

Organize by:



*Prosiding*

**SEMINAR NASIONAL**

**HAKI**

**INDONESIA SIAGA GEMPA**

*Mitigasi Resiko Bencana Gempa Perkotaan  
Melalui Rekayasa Konstruksi Yang Berkelanjutan*

Editor:

Prof. Dr. Johannes Tarigan, IP-U

Ade Faisal, Phd, IP-Md

Yetti Riris Saragi, ST, MT

M. Husin Gultom, ST, MT

Rahmi Karolina, ST, MT

**Tiara Convention Centre (Balai Raya)**

Medan, 30 - 31 Mei 2014

 **USU** press



**Prosiding**

# **SEMINAR HAKI**

**Medan, 30 – 31 Mei 2014**

## **INDONESIA SIAGA GEMPA**

**Mitigasi Resiko Bencana Gempa Perkotaan  
Melalui Rekayasa Konstruksi Yang Berkelanjutan**

Editor :

Prof. Dr. Johannes Tarigan, IP-U

Ade Faisal, Phd, IP-Md

Yetti Riris Saragi, ST, MT

M. Husin Gultom, ST, MT

Rahmi Karolina, ST, MT

Organized by :





**USU Press**

*Art Design, Publishing & Printing*

Gedung F, Pusat Sistem Informasi (PSI) Kampus USU

Jl. Universitas No. 9

Medan 20155, Indonesia

Telp. 061-8213737; Fax 061-8213737

[usupress.usu.ac.id](http://usupress.usu.ac.id)

© USU Press 2014

Hak cipta dilindungi oleh undang-undang; dilarang memperbanyak menyalin, merekam sebagian atau seluruh bagian buku ini dalam bahasa atau bentuk apapun tanpa izin tertulis dari penerbit.

ISBN 979 458 741 9

Perpustakaan Nasional Katalog Dalam Terbitan (KDT)

Prosiding Seminar HAKI: Indonesia Siaga Gempa / Editor: Johannes Tarigan, [et.al.] – Medan: Usu Press, 2014.

v, 185 p.: illus.; 29 cm

ISBN: 979-458-741-9

Dicetak di Medan, Indonesia



## KATA PENGANTAR

Puji dan Syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan berkat dan RahmatNya kepada kita semua, sehingga pada hari ini dapat kita laksanakan Seminar Nasional dan Pameran dengan tema “SIAGA GEMPA BERSAMA HAKI MENUJU SUMATERA UTARA YANG LEBIH BAIK DAN AMAN”, sub tema “Mitigasi Resiko Bencana Gempa Perkotaan Melalui Rekayasa Konstruksi yang Berkelanjutan”.

Dimana dalam beberapa tahun belakangan ini, terutama sejak dipindahkannya Bandara Polonia yang terletak di pusat kota Medan menjadi Bandara Udara Internasional Kualanamu yang terletak di daerah Lubuk Pakam, Kabupaten Deli Serdang, pembangunan konstruksi bangunan tinggi di Propinsi Sumatera Utara khususnya kota Medan mengalami perkembangan pesat. Antara lain dengan Gedung Hotel JW. Marriot, Cambridge, serta akan dibangunnya beberapa gedung bertingkat yaitu ITC Polonia, U-Town, Podomoro, dan lain sebagainya. Sehingga hal ini perlu diadakan mitigasi resiko gempa dengan rekayasa konstruksi yang berkelanjutan.

Oleh karena itu, Himpunan Ahli Konstruksi Komda Sumut bekerja sama dengan Balai Peningkatan Keahlian Konstruksi – PUSBIN KPK- BP Konstruksi Kementerian Pekerjaan Umum menyelenggarakan Seminar Nasional, Sertifikasi keahlian dan pameran pada tanggal 30-31 Mei 2014 di Hotel Tiara Medan, dengan mengundang pembicara-pembicara Nasional yang mempunyai keahlian dan kompetensi dalam permasalahan di atas. Selain seminar dan pameran, panitia juga menyajikan prosiding.

Dalam Prosiding ini menyajikan beberapa karya ilmiah dari para pelaksana dunia konstruksi dan akademisi dengan berbagai topik seperti pelaksanaan, rehab, riset, rekayasa gempa, penerapan peraturan dan segala hal yang berkaitan dengan konstruksi.

Kami seluruh Panitia Seminar mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu terselenggaranya acara seminar nasional ini serta kepada perguruan tinggi seperti Universitas Sumatera Utara, Politeknik Negeri Medan, Universitas HKBP Nommensen, Universitas Katolik St. Tomas, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, dan Universitas Islam Indonesia, khususnya kepada beberapa sponsor dan donatur yang telah mendukung kami yakni PT. Putera Baja Deli, Holcim, Bluescope Lysaght, PT. Dexton, PT. Growth Sumatra Industry, PT. Sika dan Kokoh Bersama, PT. Perintis, PT. Jaya Beton Indonesia, PT. Utama Karya (Persero), PT. Macan Sumatera Indonesia dan PT. Jaya Pondasi Nusantara.

Akhir kata, semoga karya ilmiah yang tersaji dalam prosiding ini membawa manfaat untuk para pelaksana konstruksi Indonesia. Dan kami seluruh Panitia Seminar mengucapkan selamat mengikuti seminar ini.

Medan, 18 Mei 2014  
Panitia Seminar Nasional

**Berlin Tampubolon, ST.**  
Ketua Panitia

# DAFTAR ISI

|                                                                                                                                                                                                            |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| KATA PENGANTAR.....                                                                                                                                                                                        | iii |
| DAFTAR ISI .....                                                                                                                                                                                           | iv  |
| <br>STRUKTUR BASEMENT DAN METODE PELAKSANAAN<br>Steffie Tumilar Ir, M.Eng, MBA, AU (HAKI).....                                                                                                             | 1   |
| <br>LINEARLY-ELASTIC DYNAMIC ANALYSIS<br>H.R. Tanuwidjaja dan G.K. Santoso .....                                                                                                                           | 69  |
| <br>KAJIAN EKSPERIMENTAL PERILAKU BESI BETON SEBAGAI ANGKUR PENGHUBUNG GESER<br>AKIBAT GESER MURNI PADA BETON MUTU RENDAH<br>Prof. Dr. Ing. Johannes Tarigan, Sheila Hani Nasution.....                    | 84  |
| <br>ANALISIS TIMBUNAN DI ATAS TANAH LUNAK<br>(Pada Proyek Pembangunan Jalan Toll Medan-Kualanamu)<br>Syiril Erwin, ST.,MT, dan Ir.Rudi Iskandar,MT.....                                                    | 93  |
| <br>TORSI AKTUAL PADA SRPM SIMETRIS<br>Ade Faisal.....                                                                                                                                                     | 107 |
| <br>POTENSI PENAMBAHAN <i>BOTTOM ASH</i> PADA TANAH LEMPUNG TERHADAP PENINGKATAN<br>NILAI KUAT TEKAN<br>Raden Hendra Ariyapijat, ST, MT, Aazokhi Waruwu, ST, MT, Surta Ria Nurliana Panjaitan, ST, MT..... | 114 |
| <br>PEMANFAATAN GRID BAMBUS SEBAGAI PERKUATAN FONDASI DANGKAL DI ATAS TANAH<br>GAMBUT<br>Aazokhi Waruwu, ST, MT dan Agus Ronaldo Situmeang.....                                                            | 118 |
| <br>REUTULISASI SEDIMEN HASIL PEKERJAAN Pengerukan SEBAGAI MATERIAL BARU<br>DALAM PEKERJAAN PEMBANGUNAN JALAN<br>Ernesto Silitonga, Syafiatun Siregar, Nono Sebayang, Rahmat Taufik.....                   | 125 |
| <br>PERILAKU BALOK BETON BERTULANG DENGAN PERKUATAN PELAT BAJA<br>DALAM MEMIKUL LENTUR<br>Nursyamsi dan Nomi Novita Sitepu.....                                                                            | 133 |
| <br>DURABILITY AND MECHANICAL CHARACTERISTICS OF POLYMER MODIFIED FERROCEMENT<br>IN STRUCTURAL DEVELOPMENT<br>Fahrizal Zulkarnain, Mohd. Zailan Suleiman.....                                              | 141 |
| <br>INTERPRETASI HASIL PENYELIDIKAN TANAH DALAM PENENTUAN KEBUTUHAN TIANG<br>PANCANG<br>Binsar Silitonga .....                                                                                             | 146 |
| <br>PENGENDALIAN PROYEK KONSTRUKSI DENGAN KONSEP EARNED VALUE<br>Studi Kasus : Pembangunan Gardu Induk Pasir Pangaraian dan Bangkinang<br>Syahrizal, dan Fitri Handayani .....                             | 152 |
| <br>EVALUASI DAKTILITAS PADA BANGUNAN RUMAH TOKO DI KOTA MEDAN<br>Tondi Amirsyah Putera, Bobby Sulaiman Malik Parinduri dan Ade Faisal.....                                                                | 158 |
| <br>PERENCANAAN PERKERASAN KAKU (RIGID PAVEMENT) PADA PELEBARAN<br>JL. AMIR HAMZAH BINJAI<br>Yetty Riris Rotua Saragi.....                                                                                 | 163 |



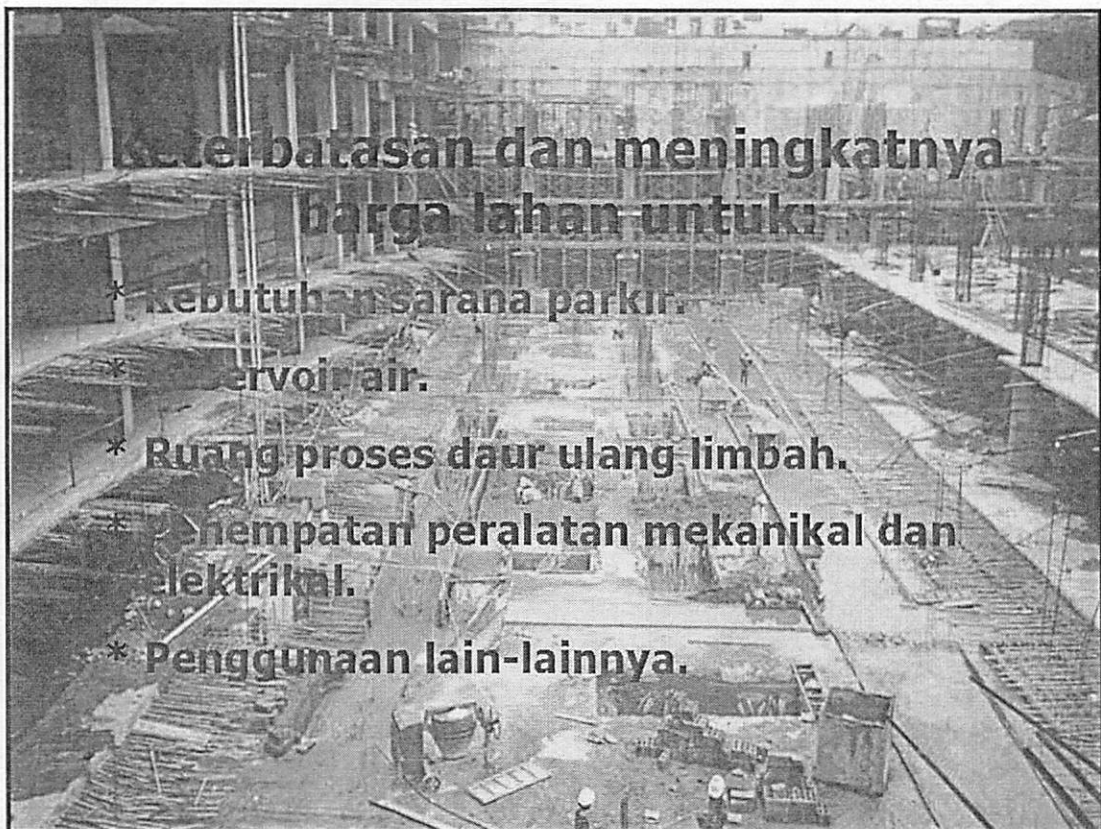
|                                                                                          |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| PEMANFAATAN LIMBAH PABRIK GULA (TETES TEBU) SEBAGAI BAHAN TAMBAH<br>DALAM CAMPURAN BETON |     |
| M. Agung Putra Handana, Ahmad Prima Syahnan.....                                         | 171 |
| OPTIMASI PENGARUH SUBSTITUSI ABU SERABUT KELAPA DALAM CAMPURAN BETON                     |     |
| Rahmi Karolina, Nora Usrina.....                                                         | 175 |
| SPONSOR .....                                                                            | 181 |

# Struktur Basement dan Metode Pelaksanaan

Steffie Tumilar ir, M.Eng, MBA, AU(HAKI)

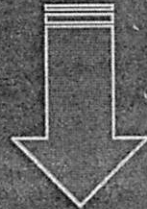


Himpunan Ahli Konstruksi Indonesia, Jakarta dan  
Balai Peningkatan Keahlian Konstruksi PUBIN KPK BP  
Konstruksi Kementerian PU Jakarta,  
Tiara Convention, Medan, Sumatera Utara,  
30 dan 31.05.2014

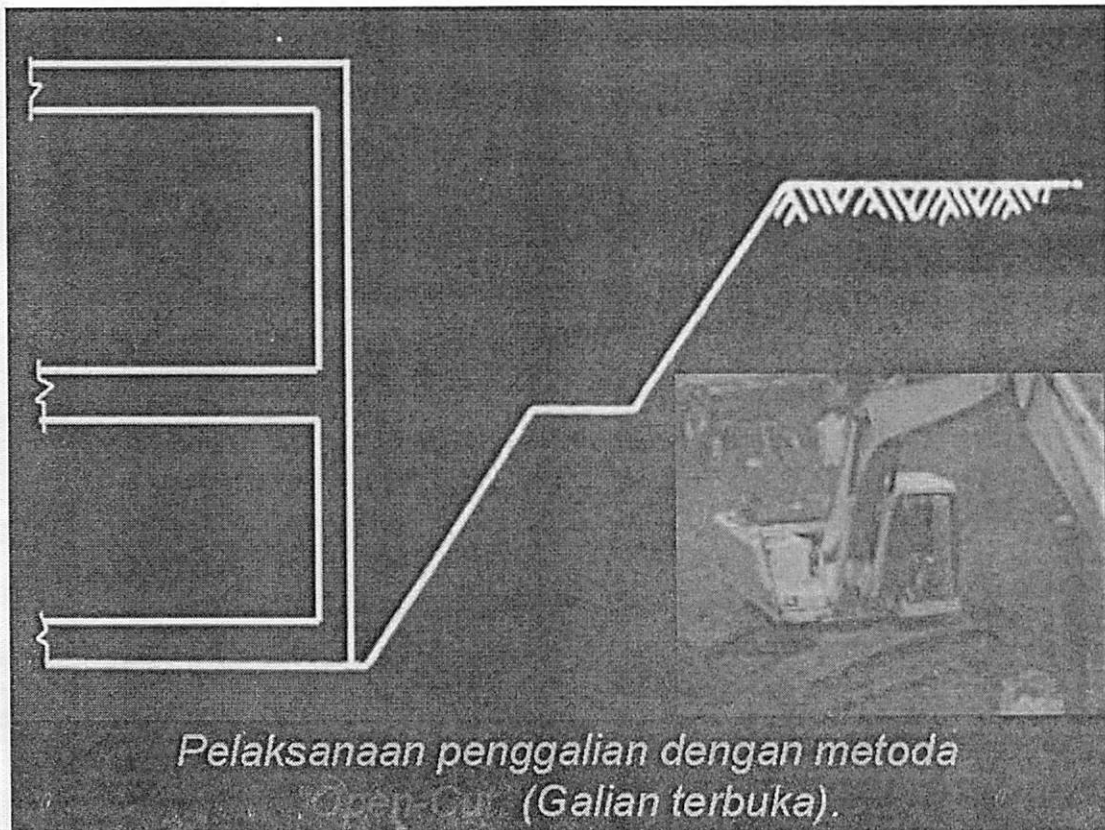


## Pelaksanaan Pembuatan Dinding Basement

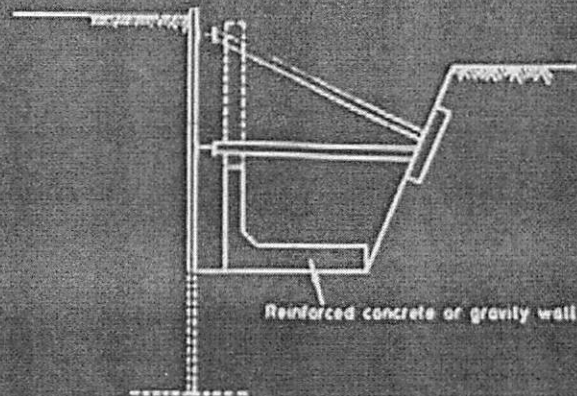
1. Pembuatan dinding struktur basement dilakukan dengan metoda galian terbuka (Open-Cut)
2. Pembuatan dinding struktur basement diawali dengan pemasangan "Sheet-pile" yang kemudian diikuti dengan galian bertahap.



**Steel, Concrete, Composite**







**10. Temporary support strutted against central dumping**

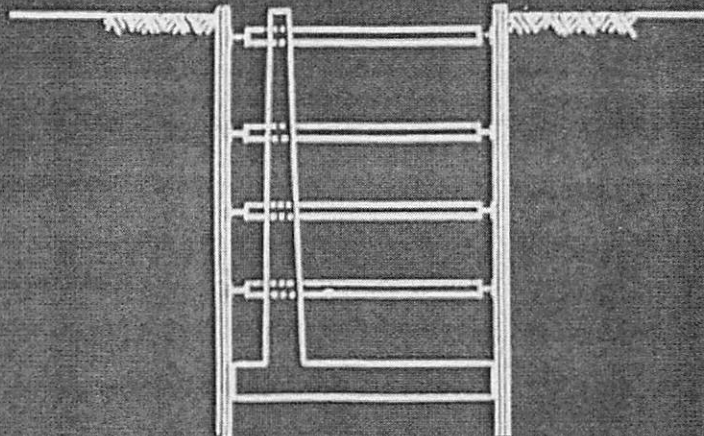
*advantages*

Suitable for large excavations in plan rather than in depth. Evades ground-water problems if sheet piling can effect seal in underlying stratum.

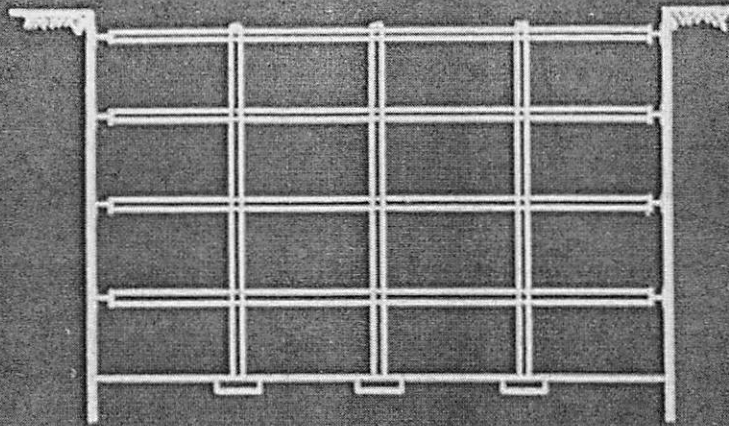
*disadvantages*

Slow and radically constrains programme and access. Wall has to be self-supporting to withstand soil pressures when dumping removed.

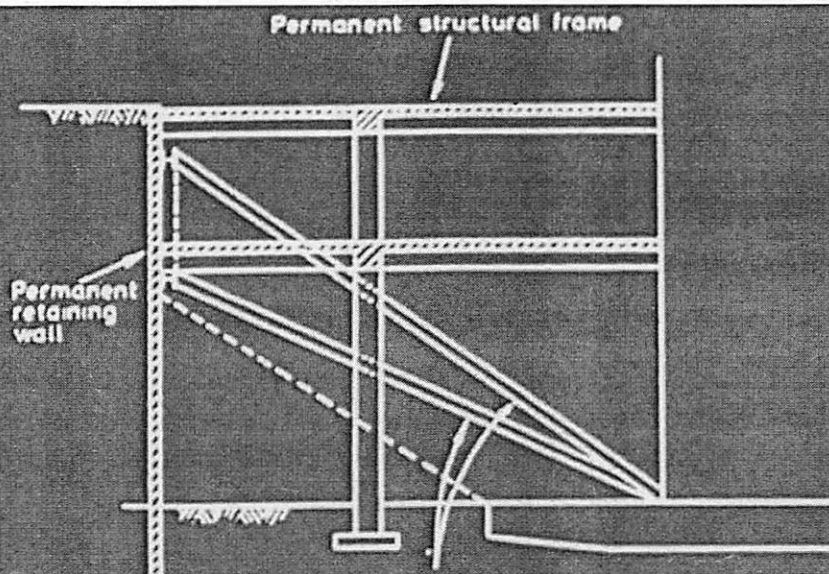
*Pelaksanaan penggalian dengan metoda open cut yang dikombinasikan dengan temporary strutt*



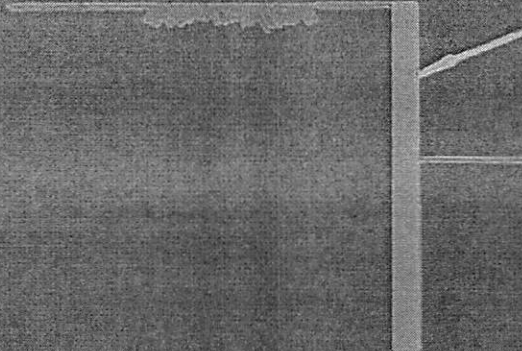
*Temporary support dan fully braced trench*



*Temporary support dan fully braced trench*



*Penggalan (berm removal) dilakukan setelah pemasangan struts dari dasar bangunan yang sudah jadi terhadap dinding basement yang dapat berupa diaphragm wall (D wall) atau contiguous bore pile atau sejenisnya.*



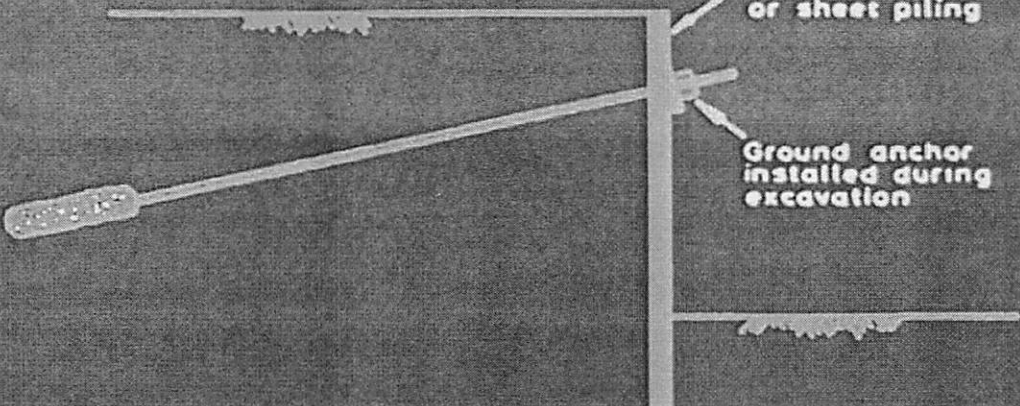
Dapat berupa :

- Sheet pile (steel or concrete),
- Contiguous pile
- H-pile dengan horizontal sheeting
- Diaphragm Wall (D-Wall)

### Cantilever Walls

**Kelebihannya:**  
Kemudahan pelaksanaan karena hambatan lahan kerja berkurang

**Kekurangannya:**  
Membutuhkan perhatian khusus pada saat pengecoran beton dari dinding penahan tanah (deep walls), dan juga bila saat galian dibutuhkan penurunan permukaan air yang cukup tinggi.



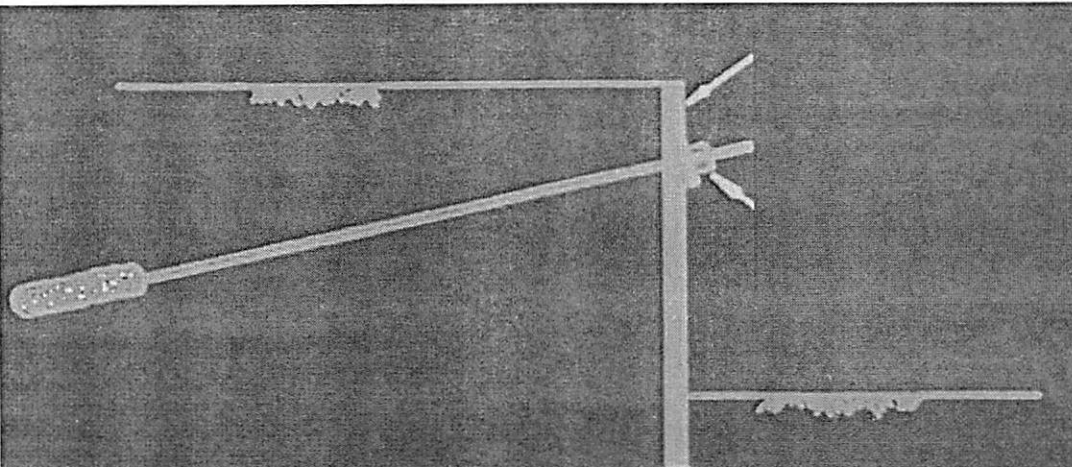
Diaphragm wall, bored piling or sheet piling

Ground anchor installed during excavation

**Dinding baseement dapat berupa :**

- Sheet pile (steel or concrete),
- Contiguous pile
- H-pile dengan horizontal sheeting
- Diaphragm Wall (D-Wall)
- Pelaksanaan ground-anchor dipasang pada saat masa pengerjaan galian





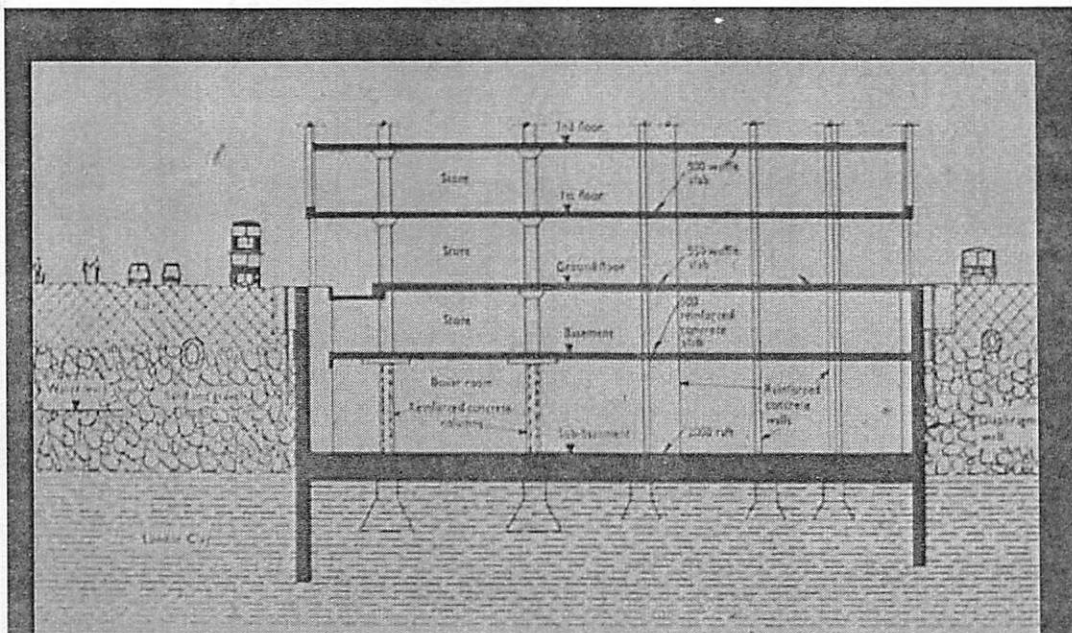
## Cantilever Walls dan Ground Anchored

### Kelebihannya:

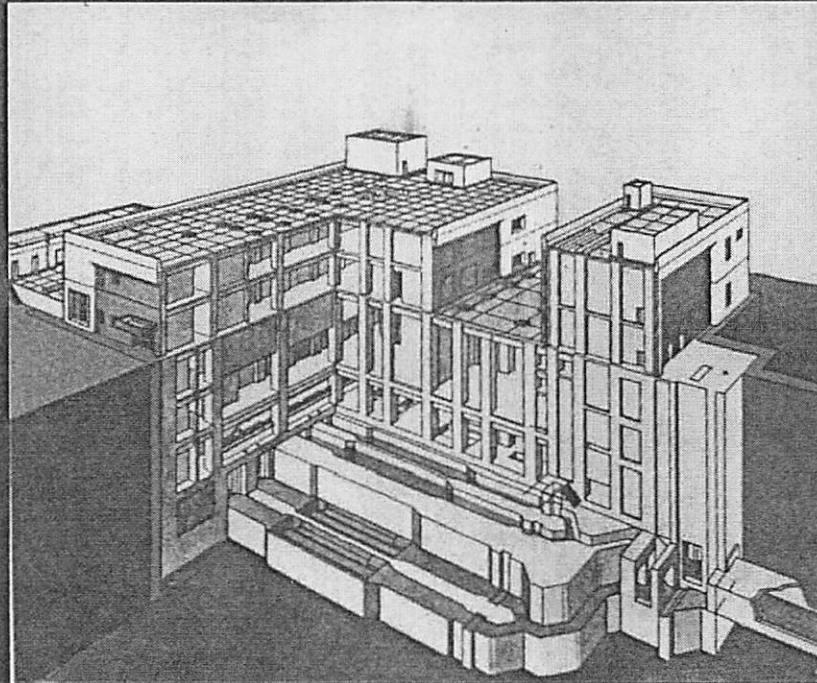
Kemudahan pelaksanaan karena hambatan lahan kerja berkurang

### Kekurangannya:

Membutuhkan perhatian khusus terutama terhadap pergerakan dari ground-anchored dan dinding basement.



Contoh penerapan DMW pada bangunan yang dibatasi oleh jalur lalu-lintas pada kedua sisinya.



