAWASAN SULTAN ADAM BANJARMASIN)

Nurfansyah[1]

[1]*Dosen Program Studi Teknik Arsitektur, Fakultas Teknik, Universitas Lambung Mangkurat, Jl. A. Yani KM 35,5 Banjarbaru, Telp 0511-4773868, email: nfsarsitek@gmail.com*

ABSTRAK

Sistem sosial dan kultur masyarakat kota di Indonesia, yang oleh beberapa ahli dikatakan belum mencirikan *urban way of life* yang sesungguhnya untuk mengetahui batas-batas ruang publik dan privat, diusulkan paling tidak tiga tipologi. Salah satu kawasan yang menarik perhatian untuk diteliti adalah kawasan Sultan Adam yang merupakan kawasan berkembang dengan zone publik yang sedikit dan masih banyak lahan kosong yang bisa dimanfaatkan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui batasan antara ruang publik dan privat yang sesuai dengan dengan kondisi masyarakat kota Banjarmasin, serta dapat menerapkan konsep dan wujud ruang perkotaan yang sesuai dengan lingkungan alam dan lingkungan binaan yang berguna untuk kepentingan masyarakat Kota Banjarmasin.
Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode observasi untuk melihat dan mengumpulkan data-data primerkemudian dilakukan library research untuk mendapatkan pola rencana kawasan yang cocok diterapkan pada wilayah tersebut.
Berdasarkan data-data tersebut maka didapatkan suatu kerangka pemikiran penyusunan pekerjaan rencana hutan kota di kawasan Sultan Adam dengan memanfaatkan lahan yang belum terbangun sebesar ±117.979 Ha dengan pembangunan hutan kota jenis hutan rawa. Selain hutan kota di wilayah penelitian juga dilengkapi pola rencana kawasan berupa kawasan perumahan, *rest area*, kawasan perdagangan dan kawasan bersejarah.

Kata kunci: Ruang Terbuka, Hutan Kota, Sultan Adam Banjarmasin

1. PENDAHULUAN

Salah satu pertanyaan besar yang perlu terus dikaji berkaitan dengan lingkungan perkotaan di Indonesia adalah menyangkut konsep-konsep mengenai ruang privat dan publik. Hal ini sangat menarik, terutama karena sistem sosial dan kultur masyarakat kota di Indonesia, yang oleh beberapa ahli dikatakan tidak atau belum mencirikan urban way of life yang sesungguhnya. Untuk mengetahui batas-batas ruang publik dan privat, diusulkan paling tidak tiga tipologi (Rapoport, 1977: 288-289).
Kota Banjarmasin sebagai bagian dari perkotaan di Indonesia pastinya secara otomatis juga termasuk ke dalam golongan kota dengan beragam permasalahan. Belakangan ini semakin disadari bahwa konsep-konsep ruang privat dan publik yang diterapkan di kota Banjarmasin ternyata tidaklah mencirikan sistem sosial dan kultur masyarakat Banjarmasin, bahkan kultur dan sistem sosial masyarakatnya tersebut cenderung diabaikan.
Pembangunan kota sering lebih banyak dicerminkan oleh adanya perkembangan fisik kota yang lebih banyak ditentukan oleh sarana dan prasarana yang ada. Gejala pembangunan kota pada masa lalu mempunyai kecenderungan untuk meminimalkan ruang terbuka hijau dan juga menghilangkan wajah alam. Lahan-lahan bertumbuhan banyak dialih fungsikan menjadi pertokoan, pemukiman, tempat rekreasi, industri dan lain-lain.

Dengan terwujudnya ruang terbuka hijau di wilayah perkotaan, terbuka peluang terciptanya kawasan hijau yang bersifat alami dengan mendudukkan tata lingkungan kota yang serasi, nyaman, indah dan mendukung kehidupan masyarakat kota.
Salah satu kawasan yang menarik perhatian pada kasus ini adalah kawasan Sultan Adam Mandiri kelurahan Surgi Mufti yang merupakan kawasan berkembang dengan zone publik yang sedikit dan masih banyaknya lahan kosong untuk dimanfaatkan. Hal-hal tersebut tentu saja sangat menunjang bagi kemudahan perencanaan dan penataan kota. Selain itu, kuantitas penduduk di kawasan tersebut relatif rendah sehingga memberi kemudahan dalam merencanakan penataan Ruang Terbuka Hijau yang sesuai dengan Rencana Tata Ruang Kota.
Permasalahan yang diangkat dalam penelitian ini:

a. Bagaimana merencanakan Ruang Terbuka Hijau di kawasan Sultan Adam Mandiri Kelurahan Surgi Mufti?
b. Apa saja yang perlu diperhatikan dalam perencanaan Ruang Terbuka Hijau di kawasan Sultan Adam Mandiri kelurahan Surgi Mufti?

Sedangkan tujuan penelitian ini adalah:

a. Mengetahui batasan antara ruang publik dan privat yang sesuai dengan dengan kondisi masyarakat kota Banjarmasin.
b. Dapat menerapkan konsep dan wujud ruang perkotaan yang sesuai dengan lingkungan alam dan lingkungan binaan yang berguna untuk kepentingan masyarakat Kota Banjarmasin.

Manfaat penelitian sebagai berikut:

a. Mengetahui hal-hal yang perlu diperhatikan dalam perencanaan Ruang Terbuka Hijau di kawasan Sultan Adam Mandiri Kelurahan Surgi Mufti.
b. Dapat merencanakan Ruang Terbuka Hijau di kawasan Sultan Adam Mandiri Kelurahan Surgi Mufti.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Ruang Terbuka Hijau

Ruang Terbuka adalah segala jenis lahan atau tanah yang tidak ada bangunan di atasnya, sedangkan Ruang Terbuka Hijau adalah lahan tidak terbangun yang tertutup oleh tumbuh-tumbuhan misalnya dapat berupa hutan kota, taman kota atau bahkan jalur hijau. Menurut Prof Johan Silas, bahwa, Ruang terbuka yang dimiliki sebuah wilayah perkotaan, idealnya sebesar sepertiga dari total luas wilayahnya. Ruang terbuka itu termasuk danau, sungai, tempat bermain, tempat olahraga dan lain sebagainya.
Menurut Instruksi Menteri Dalam Negeri (No. 14 Tahun 1988) bahwa, Ruang terbuka hijau dinyatakan sebagai ruang-ruang dalam kota atau wilayah yang lebih luas, baik dalam bentuk maupun dalam bentuk memanjang atau jalur dimana dalam penggunaannya lebih bersifat terbuka yang pada dasarnya tanpa bangunan.

Hutan Kota

Hutan Kota termasuk dalam kategori ruang terbuka hijau yang idealnya menurut standar, lahan di wilayah perkotaan yang dialokasikan untuk ruang terbuka hijau adalah 40% dari total luas kota sedangkan bagian dari ruang terbuka hijau tersebut yang berupa taman dan jalur hijau menurut standar Model Ekosistem Kota adalah 15%.
Hutan kota juga didefinisikan sebagai suatu lahan yang bertumbuhan pohon-pohonan di dalam wilayah perkotaan di dalam tanah negara maupun tanah milik yang berfungsi

sebagai penyangga lingkungan dalam hal pengaturan tata air,udara, habitat flora dan fauna yang memiliki nilai estetika dan dengan luas yang solid yang merupakan ruang terbuka hijau pohon-pohonan, serta areal tersebut ditetapkan oleh pejabat berwenang sebagai hutan kota.

a. Pengertian Hutan Kota

   Menurut Peraturan Pemerintah Republik Indonesia (No. 63 Tahun 2002) bahwa, Hutan Kota adalah suatu hamparan lahan yang bertumbuhan pohon-pohon yang kompak (hamparan yang menyatu) dan rapat di dalam wilayah perkotaan baik pada tanah negara maupun tanah hak, yang ditetapkan sebagai hutan kota oleh pejabat yang berwenang.

   Difinisi hutan kota (*urban forest*) menurut Fakuara (1987) adalah tumbuhan atau vegetasi berkayu di wilayah perkotaan yang memberikan manfaat lingkungan yang sebesar-besarnya dalam kegunaan-kegunaan proteksi, estetika, rekreasi dan kegunaan-kegunaan khusus lainnya.

b. Tujuan Keberadaan Hutan Kota

   Menurut Peraturan Pemerintah Republik Indonesia (No. 63 Tahun 2002) bahwa, Tujuan dari penyelenggaraan *hutan kota* tersebut dimaksudkan untuk:

   1. Menekan/mengurangi peningkatan suhu udara diperkotaan;
   2. Menekan/mengurangi pencemaran udara (kadar karbonmonoksida, ozon, karbondioksida, oksida nitrogen, belerang dan debu);
   3. Mencegah terjadinya penurunan air tanah dan permukaan tanah;
   4. Mencegah terjadinya banjir atau genangan, kekeringan, intrusi air laut, meningkatnya kandungan logam berat dalam air.

Bentuk Hutan Kota

Terdapat tiga bentuk hutan kota secara umum yaitu, jalur,mengelompok dan menyebar. Hutan kota dengan bentuk:

a. Jalur

   Jalur adalah hutan kota yang dibangun memanjang antara lain berupa jalur peneduh jalan raya, jalur hijau di bawah kawat listrik tegangan tinggi, jalur hijau di tepi jalan kereta api, jalur hijau di tepi sungai di dalam kota atau di luar kota dan dapat dibangun serta dikembangkan sebagai hutan kota guna diperoleh manfaat kualitas lingkungan perkotan yang baik dengan memperhatikan zona pengaman fasilitas/instalasi yang sudah ada, antara lain ruang bebas SUTT dan SUTET.

   b. Mengelompok

   Mengelompok adalah hutan kota yang dibangun dalam satu kesatuan lahan yang kompak.

c. Menyebar

   Menyebar adalah hutan kota yang dibangun dalam kelompok-kelompok yang dapat berbentuk jalur dan atau kelompok yang terpisah dan merupakan satu kesatuan pengelolaan.

3. METODE PENELITIAN

Metoda penelitian yang digunakan untuk mengumpulkan data dalam rangka mencapai tujuan dan sasaran seperti yang telah diuraikan di atas adalah sebagai berikut:

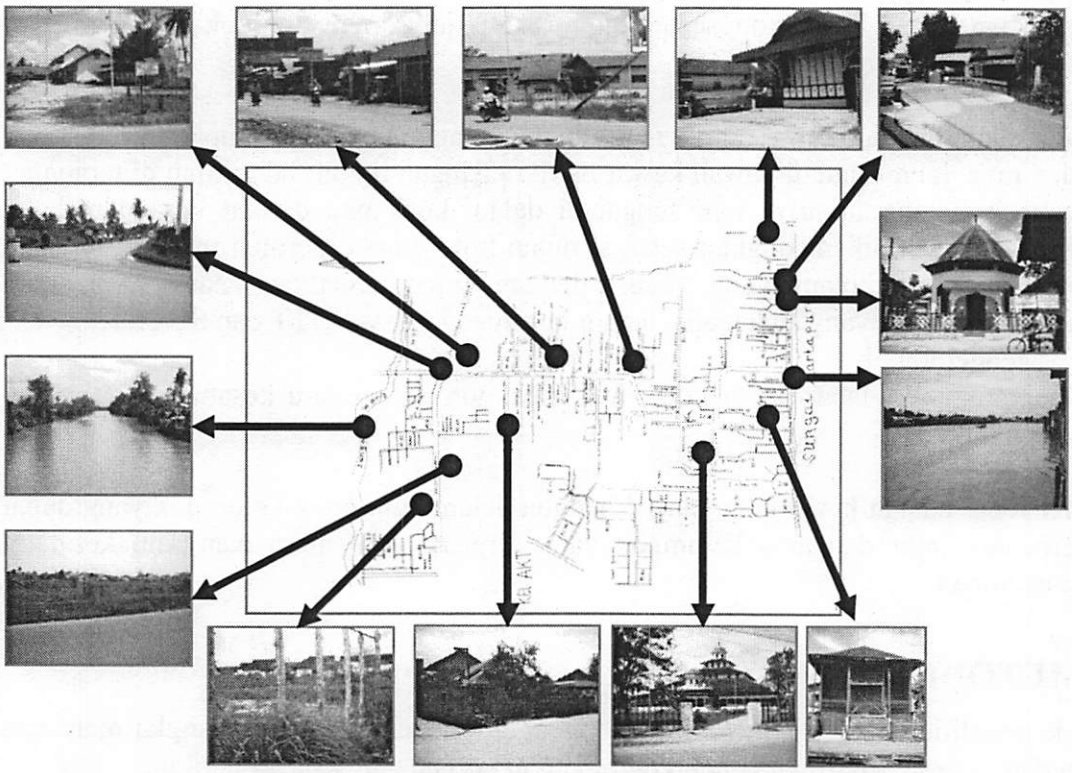
a. Observasi
Merupakan metode yang dipergunakan untuk mendapatkan informasi dan data-data yang diperlukan dengan jalan terjun langsung ke lapangan (survey lapangan), melihat objek secara langsung dan mewawancarai orang-orang yang berkaitan dengan objek. Dalam hal ini, objek yang diteliti adalah pola tata ruang dan potensi-potensi yang dimiliki oleh kawasan di sepanjang Jalan Sultan Adam Mandiri Kelurahan Surgi Mufti.

