

Jurnal Rekayasa

STRUKTUR & INFRASTRUKTUR

DAFTAR ISI

	Hal
1. Prioritas Penanganan Ruas Jalan Strategis di Kabupaten Nias Menggunakan Analytic Network Percess (ANP) Kriswan Carlan Harefa Ahmad Perwira Mulia Tarigan Medis Sejahtera Surbakti	1-9
2. Studi Parametrik Kekakuan, Duktilitas dan Kinerja Struktur Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM) Akibat Pengaruh Setback dan Dinding Pasangan Bata Rizki Efrida Johannes Tarigan Ade Faisal	10-19
3. Kajian Eksperimental Pemanfaatan Limbah Abu Terbang (<i>Fly Ash</i>) PLTU Labuhan Angin Sibolga Sebagai Campuran Beton Julianto Lubis Johannes Tarigan Fatimah	20-29
4. Desain Pengelolaan Sub DAS Lau Biang Dengan Pendekatan Mikro DAS Berbasis Sistem Informasi Geografis Irnovian A.Perwira Mulia Tarigan Makmur Ginting	30-37

Vol. X

No. 1

Halaman 1 -37

Medan, Maret 2016

ISSN 1978 - 449X

Jurnal Rekayasa

STRUKTUR & INFRASTRUKTUR

DAFTAR ISI

	Hal
1. Prioritas Penanganan Ruas Jalan Strategis di Kabupaten Nias Menggunakan Analytic Network Percess (ANP) Kriswan Carlan Harefa Ahmad Perwira Mulia Tarigan Medis Sejahtera Surbakti	1-9
2. Studi Parametrik Kekakuan, Duktilitas dan Kinerja Struktur Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM) Akibat Pengaruh Setback dan Dinding Pasangan Bata Rizki Efrida Johannes Tarigan Ade Faisal	10-19
3. Kajian Eksperimental Pemanfaatan Limbah Abu Terbang (<i>Fly Ash</i>) PLTU Labuhan Angin Sibolga Sebagai Campuran Beton Julianto Lubis Johannes Tarigan Fatimah	20-29
4. Desain Pengelolaan Sub DAS Lau Biang Dengan Pendekatan Mikro DAS Berbasis Sistem Informasi Geografis Irnovian A.Perwira Mulia Tarigan Makmur Ginting	30-37

Vol. X	No. 1	Halaman 1 -37	Medan, Maret 2016	ISSN 1978 - 449X
---------------	--------------	----------------------	--------------------------	-------------------------



Jurnal Rekayasa

STRUKTUR & INFRASTRUKTUR

Pelindung	: Dekan Fakultas Teknik USU
Penanggung Jawab	: Direktur Sekolah Pasca Sarjana USU
Tim Pengarah	: Sekretaris Program Studi Magister dan Doktor Ilmu Teknik Sipil USU Sekretaris Departemen Teknik Sipil USU
Penyunting Ahli	: 1. Prof. Dr. Ing. Johannes Tarigan (T. Sipil USU) 2. Prof. Dr. Ir. Bachrian Lubis, M.Sc (T. Sipil USU) 3. Prof. Dr. Ir. Firman Tamboen, M.Eng (T. Sipil USU) 4. Prof. Dr. Ir. A. Rahim Matondang (T. Industri USU) 5. Dr. Ir. Indra Sati Harahap, MSCE (T. Sipil USU)
Ketua Dewan Penyunting	: Prof. Dr. Ir. Roesyanto, MSCE
Anggota Dewan Penyunting	: Dr. Ir. Ahmad Perwira Mulia, M.Sc Ir. Zulkarnain A. Muis, M.Eng, Sc Ir. Rudi Iskandar, MT Medis Sejahtera Surbakti, ST, MT Zaid Perdana Nasution, ST, MT
Sekretariat	: Yun Ardi Sukma Nurhayani Simamora
Alamat Redaksi	: Program Magister dan Doktor Ilmu Teknik Sipil USU Jl. Perpustakaan Gedung. J No. 1 Kampus USU Medan Telp. 082162431972, email; Departemen Teknik Sipil Jl. Perpustakaan, Gedung. B. No.1 Kampus USU Medan Fax. 061 820 1826
Penerbit	: Program Studi Magister Teknik Sipil USU Departemen Teknik Sipil USU



Edisi Maret 2016
Tahun ke X, No. 1

Jurnal Rekayasa

STRUKTUR & INFRASTRUKTUR

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Syukur Alhamdulillah dengan Rahmat dan Karunia Allah SWT telah terbit **Jurnal Rekayasa Struktur dan Infrastruktur** Program Studi Magister dan Doktor Ilmu Teknik Sipil USU dan Departemen Teknik Sipil USU **Edisi Maret 2016, Tahun ke X, No. 1** dengan No. ISSN 1978 - 449 X, yang menyangkut rekayasa struktur dan infrastruktur hasil penelitian maupun Karya Ilmiah Populer yang dilakukan oleh staf pengajar dan mahasiswa Program Studi Magister dan Doktor Ilmu Teknik Sipil USU dan Departemen Teknik Sipil USU dan Institusi Pendidikan yang lain.

Kami mengharapkan untuk terbitan berikutnya staf pengajar dan para mahasiswa yang akan menjadi alumni dapat lebih meningkatkan kuanlitas maupun kualitas dari tulisan sehingga memungkinkan sebagai bahan rujukan dalam melakukan kegiatan penelitian.

Pada kesempatan ini Redaksi mengucapkan terima kasih kepada staf pengajar dan mahasiswa yang telah menjadi alumni di Program S2 maupun S1 yang telah berpartisipasi menerbitkan Jurnal Rekayasa Struktur dan Infrastruktur terutama Edisi Maret 2016, Tahun ke X, No.1.

Semoga Program Studi Magister Teknik Sipil USU dan Departemen Teknik Sipil USU sukses dan maju.

Wabilahi Taufiq Walhidayah
Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Wassalam,

Redaksi

PRIORITAS PENANGANAN RUAS JALAN STRATEGIS DI KABUPATEN NIAS MENGGUNAKAN *ANALYTIC NETWORK PROCESS* (ANP)

Kriswan Carlan Harefa¹⁾ Ahmad Perwira Mulia Tarigan²⁾, Medis Sejahtera Surbakti²⁾,

¹⁾ Mahasiswa Magister Teknik Sipil Universitas Sumatera Utara

²⁾ Dosen Magister Teknik Sipil Universitas Sumatera Utara

Abstrak

Untuk melakukan percepatan pengembangan suatu wilayah dipengaruhi oleh kelancaran transportasi, dimana kelancaran transportasi tersebut dipengaruhi oleh kondisi jalan. Untuk itu pemerintah sangat perlu melakukan penanganan ruas jalan, khususnya jalan-jalan yang bersifat strategis. Namun keterbatasan biaya yang dimiliki oleh pemerintah, khususnya Pemerintah Kabupaten Nias, menyebabkan perlunya skala prioritas penanganan jalan terutama 9 ruas jalan-jalan yang melewati kawasan strategis. Tujuan penelitian ini mengetahui kriteria yang perlu dipertimbangkan serta melakukan perbandingan antara metode AHP dengan metode ANP dalam menentukan prioritas penanganan ruas jalan strategis terhadap pengembangan wilayah di Kabupaten Nias. Terdapat 5 kriteria sebagai faktor pembanding antara lain aksesibilitas, konektivitas wilayah, akomodasi kebutuhan perjalanan, kondisi jalan dan pengembangan kawasan strategis. Hasil kuisioner yang disebarkan pada 7 responden dengan menggunakan *Software Super Decision*. Pada metode AHP terdapat 2 kriteria yang sangat penting yaitu konektivitas wilayah sebesar 32,49% dan aksesibilitas sebesar 32,44%. Sedangkan pada metode ANP aksesibilitas merupakan kriteria yang sangat berpengaruh sebesar 30,87%. Selanjutnya menghasilkan 9 ruas jalan yang menjadi prioritas penanganan.

Kata Kunci : Prioritas, Metode AHP dan ANP, Penanganan, Jalan Strategis

1. Pendahuluan

Merujuk pada RTRW Kabupaten Nias Tahun 2014-2034, yaitu rencana pengembangan wilayah diantaranya Pengembangan Kawasan Budidaya dan Pengembangan Kawasan Strategis, maka dengan penetapan prioritas penanganan jalan-jalan strategis akan berimplikasi terhadap pengembangan wilayah/kawasan di Kabupaten Nias.

Sementara itu untuk melakukan percepatan pengembangan suatu wilayah/kawasan dipengaruhi oleh kelancaran transportasi, dimana kelancaran transportasi tersebut dipengaruhi oleh kondisi jalan. Untuk itu pemerintah sangat perlu melakukan penanganan ruas jalan, khususnya jalan-jalan yang bersifat strategis. Namun keterbatasan biaya yang dimiliki oleh pemerintah, khususnya Pemerintah Kabupaten Nias, menyebabkan perlunya skala prioritas penanganan jalan-jalan terutama jalan-jalan strategis. Skala prioritas ini bertujuan agar penanganan jalan-jalan tersebut dapat dilaksanakan secara efektif dan efisien dalam mendukung pengembangan wilayah.

Berdasarkan masalah di atas, maka penelitian ini bertujuan untuk :

1. Mengetahui kriteria apakah yang perlu dipertimbangkan dalam penentuan prioritas penanganan ruas jalan strategis terhadap pengembangan wilayah di Kabupaten Nias.
2. Membandingkan metode *Analytic Hierarchy Process (AHP)* dengan *Analytic Network Process (ANP)* untuk mengetahui bobot dan kriteria manakah yang sangat penting dan berpengaruh.
3. Mengetahui urutan prioritas ruas jalan strategis berdasarkan perbandingan antara metode *Analytic Hierarchy Process (AHP)* dengan *Analytic Network Process (ANP)*.

Shadev Bahadur (2014) pada penelitiannya tentang evaluasi kriteria jalan pedesaan di Nepal melibatkan tiga kriteria yang sangat penting terhadap proyek jalan pedesaan antara lain 1) Kriteria Ekonomi terdiri dari elemen yaitu biaya konstruksi, biaya pemeliharaan, biaya operasional kendaraan, biaya waktu perjalanan, biaya kecelakaan dan biaya polusi; 2) Kriteria Sosial terdiri penduduk yang dilayani per km, Akses layanan pendidikan, Akses yang lain (pasar, pelayanan kesehatan, pelayanan administrasi) dan Jalan sebagai prioritas masyarakat; 3) Kriteria Lingkungan terdiri dari wilayah budaya dan ekologi, Kemungkinan adanya longsor dan banjir dan Dampak terhadap sistem alam. Hasil dari penelitian kriteria ekonomi mendapatkan bobot yang paling tinggi sebesar 38,16% kemudian kriteria social sebesar 34,04% dan terakhir kriteria lingkungan sebesar 27,79%.

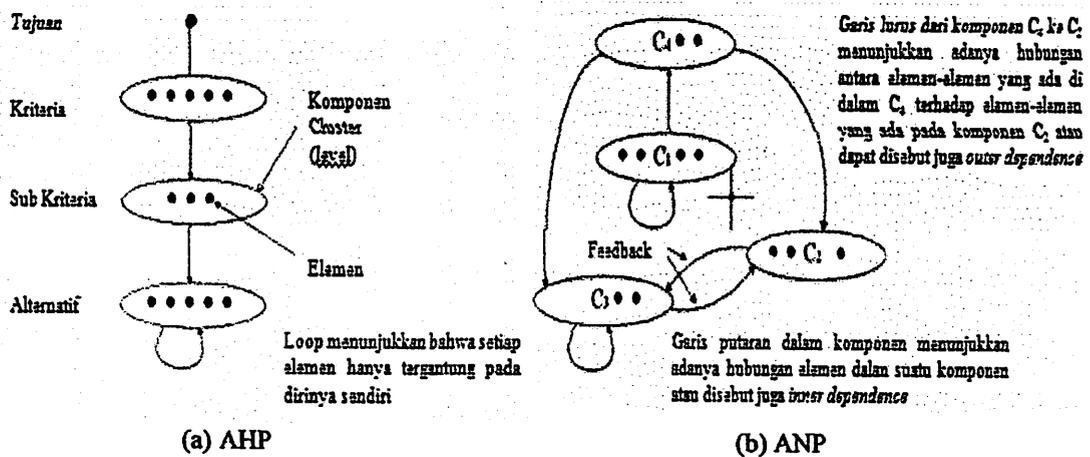
Sedangkan di Indonesia, Ibrahim (2013) dalam "Perbandingan Hasil Pemilihan Trase Jalan Dengan Menggunakan Pendekatan AHP dan ANP". Pada penelitian ini terdapat empat kriteria yang dipertimbangkan dalam pemilihan trase yakni: aspek Teknis, Sosial, Ekonomi, serta Tata Ruang dan Lingkungan.

2. Dasar Teori

Penanganan jalan menurut PP No. 34 Tahun 2006 Tentang Jalan adalah kegiatan yang merupakan bagian dari penyelenggaraan pembangunan jalan yang mencakup penetapan rencana tingkat kinerja yang akan dicapai serta perkiraan biaya yang diperlukan. Program penanganan jaringan jalan disusun oleh penyelenggara jalan yang bersangkutan dengan mengacu pada rencana jangka menengah jaringan jalan dengan memperhatikan pedoman yang ditetapkan oleh menteri sesuai dengan peraturan perundang-undangan. Penanganan jalan bertujuan untuk menjaga prasarana jalan sehingga fungsinya dalam sistem infrastruktur jalan (atau lebih dikenal sebagai jaringan jalan) dapat berjalan sebagaimana mestinya sesuai tujuan penyelenggaraan prasarana jalan itu sendiri (Harefa, 2015).

Analytic Hierarchy Process (AHP) dan Analytic Network Process (ANP)

Contoh teknik pengambilan keputusan dengan pendekatan kualitatif–kuantitatif dan melibatkan banyak kriteria adalah *Analytic Hierarchy Process (AHP)* dan *Analytic Network Process (ANP)*. Kedua metode ini merupakan bagian dari Metode *Multi Criteria Decision Making (MCDM)* dan dikembangkan oleh Saaty (2003), seorang ahli matematika dari Universitas Pittsburg, Amerika Serikat.



Gambar 1. Struktur AHP dan ANP (Saaty, 1996 dalam Ibrahim, 2013)

Pada Gambar 1.a struktur AHP terdapat level tujuan, kriteria, sub kriteria dan alternatif, yang masing-masing level memiliki elemen, yang mana garis vertikal ke bawah menunjukkan struktur hirarki dan menuntun pada level paling tinggi. Adanya *loop* pada AHP menunjukkan bahwa setiap elemen hanya tergantung pada dirinya sendiri atau *loop* ada hanya pada level yang paling tinggi tanpa adanya ketergantungan atau *feedback* dengan level yang lain atau level yang lebih rendah. Sedangkan pada struktur ANP, level dalam AHP disebut *cluster* yang dapat memiliki kriteria dan alternatif di dalamnya dikenal sebagai simpul. Kelebihan ANP mengacu pada fakta bahwa tidak semua persoalan dapat disusun secara hirarki karena dependensi (*inner/outer*), dapat dilihat pada Gambar 1.b garis lurus dari cluster C_1 ke C_2 menunjukkan adanya hubungan saling mempengaruhi di antara dan di dalam (*loop*) cluster (kriteria dan alternatif).

Pembobotan dengan ANP membutuhkan model yang merepresentasikan saling keterkaitan antar kriteria dan subkriteria yang dimilikinya. Ada dua kontrol yang perlu diperhatikan didalam memodelkan sistem yang hendak diketahui bobotnya. Kontrol pertama adalah kontrol hirarki yang menunjukkan keterkaitan kriteria dan sub kriterianya. Kontrol ini tidak membutuhkan struktur hirarki seperti pada metode AHP. Kontrol lainnya adalah kontrol keterkaitan yang menunjukkan adanya saling keterkaitan antar kriteria atau *cluster*, sehingga menuntun kepada suatu konsep yang diharapkan lebih obyektif, yaitu “apa yang paling berpengaruh” (Saaty, 1996).

AHP dan ANP, Keduanya menggunakan prosedur untuk mendapatkan rasio dari perbandingan berpasangan. Ascarya (2005), mengatakan adanya pengaruh-pengaruh *feedback* dalam ANP membutuhkan matriks besar yang dikenal dengan *Supermatriks*. *Supermatriks* merupakan hasil vektor prioritas dari perbandingan berpasangan antar *cluster*, kriteria dan alternatif. *Supermatriks* terdiri dari tiga tahap, yaitu *Supermatriks* tidak tertimbang (*Unweighted Supermatrix*), *Supermatriks* tertimbang (*Weighted Supermatrix*), dan *Supermatriks* Limit (*Limiting Supermatrix*).

Seperti halnya pada AHP, skala perbandingan berpasangan pada ANP juga dilakukan mengikuti ketentuan seperti tersaji dalam Tabel 1 dibawah.

Tabel 1. Skala Penilaian Perbandingan Berpasangan

Tingkat Kepentingan	Defenisi	Penjelasan
1	Sama penting	Sama pentingnya dibanding yang lain
3	Relatif lebih penting	Moderat pentingnya dibanding yang lain
5	Lebih penting	Kuat pentingnya dibanding yang lain
7	Sangat penting	Sangat kuat pentingnya dibanding yang lain
9	Jauh lebih penting	Ekstrim pentingnya dibanding yang lain
2, 4, 6, 8	Nilai antara	Nilai di antara dua penilaian yang berdekatan
Kebalikan		Kebalikan jika elemen I memiliki salah satu angka di atas ketika dibandingkan elemen j, maka memiliki nilai kebalikannya ketika dibandingkan elemen i.

Sumber : Saaty dan Vargas (1994)

Selanjutnya adalah sintesa prioritas dengan cara mencari *eigenvector* dari setiap matriks *pairwise comparison* untuk mendapatkan prioritas lokal. Dalam ANP/AHP, *logical consistency* menyatakan ukuran tentang konsisten tidaknya suatu penilaian. Rasio konsistensi (*consistency ratio*) dihitung dengan rumus $CR = CI / RI$. *Consistency Index* (CI) diperoleh dari $CI = (\lambda_{max} - n) / (n - 1)$, di mana λ_{max} = nilai eigen vector terbesar dari matriks perbandingan berpasangan, dan n = ukuran matriks. Nilai CR harus kurang dari 10%, karena jika lebih maka penilaian perbandingan berpasangan harus diulang (Saaty dan Vargas, 1994). Dalam hal *random index* (RI), secara berturut-turut (RI/orde matriks) adalah (1/0), (2/0), (3/0,58), (4/0,9), (5/1,12), (6/1,24), (7/1,32), (8/1,41), (9/1,45), (10/1,49), (11/1,51), (12/1,48), (13/1,56), (14/1,57) (Saaty, 1993).

3. Metodologi

Penelitian ini dilakukan pada 9 ruas jalan strategis di Kabupaten Nias, seperti yang tertera pada Tabel 2 berikut ini (Harefa, 2015).