*Contoh penerapan D-Wall pada bangunan multi basement.*

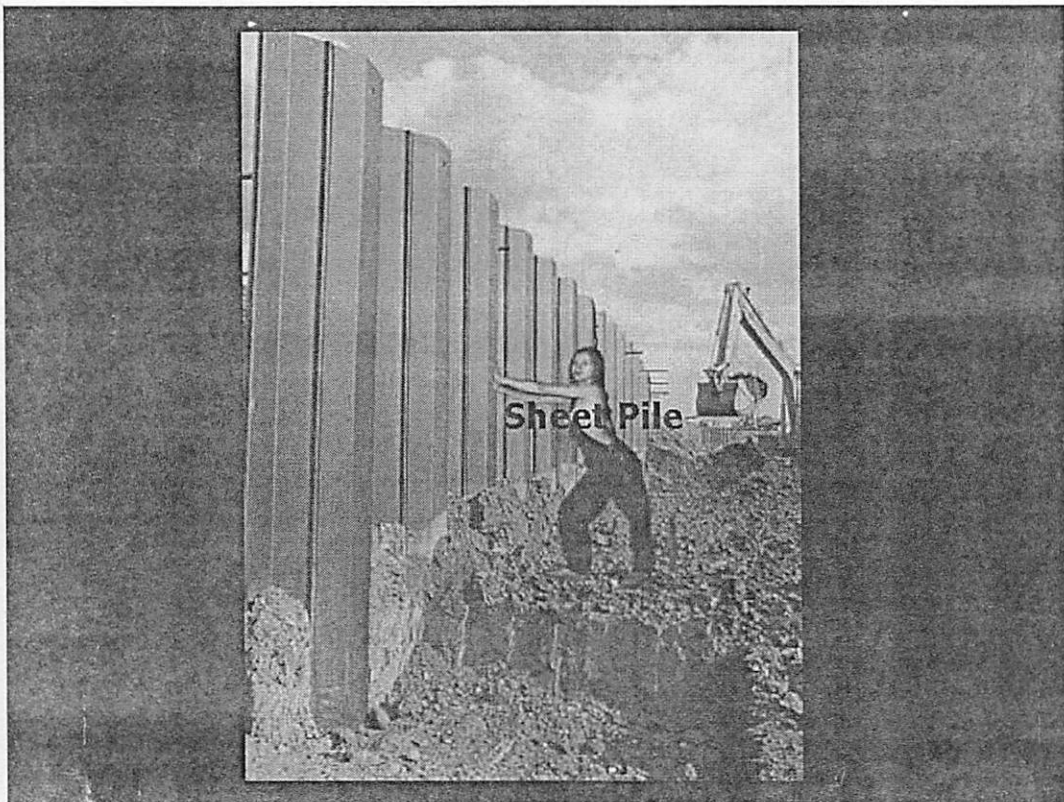
## Jenis struktur dinding penahan tanah

### 1. Baja (Steel)

Struktur dinding penahan tanah dari struktur baja yang dapat berupa

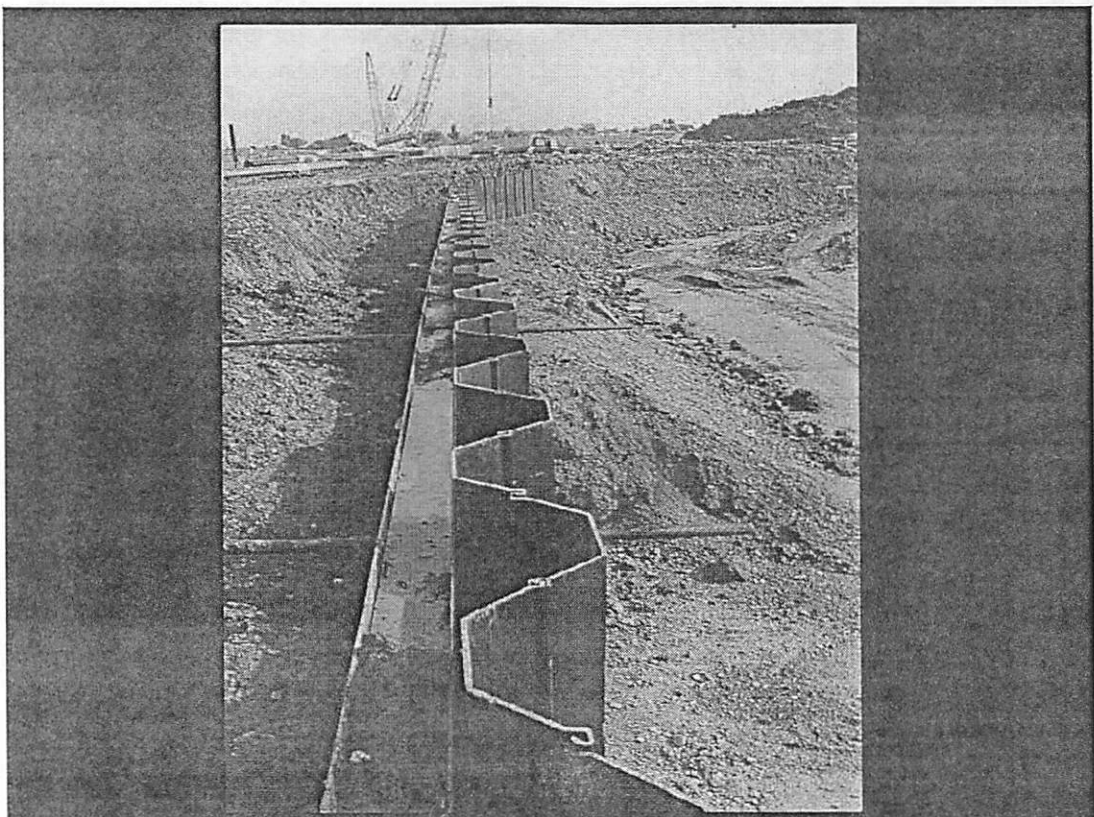
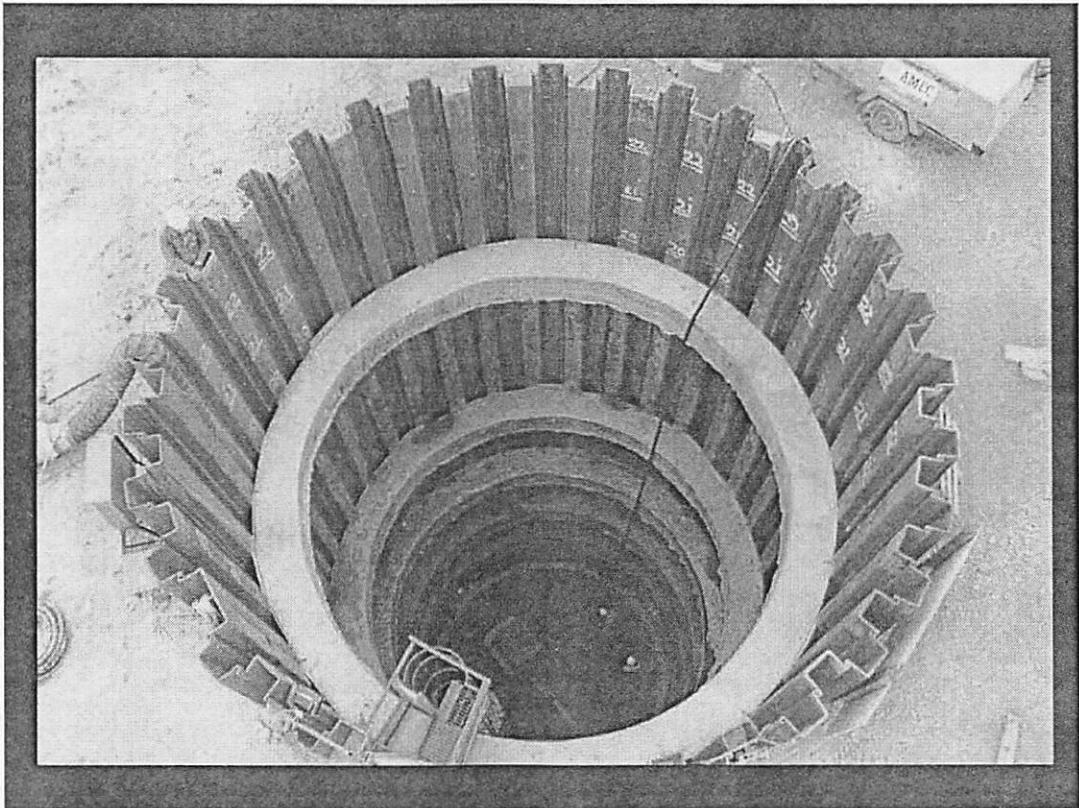
- "Interlocked steel sheet piles"
- atau sheet piles yang berupa
- "Interlocked steel pipe piles"

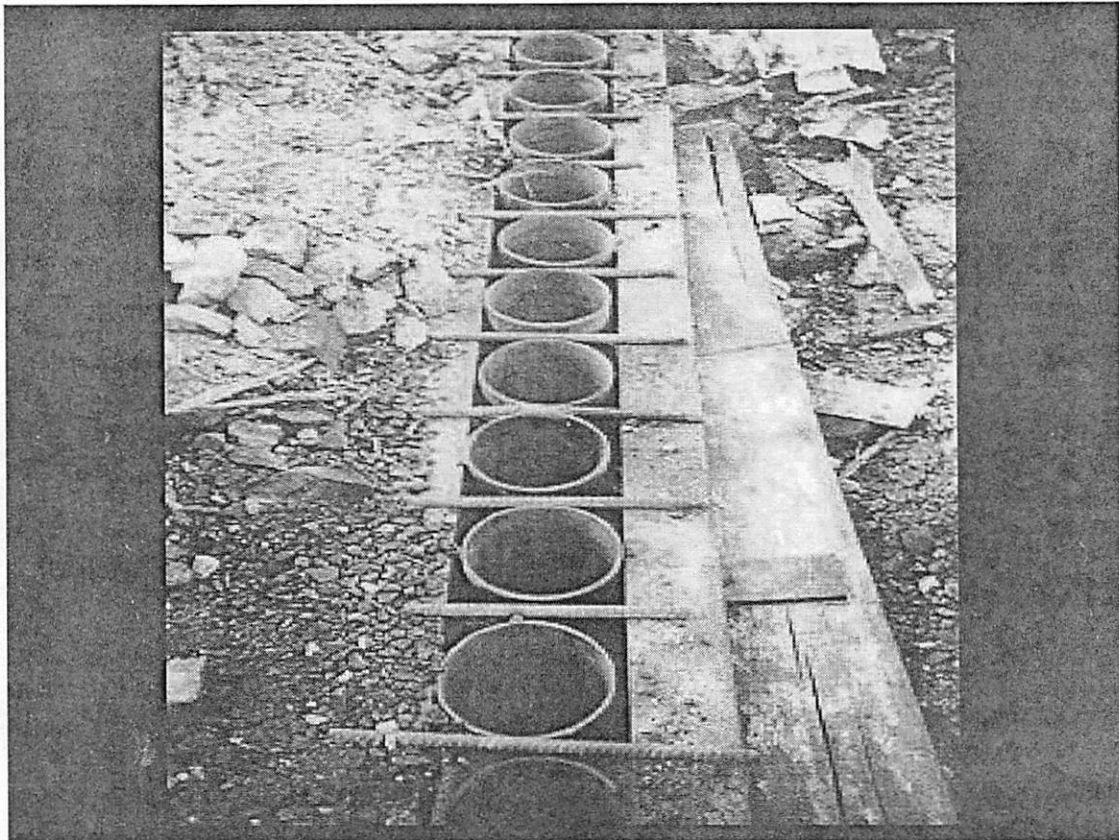
**SEMINAR NASIONAL HAKI**  
Tiara Convention Hall, Medan – 30 31 Mei 2014





**SEMINAR NASIONAL HAKI**  
Tiara Convention Hall, Medan – 30 31 Mei 2014





## 2. Beton (Concrete)

Struktur Dinding Penahan Tanah dari Beton:

- \* Concrete Sheet piles.
- \* Diaphragm-wall cast-in-situ.
- \* Prefabricated Diaphragm wall.
- \* Tangent piles.
- \* Secant piles.
- \* Curtain wall.

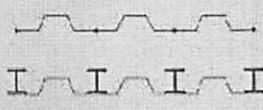
### 3. Composite

#### Struktur Dinding Penahan Tanah Komposit:

- \* Tiang baja dengan sekat kayu atau beton pracetak.
- \* Tiang bor beton bertulang interlocked dengan tiang bor komposit yang berisi profil baja.
- \* Tiang bor beton bertulang interlocked dengan tiang bor tidak bertulang.
- \* Tiang bor beton bertulang interlocked dengan tiang "Cement bentonite pile".
- Diaphragm wall yang interlocked dengan tiang "Cement bentonite pile".
- Diaphragm wall yang interlocked dengan tiang baja dan lain sebagainya.

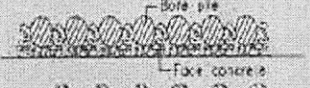
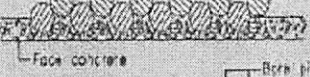
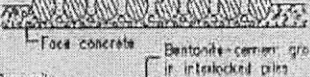
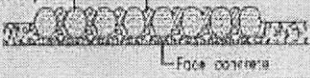
Berbagai jenis struktur dinding penahan tanah dengan berbagai kelebihan dan kekurangannya.

#### Earth retaining structures

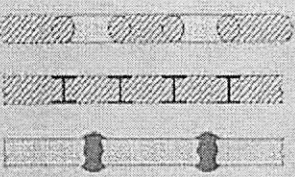
| Type                        | Section                                                                             | Advantage                                                                                                     | Disadvantage                                                                                                                                                                                                              |
|-----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. Sheet pile wall          |  | <ul style="list-style-type: none"> <li>* Can be impervious</li> <li>* Easy to handle and construct</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>* Can not be used in gravelly soils</li> <li>* Limited stiffness</li> <li>* Interlocks can be lost in hard driving</li> <li>* Difficult to penetrate through hard layer</li> </ul> |
| 2. Steel pile and lagging   |  | <ul style="list-style-type: none"> <li>* Easy to handle and construct</li> </ul>                              | <ul style="list-style-type: none"> <li>* Wall is pervious</li> </ul>                                                                                                                                                      |
| 3. Precast pile and lagging |  | <ul style="list-style-type: none"> <li>* Low initial cost</li> </ul>                                          | <ul style="list-style-type: none"> <li>* Requires care in placement of lagging</li> </ul>                                                                                                                                 |
| 4. Gravity pile and lagging |  | <ul style="list-style-type: none"> <li>* Can be driven or drilled</li> </ul>                                  |                                                                                                                                                                                                                           |



## Berbagai jenis struktur dinding penahan tanah dengan berbagai kelebihan dan kekurangannya.

|                                                                   |                                                                                   |                                       |                            |
|-------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|----------------------------|
| 5. Bore piles walls                                               |  | *Can be impervious                    |                            |
| 6. Tangent wall                                                   |  | *High stiffness                       | *Extensive disposal needed |
| 7. Secant wall                                                    |  | *Easy to handle and construct         | *Surface can be rough      |
| 8. Bore piles with cement bentonite interlocked piles             |  | *Using drilling machine               | *Skill labor required      |
| 9. Soldier piles with bentonite cement grout in interlocked piles |  | *Can be penetrate through hard layer. | *Cost slightly high        |
|                                                                   |                                                                                   | *Can be part of permanent structure.  |                            |

## Berbagai jenis struktur dinding penahan tanah dengan berbagai kelebihan dan kekurangannya.

|                                  |                                                                                     |                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                          |
|----------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 10. Slurry Walls                 |  | *Can be impervious<br>*High stiffness<br>*Can be penetrate through hard layer<br>*Can be part of permanent structure | *High Initial cost<br>*Extensive disposal needed<br>*Surface can be rough<br>*Specially contractor required to construct                                                                 |
| 11. Precast concrete slurry wall |  | *Can be impervious<br>*High stiffness<br>*Can be part of permanent structure<br>*Can be prestressed                  | *High Initial cost<br>*Can not penetrate through hard layer.<br>*Specially contractor<br>*Slurry disposal needed<br>*Very large and heavy members.<br>*Must be handled for deep systems. |

#### **4. Sistem Penopang (Strutting) dan Penahan Struktur Dinding Penahan Tanah.**

- \* Penopang miring (Incline Strutting/rakers).*
- \* Penopang diagonal (Diagonal Strutting).*
- \* Penopang horizontal (Horizontal Strutting).*
- \* Penahan dengan jangkar / angkur tanah (Ground anchor).*

**Pada pelaksanaan basement dengan metoda “Downward Construction” sistem penopang yang dipakai adalah sistem penopang horizontal berupa lantai beton struktur permanent.**

**“ Self Strutting”**

**Untuk beberapa hal kadangkala sistem penopang horizontal dikombinasikan dengan sistem penopang diagonal.**

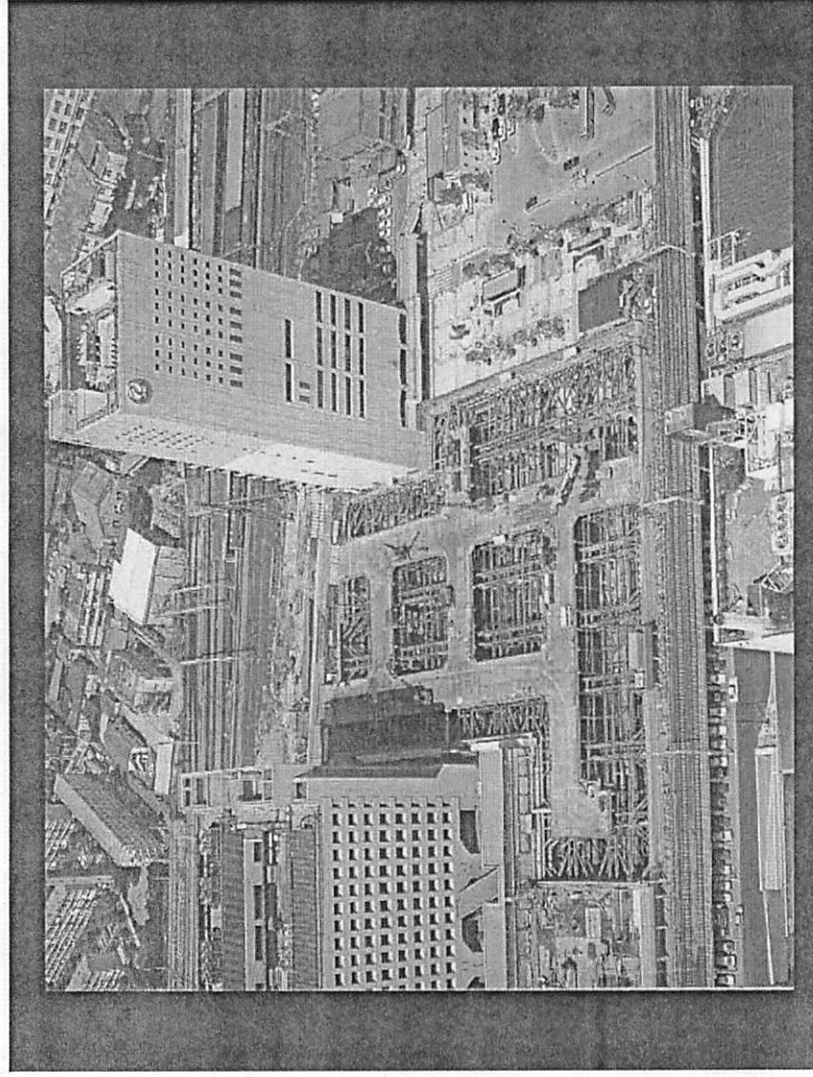


**SEMINAR NASIONAL HAKI**  
Tiara Convention Hall, Medan – 30 31 Mei 2014

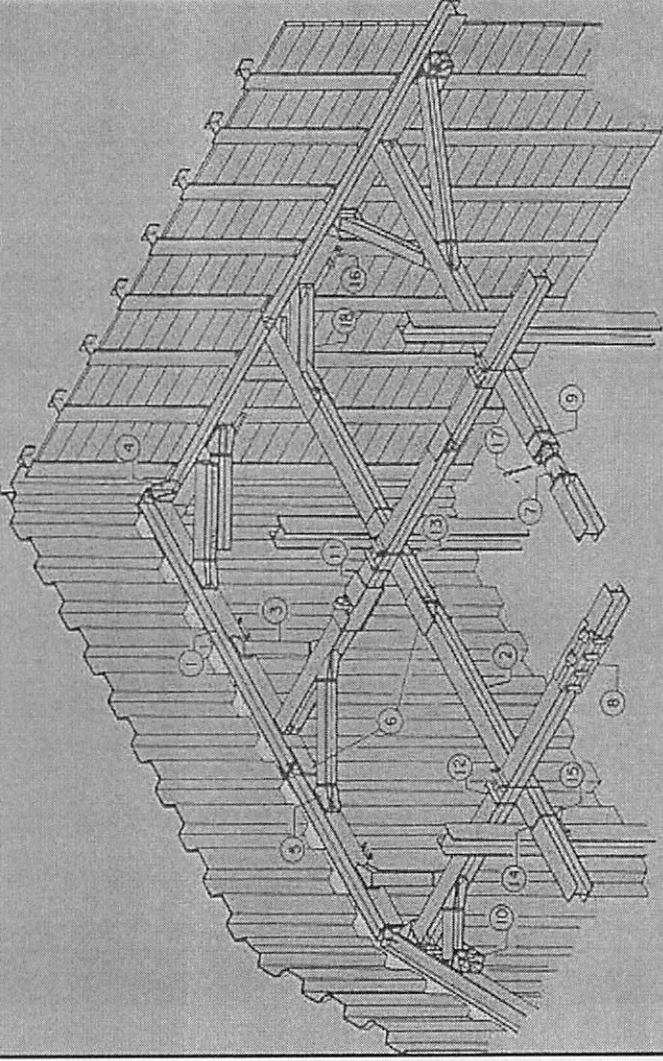




**SEMINAR NASIONAL HAKI**  
Tiara Convention Hall, Medan – 30 31 Mei 2014

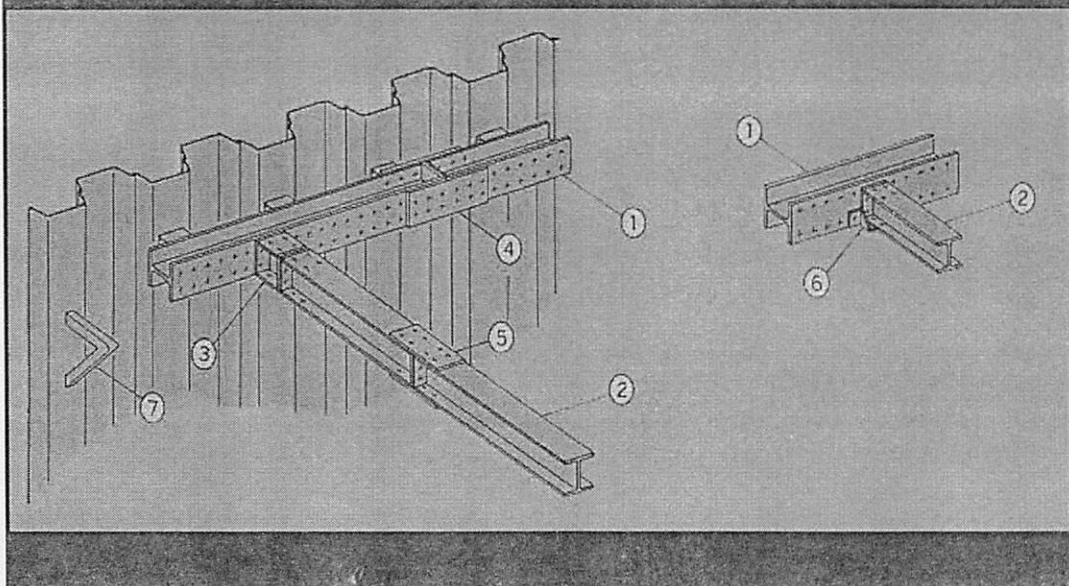


**Horizontal dan Diagonal Strutting.**

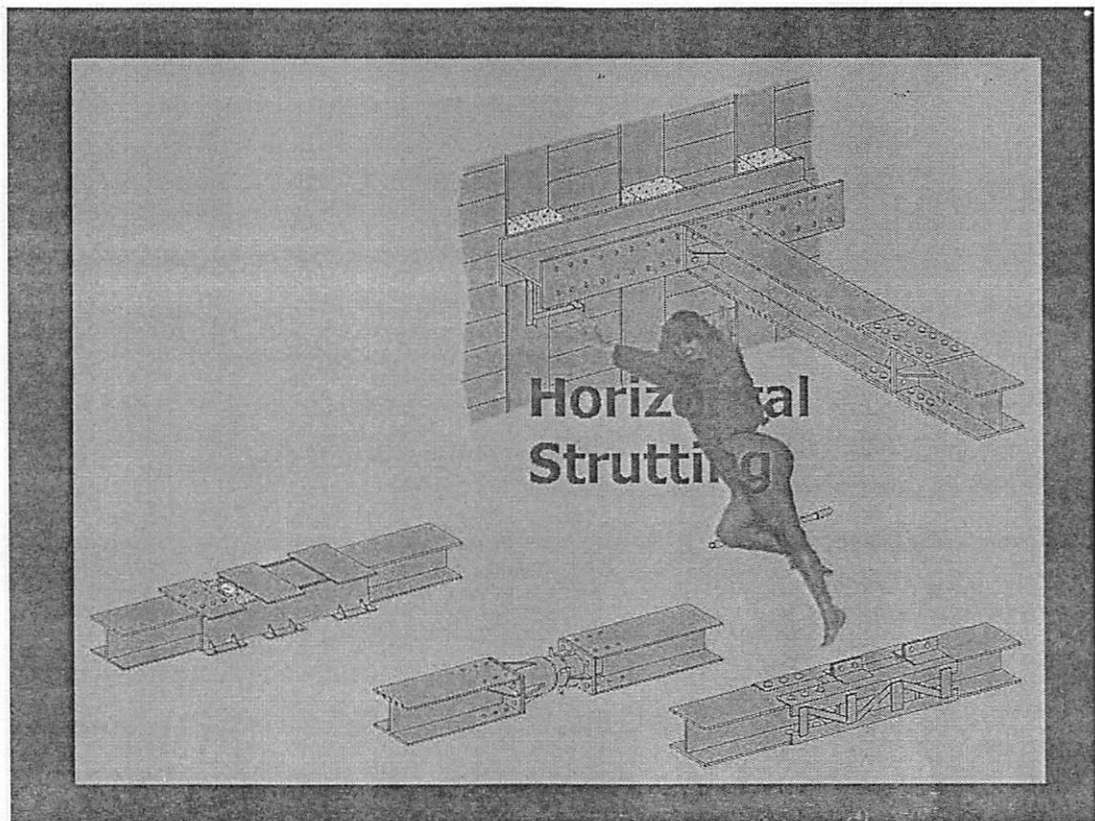
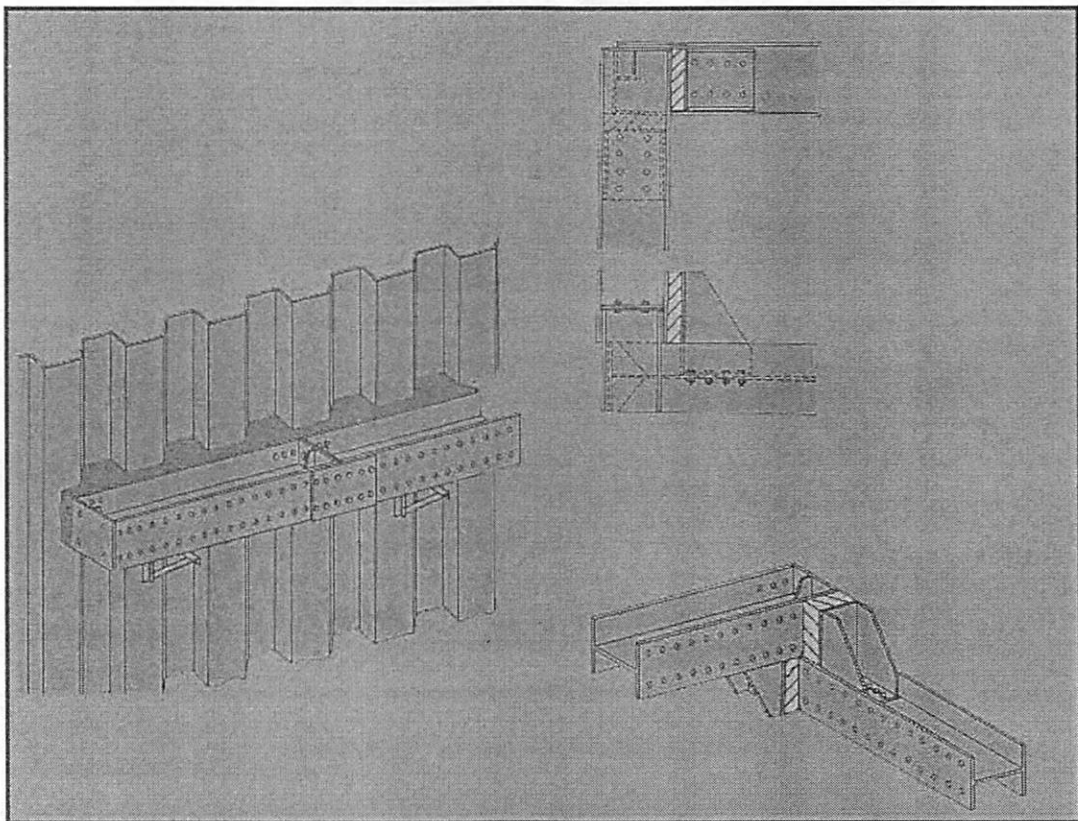




### **Contoh Detailing dari horizontal dan diagonal strutting.**

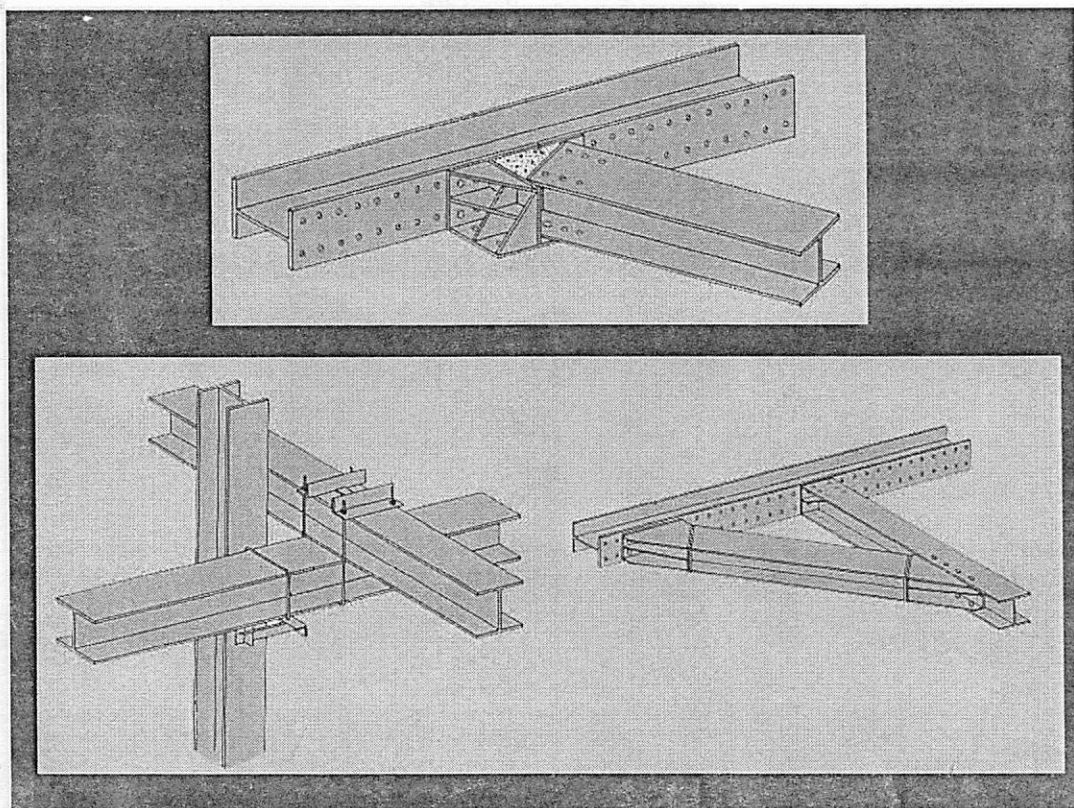
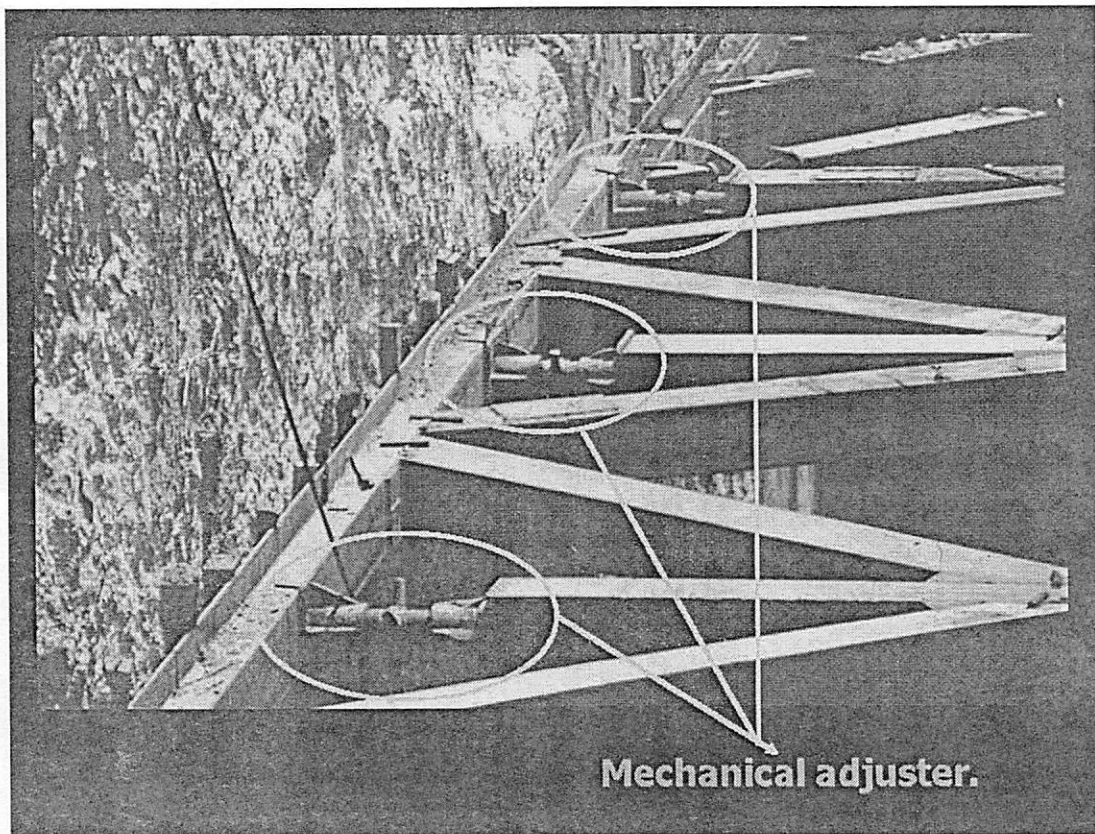


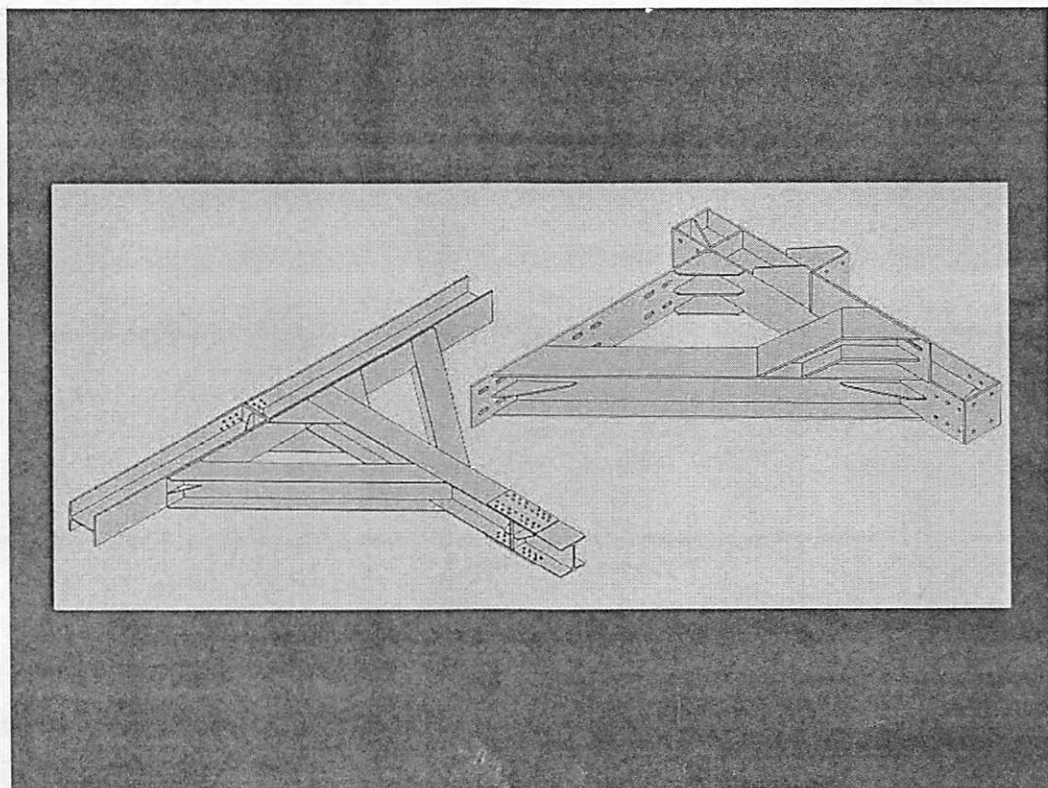
**SEMINAR NASIONAL HAKI**  
Tiara Convention Hall, Medan – 30 31 Mei 2014