b. Library Research
Untuk memperoleh pengetahuan yang cukup, informasi dan data-data yang diperlukan mengenai hal-hal yang berkaitan dengan penelitian ini, maka diadakan studi kepustakaan atau studi literatur. Adapun literatur yang digunakan tentunya berkaitan dengan Rencana Tata Ruang Kota yang berlaku di daerah Banjarmasin dan literatur yang berisi tentang sistem sosial dan kultur masyarakat Banjarmasin, sehingga upaya untuk merencanakan Ruang Terbuka Hijau di kawasan Sultan Adam Mandiri kelurahan Surgi Mufti dapat direncanakan.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pola Penggunaan Lahan

Penggunaan lahan di kawasan perencanaan terdiri dari dua bagian yaitu kawasan terbangun dan kawasan belum terbangun. Lahan terbangun yang ada di kawasan perencanaan terdiri dari penggunaan untuk perumahan, pendidikan, perdagangan dan jasa, peribadatan. Sedangkan lahan yang belum terbangun berupa sawah, ladang, kebun dan tanah kosong seluas 71.500 Ha



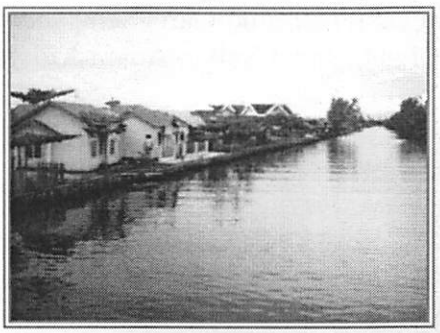
Gambar 1. Gambaran Umum Wilayah

Untuk kelurahan Surgi Mufti Hak Pakai Lahan 5,75 Ha, Hak Belum Terdaftar Lahan 115,50 Ha, Hak Milik Lahan 81,60 Ha dan Hak Guna Bangunan 2,15 Ha. Untuk pola penggunaan lahan kawasan Surgi Mufti, perumahan 55,011 Ha, pendidikan 20,244 Ha, kesehatan 0,158 Ha, peribadatan 0,710 Ha, pemerintahan atau perkantoran 0,012 Ha, perdagangan dan jasa 2,975 Ha dan lahan yang tidak terbangun 117,979 Ha.

a. Perumahan

Secara umum kondisi perumahan yang ada di kawasan perencanaan cukup baik dan dilihat dari kondisinya cukup bervariasi, dari perumahan semi permanen hingga perumahan permanen. Dari segi konstruksi juga bervariasi yaitu sebagian menggunakan bahan kayu dan sebagian bahan beton.

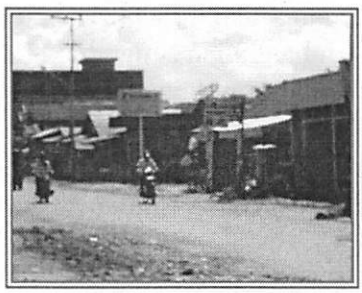
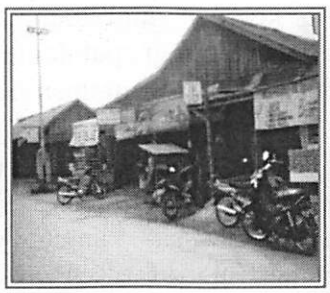
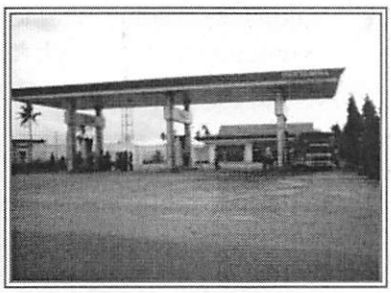
Berdasarkan dari cara tumbuh permukiman, sebagian permukiman yang ada di kawasan perencanaan merupakan kawasan perumahan yang dibangun sendiri oleh pemiliknya dan sebagian lagi dibangun oleh pengembang dengan tipe rumah mewah, rumah sederhana dan rumah sangat sedarhana.



Gambar 2. Perumahan

b. Perdagangan dan Jasa

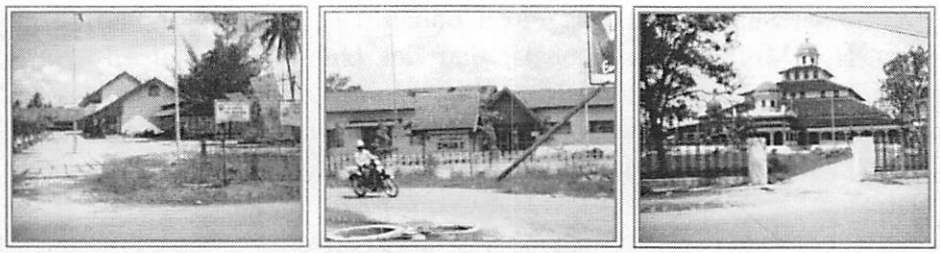
Kegiatan perdagangan dan jasa di kawasan Sultan Adam Kelurahan Surgi Mufti memiliki kecenderungan perkembangan secara linier mengikuti jaringan jalan utama kawasan.

Gambar 3. Perdagangan dan Jasa

c. Fasilitas Umum dan Sosial

Penggunaan lahan untuk fasilitas umum dan sosial yang ada pada saat ini meliputi Fasilitas pendidikan, peribadatan, kesehatan dan bangunan umum yang menyebar cukup merata di seluruh kawasan sekitar permukiman penduduk.



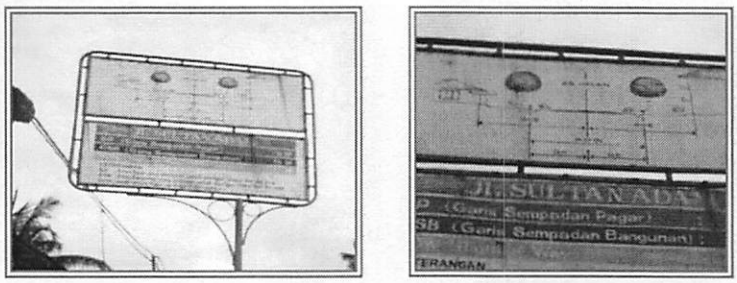
Gambar 4. Fasilitas Umum dan Sosial

Kondisi Tata Bangunan dan Lingkungan

Pengamatan keadaan bangunan di kawasan perencanaan meliputi tinjauan terhadap Garis Sempadan Bangunan (GSB), Kepadatan Bangunan, Kondisi Bangunan serta Kondisi Lingkungan yang ada.

a. Garis Sempadan Bangunan (GSB)

Salah satu kawasan di Kota Banjarmasin yang memiliki Garis Sempadan Bangunan (GSB) yang baik meliputi kawasan sepanjang Jalan Sultan Adam Kelurahan Surgi Mufti (GSB = 15m).



Gambar 5. Garis Sempadan Bangunan

b. Kepadatan Bangunan

Hasil pengamatan terhadap kepadatan bangunan di kawasan perencanaan dapat diklasifikasikan menjadi 3 kondisi yaitu tinggi, sedang dan rendah. Kepadatan bangunan yang masuk klasifikasi tinggi apabila jumlah bangunan setiap hektar ≥ 40 bangunan, kepadatan sedang 20 – 40 bangunan perhektar, dan kepadatan rendah $\leq$ 20 bangunan perhektar.

Kawasan yang memiliki tingkat kepadatan bangunan yang sedang hingga rendah biasanya meliputi perumahan baru yang dibangun secara sendiri (perorangan) atau pengembang pada lokasi lahan siap bangun yang relatif sudah ditata. Dan berdasarkan pengamatan ternyata kawasan di sepanjang Jalan Sultan Adam Kelurahan Surgi Mufti memiliki tingkat kepadatan bangunan yang sedang.

c. Kondisi Lingkungan

Kondisi lingkungan merupakan keadaan lingkungan yang dapat ditinjau dari kebersihan, keindahan, dan kenyamanan untuk bertempat tinggal. Dari hasil survey lapangan menunjukkan bahwa kawasan permukiman baru yang ada di kawasan perencanaan sebagian besar mempunyai kondisi lingkungan yang baik. Hal ini dapat dilihat dari sistem drainase dan sistem MCK yang memadai. Sedangkan untuk kondisi lingkungan yang sebagian kecil masih kurang baik, tentunya perlu diperbaiki dan ditata kembali dengan program-program yang langsung menyentuh permasalahan lingkungan perumahan di masa mendatang.

d. Kependudukan

Jumlah penduduk kawasan perencanaan Banjarmasin Utara pada tahun 2000 adalah sebesar 80.671 jiwa dengan tingkat pertumbuhan penduduk periode 4 tahun terakhir yaitu 1997 – 2000 sebesar 9,12% pertahun. Tingginya tingkat pertumbuhan penduduk di kawasan ini antara lain disebabkan oleh tingginya pertumbuhan perumahan oleh pengembang dan semakin berkembangnya fasilitas perdagangan dan jasa di kawasan ini. Kondisi ini tentunya merangsang perpindahan penduduk menuju kawasan ini.

e. Transportasi

1. Pola Jaringan Jalan

   Pola jaringan jalan yang ada di kawasan perencanaan merupakan penerapan pola grid. Secara keseluruhan, pola jaringan jalan yang ada di kawasan perencanaan masih belum sistematis dan efisien karena pola jalan grid yang ada tersebar secara parsial pada beberapa kawasan permukiman dan antara pola-pola tersebut tidak saling berhubungan.

   Untuk mensistematiskan dan mengefisiensikan pola pergerakan pada seluruh kawasan, perlu dikembangkan jalan penghubung antar kawasan/lingkungan dengan pola gris yang ideal.

2. Fungsi Jaringan Jalan

   Ditinjau dari fungsinya, jaringan jalan yang ada di kawasan Banjarmasin Utara terdiri dari Jalan Arteri Sekunder, Jalan Kolektor Sekunder, Jalan Lokal Sekunder dan Jalan Lingkungan.

   Dari hasil pengamatan dengan berdasarkan pada pengelompokan jalan menurut fungsinya itu, maka dapat dinyatakan bahwa Jalan Sultan Adam Kelurahan Surgi Mufti termasuk ke dalam jenis Jalan Kolektor Sekunder yang merupakan jalan milik Pemerintah Kota Banjarmasin dan pengelolaannya diserahkan pada Dinas Kimprasko Banjarmasin (Sub-Dinas Marga).

3. Perkerasan Jalan

   Ditinjau dari perkerasannya, sebagian besar jalan yang ada di kawasan perencanaan merupakan jalan dengan perkerasan aspal dan batu (makadam) serta sebagian kecil merupakan jalan beton. Jalan-jalan yang status pengelolaannya milik Pemerintah Kota Banjarmasin (Jalan Arteri Sekunder, Jalan Kolektor Sekunder dan Jalan Lokal) sebagian besar merupakan jalan dengan perkerasan aspal dan hanya sebagian kecil berupa jalan batu (makadam).

   Sedangkan jalan-jalan yang ada di sekitar kawasan permukiman/perumahan dan status pengelolaanya bukan milik Pemerintah Kota Banjarmasin (Jalan Lingkungan sebelum diserahkan pihak pengembang kepada Pemerintah Kota) sebagian besar masih merupakan jalan batu dan hanya sebagian kecil dengan perkerasan aspal. Jalan dengan perkerasan beton rabat atau paving blok sebagian kecil berada di kawasan permukiman/perumahan.

4. Lebar Jalan

   Secara umum lebar jalan yang ada di kawasan Banjarmasin Utara cukup bervariasi mulai 3 - 5 meter, 6 -12 meter hingga 25 meter. Sedangkan Jalan Sultan Adam Kelurahan Surgi Mufti memiliki lebar sebesar 10 m dengan lebar perkerasan sebesar 6 m.

   Jalan-jalan lingkungan yang ada pada kawasan permukiman/ perumahan di sekitar Jl. Sultan Adam kelurahan Surgi Mufti pada umumnya memiliki lebar 3 -

8 m. jalan utama lingkungan memiliki lebar jalan antara 6 - 8 m dengan lebar perkerasan sebesar 4 - 5 m.

5. Fasilitas Pelengkap Jalan
   Fasilitas pelengkap jalan terdiri atas fasilitas yang langsung melayani fungsi/operasional jalan tersebut Seperti lampu penerangan jalan, halte angkutan, *traffic light* maupun trotoar, juga ada yang hanya berfungsi sebagai pelengkap/estetika jalan saja seperti taman jalan.
   Keberadaan fasilitas pelengkap jalan di kawasan perencanaan sangat terbatas, yaitu hanya terdiri dari trotoar, taman jalan (median jalan) dan lampu penerangan jalan (yang masih belum memadai), sedangkan *traffic light* belum ada.