Tabel 2. Nama-Nama Ruas Jalan Lokasi Penelitian

No Urut	No Ruas	Nama Pangkal Ruas	Nama Ujung Ruas	Panjang Ruas Jalan (km)	Kondisi Jalan			R. Berat (km)
					Baik (km)	Sedang (km)	Rusak (km)	
1	904.002	Huno	Hou	8,15	2,00		5,30	0,85
2	904.001	Sindrondro	Tagaule	9,60	3,90	1,70		4,00
3	902.001	Tetehosi	Bozihona	11,70	2,38		9,32	
4	902.003	Tetehosi	Holi	12,00	11,59	0,41		
5	910.001	Sogae'adu	Somolo-molo	12,50	8,75	0,94	2,81	
6	901.008	Somi	Laira	8,00		3,50		4,50
7	901.001	Hiliweto	Lasara	12,50	2,54	9,47		0,50
			Siwalubama					
8	908.001	Dahadano	Ononamolo	12,00	10,00		2,00	
		Botombawo	Talafu					
9	903.001	Hilina'a	Lasara	12,00	12,00			
Total				98,45	51,16	26,02	19,43	9,85

Sumber : Dinas Pekerjaan Umum Kabupaten Nias, 2014

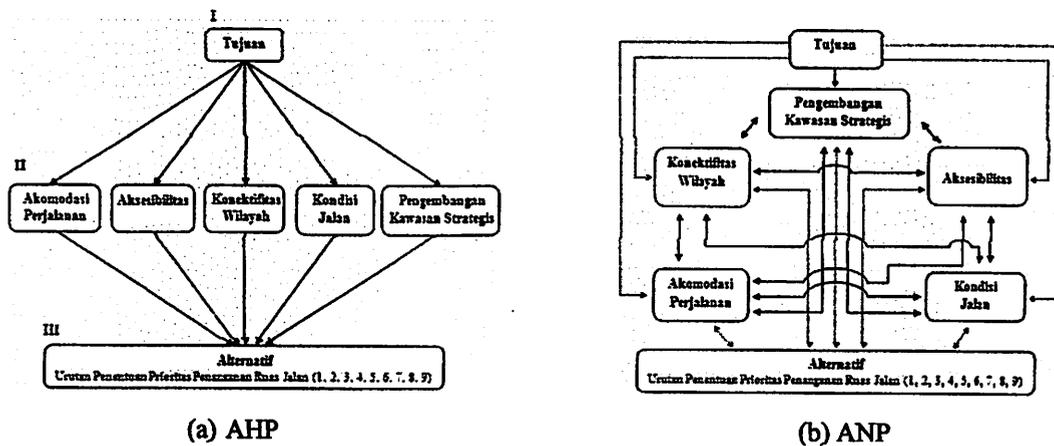
Tahap 1. Identifikasi Kriteria

Kriteria merupakan alat ukur untuk menilai alternatif yang paling ideal. Harefa (2015) menggunakan beberapa parameter penanganan ruas jalan, diantaranya faktor konektivitas wilayah aksesibilitas, akomodasi kebutuhan perjalanan, kondisi jalan dan pengembangan kawasan strategis. Kriteria diatas merupakan hasil wawancara secara tertulis dari ke tujuh responden yang mengerti tentang permasalahan penanganan ruas jalan di Kabupaten Nias.

Tahap 2. Perancangan Model Struktur AHP dan ANP

Pada tahap ini akan dilakukan perancangan model struktur AHP dan ANP. Perancangan model seperti pada Gambar 2, didasarkan pada prinsip dasar yang membedakan kedua metode tersebut. Model AHP dirancang dengan bentuk yang terstruktur dan berhirarki, dengan tingkatan tertinggi adalah tujuan dan terendah adalah

alternatif. Sedangkan model ANP dirancang dengan bentuk jaringan yang membentuk interaksi dan ketergantungan antar elemen maupun *cluster*.



Gambar 2. Pemodelan Struktur AHP dan ANP

Pemodelan yang dilakukan merupakan hasil validasi dari pembobotan kriteria dilakukan secara *Rating Schale*. Merupakan skala pengukuran dimana data mentah yang diperoleh berupa angka kemudian ditafsirkan dalam pengertian kualitatif (Firdaus, 2008 dalam Putri I Dewa, 2011). Dimana skala penilaian 1 s/d 5, dapat dilihat pada Tabel 3 dibawah ini. Semakin kecil angka urutan kepentingannya maka semakin besar bobotnya. (1=5; 2=4; 3=3; 4=2; 5=1).

Tabel 3. Hasil Pembobotan Kriteria

	R1	R2	R3	Jumlah Bobot	Ranking
Kondisi jalan	1	2	2	5	4
Aksesibilitas	3	5	5	13	1
Akomodasi kebutuhan perjalanan	4	4	3	11	3
Konektivitas wilayah	5	3	4	12	2
Pengembangan kawasan strategis	2	-	1	3	5
Tata Ruang dan Lingkungan	-	1	-	1	

Untuk menjaga konsistensi dan mempermudah dalam pengisian kuisioner yang dilakukan oleh responden, kriteria yang digunakan sebanyak 5 kriteria sesuai dengan hasil wawancara secara tertulis dan validasi serta kriteria terpilih merupakan hasil pembobotan.

Tahap 3. Pengumpulan data

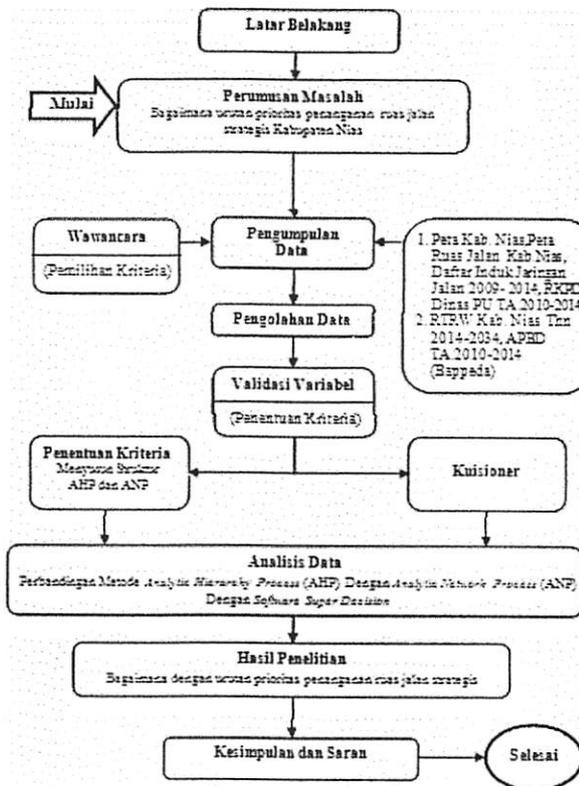
Selain data sekunder, data primer yang dikumpulkan ataupun diperoleh langsung di lapangan melalui wawancara dan kuisioner. Tujuan dari pengambilan data primer adalah untuk mencari data yang sifatnya tidak tertulis sekaligus merupakan data yang memiliki tingkat keakuratan yang tinggi. Proses pengambilan data menggunakan kuisioner gabungan dalam bentuk perbandingan berpasangan yang telah disederhanakan, dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Contoh Kuisioner Perbandingan Berpasangan Yang Disederhanakan

Kriteria	1	2	3	4	5	6	7	8	9
A					x				
B			x						
C								x	
D				x					
E	x								

Sumber : Ascarya, 2009

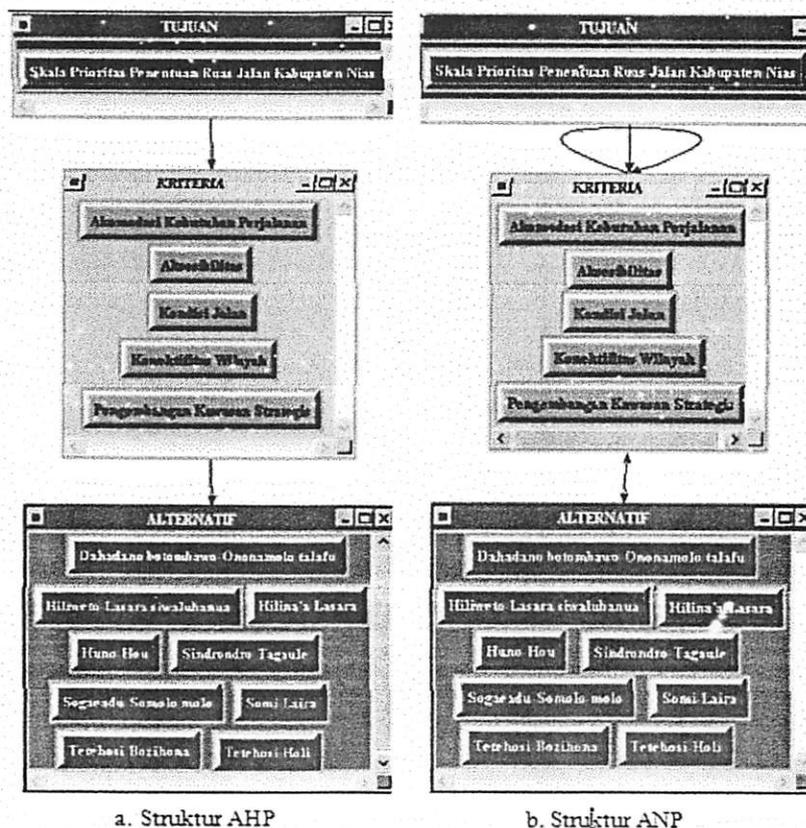
Dalam melaksanakan penelitian diperlukan suatu tahapan penelitian agar dapat membantu dalam menentukan langkah penelitian. Proses tahapan penelitian untuk studi ini secara umum diperlihatkan melalui bagan alir pada Gambar 3.



Gambar 3. Bagan alir penelitian

4. Hasil dan Pembahasan

Gambar 4 merupakan pemodelan kerangka konseptual yang menggambarkan secara keseluruhan masalah yang ada dalam penelitian terkait dalam hal penentuan penanganan ruas jalan di Kabupaten Nias.



a. Struktur AHP

b. Struktur ANP

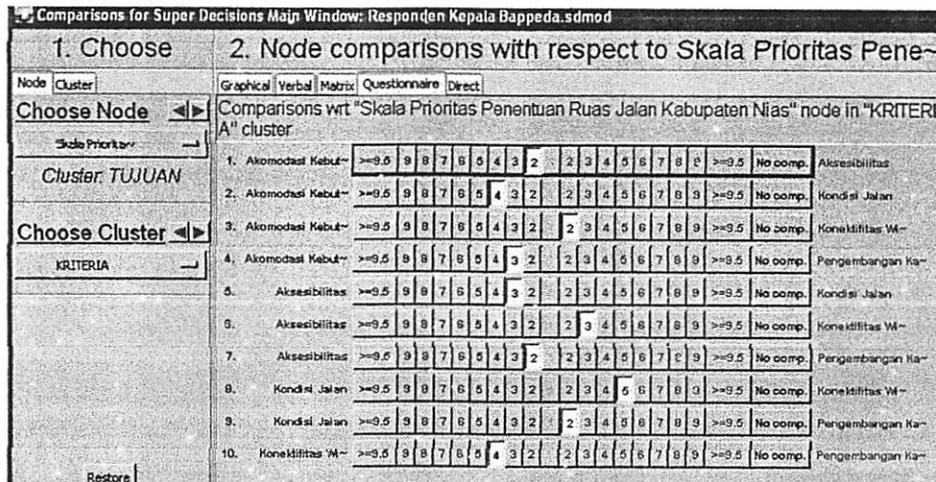
Gambar 4. Pemodelan Struktur AHP dan ANP Pada Software Super Decision

Untuk mempermudah dalam memperoleh hasil kuisioner dengan banyaknya jumlah pertanyaan serta untuk menjaga tingkat konsistinsi, maka digunakan model kuisioner perbandingan sesuai dengan model yang telah disederhanakan oleh Ascarya dalam bentuk tabel. Sebagaimana hasilnya dapat dilihat dalam Tabel 5. dibawah ini.

Tabel 5. Hasil Kuisioner Berdasarkan Nilai Tingkat Kepentingan

Kriteria	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Akomodasi Kebutuhan Perjalanan							X		
Aksesibilitas						X			
Kondisi Jalan				X					
Konektifitas Wilayah								X	
Pengembangan Kawasan Strategis					X				

Berdasarkan pengisian kuisioner tersebut dilakukan analisis pada kedua metode dengan mengikuti perbandingan berpasangan (Saaty, 1994), seperti yang terlihat pada Gambar 5 di bawah ini.



Gambar 5. Perbandingan Berpasangan

Hasil analisis perbandingan yang dilakukan merupakan selisih nilai tingkat kepentingannya antara kriteria pada Tabel 5.1 ditambah dengan nilai satu (Ascarya, 2009). Sebagai contoh dijelaskan bahwa nilai tingkat kepentingan Akomodasi Kebutuhan perjalanan = 7, Aksesibilitas = 6, Selisih = $(7 - 6) + 1 = 2$, dimana nilai tingkat kepentingan yang lebih penting berada pada kriteria akomodasi kebutuhan perjalanan atau pada kolom sebelah kiri, sehingga penempatan nilainya pada kolom sebelah kiri.

Sesuai dengan fungsinya, Tabel 6 dibawah menunjukkan bahwa metode ANP lebih kompleks dan sintesis dalam melakukan proses analisis, menyatukan semua bagian menjadi satu kesatuan. Pembobotan *consistency ratio* dilakukan sesuai dengan pemodelan struktur pada kedua metode yang dituangkan dalam bentuk kuisioner.

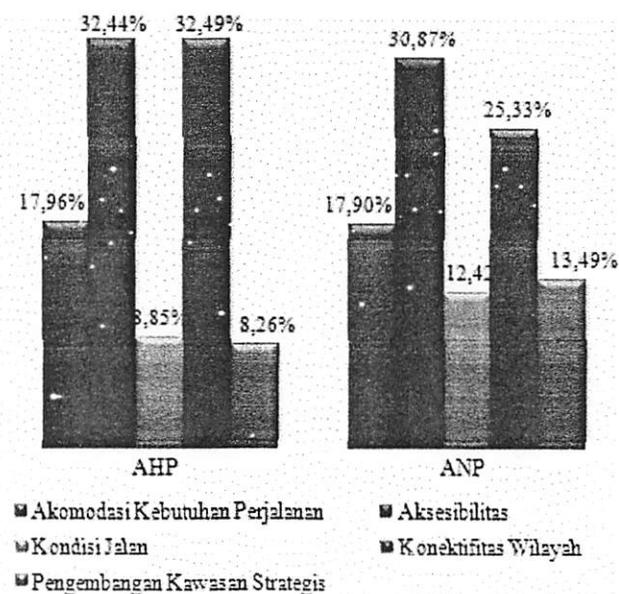
Tabel 6. Pembobotan *Consistency Ratio* Berdasarkan Metode AHP dan ANP

No	Struktur Hirarki/Jaringan	CR < 10%	
		AHP	ANP
1	Tujuan Terhadap Kriteria	1,52 %	1,52 %
2	Kriteria Terhadap Alternatif		
	Akomodasi Kebutuhan Perjalanan	3,23 %	1,05 %
	Aksesibilitas	2,29 %	2,29 %
	Kondisi Jalan	1,88 %	1,88 %
	Konektifitas Wilayah	4,20 %	4,20 %
	Pengembangan Kawasan Strategis	1,68 %	1,68 %

Tabel 6. Pembobotan *Consistency Ratio* Berdasarkan Metode AHP dan ANP (lanjutan)

No	Struktur Hirarki/Jaringan	CR < 10%	
		AHP	ANP
3	Alternatif Terhadap Kriteria		
	Dahadano botombawo-Ononamolo talafu		1,52 %
	Hilina'a-Lasara		3,11 %
	Hiliweto-Lasara siwalubanua		2,82 %
	Huno-Hou		2,17 %
	Sindrondro-Tagaule		1,31 %
	Sogaeadu-Somolo-molo		2,17 %
	Somi-Laira		1,94 %
	Tetehosi-Bozihona		1,38 %
	Tetehosi-Holi		2,20 %
4	Kriteria Terhadap Kriteria		
	Akomodasi Kebutuhan Perjalanan		1,91 %
	Aksesibilitas		1,16 %
	Kondisi Jalan		2,46 %
	Konektifitas Wilayah		1,16 %
	Pengembangan Kawasan Strategis		1,91 %

Hasil pembobotan pada metode AHP menunjukkan 2 kriteria yang sangat penting yaitu konektifitas wilayah sebesar 32,49% dan aksesibilitas sebesar 32,44% dikarenakan tidak terdapat perbedaan yang signifikan diantara keduanya. Sedangkan hasil pembobotan pada metode ANP aksesibilitas merupakan kriteria yang sangat berpengaruh sebesar 30,87%. Perbedaan tersebut diperlihatkan pada Gambar 6 berikut ini.



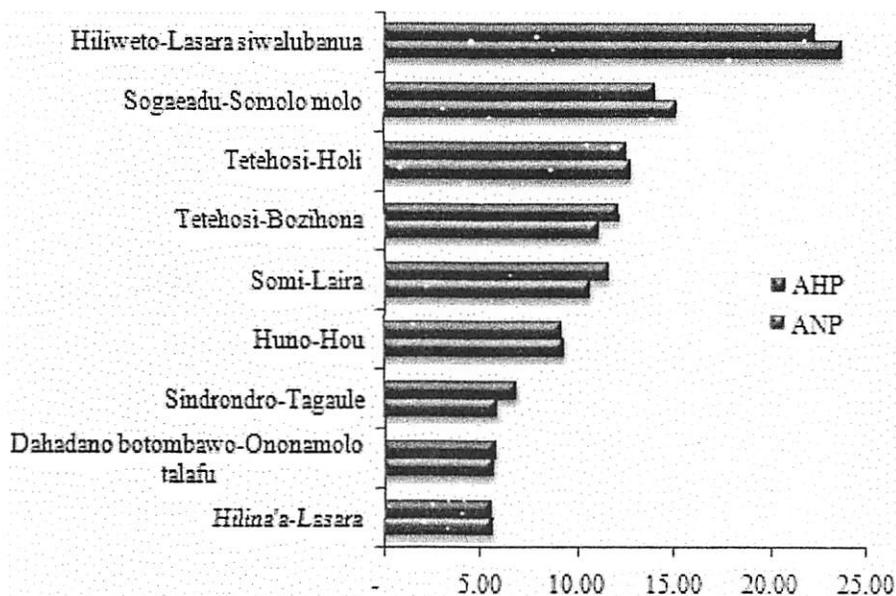
Gambar 6. Perbandingan Kriteria Hasil Analisis Metode AHP Dengan ANP

Akibat dari proses ANP yang saling mempengaruhi, dapat dikatakan bahwa penentuan kriteria prioritas penanganan ruas jalan dengan menggunakan metode ANP lebih obyektif yaitu mengarah pada salah satu kriteria yang sangat berpengaruh. Pada kedua metode tersebut, aksesibilitas sangat perlu dipertimbangkan karena sangat penting berpengaruh dalam menentukan prioritas penanganan ruas jalan strategis terhadap pengembangan wilayah di Kabupaten Nias.

Selanjutnya melakukan perbandingan sesuai dengan urutan nilai rata-rata yang tertinggi hingga yang terendah. Tabel 7 dibawah memperlihatkan urutan prioritas ruas jalan strategis Kabupaten Nias, dengan menggunakan metode AHP dan ANP berdasarkan kelima kriteria.

Tabel 7. Urutan Prioritas Berdasarkan Kelima Kriteria

Rank	No. Ruas	Kecamatan	Ruas Jalan	Bobot (%) Berdasarkan Kelima Kriteria	
				AHP	ANP
1	901.001	Gido-Ma'u	Hiliweto-Lasara siwalubanua	23,69	22,25
2	910.001	Sogaeadu-Somolo molo	Sogaeadu-Somolo molo	15,16	13,97
3	902.003	Idanogawo-Ulugawo	Tetehosi-Holi	12,79	12,55
4	902.001	Idanogawo	Tetehosi-Bozihona	11,02	12,16
5	901.008	Gido-Sogaeadu	Somi-Laira	10,66	11,60
6	904.002	Bawolato	Huno-Hou	9,35	9,24
7	904.001	Bawolato	Sindrondro-Tagaule	5,88	6,86
8	908.001	Hiliserangkai-Botomuzoi	Dahadano botombawo-Ononamolo talafu	5,73	5,76
9	903.001	Hiliduho	Hilina'a-Lasara	5,72	5,60



Gambar 7. Grafik Urutan Prioritas Berdasarkan Perbandingan Antara Metode AHP Dengan Metode ANP

Berdasarkan kelima kriteria, Tabel 5 dan Gambar 7 menunjukkan bahwa tidak terdapat perbedaan urutan prioritas berdasarkan dari hasil perbandingan antara metode AHP dengan Metode ANP, dengan ruas jalan Hiliweto-Lasara siwalubanua sebagai prioritas utama. Pada metode AHP ruas tersebut mendapatkan bobot sebesar 23,69%, sedangkan pada metode ANP mendapatkan bobot sebesar 22,25%.