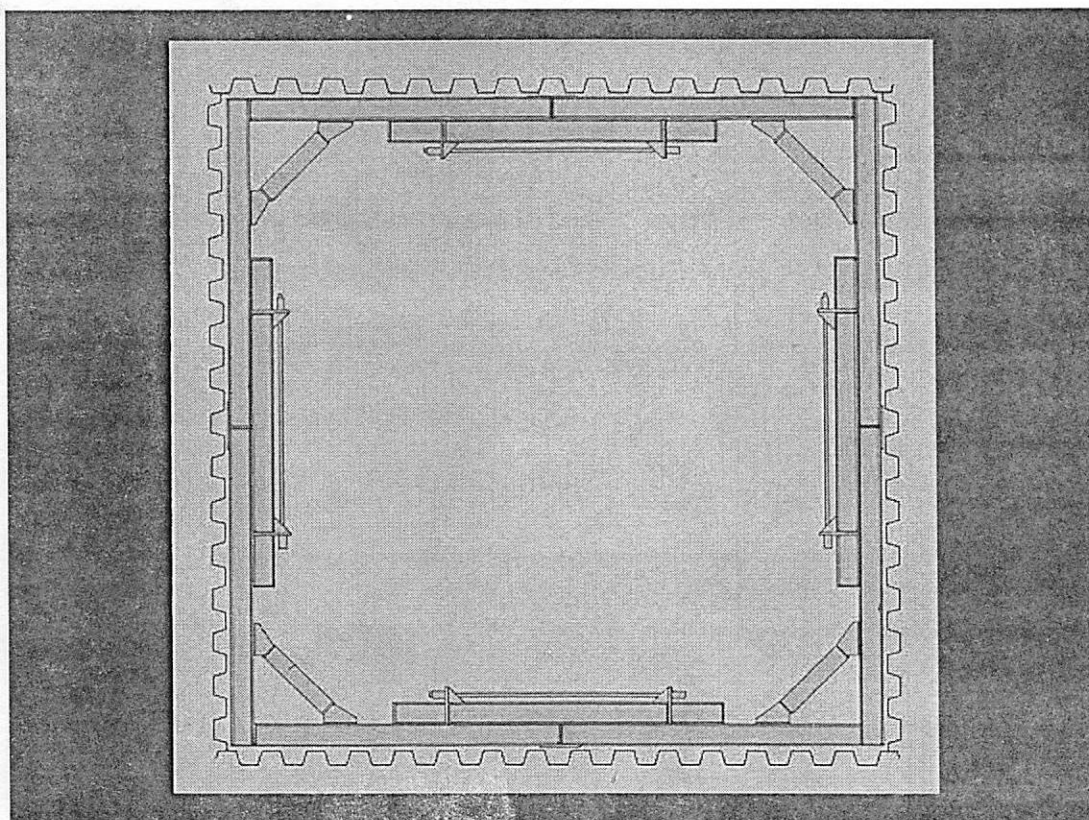
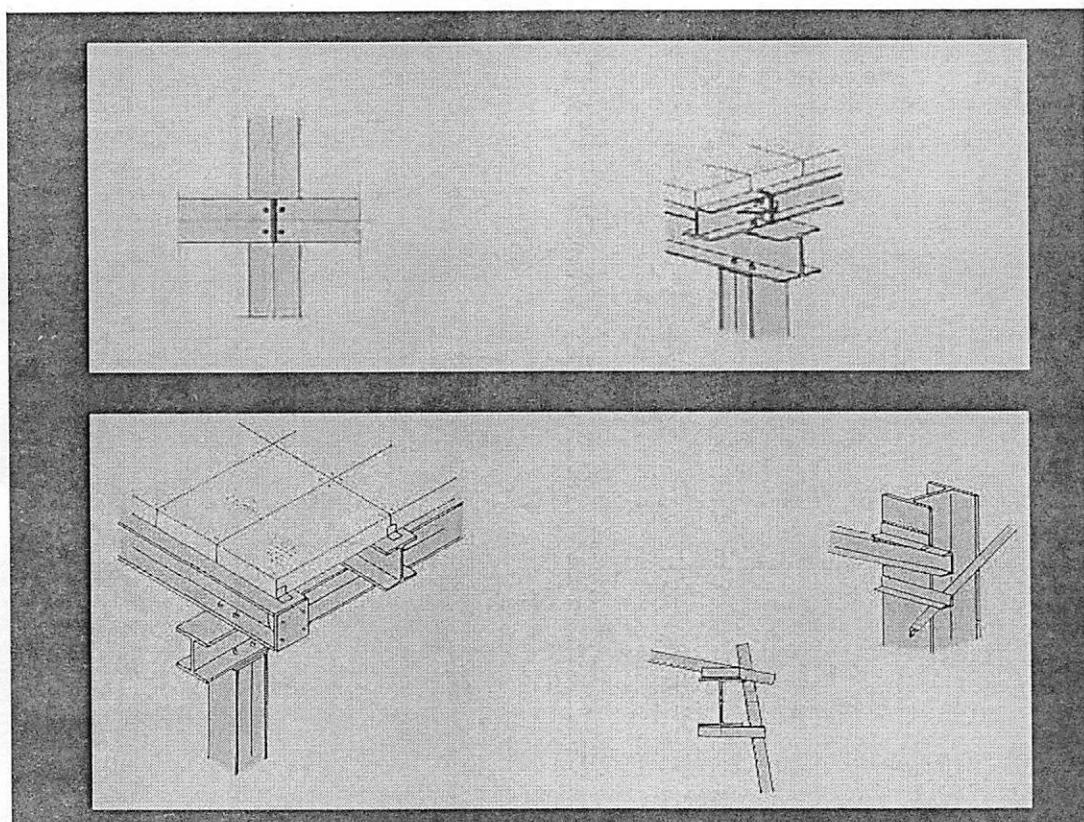
**SEMINAR NASIONAL HAKI**  
Tiara Convention Hall, Medan – 30 31 Mei 2014





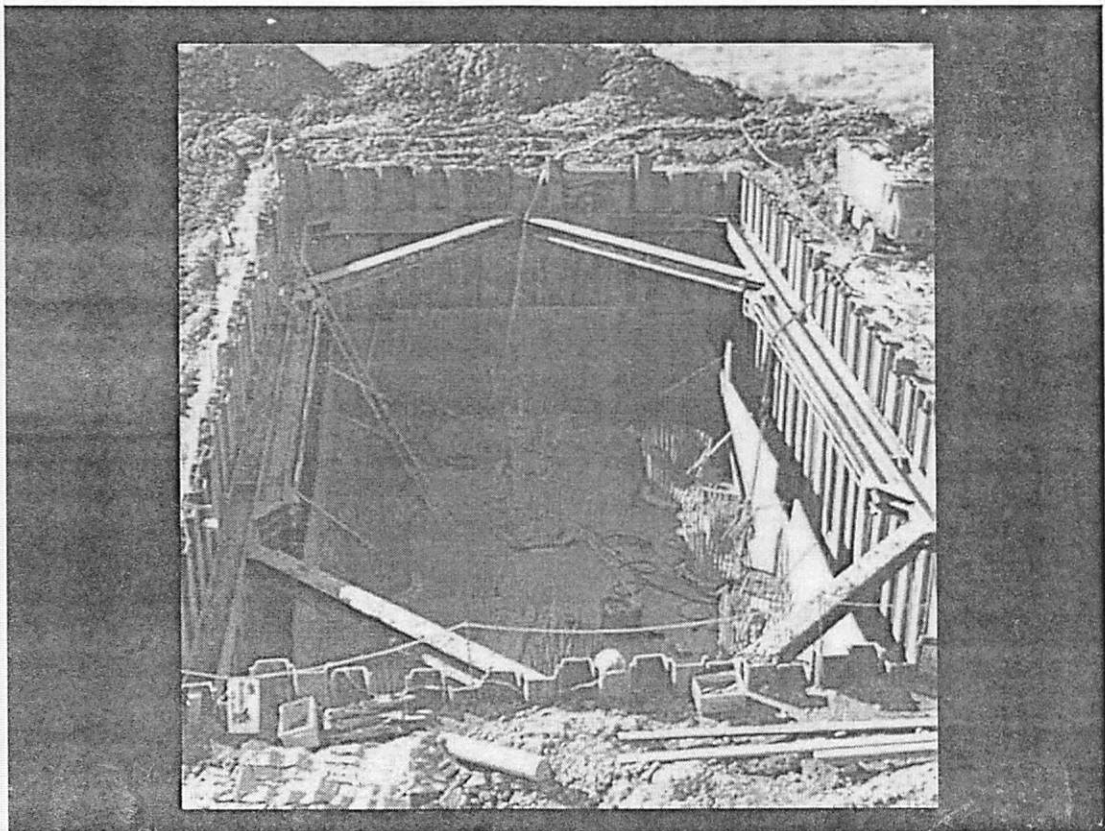


**SEMINAR NASIONAL HAKI**  
Tiara Convention Hall, Medan – 30 31 Mei 2014

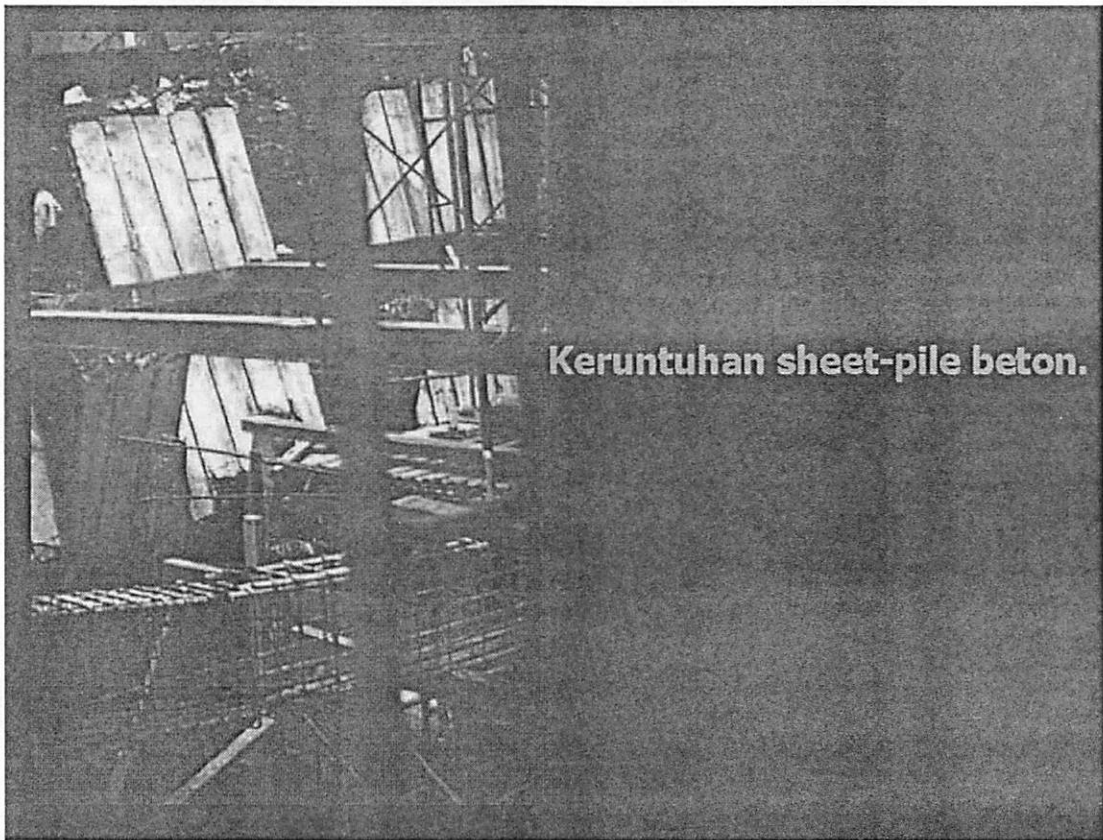




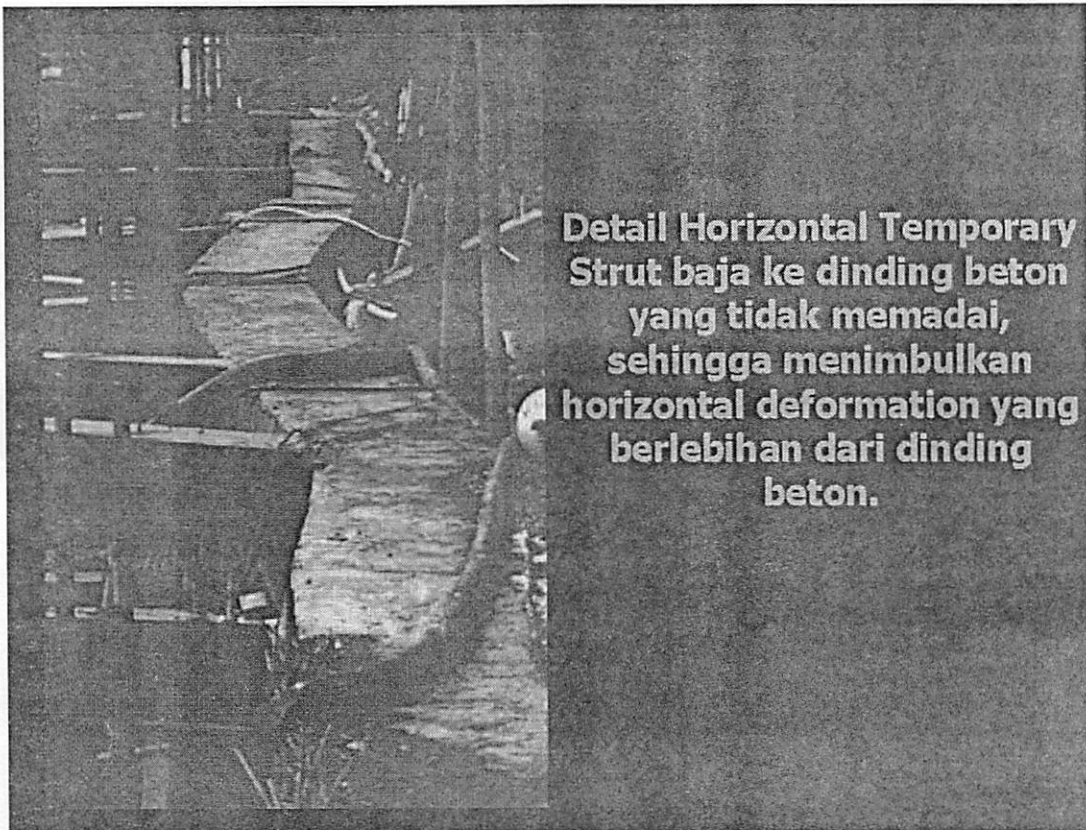
**SEMINAR NASIONAL HAKI**  
Tiara Convention Hall, Medan – 30 31 Mei 2014



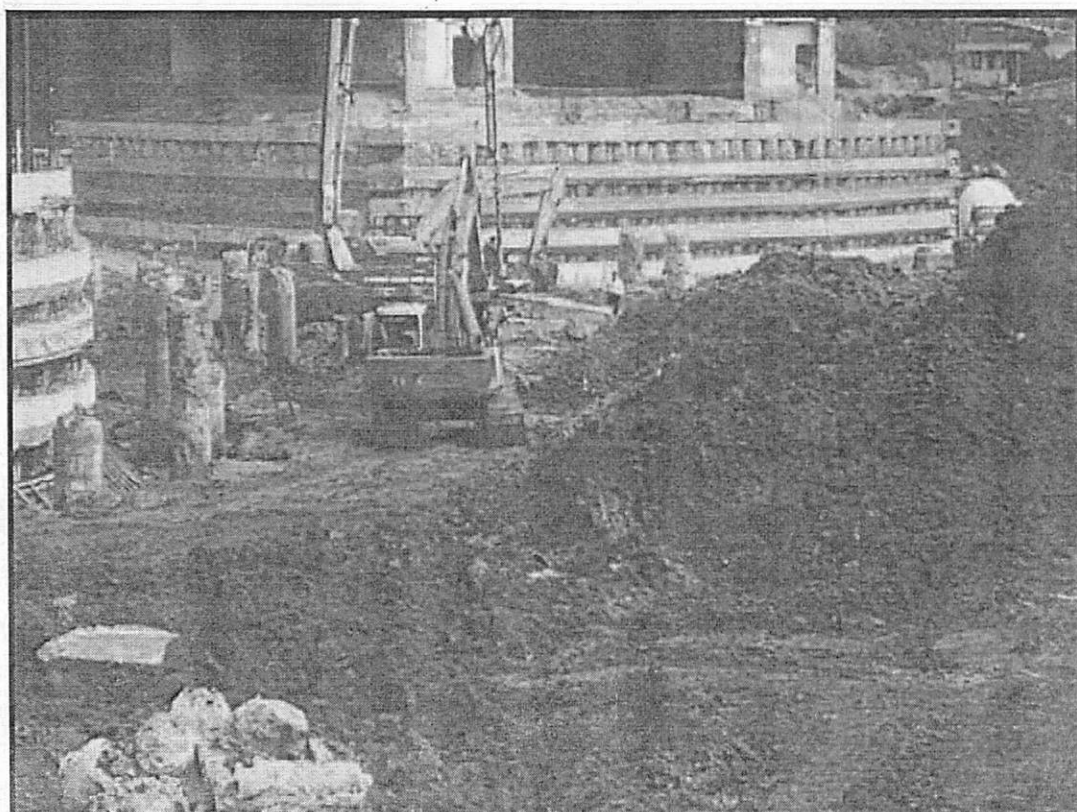






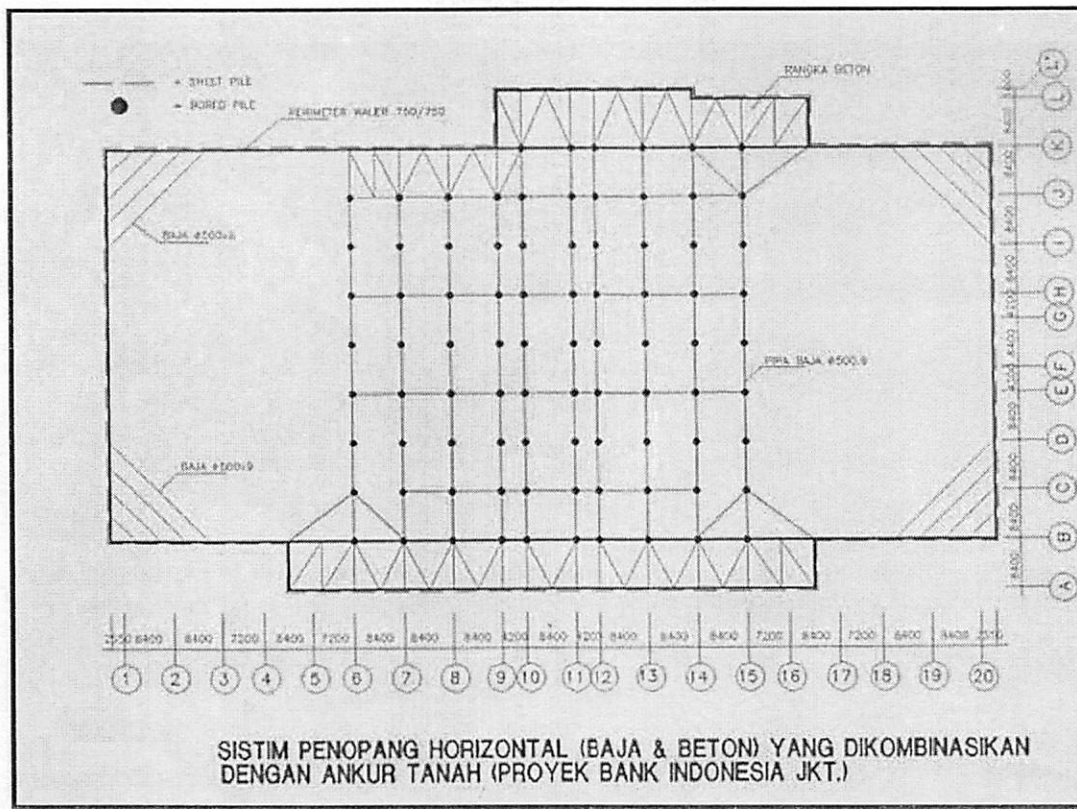
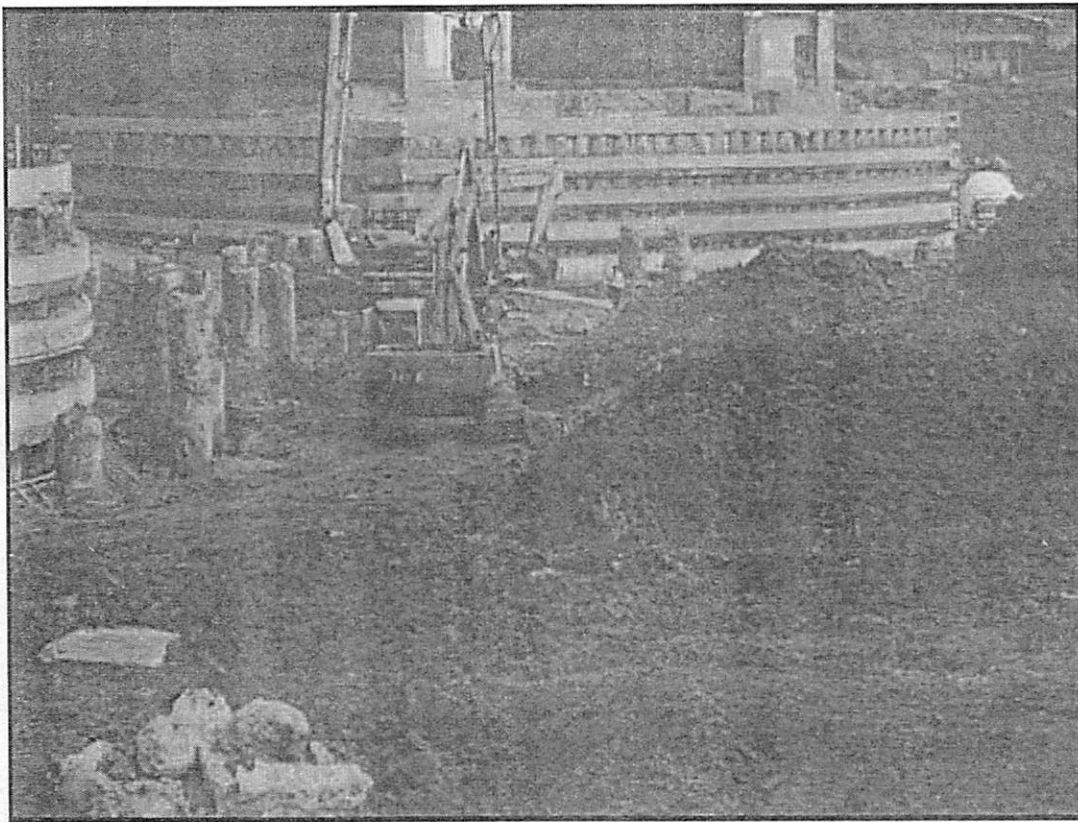


**SEMINAR NASIONAL HAKI**  
Tiara Convention Hall, Medan – 30 31 Mei 2014



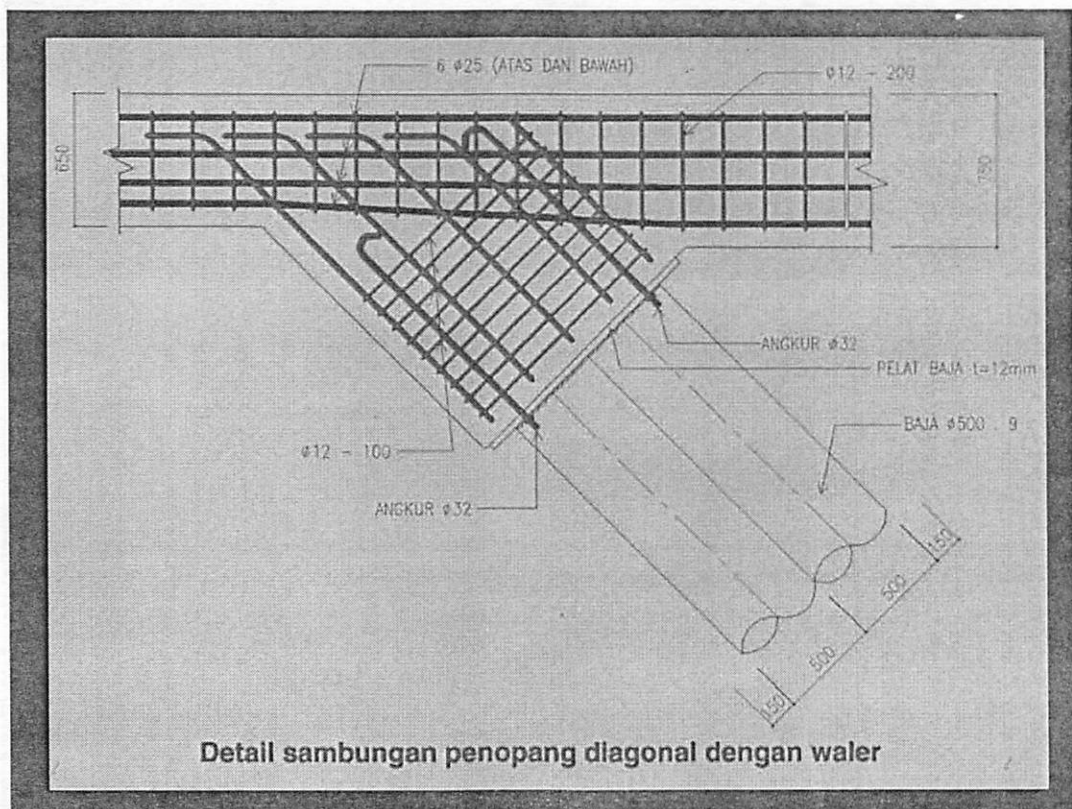
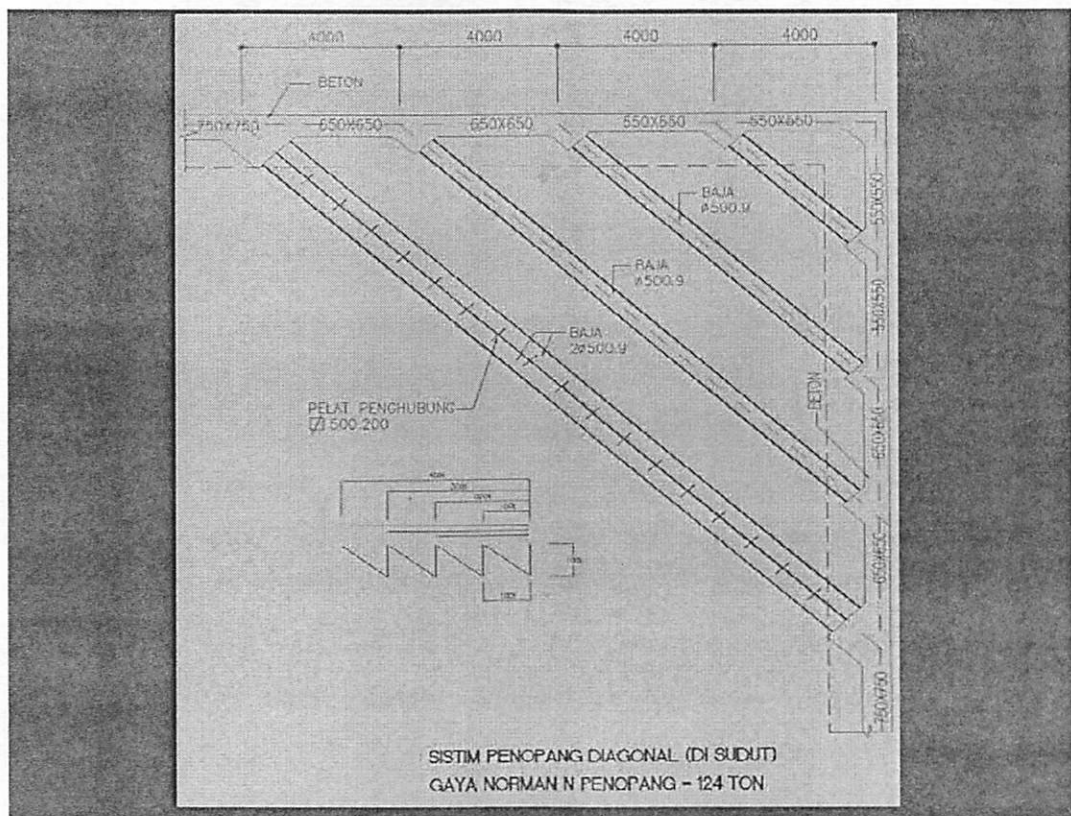
Tiara Convention Hall, Medan – 30 31 Mei 2014

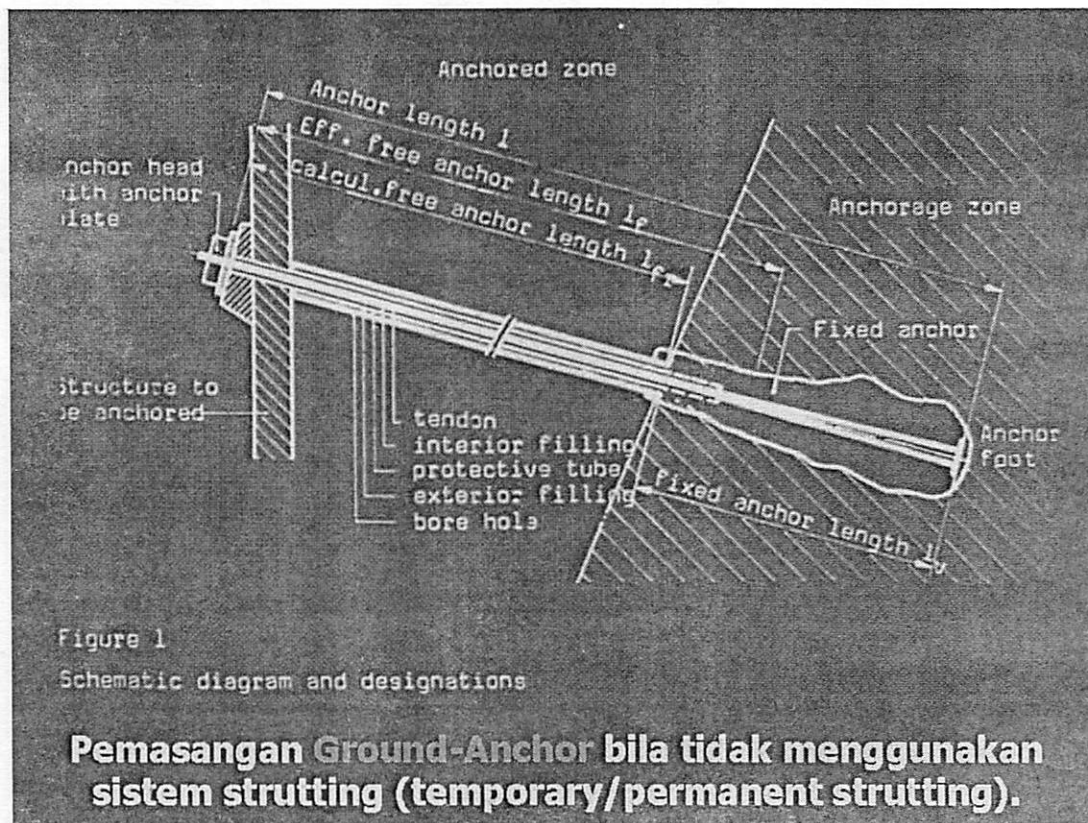
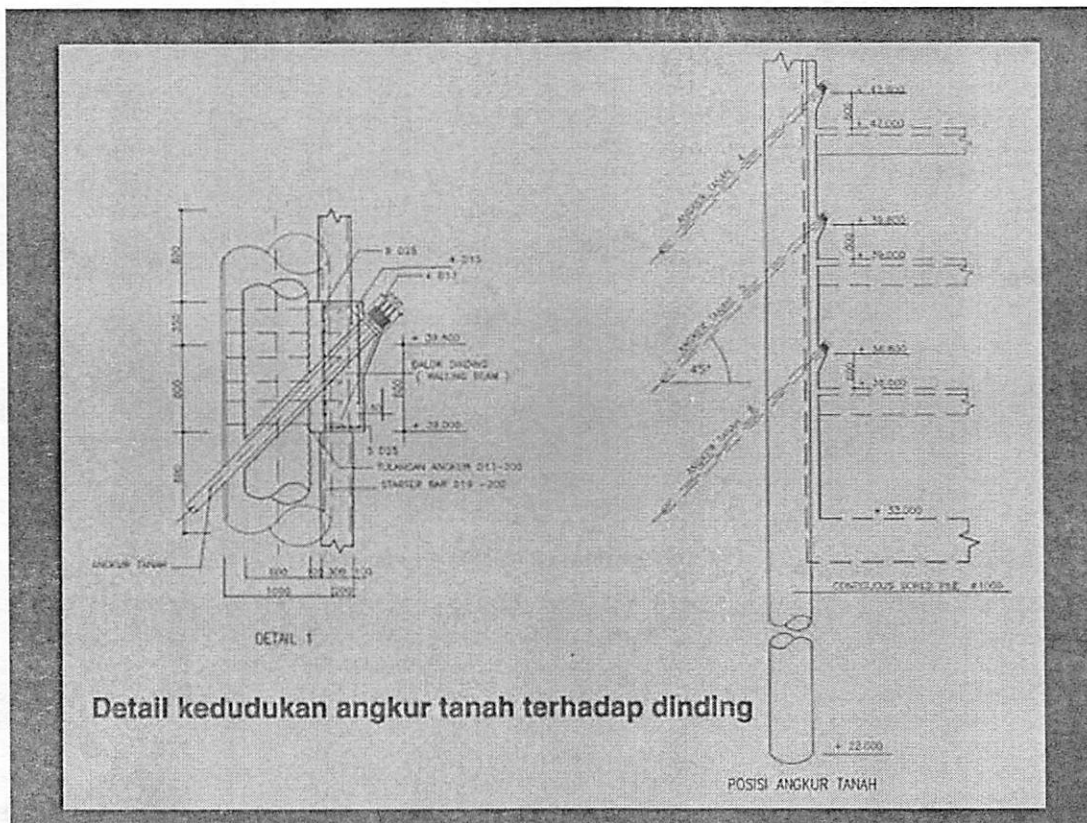
Tiara Convention Hall, Medan – 30 31 Mei 2014