Utilitas

a. Persampahan
   Penanganan persampahan di kawasan penelitian merupakan bagian dari sistem penanganan persampahan kota Banjarmasin yang dikelola oleh Dinas Kebersihan Kota Banjarmasin.
   Sistem pengolahan sampah untuk daerah permukiman dimulai dari pewadahan dengan kantong plastik kemudian dengan gerobak dikumpulkan di TPS (pasangan batu atau container), selanjutnya diangkut menuju TPA dengan menggunakan truk sampah. Sedangkan untuk daerah pasar, pewadahan dilakukan dengan menggunakan keranjang/bak sampah kayu yang kemudian diangkut ke TPS pasar dengan gerobak selanjutnya diangkut ke TPA dengan truk sampah. Lokasi TPA sampah kota Banjarmasin terletak di Jalan Lingkar Selatan Kelurahan Kelayan Selatan dengan luas kawasan sebesar 5 Ha.
b. Drainase
   Jika ditinjau dari konstruksinya, maka terdapat 2 jenis saluran drainase yang ada di wilayah penelitian yaitu saluran drainase teknis yang telah tertata alirannya dan terbuat secara permanen dari pasangan batu/plengsengan dan saluran drainase non teknis (non permanen) yang masih berupa parit (alami).
   Saluran drainase tersebut umumnya merupakan drainase terbuka yang hanya sebagian kecil berupa saluran permanen (konstruksi beton), sedangkan sebagian besar merupakan drainase non-permanen (parit). Dilihat dari fungsinya, saluran-saluran drainase tersebut merupakan saluran sekunder yang berfungsi sebagai saluran penghubung drainase tersier menuju drainase primer (utama). Sungai-sungai yang ada disekitar kawasan perencanaan berfungsi sebagai saluran primer.

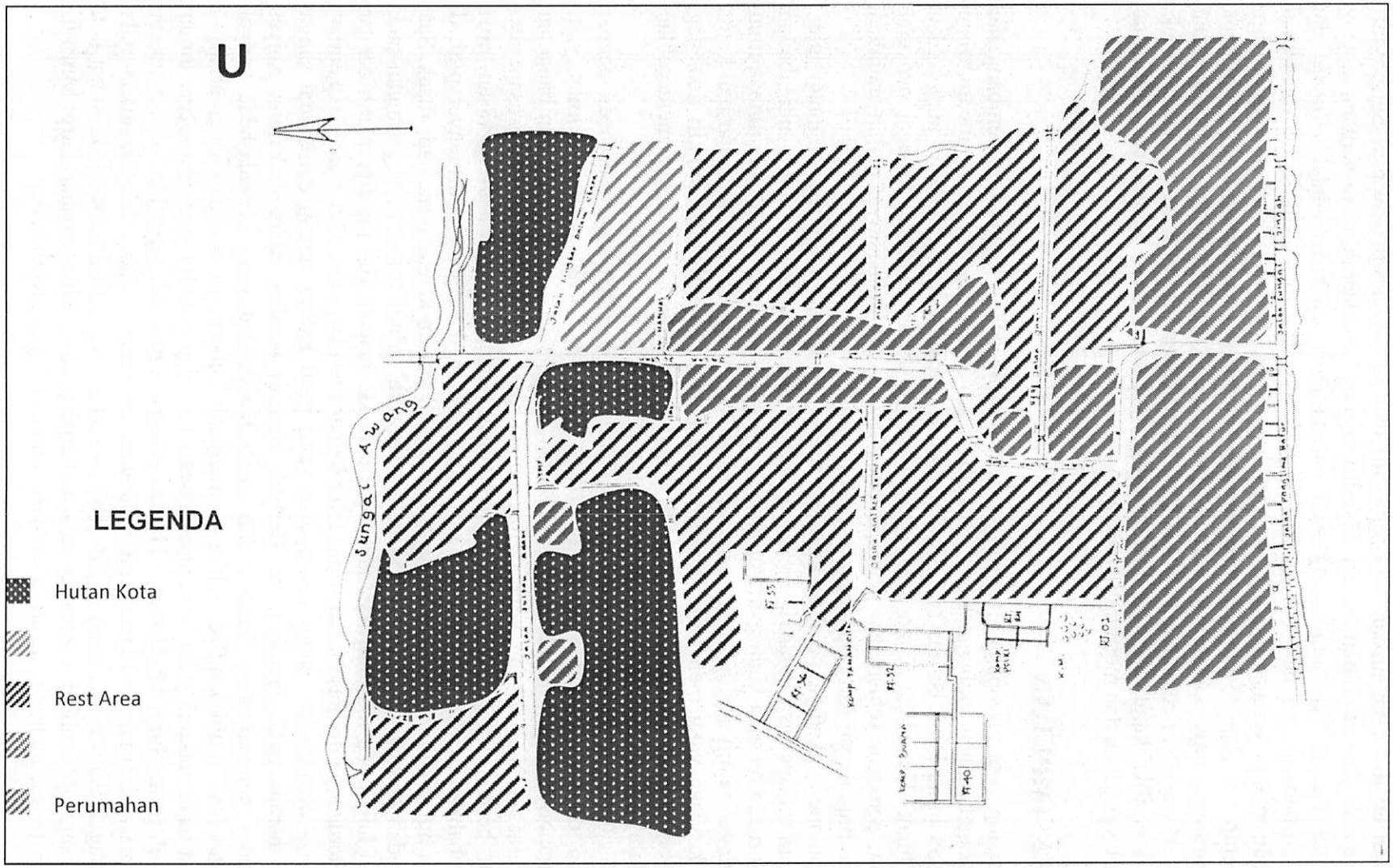
Vegetasi dan Ruang Terbuka

Dilihat dari kondisi topografi dan jenis tanah secara umum Banjarmasin Utara dimana di dalamnya termasuk Kelurahan Surgi Mufti memiliki ciri tanah dengan tingkat kesuburan yang baik, akan tetapi pada beberapa kawasan kebanyakan dilapisi oleh gambut, daerah ini juga dilewati oleh Sungai Barito, Sungai Martapura dan Sungai Kuin serta Sungai Alalak, kawasan yang belum terbangun ±117.979 Ha. Kawasan ini dapat dimanfaatkan sebagian menjadi daerah hijau. Untuk mendapatkan daerah hijau yang baik kita bisa menganalisa dengan meninjau data-data topografi dan jenis tanah yang bisa memiliki tingkat kesuburan yang tinggi dan memiliki daerah subur yang luas untuk kawasan hijau yang maksimal. Pemilihan tempat ini dapat dilakukan dengan beberapa

kemungkinan yang terjadi. Dengan melihat kondisi yang sekarang ini kita bisa menyesuaikan bagaimana pola penyebaran daerah hijau tersebut.
Menurut analisa ditinjau dari segi topografi dan jenis tanah di kawasan Surgi Mufti terutama di daerah Sultan Adam Mandiri merupakan daerah rawa tergenang yang memiliki tingkat kesuburan yang baik karena jenis tanahnya adalah *Alluvial* dan sebagian berupa jenis tanah *Organosol Glei Humus*. Tanaman yang sesuai ditanam di kawasan ruang terbuka hijau khususnya hutan kota adalah tanaman yang mampu menyerap air dengan daya evaporasi yang rendah, juga pepohonan yang dapat mengurangi bahaya aberasi sungai dengan akar yang kuat, salah satu contohnya adalah pohon *Mangrove*. Sedangkan vegetasi yang kami rencanakan di kawasan ruang terbuka hijau memiliki karakteristik tanaman dengan struktur daun yang rapat, kecepatan tumbuh yang baik dan merupakan habitat tanaman lokal.

5. KESIMPULAN

Tata ruang kota merupakan hal yang sangat penting dalam melakukan pembangunan dan pengelolaan lingkungan hidup. Perkembangan kota yang cenderung mengabaikan kawasan hijau kota, berupa ruang terbuka hijau, hutan kota, taman kota atau bahkan jalur hijau. Ketiadaan hutan kota yang mestinya dapat berfungsi sebagai penyerap karbon, peredam kebisingan, pengatur tata air dan lain sebagainya, makin membuat kondisi lingkungan Kota Banjarmasin makin parah.
Dengan meningkatnya pembangunan berbagai kegiatan seperti pembangunan jalan, kegiatan transportasi, industri, pemukiman dan kegiatan lainnya sering mengakibatkan luasan ruang terbuka hijau menurun dan sering juga disertai dengan menurunnya mutu lingkungan hidup. Hal ini akan mengakibatkan kota menjadi sakit, tercemar dan kotor. Pada keadaan yang menyedihkan seperti ini, pejabat pemerintah mungkin tidak lagi dapat berpikir tenang,tajam dan terarah, sehingga kemampuannya dalam memecahkan masalah yang kompleks dan yang bersifat futuristik akan menurun.
Melihat kondisi Kelurahan Surgi Mufti sekarang ini sudah sangat berbeda dengan kondisi dahulu. Terlihat dari kondisi fisik khususnya keadaan permukiman yaitu berkurangnya rumah-rumah tradisional Banjar, dimana sebenarnya pendirian bangunan yang tidak sesuai dengan kondisi lingkungan yang *notebene* adalah kawasan rawa sangat berpengaruh terhadap tata air. Akibat adanya pengurukan kawasan rawa menyebabkan kemampuan sebagai kawasan penyangga yang mampu menyerap air di musim hujan dan mendistribusikannya kembali di musim kemarau menjadi rusak. Saat ini, sudah dirasakan oleh masyarakat kota dimana terjadi banjir atau genangan pada musim hujan dan masuknya air laut lebih jauh ke daratan. Hal ini diperparah dengan tidak tertatanya drainase sebagai pengatur keluar masuknya air. Jika dianalisis kembali kita bisa memberikan suatu kesimpulan yang pasti bahwa rumah tradisional sangat cocok berada pada daerah rawa. Berbeda dengan kondisi sekarang karena banyak terjadinya pencampuran budaya dan sosial masyarakat yang berbeda-beda banyak menimbulkan multi konflik, sehingga menjarah keberbagai masalah yang akhirnya sampai pada masalah yang berpengaruh besar terhadap kota Banjarmasin secara umum dan Kelurahan Surgi Mufti secara khusus. Akhirnya masalah seperti ini akan menjalar kepermasalahan lain dan kuantinuitasnya akan terus mekar. Jika tidak dihentikan maka hal yang dikhawatirkan akan terjadi. Dalam kondisi seperti ini keberadaan hutan kota akan sangat dibutuhkan karena selain akan berpengaruh positif terhadap Surgi Mufti itu sendiri, juga akan mempengaruhi wilayah lain ke arah yang lebih baik.



Gambar 6. Pola Rencana Kawasan

ISBN 978-979-99327-8-5

Dari semua data dan analisis yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

a. Hutan kota yang dibangun di Jalan Sultan Adan Kelurahan Surgi Mufti adalah jenis hutan rawa.
b. Jenis tanaman atau pohon yang digunakan adalah mangrove.

6. DAFTAR PUSTAKA

1. _____ (1988) Instruksi Menteri Dalam Negeri No. 14 tentang *Penataan Ruang Terbuka Hijau di Wilayah Perkotaan.*
2. _____ (1997) *Asal Mula Arsitektur, Pengantar Arsitektur.* James C. Snyder and Antony J. Catanese (Eds.) Terj. Ir. Hendro Sangkayo. Gelora Aksara Pratama. Jakarta.
3. _____ (2002) Peraturan Pemerintah Republik Indonesia tentang *Hutan Kota.*
4. _____ (2003) *Rencana Detai Tata Ruang Kota (RDTRK) Banjarmasin Tengah.* Pemerintah Kota Banjarmasin.
5. Ching, D.K, Francis. (1993) *Arsitektur: Bentuk, Ruang dan Susunannya.* Erlangga. Jakarta.
6. Daryanto, Bambang. *Buku Ajar Urban Desain (HAKB 609).* Fakultas Teknik UNLAM, Banjarmasin.
7. Yin, Robert K. (1996) *Studi Kasus : Desain dan Metode.* Raja Grafindo Persada. Jakarta.
8. Spreiregen, Paul D, (1965) *Urban Design, The Architecture Of Town And City,* Mc. Graw Hill Book Comp.
9. Shirvani, Hamid (1986) *TheUrban Design Process,* Van Nostrand Reinhold Co, New York, 1986.