5. Kesimpulan

Berdasarkan perbandingan antara metode *Analytic Hierarchy Process* (AHP) dengan metode *Analytic Hierarchy Process* (AHP) pada ke 9 ruas jalan strategis yang dijadikan sebagai daerah penelitian, maka diperoleh beberapa kesimpulan yaitu:

1. Sesuai dengan hasil wawancara kepada ketiga responden terkait langsung untuk menentukan prioritas penanganan ruas jalan di Kabupaten Nias, maka didapatkan beberapa kriteria antara lain: Akomodasi Kebutuhan Perjalanan, Aksesibilitas, Kondisi Jalan, Konektifitas Wilayah dan Pengembangan Kawasan Strategis. Kelima kriteria terpilih dapat digunakan sebagai referensi untuk menentukan prioritas penanganan ruas jalan strategis terhadap pengembangan wilayah di Kabupaten Nias.
2. Berdasarkan hasil perbandingan antara metode AHP dengan ANP, menunjukkan bahwa terdapat perbedaan pembobotan kriteria pada kedua metode, antara lain :
 - Pada metode AHP terdapat 2 kriteria yang sangat penting yaitu konektifitas wilayah sebesar 32,49% dan aksesibilitas sebesar 32,44% dikarenakan tidak terdapat perbedaan yang signifikan diantara keduanya. Sedangkan pada metode ANP aksesibilitas merupakan kriteria yang sangat berpengaruh sebesar 30,87%.
 - Pada kedua metode tersebut, aksesibilitas sangat perlu dipertimbangkan karena sangat penting dan berpengaruh dalam menentukan prioritas penanganan ruas jalan strategis terhadap pengembangan wilayah di Kabupaten Nias.
3. Dari hasil perbandingan antara metode AHP dengan metode ANP, tidak menunjukkan perbedaan urutan prioritas ruas jalan diantara kedua metode tersebut. Sebagai urutan prioritas penanganan ruas jalan strategis terhadap pengembangan wilayah di Kabupaten Nias yaitu dimulai dari ruas jalan Hiliweto-Lasara siwalubanua, Somolo molo-Sogaeadu, Tetehosi-Holi, Tetehosi-Bozihona, Somi-Laira, Huno-Hou, Sindrondro-Tagaule, Dahadano botombawo-Ononamololo talafu, Hilina'a-Lasara.

6. Daftar Pustaka

- Ascarya, 2005, "Analytic Network Process (ANP) Pendekatan Baru Studi Kualitatif". Makalah disampaikan pada Seminar Intern Program Magister Akuntansi Fakultas Ekonomi di Universitas Trisakti, Jakarta
- Ascarya, 2009, *The Lack of Profit and Lost Sharing Financing in Indonesian Islamic Banks : Revisited. Paper to be presented at 10th Annual International Symposium on the Analytic Hierarchy Process, Katz Graduate School of Business, University of Pittsburgh, Pittsburgh, Pennsylvania, USU, July 29 – August 1*
- Direktorat Jenderal Peraturan Perundang-undangan Republik Indonesia 2006, "Peraturan Pemerintah Nomor 34 tahun 2006 Tentang Jalan", Jakarta
- Harefa, K. Carlan, 2015, "Studi Penentuan Prioritas Penanganan Ruas Jalan Strategis Terhadap Pengembangan Wilayah di Kabupaten Nias"
- Ibrahim Fadly dkk, 2013, "Perbandingan Hasil Pemilihan Trase Jalan Dengan Menggunakan Pendekatan AHP dan ANP (Studi Kasus Pengembangan Jalan Kolektor Propinsi Gorontalo)", Konferensi Nasional Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret 24-25 Oktober 2013, Solo
- Pemerintahan Kabupaten Nias, 2014, "Rencana Tata Ruang Wilayah Kabupaten Nias Tahun 2014-2034", Pemdanas, Gunungsitoli
- Putri I. Dewa, 2011, "Penentuan Skala Prioritas Penanganan Jalan Kabupaten di Kabupaten Bangli" Magister Teknik Sipil Universitas Udayana, Denpasar
- Saaty, T.L., and Vargas, L.G. (1994). *Decision Making in Economic, Political, Social, and Technological Environments with the Analytic Hierarchy Process*, 1st Ed, RWS Publications, Pittsburgh
- Saaty Thomas L, 1993, Pengambilan Keputusan Bagi Para Pemimpin, Proses Hirarki Analitik untuk Pengambilan Keputusan dalam Situasi yang Kompleks, Penerbit PT. Pustaka Binaman Pressindo, Jakarta
- Saaty Thomas L, 1996, "Decision Making with Dependence and Feedback; The Analytic Network Process" RWS Publications, Pittsburgh
- Sahadev Bahadur B, dkk, 2014, "Multi-criteria Evaluation for Rangking Rural Road Projects : Case study of Nepal". *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE)* e-ISSN: 2278-1684,p-ISSN: 2320-334X, Volume 11, Issue 6 Ver. I (Nov- Dec. 2014), PP 53-6

STUDI PARAMETRIK KEKAKUAN, DAKTILITAS DAN KINERJA STRUKTUR SISTEM RANGKA PEMIKUL MOMEN (SRPM) AKIBAT PENGARUH SETBACK DAN DINDING PASANGAN BATA

Rizki Efrida¹⁾, Johannes Tarigan²⁾, Ade Faisal^{2,3)}

¹⁾Alumni Program Studi Magister Teknik Sipil USU

²⁾Staf Pengajar Program Studi Magister Teknik Sipil USU

³⁾Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara

Abstrak

Ilmu pengetahuan dan penerapan teknologi dalam bidang pembangunan konstruksi teknik sipil mengalami perkembangan yang pesat dengan berkembangnya zaman sehingga menuntut kita untuk lebih kreatif terutama dalam hal perancangan struktur. Di Indonesia, tantangan yang dihadapi dalam konstruksi gedung bertingkat adalah adanya resiko akibat gempa. Salah satu metode untuk menganalisis beban gempa adalah analisis *pushover*. Analisis *pushover* merupakan prosedur analisis untuk mengetahui perilaku keruntuhan suatu bangunan terhadap gempa. Penelitian dilakukan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh setback dan dinding bata terhadap struktur ditinjau dari kekakuan, daktilitas dan kinerja berdasarkan hasil kurva kapasitas *pushover*. Struktur bangunan dimodelkan sebagai portal 2 dimensi yang terdiri dari 2 model yaitu SRPM terbuka dan SRPM berdinding, dan di setiap model terdiri dari 4 buah gedung yaitu rangka penuh, setback1, setback2, dan setback 3. Hasil analisis dalam penelitian ini menunjukkan bahwa kontribusi dinding pengisi yang terbuat dari dinding bata mempengaruhi kekakuan lateral struktur, serta dengan dikurangnya setback pada struktur bangunan mengakibatkan nilai kekakuan semakin kecil sehingga nilai daktilitas semakin besar. Nilai kekakuan elastis, kekakuan dinding pasca elastis dan kekakuan pasca elastis yang terbesar ada pada model SRPM berdinding dan yang memiliki nilai terkecil ada pada model SRPM terbuka. Nilai daktilitas pada model SRPM terbuka terbesar 18.22 di struktur setback3 pada zona gempa 4. Pada model SRPM berdinding nilai terbesarnya 15.58 di struktur setback3 pada zona gempa 4. Secara keseluruhan model SRPM terbuka strukturnya masih berada dalam kondisi baik atau aman saat terjadi gempa sedang yaitu zona gempa 4.

Kata Kunci: SRPM terbuka, SRPM berdinding, dinding pengisi, setback, analisis *pushover*, kekakuan, daktilitas.

1. Pendahuluan

Ilmu pengetahuan dan penerapan teknologi dalam bidang pembangunan konstruksi teknik sipil mengalami perkembangan yang pesat dengan berkembangnya zaman sehingga menuntut kita untuk lebih kreatif terutama dalam hal perancangan struktur. Berbagai model bangunan dapat dijumpai, mulai dari bangunan yang sederhana hingga bangunan dengan geometrik yang rumit. Dari berbagai macam geometrik bangunan tersebut kita dapat membagi kategori bangunan menjadi 2 kategori, yaitu: bangunan beraturan dan bangunan tidak beraturan. Adapun bentuk bangunan tidak beraturan yaitu, bangunan setback dan bangunan tingkat lunak (*soft storey*).

Bata merah merupakan salah satu material yang sering digunakan sebagai dinding pengisi pada bangunan dan bata merah memiliki harga yang ekonomis, mudah didapat dan tahan terhadap cuaca.

Dinding pengisi pada umumnya hanya diperhitungkan sebagai beban yang disalurkan ke struktur sehingga mengakibatkan pengaruh kekuatan dan kekakuan dinding pengisi tidak diperhitungkan dalam perencanaan bangunan. Dinding pengisi memberikan sumbangan kekakuan yang cukup berarti pada struktur bangunan terutama saat menahan gaya lateral seperti gempa.

Terlepas dari berbagai bentuk bangunan yang tidak beraturan dan permasalahan gempa yang terjadi, maka tugas utama dari para ahli untuk menciptakan suatu tatanan baru mengenai perancangan bangunan tahan gempa yang lebih baik lagi. Hal tersebut tentunya tidak hanya bertujuan untuk menciptakan struktur bangunan yang lebih kuat dan tahan gempa, tetapi juga bertujuan untuk memberikan keamanan dan kenyamanan bagi setiap orang yang ada dan tinggal di dalam bangunan tersebut. Salah satu metode analisis untuk gedung bertingkat terhadap pengaruh gempa adalah dengan analisis *pushover*.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh setback dan dinding bata terhadap struktur ditinjau dari kekakuan berdasarkan hasil kurva kapasitas *pushover*, seberapa besar pengaruh setback dan dinding bata terhadap struktur ditinjau dari daktilitas berdasarkan hasil kurva kapasitas *pushover* dan membandingkan kinerja struktur di setiap pemodelan struktur.

2. Tinjauan Pustaka

2.1 Bangunan Setback

Struktur bangunan setback adalah bangunan apabila bagian atas bangunan yang bersangkutan menjorok kedalam. Bangunan setback baik dalam satu arah maupun dua arah merupakan termasuk dalam bangunan

ireguler, karena pusat massa tidak berimpit secara vertikal. Massa dan kekakuan baik ke arah horizontal maupun ke arah vertikal tidak terdistribusi secara merata.

2.2 Dinding Pengisi

Dinding pengisi yang digunakan dalam penelitian ini berupa dinding bata merah, karena banyak digunakan pada bangunan-bangunan di wilayah negara Indonesia. Hal ini dikarenakan bata merah memiliki harga yang ekonomis, mudah didapat dan tahan terhadap cuaca.

Dinding pengisi bata biasa digunakan pada struktur bangunan beton bertulang ataupun struktur bangunan baja. Dinding dapat menutupi tembok bangunan secara keseluruhan dan ada juga yang memiliki bukaan untuk pintu dan jendela. Namun dalam perencanaan struktur bangunan, dinding pengisi hanya diperlukan sebagai sekat atau partisi tanpa fungsi struktural. Padahal apabila terjadi gempa dinding pengisi dapat mempengaruhi kekakuan dan kekuatan struktur yang efeknya kadang tidak menguntungkan pada struktur tersebut sehingga dapat menimbulkan kerusakan (Dewobroto, 2005).

2.3 Metoda Perencanaan Umum

2.3.1 Metoda Dasar

Portal-isi tunggal yang dibebani secara diagonal sampai tahap puncak ternyata tidak mengalami mekanisme keruntuhan plastis, tetapi hanya mengalami lentur yang besarnya tidak terlalu signifikan yaitu pada sudut yang tidak dibebani. Selanjutnya diketahui bahwa perilaku portal-isi yang terdiri dari panel ganda hampir sama dan disimpulkan bahwa perilaku portal-isi dengan panel tunggal sama dengan perilaku portal-isi dengan banyak panel seperti yang terdapat pada gedung bertingkat. Konklusi yang dapat diambil bahwa apabila properti mekanik dinding pengisi diperoleh maka selanjutnya dapat dimodelkan sebagai batang diagonal tekan pengganti dan dianalisis seperti struktur rangka umumnya.

2.3.2 Diagonal Tekan Ekuivalen

Diakitkan dengan struktur portal bertingkat dengan dinding pengisi, M_j dapat dihilangkan dari Pers. (2.13), sehingga daya dukung horizontal dari portal isi adalah

$$H = \sigma_c t (1 - \alpha_c) \alpha_c h + \tau_b t \alpha_b l + \left(\frac{2M_{pj}}{h} \right) \quad (2.1)$$

Term ke-1 dan ke-2 adalah tahanan dinding pengisi, lalu term ke-3 adalah tahanan portal yang dibebani sampai kondisi batas. Dengan demikian bagian dinding pengisi dapat digantikan dengan tahanan penopang ekuivalen sebagai berikut:

$$H = R \cos \theta + \left(\frac{2M_{pj}}{h} \right) \quad (2.2)$$

Sedangkan R tergantung dari tiga macam keruntuhan yang terjadi dan dipilih yang paling kecil (menentukan).

a. Keruntuhan Sudut / Ujung Diagonal (CC = *Corner Crushing*)

Mode keruntuhan sudut atau ujung diagonal (CC = *corner crushing*) maka tahanan diagonal dapat dihitung dari:

$$R = R_{CC} = \frac{(1 - \alpha_c) \alpha_c t h \sigma_c + \alpha_b t l \tau_b}{\cos \theta} \quad (2.3)$$

b. Keruntuhan Tekan Diagonal (DC = *Diagonal Compression*)

Dinding pengisi yang langsing dapat mengalami keruntuhan tekan diagonal ditengah panel. Kehancuran tersebut akibat ketidak-stabilan dinding pengisi akibat timbulnya diagonal tekan yang besarnya dapat dihitung dari:

$$R = R_{DC} = \frac{0.5h'f'_a}{\cos \theta} \quad (2.4)$$

Kuat tekan aktual dinding masonri tergantung dari arah tegangan tetapi pendekatan dengan kuat prisma f'_m dari ACI 530-88 dapat digunakan sehingga

$$f_a = f_c \left[1 - \left(\frac{l_{eff}}{40t} \right)^2 \right], \text{ dimana } f_c = 0.6\phi \cdot f'_m \text{ dengan } \phi = 0.65 \quad (2.5)$$

Panjang efektif pita diagonal tergantung dari panjang bidang kontak dan geometri panel pengisi dan secara konservatif dapat diambil sebagai berikut:

$$l_{eff} = \sqrt{(1 - \alpha_c)^2 h'^2 + l'^2} \quad (2.6)$$

c. Keruntuhan Geser (S = Shear)

Dinding pengisi dari masonri dapat mengalami retak horizontal sepanjang panel akibat gaya geser yang berlebihan. Gaya geser horizontal total yang menyebabkan keruntuhan (S) dapat dihitung sebagai berikut:

$$H_s = \frac{\gamma v l'}{1 - 0.45 \tan \theta'} < 0.83 \gamma l' \quad (2.7)$$

Gaya diagonal tekan yang berkesesuaian dengan gaya horizontal tersebut adalah

$$R = R_s = \frac{\gamma v l'}{(1 - 0.45 \tan \theta') \tan \theta} < \frac{0.83 \gamma l'}{\cos \theta} \quad (2.8)$$

Dimana v diambil 0.25 MPa dan 0.41 MPa masing-masing untuk dinding masonri tanpa grouting dan dengan grouting, sedangkan $\tan \theta' = (a - \alpha_c) h' / l'$

2.4 Diagonal Tekan Ekuivalen (*Equivalent Diagonal Strut*) Berdasarkan FEMA 273

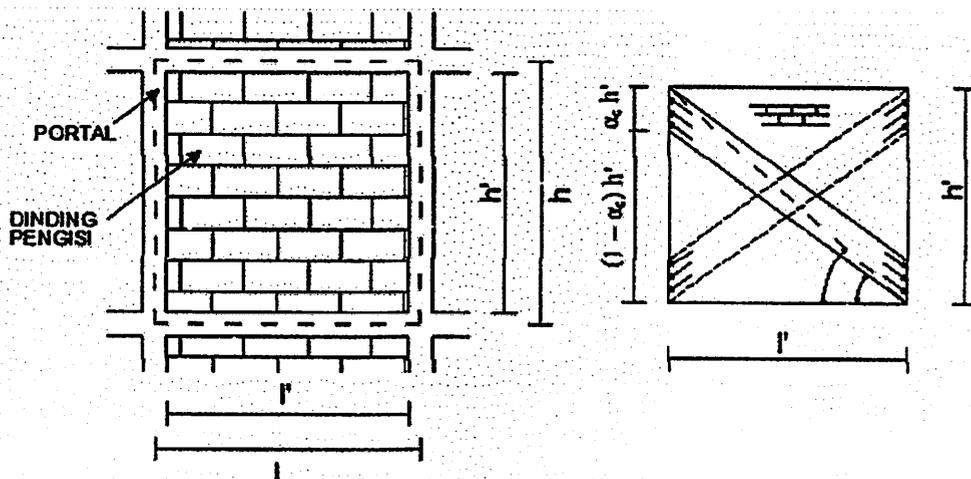
Lebar efektif *diagonal compression strut* yang digunakan untuk menganalisis kekuatan dan kekakuan dinding pengisi bata berdasarkan model FEMA 273 dapat dihitung dengan rumus:

$$a = 0.175 (\lambda_1 h_{col})^{-0.4} r_{inf} \quad (2.9)$$

$$\lambda_1 = \left[\frac{E_{me} t_{inf} \sin 2\theta}{14 E_{fe} I_{col} h_{inf}} \right]^{\frac{1}{4}} \quad (2.10)$$

dimana:

- h_{col} = tinggi kolom diantara as-balok
- h_{inf} = tinggi dinding portal
- E_{fe} = modulus elastisitas material portal
- E_{me} = modulus elastisitas material dinding pengisi
- I_{col} = inersia penampang kolom
- L_{inf} = panjang dinding pengisi
- r_{inf} = panjang diagonal dinding pengisi
- t_{inf} = tebal dinding pengisi
- θ = sudut yang dibentuk antara tinggi dan panjang dinding pengisi
- λ_1 = koefisien yang digunakan untuk menentukan lebar efektif *strut*
- a = lebar efektif *strut*

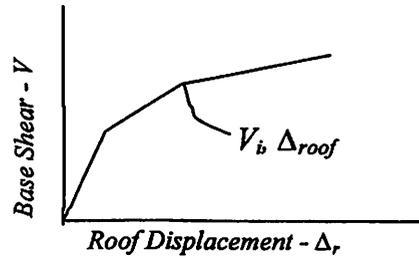


Gambar 2.1 a) Portal isi; b) Penopang diagonal bolak-blik (Saneinejad dan Hobbs,1995)

2.5 Prosedur Perhitungan Analisa *Pushover*

Analisa statik nonlinier merupakan prosedur analisa untuk mengetahui perilaku keruntuhan dan kapasitas dari suatu struktur secara keseluruhan, mulai dari kondisi elastis, plastis, hingga elemen-elemen struktur mengalami keruntuhan akibat beban gempa. Analisis ini dilakukan dengan cara memberikan pola beban lateral statik pada struktur yang nilainya terus ditingkatkan secara bertahap hingga mencapai target perpindahan

(displacement) dari suatu titik acuan. Pada analisis ini yang menjadi titik acuan adalah titik pada lantai atap dan besarnya deformasi maksimum yang boleh terjadi pada struktur ditetapkan terlebih dahulu oleh perencana.