**SEMINAR NASIONAL HAKI**  
Tiara Convention Hall, Medan – 30 31 Mei 2014



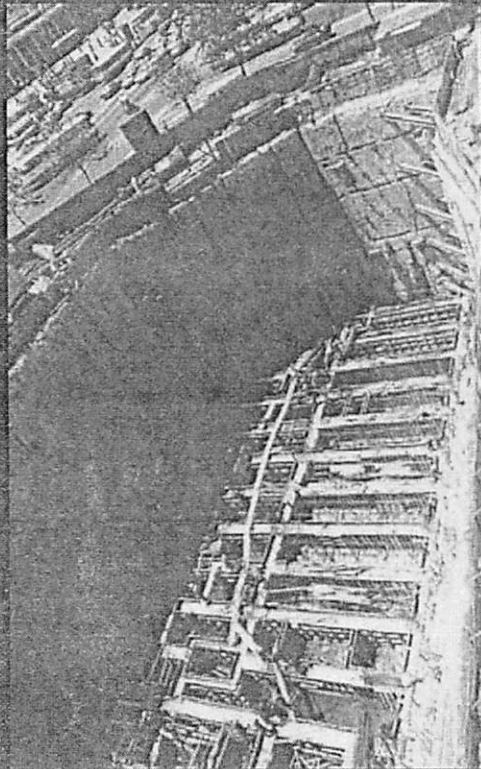




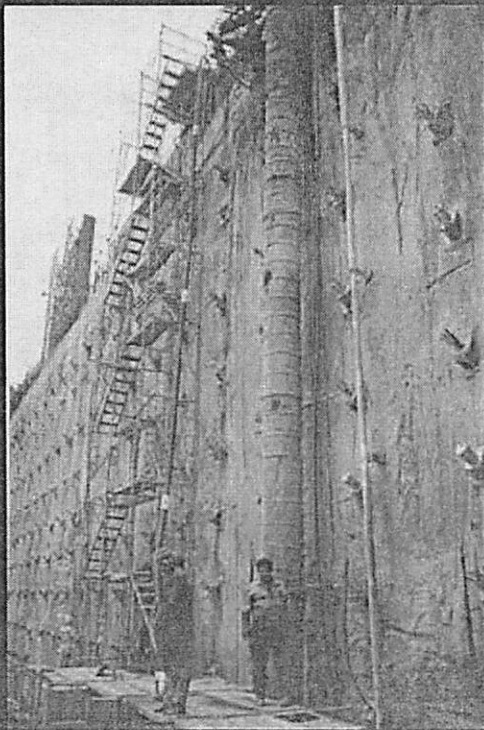
**SEMINAR NASIONAL HAKI**  
Tiara Convention Hall, Medan – 30 31 Mei 2014







**Pandangan dari D-Wall  
yang sudah dipasang  
deretan ground-anchor.**

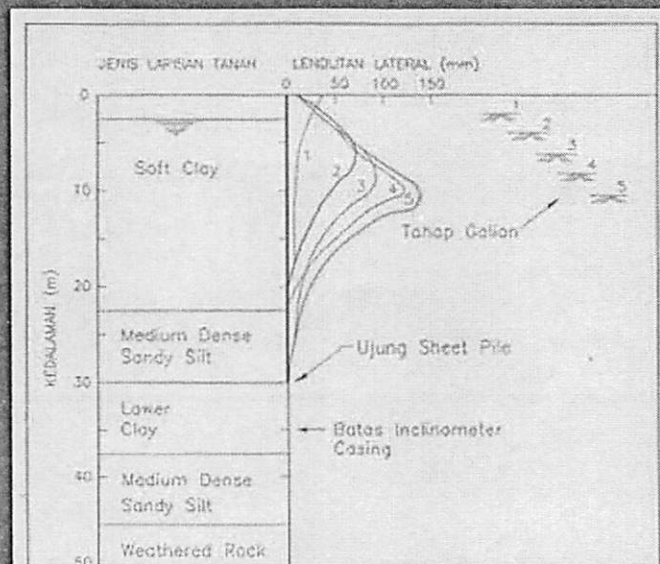


**Jajaran ground anchor pada  
pada Diaphragm-Wall dari  
suatu multi basment.**

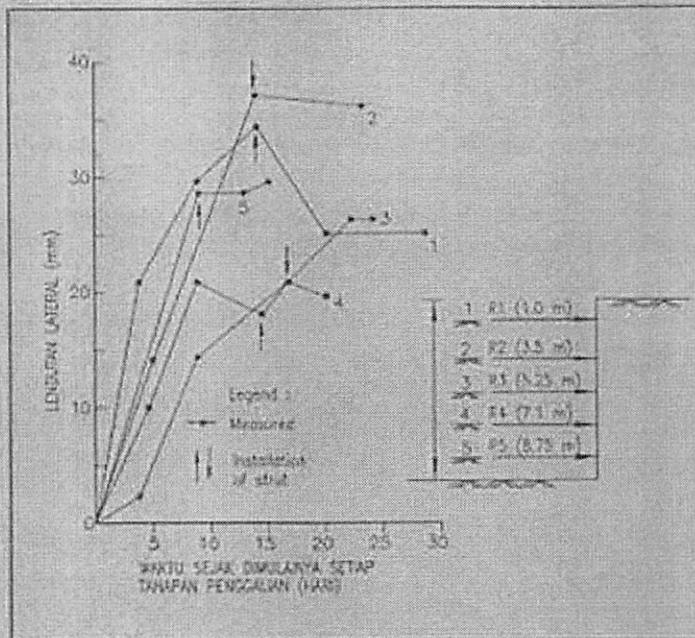
**5. Dalam perencanaan Strutting perlu diperhatikan hal-hal sebagai berikut:**

1. Kondisi tanah: Lapisan dan parameter tanah berikut lapisan aquifernya.
2. Jenis struktur dinding penahan tanah.
3. Penentuan titik topang ————— jumlah lapis basement  
tinggi tingkat basement
4. Dewatering dan pengaruhnya.
5. Lamanya bukaan galian sebelum dipasang penopang.
6. Jenis penopang (strutting).
7. Metoda konstruksi: \* Downward Construction.  
\* Upward Construction.  
\* Kombinasi.
8. Melibatkan berbagai tenaga ahli spesialis.

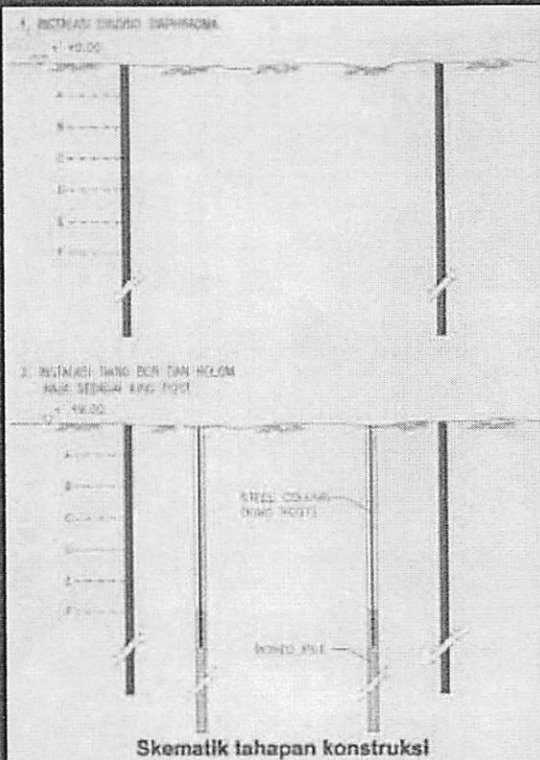
**Deformasi dan "Gaya-gaya-dalam" pada struktur dinding penahan tanah.**



**Contoh lendutan lateral yang terjadi pada sheet pile pada pekerjaan galian bertahap.**



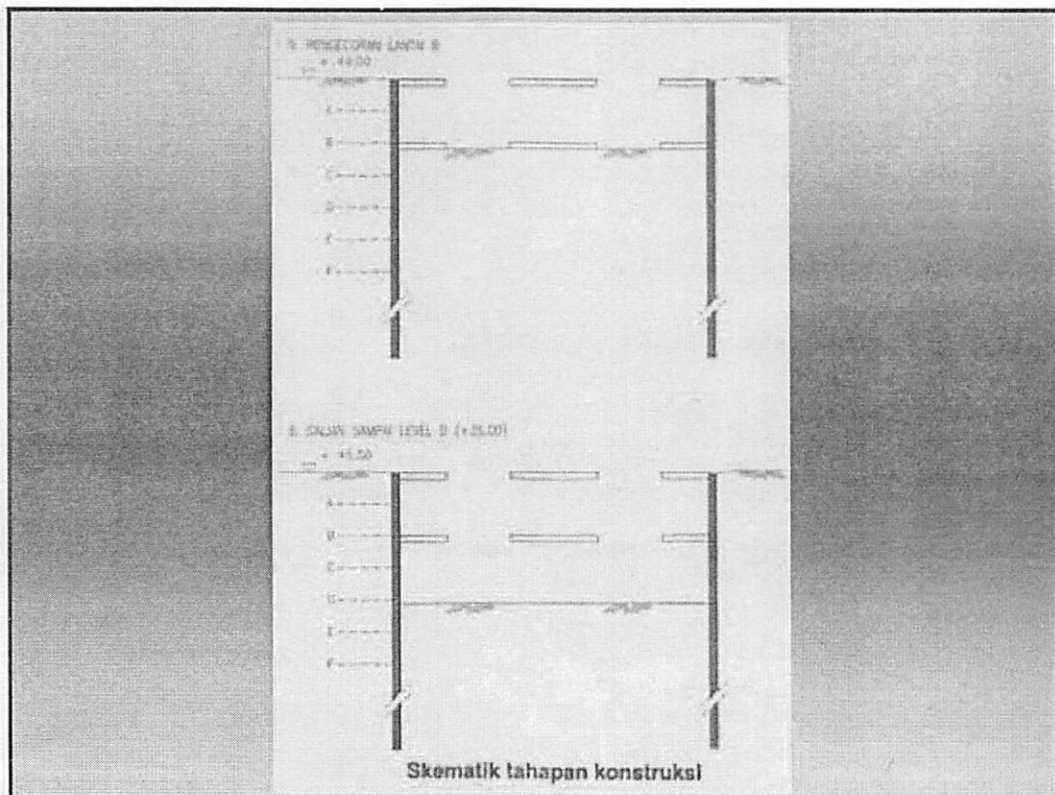
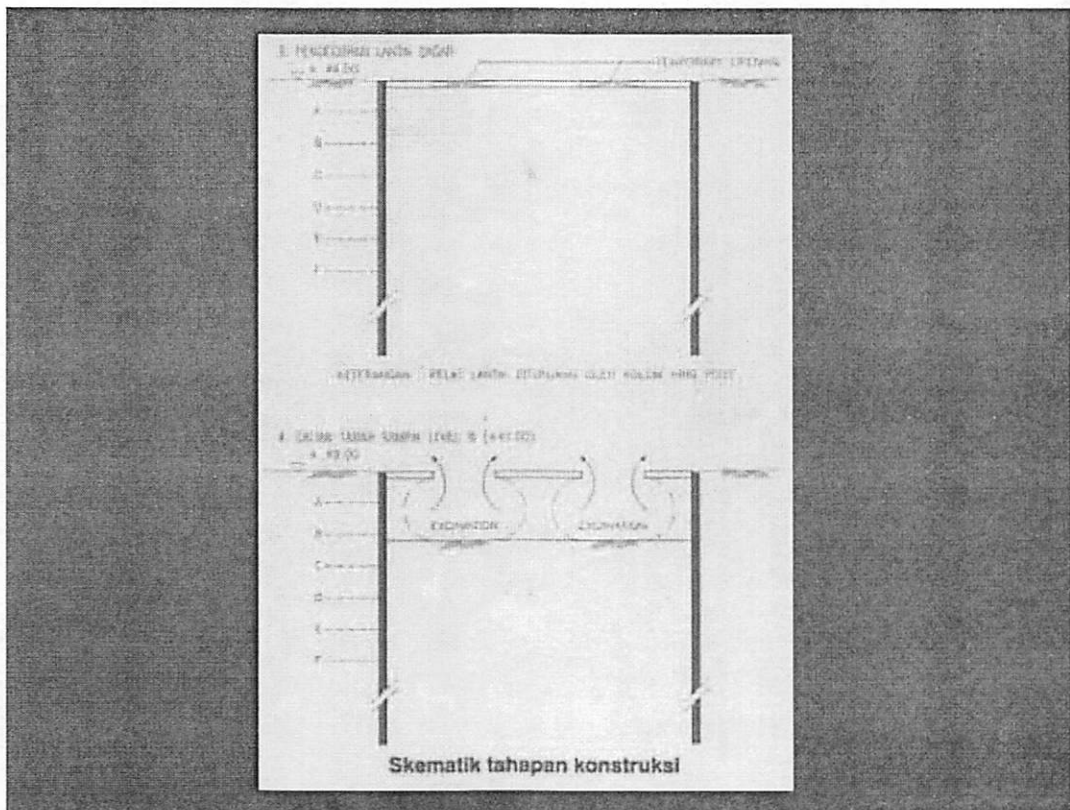
Contoh perkembangan lendutan lateral dari awal galian sampai ketahap galian berikutnya.

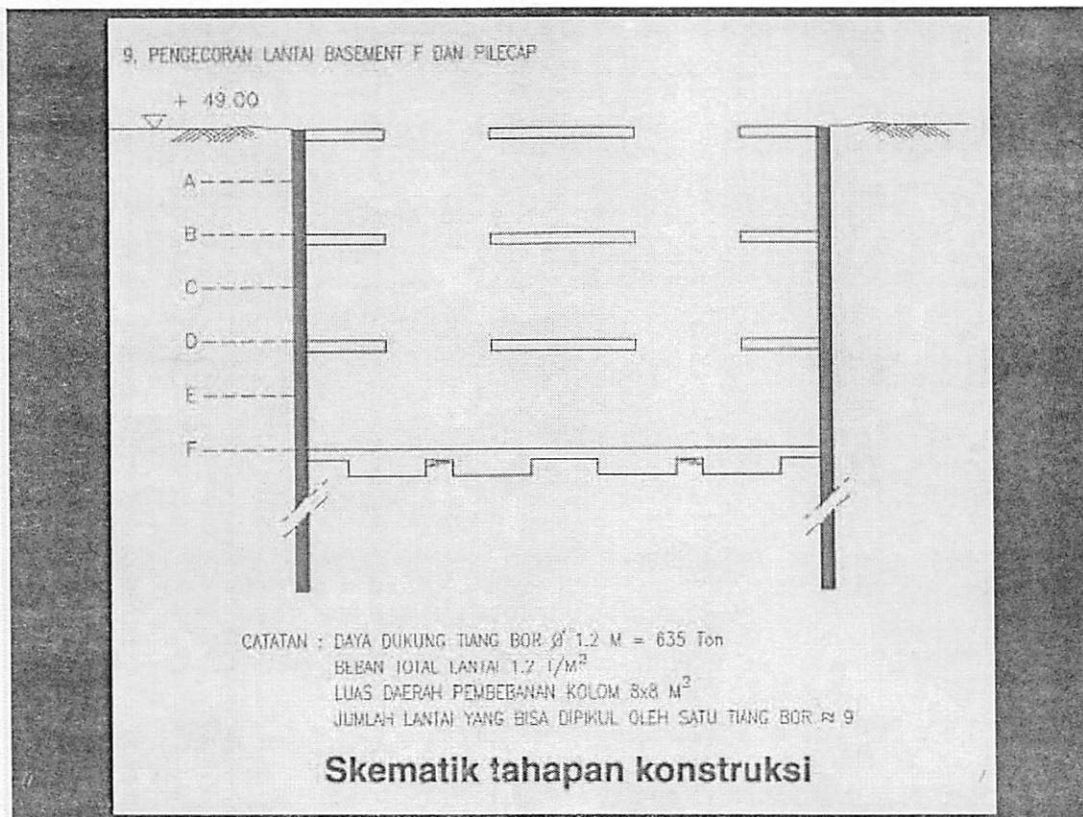
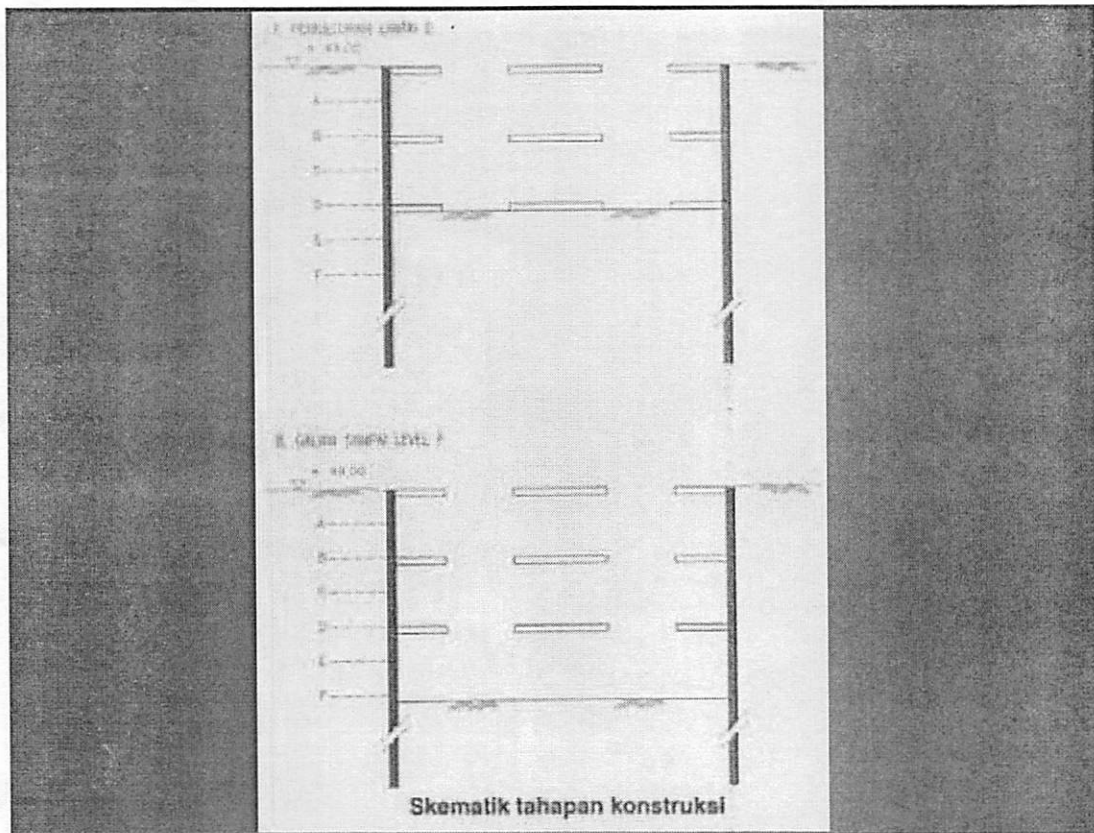


Skematik tahapan dimana konstruksi basementnya dilakukan dengan metode "Downward Construction"

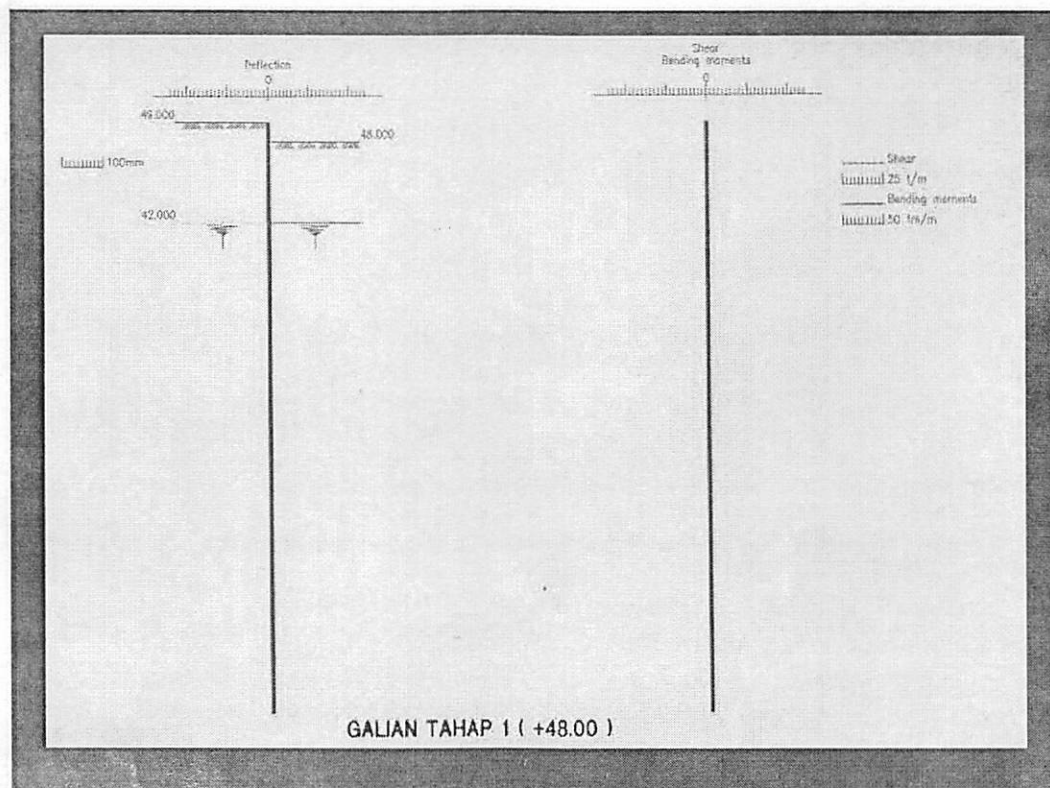
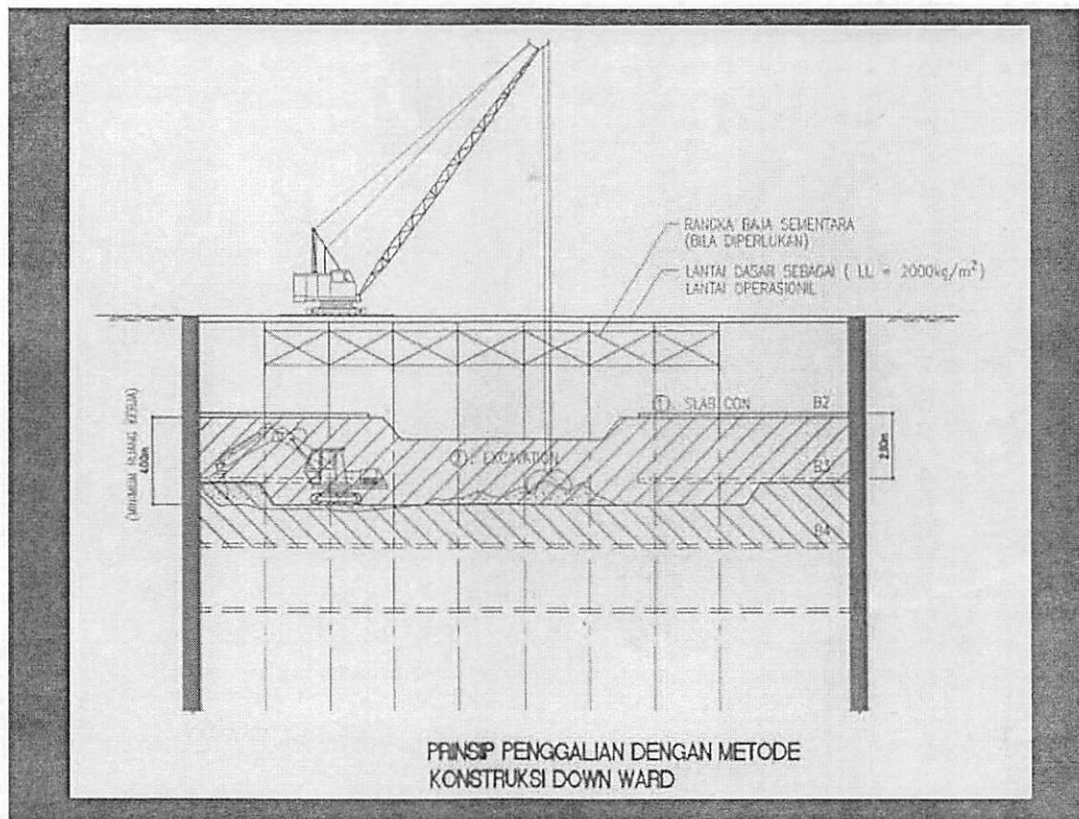


**SEMINAR NASIONAL HAKI**  
Tiara Convention Hall, Medan – 30 31 Mei 2014



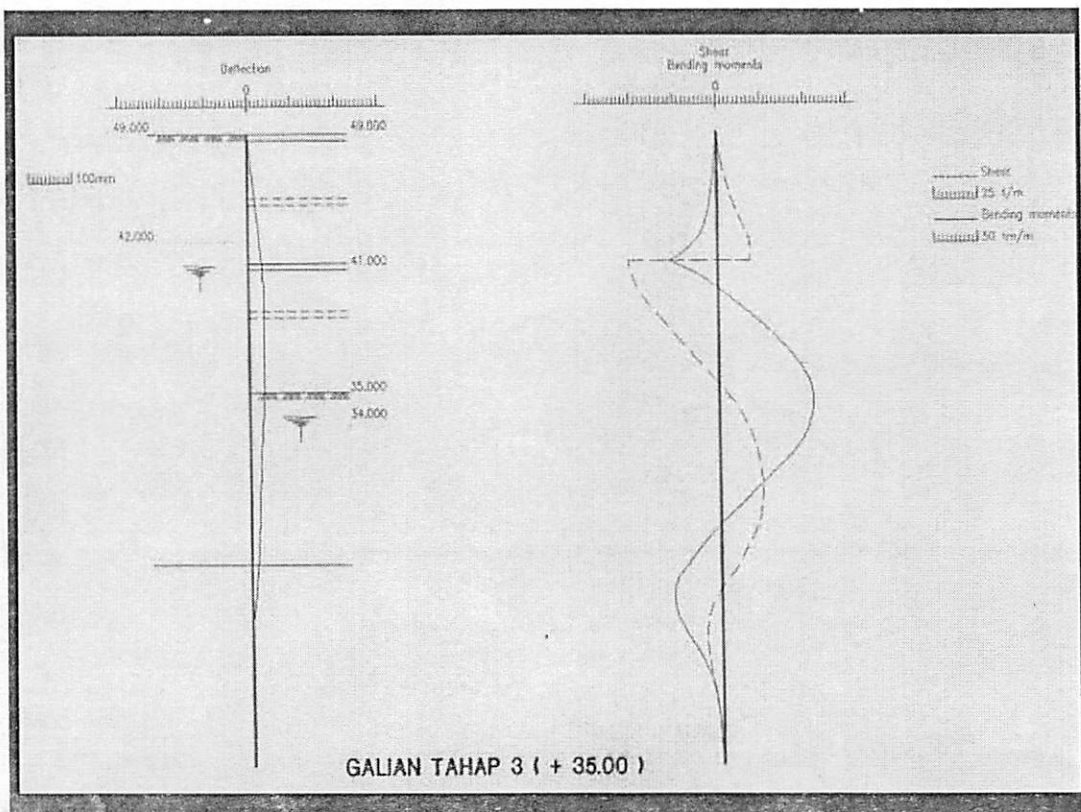
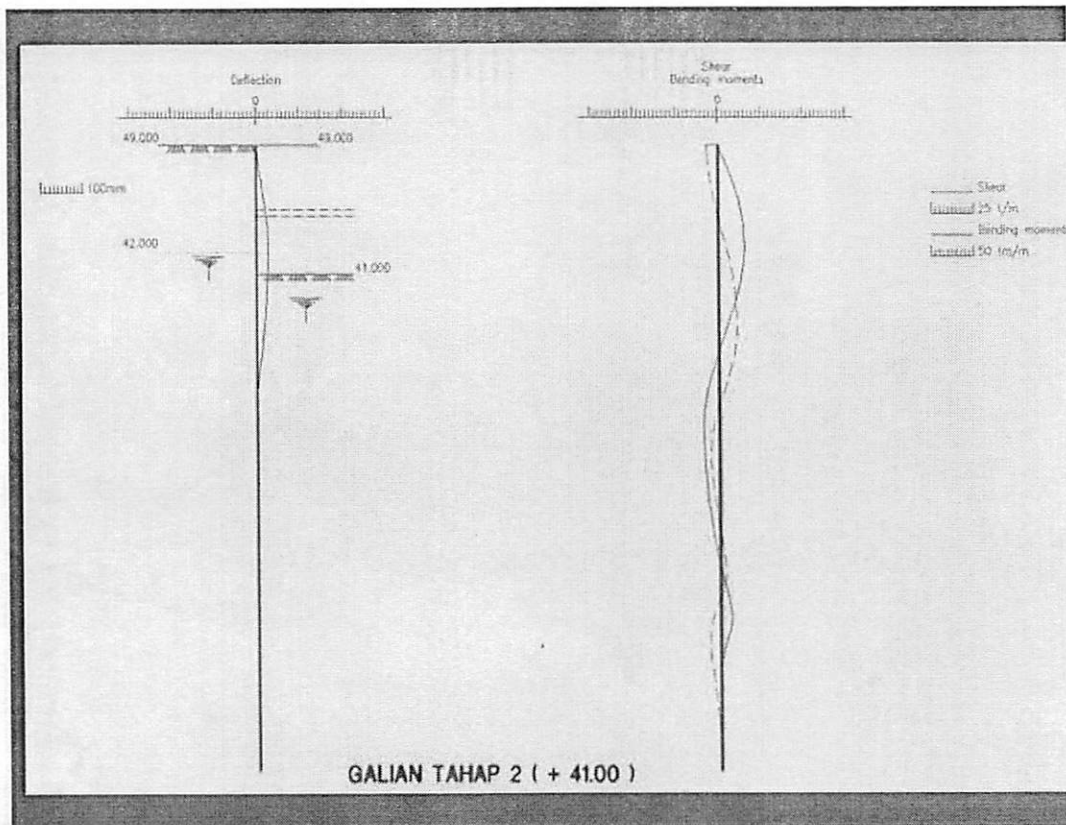


# SEMINAR NASIONAL HAKI Tiara Convention Hall, Medan – 30 31 Mei 2014

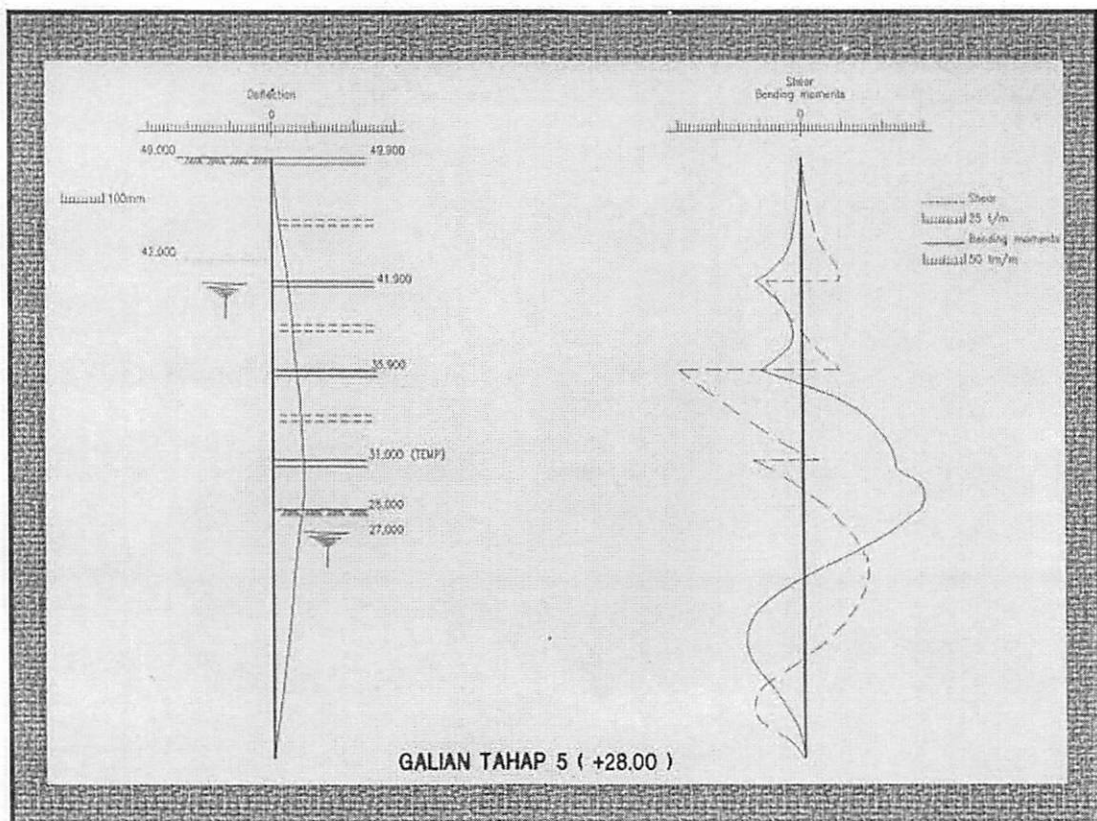
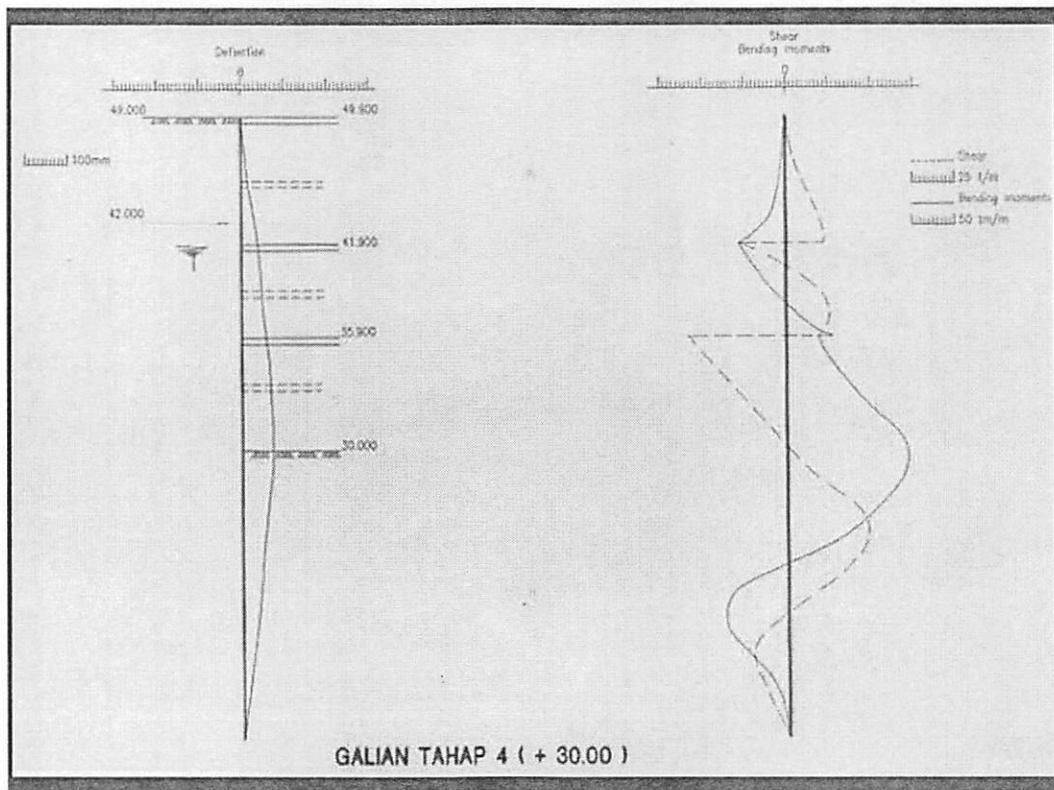