" Halaman ini sengaja dikosongkan "

ISBN 978-979-99327-8-5

STUDI KARAKTERISTIK EMISI KENDARAAN SEPEDA MOTOR DI KOTA MAKASSAR

Muhammad Arafah[1], M. Isran Ramli[2], S. Hamid Aly[3], Mary Selintung[4]

[1]*Mahasiswa S-3, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, Kampus UNHAS Tamalanrea, Makassar, Telp 0411-587636, email: arafahpalu69@gmail.com*
[2]*Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, Kampus UNHAS Tamalanrea, Makassar, Telp 0411-587636, email: muhisran@yahoo.com*
[3]*Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, Kampus UNHAS Tamalanrea, Makassar, Telp 0411-587636, email: marni_hamidaly@yahoo.com*
[4]*Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, Kampus UNHAS Tamalanrea, Makassar, Telp 0411-587636, email: mary.selintung@yahoo.com*

ABSTRAK

Peningkatan populasi sepeda motor yang semakin cepat dewasa ini telah menimbulkan berbagai permasalahan lalu lintas perkotaan dan lingkungan di kota-kota besar di Indonesia, termasuk di Kota Makassar. Salah satu permasalahan di bidang lingkungan adalah semakin meningkatnya emisis kendaraan di jalan-jalan seiring dengan meningkatnya jumlah sepeda motor. Dalam konteks mencari solusi permasalahan tersebut, maka studi ini bertujuan untuk mengevaluasi hasil kegiatan inpeksi dan monitoring (I/M) emisi kendaraan sepeda motor pada jalan arteri di Kota Makassar. Kegiatan I/M tersebut berupa pengukuran emisi sepeda motor secara berkala, dimana dilakukan pengukuran dua jenis polutan emisi sepeda motor, yaitu polutan CO dan HC. Pengukuran emisi tersebut dilakukan dengan menggunakan alat pengukur emisi *portable* yang mengukur emisi sepeda motor dalam kondisi diam (*idle*). Informasi lain yang terkait karakteristik sepeda motor berupa, umur, kapasitas mesin, jenis mesin, dan lain-lain, dilakukan juga pada kegiatan tersebut. Data panel hasil pengujian selama 3 tahun berturut-turut dari kegiatan I/M ini dievaluasi pada studi ini. Berdasarkan hasil evaluasi terlihat bahwa dominan sepeda motor di Kota Makassar didominasi oleh sepeda dengan mesin 4 tak, dimana usia rerata sepeda motor adalah 3 – 4 tahun. Lebih jauh, hasil-hasil analisis memperlihatkan bahwa sebagian besar kendaraan sepeda motor di Kota Makassar yang disampling pada studi ini masih memiliki nilai emisi CO dan HC di atas nilai ambang batas yang dipersyaratkan oleh Standar Baku Mutu Lingkungan di Indonesia. Pemodelan hubungan nilai level emisi terhadap umur sepeda motor memperlihatkan bahwa model polinomial orde-3 memberikan pola hubungan yang signifikan. Hasil studi memberikan ekspektasi yang baik untuk dilanjutkan dalam rangka mengembangkan model kegagalan uji emisi sepeda motor di Kota Makassar pada studi-studi lanjutan.

Kata kunci: emisi, sepeda motor, karbon monoksida (CO), hidrokarbon (HC).

1. PENDAHULUAN

Peningkatan populasi sepeda motor yang semakin cepat dewasa ini telah menimbulkan berbagai permasalahan lalu lintas perkotaan dan lingkungan di kota-kota besar di Indonesia, termasuk di Kota Makassar. Salah satu permasalahan di bidang lingkungan adalah semakin meningkatnya emisis kendaraan di jalan-jalan seiring dengan meningkatnya jumlah sepeda motor. Jumlah populasi sepeda motor yang beroperasi di Kota Makassar berdasarkan data dari Ditlantas Polda Sulawesi Selatan tahun 2011 adalah sebesar 791.198 8 (82,32%), meningkat secara signifikan dari jumlah 360.122 unit (75,80%) pada tahun 2008 (Sulsel dalam Angka, 2012).

Berkaitan dengan besaran emisi, secara menyeluruh kendaraan bermotor mengeluarkan emisi berupa fosil Karbon Monoksida (CO) dari bahan bakar sebesar 14%, Karbon Monoksida (CO) dan Hidro Karbo (HC) sebesar 50% hingga 60%, dan Nitrat Oksida (NO) sebesar 30% (Hwang et al., 2007). Upaya dan proses dalam mengurangi besaran

emisi tersebut merupakan salah satu topik diskusi dalam pemecahan masalah-masalah pemanasan global dan perubahan iklim. Salah satu upaya yang telah dan sedang dilakukan untuk mengontrol dan mengurangi besara emisi dari sektor trasnportasi adalah dilakukannya upaya-upaya pengendalian dan monitoring lalu lintas di jalan.
Salah satu kegiatan yang dilakukan oleh pemerintah diberbagai kota di negara berkembang termasuk di Indonesia adalah adanya program Inspeksi dan Monitoring (I/M) untuk mengendalikan polusi udar dari sumber kendaraan bermotor (Simamora, 2006). Meskipun masih terdapat diskusi tentang keefektifan program ini dalam mengurangi emisi kendaraan (Bin, 2003; dan Beydoun dkk., 2006). Program I/M ini telah dan sedang dilakukan di berbagai kota-kota besar di Pulau Jawa di Indonesia seperti Jakarta, Bogor, Depok, Tangerang, and Bekasi (Sudarmanto dkk., 2007), Bandung, and Surabaya (Sudarmanto dkk., 2010). Untuk kegiatan I/M di luar Pulau Jawa, juga telah dan secara berkala atau periodik dilakukan oleh Pemerintah Kota Makassar melalui Badan Pengelolaan Lingkungan Hidup Daerah (Aly dkk., 2011).
Dalam konteks mencari solusi permasalahan tersebut, dan berkontribusi terhadap upaya pengendalian emisi melalui kegiatan I/M di Kota Makassar, maka penelitian bertujuan untuk mengevaluasi karakteristik emisi kendaraan sepeda motor di Kota Makassar sesuai dengan hasil uji pengukuran emisi kendaraan sepeda motor di jalan yang dilakukan pada kegiatan I/M tersebut.

2. STANDAR DAN METODE UJI EMISI SEPEDA MOTOR

Standar Baku Mutu Emisi Sepeda Motor

Standar baku emisi kemdaraan khususnya kendaraan sepeda motor yang digunakan pada studi ini adalah nilai-nilai baku mutu dikeluarkan oleh Kementrian Lingkungan Hidup Pemerintah republik Indonesia berupa Peraturan Menteri No. 05 Tahun 2006 pertanggal 1 Agustus 2006. Nilai-nilai baku mutu emisi disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1: Standar baku mutu emisi sepeda motor (Kendaraan Bermotor Kategori L)

Kategori SM	Tahun Pembuatan	CO (%)	HC (ppm)	Metode Uji
2 Langkah	< 2010	4,5	12.000	Idle
4 Langkah	< 2010	4,5	2.400	Idle
2 & 4 Langkah	> 2010	4,5	2.000	Idle

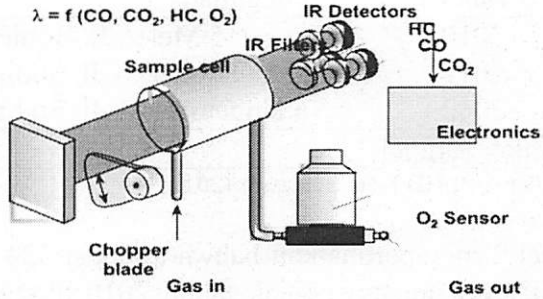
Sumber: PERMEN LH No. 05 Tahun 2006 / 1 Agustus 2006

Tabel 1 memperlihatkan bahwa pemberlakuan nilai baku emisi baik CO dan HC didasarkan pada kategori jenis mesin dan tahun produksi kendaraan sepeda motor, dimana tahun 2010 merupakan tahun pembatas antara sepeda motor produksi terbaru dengan sepeda motor produksi terlama. Untuk sepeda motor produksi tahun 2010 atau yang lebih baru, maka baku mutu emisi CO adalah maksimal 4,5% dan baku mutu emisi HC adalah minimal maksimum 2000 ppm untuk sepeda motor dengan jenis mesin 2 dan 4 langkah. Adapun untuk sepeda motor produksi yang lebih tua dari tahun 2010, maka baku mutu emisi CO adalah maksimal 4,5%, dan baku mutu emisi HC adalah maksimal 12.000 ppm untuk sepeda motor 2 langkah. Sedangkan untuk sepeda motor 4 langkah, maka baku mutu emisi CO adalah maksimal 4,5%, dan baku mutu emisi HC adalah maksimal 2.400 ppm.

Metode pengujian emisi sepeda motor untuk kondisi diam (*idle*)

Metode pengujian emisi yang digunakan pada kegiatan Inspeksi dan Monitoring (I/M) kendaraan bermotor di Kota Makassar yang datanya digunakan pada studi ini adalah suatu prosedur untuk menentukan kadar karbon monoksida (CO), hidro karbon (HC), karbon dioksida (CO_2) dan oksigen (O_2) yang terkandung didalam gas buang dari motor cetus api kendaraan bermotor pada posisi putaran *idle* serta mendapatkan nilai lambda (perbandingan campuran udara dan bahan bakar). Adapun alat uji yang digunakan adalah Alat Uji 4 Gas Analyser (HC, CO, CO_2, O_2, □, suhu, putaran) sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 1a.

Konsentrasi CO adalah perbandingan volume dari karbon monoksida (CO) yang terkandung didalam gas buang dan dinyatakan dengan persen (%). Konsentrasi HC adalah perbandingan volume dari hidro karbon (HC) dipersamakan dengan normal *hexane* (C6H14) dalam gas buang dan dinyatakan dalam ppm (*part per milion*). Konsentrasi CO_2 adalah perbandingan volume karbon dioksida (CO_2) yang terkandung di dalam gas buang dan dinyatakan dalam persen (%). Konsentrasi O2 adalah perbandingan volume oksigen (O2) yang terkandung di dalam gas buang dan dinyatakan dalam persen (%). Nilai lambda adalah nilai perbandingan campuran udara dengan bahan bakar dan dinyatakan tanpa satuan.



a: Alat uji emisi *idle* **b**: Prinsip pengujian emisi motor bensin

Gambar 1: Peralatan dan prinsip pengujian emisi kendaraan

Prinsip dasar pengujian emisi dengan menggunakan peralatan tersebut disajikan pada Gambar 1b. Prosedur dari metode pengujian diuraikan secara ringkas sebagai berikut. Kondisi ruangan yang dibutuhkan adalah temperatur ruangan 25 □ 10°C. Tempat uji kendaraan tidak miring (datar). Kondisi motor dan kendaraan yang diuji berada pada tempat yang datar. Semua alat-alat tambahan kecuali perlengkapan operasi standard mesin harus dilepaskan dan posisi tanpa beban. Kendaraan dengan transmisi biasa posisi gigi harus pada posisi netral (N) dan kopling pada posisi bebas. Kendaraan dengan transmisi otomatis, posisi tuas pemindah harus netral (N) atau parkir (P). Kap motor dalam keadaan tertutup baik dan kipas pendingin tambahan tidak digunakan. Persiapan kendaraan yang akan di-uji. Motor penggerak terlebih dahulu dipanaskan hingga mencapai suhu kerja normal dan *choke* dalam keadaan tidak bekerja. Dilakukan pemeriksaan apakah ada kebocoran pada sistem gas buang motor penggerak dan sistem alat uji. Thermometer atau alat ukur lain digunakan untuk mengukur suhu kerja mesin (~ 70 – 80° C). Putaran *idling* motor penggerak harus stabil dan waktu pengapian sesuai dengan spesifikasi pabrik. Setelah pemanasan selesai, putaran motor dinaikkan sampai putaran menengah □ 15 detik tanpa beban, kemudian kembali pada putaran *idling*, dimana pada kondisi ini dilakukan pemasangan sensor RPM. Selanjutnya dilakukan

pemasangan sensor gas (*gas probe*) sedalam 30 cm ke dalam pipa gas buang untuk menghindari kesalahan. Tunggu □ 20 detik sampai data pada layar stabil. Ambil data pengukuran (*print out* atau mencatat data).

3. KARAKTERISTIK DATA SAMPEL SEPEDA MOTOR

Data sampel emisi sepeda motor

Studi ini menggunakan data yang bersumber dari data sampel hasil kegiatan I/M emisi kendaraan pada ruas jalan arteri di Kota Makassar. Kegiatan tersebut telah melakukan pengukuran emisi kendaraan bermotor yang melintas di jalan raya termasuk kendaraan sepeda motor secara periodik setiap tahunnya. Metode pengukuran emsisi kendaraan bermotor yang digunakan adalah pengukuran emisi kendaraan dalam kondisi *idle* sebagaimana metode pengukuran yang telah diuraikan pada bagian sebelumnya. Adapun periode waktu, lokasi dan jumlah data sampel dari setiap kegiatan I/M tersebut yang digunakan pada studi ini adalah sebagaimana disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2: Lokasi, waktu dan jumlah data sampel studi

Periode (Tahun)	Waktu Pengujian	Lokasi	Jumlah Data
2010	5 Mei	Jl. Boulevard	51
2011	18 Oktober	Jl. Sudirman	142
2012	6 Nopember	Jl. Sudirman	131
Jumlah Sampel			324

Sumber: BPLHD Kota Makassar (2012)

Tabel 2 memperlihatkan bahwa terdapat 324 unit sepeda motor secara total yang telah diuji level emisinya sejak tahun 2010 hingga tahun 2012. Dimana, pada tahun 2010 jumlah sepeda motor yang diuji hanya sebanyak 51 unit, kemudian mengalami peningkatan yang signifikan pada tahun 2011 dan 2012 sebesar 142 dan 131 unit.