Kurva kapasitas pushover

Δ_{roof} : simpangan atap

V_i : gaya geser dasar

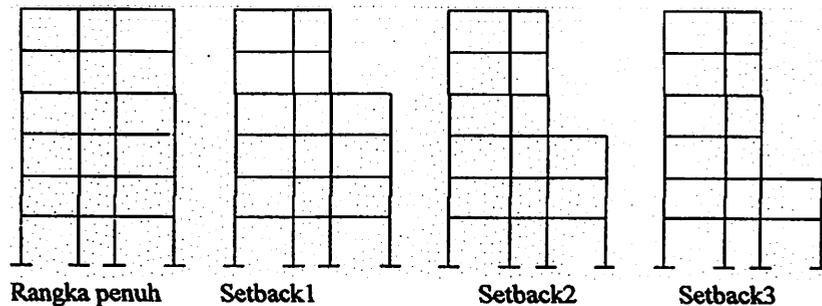
W : berat total

Gambar 2.3 Kurva kapasitas

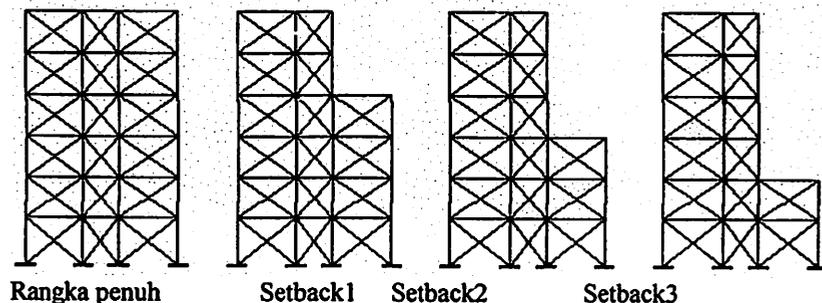
Dari kurva *pushover* dapat ditentukan parameter daktilitas, kekakuan, dan kekuatan. Parameter tersebut mencerminkan perilaku struktur akibat beban lateral (gempa) yang terjadi pada struktur.

3. Metodologi

Pada penelitian ini semua model struktur terdiri dari 6 lantai dan 3 bentang termasuk struktur rangka penuh, setback1, setback2 dan setback3 (Gambar 3.1 dan Gambar 3.2). Tinggi pada lantai pertama 4 m untuk semua model, sedangkan pada lantai yang lain 3.5 m. Masing-masing panjang bentang 5 m kecuali dibagian tengah 3 m. Perletakan diasumsikan jepit. Struktur diasumsikan terletak di atas tanah sedang dan berada di zona gempa sedang atau zona 4. Peruntukan bangunan diasumsikan sebagai perhotelan. Untuk *preliminary design* ditetapkan dimensi balok 40x60 cm, kolom 60x60 cm, dan tebal plat lantai/atap 12 cm.



Gambar 3.1 Pemodelan struktur SRPM terbuka

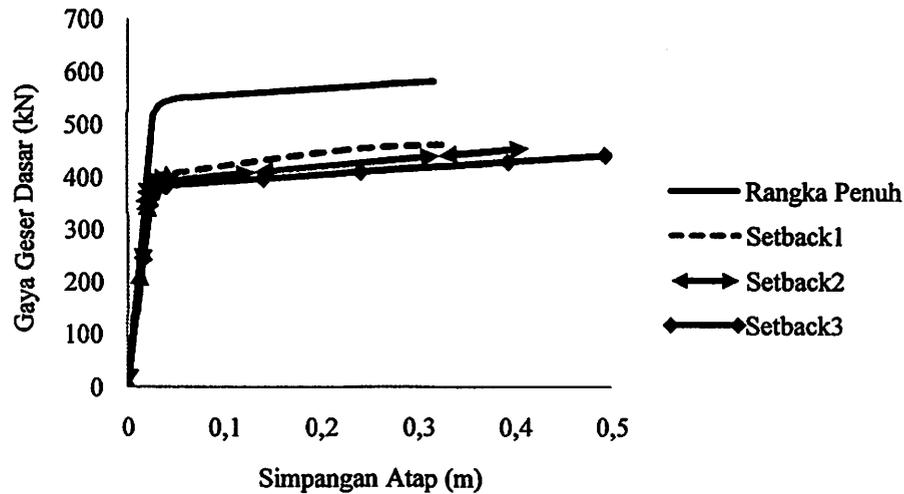


Gambar 3.2 Pemodelan struktur SRPM berdinding

4. Evaluasi Hasil

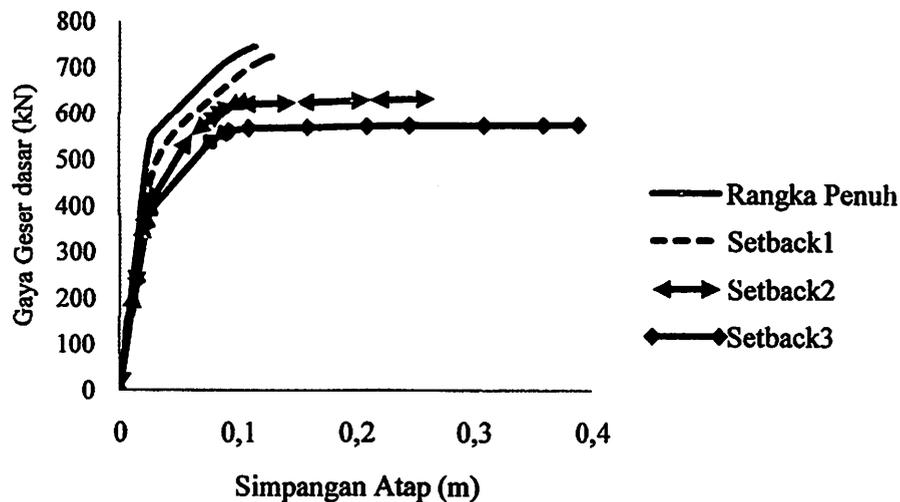
4.1 Hasil Analisis Kurva Kapasitas ATC-40

Berikut ini akan diuraikan beberapa kurva kapasitas dari hubungan antara struktur SRPM terbuka dan SRPM berdinding seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.1 dan Gambar 4.2.



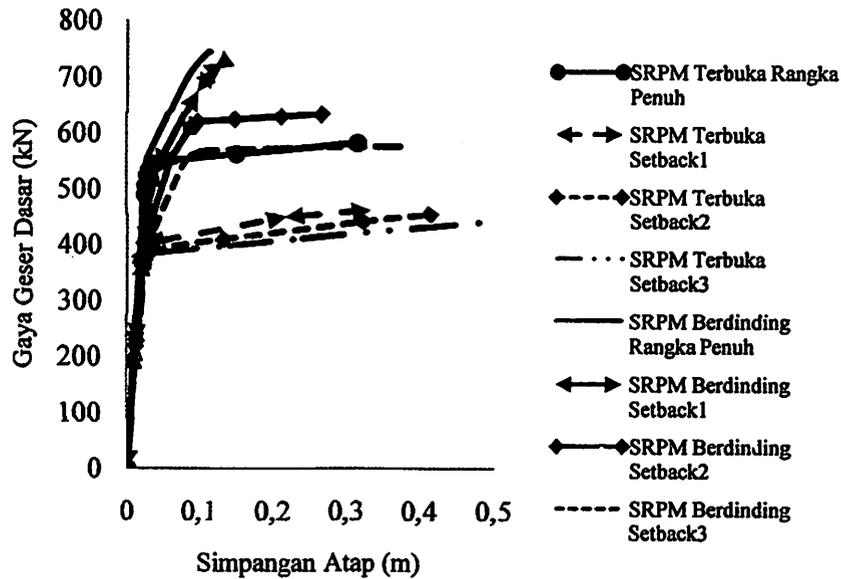
Gambar 4.1 Perbandingan kurva kapasitas SRPM terbuka

Gambar 4.1 menunjukkan bahwa struktur rangka penuh memiliki kapasitas terbesar dalam menerima beban gempa dibandingkan struktur setback1, setback2, dan setback3, namun memiliki kemampuan berdeformasi pasca leleh lebih kecil dibanding struktur setback3. Struktur setback 3 memiliki kemampuan berdeformasi terbesar diantara struktur yang lain, namun dalam menerima beban gempa memiliki kapasitas struktur yang kecil. Struktur setback2 memiliki kapasitas yang lebih besar dalam menerima beban gempa dibandingkan struktur setback3 namun lebih kecil dibandingkan struktur setback1. Sifat daktail dari perilaku struktur SRPM dimana struktur akan cenderung berdeformasi lebih besar seiring dengan penurunan kapasitas kekuatan dalam menahan gaya lateral.



Gambar 4.2 Perbandingan kurva kapasitas SRPM berdinding

Gambar 4.2 menunjukkan bahwa struktur rangka penuh memiliki kapasitas terbesar dalam menerima beban gempa dibandingkan struktur setback1, setback2, dan setback3, namun struktur rangka penuh memiliki kemampuan berdeformasi pasca leleh lebih kecil dibandingkan dengan setback3. Struktur setback3 memiliki kemampuan berdeformasi terbesar diantara struktur yang lain dan lebih kecil dalam menerima beban gempa. Kapasitas struktur setback2 dalam menerima beban gempa lebih besar dibandingkan struktur setback3 namun lebih kecil dibandingkan setback1. Sifat daktail dari perilaku struktur SRPM dimana struktur akan cenderung berdeformasi lebih besar seiring dengan penurunan kapasitas kekuatan dalam menahan gaya lateral.

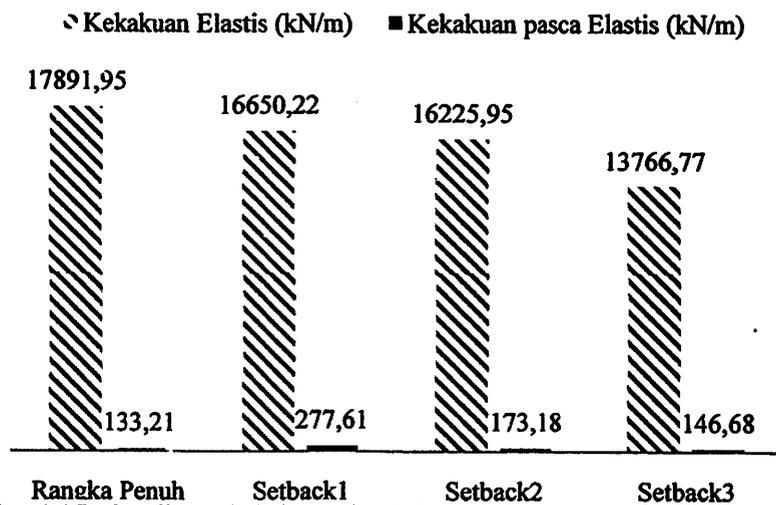


Gambar 4.3 Perbandingan kurva kapasitas dua model SRPM

Gambar 4.3 menunjukkan bahwa dari kedua model struktur bangunan yang memiliki kapasitas terbesar dalam menerima beban gempa atau gaya lateral ada pada SRPM berdinding. Hal ini terjadi karena adanya pengaruh dinding bata pada SRPM berdinding yang menyebabkan struktur bangunan menjadi lebih kaku sehingga lebih besar dalam menerima gaya lateral dan berdeformasi lebih kecil.

4.2 Kekakuan

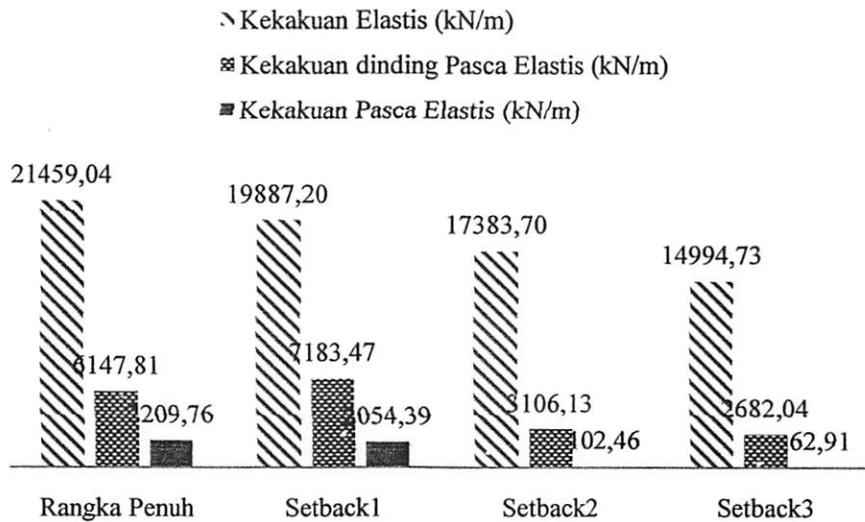
Berikut ini grafik perbandingan kekakuan elastis, kekakuan dinding pasca elastis dan kekakuan pasca elastis. Kekakuan elastis dihitung berdasarkan gaya geser dasar yang menyebabkan leleh pertama pada elemen struktur dengan perpindahan atap saat terjadi leleh pertama pada elemen struktur.



Gambar 4.4 Perbandingan kekakuan elastis dan kekakuan pasca elastis SRPMterbuka

Berdasarkan Gambar 4.4 dapat dianalisis bahwa:

- Struktur rangka penuh memiliki kekakuan elastis lebih besar dibandingkan struktur setback1, setback 2 dan setback3.
- Persentase terbesar perbedaan kekakuan elastis struktur setback3 adalah mencapai 23.06% lebih kecil terhadap struktur rangka penuh.
- Struktur rangka penuh memiliki kekakuan pasca elastis lebih kecil dibandingkan struktur setback1, setback2 dan setback3.
- Persentase terbesar perbedaan kekakuan pasca elastis struktur setback1 adalah mencapai 60.42% lebih besar terhadap struktur rangka penuh.



Gambar 4.5 Perbandingan kekakuan elastis, kekakuan dinding pasca elastis dan kekakuan pasca elastis SRPM berdinding

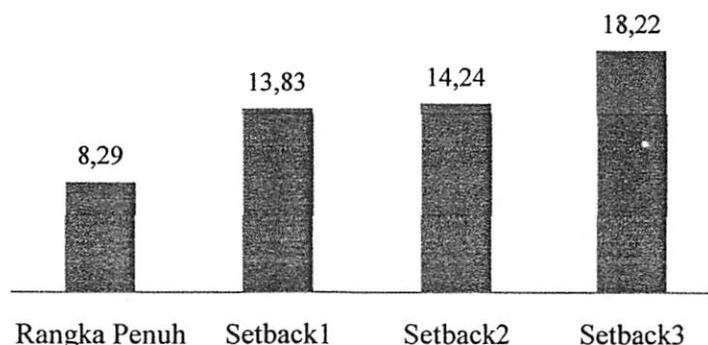
Berdasarkan Gambar 4.5 dapat dianalisis bahwa:

- Struktur rangka penuh memiliki kekakuan elastis lebih besar dibandingkan struktur setback1, setback 2 dan setback3.
- Persentase terbesar perbedaan kekakuan elastis struktur setback3 adalah mencapai 30.12% lebih kecil terhadap struktur rangka penuh.
- Struktur setback1 memiliki kekakuan dinding pasca elastis lebih besar dibandingkan struktur rangka penuh, setback2 dan setback3.
- Persentase terbesar perbedaan kekakuan dinding pasca elastis struktur setback3 adalah mencapai 56.37% lebih kecil terhadap struktur rangka penuh.
- Struktur rangka penuh memiliki kekakuan pasca elastis lebih besar dibandingkan struktur setback1, setback 2 dan setback3.
- Persentase terbesar perbedaan kekakuan pasca elastis struktur setback3 adalah mencapai 97.15% lebih kecil terhadap struktur rangka penuh.

Dari kedua model diatas, nilai kekakuan elastis yang terbesar ada pada model SRPM berdinding dan yang memiliki nilai terkecil ada pada model SRPM terbuka. Dari analisis ini dapat diambil kesimpulan bahwa keberadaan dinding bata bisa mengakibatkan struktur menjadi lebih kaku dan menyebabkan menurunnya daktilitas struktur serta dengan semakin dikurangnya setback pada bangunan akan menghasilkan kekakuan yang turun atau kecil.

4.3 Daktilitas

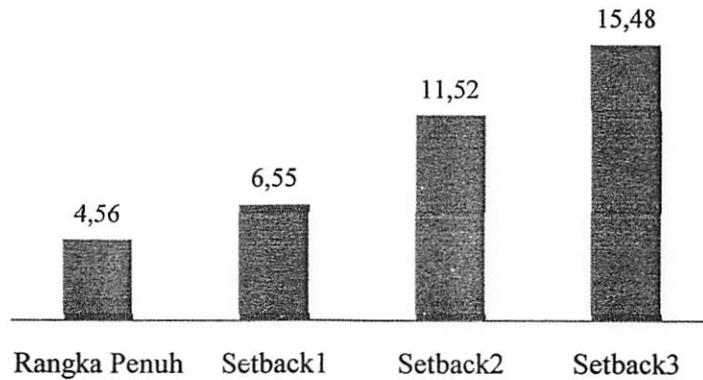
Besarnya faktor daktilitas (μ) diperoleh dari perbandingan perpindahan atap saat mencapai batas ultimit dengan perpindahan atap saat terjadi leleh pertama (sendi plastis) pada elemen struktur. Gambar berikut ini menunjukkan daktilitas struktur pada semua model untuk zona gempa 4 (gempa sedang).



Gambar 4.6 Perbandingan daktilitas struktur SRPM terbuka

Berdasarkan Gambar 4.6 dapat dianalisis bahwa:

- Struktur setback3 memiliki daktilitas yang lebih besar dari struktur rangka penuh, setback1, dan setback2.
- Persentase terbesar perbedaan daktilitas struktur setback3 adalah mencapai 119.82% lebih besar terhadap struktur rangka penuh.



Gambar 4.7 Perbandingan daktilitas struktur SRPM berdinding pada zona 4

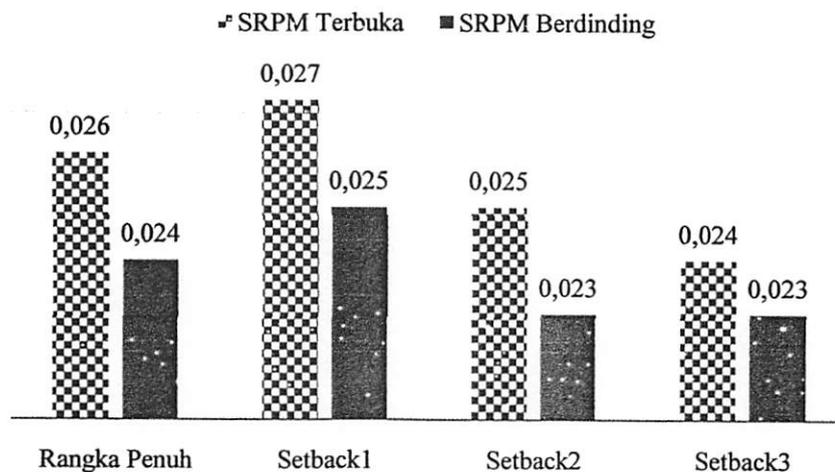
Berdasarkan Gambar 4.7 dapat dianalisis bahwa:

- Struktur setback3 memiliki daktilitas yang lebih besar dari struktur rangka penuh, setback1, dan setback2.
- Persentase terbesar perbedaan daktilitas struktur setback3 adalah mencapai 239.47% lebih besar terhadap struktur rangka penuh.

Dari kedua model diatas, nilai daktilitas yang terbesar ada pada model SRPM terbuka dibandingkan model SRPM berdinding. Dari analisis ini dapat diambil kesimpulan bahwa keberadaan dinding bata bisa mengakibatkan menurunnya daktilitas struktur dan menyebabkan struktur menjadi lebih kaku serta dengan semakin dikurangnya setback pada bangunan akan menghasilkan daktilitas yang tinggi atau besar.