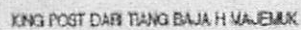
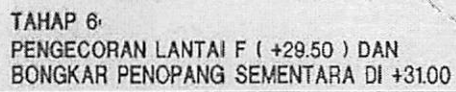
SEMINAR NASIONAL HAKI  
Tiara Convention Hall, Medan – 30 31 Mei 2014



**SEMINAR NASIONAL HAKI**  
Tiara Convention Hall, Medan – 30 31 Mei 2014

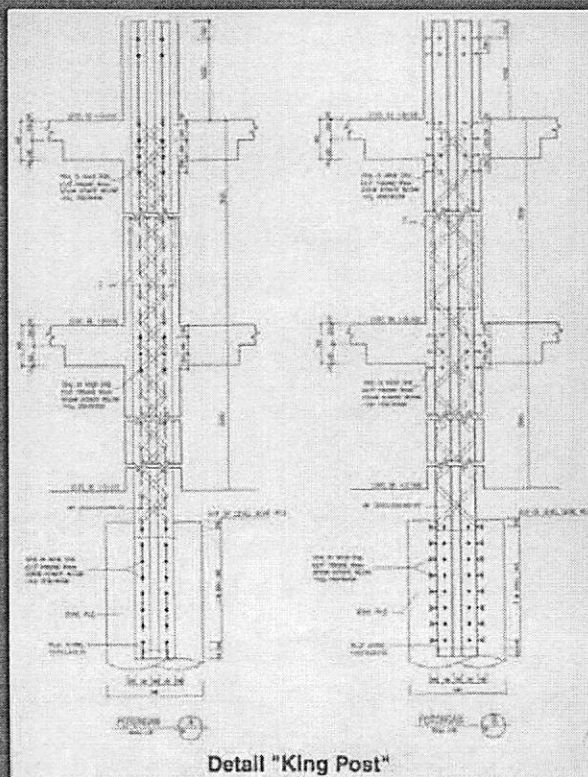
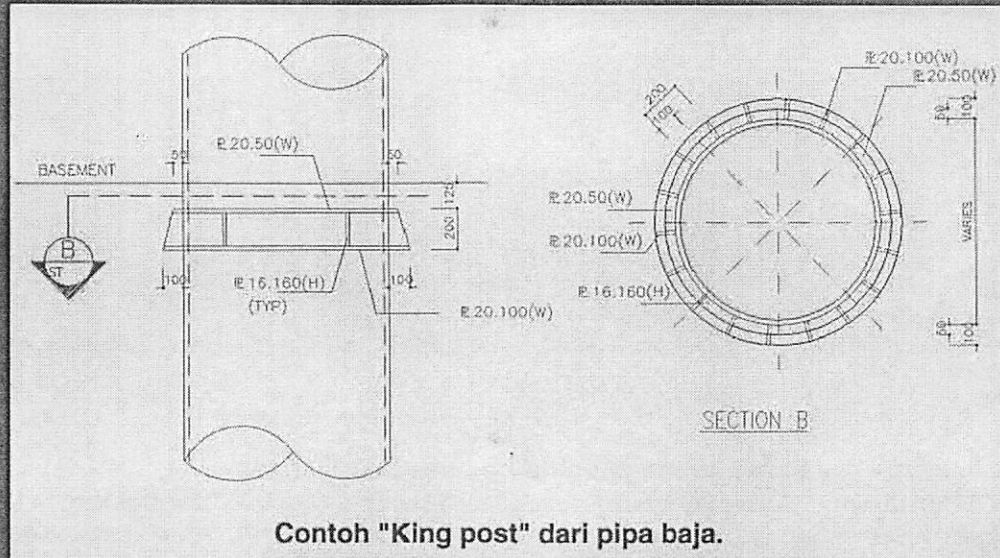


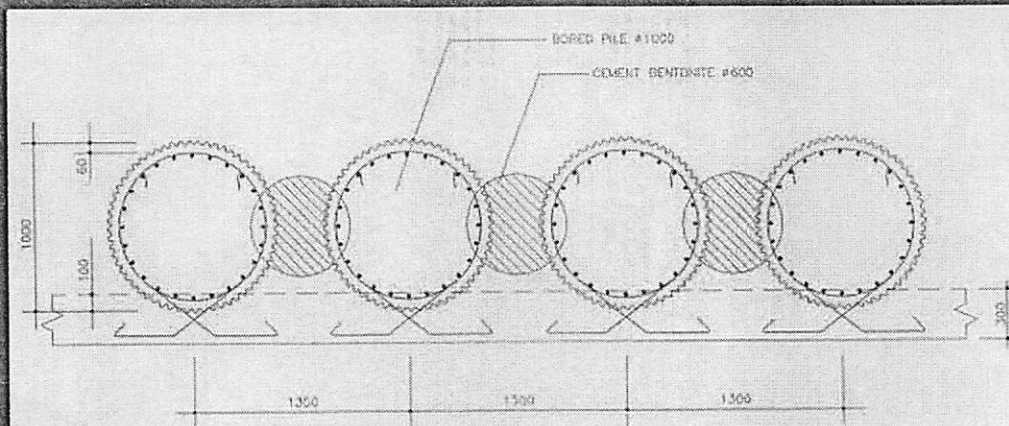
**Tiara Convention Hall, Medan – 30 31 Mei 2014**



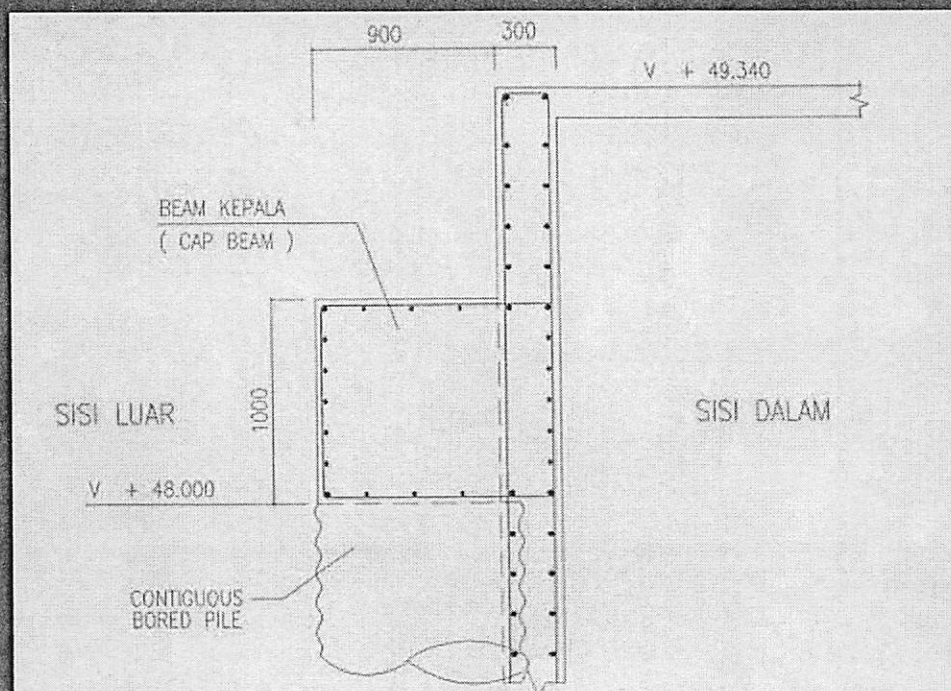


**SEMINAR NASIONAL HAKI**  
Tiara Convention Hall, Medan – 30 31 Mei 2014

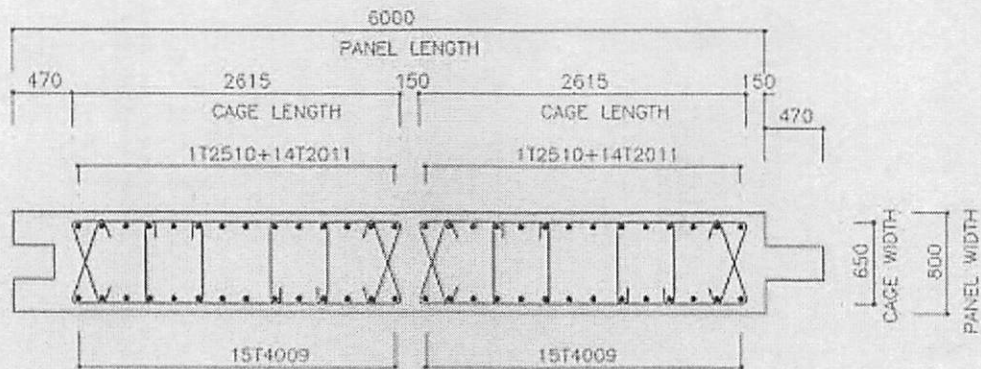




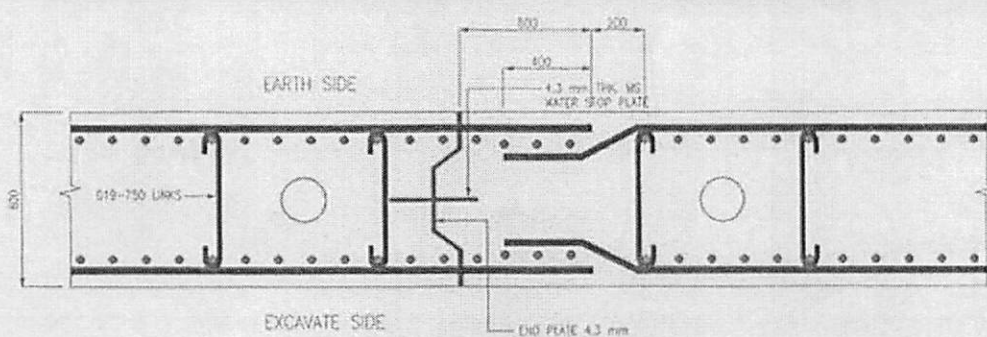
Detail hubungan dinding basement dengan  
"Contiguous bore pile" dengan "Cement bentonite pile" interlocking



Hubungan "Cap Beam" dengan dinding Basement

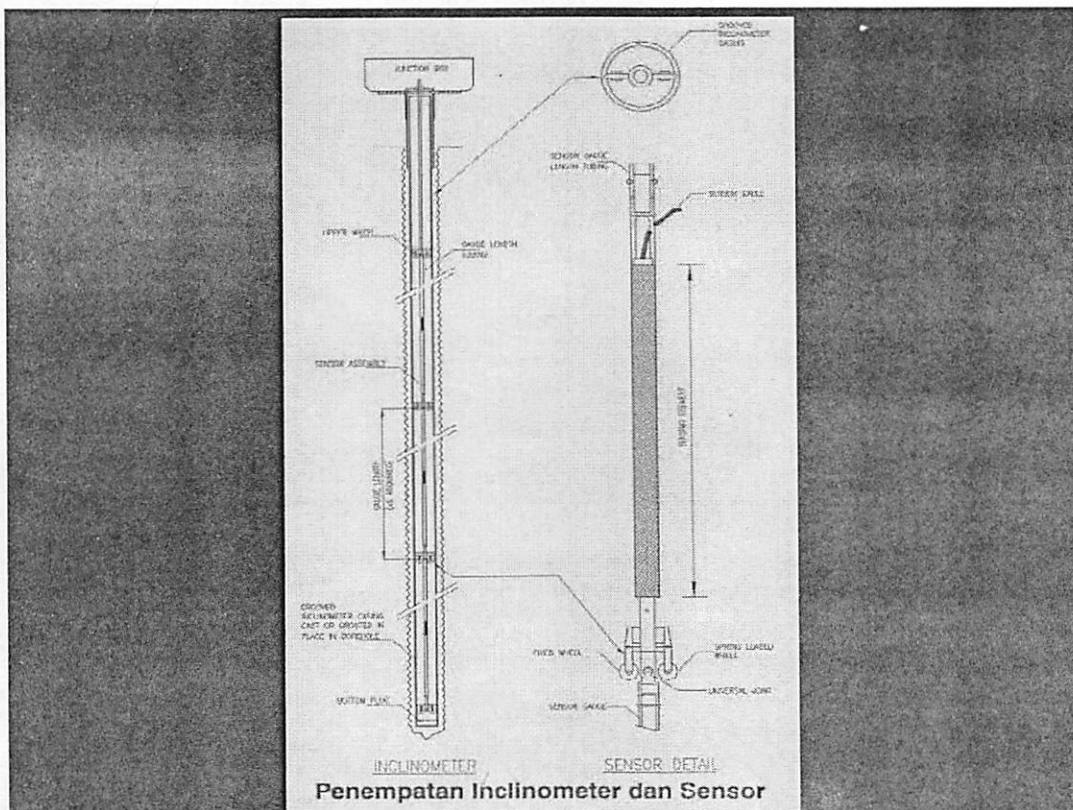
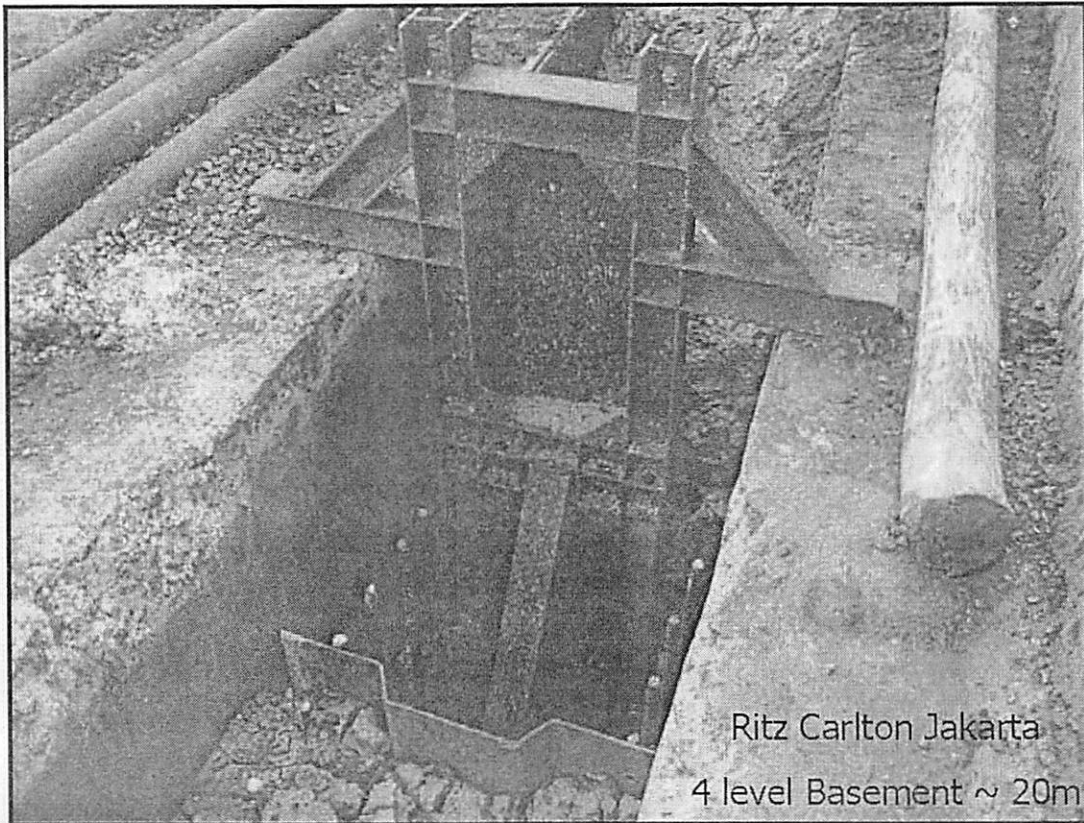


**Panel dinding diaphragma sistem "Bachy"**



**Contoh detail sambungan antara panel dinding diaphragma dengan tulangan yang menerus.**





## **6. Metoda dengan cara "Downward" Construction**

**Beberapa hal penting yang perlu diperhatikan dalam perencanaan pelaksanaan basement dengan metoda konstruksi "Downward Construction":**

### **1. Penentuan lantai basement sebagai strutting/penopang. Hal-hal yang perlu diperhatikan adalah:**

- a. Jarak bersih antar lantai basement.**
- b. Pelaksanaan lantai basement secara "Successive" atau "Staggered"**
- c. Perancangan struktur dinding penahan tanah sangat tergantung pada pemilihan lantai basement yang akan dipakai sebagai strutting/penopang horizontal.**

### **2. Penentuan lubang bukaan pada lantai basement.**

**Hal-hal yang perlu diperhatikan adalah:**

- a. Transportasi tanah galian.**
- b. Aliran udara segar dalam basement.**
- c. Gaya-gaya harus dapat diteruskan dengan baik.**
- d. Kelancaran lalu-lintas kerja harus direncanakan dengan baik. Beban rencana: 1.50-2.00 t/m<sup>2</sup>.**
- e. Transportasi berbagai peralatan kerja.**
- f. Penopang/strutting harus direncanakan terhadap Kekuatan, Kekakuan dan Stabilitas.**



### **3.Instalasi "King-Post"**

**Hal-hal yang harus diperhatikan adalah:**

- a. Struktur baja tunggal atau majemuk.**
- b. Pembuatan tiang Bor atau tiang Baret.**
- c. Pemasangan/instalasi kolom baja.**
- d. Pengecoran beton.**
- e. Daerah "Blind boring" diisi adukan lunak.**
- f. Kapasitas struktur "King-Post" (termasuk unsur tekuk)**

### **4. Pemilihan sistem struktur dinding penahan tanah.**

**Hal-hal yang harus diperhatikan :**

- a. Jenis "Secant-piles" dianjurkan untuk basement yang lebih kecil atau sampai dengan 3 lapis.**
- b. Untuk basement yang lebih dari 3 lapis dianjurkan menggunakan "Diaphragm-Wall" (D-Wall).**
- c. Untuk tanah lunak dan mudah bergerak jenis "Interlocking steel pipe-piles" perlu dipertimbangkan.**

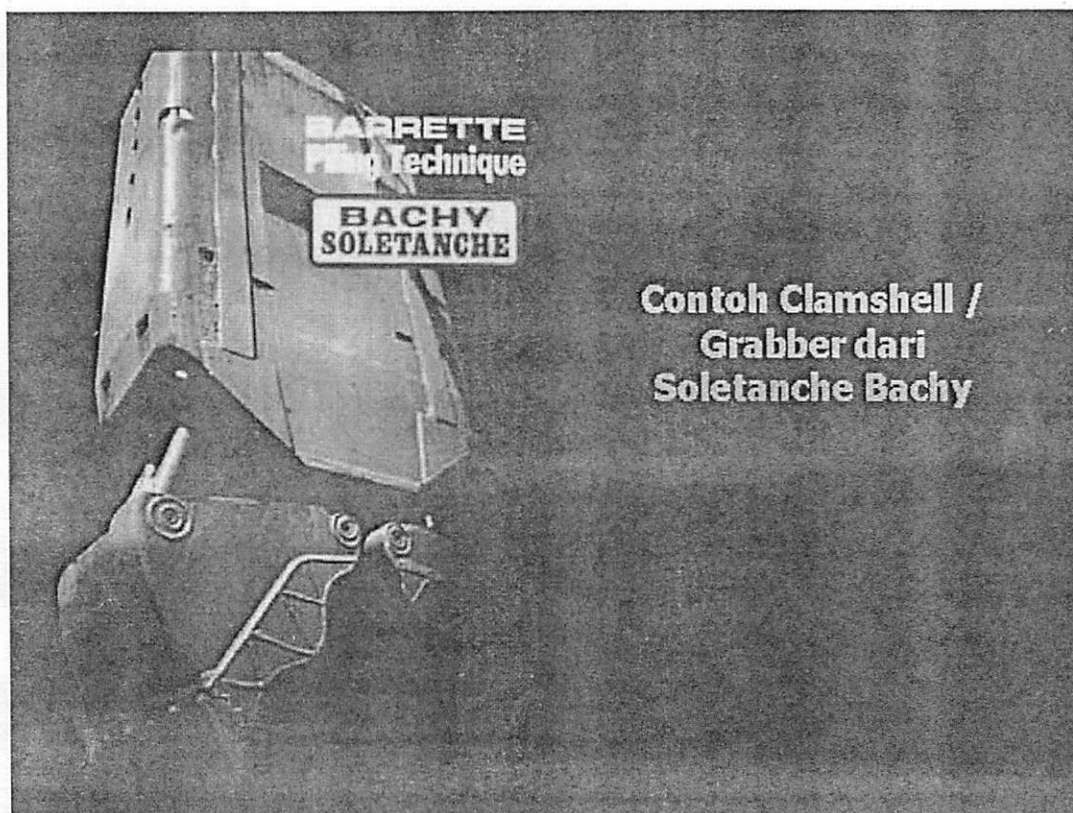


### **7. Metoda Konstruksi Dinding Basement "Contiguous Bore Piles with Cement Bentonite Interlocking Piles"**

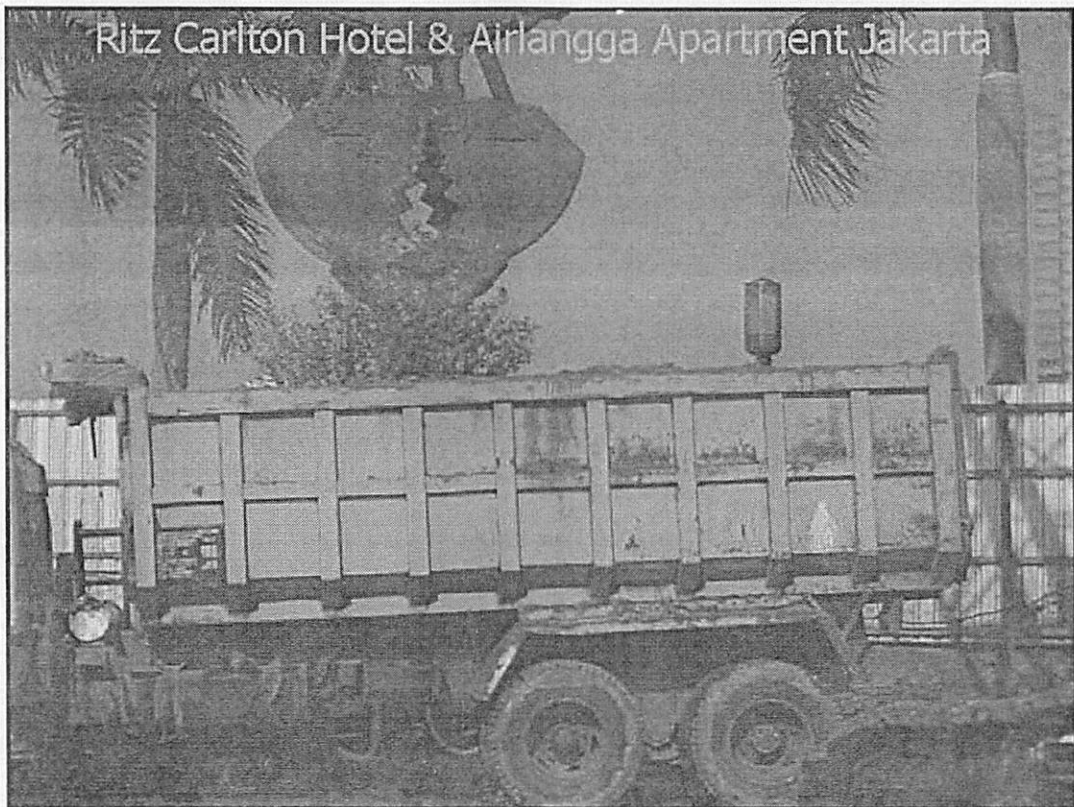
- 1. Pembuatan tiang bor cement bentonite.**
- 2. Jarak antar pengeboran  $\geq 3.00$  m.**
- 3. Pembuatan tiang bor beton bertulang.**
- 4. Pembuatan "Cap- Beam".**

### **8. Metoda Konstruksi Dinding Basement "Diaphragm-Wall"**

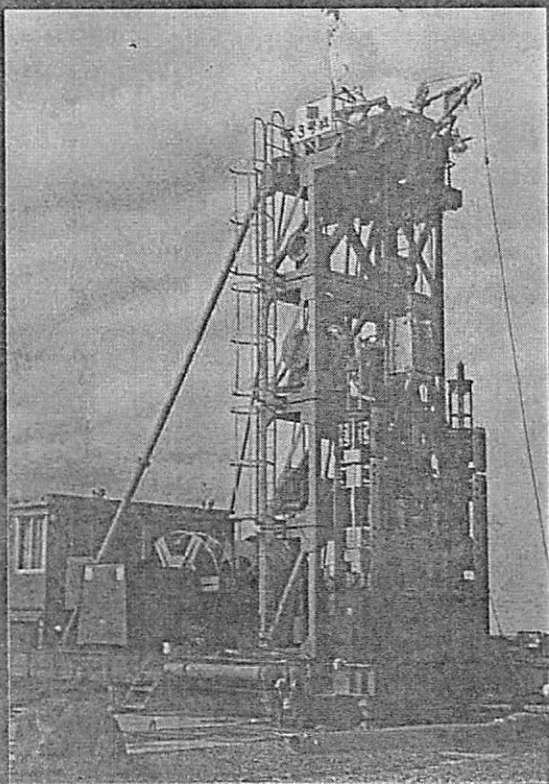
- 1. Persiapan bahan, peralatan dan pengolahan.**
- 2. Pembuatan "Guide Wall".**
- 3. Penggunaan bentonite:**
  - \* Mixing plant**
  - \* Processing plant**
  - \* Cleaning plant**
- 4. Pembuatan sangkar tulangan dan panel.**
- 5. Galian bertahap:**
  - \* Lantai basement sebagai strutting atau**
  - \* Pemasangan jangkar tanah.**
- 6. Pemasangan "King Post".**
- 7. Pembuatan lantai struktur.**



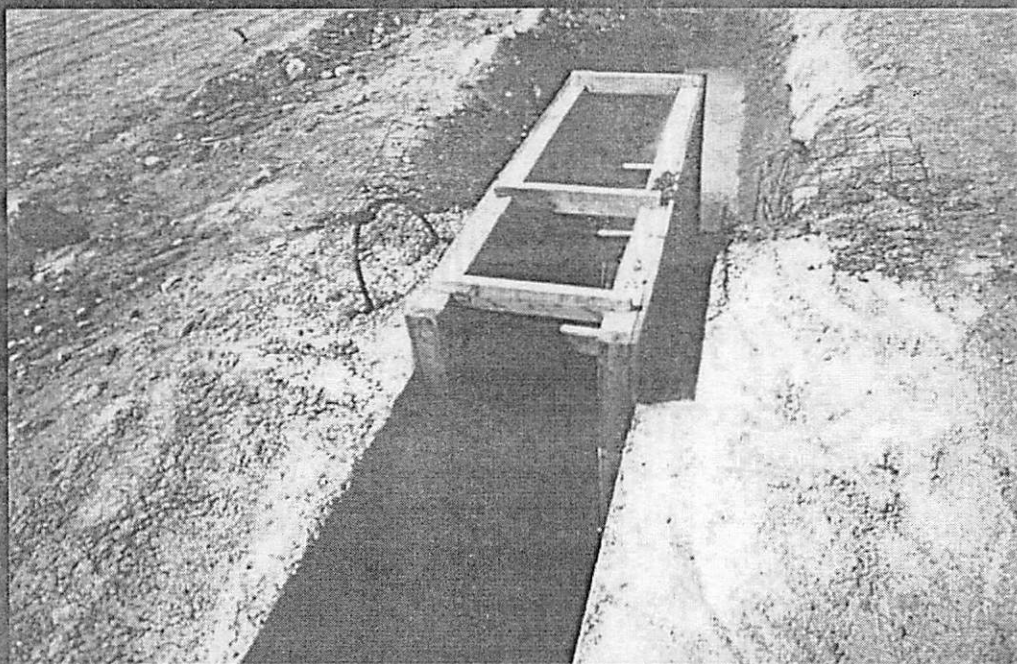
**SEMINAR NASIONAL HAKI**  
Tiara Convention Hall, Medan – 30 31 Mei 2014



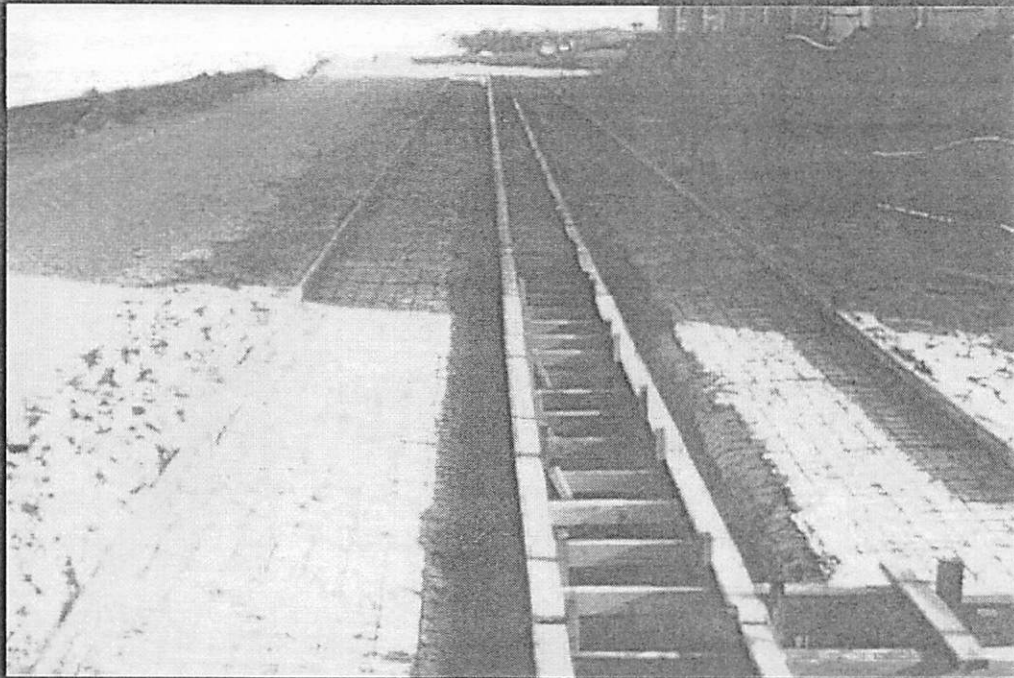




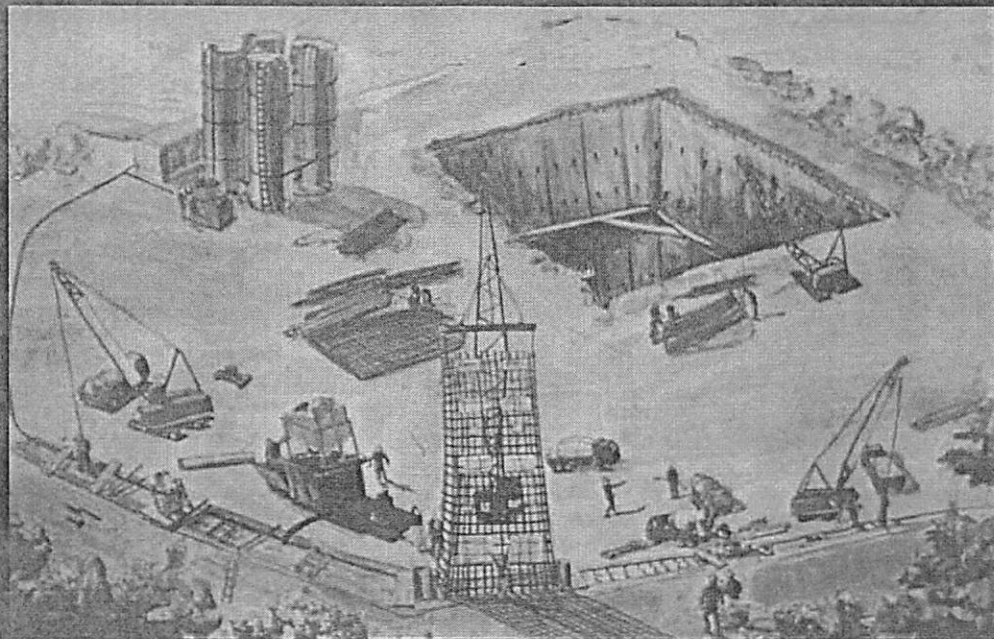
**Jenis alat bor yang menggunakan mesin (bukan jenis gravity).**



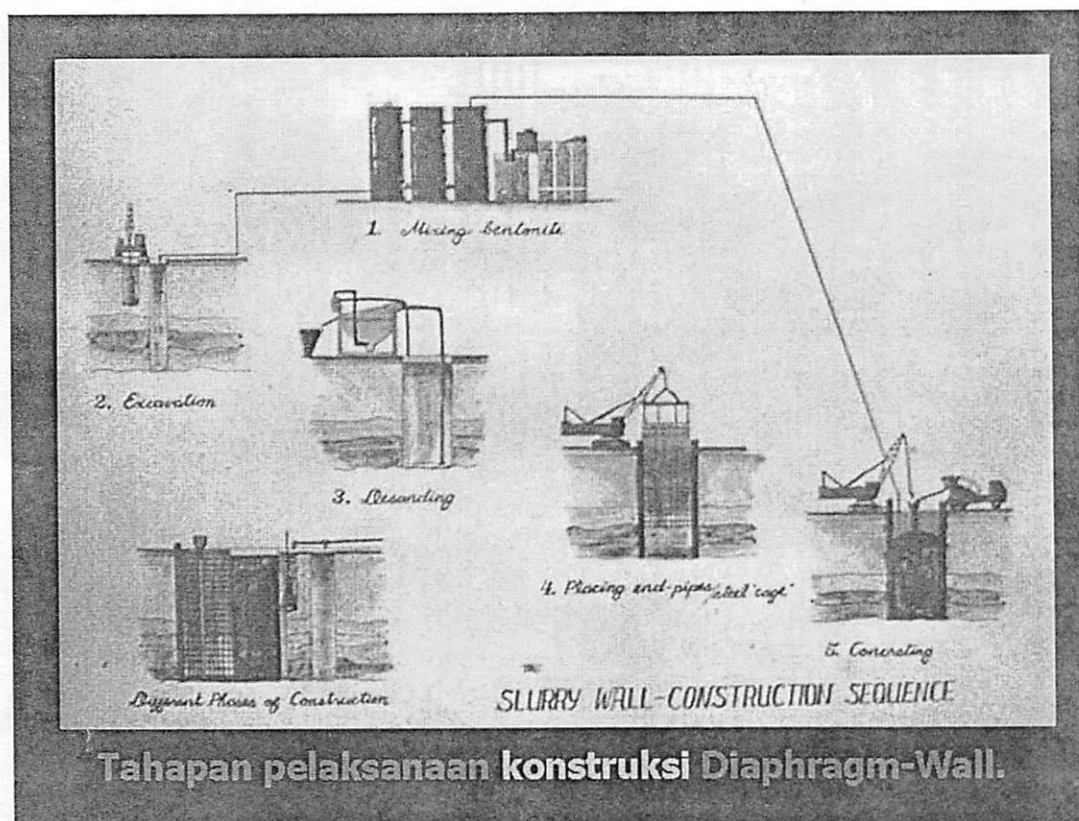
**Pembuatan Guide-Wall (Dinding pengacu).**



**Pembuatan Guide-Wall (Dinding pengacu).**



**Perencanaan tata letak dan ruang kerja untuk persiapan pelaksanaan Diaphragm-Wall.**



Pada awal akan diterapkannya penggunaan bentonite pada bangunan gedung di Indonesia banyak menimbulkan kekhawatiran dan keraguan akan bahan bentonite karena dikhawatirkan bentonite mengandung racun yang dapat mengganggu dan mempengaruhi lingkungan sekitar proyek.