Jenis mesin sepeda motor

Jenis mesin kendaraan sepeda motor yang terjjaring dalam data sampel kegiatan I/M di Kota Makassar, dimana datanya digunakan pada studi ini adalah dominan kendaraan sepeda motor yang sudah menggunakan jenis mesin 4 langkah.

Umur sepeda motor

Berbagai indikator statistik tentang karakteristik umur sepeda motor yang terjaring sebagai sampel pada kegiatan I/M di Kota Makassar yang menjadi data pada studi ini disajikan pada Tabel 3. Tabel 3 memperlihatkan bahwa data sampel sepeda motor memiliki umur rerata 3 tahun, dimana masih terdapat sepeda motor yang beroperasi di jalan dengan umur 29 tahun. Tabel 3 juga memperlihatkan bahwa sepeda motor didominasi dengan usi 1 – 2 tahun.

Tabel 3: Umur sepeda motor berdasarkan tahun sampling uji

Indikator Statistik	Umur Sepeda Motor per-Tahun Pengujian (Tahun)			
	2010	2011	2012	Total
Tertua	29.0	19.0	18.0	29.0
Termuda	0.0	0.0	0.0	0.0
Rerata	4.3	2.3	3.2	3.0
Modus	1.0	1.0	1.0	1.0
Median	2.5	1.0	3.0	2.0
Jumlah Sampel	51.0	142.0	131.0	324.0

Panjang perjalanan speeda motor

Karakteristik panjang perjalanan yang telah dilakukan oleh sepeda motor sesuai dengan hasil pembacaan odometer sepeda motor yang menjadi sampel uji kegiatan I/M, disajikan pada Tabel 4.

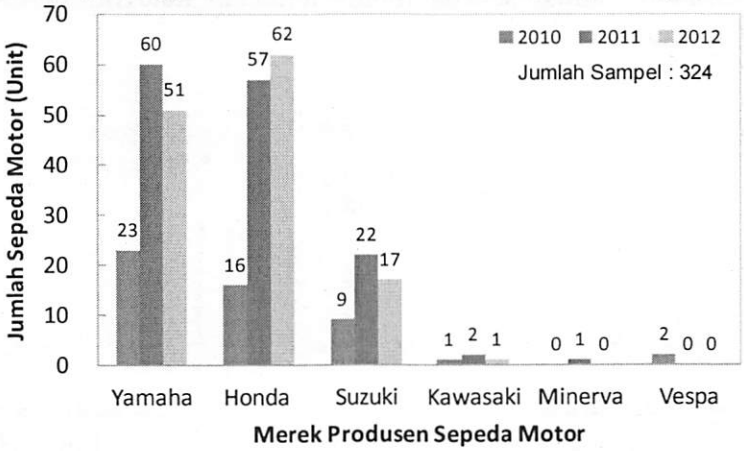
Tabel 4: Panjang perjalanan sepeda motor sesuai odometer

Indikator Statistik	Panjang Perjalanan SM per-Tahun Pengujian (Km)			
	2010	2011	2012	Total
Terpanjang	832,410.0	516,272.0	884,175.0	884,175.0
Terpendek	0.0	305.0	2,057.0	305.0
Rerata	99795.4	32,040.4	37,547.3	44,588.1
Median	29169.0	19,682.0	20,012.0	20,694.0

Tabel 4 memperlihatkan bahwa terdapat sepeda motor yang telah melakukan perjalanan terpanjang sepanjang 884.175 km dan perjalanan terpedek sepanjang 305 km. Nilai rerata panjang perjalanan yang telah dilakukan oleh sepeda motor yang menjadi sampel kegiatan I/M adalah sebesar 44.588 km, dimana nilai tengah panjang perjalanan dari semua sampel sepeda motor adalah 20.694 km.

Jumlah sepeda motor berdasarkan merek produsen

Karakteristik jumlah sepeda motor berdasarkan merek produsen sepeda motor yang terjaring menajdi sampel kegiatan I/M di Kota Makassar disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2: Jumlah sepeda motor sampling berdasarkan merek produsen

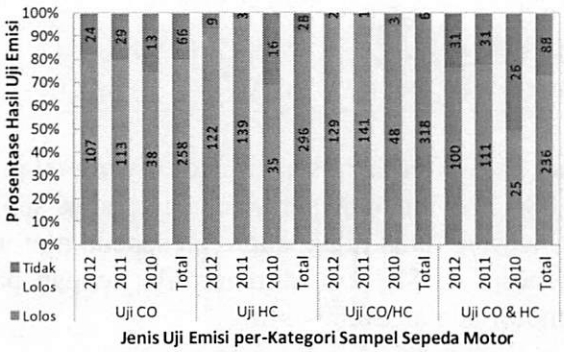
Gambar 2 memperlihatkan bahwa jumlah sepeda motor di didominasi oleh merek produsen Yamaha dan Honda. Disusul kemudian oleh merek produsen Suzuki dan Kawasaki secara berurutan. Adapun merek produsen Minerva dan Vespa sangat minor jumlahnya.

4. KARAKTERISTIK EMISI SEPEDA MOTOR

Berbagai hasil evaluasi terhadap data sampel hasil pengujian emisi sepeda motor pada studi yang meliputi prosentase hasil uji emisi, frekuensi kelolosan uji emisi terhadap umur sepeda motor, dan model hubungan antara nilai level emisi dan umur sepeda motor, disajikan pada sub-sub bagian berikut.

Prosentase hasil uji emisi

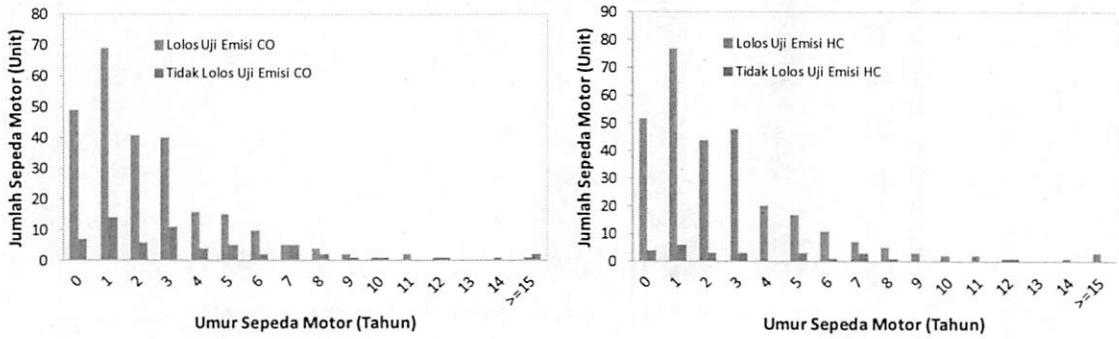
Hasil-hasil pengujian emisi sepeda motor dikelompokkan dalam 2 (dua) kategori yaitu kategori sepeda motor yang lolos uji dan kategori sepeda motor tidak lolos uji. Acuan penilaian kelolosan uji emisi sepeda motor didasarkan pada nilai-nilai standar baku mutu Kemetrian Lingkungan Hidup RI sebagaimana telah disajikan Tabel 1. Hasil penilaian terhadap nilai level emisi sepeda motor disajikan pada Gambar 3. Gambar 3 memperlihatkan bahwa dominan sepeda motor masih lolos uji emisi. Hal ini terjadi, salah satunya disebabkan oleh karena dominan sepeda motor yang diuji masih memiliki rerata umur 1 – 2 tahun atau masih tergolong sepeda motor berusia baru.



Gambar 3: Prosentase hasil uji emisi sepeda motor berdasarkan tahun sampling

Frekuensi kelolosan uji emisi terhadap umur sepeda motor

Frekuensi kelolosan uji emisi sepeda motor terhadap kategori umur sepeda motor disajikan pada Gambar 4.



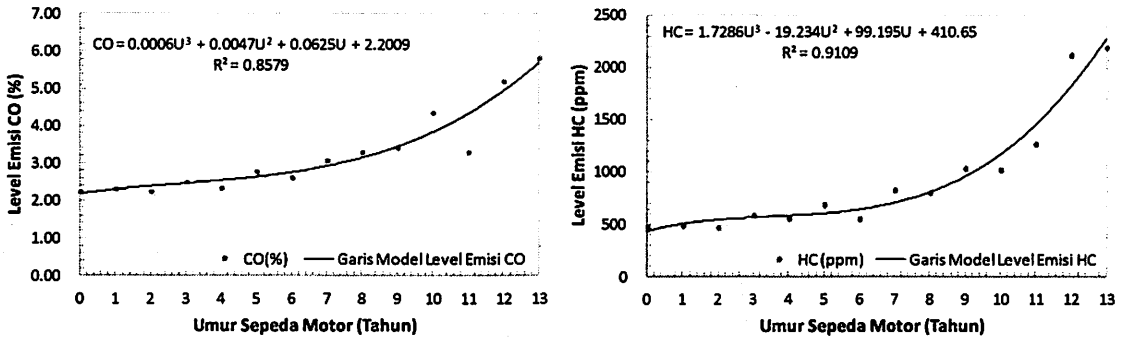
a: Emisi CO **b**: Emisi HC

Gambar 4: Frekuensi kelolosan uji emisi terhadap umur sepeda motor

Gambar 4 secara jelas memperlihatkan bahwa umur sepeda motor yang lebih baru (rentang umur 0 – 3 tahun) dominan mampu melolosi kriteria uji nilai ambang emisi sepeda motor yang dipersyaratkan.

Model hubungan level emisi dan umur sepeda motor

Berdasarkan karakteristik-karakteristik hasil uji emisi sepeda motor pada sub-sub bagian di atas, maka studi ini selanjtnya membangun suatu model hubungan antara nilai-nilai level emisi sepeda motor dengan umur sepeda motor. Pola hubungan antara kedua variabel dianalisis dengan menggunakan pendekatan model linear, eksponensial, dan polinomial. Hasil analisis memperlihatkan bahwa model polinomial orde-3 memberikan nilai R^2 yang terbaik diantara pendekatan model lainnya. Model hubungan terbaik antara nilai rerata level emisi dan umur sepeda motor baik untuk emisi CO dan emisi HC disajikan pada Gambar 5a dan 5b secara berurut.



a: Emisi CO **b**: Emisi HC

Gambar 5: Model hubungan rerata level emisi terhadap umur sepeda motor

Gambar 5 memperlihatkan bahwa model hubungan level emisi dengan umur (U) sepeda motor untuk jenis emisi CO adalah $CO = 0{,}0006U^3+0{,}0047U^2+0{,}0625U+2{,}2009$ dengan nilai R^2 sebesar 0,8579. Adapun model untuk emisi HC adalah $HC = 1{,}7286U^3-19{,}234U^2+99{,}195U+410{,}65$ dengan nilai R^2 sebesar 0,9109. Lebih jauh, Gambar 4 juga memperlihatkan bahwa kecenderungan garis model adalah nilai level emisi CO dan HC meningkat seiring dengan peningkatan umur kendaraan. Namun peningkatan nilai emisi HC lebih tinggi dibandingkan dengan nilai emisi CO untuk kendaraan yang sudah berumur 10 tahun atau lebih.

5. KESIMPULAN

Emisi kendaraan sepeda motor kondisi *idle* (diam) berdasarkan data panel yang diperoleh dari aktifitas inspeksi dan monitoring (I/M) tingkat emisi sepeda motor yang melintas di jalan arteri utama di Kota Makassar selama 3 tahun berturut-turut, telah dievaluasi pada studi ini. Hasil uji emisi CO dan HC memperlihatkan bahwa tingkat kelolosan emisi sepeda motor terhadap baku mutu standar emisi lebih mendominasi dibandingkan tingkat ketidaklolosannya. Baik itu penilaian terhadap hasi uji emisi CO ata HC saja, ataupun salah satu dari keduanya, bahkan terhadap kedua jenis polutan tersebut, tingkat kelolosan uji lebih besar dari ketidaklolosannya. Lebih jauh, hasil analisis uji emisi dikaitkan dengan umur sepeda motor memperlihatkan adanya suatu pola distirbusi tertentu terhadap keacakan jumlah sepeda motor yang lolos dan tidak lolos uji. Berdasarkan fenomena ini, telah dibangun dan diperoleh model pola hubungan

yang cukup signifikan antara nilai rerata level emisi CO dan HC terhadap umur sepeda motor. Dalam hal ini, model hubungan terbaik yang diperoleh adalah mengikuti model polinomial ber-orde-3.

Hasil-hasil yang diperoleh dalam studi ini dapat digunakan untuk mengambarkan tingkat pemeliharaan sepeda motor terkait polusi udara yang dihasilkan dan untuk memprediksi level emisi CO dan HC berdasarkan karakteristik umur sepeda motor. Hasil studi ini juga menjadi dasar untuk melakukan pengembangan model kegagalan uji emisi dan model prediksi emisi kendaraan sepeda motor pada studi-studi lanjutan di masa mendatang.

6. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada pihak Badan Pengelolaan Lingkungan Hidup Daerah (BPLHD) Pemerintah Kota Makassar yang telah memfasilitasi dan mengiizinkan penggunaan data hasil kegiatan Inspeksi dan Monitoring Emisi Kendaraan di Jalan Raya di Kota Makassar.