4.4 Simpangan Target

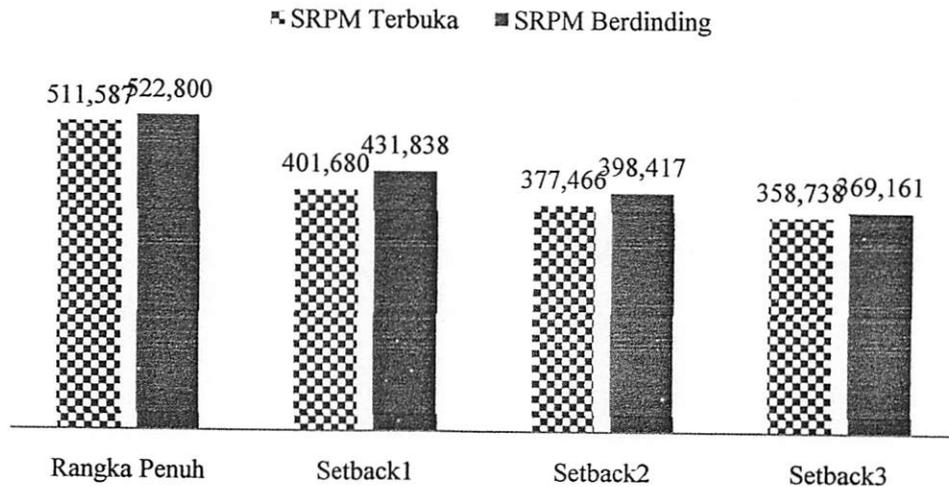
Simpangan target atau titik kinerja merupakan nilai yang diperoleh dari hasil kurva pushover yang dipengaruhi akibat adanya pembebanan yang bekerja secara lateral. Secara keseluruhan pada gempa zona 4 (sedang) model struktur SRPM terbuka nilai simpangan target lebih besar dari model struktur SRPM berdinding. Hal ini menunjukkan bahwa struktur SRPM terbuka dapat berdeformasi lebih baik dari pada struktur dengan dinding bata, seperti terlihat pada Gambar 4.8.



Gambar 4.8 Perbandingan simpangan target

4.5 Gaya Geser Dasar

Struktur dengan dinding bata mampu menerima gaya geser dasar lebih baik daripada struktur SRPM terbuka. Hal ini ditunjukkan dengan besarnya nilai gaya geser dasar pada SRPM berdinding, diikuti dengan SRPM tingkat lunak dan diakhiri pada SRPM terbuka, seperti terlihat pada Gambar 4.23 dan Gambar 4.24.



Gambar 4.9 Perbandingan gaya geser

Berdasarkan hasil titik kinerja menurut metoda spektrum kapasitas (ATC-40) pada saat terjadi gempa sedang (zona 4), dapat dianalisa sebagai berikut:

- a. Model SRPM terbuka pada struktur rangka penuh, setback1, setback2 dan setback3 level kinerjanya masih berada pada daerah B to IO, yang berarti bahwa struktur masih berada dalam kondisi baik.
- b. Model SRPM berdinding pada struktur rangka penuh level kinerjanya berada pada daerah LS to CP yang berarti struktur sudah mulai mengalami kerusakan kecil dan keselamatan pengguna masih terjamin saat terjadi gempa. Pada struktur setback1 berada pada daerah IO to LS yang menunjukkan struktur masih berada dalam kondisi baik. Struktur setback2 dan setback3 berada pada daerah B to IO yang berarti struktur masih dalam kondisi baik.

5. Kesimpulan

Dari hasil penelitian ini diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Nilai Kekakuan
 - a. Kekakuan elastis
Pada model SRPM terbuka nilai kekakuan elastis terbesar 17891.95 kN/m di struktur rangka penuh dan pada model SRPM berdinding nilainya 21459.04 kN/m di struktur rangka penuh.
 - b. Kekakuan dinding pasca elastis
Pada model SRPM berdinding nilai kekakuan dinding pasca elastis terbesar 7183.47 kN/m di struktur setback1.
 - c. Kekakuan pasca elastis
Pada model SRPM terbuka nilai kekakuan pasca elastis terbesar 277.61 kN/m di struktur setback1 dan pada model SRPM berdinding nilainya 2209.76 kN/m di struktur rangka penuh.
2. Dari analisis ini dapat diambil kesimpulan bahwa keberadaan dinding bata bisa mengakibatkan struktur menjadi lebih kaku dan menyebabkan menurunnya daktilitas struktur serta dengan semakin dikurangnya setback pada bangunan struktur mengakibatkan kekakuan semakin turun atau kecil.
3. Nilai daktilitas pada model SRPM terbuka terbesar 18.22 di struktur setback3 dan pada model SRPM berdinding nilai terbesarnya 15.48 di struktur. Dari analisis ini dapat diambil kesimpulan bahwa keberadaan dinding bata bisa mengakibatkan menurunnya daktilitas struktur dan menyebabkan struktur menjadi lebih kaku serta dengan semakin dikurangnya setback pada bangunan struktur mengakibatkan daktilitas semakin naik atau besar.
4. Secara keseluruhan model SRPM terbuka strukturnya masih berada dalam kondisi baik atau aman saat terjadi gempa sedang yaitu pada di zona gempa 4.

DAFTAR PUSTAKA

- Aryanto, A. 2008. *Kinerja Portal Beton Bertulang dengan Dinding Pengisi Bata Ringan terhadap Beban Gempa*. Tesis Magister, Institusi Teknologi Bandung, Bandung.
- Asteris, P. G. 2003. Lateral stiffness of brick masonry infilled planed frame. *Journal of Struktural Engineering*, ASCE, 129(8), 1071-1079.
- ATC-40 (1996). *Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings*. Report SSC 96-01, California Seismic Safety Commission, Penerbit: Applied Technology Council, Redwood City.
- Badan Standarisasi Nasional. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan Gedung (SNI 03-1729-2002.)*

- Berny, A. E. R. (2013). *Perhitungan Inter Story Drift Pada Bangunan Tanpa Set-back dan Dengan Set-back Akibat Gempa*. Jurnal Sipil Statik, Vol. 1.
- Carvalho, G., Rita, B., & Carlos, B. (2012). *Nonlinear Static and Dynamic Analyses of Reinforced Concrete Buildings-Comparison of Different Modelling Approaches*. Portugal.
- Chopra, A. (2001). *Dynamics of Structures: Theory and Applications to Earthquake Engineering*. Penerbit: Prentice Hall, New York.
- Davis, R., dkk. (2004). *Effect of Infill Stiffness on Seismic Performance of Multi-Storey RC Framed Building In India*. World Conference on Earthquake Engineering. Canada.
- Dewobroto, W. (2005). *Analisa Inelastis Portal-Dinding Pengisi dengan "Equivalent Diagonal Strut"*. Jurnal Teknik Sipil, Vo; 12.
- Dewobroto, W. (2005). *Evaluasi Kinerja Struktur Baja Tahan Gempa dengan Analisa Pushover*. Universitas Pelita Harapan.
- Faisal, A. (2013). *Pemodelan Getaran Gempa Struktur Beton untuk Analisis Tidak Linier*. Seminar Nasional IV HASTAG, Medan.
- Hejazil, F., dkk.(2011). *Effect of Soft Story on Structural Response of High Rise Buildings*. Material Science and Engineering.
- Mehrabi, A.B., Shing, P.B., Schuller, M.P., Noland, J.L. (1996). *Experimental evaluation of masonry-infilled RC frames*. Journal of Structural Engineering, ASCE, 122(3), 228-237.
- McGuire, W., Ziemian, R. D., & Gallagher, R. H. (1999), *Matrix structural analysis*, with MASTAN2, Penerbit: John Wiley & Sons, New York.
- Park, R. dan Paulay, T. (1976). *Reinforced Concrete Structures*, Penerbit: John Wiley and Sons, New York.
- Park, Y. J., Ang, A. H-S., and Wen, Y.K. (1987), *Damage-Limiting Aseismic Design of Buildings, Earthquake Spectra*, 3(1), hal.: 1-26.
- Paulay, T. dan Priestley, M.J.N. (1992). *Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings*, Penerbit: ohn Wiley and Sons, New York.
- Priestley, M.J.N., Seible, F., Calvi, M.G. (1995). *Seismic Design and Retrofit of Bridges*, Penerbit: John Wiley and Sons, New York.
- Saneinejad, A. dan Hobbs, B. 1995. *Inelastic design of infilled frames*. *Journal of Structural Engineering*, ASCE, 121(4), 634-650.
- Sitompul, M. (2015). *Studi Parametrik Kinerja Dinding Pengisi Bata Merah pada Struktur Beton Bertulang Akibat Beban Gempa*. Tesis, Program Studi Teknik Sipil. Universitas Sumatera Utara.
- Sudarman, dkk.(2014). *Analisis Pushover pada Struktur gedung Bertingkat Tipe Podium*. Jurnal Sipil Statik. Universitas Sam Ratulangi.
- Wibisono, C. dan Lie, H. (2008). *Modal Pushover Analysis Struktur Gedung Beton Bertulang di Bawah Pengaruh Beban Gempa Kuat*. Laporan Tugas Akhir, Program Studi Teknik Sipil, ITB, Bandung.
- Widodo.(2012). *Seismologi Teknik & Rekayasa Kegempaan*. Jogjakarta: Pustaka Pelajar.

KAJIAN EKSPERIMENTAL PEMANFAATAN LIMBAH ABU TERBANG (*FLY ASH*) PLTU LABUHAN ANGIN SIBOLGA SEBAGAI CAMPURAN BETON

Julianto Lubis¹⁾, Johannes Tarigan²⁾, Fatimah³⁾

¹⁾Alumni Program Studi Magister Teknik Sipil USU

²⁾Staf Pengajar Program Studi Magister Teknik Sipil USU

³⁾ Staf Pengajar Program Studi Magister Teknik Kimia USU

Abstrak

Abu terbang (*fly ash*) PLTU Labuhan Angin Sibolga dalam penelitian ini telah digunakan sebanyak 66,096 kg sebagai campuran beton dari produksi 40 ton setiap harinya. Parameter perubah dalam penelitian ini untuk *fly ash* sebagai substitusi pengganti semen dan sebagai material tambahan dengan *fly ash* sebagai substitusi 0%, 40% dan 80% dan semen 100%, 60% dan 20%, dan *fly ash* sebagai material tambahan dengan komposisi penambahan *fly ash* 20% dan 40% dengan semen 100%. Parameter uji yang dilakukan meliputi uji komposisi unsur kimia *fly ash*, uji kuat tekan beton dan massa jenis beton dengan umur beton 28 hari dan uji Toxicity Characteristic Leaching Procedure (TCLP) terhadap mobilitas Vanadium (V) dan Cobalt (Co). Berdasarkan analisa X-Ray Fluorescence (XRF), *fly ash* memiliki kadar $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{FeO}_3$ sebesar 81,86 % yang mengindikasikan bahwa *fly ash* kategori kelas F dan telah memenuhi syarat baku mutu sebagai campuran beton dan kandungan logam berat yang melebihi standar Kementerian Lingkungan Hidup Republik Indonesia hanya Co dan V. Untuk campuran beton dengan substitusi *fly ash* 0% didapat nilai kuat tekan beton = 347,62 kg/cm² dapat digunakan untuk jalan, substitusi *fly ash* 40% nilai kuat tekan beton = 183,38 kg/cm² dapat digunakan untuk parkir / paving block, substitusi *fly ash* 80% nilai kuat tekan beton = 39,85 kg/cm² dapat digunakan untuk dinding rumah. Untuk campuran beton dimana *fly ash* digunakan sebagai material tambahan dengan variasi penambahan *fly ash* 20% didapat kuat tekan beton = 393,2 kg/cm², penambahan *fly ash* 40% nilai kuat tekan = 438,2 kg/cm², keduanya dapat digunakan untuk keperluan jalan. Hasil solidifikasi logam berat Co terlepas yang terbesar terdapat pada substitusi *fly ash* 40% pada rendaman ke-7 dengan jumlah konsentrasi sebesar 2 ppb, sedangkan logam berat V terlepas yang terbesar terdapat pada substitusi *fly ash* 80% pada rendaman ke-28 dengan jumlah konsentrasi sebesar 47 ppb, dapat disimpulkan bahwa kedua logam berat tersebut masih dalam ambang batas yang ditetapkan.

Kata kunci: *fly ash*, Kuat tekan beton, solidifikasi/stabilisasi, Kobalt (Co) dan Vanadium (V).

1. Pendahuluan

Penggunaan material abu terbang (*fly ash*) sebagai material campuran beton didasari pada sifat material yang memiliki kemiripan dengan sifat semen. Kemiripan sifat ini dapat dilihat dari dua sifat utama, yaitu sifat kimiawi dan juga sifat fisik.

Beton merupakan bahan bangunan yang dibentuk dengan pengerasan campuran semen, air, agregat halus, agregat kasar (batu pecah atau kerikil) dan juga dengan campuran bahan tambahan lainnya seperti *fly ash*. Beton sebagai bahan bangunan banyak digunakan diberbagai jenis konstruksi, dimana sifatnya yang mudah dibentuk, mudah diperoleh, kedap air, dan juga relatif murah dibandingkan dengan jenis konstruksi lainnya. Sebagai bahan pembentuk beton yaitu agregat halus, agregat kasar, semen, air dan juga bahan tambahan lainnya seperti *fly ash* sangat tergantung dari takaran bahan yang digunakan sehingga akan dapat menghasilkan kekuatan beton dengan berbagai mutu yang diinginkan.

Keterbatasan tingkat kehalusan butiran semen dan juga semakin mahalnya harga semen dipasaran menjadi persoalan utama dalam menghasilkan beton. Dalam mengatasi hal ini, berbagai penelitian dilakukan untuk mencari solusi pengurangan penggunaan semen sebagai pencampur beton dengan pemakaian material *fly ash* sebagai bahan tambahan maupun sebagai substitusi semen.

Keberadaan *fly ash* dari hasil pembakaran batubara pada PLTU Labuhan Angin Sibolga sangat signifikan digunakan sebagai substitusi pengganti semen maupun sebagai material tambahan dalam campuran beton.

Peraturan Menteri Lingkungan Hidup no. 2 Tahun 2008 tentang Pemanfaatan Limbah Bahan Beracun (Limbah B3), dimana semua produk sampingan industri/hasil pertambangan batubara tergolong kedalam limbah B3.

Salah satu cara pengolahan limbah B3 adalah dengan melakukan daur ulang (*recycle*) limbah B3 dengan metode solidifikasi/stabilisasi (S/S) yang mana proses Solidifikasi/Stabilisasi (S/S) dapat digunakan untuk menstabilkan logam berat dalam campuran beton yang terkontaminasi dengan material semen sebagai pengikat limbah logam berat tersebut.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui besar kandungan dan pengaruh oksida $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ dalam *fly ash*, mengetahui unsur logam berat didalam *fly ash* yang melebihi ambang batas yang disyaratkan oleh

Kementerian Lingkungan Hidup Republik Indonesia, mengetahui persentase kumulatif ukuran butiran *fly ash*, merekomendasikan penggunaan *fly ash* pada campuran beton, mengetahui jumlah konsentrasi logam berat Kobalt (Co) dan Vanadium (V) setelah dilakukan proses solidifikasi dimana *fly ash* dijadikan sebagai substitusi pengganti semen dalam campuran beton apakah kedua logam berat tersebut masih dalam ambang batas yang ditetapkan sehingga dapat diketahui dampak yang ditimbulkan terhadap lingkungan setelah dilakukan proses rendaman selama 7, 14 dan 28 hari dan terakhir mengetahui apakah campuran beton dengan menggunakan *fly ash* sebagai substitusi semen baik digunakan pada kondisi dimana beton terendam oleh air.

2. Tinjauan Pustaka

2.1 Abu terbang (*fly ash*)

Menurut Nugroho (2003) *fly ash* adalah debu yang dihasilkan dari sisa pembakaran/limbah industri Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) berbahan bakar batubara. Sebagai limbah industri *fly ash* mempunyai partikel-partikel yang cukup halus yang dialirkan dari ruang pembakaran melalui ketel berupa semburan asap, *Fly ash* banyak digunakan sebagai bahan campuran beton. *Fly-ash* tidak memiliki kemampuan mengikat seperti halnya semen. Tetapi dengan kehadiran air dan didukung oleh ukuran partikelnya yang cukup halus, unsure oksida silika yang dikandung *fly ash* akan bereaksi secara kimia dengan kalsium hidroksida yang terbentuk dari proses hidrasi semen dan menghasilkan zat yang memiliki kemampuan mengikat layaknya semen.

Menurut ACI Manual of Concrete Practice 1993 Part 1 226.3 R-3, bahwa *fly ash* memiliki sifat yaitu:

- Specific gravity* : 2,2 – 2,8.
- Ukuran : \varnothing 1 mikron – \varnothing 1 mm, dengan kehalusan 70% - 80% melewati saringan no. 200 (75 mikron).
- Kehalusan : % tertahan ayakan 0,075 mm 3,5% tertahan ayakan 0,045 mm 19,3 % sampai ke dasar 77,22%.

Sedangkan menurut kelasnya, *fly ash* dapat dibedakan menjadi 3 (tiga) kelas yaitu :

1. Kelas C.

Fly ash yang mengandung CaO di atas 10% yang dihasilkan dari pembakaran *ignite* atau sub-bitumen batubara (batubara muda).

- Kadar ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$) > 50%.
- Kadar CaO mencapai 10%.

2. Kelas F.

Fly ash yang mengandung CaO lebih kecil dari 10% yang dihasilkan dari pembakaran *anthracite* atau bitumen batubara.

- Kadar ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$) > 70%.
- Kadar CaO < 5%.

3. Kelas N.

Pozzolan alam atau hasil pembakaran yang dapat digolongkan antara lain tanah *diatomic*, *opaline chert*, *shales*, *tuff* dan abu vulkanik, yang mana biasa proses melalui pembakaran atau tidak melalui proses pembakaran. Selain itu juga mempunyai sifat pozzolan yang baik.

2.2 Beton

Beton adalah campuran semen portland, agregat halus, agregat kasar dan air, dengan atau tanpa bahan tambahan yang membentuk masa padat (SNI 03-2847-2002). Beton dapat dibuat dengan mudah sesuai dengan keinginan pengguna. Beton dalam konstruksi teknik sipil didefinisikan sebagai batu buatan yang dicetak pada suatu cetakan dalam keadaan cair atau kental yang kemudian mampu mengeras secara baik. Bahan pengikat yang lazim dipakai pada beton umumnya yang bersifat hidrolik dalam arti akan mengikat dan mengeras secara baik kalau dicampur dengan air.

Menurut Mulyono (2004) Beton mempunyai beberapa kelebihan antara lain:

- Dapat dengan mudah dibentuk sesuai dengan kebutuhan konstruksi.
- Mampu memikul beban yang berat.
- Tahan terhadap temperature yang tinggi.
- Nilai kekuatan dan daya tahan (*durability*) beton adalah relative tinggi.
- Biaya pemeliharaan yang kecil.

Selain mempunyai kelebihan, beton juga mempunyai beberapa kekurangan yaitu:

- Bentuk yang telah dibuat sulit untuk diubah.
- Pelaksanaan pekerjaan membutuhkan ketelitian yang tinggi.
- Kekuatan tarik beton relative rendah.
- Daya pantul suara sangat besar.

2.2.1 Material Penyusun Beton

Material penyusun beton terdiri dari semen, agregat kasar, agregat halus, air dan *fly ash*. Semua bahan-bahan mempunyai karakteristik yang berbeda.

2.2.2 Perencanaan Campuran Beton

Ada beberapa metoda campuran beton yang dapat dipakai sebagai acuan untuk mendesain campuran beton sesuai dengan mutu yang diinginkan, seperti metode "dreux" dari Perancis, "DOE" dari Inggris,

"ACI" dari Amerika, "SNI" dari Indonesia, dan lain sebagainya. Dalam penelitian ini metode yang digunakan adalah metode Departemen Pekerjaan Umum yang tertuang dalam SK.SNI. T-15-1990-03 "Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal" yang merupakan adopsi dari cara *Departemen of Environment (DoE), Building Research Establishment, Britain*.

2.2.3 Pengukuran *Slump Test*

Pengujian *Slump Test* bertujuan untuk dapat menentukan kekentalan adukan beton serta membuktikan hasil penentuan slump beton dalam pembuatan rancangan adukan beton, sehingga jika tidak ada kesesuaian dengan kenyataan yang sebenarnya maka kadar air bebas dapat diubah sesuai dengan nilai slump yang diijinkan.

Kekentalan campuran beton sangat mempengaruhi mutu bangunan yang akan direncanakan. Artinya kelebihan air pada campuran dapat mengakibatkan bleeding, sedangkan bila kekurangan air pada campuran beton dapat mengakibatkan segregasi. Agar adukan mudah dikerjakan, maka diperlukan penambahan air sesuai dengan jumlah semen minimum dan nilai FAS.