**Volclay**  
sodium bentonite

**MICROFINE  
BENTONITE**

**Salah satu Brand  
Bentonite.**

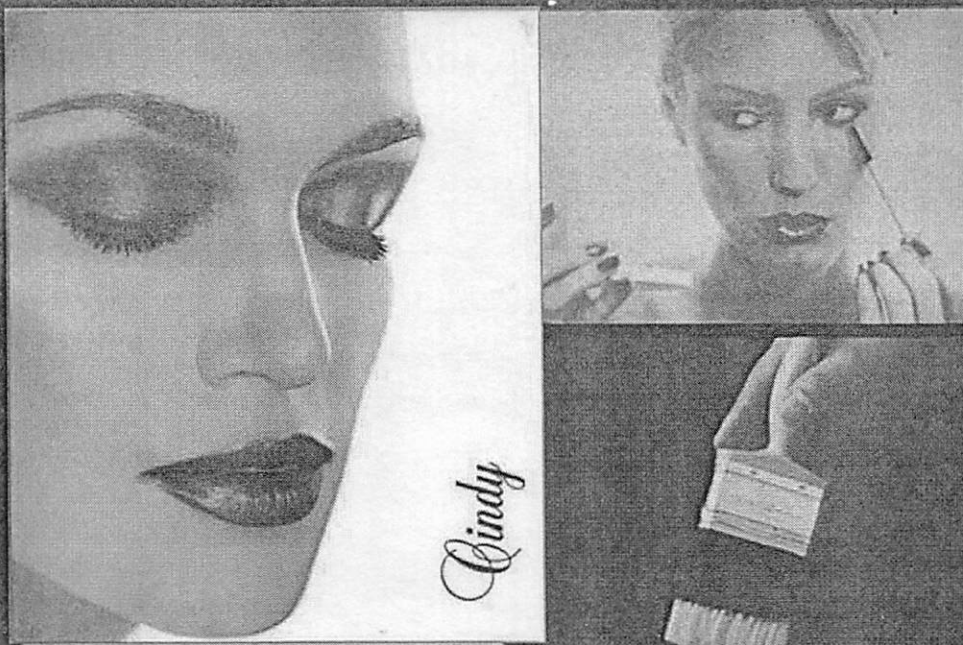


**Sodium Bentonite lebih baik  
baik dari Calcium Bentonite.  
(Na-Bentonite > Ca-Bentonite)**

### BENTONITE REQUIREMENTS

|                                        |                              |
|----------------------------------------|------------------------------|
| Marsh funnel measurement for viscosity | 32-55 seconds                |
| Apparent viscosity                     | 7-15 centipoises             |
| Plastic viscosity                      | 1 -30 centipoises            |
| Bingham yield                          | 24-144 dynes/cm <sup>2</sup> |
| 10 minute gel strength                 | 48-192 dynes/cm <sup>2</sup> |
| Density                                | 1.02-1.09 g/cm <sup>3</sup>  |
| Sand content                           | Less than 5%                 |
| Fluid loss                             | 11-35 cm <sup>3</sup>        |
| pH                                     | 10-12                        |

**Persyaratan dari Bentonite untuk penggunaan pada Diaphragm-Wall Construction.**

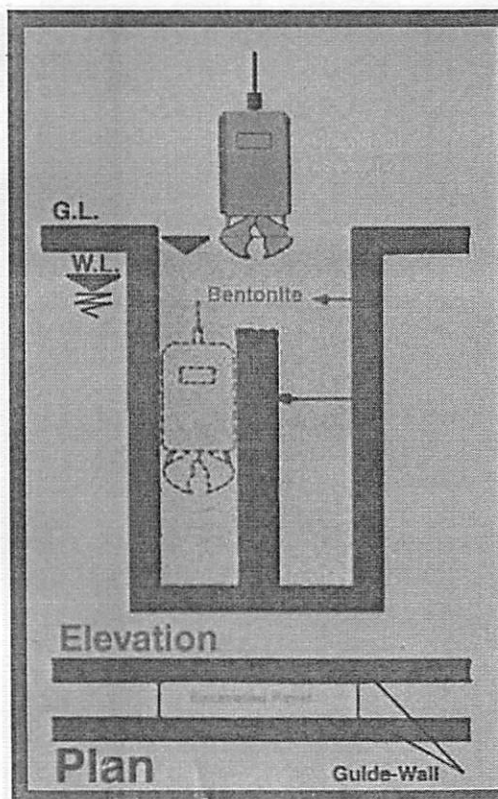


**Montmorillonite (bentonite) juga dipakai sebagai bahan campuran pada makanan ternak, bahan makeup, minuman dan cat.**



**Bentonite juga dipakai sebagai bahan campuran pada hairspray dan lipstick.**

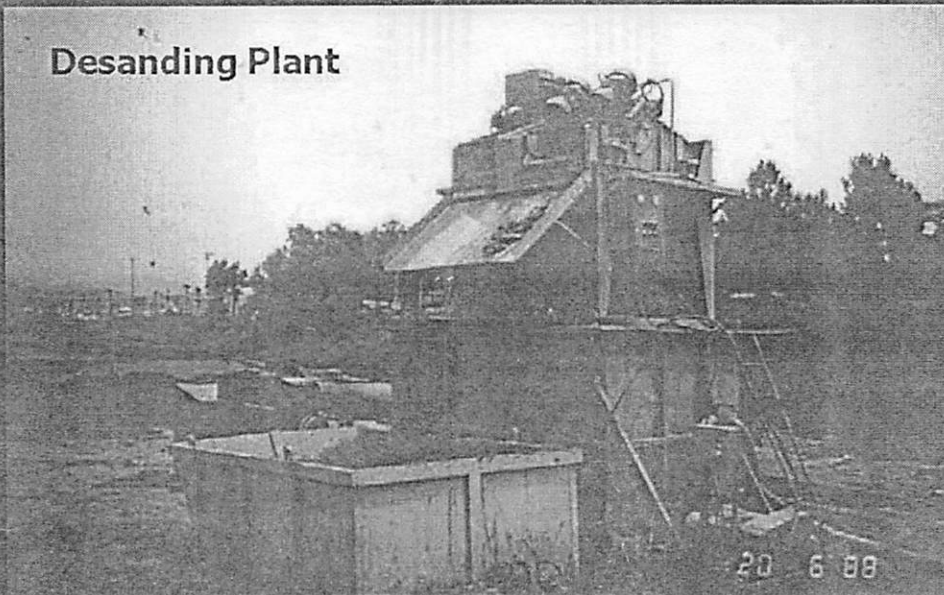
**Dari karakteristik tersebut dapat disimpulkan bahwa Bentonite tidak merusak lingkungan dan tidak berbahaya bagi manusia.**



**Untuk menjaga kestabilan galian, permukaan taraf cairan Bentonite harus diusahakan paling sedikit 1.25m lebih tinggi dari taraf muka air tanah sekelilingnya.**



### Desanding Plant

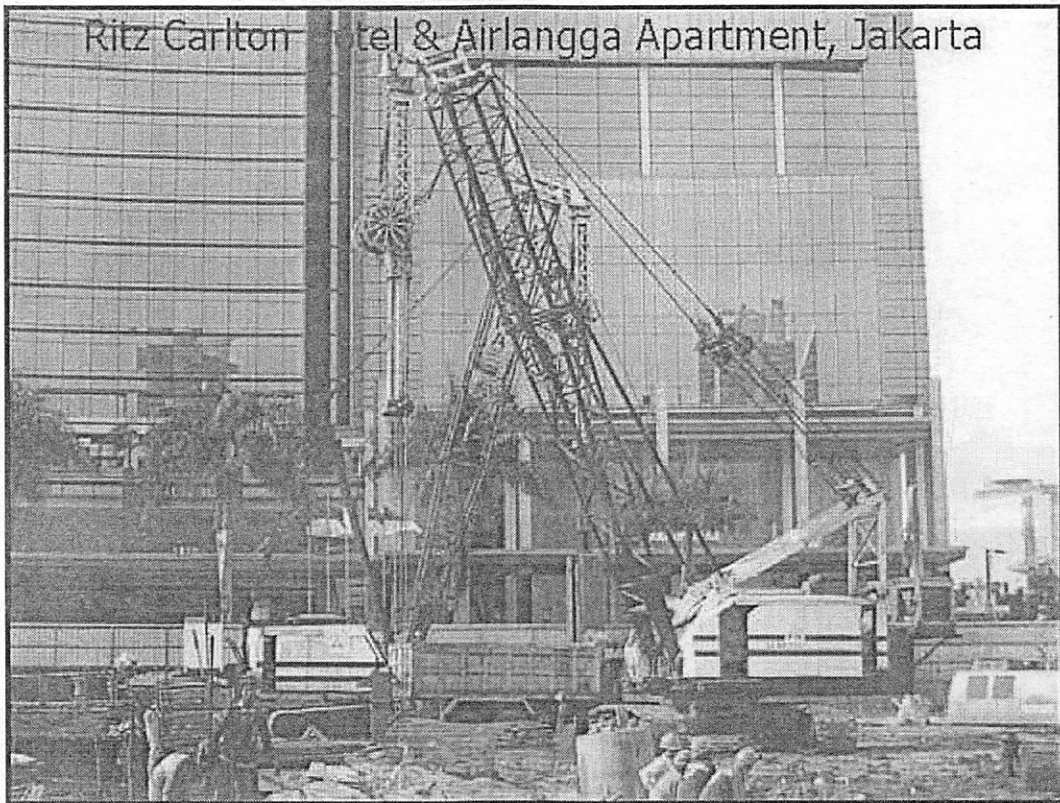


**Dalam penggunaan lumpur Bentonite**  
Mixing Plant ; Processing Plant ; Cleaning Plant (Desanding)

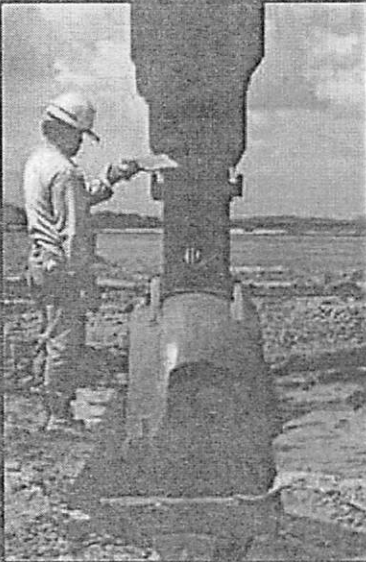


**Penggalian panel untuk  
dinding Diaphragm-Wall.**

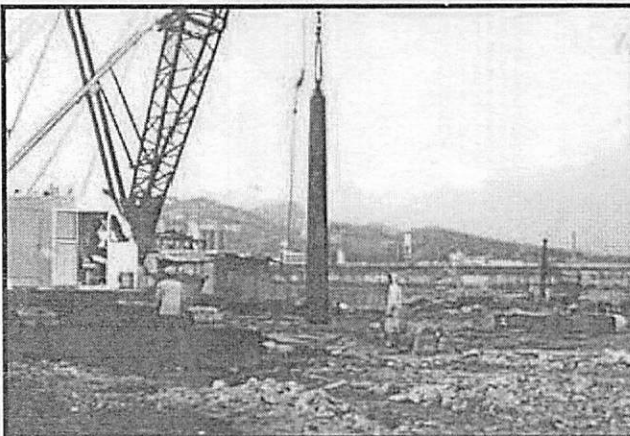
**SEMINAR NASIONAL HAKI**  
Tiara Convention Hall, Medan – 30 31 Mei 2014



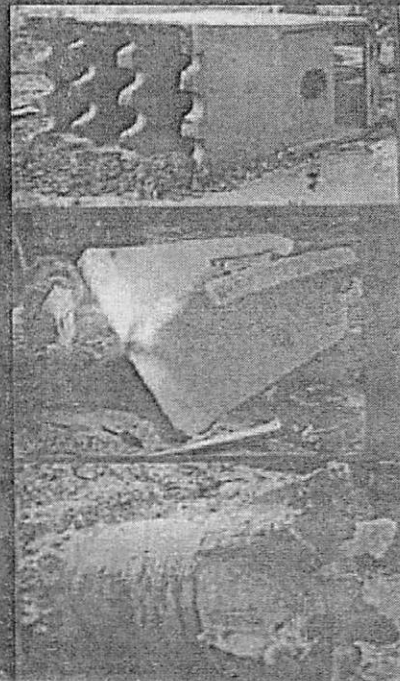




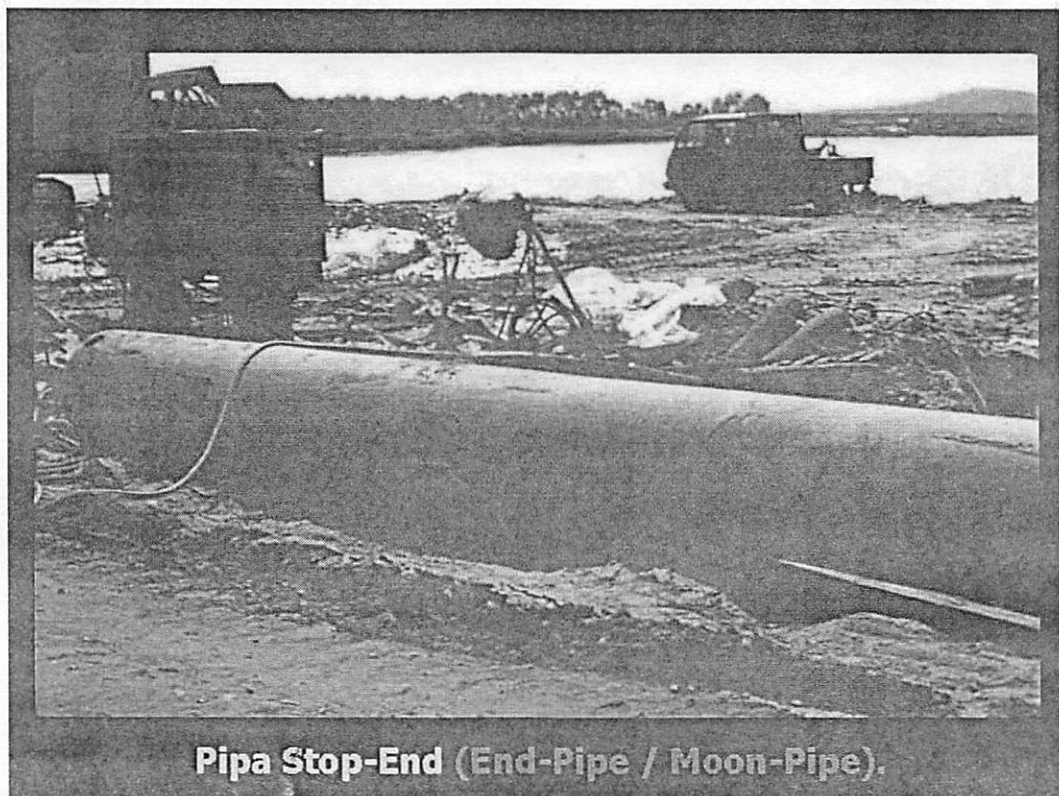
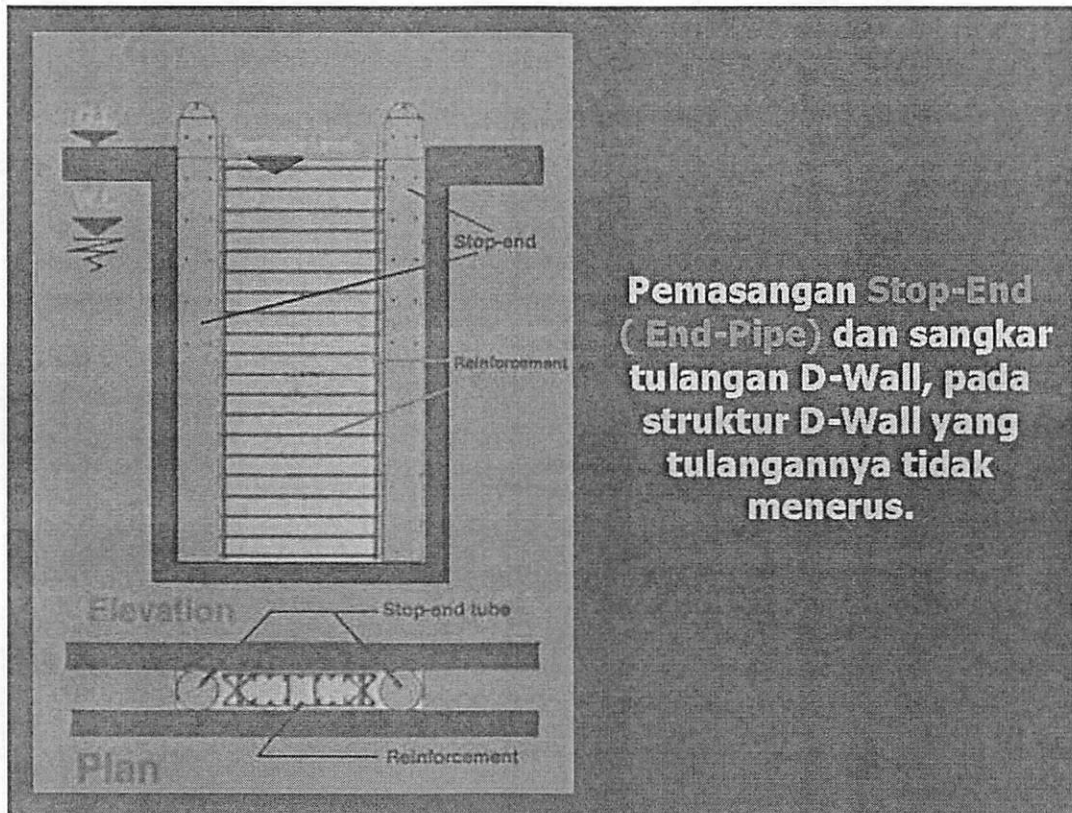
**Control verticality dari galian.**

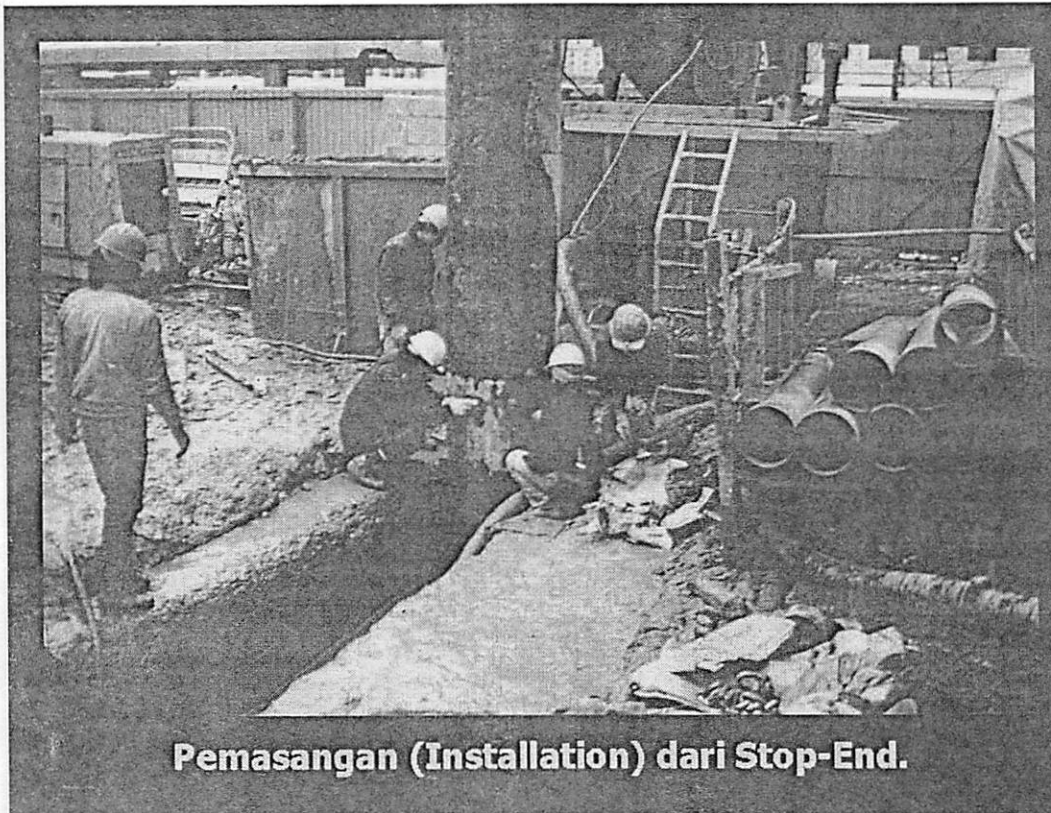


**Alat bantu berupa Chisel atau bor diperlukan bila ditemukan lapisan tanah keras yang tidak mampu digali (ditembus) dengan menggunakan grabber jenis gravity.**

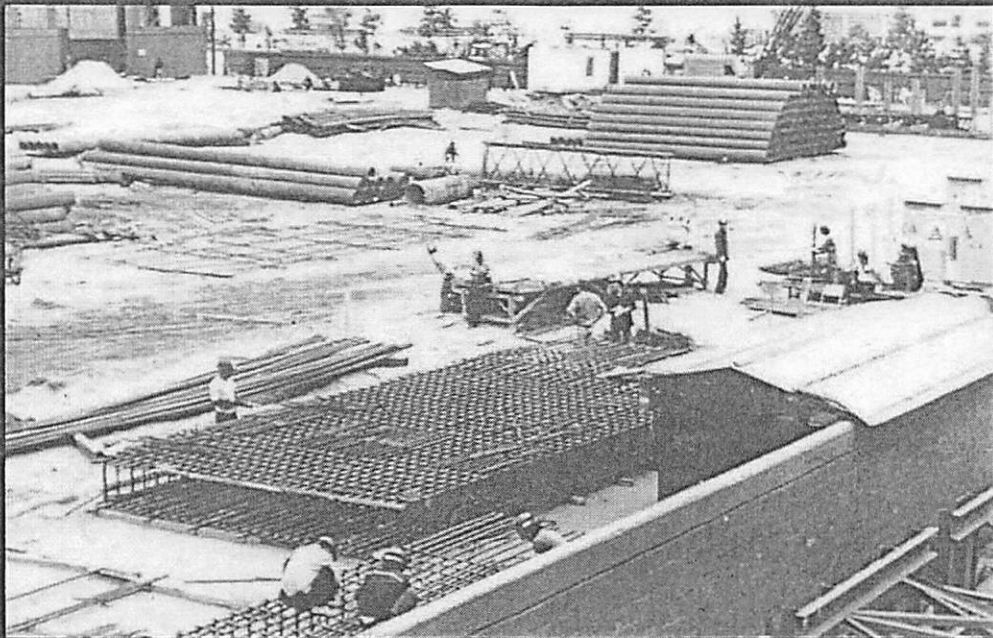




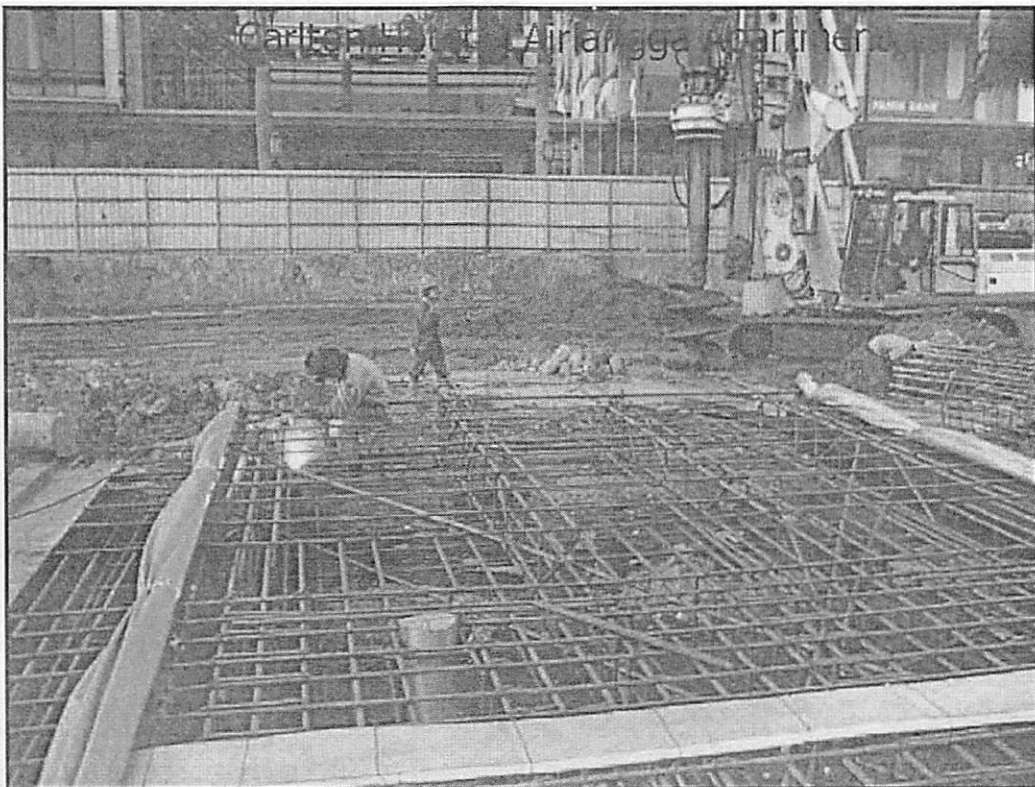




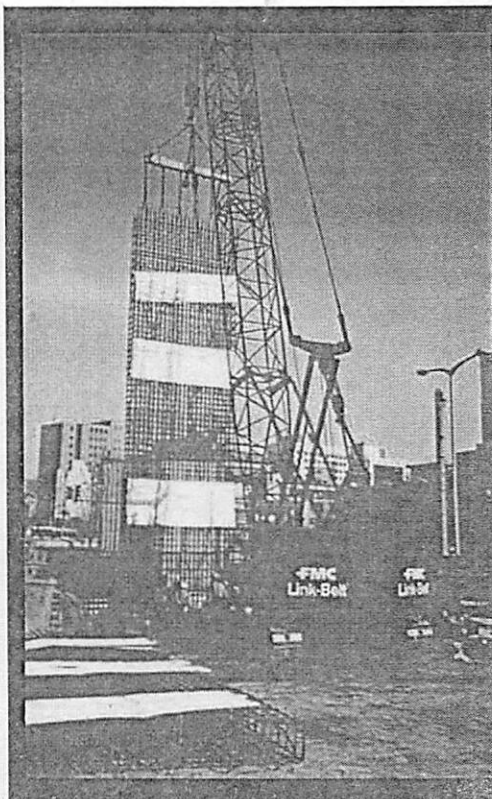
**SEMINAR NASIONAL HAKI**  
Tiara Convention Hall, Medan – 30 31 Mei 2014



**Pembuatan sangkar tulangan D-Wall.**



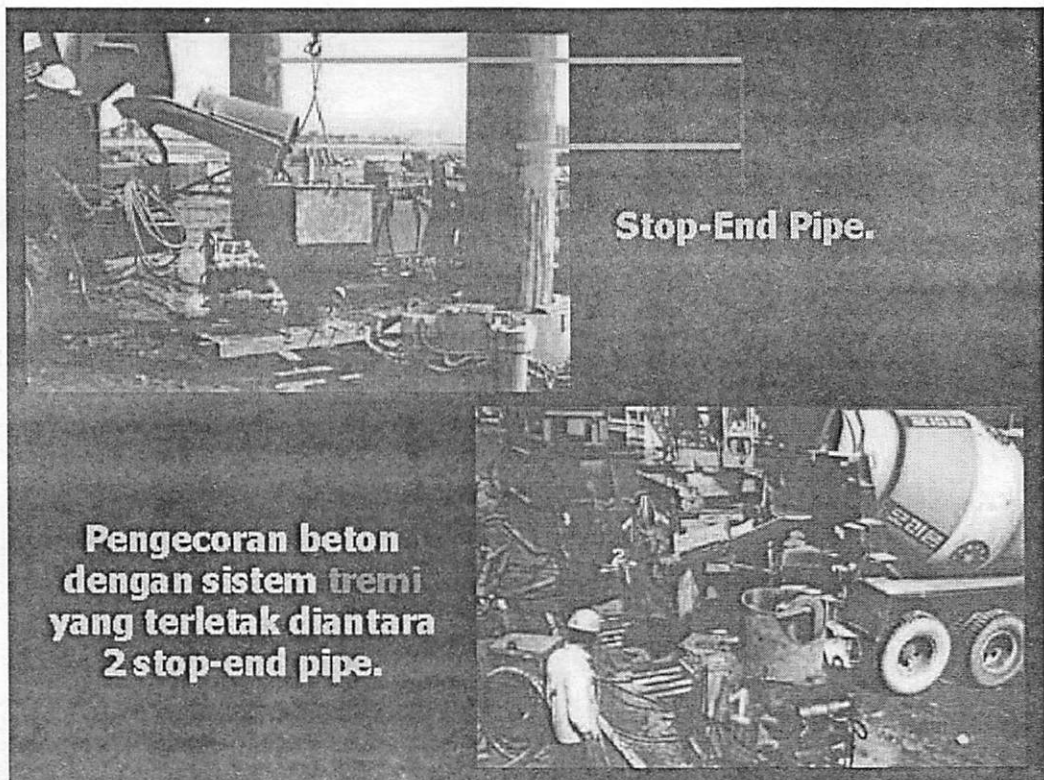
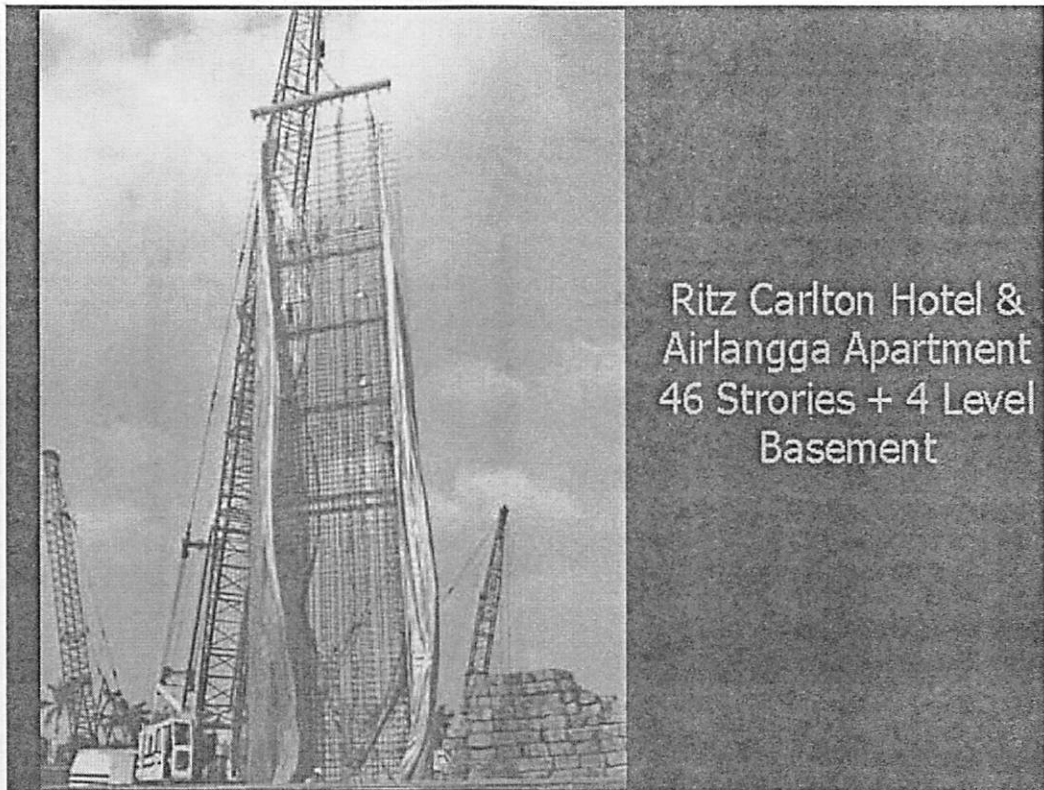