DAFTAR PUSTAKA

1. Beydoun, M., and Jean, M.G., (2006) Vehicle characteristic and emissions: logit and regression analysis of I/M data from Massachusetss, Maryland and Illinois. **Transportation Research, Part D, 11**, 59-76.
2. Bin, O. (2003) A logit analysis of vehicle emissions using inspection and maintenance testing data. **Transportation Research, Part B, 8**, 215-227.
3. Hwang, K. P., Tseng, P., (2007) CO2 emission: status, reduction policy and management strategy of Taiwan's transportation sector. **Proceeding of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol. 6**.
4. M. Pujadas, Nunez, L., Plaza, J., Bezares, J.C., Fernandez, J.M. (2004) Comparison between experimental and calculated vehicle idle emission factors for Madrid fleet. **Science of the Total Environment, 334-335**, 134-140.
5. Pemerintah Republik Indonesia, (2006) Peraturan Menteri Lingkungan Hidup, No. 5 Tahun 2006, **Jakarta, Indonesia**.
6. Simamora, A. P., (2006). "Garages ask for speedier emission testing approval." **The Jakarta Post-The Journal of Indonesia Today, City News. http://www.thejakartapost.com May 01 2006**.
7. Sudarmanto, B.N., Fujiwara, A., Zhang, J., Senbil, M., (2007) Bivariate probit model of on-road emission measurement of passenger cars in Jakarta City. **Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol. 7**, pp. 1377 – 1388.
8. Sudarmanto, B.N., Fujiwara, A., and Zhang, J., (2010) Analysis of inspection and maintenance program for in-use motorcycles emission in Indonesia. **Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol. 8**, pp. 1015 – 1026.
9. Aly, S.H., Selintung, M., Ramli, M.I., Sumi, T., (2011) Study on emission measurement of vehicle on road based on binomial logit model. **Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol. 9**, pp. 784 – 795.
10. Pemprov Sulsel, (2012) Sulsel Dalam Angka, **Badan Pusat Statistik Provinsi Sulsel.**

PERANAN IBU-IBU DALAM PENGELOLAAN KOMPREHENSIF SAMPAH BERBASIS MASYARAKAT DI KELURAHAN SUKOMULYO KABUPATEN LAMONGAN

(Pengaruhnya Terhadap Kelestarian Lingkungan Hidup)

Nur azizah Affandy[1], Cicik Herlina Yulianti[2]

[1]*Dosen dpk, Jurusan Teknik Sipil, Universitas islam lamongan, Telp. 08113407073, email: nurazizah_5@yahoo.com*
[2]*Dosen dpk, Jurusan Teknik Elektro Universitas islam lamongan, Telp. 085730616331, email: cicikherlina@gmail.com*

ABSTRAK

Penanganan sampah yang tidak komprehensif akan memicu terjadinya masalah pencemaran lingkungan dan sosial. Kunci keberhasilan program penanganan sampah ini terletak pada proses pemilahan. Keberhasilan pemilahan sampah yang bersumber dari rumah tangga sangat ditentukan dengan peranan seorang ibu dalam memberikan contoh bagi anggota keluarganya dalam memilah, mengelola dan menanamkan kesadaran terhadap masalah lingkungan hidup. Di Kabupaten Lamongan, data dari Badan Lingkungan Hidup rata-rata timbulan sampah yang berasal dari sumber sampah di TPA Tambak Rigadung pada tahun 2007 mencapai 103 m^3/hari dan pada tahun 2010 meningkat menjadi 105,4 m^3/hari, sehingga diperkirakan timbulan sampah di kabupaten Lamongan mencapai 982.291,04 m^3/tahun (Saker PPLP Jawa Timur, 2011). Penelitian ini adalah deskriptif kualitatif, yakni penelitian yang bermaksud mendeskripsikan suatu fenomena. Penelitian ini berlokasi di Kelurahan Sukomulyo, Kabupaten Lamongan. Kelurahan Sukomulyo salah satu wilayah yang pengelolaan sampah telah terlaksana dengan baik mulai dari pemilahan sampai pengomposan.

Dari hasil penelitian ini, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut : (1) Peranan ibu-ibu dalam proses perencanaan, sosialisasi, dan pelaksanaan teknis program pengelolaan sampah rumah tangga berbasis masyarakat di kelurahan Sukomulyo sangat penting dari hasil analisa 49% ibu-ibu yang paling aktif dari beberapa tahapan pengelolaan. (2) Pengaruh kegiatan ibu-ibu dalam pengelolaan sampah rumah tangga terhadap kelestarian lingkungan hidup sangat besar 71 % merasakan manfaatnya di mana Lingkungan tempat tinggal mereka menjadi lebih bersih, rapi, indah, rindang dan sehat. (3) Problematika yang dihadapi ibu-ibu dalam pengelolaan sampah rumah tangga berbasis masyarakat adalah pada soal bagaimana merubah paradigma ibu-ibu yang merupakan aktor utama kegiatan pemilahan sampah dari paradigma membuang sampah menjadi memanfaatkan sampah.

Kata Kunci : Komprehensif, Sampah, Berbasis Masyarakat, Kelestarian Lingkungan

1. PENDAHULUAN

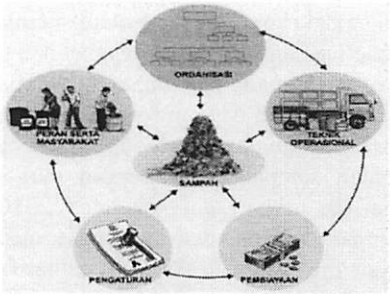
Persoalan lingkungan yang selalu menjadi isu besar di hampir seluruh wilayah perkotaan adalah masalah sampah. Pertambahan jumlah sampah yang tidak diimbangi dengan pengelolaan yang ramah lingkungan akan menyebabkan terjadinya perusakan dan pencemaran lingkungan (Tuti Kustiah, 2005:1). Pengkajian mengenai pengelolaan sampah yang diujicobakan menjadi kajian yang sangat menarik dan strategis, sebagai sebuah upaya untuk mengatasi permasalahan sampah di Kabupaten Lamongan, terkait dengan jumlah sampah yang semakin meningkat. Sehingga kajian ini bertujuan untuk menjelaskan pengaruh kegiatan ibu-ibu dalam pengelolaan secara komprehensif sampah rumah tangga terhadap kelestarian lingkungan hidup di kelurahan Sukomulyo. Hasil dari kajian ini diharapkan dapat menjadi referensi dalam rangka menemukan model yang paling tepat pengelolaan komprehensif sampah rumah tangga berbasis masyarakat

yang dapat diterapkan di perkotaanan pada umumnya, dan Kabupaten Lamongan pada khususnya.

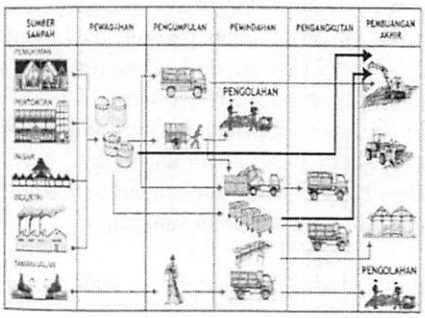
2. TINJAUAN PUSTAKA

Sampah adalah barang yang tidak berguna. Itulah imajinasi sebagian besar orang ketika melihat sampah di sekelilingnya. Pengertian sampah adalah suatu yang tidak dikehendaki lagi oleh yang punya dan bersifat padat. Sementara didalam UU No 18 Tahun 2008 tentang Pengelolaan Sampah, disebutkan sampah adalah sisa kegiatan sehari hari manusia atau proses alam yang berbentuk padat atau semi padat berupa zat organik atau anorganik bersifat dapat terurai atau tidak dapat terurai yang dianggap sudah tidak berguna lagi dan dibuang kelingkungan, (Faizah,2008).

Sistem pengelolaan sampah adalah proses pengelolaan sampah yang meliputi 5 (lima) aspek/komponen yang saling mendukung dimana antara satu dengan yang lainnya saling berinteraksi untuk mencapai tujuan (Dept. Pekerjaan Umum, SNI 19-2454-2002).



Gambar 1. Skema Manajemen Pengelolaan Sampah
(Sumber : Departemen Pekerjaan Umum, (SNI 19-2454-2002)



Gambar 2. Teknis Operasional Pengelolaan Sampah (Sumber : SNI 19-2454-2002)

3. METODOLOGI PENELITIAN

Tipe penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah deskriptif kualitatif, yaitu penelitian yang bermaksud mendeskripsikan fenomena dalam pengelolaan sampah rumah tangga, yang terjadi di Kelurahan Sukomulyo Kabupaten Lamongan. Dengan demikian, penelitian deskriptif kualitatif yang dilakukan dimaksudkan untuk mengeksplorasi dan mendeskripsikan fenomena peranan ibu-ibu dalam pengelolaan sampah berbasis masyarakat di Kelurahan Sukomulyo.

Untuk menentukan jumlah responden pengisian kuesioner ditentukan dengan menggunakan *Rumus Slovin* (Sevilla, et. al., 1993), yaitu:

$$n = \frac{N}{1 + Ne^2} \quad \text{.....} \quad (1)$$

dengan: n = jumlah sampel (responden) yang diperlukan
N = jumlah populasi (N=221)
e = *sample error* (10 %)

$$n = \frac{221}{1+(221x(0.1)^2)} = 69 \text{ jiwa}$$

Dalam penelitian yang telah dilakukan, peneliti berhasil mendapatkan 82 orang responden, sehingga jumlah tersebut sudah sangat memadai.

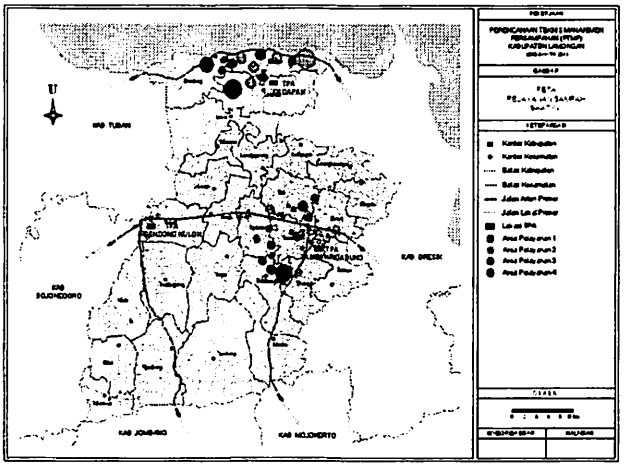
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sejalan perkembangan pembangunan Kabupaten Lamongan, limbah atau sampah yang dibuang ke lingkungan pada masa-masa mendatang jumlahnya akan meningkat. Peningkatan tersebut baik dari segi jumlah dan volume tetapi meningkat pula pada keanekaragaman bentuk, jenis dan komposisinya.

Peningkatan volume sampah di Kabupaten Lamongan terutama disebabkan oleh :

1. Jumlah pertumbuhan penduduk dan teknologi yang terus meningkat.
2. Meningkatnya konsentrasi penduduk di perkotaan atau pusat-pusat kawasan industri yang disebabkan oleh pertumbuhan penduduk dan urbanisasi.
3. Terjadinya peningkatan timbulan sampah per kapita yang diakibatkan oleh perubahan konsumsi karena meningkatnya kesejahteraan ekonomi masyarakat.
4. Pergeseran teknik penanganan makanan, misalnya menuju ke kemasan yang tidak terurai seperti plastik kaleng dan lain-lain.

Pada tahun 2007 jumlah timbulan sampah di TPA Tambakrigadung mencapai 101,1 $m^3/hari$. Dari jumlah sampah tersebut, sampah yang terkelola dengan sistem yang ada sebanyak 1.9 $m^3/hari$ atau 1.84% dari total volume timbulan sampah. Secara keseluruhan daerah pelayanan sistem persampahan di Kota Lamongan tercantum dalam Gambar 3.



Gambar 3. Peta Pelayanan Sampah Eksisting
(Sumber. DPUCK Kabupaten lamongan 2012)

a. Kondisi Wilayah Penelitian

1. Kondisi Geografis

Kelurahan Sukomulyo wilayah bagian Kecamatan Lamongan, Propinsi Jawa Timur luas wilayah keseluruhan 347,36 Ha (3,47 Km^2). Batas Kelurahan Sukomulyo yaitu :

- sebelah Utara : Kelurahan Tumenggungan
- sebelah selatan : Kelurahan Sidoharjo dan Desa Sumberjo
- sebelah Barat : Desa Plosowahyu dan Desa Sumberjo.
- sebelah Timur : Desa Sidoharjo

2. Demografi

Wilayah Kelurahan Sukomulyo dihuni oleh 1538 Kepala Keluarga dengan jumlah penduduk Keseluruhan 7.322 jiwa.