2.3 Sifat Mekanik Beton

2.3.1 Kekuatan Tekan Beton (f_c')

Kekuatan tekan adalah kemampuan beton untuk menerima gaya tekan persatuan luas. Kuat tekan beton mengidentifikasi mutu dari suatu struktur. Semakin tinggi kekuatan struktur yang dikehendaki, maka semakin tinggi mutu beton yang dihasilkan. Besarnya kuat tekan beton dapat dihitung dengan rumus:

$$f_c' = \frac{P}{A} \quad (2.1)$$

2.4 Solidifikasi/ Stabilisasi

Solidifikasi / Stabilisasi (S/S) adalah proses yang melibatkan pencampuran *fly ash* dengan zat pengikat untuk mengurangi pelepasan kontaminan baik secara fisik maupun secara kimiawi dan mengkonversi limbah berbahaya menjadi limbah yang ramah lingkungan yang digunakan untuk keperluan konstruksi atau penimbunan tanah (Caijun, 2006).

Tujuan proses Solidifikasi/Stabilisasi (S/S) adalah sebagai berikut:

- Menurunkan mobilitas atau kelarutan kontaminan.
- Meningkatkan penanganan dan karakteristik fisik limbah dengan cara menciptakan suatu matrik padatan yang tidak bebas air.
- Menurunkan luas muka limbah dengan cara mentransfer kontaminan yang mungkin terdapat dalam padatan limbah.

2.5 Logam Vanadium (V)

Logam Vanadium adalah salah satu unsur kimia dalam tabel periodik yang memiliki lambang V dengan nomor atom 23. Salah satu senyawa yang mengandung logam vanadium antara lain vanadium pentaoksida (V_2O_5) yang terkandung didalam abu terbang (*fly ash*). Sifat fisik unsur Vanadium adalah berwarna abu – abu cerah, ringan, dan dalam keadaan murni dapat renggang.

2.5.1 Dampak Lingkungan Logam Vanadium

Logam Vanadium dapat ditemukan di lingkungan di pekarangan rumah, berbagai tanaman, invertebrata, ikan, dan banyak spesies lainnya. Vanadium bisa terakumulasi pada kerang dan kepiting sehingga menyebabkan konsentrasi hingga 105 - 106 kali lebih besar daripada konsentrasi yang ditemukan dalam air laut.

Menurut Kementerian Negara Lingkungan Hidup bahwa batasan kadar pencemaran logam berat Vanadium dalam limbah B3 Fasa Padat yang dimanfaatkan sebagai substitusi bahan baku dan / atau bahan bakar adalah ≤ 25 ppm.

2.6 Logam Kobalt (Co)

Logam Kobalt warnanya perak - putih, keras dan berkilau. Logam ini merupakan anggota kelompok VIII dari tabel periodik. Sifat fisik logam berat ini mirip dengan besi dan nikel. Kobalt stabil di udara dan tidak terpengaruh oleh air, tetapi perlahan-lahan dapat diserang oleh asam encer.

2.6.1 Dampak Lingkungan Logam Kobalt

Logam Kobalt merupakan elemen yang terjadi secara alami di lingkungan udara, air, tanah, batu, tanaman dan juga hewan. Logam Kobalt dapat memasuki udara dan air dan menetap di tanah melalui debu yang tertitup angin dan masuk ke air permukaan. Kobalt hanya akan memobilisasi dalam kondisi asam, namun pada akhirnya sebagian besar kobalt akan berakhir di tanah dan sedimen.

Menurut Kementerian Negara Lingkungan Hidup bahwa batasan kadar pencemaran logam berat Kobalt dalam limbah B3 Fasa Padat yang dimanfaatkan sebagai substitusi bahan baku dan / atau bahan bakar adalah ≤ 12 ppm.

3. Metodologi

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Bahan Rekayasa Departemen Teknik Sipil USU Medan dan di Laboratorium Pengujian Lembaga Kajian Survey Geologi Bandung yang dimulai dari bulan Nopember 2015 sampai dengan bulan Februari 2016.

Adapun tahapan pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Analisa komposisi abu terbang (*fly ash*) PLTU Labuhan Angin dengan metode *X-Ray Fluorescence* (XRF).
2. Analisa sedimentologi partikel halus abu terbang (*fly ash*) PLTU Labuhan Angin dengan metode *Particle Size Analyzer* (PSA).
3. Pengujian bahan pencampur beton.
4. Proses Solidifikasi / Stabilisasi abu terbang (*fly ash*).
5. Pengujian sifat-sifat mekanik beton yaitu pengujian kuat tekan beton dan uji massa jenis beton, dan
6. Analisa Mobilisasi Logam berat pengaruh komposisi (*fly ash*) didalam campuran beton dengan metode AAS (*Atomic Absorption Spectroscopy*).

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Analisa komposisi abu terbang (*fly ash*) PLTU Labuhan Angin dengan metode *X-Ray Fluorescence* (XRF) Thermo ARL 9900.

Hasil analisa komposisi abu terbang (*fly ash*) PLTU Labuhan Angin yang di uji di Laboratorium Pusat Survei Geologi Bandung dapat dilihat pada Tabel 4.1 sebagai berikut:

Tabel 4.1. Unsur kimia abu terbang (*fly ash*) PLTU Labuhan Angin

Oxida	Jumlah (%)	Elemen	Jumlah (%)	Jumlah (ppm)	Baku mutu (ppm)
SiO ₂	48,10	Si	22,49	-	-
TiO ₂	0,804	Ti	0,482	-	-
Al ₂ O ₃	20,01	Al	10,59	-	-
Fe ₂ O ₃	13,75	Fe	9,59	-	-
MnO	0,141	Mn	0,109	-	-
CaO	5,32	Ca	3,80	-	-
MgO	2,80	Mg	1,69	-	-
Na ₂ O	0,511	Na	0,379	-	-
K ₂ O	1,09	K	0,904	-	-
P ₂ O ₅	0,223	P	0,0975	-	-
SO ₃	1,22	S	0,483	-	-
LOI	5,53	-	-	-	-
ZnO	0,0139	Zn	0,0112	112	≤ 500
NiO	0,0088	Ni	0,0069	69	≤ 100
ZrO ₂	0,0268	Zr	0,0193	-	-
CuO	0,0063	Cu	0,0050	50	≤ 100
SrO	0,0506	Sr	0,0428	-	-
V ₂ O ₅	0,0184	V	0,0103	103	≤ 25
Cr ₂ O ₃	0,0094	Cr	0,0064	64	≤ 250
Co ₂ O ₃	0,0082	Co	0,0060	60	≤ 12
Cl	0,0133	Cl	0,0133	-	-
I	0,0110	I	0,0110	-	-
BaO	0,0716	Ba	0,0641	-	-
Rb ₂ O	0,0043	Rb	0,0039	-	-
Ga ₂ O ₃	0,0033	Ga	0,0025	-	-
Y ₂ O ₃	0,0062	Y	0,0049	-	-
La ₂ O ₃	0,0067	La	0,0057	-	-

Dari hasil analisa komposisi abu terbang *fly ash* dengan metode *X-Ray Fluorescence* (XRF) yang diuji di Laboratorium Pusat Survei Geologi Bandung didapat, bahwa besar kandungan oxyda dalam *fly ash* SiO₂ = 48,10 %, Al₂O₃ = 20,01 %, Fe₂O₃ = 13,75 %, total oxyda = 81,86 %, dengan CaO = 5,32 %. Hal ini menunjukkan bahwa *fly ash* masuk dalam kategori kelas F. Menurut standar (ACI Committee 226, 1992) dijelaskan bahwa abu terbang (*fly ash*) untuk kelas F : *fly ash* mempunyai kandungan oxyda CaO lebih kecil dari 10%, Jumlah kadar oxyda (SiO₂ + Al₂O₃ + Fe₂O₃) > 70%.

Logam berat yang melebihi ambang batas / baku mutu yang disyaratkan oleh Kementerian Lingkungan Hidup Republik Indonesia yaitu logam berat Kobalt (Co) = 0,0060 % = 60 ppm ≤ 12 ppm dan logam berat Vanadium (V) = 0,0103 % setara dengan 103 ppm ≤ 25 ppm. Kedua logam berat tersebut akan berdampak buruk terhadap lingkungan. Untuk mengatasi dampak negatif yang ditimbulkan, maka dilakukan analisa mobilisasi

kedua logam berat dengan proses solidifikasi/ stabilisasi yaitu dengan mencampurkan *fly ash* dengan semen, agregat halus (pasir), agregat kasar (batu pecah) dan juga air, menjadi campuran beton.

4.2. Analisa Sedimentologi Partikel Halus abu terbang (*fly ash*) PLTU Labuhan Angin dengan metode *Particle Size Analyzer* (PSA) Sedigraph III 9150.

PSA/*Particle Size Analyzer* Sedigraph III 9150 dilakukan untuk mengetahui kehalusan butiran material *fly ash*. Pengujian PSA dilakukan di Laboratorium Pusat Survei Geologi Bandung dengan menggunakan alat *Sedigraph Particel Analyzer III 9150*.

Hasil analisa sedimentologi partikel halus *fly ash* dengan metode *Particle Size Analyzer* (PSA) dapat dilihat pada Tabel 4.2 sebagai berikut:

Tabel 4.2. Hasil pengujian PSA sampel *fly ash* PLTU Labuhan Angin

Diameter (micrometer = μ m) $1 \mu\text{m} = 10^{-3}\text{mm}$	Persentase Kumulatif Lolos (%)
30,73	99,60
7	22,8
5	20,8
4,25	20
3,5	19,1
3	18,6
2,5	18,1
2	17,8
1,5	17,5
1	16,8

4.3. Solidifikasi / Stabilisasi abu

4.3.1. Perencanaan campuran beton (*mix design*)

Dari hasil perencanaan beton (*mix design*) didapat jumlah kebutuhan bahan untuk campuran beton (*mix design*) dengan substitusi *fly ash* 0%, 40% dan 80% dapat dilihat pada Tabel 4.3 sebagai berikut:

Tabel 4.3. Jumlah kebutuhan bahan dengan substitusi *fly ash* 0%, 40% dan 80%

Persentase <i>fly ash</i> (%)	Jumlah				
	Semen (kg)	<i>fly ash</i> (kg)	Air (ltr)	Pasir (kg)	batu pecah (kg)
0	48,96	0	23,53	90,8	136,2
40	29,376	19,584	23,53	90,8	136,2
80	9,792	39,168	23,53	90,8	136,2
Jumlah	88,128	58,752	70,59	272,40	408,60

Jumlah kebutuhan bahan untuk campuran beton (*mix design*) dengan penambahan *fly ash* 20% dan 40% dapat dilihat pada Tabel 4.4 sebagai berikut:

Tabel 4.4. Jumlah kebutuhan bahan dengan penambahan *fly ash* 20% dan 40%

Persentase <i>fly ash</i> (%)	Jumlah				
	Semen (kg)	<i>fly ash</i> (kg)	Air (ltr)	Pasir (kg)	batu pecah (kg)
20	12,24	2,448	5,88	22,7	34,05
40	12,24	4,896	5,88	22,7	34,05
Jumlah	24,48	7,344	11,76	45,4	68,1

4.3.2. Slump test

Hasil pengujian yang dilakukan nilai slump pada campuran beton yang direncanakan menunjukkan hasil yang sesuai dengan nilai slump yang diharapkan yaitu 12,5 cm.

4.3.3. Distribusi Benda uji

Distribusi benda uji untuk kuat tekan beton dan uji massa jenis beton dengan substitusi *fly ash* 0%, 40% dan 80% dapat dilihat pada tabel 4.5 sebagai berikut:

Tabel 4.5. Distribusi benda uji untuk kuat tekan beton dengan substitusi *fly ash* 0%, 40% dan 80%

Jenis Pengujian	Pesentase		Umur beton (hari)	Jumlah benda uji (buah)
	semen (%)	<i>fly ash</i> (%)		
Kuat Tekan dan Massa jenis beton	100	0	28	20
	60	40	28	20
	20	80	28	20

Distribusi benda uji untuk kuat tekan beton dan uji massa jenis beton dengan tambahan *fly ash* 20% dan 40% dapat dilihat pada tabel 4.6 sebagai berikut:

Tabel 4.6. Distribusi benda uji untuk kuat tekan beton dengan penambahan *fly ash* 20% dan 40%

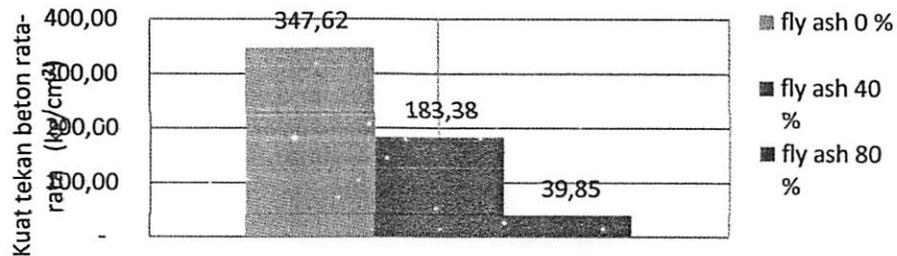
Jenis Pengujian	Pesentase		Umur beton (hari)	Jumlah benda uji (buah)
	semen (%)	<i>fly ash</i> (%)		
Kuat Tekan	100	0	28	5
	100	40	28	5

4.4. Pengujian Sifat-sifat Mekanik Beton

4.4.1. Kuat tekan beton variasi substitusi *fly ash* 0%, 40 dan 80%

Hasil pengujian kuat tekan beton didapat untuk campuran substitusi *fly ash* 0 %, nilai kuat tekan beton rata-rata = 347,62 kg/cm², substitusi *fly ash* 40 % nilai kuat tekan beton rata-rata = 183,38 kg/cm², sedangkan untuk substitusi *fly ash* 80 %, didapat nilai kuat tekan beton = 39,85 kg/cm².

Hasil pengujian kuat tekan beton rata-rata dengan persentase substitusi *fly ash* 0 %, 40 % dan 80 % dengan umur 28 hari dapat dilihat pada Gambar 4.1 berikut:

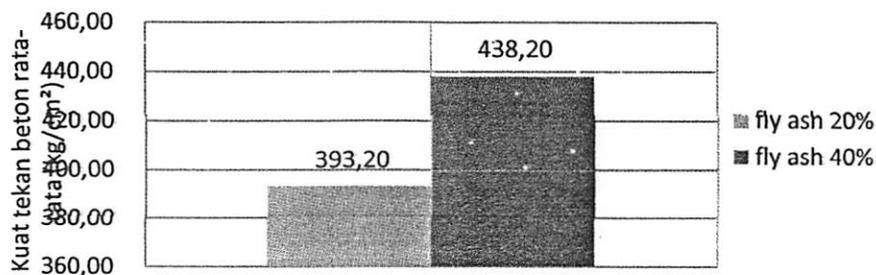


Gambar 4.1 Hubungan antara kuat tekan beton rata-rata dengan substitusi *fly ash*.

Dari hasil uji kuat tekan beton diketiga variasi komposisi, bahwa substitusi *fly ash* sebesar 0% dapat digunakan untuk jalan, untuk substitusi *fly ash* sebesar 40% dapat digunakan untuk peralatan parkir dan sedangkan untuk substitusi *fly ash* sebesar 80% dapat digunakan untuk dinding rumah.

4.4.2. Kuat tekan beton variasi penambahan *fly ash* 20% dan 40%

Hasil pengujian kuat tekan beton rata-rata dengan persentase penambahan *fly ash* 20 % dan 40 % dengan umur 28 hari dapat dilihat pada Gambar 4.2 sebagai berikut:



Gambar 4.2 Hubungan antara kuat tekan beton rata-rata dengan penambahan *fly ash*.

Dari Gambar 4.2 menunjukkan terjadi kenaikan kuat tekan beton. Bahwa penambahan *fly ash* sebesar 20% nilai kuat tekan beton = 393,20 kg/cm² sedangkan pada penambahan *fly ash* 40% nilai kuat tekan beton meningkat = 438,20 kg/cm². Berdasarkan standar SNI 03-0691-1996, dari hasil kuat tekan kedua penambahan *fly ash* tersebut dapat digunakan untuk pemakaian jalan.

Dari hasil penelitian dapat dibandingkan dengan hasil yang dilakukan peneliti sebelumnya terhadap penggunaan *fly ash* dari berbagai sumber PLTU yang ada di Indonesia dapat dilihat pada Tabel 4.7 sebagai berikut:

Tabel 4.7. Perbandingan kuat tekan beton menggunakan *fly ash* untuk campuran beton dengan berbagai variasi campuran

	Persentase <i>fly ash</i>	PLTU	PLTU II	PLTU Sawahlunto
		Labuhan Angin Kuat tekan rata-rata (kg/cm ²)	Sulawesi Utara Kuat tekan rata-rata (kg/cm ²)	Kuat tekan Rata-rata (kg/cm ²)
Variasi substitusi <i>fly ash</i>	0%	347,62	248,3	-
	40%	183,38	153	-
$f_c' = 300$ kg/cm ²	70%	-	47,9	-
	80%	39,85	-	-
Variasi penambahan <i>fly ash</i>	10%	-	-	343,29
	15%	-	-	361,02
$f_c' = 300$ kg/cm ²	20%	393,2	-	368,01
	40%	438,2	-	-
Kandungan <i>Oxyda fly ash</i>	Unsur minimal <i>oxyda</i>	PLTU Labuhan Angin Persentase <i>oxyda</i> (%)	PLTU Sulawesi Utara Persentase <i>oxyda</i> (%)	PLTU Sawahlunto Persentase <i>oxyda</i> (%)
	CaO	5,32	25,06	2,20
	SiO ₂	48,10	48,06	56,11
	Al ₂ O ₃	20,01	34,76	29,07
	Fe ₂ O ₅	13,75	3,91	6,59
Jumlah SiO ₂ +Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃	81,86	86,73	91,77	

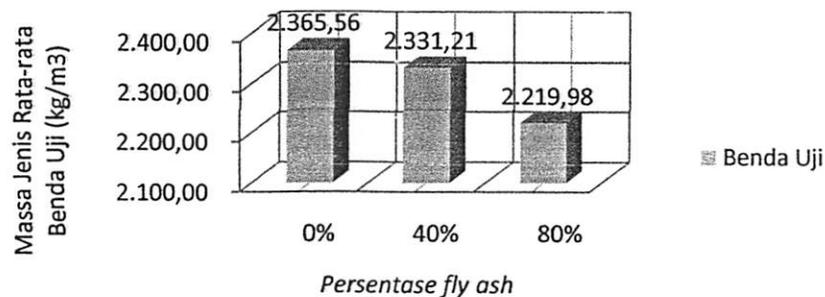
Dari Tabel 4.7 diperoleh bahwa material *fly ash* dijadikan sebagai material tambahan pencampur beton mampu menaikkan nilai kuat tekan beton, semakin kecil jumlah unsur *oxyda* SiO₂+Al₂O₃+Fe₂O₃ yang terkandung didalam *fly ash*, semakin besar nilai kuat tekan yang diperoleh baik *fly ash* tersebut digunakan sebagai bahan substitusi campuran beton maupun *fly ash* digunakan sebagai bahan pengisi campuran beton.

4.4.3. Massa jenis beton

Massa dan berat sebenarnya adalah dua besaran yang berbeda. Massa jenis rata-rata setiap benda merupakan total massa dibagi dengan total volumenya. Rumus untuk menentukan massa jenis beton adalah:

$$- \quad (4.1)$$

Hasil pengujian massa jenis beton masing-masing benda uji dapat dilihat pada Gambar 4.3 sebagai berikut:



Gambar 4.3. Grafik hubungan antara massa jenis rata-rata benda uji dengan substitusi *fly ash*.

Dari Gambar 4.3 di atas menunjukkan hubungan antara massa jenis rata-rata benda uji dengan *fly ash*. *Fly ash* dengan substitusi *fly ash* 0 %, massa jenis beton sebesar 2.365,56 kg/m³, sedangkan pada substitusi *fly ash* sebesar 80% massa jenis beton menurun yaitu sebesar 2.219,98 kg/m³. Dari hasil tersebut menunjukkan bahwa semakin besar substitusi *fly ash*, hasil yang diperoleh terhadap massa jenis beton semakin kecil.