**Sangkar tulangan diturunkan  
kedalam lubang galian.**

**Pada gambar terlihat adanya  
styrofoam yang berfungsi  
sebagai penahan agar beton  
tidak menutup keseluruhan  
penampang D-Wall, karena  
pada sisi tersebut akan  
dipasang tulangan penyam-  
untuk balok atau pelat**

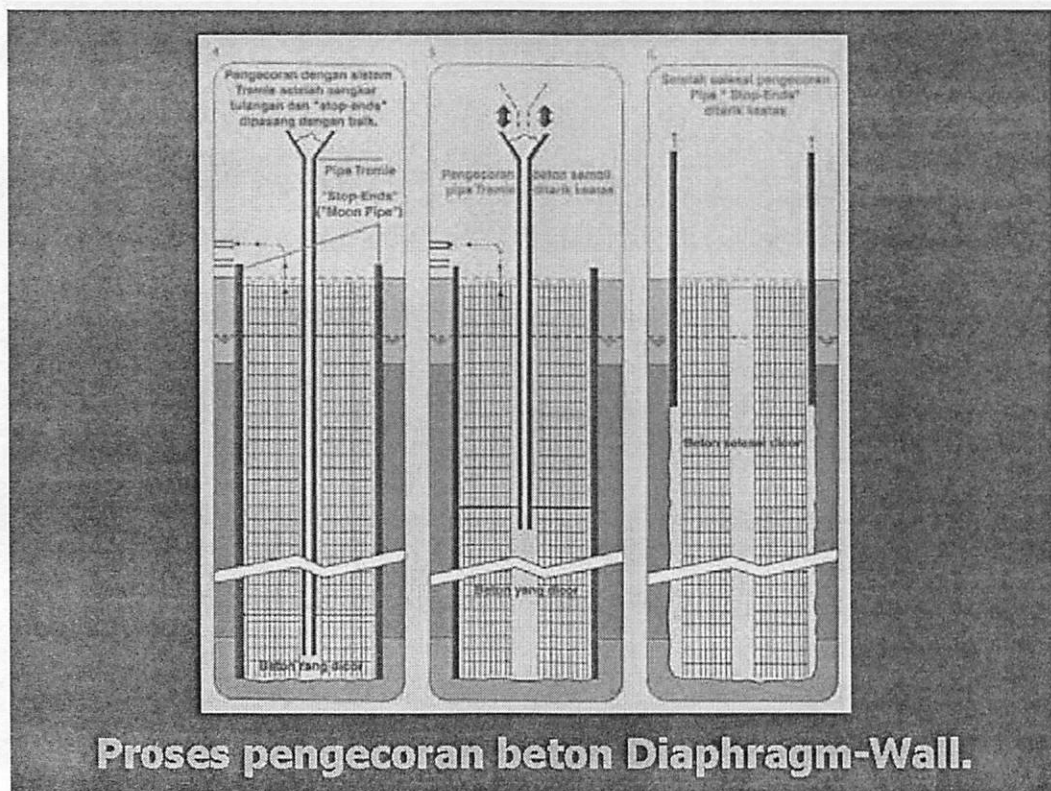
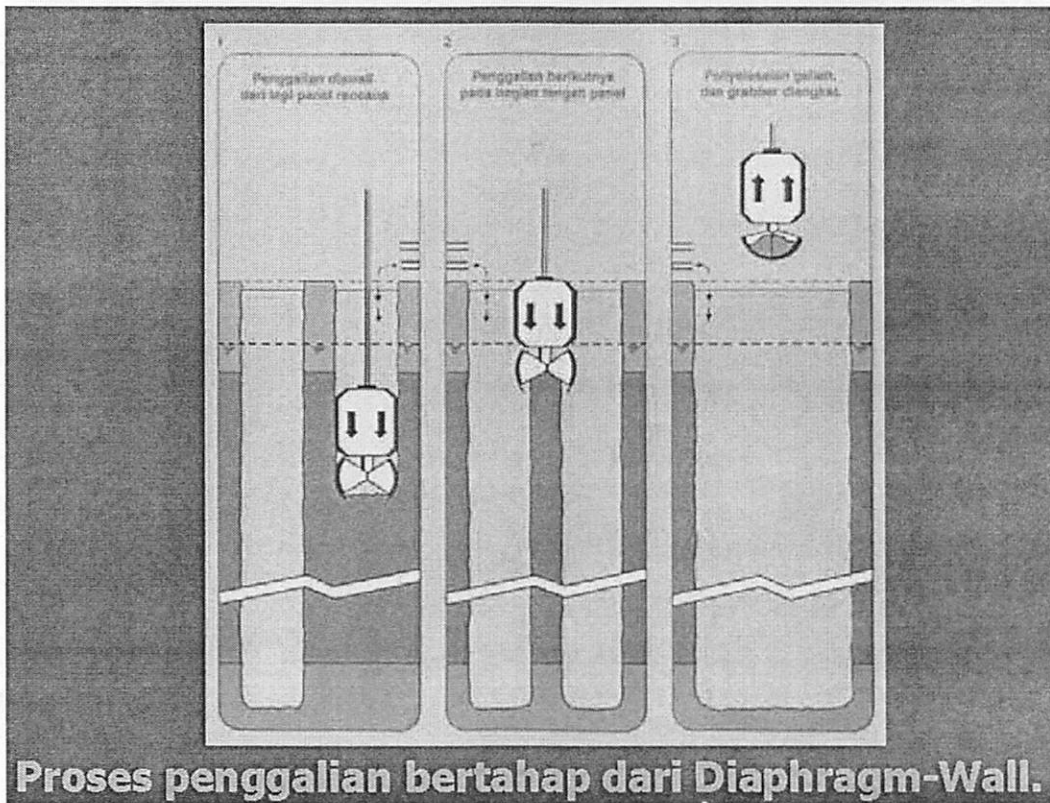
**SEMINAR NASIONAL HAKI**  
Tiara Convention Hall, Medan – 30 31 Mei 2014



**SEMINAR NASIONAL HAKI**  
Tiara Convention Hall, Medan – 30 31 Mei 2014

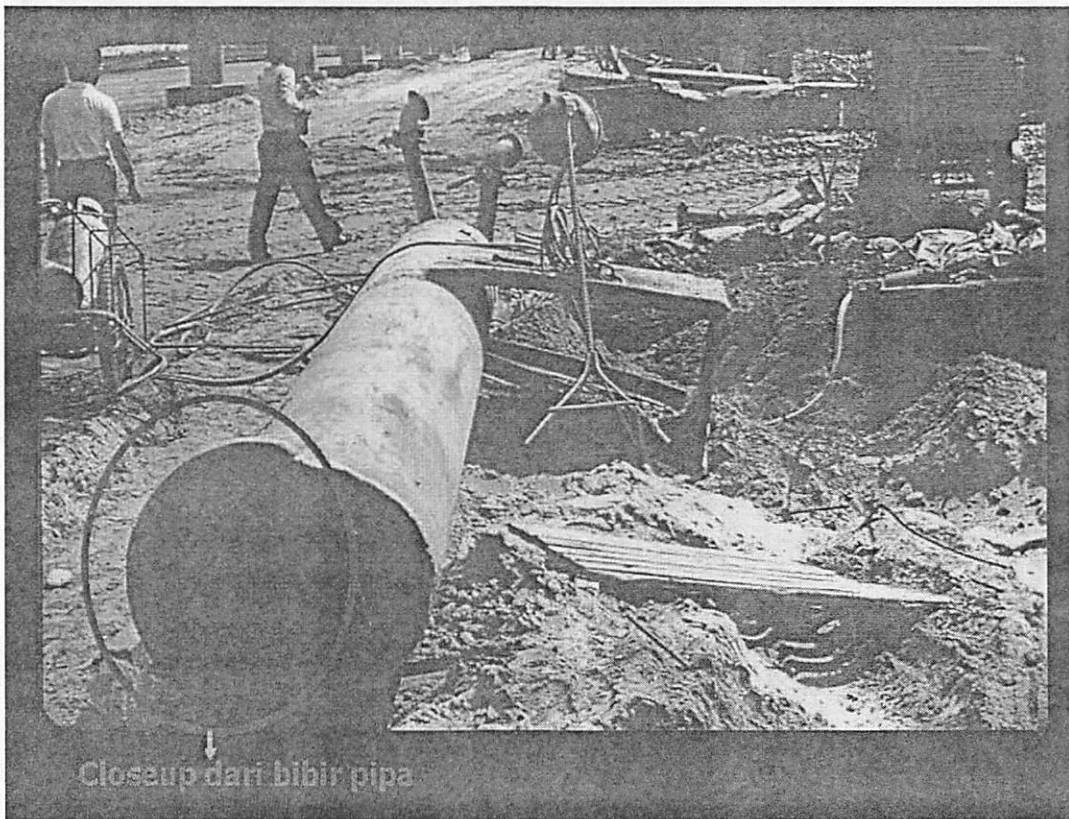




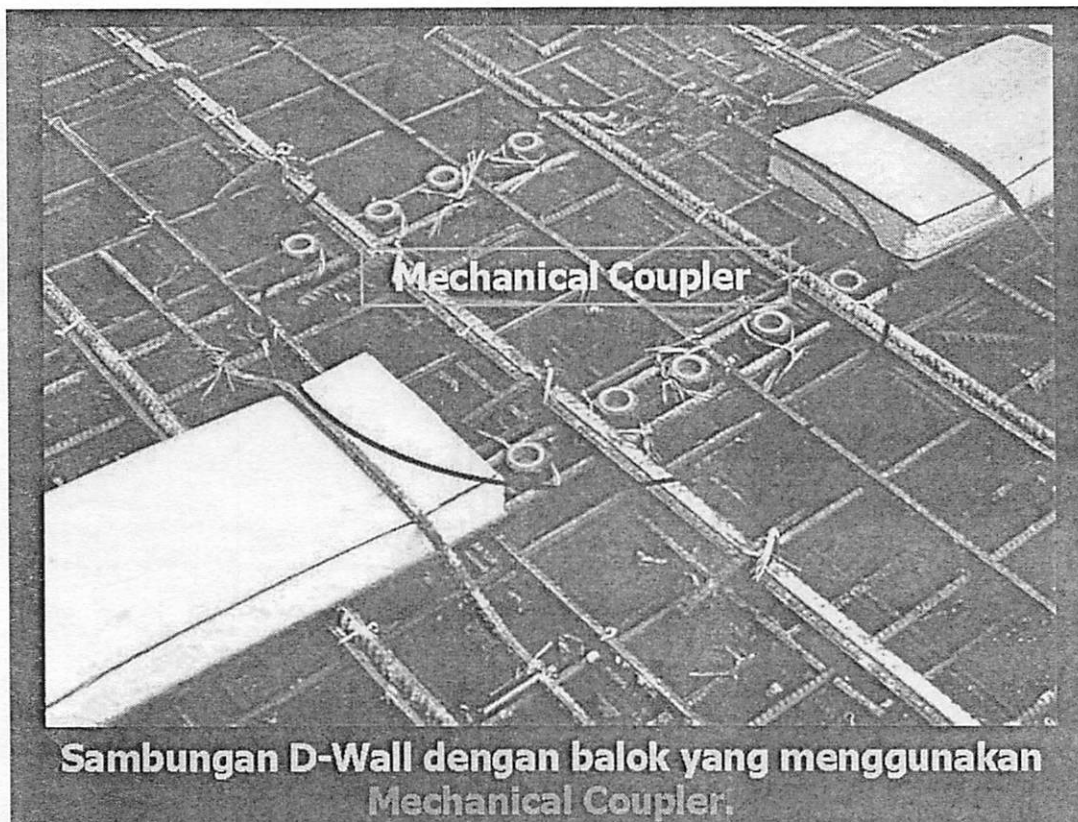




**SEMINAR NASIONAL HAKI**  
Tiara Convention Hall, Medan – 30 31 Mei 2014







### **Berbagai Analisis yang dibutuhkan.**

- 1. Analisis Struktur dinding penahan tanah.**
- 2. Analisis "King Post".**
- 3. Analisis lantai basement dengan beban khusus.**
- 4. Analisis lantai sebagai "Strutting".**
- 5. Analisis dasar galian terhadap pengaruh "Blow-in".**
- 6. Analisis dasar galian terhadap pengaruh "Heaving".**
- 7. Analisis stabilitas lereng.**
- 8. Analisis terhadap pengaruh "Uplift".**
- 9. Analisis "Ground Anchor" bila dibutuhkan.**
- 10. Analisis "Dewatering".**

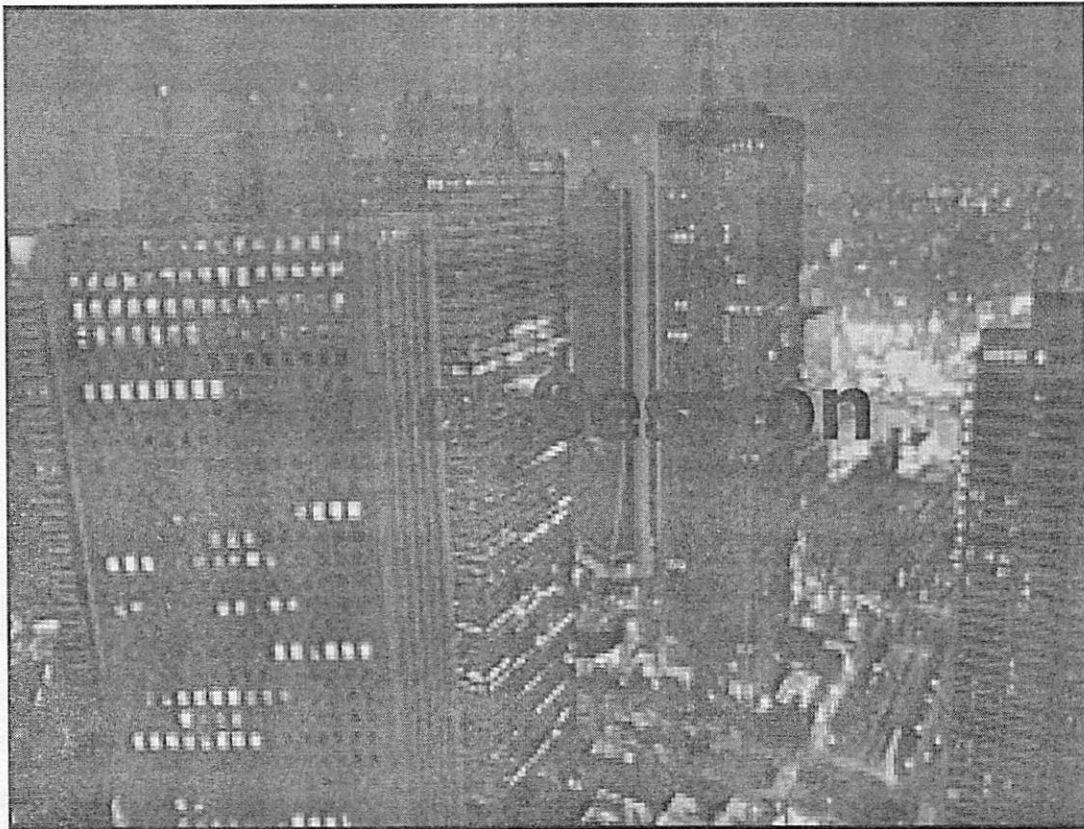
### **Pemantauan selama pelaksanaan.**

- 1. Inclinometer,  
Vibrating wire strain gauges.**
- 2. Observation Well.**
- 3. Heave markers.**
- 4. Settlement markers.**
- 5. Pemantauan terus menerus.**
- 6. Tindakan preventif.**

### **Kesimpulan:**

- \* Melibatkan berbagai spesialis dari berbagai disiplin.**
- \* "Downward Construction" cocok untuk multi-basement pada lahan yang sempit.**
- \* "Downward Construction" beresiko rendah.**
- \* Selama pelaksanaan harus dipantau secara kontinu dan dianalisis.**
- \* "Downward Construction" mengurangi deformasi lateral dari dinding dan pengaruh negatif terhadap bangunan sekelilingnya.**
- \* "Downward Construction" mempunyai masa depan yang baik.**

**SEMINAR NASIONAL HAKI**  
Tiara Convention Hall, Medan – 30 31 Mei 2014





**Linearly-Elastic Dynamic Analysis**  
**H.R. Tanuwidjaja<sup>1)</sup> and G.K.Santoso<sup>2)</sup>**

***<sup>1)</sup> Associate Professor Civil Engineering Trisakti University, Jakarta-Indonesia***

***President Director of Haerte Engineering Consultant, Jakarta-Indonesia***  
***haditanuwidjaja@yahoo.com , pthrt@indosat.net.id***

***<sup>2)</sup> Lecturer Civil Engineering Trisakti University, Jakarta-Indonesia***  
***gracek284@yahoo.com***

## **Abstract**

This paper was written with the understanding that some simple and brief theoretical 3D-structural dynamic analysis should be given as a practical guidance to fulfil the gap that young practicing engineers need. Backward analysis by using mode shapes computed from the most common commercial programs in Indonesia for building design and analysis verified that in the case of an irregular asymmetrical building which has multi masses and several numbers of rigid floor diaphragms - “a typical mixed-used building analytical model where several towers are interconnected by substantially large masses of lower stories podium and basements” - the influence of higher modes on the vertical distribution of lateral torsional moments (torques) needs prudent refinement. For certain restricted and limited structural lateral stiffness conditions perhaps the ASCE 7-10 provides a guidance to eliminate these difficulties and simplifies the problem on the structural analysis of the building

**Keywords:** 3D-dynamic analysis, mode shapes, mixed-use building.

## **1 Introduction**

Modern structural analysis of most of all Indonesian design office practices rely fully on the availability and capability of the commercial package computer programs.

Unfortunately not many textbooks and course subjects are available to be taught in the universities that emphasize the background and practical application of the theory into the reality of daily structural design office practices.

Prof. Wilson (2004) remarks specifically that *“do not use a structural analysis program unless you fully understand the theory and approximations used within the program”* and *“do not create a computer model until the loading, material properties and boundary conditions are clearly defined”*. The author personal observation shows that most engineers in structural design offices do not have enough back up knowledge and understanding in dynamic analysis theory of structures. They believe and take it for granted on every computer output as to be the most reliable and perfect solution.

It is interesting to note what Prof Powel (2010) felt that *“most young engineers use computer programs blindly, without understanding what they are doing, This is probably true, and it is unfortunate. However, my experience tells me that young engineers are not to blame”*. The paper is written for the purpose of filling the niche of many members of engineering profession who used to work with the assistance of commercial structural analysis and design computer programs but loss of confident about their doing.

In brief, the fundamental basic assumption of equation of motions and the 3D linearly elastic structural dynamic analysis was brought as much as being specifically used in the built-up computer programs. Comprehensive discussions were made through the step by step backward analysis approach by choosing natural modes as the primary modal analysis parameters. The study was done from a very simple structure which both has only single mass and floor diaphragm to the more complicated where the structure has multi masses and floor diaphragms such in the case of a typical modern mixed-use building which consists of several individual multi-story frames on top of an extremely large mass podium. Each step of computation was critically self-checks to maintain the consistency to the computer-program output accuracy.

Through this know-how the engineer has the ability to investigate with more confidence and in detail in the degree of accuracy of the computer results.

## **2 Linearly-Elastic Structural Dynamics Analysis**

### **2.1 Equation of motion**

One of the most important applications of the theory of structural dynamics is analysing the response of structures to ground motion caused by an earthquake. In general, structural response is expressed in terms of the displacement of the structure, through the solution of the dynamic force of equilibrium or equations of motion. Typical standard equations of motion due to three components of free field

ground displacements can be set in the form of  $N$  second order differential equations:

$$m \ddot{u}(t) + c \dot{u}(t) + k u(t) = -m_x \ddot{u}_{xg}(t) - m_y \ddot{u}_{yg}(t) - m_z \ddot{u}_{zg}(t) = m r \ddot{u}_g \quad (1)$$

The number of degrees of freedom depends on the number of lumped masses in the system. In building type of structures, in which the floor system can have any number of columns or walls and beams connecting to it; at the floor level intersection end of each member, a total six degrees of freedom exist for 3D structure and the masses are lumped at the nodes.. The in-plane deformations in the floor systems are small compared to the inter-story horizontal displacements, then, it has become common practice to assume the in-plane motion of all points on the floor diaphragm move as a rigid body. The in-plane displacements of each floor diaphragm reduce from 6 to 3 degree of freedoms and which can be expressed in terms of two lateral displacements  $u_x^{(m)}$ ,  $u_y^{(m)}$ , and a lateral rotation about the  $z$ -axis,  $u_z^{(m)}$  or  $u_\phi^{(m)}$ .

For relatively small displacements of each structural member, the materials property could be reasonably assumed as linearly elastic isotropic material where the stress-strain relationships of the materials are linear and they have equal properties in all directions.

There are several different classical methods that can be used for the solution of Eq. (1). The most common and effective approach for seismic analysis is the mode superposition method. For the purpose of dynamic response analysis, it is often advantageous to express the displaced position  $u(t)$  in terms of the free-vibration mode shapes  $\Phi = [\phi_1, \phi_2, \phi_3, \dots, \phi_N]$  (separation variables);

$$u(t) = \Phi Y(t) \quad (2)$$

where  $\Phi$  is an  $N \times N$  matrix containing  $N$  spatial vectors that are not a function of time, and  $Y(t)$  is a vector containing  $N$  function of time. It was noted that vibration mode amplitudes obtained from the eigen problem solution are arbitrary, in the analysis process the amplitude (the first, actually) has been set to unity, and the other displacements have been determined relative to this reference value (normalizing the mode shapes with respect to the specified reference coordinate):

$$\phi_n^T = [\phi_{1n}, \phi_{2n}, \phi_{3n}, \dots, \phi_{Nn}] = \frac{1}{u_{1n}} [1, u_{2n}, u_{3n}, \dots, u_{Nn}] \quad (3)$$

Because of the orthogonality property with respect to mass, i.e.  $\phi_n^T m \phi_m = 0$ ,  $\phi_n^T k \phi_m = 0$ ,  $\phi_n^T c \phi_m = 0$ , for  $m \neq n$ , therefore,  $\phi^T m \phi = I$  and  $\phi^T k \phi = \Omega^2$ , where  $I$  is a diagonal unit matrix and  $\Omega^2$  is a diagonal matrix in which the diagonal terms are  $\omega_n^2$  and  $\omega_n$  may or may not of free vibration frequency.



Therefore the equations of motion, Eq. (1) from a set of  $N$  simultaneous differential equations, which are initially coupled by the off-diagonal terms in mass, stiffness and damping matrices, then they could be split to a set of  $N$  independent (uncoupled) normal-coordinate equations :

$$M_n \ddot{Y}_n(t) + C_n \dot{Y}_n(t) + K_n Y_n(t) = P_n(t) \quad (4)$$

where :

$$M_n = \phi_n^T m \phi_n, K_n = \phi_n^T k \phi_n, C_n = \phi_n^T c \phi_n, P_n(t) = \phi_n^T p(t) = \phi_n^T m r \ddot{u}_g(t) = \mathcal{L}_n \ddot{u}_g(t),$$

$\mathcal{L}_n$  is defined as modal participation factors or in this case earthquake excitation factors.,  $r$  is a vector of ones for the structure which represents the displacements resulting from a unit ground displacement excitation either in  $x$ ,  $y$  (both translations), or  $z$  (rotational), and  $n$  is the mode number ; so that

$$\phi_n^T m \phi_n = \sum_{i=1}^N m_i \phi_{in}^2 = 1$$

Note : For rotational excitation the Mass Moment of Inertia (MMI) =  $r^2 m = I_m$  which shall be used in the above equations, and  $M_{\theta n} = \phi_{\theta n}^T I_m \phi_{\theta n}$

$$(\phi_{\theta n}^T I_m \phi_{\theta n} = \sum_{i=1}^N I_{mi} \phi_{\theta ni}^2 = 1)$$

## 2.2 Dynamic Analysis Using Design Response Spectra

In designing structures to perform satisfactorily under earthquake excitations, the engineer needs a much more precise characterization of the ground shaking of the specific site under consideration. For this purpose, study and observation of the response of a single oscillator freedom (SDOF) induced by ground motion has proved to be invaluable. The graphs showing the absolute maximum values of the structural response,  $S_{pa}(\xi, \omega)$ , plotted as function of period ( $T = \frac{2\pi}{\omega}$ ) for discrete values of damping ratio,  $\xi$ , are called pseudo acceleration response spectra. The response spectral values and shapes,  $S_{pa}$  for earthquake ground motions depend upon many independent variables respectively such as source mechanism (SM), epicentral distance (ED), focal depth (FD), geological conditions (GC), Richter magnitude (RM), soil condition (SC), damping ratio and period. Due to the lack of knowledge as to their influences, in the modern design response spectrum curves when normalized and averaged to a fixed intensity level, currently are specified in terms of only two parameters  $SC$  and  $\xi$ . Using the direct statistical approach as

similarly developed by Seeds (1976) the average pseudo-acceleration spectra for different types of site-soil conditions and correlated to the numerous recorded past earthquakes expressed in terms of  $g$  had been normalized with respect to peak ground accelerations as shown in Figure 1; a typical design spectra for Jakarta, of the Indonesian seismic design code SNI 1726-2002.

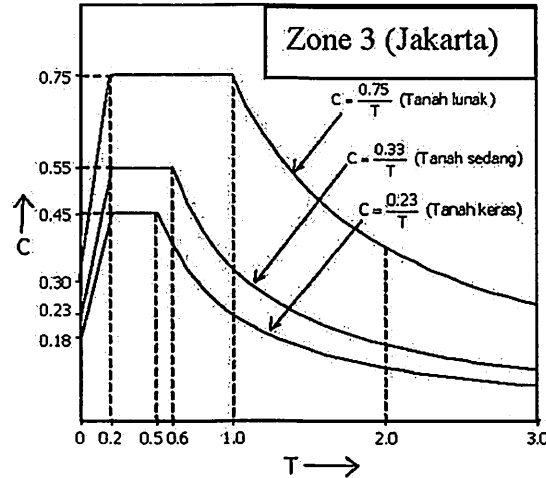


Figure 1: Design Spectra for Jakarta (SNI 1726-2002)

The standard design procedures for dynamic analysis will be described as follows:

1. The first step in the dynamic analysis of a structural model is the calculation of the 3D mode shapes  $\Phi$  and natural frequencies of vibration (or natural periods),  $\omega_n$  or  $T_n$ .
2. The value of maximum response for the modal spectral acceleration,  $S_{am,n}(\xi_n, T_n) = C_n$ , is found from the seismic design code which is usually expressed in units of gravitational acceleration  $g$ .
3. Calculate the modal mass participating factor or modal earthquake excitation factor. By definition the modal participation factor and the generalized mass  $M_n$

$$\mathcal{L}_n = \phi_n^T \mathbf{m} \mathbf{r} = \sum_{i=1}^N m_i \phi_{in} = \frac{1}{g} \sum_{i=1}^N W_i \phi_{in} \quad (5)$$

$$\langle 1 \rangle \mathbf{m} \Phi = \langle \mathcal{L}_1, \mathcal{L}_2, \mathcal{L}_3, \dots, \mathcal{L}_N \rangle \quad (6)$$

4. Define the quantity of  $\frac{f_n^2}{M_n}$  as effective modal mass. Since total mass

$$M_T = \langle 1 \rangle m \{1\} = \sum_{n=1}^N \frac{f_n^2}{M_n} \quad \left( \sum_{n=1}^N \frac{f_{xn}^2}{M_n} \text{ for translation x-excitation, } \sum_{n=1}^N \frac{f_{yn}^2}{M_n} \right.$$

for translation y-excitation; or  $\sum_{n=1}^N \frac{f_{zn}^2}{M_n}$  for rotational excitation then

$$I_{or} = \langle 1 \rangle I_o \{1\} = \sum_{n=1}^N \frac{f_{\theta n}^2}{M_{\theta n}}; \text{ the number of significant modes of vibration to}$$

be considered in design for most of building codes require that at least 90% of the effective modal participating mass should be included in the calculation of response for each principal direction.

For a particular earthquake excitation in the  $x$  or  $y$  direction therefore the

$$\text{value of } \sum_{n=1}^N \frac{f_{xn} f_{zn}}{M_n} = \sum_{n=1}^N \frac{f_{yn} f_{zn}}{M_n} = 0 \quad (\text{note : } f_{zn} = f_{\theta n})$$

5. Calculate respectively the modal story shears ( $f_s$ ), base shears ( $V$ ), overturning ( $OTM$ ) and lateral torsional moments ( $t_s$ , torques), displacements ( $u$ ) or drifts :

a. Story forces:

$$f_{sin} = m \phi_n \frac{f_n}{M_n} S_{am,n} = m \phi_n \frac{f_n}{M_n} C_n g \quad (7)$$

Story forces for particular x-translational excitation then :

$$f_{x-x} = m \phi_n \frac{f_{xn}}{M_n} S_{am,n} = m \phi_n \frac{f_{xn}}{M_n} C_n g$$

Story forces for particular y-translational excitation then :

$$f_{y-y} = m \phi_n \frac{f_{yn}}{M_n} S_{am,n} = m \phi_n \frac{f_{yn}}{M_n} C_n g$$

Story Torque for particular rotational z- excitation then :

$$t_{z-z} = m \phi_n \frac{f_{\theta n}}{M_n} S_{am,n} = m \phi_n \frac{f_{zn}}{M_n} C_n g$$

b. Translation Base shear

$$V_n = \sum_{i=1}^N f_{si} = \langle 1 \rangle f_s = \sum_{n=1}^N \frac{f_n^2}{M_n} S_{am,n} = \sum_{n=1}^N \frac{f_n^2}{M_n} C_n g \quad (8)$$

Base shear for particular x- translational excitation then :



$$V_{x-x} = \sum_{i=1}^N f_{si} = \langle 1 \rangle f_s = \sum_{n=1}^N \frac{f_{xn}^2}{M_n} S_{am,n} = \sum_{n=1}^N \frac{f_{xn}^2}{M_n} C_n g$$

$$V_{y-y} = \sum_{i=1}^N f_{si} = \langle 1 \rangle f_s = \sum_{n=1}^N \frac{f_{yn} f_{xn}}{M_n} S_{am,n} = \sum_{n=1}^N \frac{f_{yn} f_{xn}}{M_n} C_n g$$

Base torque z-x

$$T_{z-x} = \sum_{i=1}^N t_{si} = \langle 1 \rangle T_s = \sum_{n=1}^N \frac{I_{ox}}{M_n} S_{am,n} = \sum_{n=1}^N \frac{f_{xn} f_{zn}}{M_n} C_n g$$

Base shear for particular y- translational excitation then

$$V_{y-y} = \sum_{i=1}^N f_{si} = \langle 1 \rangle f_s = \sum_{n=1}^N \frac{f_{yn}^2}{M_n} S_{am,n} = \sum_{n=1}^N \frac{f_{yn}^2}{M_n} C_n g$$

$$V_{x-y} = V_{y-x} = \sum_{i=1}^N f_{si} = \langle 1 \rangle f_s = \sum_{n=1}^N \frac{f_{xn} f_{yn}}{M_n} S_{am,n} = \sum_{n=1}^N \frac{f_{xn} f_{yn}}{M_n} C_n g$$

Base torque z-y

$$T_{z-y} = \sum_{i=1}^N t_{si} = \langle 1 \rangle T_s = \sum_{n=1}^N \frac{I_{oy}}{M_n} S_{am,n} = \sum_{n=1}^N \frac{f_{yn} f_{zn}}{M_n} C_n g$$

c. Base Torque

$$T_n = \sum_{i=1}^N t_{si} = \langle 1 \rangle T_s = \sum_{n=1}^N \frac{I_{on}}{M_n} S_{am,n} = \sum_{n=1}^N \frac{f_{on}^2}{M_n} C_n g$$

Base Torque for z-rotational direction then :

$$T_{z-z} = \sum_{i=1}^N t_{si} = \langle 1 \rangle T_s = \sum_{n=1}^N \frac{I_{on}}{M_n} S_{am,n} = \sum_{n=1}^N \frac{f_{zn}^2}{M_n} C_n g$$

Base shear :

$$T_{z-x} = V_{x-z} = \sum_{i=1}^N f_{si} = \langle 1 \rangle f_s = \sum_{n=1}^N \frac{I_{ox}}{M_n} S_{am,n} = \sum_{n=1}^N \frac{f_{xn} f_{zn}}{M_n} C_n g$$

$$T_{z-y} = V_{y-z} = \sum_{i=1}^N f_{si} = \langle 1 \rangle f_s = \sum_{n=1}^N \frac{I_{oy}}{M_n} S_{am,n} = \sum_{n=1}^N \frac{f_{yn} f_{zn}}{M_n} C_n g$$

d. Overturning Moment

$$OTM_n = \sum_{i=1}^N f_{\sin} h_i \quad (9)$$

e. Lateral Displacement :

$$u_n = \phi_n \frac{L_n}{M_n} \frac{S_{am,n}}{\omega_n^2} = m \phi_n \frac{L_n}{M_n} \frac{C_n g}{\omega_n^2} \quad (11)$$

Lateral displacement x-excitation :

$$u_{x-x} = \phi_n \frac{L_x}{M_n} \frac{S_{am,n}}{\omega_n^2} = m \phi_n \frac{L_x}{M_n} \frac{C_n g}{\omega_n^2}$$

Lateral displacement y-excitation :

$$u_{y-y} = \phi_n \frac{L_y}{M_n} \frac{S_{am,n}}{\omega_n^2} = m \phi_n \frac{L_y}{M_n} \frac{C_n g}{\omega_n^2}$$

Lateral rotation z-excitation :

$$\theta = u_{z-z} = \phi_n \frac{L_z}{M_n} \frac{S_{am,n}}{\omega_n^2} = m \phi_n \frac{L_z}{M_n} \frac{C_n g}{\omega_n^2}$$

### 3. Design Example

A typical mixed-use building structural model analysis (mini size) where several towers on top of a large mass lower stories podium and basement as shown in Figure 2, was chosen as a design example.