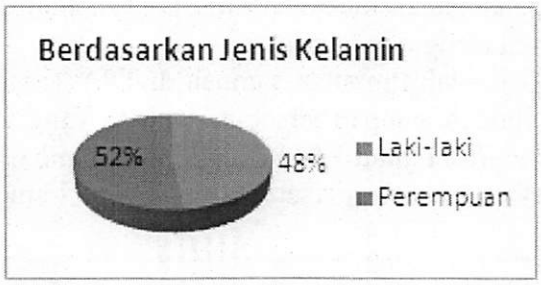
- **Penduduk Berdasarkan Jenis Kelamin**

Penduduk di wilayah penelitian Kelurahan Sukomulyo, berdasarkan jenis kelamin, terdiri dari komposisi sebagai berikut :

Tabel 1. Komposisi Penduduk Kelurahan Sukomulyo Berdasarkan Jenis Kelamin

Jenis kelamin	Jumlah (Orang)	Persentasi (%)
Laki-laki	3562	48,27
Perempuan	3817	51,73
Jumlah	7322	100

Sumber : Monografi Kelurahan Sukomulyo, 2012



Gambar 4. Komposisi Penduduk Kel. Sukomulyo Berdasarkan Jenis Kelamin

Berdasarkan tabel dan grafik tersebut, terlihat bahwa di wilayah penelitian, dari total jumlah penduduk sebanyak 7322 orang, 3779 orang atau 52 % penduduknya berjenis kelamin perempuan dan 3543 orang penduduknya atau 48 %penduduknya berjenis kelamin laki-laki.

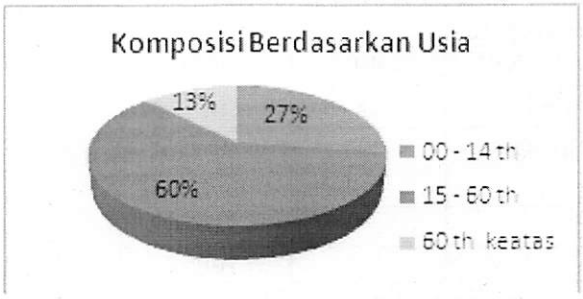
- **Komposisi Penduduk Berdasarkan Usia**

Penduduk di wilayah penelitian, berdasarkan usia, komposisi sebagai berikut:

Tabel 2. Komposisi Penduduk Kelurahan Sukomulyo Berdasarkan Usia

Usia	Jumlah (Orang)	Persentasi (%)
00 - 14 th	1998	27.08
15 - 60 th	4460	60.44
60 th keatas	921	12.48
Jumlah	7379	100

Sumber : Monografi Kelurahan Sukomulyo, 2012



Gambar 5. Komposisi Penduduk Kelurahan Sukomulyo Berdasarkan Usia
Sumber : Hasil Analisa

Berdasarkan tabel dan grafik tersebut di atas, terlihat bahwa mayoritas penduduk di wilayah penelitian (60 %) berusia antara 15–60 th, yang merupakan kelompok usia produktif. Sedang 27% penduduknya berusia 0–14 th, yang mayoritas merupakan pelajar, dan 13% merupakan kelompok lansia (>60 th).

b. Implementasi Pengelolaan Sampah Berbasis Masyarakat di Kelurahan Sukomulyo

1. Peranan Ibu-Ibu dalam Proses Perencanaan

Upaya pemerintah Lamongan dalam menangani permasalahan sampah dengan pendekatan 3R (*Reduce, Reuse, Recycle*) adalah dengan menawarkan program *Lamongan Green and Clean* (LGC) kepada seluruh masyarakat Lamongan.

Berdasarkan data dari kuesioner, diketahui alasan ibu-ibu di kelurahan Sukomulyo mengikuti kegiatan pengelolaan sampah adalah sebagai berikut:

Tabel 3. Alasan Ibu-Ibu Mengikuti Program Pemilahan Sampah

Alasan Ibu-ibu mengikuti kegiatan pengelolaan sampah	**Frekuensi**	**Persentase**
Karena tertarik manfaatnya	21	30 %
Tertarik manfaat & diwajibkan RT/RW	7	9 %
Tertarik manfaat & inisiatif sendiri	19	23 %
Tertarik manfaat, diwajibkan RT/RW & inisiatif sendiri	31	38 %
TOTAL	82	100 %

Sumber: data penelitian diolah (N=82), 2012

Dari tabel 4.9 diketahui bahwa alasan utama ibu-ibu mengikuti kegiatan pengelolaan sampah adalah karena diwajibkan oleh RT/RW/Kelurahan/Kecamatan dalam rangka mengikuti program LGC (30%), karena tertarik manfaat & diwajibkan RT/RW (9%), karena tertarik manfaat & inisiatif sendiri (23%), karena tertarik manfaat, diwajibkan RT/RW & inisiatif sendiri (38%).

2. Peranan Ibu-Ibu dalam Sosialisasi Kegiatan

a) Sosialisasi Tahap Perencanaan

Berdasarkan data yang dikumpulkan melalui kuesioner, pihak yang pertama kali mengajak ibu-ibu untuk memilah sampah adalah sebagi berikut:

Tabel 4. Pihak yang pertama kali mengajak ibu-ibu memilah sampah

Pihak yang pertama kali mengajak memilah sampah	Frekuensi	Persentase
1. Ibu-ibu Pengurus RT/RW	40	49%
2. Ibu-Ibu pengurus PKK	28	34%
3. Ibu-Ibu pengurus pengajian	13	16%
4. Dinas Kebersihan	1	1%
TOTAL	82	100%

Sumber: data penelitian diolah (N=82), 2012

Dari hasil tersebut dapat diketahui, bahwa yang paling aktif pertama kali mengajak warga masyarakat untuk memilah sampah adalah ibu-ibu pengurus RT/RW (49%). kemudian ibu-ibu pengurus PKK (34%), Ibu-Ibu pengurus pengajian (16%), dan Dinas Kebersihan (1%).

b) Sosialisasi Tahap Pengelolaan

Proses ini mulai berjalan di tengah masyarakat terutama setelah berbagai peralatan dan perlengkapan tersedia dan telah dibagikan kepada masyarakat yang sudah terdaftar.

Tabel 5. Pihak yang Aktif Melakukan Sosialisasi

Pihak yang Aktif Melakukan Sosialisasi	Frekuensi	Persentase
1. Dinas Kebersihan	1	1%
2. Pengurus RT/RW	28	34%
3. Ibu-ibu Pengelola Sampah	40	49%
4. Ibu-Ibu (warga)	13	16%
TOTAL	82	100%

Sumber: data penelitian diolah (N=82), 2012

Dari hasil tersebut dapat diketahui, bahwa pihak yang paling aktif melakukan sosialisasi adalah ibu-ibu Pengelola Sampah (49%) dan pengurus RT/RW (34%). Jadi setelah dilakukan implementasi program pengelolaan sampah, sosialisasi lebih banyak dilakukan oleh ibu-ibu pengelola daripada dilakukan oleh pengurus RT/RW.

Tabel 6. Kegiatan Sosialisasi yang Paling Tepat

Kegiatan Sosialisasi yang Paling Tepat	Frekuensi	Persentase
a. Dalam pertemuan rutin PKK & pengajian Ibu-Ibu	34	41%
b. Kunjungan ibu-ibu pengelola ke rumah warga	9	11%
c. Pertemuan isidental (acara khusus yang membahas sosialisasi teknis Pengelolaan sampah)	36	44%
d. Lainnya	3	4%
TOTAL	82	100%

Sumber: data penelitian diolah (N=82), 2012

Dari data tersebut dapat diketahui, bahwa kegiatan sosialisai pengelolaan sampah paling tepat dilakukan pada pertemuan isidental antara warga (ibu-ibu) dengan ibu-ibu pengurus RT/RW dan pengurus pengelola sampah yang khusus membahas

sosialisasi teknis pengelolaan sampah (44%) dan juga dalam pertemuan rutin PKK dan pengajian Ibu-ibu (41%) serta kunjungan ibu-ibu pengelola ke rumah-rumah (11%) dan acara lainnya (4%).

3. Pelaksanaan Teknis Pengelolaan Sampah Berbasis Masyarakat di Kelurahan Sukomulyo

Hasil penelitian tentang pengelolaan sampah berbasis masyarakat yang berlangsung di Kelurahan Sukomulyo tercantum dalam tabel berikut ini dan selanjutnya dibandingkan dengan standar Revisi SNI 03 3242 1994 tentang Pengelolaan Sampah di Pemukiman.

Tabel 7. Tabel Perbandingan Aspek Teknis Operasional Berdasarkan Standar SNI dan Temuan di Lapangan

no	ASPEK TEKNIS OPERASIONAL (Revisi SNI 03-3242-1994)	KETERANGAN TEMUAN LAPANGAN
I. POLA OPERASIONAL		
1	Pewadahan terdiri dari : 1. pewadahan individual dan atau ; 2. pewadahan komunal	Pola pewadahan berskala individual/rumah tangga
2	Jumlah wadah sampah minimal 2 buah per rumah untuk pemilahan jenis sampah mulai di sumber yaitu 1. wadah sampah organik untuk mewadahi sampah sisa sayuran, sisa makanan, kulit buah-buahan, dan daun daunan menggunakan wadah dengan warna gelap ; 2. wadah sampah anorganik untuk mewadahi sampah jenis kertas, kardus, botol, kaca, plastik, dan lain-lain menggunakan wadah warna terang.	Peralatan yang yang ada di rumah tangga: - 2 buah tong plastik (untuk sampah organik) - 3 buah tas/kantong plastik (untuk sampah anorganik) - 1 buah tempat sampah untuk sampah Campursari
3	Pengumpulan terdiri dari : pola individual tidak langsung dari rumah ke rumah; pola individual langsung dengan truk untuk jalan dan fasilitas umum; pola komunal langsung untuk pasar dan daerah komersial ; pola komunal tidak langsung untuk permukiman padat.	Pengumpulan sampah menganut pola individual, artinya sampah dikumpulkan dari rumah ke rumah oleh petugas penarik gerobak sampah untuk selanjutnya dibawa ke TPSS.
4	Pengelolaan dan daur ulang sampah di sumber berupa : pengomposan skala rumah tangga dan daur ulang sampah anorganik, sesuai dengan tipe rumah atau luas halaman yang ada	Pada skala rumah tangga, sampah organik dibuat pupuk, sampah anorganikdikumpulkan kemudian dijual langsung ke pedagang lapak. Sampah campursari dikumpulkan langsung di TPSS dengan menggunakan gerobag sampah.
5	Pemindahan sampah dilakukan di TPS atau TPS Terpadu dan di lokasi wadah sampah komunal	Pemindahan sampah dari lokasi penelitian (berupa sampah campursari) terjadi di TPSS
6	Pengangkutan dari TPS atau TPS Terpadu atau wadah komunal ke TPA frekuensinya dilakukan sesuai dengan jumlah sampah yang ada.	Pengangkutan sampah dari TPSS ke TPSA sesuai jadwal yang sudah ditetapkan Pemerintah.
II PENGELOLAAN DI SUMBER SAMPAH PERMUKIMAN		
1	Sediakan wadah sampah minimal 2 buah per rumah untuk wadah sampah organik dan anorganik	Peralatan yang yang ada di rumah tangga: 2 bh tong plastik (untuk sampah organik), 3 bh tas/kantong plastik (untuk sampah anorganik) dan 1 bh tempat sampah untuk sampah campursari
2	Tempatkan wadah sampah anorganik di halaman bangunan	Letak wadah sampah anorganik di sisi luar rumah
3	Pilah sampah sesuai jenis sampah. Sampah organik dan anorganik masukan langsung ke masing-masing wadahnya ; Pasang minimal 2 buah alat pengomposan rumah tangga pada setiap bangunan yang lahannya mencukupi ;	Warga memisahkan sampah menjadi 5 jenis, yaitu: sampah organik, sampah anorganik (plastik, kertas, logam/kaca), dan sampah campursari. • Setiap rumah tangga memiliki 2 bh tong sampah organik, yang merupakan alat pengomposan

Sumber: Data penelitian, diolah, 2012

Dari analisis dengan menggunakan standar SNI tersebut, dapat diketahui bahwa, dari segi teknis operasional program pengelolaan sampah yang dilakukan di kelurahan

Sukomulyo telah memenuhi standar pengelolaan sampah di pemukiman dengan prinsip 3R.

Kegiatan pengelolaan sampah rumah tangga yang dilakukan di kelurahan Sukomulyo adalah sebagai berikut :

a) Peran Ibu-Ibu dalam Kegiatan Pemilahan Sampah

Proses pemilahan sampah yang dilakukan di tingkat rumah tangga (tingkat sumber), dapat dijelaskan sebagai berikut :

- Kegiatan pemilahan sampah dilakukan ibu-ibu di rumah masing-masing.
- Setelah dipisahkan, sampah dimasukkan dalam wadah-wadah terpisah:
  1. Sampah organik dimasukkan pada tong sampah organik
  2. Sampah anorganik (plastik, kertas dan logam/kaca)
  3. Sampah campur sari dimasukkan pada keranjang sampah.
- Sampah anorganik yang telah terpilahkan pada masing-masing wadah (kertas, plastik, kaca/logam) akan disetor ibu-ibu (biasanya 1 minggu sekali atau 2 minggu sekali)
- Sampah organik yang telah terkumpul dalam tong pertama dan telah penuh, ditutup rapat. Untuk selanjutnya digunakan tong kedua. Satu bulan sejak tong ditutup, isinya dibongkar dan dilakukan pengayakan untuk mendapatkan kompos.