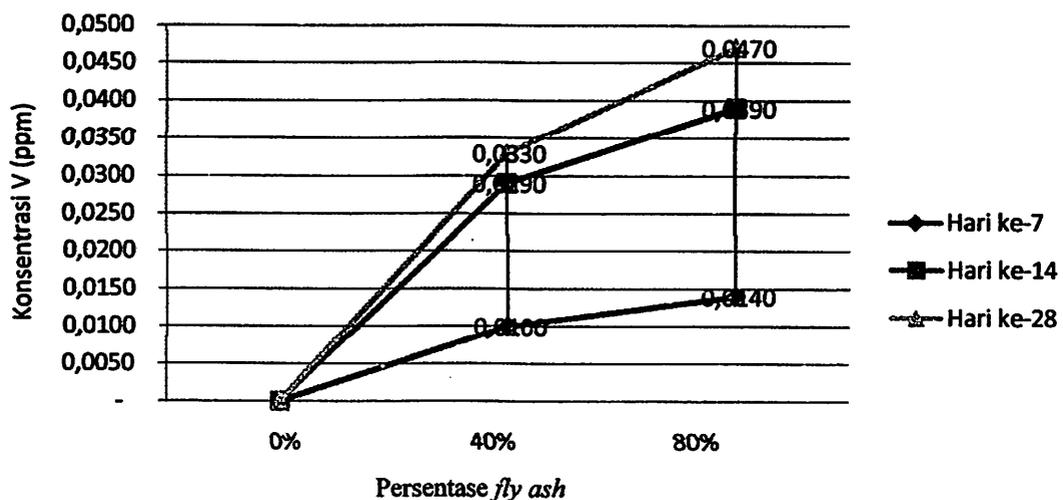
4.5. Analisa Mobilisasi Logam Berat dengan metode AAS

Pengujian mobilisasi logam berat difokuskan terhadap kedua unsur logam berat Kobalt (Co) dan Vanadium (V). Pengujian logam berat Co dan V ini dilakukan selama beton dalam proses *curing* yaitu beton dalam masa perendaman selama 7 hari, 14 hari dan 28 hari.

Air hasil perendaman kemudian diuji konsentrasi logam beratnya dengan uji mobilisasi logam berat Co dan V menggunakan metode AAS (*Atomic Adsorption Spectrofotometer*) yang dilakukan di Laboratorium Pusat Survei Geologi Bandung. Uji mobilisasi ini dimaksudkan untuk mengetahui berapa besar logam berat Co dan V yang masih terlepas ke lingkungan atau terpapar ke lingkungan setelah *fly ash* dimanfaatkan menjadi campuran beton.

4.5.1. Logam Vanadium (V)

Hasil pengujian mobilisasi logam berat Vanadium (V) dengan metode AAS dapat dilihat pada Gambar 4.4. sebagai berikut:



Gambar 4.4. Konsentrasi logam berat V

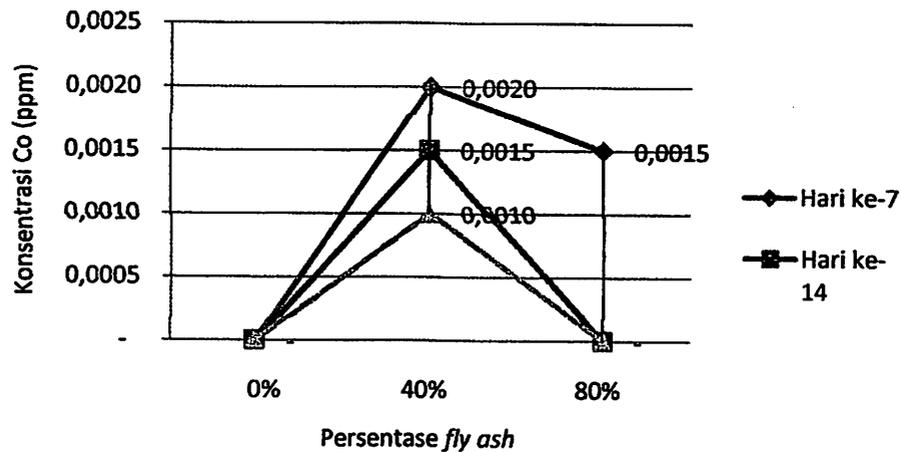
Berdasarkan Gambar 4.4 di atas logam berat Vanadium (V) konsentrasi yang dihasilkan berbanding terbalik dengan yang dihasilkan oleh logam berat Kobalt (Co). Pada logam berat Vanadium (V), konsentrasi yang dihasilkan malah semakin bertambah dengan bertambahnya hari perendaman. Pada variasi campuran substitusi *fly ash* 40 % rendaman pada hari ke-7, hari ke-14 dan hari ke-28, konsentrasi logam berat Vanadium (V) terbesar terjadi pada rendaman campuran beton di hari ke-28 dengan jumlah konsentrasi sebesar 39 ppb (*part per billion*) atau setara dengan 0,0390 ppm, demikian juga dengan pada variasi campuran substitusi *fly ash* 80 % rendaman pada hari ke-7, ke-14 dan pada hari ke-28, konsentrasi logam Vanadium (V) terbesar terjadi pada rendaman campuran beton di hari ke-28 dengan jumlah konsentrasi sebesar 47 ppb (*part per billion*) atau setara dengan 0,0470 ppm.

Jika kuat tekan yang dimiliki suatu beton meningkat akibat penambahan *fly ash*, maka ikatan antara semen dengan *fly ash* semakin kuat, sehingga kadar logam Kobalt (Co) menjadi total sedangkan logam Vanadium (V) semakin kecil. Jadi kekuatan beton sangat tergantung pada kekuatan ikat semen dengan *fly ash*.

Dari hasil solidifikasi abu terbang (*fly ash*), konsentrasi logam berat Vanadium (V) konsentrasi logam berat Vanadium (V) yang terbesar ada pada *fly ash* dengan substitusi *fly ash* 80% pada rendaman ke-28 dengan jumlah konsentrasi sebesar 47 ppb (*part per billion*) atau setara dengan 0,0470 ppm, dapat disimpulkan bahwa logam berat Vanadium (V) ini juga masih dalam ambang batas yang ditetapkan ≤ 25 ppm.

4.5.2. Logam Kobalt (Co)

Hasil pengujian mobilisasi logam berat Kobalt (Co) dengan metode AAS dapat dilihat pada Gambar 4.5. sebagai berikut:



Gambar 4.5. Konsentrasi logam berat Co.

Berdasarkan Gambar 4.5 diatas, logam berat Kobalt (Co) konsentrasi yang dihasilkan semakin berkurang dengan bertambahnya hari perendaman. Pada variasi campuran substitusi *fly ash* 40% rendaman pada hari ke-7, ke-14 dan hari ke-28, konsentrasi Co terbesar terjadi pada rendaman campuran beton dihari ke-7 dengan jumlah konsentrasi 2 ppb (*part per billion*) = 0,0020 ppm, demikian juga dengan pada variasi campuran substitusi *fly ash* 80% rendaman pada hari ke-7, ke-14 dan pada hari ke-28, konsentrasi Co terbesar terjadi pada rendaman beton dihari ke-7 dengan jumlah konsentrasi sebesar 1,5 ppb (*part per billion*) atau setara dengan 0,0015 ppm, bahkan pada rendaman ke-14 dan rendaman ke-28 jumlah konsentrasi tidak terdeteksi (td) atau dibawah 1 ppb. Dengan demikian semakin menurunnya nilai konsentrasi logam berat, ini disebabkan karena semen mempunyai formasi senyawa yang progress peningkatan kekuatan yang terjadi dari rendaman ke-14 sampai dengan rendaman ke-28 hari, sehingga logam terkungkung dengan ikatan *fly ash*, semen, pasir dan juga batu pecah dan tejabak di bagian dalam batas beton dan susah terhidrolis oleh air.

Hasil solidifikasi *fly ash*, konsentrasi logam berat Kobalt (Co) yang terbesar ada pada *fly ash* dengan substitusi *fly ash* 40 % pada rendaman hari ke-7 dengan jumlah konsentrasi sebesar 2 ppb (*part per billion*) atau setara dengan 0,0020 ppm. Dapat disimpulkan bahwa logam berat Kobalt (Co) tersebut masih dalam ambang batas yang ditetapkan yaitu ≤ 12 ppm.

5. Kesimpulan

Dari hasil penelitian diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil analisa logam berat *fly ash* PLTU Labuhan Angin dengan metode *X-Ray Fluorescence* (XRF), besar kandungan $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ yang terkandung dalam *fly ash* adalah 81,86 %, Menurut standar ACI Committee 226 1992 *fly ash* tersebut masuk dalam kategori abu terbang (*fly ash*) kelas F.
2. Hasil penelitian penggunaan *fly ash* PLTU Labuhan Angin dibandingkan dengan hasil penelitian sebelumnya yaitu penggunaan *fly ash* PLTU II Sulawesi Utara dan penggunaan *fly ash* PLTU Sawahlunto dimana material *fly ash* dijadikan sebagai material substitusi pengganti semen dan sebagai material tambahan dalam campuran beton, didapat bahwa semakin kecil jumlah unsur oxyda $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ yang terkandung didalam *fly ash*, semakin besar nilai kuat tekan yang diperoleh.
3. Hasil analisa logam berat *fly ash* yang melebihi ambang batas / baku mutu yang disyaratkan oleh Kementerian Lingkungan Hidup Republik Indonesia adalah logam berat Vanadium (V) = 103 ppm ≤ 25 ppm dan Kobalt (Co) = 60 ppm ≤ 12 ppm.
4. Pengujian PSA/*Particle Size Analyzer* menunjukkan bahwa *fly ash* yang lolos saringan $\varnothing 1 \mu\text{m}$ memiliki persentase kumulatif sebesar 16,8 %, sedangkan lolos saringan $\varnothing 7 \mu\text{m}$ persentase kumulatifnya sebesar 22,8 %, dan yang lolos saringan $\varnothing 30,73 \mu\text{m}$ persentase kumulatifnya sebesar 99,60 %.
5. Semakin besar persentase komposisi substitusi *fly ash* dalam campuran beton, semakin menurun kuat tekan beton didapat, tetapi pada penambahan *fly ash* dalam campuran beton, semakin besar persentase penambahan *fly ash* maka semakin meningkat kuat tekan beton yang diperoleh.
6. Hasil solidifikasi logam berat Kobalt (Co) yang terbesar terdapat pada substitusi *fly ash* 40 % pada rendaman hari ke-7 dengan jumlah konsentrasi sebesar 2 ppb (*part per billion*) = 0,0020 ppm, sedangkan pada logam berat Vanadium (V) yang terbesar terdapat pada substitusi *fly ash* 80 % pada rendaman ke-28 dengan jumlah konsentrasi sebesar 47 ppb (*part per billion*) = 0,0470 ppm, dapat disimpulkan bahwa kedua logam berat tersebut masih dalam ambang batas yang ditetapkan.

7. Bahwa campuran beton dengan menggunakan *fly ash* PLTU Labuhan Angin Sibolga sebagai substitusi semen tidak baik digunakan pada kondisi dimana beton terendam oleh air. Hal ini akan berdampak buruk terhadap lingkungan sekitar.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. (1990). "Standar SK-SNI T-15-1990-03, Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal", Yayasan Lembaga Pendidikan Masalah Bangunan, Departemen Pekerjaan Umum, Bandung.
- Abinhot Sihotang. (2001). "Studi Eksperimental Perilaku Beton dengan *fly ash* dan Steel Slag dalam lingkungan Klorida", Tesis ITB, Bandung.
- Albinas Gailius, dkk. (2010). "Hazardous Wastes Recycling by Solidification/Stabilization Method", Journal of Materials Science, Vol.16, No.2.
- ACI Committee 211.1-91. (1996). "Standard Practice for selecting Proportions For Normal, Heavyweight, and Mass Concrete", Detroit Michigan.
- ACI. (1993). "Manual of Concrete Practice, Part 1 226.3 R-3".
- Ahmad, Hiskia. (2001). "Elektrokimia dan Kinetika Kimia", Penerbit PT.Citra Aditya Bakti, Bandung.
- Alfian Hendri Umboh, dkk. (2014). "Pengaruh Pemanfaatan abu terbang (*fly ash*) dari PLTU II Sulawesi Utara sebagai substitusi parsial semen terhadap kuat tekan beton", Jurnal Universitas Sam Ratulangi, Manado, Vol.2, No.7, November 2014.
- ASTM (American Society for Testing and Materials). (1991). "Annual Book of ASTM Standards, Section 4", Easton.MD, Philadelphia.
- Anon. (1981). "Annual Book of ASTM Standarts G59-78, ASTM", Philadelphia.
- Armeyn. (2014). "Kuat tekan beton dengan *fly ash* ex. PLTUSantang Swahlunto", Jurnal Institut Teknologi Padang, Vol.16 No.2 Agustus 2014.
- Caijun Shi, dkk. (2006). "Stabilization/solidification of hazardous and radioactive wastes with alkali-activated vements", Journal of Hazardous Materials B137.
- Dewi Rara Wiyati Syaka. (2013). "Pembuatan beton normal dengan *fly ash* menggunakan mix desain yang dimodifikasi", Skripsi Universitas Jember, Jember.
- Diah Nisita Laksmi H, dkk. (2010). "Pemanfaatan limbah *fly ash* sisa pembakaran batu bara dengan metode solidifikasi-stabilisasi sebagai bahan campuran paving block geopolimer", Jurnal Undip, Semarang.
- Eri Prawito. (2010). "Analisa Perbandingan Berat Jenis dan Kuat Tekan antara beton ringan dan beton normal dengan mutu beton K-200 (kajian eksperimental)", Skripsi USU, Medan.
- Grasso, D. (1993). "Hazardous Waste Site Remediation, Source Control", Lewis Publishers.
- I Made Bayu, dkk. (2010). "Akumulasi Logam Kobalt Dari Tanah Andosol Menggunakan Tanaman Sawi India".
- Istimawan Dipohusodo. (1994). "Struktur Beton Bertulang. Gramedia", Jakarta.
- M. Pranjoto Utomo, dkk. (2007). "Kajian tentang proses solidifikasi/stabilisasi logam berat dalam limbah dengan semen Portland", UNY, Yogyakarta.
- Nugraha P. Antoni. (2007). "Teknologi Beton Dari Material, Pembuatan, ke Beton Kinerja Tinggi", Penerbit Andi, Yogyakarta.
- Partogi Hasudungan Simatupang (2013). "Pengembangan Alkali Activated Material (AAM) Untuk Mendapatkan Material Infrastruktur yang Ramah Lingkungan", Disertasi ITB, Bandung.
- Rizky B.O Rumahorbo. (2015). "Solidifikasi/Stabilisasi limbah slag yang mengandung Chrom (Cr) dan Timbal (Pb) dari industri baja sebagai campuran dalam pembuatan concrete (beton)", Laporan Hasil Penelitian USU. Medan.
- Spence and Shiu. (2006). "Designing of cement based formula for solidification/stabilisation of hazardous, radioactive, and mixed wastes".
- Sujatmiko Nugroho. (2003). "Penggunaan Abu Terbang Sebagai Campuran Beton".
- Tjokrodimuljo Kardiyono, 1996, "Teknologi Beton", Percetakan Nafiri, Yogyakarta.
- Tri Mulyono. (2004). "Teknologi Beton", Penerbit Andi, Yogyakarta.

DESAIN PENGELOLAAN SUB DAS LAU BIANG DENGAN PENDEKATAN MIKRO DAS BERBASIS SISTEM INFORMASI GEOGRAFIS

A.Perwira Mulia Tarigan¹, Makmur Ginting¹, Irnovian²

¹Staf Pengajar Program Studi Magister Teknik Sipil USU

²Alumni Program Studi Magister Teknik Sipil USU

Abstrak

Sub DAS Lau Biang merupakan salah satu Sub DAS dari DAS Wampu yang memiliki luas 22.102,19 ha yang melintasi kabupaten Karo dan Kabupaten Langkat. Penelitian dilakukan pada Sub DAS Lau Biang untuk mengetahui kondisi kawasan dan pengaruhnya terhadap erosi, sehingga penelitian dapat memberikan pengaruh bagi perencanaan dan pembangunan di kawasan tersebut. Terdapat 4 (empat) fungsi kawasan pada Sub DAS Lau Biang yaitu kawasan lindung 8.746,29 ha, kawasan penyangga 12.0229,87 ha, kawasan budidaya tanaman tahunan 946,433 ha dan kawasan budi daya tanaman semusim dan permukiman 377,661 ha. Penggunaan lahan yang sesuai fungsinya 18.969,158 ha dan lahan yang tidak sesuai dengan fungsinya 3.133,033 ha. Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa Sub DAS Lau Biang berpotensi mengalami erosi dengan sebaran tingkat bahaya erosi yaitu sangat berat 4.476,397 ha, berat 575,872 ha, sedang 89,916 ha, ringan 16.675,14 ha dan sangat ringan 283,015 ha.

Kata Kunci: Pengelolaan, Fungsi Kawasan, Kesesuaian Lahan, Tingkat Bahaya Erosi (TBE), Sistem Informasi Geografis, Sub DAS Lau Biang, Mikro DAS.

1. PENDAHULUAN

Salah satu DAS yang ada di Sumatera Utara adalah DAS Wampu. DAS Wampu memiliki banyak potensi Sumber Daya Alam (SDA) sehingga dibutuhkan pengelolaan yang komprehensif agar SDA tersebut terjaga (*sustainable*) serta pemanfaatan potensi menjadi maksimal/optimal. DAS Wampu dengan luas 415.617,46 ha dan memiliki 6 Sub Daerah Aliran Sungai (Sub DAS) yang membentang dari hulu hingga ke hilir yaitu: Sub DAS Lau Biang Hulu, Sub DAS Lau Biang, Sub DAS Lau Meriah, Sub DAS Tebah, Sub DAS Ketekukan, Sub DAS Lau Berkali, meliputi Kabupaten Simalungun, Tanah Karo, Langkat dan Kota Binjai. Sub DAS Lau Biang merupakan bagian hulu dari DAS Wampu yang memiliki luas 22.102 ha dan berada di wilayah Administrasi Kabupaten Langkat dan Kabupaten Karo. Untuk meningkatkan dan mewujudkan Sumber Daya Alam yang berkelanjutan maka Pengelolaan Sub DAS Lau Biang menjadi sangat diperlukan karena posisi pada bagian hulu yang harus selalu dijaga kelestariannya. Pembangunan pada Sub DAS Lau Biang dalam hal penggunaan lahan yang harus terkoordinir, sehingga perlunya konsentrasi untuk pengembangan Sub DAS Lau Biang menjadi beberapa Mikro Daerah Aliran Sungai (Mikro DAS) sebagai area yang akan diidentifikasi permasalahan yang ada.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Berdasarkan Undang-undang No.7 tahun 2004 pasal 1 menyatakan bahwa DAS adalah suatu wilayah daratan yang merupakan satu kesatuan dengan sungai dan anak-anak sungainya yang berfungsi menampung, menyimpan dan mengalirkan air yang berasal dari curah hujan ke danau atau ke laut secara alami yang batas darat merupakan pemisah topografis dan batas dilaut sampai dengan daerah perairan yang masih terpengaruh aktivitas daratan. Mikro DAS (*small catchment*) adalah bagian dari sub DAS yang merespon langsung terhadap hujan jika terjadi perubahan sistem fungsi produksinya. Istilah mikro DAS diartikan pada skala teknis sehingga asumsi parameter fisik DAS lebih terpenuhi seperti batas DAS, jaringan hidrologi, curah hujan sebagai faktor input, faktor tanah dan penggunaan lahan

3. METODE PENELITIAN

Area penelitian pada penelitian tesis ini dilakukan pada wilayah Sub Daerah Aliran Sungai (Sub DAS) Lau Biang. Sub DAS Lau Biang merupakan salah satu Sub DAS pada DAS Wampu yang berada di wilayah Sumatera Utara. Area penelitian tesis ini terbentang secara geografis pada lokasi (3°08'13,2"- 03°20'45,6" LU; 98°07'22,8" - 98°18'7,2" BT) dengan berada pada wilayah administrasi Kabupaten Karo dan wilayah administrasi Kabupaten Langkat. Kondisi fisik menggambarkan kondisi kawasan Sub DAS Lau Biang dari data-data yang ada. Kondisi fisik juga merupakan analisa data-data untuk melakukan perhitungan dan hasil yang akan dicapai. Salah satu dari kondisi fisik yang digunakan disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Kemiringan Lahan

Kemiringan Lahan (%)	Kelas
0 - 8	Datar
> 8 - 15	Landai
> 15 - 25	Agak Curam
> 25 - 40	Curam
> 40	Sangat Curam

Pada Penelitian ini juga menentukan fungsi kawasan berdasarkan data spasial maupun non spasial. Dasar untuk membuat peta peruntukan lahan menggunakan peta parameter fisik yaitu:

- a) Peta Kemiringan Lereng
- b) Peta Jenis Tanah
- c) Peta Curah Hujan

Dari ketiga peta tersebut akan diolah dan ditumpangtindihkan menggunakan ArcGIS 10.0, masing-masing peta diberikan skor berdasarkan PP no.47 tahun 1997 tentang Rencana Tata Ruang Wilayah Nasional Kriteria Kawasan Lindung dan Kawasan Budidaya. Hasil dari pengolahan peta tersebut adalah skor total yang didapatkan menjadi suatu kelayakan kawasan tertentu yang akan ditetapkan. Salah satu contoh dari skor kemiringan lahan diberikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Skor Kemiringan

Kelas	Kemiringan Lahan (%)	Klasifikasi	Nilai Skor
1	< 8	Datar	20
2	8 - 15	Landai	40
3	15 - 25	Agak Curam	60
4	25 - 40	Curam	80
5	> 40	Sangat	100

Untuk mengetahui tingkat bahaya erosi yang akan terjadi, maka diperlukan analisa untuk mengetahui erosi yang bisa terjadi kapan saja dengan sebarannya. Penelitian untuk tingkat bahaya erosi ini menggunakan metode USLE (*Universal Soil Loss Equation*) dalam menghitung pendugaan erosi. Salah satu faktor yang digunakan pada metode USLE adalah faktor tutupan dan pengelolaan lahan atau faktor CP. Penentuan nilai tutupan dan pengelolaan lahan (CP) ditentukan dengan melakukan analisa peta Rupa Bumi Indonesia (RBI) yang telah didigitasi *on screen* pada kawasan Sub DAS Lau Biang. Dari hasil analisa peta RBI akan didapatkan beberapa penggunaan lahan yang telah terjadi. Nilai CP didapatkan dengan menyesuaikan penggunaan lahan sesuai Tabel 3.