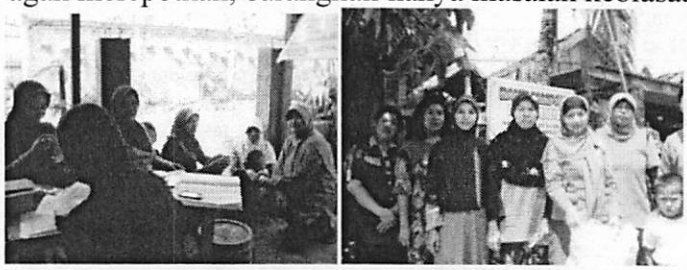
Berdasarkan kepraktisan kegiatan proses pemilahan sampah yang dilakukan oleh ibu-ibu di Kelurahan Sukomulyo, data hasil kuesioner tercantum dalam tabel berikut:

Tabel 8. Kepraktisan tentang Kegiatan Pemilahan Sampah

Kerepotan yang dialami ibu-ibu dalam kegiatan pemilahan sampah	Frekuensi	Persentase
1. Sangat merepotkan	0	0%
2. Merepotkan	5	6%
3. Sedikit/agak merepotkan	17	21%
4. Tidak merepotkan	60	73%
TOTAL	82	100%

Sumber: data penelitian diolah (N=82), 2012

Dari hasil tersebut dapat diketahui, secara umum ibu-ibu warga Kelurahan Sukomulyo berpendapat bahwa kegiatan pemilahan sampah di rumah adalah tidak merepotkan (73%) dan sedikit merepotkan (21%). Hal ini menunjukkan bahwa kegiatan pemilahan sampah di rumah sebenarnya tidak merepotkan. Bahwa masih adanya warga yang berpendapat agak merepotkan, barangkali hanya masalah kebiasaan.



Gambar 6. Ibu-ibu di kelurahan Sukomulyo mengadakan pemilahan sampah
Sumber. Hasil dokumentasi, 2012

b) Peralatan Pemilahan Sampah

Dalam rangka melaksanakan pemilahan sampah rumah tangga di Kelurahan Sukomulyo dibutuhkan peralatan. Peralatan yang digunakan pada awalnya diperoleh secara cuma-cuma dari pemerintah.

Gambar 4.21. Peralatan pemilahan sampah di kelurahan Sukomulyo

c) Pengaruh Kegiatan Ibu-Ibu dalam Pengelolaan Sampah Rumah Tangga Terhadap Kelestarian Lingkungan Hidup

Kegiatan ibu-ibu dalam pengelolaan sampah rumah tangga terhadap kelestarian lingkungan hidup berkorelasi positif terhadap kelestarian lingkungan hidup. Data quisioner pendapat ibu-ibu tentang pengaruh kegiatan pemilahan sampah yang mereka lakukan terhadap kelestarian lingkungan hidup ditampilkan pada tabel 4.

Tabel 9. Pengaruh kegiatan pemilahan dan pengelolaan sampah terhadap kelestarian lingkungan hidup

Pengaruh kegiatan pemilahan dan pengelolaan sampah terhadap kelestarian lingkungan hidup	**Frekuensi**	**Persentase**
1. Sangat bermanfaat untuk kelestarian lingkungan hidup	58	71%
2. bermanfaat untuk kelestarian lingkungan hidup	24	29%
3. kurang bermanfaat untuk kelestarian lingkungan hidup	0	0%
5. tidak bermanfaat untuk kelestarian lingkungan hidup	0	0%
TOTAL	82	100%

Sumber: data penelitian diolah (N=82), 2012

Dari tabel 4. dapat diketahui pendapat ibu-ibu mengenai dampak kegiatan pemilahan dan pengelolaan sampah terhadap kelestarian lingkungan hidup. Sebagian besar menyatakan sangat bermanfaat (71%) dan bermanfaat (29%).

d) Problematika Pengelolaan Sampah Rumah Tangga

Problematika yang dihadapi dalam pengelolaan sampah rumah tangga berbasis masyarakat di kelurahan Sukomulyo dapat dikelompokkan menjadi dua, yaitu hambatan dari dalam (internal) dan hambatan dari luar (eksternal). Berdasarkan hasil quisioner, dapat diketahui hambatan yang dialami ibu-ibu dalam pengelolaan sampah berbasis masyarakat di Kelurahan Sukomulyo, ditunjukkan pada tabel 10. :

Tabel 10. Problematika yang dihadapi ibu-ibu dalam kegiatan pemilahan dan pengelolaan sampah

Problematika yang dihadapi ibu-ibu dalam kegiatan pemilahan dan pengelolaan sampah	**Frekuensi**	**Persentase**
1. Malas	14	17%
2. Ribet	14	17%
3.Tidak ada waktu untuk melakukan pengelolaan sampah	24	29%
4. Sarana dan prasarana kurang memadai	30	37%
TOTAL	82	100%

Sumber: data penelitian diolah (N=82), 2012

Problematika yang dihadapi ibu-ibu dalam kegiatan pemilahan dan pengelolaan sampah adalah malas (17%), Ribet (17%), Tidak ada waktu luang untuk melakukan pengelolaan sampah (24%), dan sarana dan prasarana yang kurang memadai (30%).

Tabel 4.20 **Usulan Model Pengelolaan Sampah Berbasis Masyarakat**

Kegiatan / Pihak	Perencanaan	Implementasi	Pengendalian & Pengawasan	Evaluasi
Pemda	Regulator • Inisiator • Merencanakan program • Edukator • Sosialisasi pra implementasi •Fasilitasi studi banding dan pelatihan bagi calon pengelola	Fasilitasi sarana & prasarana serta anggaran pengelolaan •Mengatur dan memberikan insentif dan disinsentif •Sosialisasi implementasi (kampanye pengelolaan sampah)	Monitoring dan supervisi •Menerima laporan rutin dari pengelola	Melakukan evaluasi tahunan berdasar laporan pengelola dan masukan masyarakat serta pengurus RT/RW
Ibu-ibu pengurus RT/RW	fasilitator pemerintah dan masyarakat •Menjaring masukan dari masy. • Memberi masukan ke Pemerintah • Katalisator • Advisor • Motivator • Menyiapkan organisasi bersama dengan pengelola	Bersama dengan pengelola membentuk lembaga dan menyusun program kerja • Membantu Sosialisasi	Membantu Pemerintah dalam monitoring dan supervisi • Melaporkan hasil monitoring dan supervisi ke Pemerintah • Koordinasi dengan pengelola	Memberi masukan ke Pemerintah dan pengelola • Menjaring masukan dari masyarakat
Ibu-ibu pengelola	Mengikuti pelatihan • Mengikuti studi banding • Menyiapkan organisasi • Menyusun garis besar program	Membentuk organisasi dan program kerja •Melakukan pengelolaan sampah di wilayah (mengumpulkan dan mengangkut ke TPSS •Melakukan sosialisasi implementasi • Membimbing warga untuk memanfaatkan sampah • Menarik retribusi dan iuran • Mengelola sampah anorganik • Melakukan dokumentasi keg.	Mengendalikan kegiatan pengelolaan sampah • Melakukan pengawasan internal • Membuat laporan rutin • Melaporkan kegiatan pengelolaan sampah ke Pemerintah • Koordinasi dengan pengurus RT/RW	Evaluasi bulanan dan tahunan •Menyampaikan laporan dan hasil evaluasi kepada Pemerintah dan masyarakat
Ibu-ibu	Memberi masukan kepada Pemerintah melalui ibu-ibu pengurus RT/RW	Memilah sampah di rumah tangga • Melakukan pengomposan • Sosialisasi internal rumah tangga	•Laporan rutin dari pengelola bersamaan dg pertemuan warga •Saling mengingatkan warga	Melakukan evaluasi pengelolaan •Memberi masukan pada Pemerintah dan pengelola

ISBN 978-979-99327-8-5

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisa yang dilakukan maka dapat diambil kesimpulan:

1. Peranan ibu-ibu dalam proses perencanaan, sosialisasi, dan pelaksanaan teknis program pengelolaan sampah rumah tangga berbasis masyarakat di kelurahan Sukomulyo sangat penting dari hasil analisa 49% ibu-ibu yang paling aktif dari beberapa tahapan pengelolaan.
2. Pengaruh kegiatan ibu-ibu dalam pengelolaan sampah rumah tangga terhadap kelestarian lingkungan hidup sangat besar 71 % merasakan manfaatnya di mana Lingkungan tempat tinggal mereka menjadi lebih bersih, rapi, indah, rindang dan sehat.
3. Problematika yang dihadapi ibu-ibu dalam pengelolaan sampah rumah tangga berbasis masyarakat adalah pada soal bagaimana merubah paradigma ibu-ibu yang merupakan aktor utama kegiatan pemilahan sampah dari paradigma membuang sampah menjadi memanfaatkan sampah.

6. DAFTAR PUSTAKA

BUKU

1. DPUCK Kabupaten Lamongan, 2012, *DED TPA Tambakrigadung Kabupaten Lamongan, Lamongan*
2. Faizah,2008,*Pengelolaan Sampah Rumah Tangga Berbasis Masyarakat (Studi Kasus Di Kota Yogyakarta),* Thesis, Program Pasca Sarjana Magister Ilmu Lingkungan, Universitas Diponegoro, Semarang
3. Kementerian Lingkungan Hidup, 2008, Undang-Undang RI Nomor 18 Tahun2008, tentang Pengelolaan Sampah, Jakarta
4. Ni Komang Ayu Artiningsih,2008, *Peran Serta Masyarakat Dalam Pengelolaan Sampah Rumah Tangga (Studi Kasus Di Sampangan Dan Jomblang, Kota Semarang),* Thesis, Program Pasca Sarjana Magister Ilmu Lingkungan, Universitas Diponegoro, Semarang
5. Satker PPLP Jawa Timur, 2011, *Perencanaan Teknis Manajemen Persampahan (Ptmp) Kabupaten Lamongan* , Kementerian Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Cipta Karya, Surabaya.
6. Tuti Kustiah, 2005, *Kajian Kebijakan Pengelolaan Sanitasi Berbasis Masyarakat*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Permukiman, Badan Penelitian dan Pengembangan Departemen Pekerjaan Umum, Bandung

INTERNET

7. http://suaramerdeka.com/v1/index.php/read/cetak/2011/06/22/150287/Kaum-Ibu-dan-Pengelolaan-Sampah diakses padahari Senin tanggal 12 Maret 2012 jam 15.00).
8. http://green.kompasiana.com/iklim/2012/02/08/bapak-bapak-vs-ibu-ibu-peduli-lingkungan/ diakses pada hari kamis tanggal 12 Maret 2012 jam 15.10).
9. http://www.republika.co.id/berita/breaking-news/nasional/10/06/25/121393-indonesia-hadapi-problem-urbanisasi-yang-tinggi ,tanggal 20 Maret 2012, jam 10.02.
10. http://www.lamongan.go.id/ diakses pada hari Rabu tanggal 27 Desember 2012 jam 15.45.

UCAPAN TERIMAKASIH DIBERIKAN KEPADA :

PT. HUME SAKTI INDONESIA
PRESTRESSED SPUN PILES-PILING-POLE
AND OTHER CONCRETE PRODUCTS MANUFACTURER
Jl. MANYAR KERTOARJO V/42 SURABAYA
Telp. (031)5946787-8 Fax. (031)5946788

PT. HUME SAKTI INDONESIA

UCAPAN TERIMAKASIH DIBERIKAN KEPADA :

adhi

beyond construction

PT. Adhi Karya

UCAPAN TERIMAKASIH DIBERIKAN KEPADA :

PT. SEMEN INDONESIA (PERSERO) TBK

PT. JASA MARGA (PERSERO) TBK

PT. PEMBANGUNAN PERUMAHAN (PERSERO) TBK

UCAPAN TERIMAKASIH DIBERIKAN KEPADA :

GEOSISTEM

PT. Teknindo Geosistem Unggul

WASKITA

PT. WASKITA KARYA

JAYA KONSTRUKSI

Strive for the Best !

PT. JAYA KONSTRUKSI MANGGALA PRATAMA TBK

PROGRAM PASCASARJANA TEKNIK SIPIL
KAMPUS ITS SUKOLILO
JL. ARIF RAHMAN HAKIM, SURABAYA 60111

- ☐ BIDANG MANAJEMEN PROYEK KONSTRUKSI
- ☐ BIDANG GEOTEKNIK
- ☐ BIDANG MANAJEMEN DAN REKAYASA SUMBER AIR
- ☐ BIDANG STRUKTUR
- ☐ BIDANG MANAJEMEN DAN REKAYASA TRANSPORTASI
- ☐ BIDANG MANAJEMEN ASET DAN INFRASTRUKTUR