Tabel 3. Faktor Tutupan dan Pengelolaan Lahan (CP)

Penggunaan Lahan	CP
Belukar Rawa	0,010
Rawa	0,010
Semak/Blukar	0,300
Pertanian Lahan Campur Kering	0,190
Tegalan	0,700
Permukiman	1,000
Industri	0,700
lain-lain	0,700

Mikro DAS pada penelitian dihasilkan dengan pengolahan menggunakan Sistem Informasi Geografis (SIG) dengan bahan dasar data citra satelit dan perangkat lunak ArcGIS 10.0. Data citra dianalisis dengan menghasilkan orde sungai 1 sampai orde 3 dengan luas maksimum 5000 ha kemudian dilakukan penentuan bentuk Mikro DAS.

Pengelolaan Sub DAS Lau Biang berdasarkan UU no.25 Tahun 2004 tentang Perencanaan Pembangunan Nasional, maka Sub DAS Lau Biang termasuk dalam rencana kerja Pemerintah Provinsi Sumatera Utara. Berdasarkan Peraturan Pemerintah (PP) no.37 Tahun 2012 tentang Pengelolaan DAS, maka Pengelolaan Sub DAS Lau Biang merupakan kewenangan Gubernur dalam provinsi dan/atau lintas kabupaten/kota.

Pengelolaan Mikro DAS merupakan kebijakan dari pemerintah untuk mengelola suatu DAS maupun Sub DAS menjadi lebih fokus, mudah analisa permasalahan dan merupakan kebersamaan berbagai pihak yang berkepentingan. Pengelolaan Mikro DAS akan disesuaikan dengan kebijakan yang berdasarkan peraturan perundang-undangan yang ada. Pengelolaan Mikro DAS merupakan pembagian kawasan Sub DAS Lau Biang kedalam kawasan yang lebih kecil. Seperti Sub DAS Lau Biang, Mikro DAS akan dianalisa berdasarkan fungsi kawasan, kesesuaian lahan, erosi dan desa-desa pada masing-masing Mikro DAS.

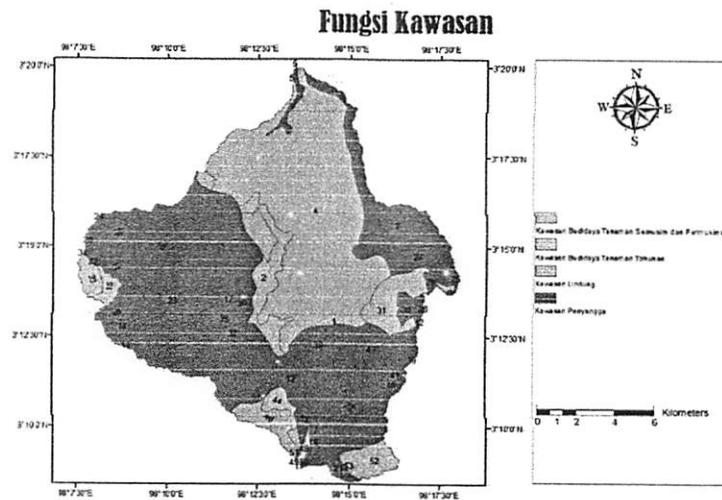
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam membuat analisa fungsi kawasan digunakan peta kemiringan lereng, peta jenis tanah dan peta curah hujan. Analisa fungsi kawasan menggunakan pengolahan dengan Sistem Informasi Geografis (SIG). Ketiga parameter untuk penentuan fungsi kawasan telah diberikan skor dan data yang saling bertampalan akan dijumlahkan. Hasil dari fungsi kawasan disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Fungsi Kawasan

Skor	Fungsi Kawasan	Luas (ha)
< 125 dengan kemiringan < 8°	Kawasan Budidaya Tanaman Semusim dan Permukiman	377,661
< 125 dengan kemiringan > 8°	Kawasan Budidaya Tanaman Tahunan	946,433
≥ 175	Kawasan Lindung	8.746,29
125 – 174	Kawasan Penyangga	12.029,87
Total		22.102,191

Setelah didapat dari Tabel 4 diatas, maka peta fungsi kawasan dengan koordinatnya disajikan pada Gambar 1.



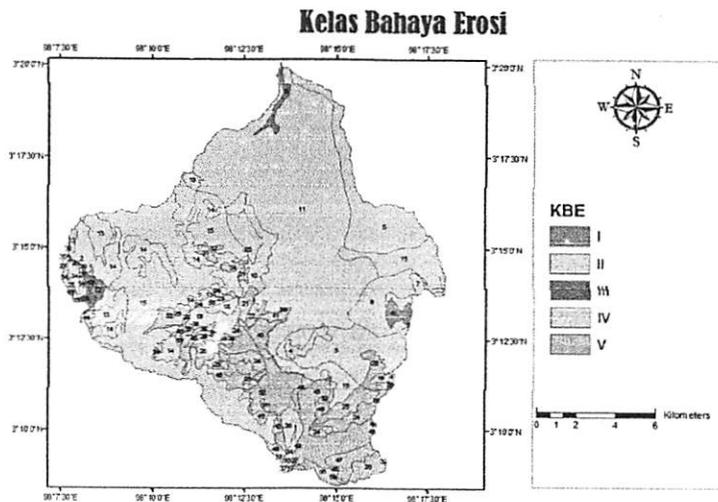
Gambar 1. Peta Fungsi Kawasan

Setelah seluruh perhitungan parameter untuk estimasi erosi selesai dihitung seperti faktor erosivitas hujan (R), faktor erodibilitas tanah (K), faktor konservasi lahan (CP) dan faktor kemiringan lereng (LS), maka keseluruhan parameter tersebut akan dimasukkan kedalam rumus USLE. Peta – peta parameter tersebut juga akan dibuat seperti peta R , peta K , peta CP dan peta LS . Keseluruhan peta akan ditumpangtindihkan untuk mendapatkan suatu peta baru yaitu peta Kelas Bahaya Erosi (KBE). Setelah peta KBE diklasifikasikan berdasarkan jumlah erosi pertahunnya menjadi 5 (lima) kelas disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Kelas Bahaya Erosi

Kelas Bahaya Erosi	Erosi (ton/ha/tahun)	Jumlah lokasi
I	< 15	6
II	> 15 - 60	15
III	> 60 - 180	2
IV	> 180 - 480	8
V	> 480	25

Hasil dari Tabel 5 diatas dapat dijadikan peta dan disajikan pada Gambar 2.



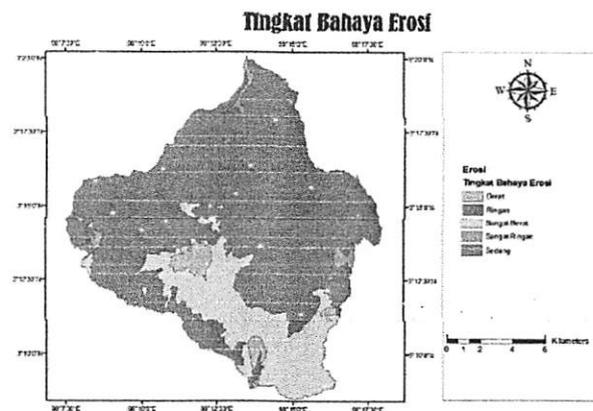
Gambar 2. Kelas Bahaya Erosi (KBE)

Setelah hasil Kelas Bahaya Erosi (KBE) didapatkan, maka peta KBE akan ditumpangtindihkan dengan peta solum tanah dan akan menghasilkan peta Tingkat Bahaya Erosi (TBE) dengan 5 (lima) kelas yang merupakan hasil analisa berdasarkan kriteria penentuan TBE. Hasil analisa TBE tersebut ditampilkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Tingkat Bahaya Erosi

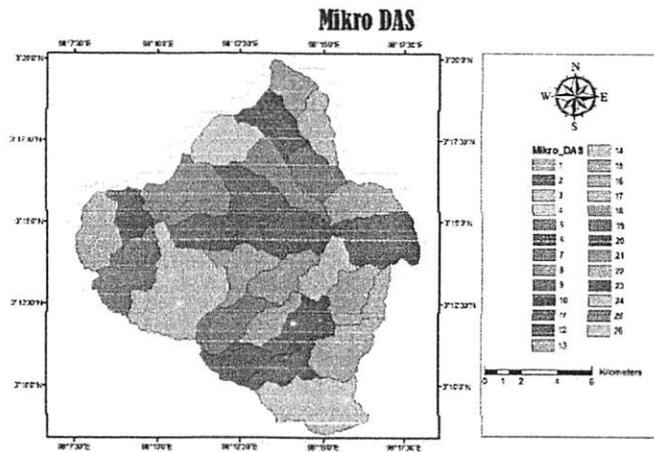
Kelas Bahaya Erosi	Solum Tanah	Keterangan	Luas (ha)
I	Dalam (>90 cm)	Sangat Ringan	283.015
II	Dalam (>90 cm)	Ringan	16679.400
III	Dalam (>90 cm)	Sedang	89.936
IV	Dalam (>90 cm)	Berat	579.301
V	Dalam (>90 cm)	Sangat Berat	4470.539

Dari hasil Tabel 6 diatas diketahui bahwa TBE yang dihasilkan pada Sub DAS berbagai kondisi mulai dari sangat ringan sampai sangat berat. Untuk hasil TBE kondisi sangat ringan dengan jumlah luas 283,015 ha dan kondisi TBE yang sangat berat dengan luas 4.470,539 ha. Hasil TBE dengan kondisi ringan merupakan TBE yang terluas sebesar 16.679,4 ha pada Sub DAS Lau Biang. Hasil analisa TBE pada penelitian dapat memberikan masukan bahwa kondisi lahan perlu diawasi pemanfaatan kawasan. Hasil dari TBE tersebut disajikan dalam bentuk peta pada Gambar 3.



Gambar 3. Tingkat Bahaya Erosi

Sub DAS Lau Biang belum memiliki Mikro DAS, sehingga Mikro DAS terlebih dahulu harus dibuat dan dianalisa dengan data yang ada. Mikro DAS pada Sub DAS Lau Biang merupakan analisa *basin* dan memiliki luasan area yang berbeda-beda. Hasil identifikasi *basin* tersebut dikelompokkan berdasarkan aliran sungai. Mikro DAS yang dihasilkan akan digunakan untuk pemanfaatan dan pengelolaan yang lebih fokus, terarah dan terencana dalam meningkatkan pengembangan potensi pada Sub DAS Lau Biang, hasil dari Mikro DAS disajikan pada Gambar 4.



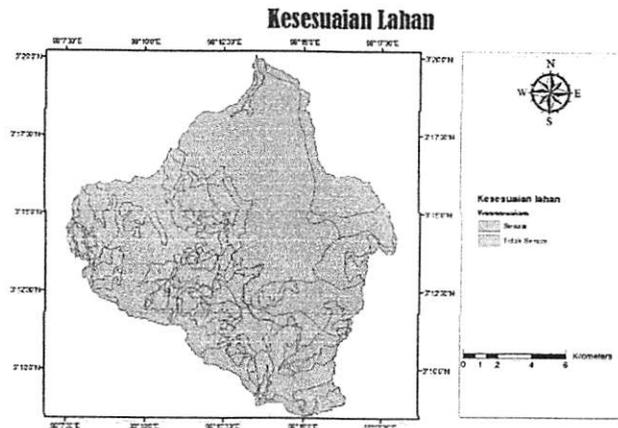
Gambar 4. Mikro DAS

Pengelolaan Sub DAS Lau Biang berdasarkan data-data yang telah ada untuk dikombinasikan menjadi informasi baru. Pengelolaan dikaitkan dengan tingkat bahaya erosi dan fungsi kawasan, sehingga dikawasan tertentu adakn ditinjau kembali penggunaan lahan untuk mendapatkan potensi dan pengembangan kawasan yang lebih baik. Hasil dari tumpangtindih antara TBE dan fungsi kawasan dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. TBE dan Fungsi Kawasan

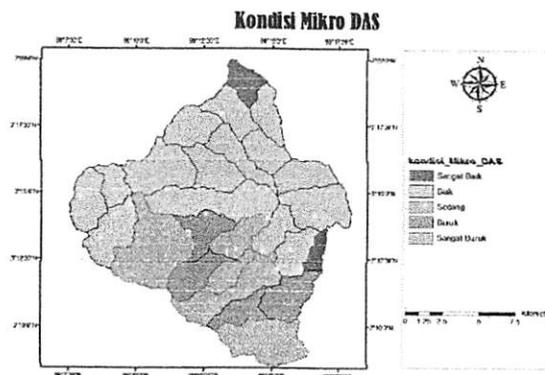
TBE	Fungsi Kawasan	Luas (ha)
Berat	Kawasan Budidaya Tanaman Tahunan	1,045
Berat	Kawasan Lindung	0,009
Berat	Kawasan Penyangga	578,256
Ringan	Kawasan Budidaya Tanaman Semusim dan Permukiman	231,483
Ringan	Kawasan Lindung	7640,567
Ringan	Kawasan Penyangga	8807,337
Sangat Berat	Kawasan Lindung	1105,39
Sangat Berat	Kawasan Penyangga	3365,104
Sangat Ringan	Kawasan Budidaya Tanaman Semusim dan Permukiman	56,803
Sangat Ringan	Kawasan Lindung	0,048
Sangat Ringan	Kawasan Penyangga	226,212
Sedang	Kawasan Budidaya Tanaman Semusim dan Permukiman	89,936
Luas		22102,19

Sub DAS Lau biang memiliki berbagai jenis penutupan lahan atau penggunaan lahan yang perlu diketahui tingkat kemampuan dan kesesuaian lahan. Penggunaan lahan eksisting diidentifikasi berdasarkan kesesuaian lahan yang telah dihitung dan ditentukan berdasarkan kriteria fungsi kawasan. Analisa kesesuaian lahan ini ditampilkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Kesesuaian Lahan

Menentukan kondisi Mikro DAS dengan kondisi: Sangat Buruk, Buruk, Sedang, Baik dan Sangat Baik diperlukan nilai rata-rata tertimbang dari skor TBE dan Skor Kesesuaian Lahan. Dengan adanya hasil kondisi Mikro DAS akan sangat membantu secara umum dalam mencapai tujuan pengelolaan melalui kebijakan-kebijakan yang akan ditentukan. Analisa kondisi Mikro DAS ditampilkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Kondisi Mikro DAS

KESIMPULAN

1. Fungsi Kawasan pada Sub DAS Lau Biang terdiri dari kawasan lindung seluas 8.746,29 ha, kawasan penyangga seluas 12.029,87 ha, kawasan budidaya tanaman tahunan seluas 946,433 ha dan kawasan budidaya tanaman semusim dan permukiman seluas 377,661 ha.
2. Kesesuaian lahan antara fungsi kawasan dengan penggunaan lahan seluas 18.969,158 ha dan ketidaksesuaian lahan antara fungsi kawasan dengan penggunaan lahan seluas 3.133,033 ha.
3. Estimasi erosi rata-rata pada Sub DAS Lau Biang sebesar 370,09 ton/ha/tahun dan masuk dalam kategori erosi kelas IV (erosi berat).
4. Tingkat Bahaya Erosi (TBE) ringan mendominasi pada kawasan Sub DAS Lau Biang dengan luas 16.679,4 ha. Untuk luasan terendah ada pada TBE sedang seluas 89,936 ha.
5. Pada Sub DAS Lau Biang dapat dibentuk menjadi 26 Mikro DAS
6. Hasil kondisi Mikro DAS yaitu 2 Mikro DAS dengan kondisi sangat baik, 16 Mikro DAS dengan kondisi baik, 4 Mikro DAS dengan kondisi sedang, 4 Mikro DAS dengan kondisi buruk dan 1 Mikro DAS dengan kondisi sangat buruk
7. Pengelolaan Mikro DAS dilakukan dengan memperhatikan fungsi kawasan, kesesuaian lahan dan tingkat bahaya erosi.

DAFTAR PUSTAKA

- Bhalla,R.S; Pelkey,N.W; Prasad, K.V.D.2010, Application Of GIS For Evaluation And Design Of *Watershed Guidelines*, *Water Resor Manage* 25:113-140.
- Gosain,A.K dan Calder,I.R.2003, *New Technologies For Watershed Management*, Proceedings Of Asian Regional Workshop On Watershed Management p:59-66.
- Latifah,S. 2010, *Pendugaan Erosi dalam Perspektif Sistem Informasi Geografis (SIG)*, Universitas Sumatera Utara.
- Murtalaksono,K.2013, *Modul Pelatihan Pembangunan Model DAS Mikro*, Direktorat Perencanaan dan Evaluasi Pengelolaan DAS, Ditjen Bina Pengelolaan DAS dan Perhutanan Sosial, Kementerian Kehutanan.
- Pallaris,K.1998, *Micro-Watershed Characterization And Classification: A Methodological Guide To Identifying Similar Cacthment For Field Research*, King College London.
- Peraturan Menteri Pekerjaan Umum no.41/PRT/M/2007 tentang *Pedoman Kriteria Teknis Kawasan Budi Daya*.
- Peraturan Pemerintah no 37 Tahun 2012 *Tentang Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*.
- Rachim,D.A dan Arifin,M. 2011 *Klasifikasi Tanah di Indonesia*, Pustaka Reka Cipta.
- Siswanto, 2006. *Evaluasi Sumber Daya Lahan*, UPN Press.
- Undang-Undang No.26 Tahun 2007 *Tentang Penataan Ruang*.