The computed floor masses, center of masses data and mode shapes  $\Phi$  (shown only the first 3 modes), as respectively shown in Figure 3 and 4, is a typical ETABS print out.

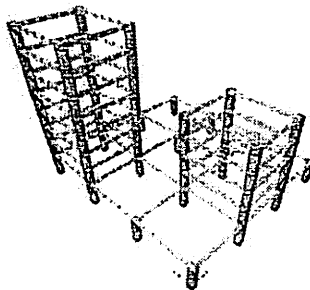


Figure 2: A typical mixed use building structure

Based on the above data, the backward analysis of a standard dynamic analysis in computation stages as elaborated in the previous section could be easily followed in a self explanatory manner in Figures 5 to 12.

First check shall be done for the accuracy of the computed matrix  $Mn = \Phi^T m \Phi$ , the exact values should be a unit matrix. Therefore for higher accurateness the necessary refinement as shown in the Figures 5 to 6, should be taken for the next computation stages.

Figures 7 to 8 show the modal mass participation matrix computation with the 2<sup>nd</sup> *check for the accuracy of the computed modal effective mass. Comparative results* between the computer program output and backward analysis computation show that poor accurateness and significant errors were found in the computed base torques and story torques distribution due to lateral torsional excitation.

Figures 9 to 12 show the computed story forces and torques distribution and comparative self accuracy checks respectively with the computed base shears and torques due to x-x, y-y and z-z ground excitation.

The reciprocal theorem applied as well as shown by the findings that base shears or base torques and story forces or torques in a defined direction due to other ground excitation is always the same;  $V_{xy} = V_{yx}$ ,  $V_{xz} = T_{zx}$ ,  $V_{yz} = T_{zy}$  or  $f_{xy} = f_{yx}$ ,  $f_{xz} = t_{zx}$ ,  $f_{yz} = t_{zy}$ .

The rotational movement contributes the higher computed base shears,  $V_{zx} = V_{xz}$ , and  $V_{zy} = V_{yz}$  than  $V_{xx}$  and  $V_{yy}$  for both lower and higher modes.

## 4. Conclusion

In this modern structural analysis era the needs of commercial package software is inevitable. The engineers who use this software shall be insisted to have the understanding of the basic theoretical knowledge on the structural dynamic of structures.

It is interesting to note that the influence of rotational movement ( $\theta$  or z-rotational) contributes higher base shears ( $V_{xx}$  and  $V_{yy}$ ) in either x-x or y-y direction.

Prior further exercises and investigations, perhaps the current restrictions as shown in ASCE 7-10 (1) section 12.2.3.2 should be taken into consideration as a guidance to eliminate the above issue.



## 5. References

- [1] American Society of Civil Engineers (2010), "Minimum Design Loads for Building and Other Structures," ASCE 7-2010, 595 pp.
- [2] BSN (2002), "Indonesian Earthquake Resistance Design Requirements for Buildings," SNI 03-1726-2002, 64 pp.
- [3] RSNI 03-1726-xxxx, (2010), "Draft of The Indonesian Earthquake Resistance standard Design Requirements for Structural and Non- Structural Buildings," 106 pp.
- [4] Clough, R., Penzien, J. (2003) , "Dynamic of Structures," 2<sup>nd</sup> Edition revised), Computer and Structure Inc., 739 pp.
- [5] Paz, M, (1991), "Structural Dynamics, Theory and Computation," 3<sup>rd</sup> Edition, Van Nostrand Reinhold, New York, 626 pp.
- [6] Chopra, A.K. (1995), "Dynamics of Structures, Theory and Applications to Earthquake Engineering," Prentice Hall, New Jersey, 729 pp.
- [7] Wilson, E. L. (2004), "Static & Dynamic Analysis of Structures, A Physical Approach With Emphasis on Earthquake Engineering," 4<sup>th</sup> Edition, Computer and Structure Inc., 390 pp.
- [8] Seed, H.B., Ugas, C., and Lysmer, L. (1976), "Site Dependent Spectra for Earthquake Resistant Design," Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 66, No.1, February.
- [9] Powell, G., H. (2010), "Modeling for Structural Analysis, Behavior and Basics," Computer and Structure Inc., 365 pp.
- [10] CSI Computer & Structures Inc, "ETABS manual," Berkeley, USA.

# SEMINAR NASIONAL HAKI

Tiara Convention Hall, Medan – 30 31 Mei 2014

| Story  | Diaphragm | MassX    | MassY    | MMI       | XM    | YM   |
|--------|-----------|----------|----------|-----------|-------|------|
| STORY8 | D1        | 65.9568  | 65.9568  | 2390.934  | 4     | 22.5 |
| STORY7 | D1        | 75.7872  | 75.7872  | 2747.286  | 4     | 22.5 |
| STORY6 | D1        | 75.7872  | 75.7872  | 2747.286  | 4     | 22.5 |
| STORY5 | D1        | 75.7872  | 75.7872  | 2747.286  | 4     | 22.5 |
| STORY5 | D2        | 65.9568  | 65.9568  | 2390.934  | 12    | 4.5  |
| STORY4 | D1        | 75.7872  | 75.7872  | 2747.286  | 4     | 22.5 |
| STORY4 | D2        | 75.7872  | 75.7872  | 2747.286  | 12    | 4.5  |
| STORY3 | D1        | 75.7872  | 75.7872  | 2747.286  | 4     | 22.5 |
| STORY3 | D2        | 75.7872  | 75.7872  | 2747.286  | 12    | 4.5  |
| STORY2 | D1        | 75.7872  | 75.7872  | 2747.286  | 4     | 22.5 |
| STORY2 | D2        | 75.7872  | 75.7872  | 2747.286  | 12    | 4.5  |
| STORY1 | D3        | 525.7632 | 525.7632 | 75470.711 | 11.85 | 13.5 |

| Story  | Diaphragm | Mode | UX      | UY      | UZ | RX | RY | RZ       | Mode | Period  | UX      | UY      | UZ | SumUX   | SumUY   | SumUZ | RX    | RY      | RZ      | SumRX   | SumRY   | SumRZ   |
|--------|-----------|------|---------|---------|----|----|----|----------|------|---------|---------|---------|----|---------|---------|-------|-------|---------|---------|---------|---------|---------|
| STORY8 | D1        | 1    | 0.0019  | 0.0058  | 0  | 0  | 0  | -0.0011  | 1    | 0.87034 | 3.1393  | 36.3825 | 0  | 3.1393  | 36.3825 | 0     | 72.93 | 6.6575  | 15.3738 | 72.9758 | 6.6575  | 15.3738 |
| STORY7 | D1        | 1    | 0.0018  | 0.0548  | 0  | 0  | 0  | -0.00104 | 2    | 0.82236 | 34.8163 | 4.1076  | 0  | 37.9556 | 40.4851 | 0     | 8.346 | 70.7639 | 8.9511  | 81.2722 | 77.421  | 24.2849 |
| STORY6 | D1        | 1    | 0.0016  | 0.0488  | 0  | 0  | 0  | -0.00095 | 3    | 0.75028 | 0.9141  | 0.2195  | 0  | 38.6697 | 40.7946 | 0     | 0.847 | 1.7451  | 6.398   | 81.7425 | 78.167  | 30.6828 |
| STORY5 | D1        | 1    | 0.0014  | 0.0408  | 0  | 0  | 0  | -0.00083 | 4    | 0.47037 | 0.8029  | 22.6883 | 0  | 39.6557 | 63.3929 | 0     | 16.28 | 0.6837  | 5.3413  | 98.029  | 79.85   | 36.0241 |
| STORY4 | D1        | 1    | 0.0011  | 0.0315  | 0  | 0  | 0  | -0.00068 | 5    | 0.46237 | 22.5482 | 0.5759  | 0  | 62.2449 | 63.9726 | 0     | 0.2   | 17.7989 | 20.1265 | 98.2291 | 97.649  | 56.1506 |
| STORY4 | D1        | 1    | 0.0011  | 0.0315  | 0  | 0  | 0  | -0.00068 | 5    | 0.46237 | 22.5482 | 0.5759  | 0  | 62.2449 | 63.9726 | 0     | 0.2   | 17.7989 | 20.1265 | 98.2291 | 97.649  | 56.1506 |
| STORY3 | D1        | 1    | 0.0008  | 0.021   | 0  | 0  | 0  | -0.0005  | 6    | 0.40994 | 1.1158  | 0.0002  | 0  | 63.3607 | 63.973  | 0     | 0.005 | 0.6348  | 2.1738  | 98.2338 | 98.234  | 58.3286 |
| STORY2 | D1        | 1    | 0.0004  | 0.0109  | 0  | 0  | 0  | -0.00031 | 7    | 0.26464 | 2.8249  | 5.6588  | 0  | 66.1856 | 68.6317 | 0     | 0.004 | 0.9514  | 4.3434  | 98.2381 | 98.235  | 62.6719 |
| STORY5 | D2        | 1    | -0.0001 | 0.0051  | 0  | 0  | 0  | -0.00028 | 8    | 0.25086 | 6.9792  | 3.1151  | 0  | 73.1649 | 72.7468 | 0     | 0.041 | 0.0604  | 1.7473  | 98.2795 | 98.396  | 64.4192 |
| STORY4 | D2        | 1    | -0.0001 | 0.0047  | 0  | 0  | 0  | -0.00026 | 9    | 0.22716 | 0.3659  | 0.1145  | 0  | 73.5348 | 72.6813 | 0     | 0.007 | 0.0014  | 1.3431  | 98.2863 | 98.397  | 65.7623 |
| STORY3 | D2        | 1    | -0.0001 | 0.0042  | 0  | 0  | 0  | -0.00024 | 10   | 0.16336 | 1.2366  | 20.2898 | 0  | 74.7714 | 93.1711 | 0     | 1.342 | 0.0547  | 5.1249  | 99.6285 | 98.452  | 70.8872 |
| STORY2 | D2        | 1    | -0.0004 | 0.0034  | 0  | 0  | 0  | -0.0002  | 11   | 0.1609  | 16.7351 | 0.9289  | 0  | 91.5065 | 94.1001 | 0     | 0.057 | 0.8933  | 6.2715  | 99.6859 | 99.345  | 73.1587 |
| STORY1 | D3        | 1    | -0.0004 | 0.0032  | 0  | 0  | 0  | -0.00013 | 12   | 0.11491 | 1.1657  | 0.0907  | 0  | 94.6722 | 94.1908 | 0     | 0.005 | 0.4174  | 15.2907 | 99.6912 | 98.762  | 92.4493 |
| STORY8 | D1        | 2    | 0.0059  | -0.0022 | 0  | 0  | 0  | -0.00104 | 13   | 0.11835 | 0.0011  | 0.0231  | 0  | 94.6733 | 94.2059 | 0     | 0.041 | 0.0045  | 0.0636  | 99.7318 | 98.767  | 92.5129 |
| STORY7 | D1        | 2    | 0.0055  | -0.0188 | 0  | 0  | 0  | -0.00028 | 14   | 0.11517 | 0.0048  | 0.0202  | 0  | 94.6781 | 94.2061 | 0     | 0     | 0.0057  | 0.0093  | 99.7318 | 98.774  | 92.5152 |
| STORY6 | D1        | 2    | 0.0048  | -0.0165 | 0  | 0  | 0  | -0.00089 | 15   | 0.11337 | 0.0296  | 0.0204  | 0  | 94.7077 | 94.2046 | 0     | 3E-04 | 0.0028  | 0.0144  | 99.7321 | 98.777  | 92.5296 |
| STORY5 | D1        | 2    | 0.0041  | -0.0136 | 0  | 0  | 0  | -0.00076 | 16   | 0.10197 | 0.7361  | 2.7704  | 0  | 95.4418 | 96.935  | 0     | 0.168 | 0.0103  | 2.7594  | 99.8004 | 98.787  | 95.2989 |
| STORY4 | D1        | 2    | 0.0031  | -0.01   | 0  | 0  | 0  | -0.0006  | 17   | 0.09919 | 2.4591  | 1.8455  | 0  | 97.8029 | 98.8704 | 0     | 0.071 | 0.0881  | 0.0727  | 99.8715 | 98.875  | 95.3716 |
| STORY3 | D1        | 2    | 0.0021  | -0.0062 | 0  | 0  | 0  | -0.00042 | 18   | 0.09516 | 1.429   | 0.35    | 0  | 98.332  | 98.7295 | 0     | 0.004 | 0.1023  | 3.8243  | 99.8754 | 98.877  | 98.1959 |
| STORY2 | D1        | 2    | 0.0011  | -0.0026 | 0  | 0  | 0  | -0.00024 | 19   | 0.06945 | 0.0005  | 0.1028  | 0  | 99.3324 | 98.3233 | 0     | 0.006 | 0       | 0.017   | 99.8815 | 98.877  | 98.213  |
| STORY5 | D2        | 2    | 0.003   | -0.0021 | 0  | 0  | 0  | -0.00018 | 20   | 0.06884 | 0.1125  | 0.2416  | 0  | 99.4449 | 98.5648 | 0     | 0.014 | 0.0075  | 0.0283  | 99.8952 | 98.885  | 98.2412 |
| STORY4 | D2        | 2    | 0.003   | -0.0018 | 0  | 0  | 0  | -0.00016 | 21   | 0.06645 | 0.2697  | 0.0742  | 0  | 99.7146 | 98.639  | 0     | 0.003 | 0.0144  | 0.0411  | 99.8984 | 98.899  | 98.6423 |
| STORY3 | D2        | 2    | 0.003   | -0.0017 | 0  | 0  | 0  | -0.00015 | 22   | 0.05243 | 0.0074  | 0.0079  | 0  | 99.722  | 98.6459 | 0     | 0     | 0.0121  | 99.8984 | 98.899  | 98.6444 |         |
| STORY2 | D2        | 2    | 0.002   | -0.0013 | 0  | 0  | 0  | -0.00012 | 23   | 0.05238 | 0.0007  | 0.1804  | 0  | 99.7277 | 98.8273 | 0     | 4E-04 | 0       | 0.0169  | 99.8988 | 98.899  | 98.6713 |
| STORY1 | D3        | 2    | 0.002   | -0.0008 | 0  | 0  | 0  | -0.00008 | 24   | 0.05087 | 0.1417  | 0.0006  | 0  | 99.8644 | 98.8291 | 0     | 0     | 0       | 0.1802  | 99.8988 | 98.899  | 98.6815 |
| STORY8 | D1        | 3    | -0.009  | -0.0051 | 0  | 0  | 0  | -0.01044 | 25   | 0.04681 | 0.002   | 0.0679  | 0  | 99.8654 | 98.891  | 0     | 1E-04 | 0       | 0.0004  | 99.8999 | 98.899  | 98.6919 |
| STORY7 | D1        | 3    | -0.008  | -0.0047 | 0  | 0  | 0  | -0.00971 | 26   | 0.04662 | 0.0555  | 0.0749  | 0  | 99.8019 | 98.8759 | 0     | 1E-04 | 0       | 0.0141  | 99.899  | 98.899  | 98.6956 |
| STORY6 | D1        | 3    | -0.007  | -0.004  | 0  | 0  | 0  | -0.00861 | 27   | 0.04598 | 0.057   | 0.0747  | 0  | 99.8589 | 98.8506 | 0     | 0     | 0.0001  | 0.087   | 99.899  | 98.899  | 98.6931 |
| STORY5 | D1        | 3    | -0.006  | -0.0031 | 0  | 0  | 0  | -0.00732 | 28   | 0.03496 | 0.0016  | 0.183   | 0  | 99.8626 | 98.8689 | 0     | 4E-04 | 0       | 0.0006  | 99.8984 | 98.899  | 98.6954 |
| STORY4 | D1        | 3    | -0.004  | -0.0021 | 0  | 0  | 0  | -0.0053  | 29   | 0.03476 | 0.0089  | 0.0005  | 0  | 99.9684 | 98.9684 | 0     | 0     | 0.0002  | 0.0008  | 99.8994 | 98.899  | 98.6954 |
| STORY3 | D1        | 3    | -0.002  | -0.001  | 0  | 0  | 0  | -0.0033  | 30   | 0.03465 | 0.0083  | 0.0022  | 0  | 99.9787 | 98.9716 | 0     | 0     | 0.0003  | 0.0193  | 99.8995 | 100     | 98.9741 |
| STORY2 | D1        | 3    | -0.001  | -0.0001 | 0  | 0  | 0  | -0.00137 | 31   | 0.03235 | 0       | 0.0235  | 0  | 99.9787 | 98.9951 | 0     | 5E-04 | 0       | 0.001   | 100     | 99.9751 |         |
| STORY5 | D2        | 3    | -0.003  | -0.0005 | 0  | 0  | 0  | -0.00019 | 32   | 0.03217 | 0.0091  | 0       | 0  | 99.9787 | 98.9951 | 0     | 0     | 0.0001  | 0.0011  | 100     | 99.9762 |         |
| STORY4 | D2        | 3    | -0.002  | -0.0005 | 0  | 0  | 0  | -0.00017 | 33   | 0.03208 | 0.0082  | 0.0002  | 0  | 99.996  | 98.9953 | 0     | 0     | 0.0002  | 0.0197  | 100     | 99.9959 |         |
| STORY3 | D2        | 3    | -0.002  | -0.0004 | 0  | 0  | 0  | -0.00015 | 34   | 0.02896 | 0.0004  | 0.0041  | 0  | 99.9964 | 98.9994 | 0     | 0     | 0.0003  | 0.0193  | 100     | 99.9962 |         |
| STORY2 | D2        | 3    | -0.002  | -0.0007 | 0  | 0  | 0  | -0.00012 | 35   | 0.02891 | 0.0035  | 0.0006  | 0  | 100     | 100     | 0     | 0     | 0       | 0.0024  | 100     | 100     |         |
| STORY1 | D3        | 3    | -0.004  | -0.0002 | 0  | 0  | 0  | -0.00007 | 36   | 0.0287  | 0       | 0       | 0  | 100     | 100     | 0     | 0     | 0       | 0.0014  | 100     | 100     |         |

Figure 3 : Typical ETABS print out for floor masses, mode shapes , modal effective mass

| Φ         | 1  | 2       | 3       | 4     | 5    | 6    | 7      | 8      | 9     | 10    | 11     | 12     | 13    | 14    | 15    | 16     | 17     | 18     | 19     | 20     | 21     | 22    | 23     | 24     | 25     | 26     | 27     | 28     | 29    | 30    | 31    | 32    | 33    | 34    | 35      | 36      |         |
|-----------|----|---------|---------|-------|------|------|--------|--------|-------|-------|--------|--------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|---------|---------|
| STORY8 D1 | 1  | -0.019  | 0.0191  | 0.009 | -0   | -0   | 0.004  | -0.03  | -0.05 | -0.01 | 0      | 0.02   | -0.04 | 0.01  | 0.02  | 0.02   | -0.029 | 0.019  | -0     | 0.002  | 0      | -0.04 | 0      | -0     | -0     | 0.017  | -0.03  | -0     | -0.01 | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0       | 0.0004  |         |
|           | 2  | -0.059  | -0.0294 | 0.005 | -0   | 0.01 | 0.002  | -0.05  | 0.03  | -0.01 | 0.03   | -0.02  | -0.02 | -0    | -0    | 0.0123 | 0.022  | -0.02  | 0.021  | -0     | -0.02  | 0     | 0.0094 | 0      | -0.016 | -0.01  | 0      | -0     | 0.01  | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0       | 0.0003  |         |
| STORY7    | 3  | 0.001   | -0.001  | 0.01  | -0   | -0   | -0.004 | 0.002  | 0     | -0.01 | 0      | 0.001  | 0.003 | -0    | 0.01  | -0     | 0.0018 | -0     | 0.002  | 0.006  | -0     | 0.002 | -0     | 0      | -0     | 0.003  | 0.002  | 0      | -0    | -0    | 0     | 0     | 0     | 0     | 0       | -0.0016 |         |
|           | 4  | -0.018  | 0.0549  | 0.008 | -0   | -0   | 0.003  | -0.02  | -0.03 | -0.01 | 0      | 0.004  | -0    | -0    | -0    | -0     | 0.0129 | -0.01  | 0.04   | -0     | 0.038  | -0    | 0.0004 | -0     | 0.019  | 0.047  | 0      | 0      | -0.03 | -0    | 0     | 0     | 0     | 0     | 0       | -0.0011 |         |
|           | 5  | -0.035  | -0.0188 | 0.005 | -0   | 0    | 0.001  | -0.03  | 0.02  | -0    | 0      | -0     | -0    | 0.01  | 0     | -0     | -0.003 | -0.01  | 0.01   | -0.027 | -0     | 0.02  | -0     | -0     | -0.021 | -0     | 0.029  | 0.024  | -0    | 0     | -0.01 | -0    | 0     | 0     | -0.0009 |         |         |
|           | 6  | 0.001   | -0.001  | 0.01  | -0   | -0   | -0.004 | 0.002  | 0     | -0.01 | 0      | 0.001  | 0.003 | -0    | 0.01  | -0     | -0     | 0.0018 | -0.001 | 0.002  | -0     | 0.002 | -0     | -0     | -0.004 | -0     | 0.002  | -0     | 0     | -0.01 | -0    | 0     | 0     | 0     | 0       | -0.0008 |         |
| STORY6    | 7  | -0.016  | 0.0429  | 0.007 | -0   | 0    | 0.002  | -0     | 0.002 | -0    | -0.01  | 0.027  | -0    | -0    | -0.02 | 0.0234 | -0.03  | 0.001  | -0     | 0.027  | 0      | 0     | -0     | -0     | -0     | 0.01   | -0.02  | -0     | 0     | 0.04  | 0     | 0     | 0     | 0     | 0       | 0.0018  |         |
|           | 8  | 0.048   | -0.0165 | 0.004 | -0   | 0    | 0.004  | 0.002  | -0    | 0.001 | 0.02   | 0.011  | 0.014 | 0.04  | 0     | -0     | 0.013  | 0.02   | 0.021  | 0.02   | 0.013  | 0     | 0.013  | 0      | 0.004  | 0.011  | 0.01   | -0     | 0.02  | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0.0002  | 0.001   | 0.0015  |
|           | 9  | 1E-03   | -0.0009 | 0.009 | -0   | -0   | -0.004 | 0.004  | 0     | 0.001 | -0     | -0     | -0    | -0    | -0    | 0      | 0.002  | 0.004  | -0     | -0.01  | -0     | -0    | -0     | -0     | -0     | 0.002  | 0.001  | 0      | -0    | -0.01 | 0     | 0     | 0     | 0     | 0       | -0.0078 |         |
| STORY5    | 10 | -0.014  | 0.0429  | 0.008 | -0   | -0   | 0.004  | 0.016  | 0.03  | 0.008 | -0     | -0.02  | 0.025 | -0    | -0    | -0.01  | 0.0116 | -0.01  | 0.04   | 0.002  | -0     | -0.04 | -0     | -0     | -0     | -0     | 0.025  | -0.04  | 0     | 0     | 0.02  | -0    | 0     | -0.01 | -0.0023 |         |         |
|           | 11 | -0.011  | -0.0136 | 0.003 | -0   | 0    | 0      | 0.029  | -0.02 | 0.004 | -0.03  | 0.016  | 0.016 | 0.03  | 0     | -0     | 0.004  | -0.01  | 0.002  | 0.021  | -0     | -0.02 | 0      | 0.007  | 0.023  | -0.02  | -0     | -0.02  | -0    | 0     | -0.01 | -0    | 0     | 0     | -0.0019 |         |         |
|           | 12 | 0E-04   | -0.0008 | 0.007 | -0   | -0   | -0.005 | -0     | -0    | 0.007 | -0     | -0     | -0    | -0    | -0    | -0     | 0.004  | -0.01  | 0.002  | 0.006  | -0.002 | -0.02 | -0     | 0.007  | 0.023  | -0.02  | -0     | -0.02  | -0    | 0     | -0.01 | -0    | 0     | 0     | -0.0015 |         |         |
| STORY4    | 13 | -0.011  | 0.0314  | 0.004 | -0   | 0    | 0.001  | 0.026  | 0.04  | 0.011 | -0     | -0.01  | 0.016 | 0.04  | 0     | 0.01   | -0.012 | 0.024  | -0     | 0.027  | -0     | -0.03 | -0     | 0      | 0.002  | -0     | -0.026 | 0.042  | 0     | 0     | 0.01  | 0     | 0     | 0     | 0       | 0.005   | 0.0024  |
|           | 14 | -0.032  | -0.01   | 0.027 | -0   | -0   | -0.004 | -0.04  | -0.03 | -0.05 | -0.02  | 0.009  | 0.006 | -0    | -0    | -0     | 0.0192 | 0.03   | -0.02  | 0.02   | -0     | -0.01 | -0     | -0     | -0     | 0.026  | 0.047  | 0      | 0     | -0.01 | -0    | 0     | 0     | 0     | 0       | -0.004  |         |
|           | 15 | 7E-04   | -0.0006 | 0.005 | -0   | 0    | 0.005  | -0     | 0.009 | -0    | -0     | -0     | -0    | -0    | -0    | -0     | 0.0013 | -0     | 0.002  | 0.007  | -0     | 0.002 | -0     | -0.004 | -0     | -0.005 | -0     | -0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0       | -0.0097 |         |
| STORY3    | 16 | -0.008  | 0.0299  | 0.007 | -0   | 0    | 0.003  | 0.028  | 0.04  | 0.029 | 0      | 0.003  | 0.02  | 0.01  | 0.02  | 0.02   | -0.029 | 0.02   | -0     | -0     | 0.035  | -0    | 0.003  | -0     | 0.004  | -0.006 | -0     | -0.03  | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | -0.0022 |         |         |
|           | 17 | -0.021  | -0.0082 | 0.001 | -0   | -0   | -0.001 | 0.044  | -0.03 | 0.004 | 0.01   | -0     | -0.01 | -0    | -0    | 0      | 0.0119 | 0.02   | -0.02  | -0.02  | -0.019 | -0    | -0     | -0     | -0     | 0.006  | 0.003  | 0.1    | -0    | -0.01 | -0    | 0     | 0     | 0     | 0       | -0.0019 |         |
|           | 18 | 3E-04   | -0.0004 | 0.003 | 0    | 0    | 0.004  | -0     | -0    | 0.006 | -0     | -0.004 | -0.04 | -0.03 | -0    | -0     | 0.0018 | -0     | 0.002  | -0     | -0     | -0    | -0     | -0     | -0     | 0.004  | -0.002 | -0     | -0    | 0.02  | 0     | 0     | 0     | 0     | 0       | -0.0081 |         |
| STORY2    | 19 | -0.004  | -0.0106 | 0E-04 | -0   | -0   | 0.003  | 0.021  | 0.03  | 0.004 | 0      | 0.016  | -0.04 | 0.01  | 0.01  | 0.01   | -0.003 | -0     | 0.004  | -0     | 0.037  | 0     | -0     | -0     | -0     | 0.032  | -0.05  | 0      | -0.04 | -0    | 0     | 0     | 0     | 0     | 0       | 0.0016  |         |
|           | 20 | -0.011  | 0.0266  | 1E-04 | 0.01 | -0   | -0.002 | 0.03   | -0.02 | 0.001 | 0.027  | -0.01  | 0.02  | -0    | -0    | -0     | -0.04  | -0     | 0.029  | 0.02   | -0     | 0.037 | 0      | 0      | 0.006  | -0.019 | -0.02  | -0.1   | 0     | -0.07 | -0    | -0    | 0     | 0     | 0       | -0.001  |         |
| STORY5 D2 | 21 | 3E-04   | -0.0002 | 0.001 | -0   | 0    | 0.004  | -0     | 0     | 0.004 | -0     | 0.004  | 0.007 | 0     | 0.01  | -0     | 0.0003 | 0.005  | -0     | 0.01   | -0     | -0    | -0     | -0     | -0     | 0.007  | 0.003  | 0      | 0     | 0.01  | -0    | -0    | 0     | 0     | 0       | -0.0053 |         |
|           | 22 | 0.001   | 0.0032  | 0.003 | 0.01 | 0.08 | -0.019 | 0.001  | -0.01 | -0.01 | -0.02  | -0.03  | -0.01 | 0.02  | 0.02  | 0.002  | -0.002 | -0.03  | -0.03  | -0.01  | -0.04  | -0    | -0     | -0     | 0.042  | -0.005 | 0.004  | 0      | 0     | 0.02  | -0.01 | -0    | 0     | 0     | -0.0001 |         |         |
|           | 23 | -0.005  | -0.0021 | 5E-04 | 0.08 | -0   | -0.004 | -0.01  | 0.01  | -0.01 | -0.004 | 0.029  | -0.01 | -0    | -0    | -0     | -0.039 | 0.03   | 0.029  | 0.004  | -0     | -0    | -0     | -0     | -0     | 0.002  | -0.003 | -0     | -0    | -0    | -0    | -0    | 0     | 0     | 0       | -0.0004 |         |
|           | 24 | 3E-04   | -0.0002 | 0E-04 | 0    | 0    | 0.004  | 0.001  | 0     | -0    | -0     | -0     | -0    | -0    | -0    | -0     | -0.001 | -0.003 | 0.001  | -0     | 3E-05  | -0    | -0     | -0     | -0     | 0.002  | -0.004 | -0.004 | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0       | 0.00001 |         |
| STORY4    | 25 | -0.003  | 0.003   | 0.002 | 0.01 | 0.06 | -0.015 | 0E-04  | -0.01 | -0    | -0     | -0.001 | -0    | -0    | -0    | -0     | 0.0009 | 0.001  | 0.023  | -0     | -0     | -0    | -0     | -0     | -0     | 0.009  | -0     | -0     | -0    | -0    | -0.04 | 0.038 | -0    | -0    | -0.0003 |         |         |
|           | 26 | -0.0025 | -0.0019 | 5E-04 | 0.07 | -0   | -0.004 | -0.01  | 0.01  | -0.01 | -0.001 | 0.001  | -0    | 0.001 | -0    | 0.001  | 0.013  | -0     | -0     | -0     | -0     | 0.004 | 0      | 0.1    | -0     | -0     | 0.003  | 0.004  | -0    | -0    | 0     | 0     | 0     | 0     | 0       | 0       | 0       |
|           | 27 | 9E-04   | -0.0002 | 0E-04 | 0    | 0    | 0.011  | 0E-04  | 0     | -0    | -0     | -0     | -0    | -0    | -0    | -0     | 0.0012 | -0     | 0.001  | -0     | -0     | -0    | -0     | -0     | -0     | 0      | 0      | 0      | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0       | -0.0005 |         |
| STORY3    | 28 | -0.001  | 0.0026  | 0.002 | 0.01 | 0.25 | -0     | -0.014 | 0     | 0     | 0      | 0      | 0     | 0     | 0     | 0      | 0.0025 | 0.028  | 0.052  | -0     | -0     | 0     | 0      | 0      | 0.006  | -0.003 | 0.014  | 0      | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0       | -0.0005 |         |
|           | 29 | -0.004  | -0.0017 | 4E-04 | 0.01 | -0   | -0.004 | -0     | -0    | -0    | -0     | -0.004 | 0.003 | -0.01 | -0    | -0     | -0     | 0.0423 | 0.028  | 0.01   | -0     | -0    | 0.002  | -0     | -0     | 0.004  | 0.007  | -0.02  | 0     | 0     | -0.01 | -0    | 0.002 | -0    | 0       | 0       | 0       |
| STORY5 D3 | 30 | 2E-04   | -0.0002 | 0E-04 | 0    | 0    | 0.007  | 1E-04  | 0     | -0    | -0     | -0     | -0    | -0    | -0    | -0     | -0     | 0.003  | -0     | -0     | -0     | -0    | -0     | -0     | -0     | 0.004  | -0.004 | -0.004 | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0       | 0       | 0.00003 |
| STORY2    | 31 | 9E-04   | 0.0022  | 0.002 | 0    | 0.32 | -0.004 | -0     | 0     | 0.004 | 0.01   | 0.045  | 0.01  | -0    | -0    | -0     | 0.011  | 0.011  | 0.019  | 0E-04  | -0     | -0    | -0     | 0.007  | 0.004  | 0.004  | -0.004 | -0     | -0    | -0.05 | 0.043 | -0    | -0    | -0    | -0      | -0.0006 |         |
|           | 32 | -0.0027 | -0.0013 | 0E-04 | 0.02 | -0   | -0.04  | 0.006  | 0.01  | 0.001 | 0.04   | 0.01   | 0.005 | 0.03  | 0     | 0      | 0.0155 | 0.009  | 0.006  | 0.004  | -0     | -0    | -0     | 0.009  | 0.004  | 0.004  | -0     | 0      | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0       | 0       |         |
|           | 33 | 2E-04   | -0.0001 | 1E-04 | 0    | 0    | 0.003  | -0     | 0     | 0     | 0      | 0      | 0     | 0     | -0    | -0     | 0.011  | -0     | 0E-04  | 3E-05  | -0     | -0    | -0     | -0     | -0     | 0.003  | -0     | 0      | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0       | -0.0005 |         |
| STORY1 D3 | 34 | -0E-04  | 0.0022  | 4E-04 | 0    | 0.31 | -0.001 | 0.005  | 0.01  | 0.002 | 0.001  | 0.025  | 0.01  | -0    | -0    | 0      | 0.0094 | 0.02   | 0.01   | 0E-04  | -0     | -0    | -0     | -0     | -0     | 0.001  | 0.005  | 0.006  | -0    | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0       | -0.0001 |         |
|           | 35 | -0.0027 | -0.0033 | 0E-04 | 0.01 | -0   | 0      | 0.007  | -0.01 | 0.001 | 0.003  | -0.01  | 0.003 | 0     | 0     | -0     | -0.019 | -0.02  | 0.007  | 0.005  | -0     | -0    | -0     | -0     | -0     | -0     | 0.004  | 0.004  | -0    | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0       | -0.0001 |         |
|           | 36 | 1E-04   | -0E-05  | 0E-05 | 0    | 0    | 0.004  | -0     | 0     | 0     | 0      | 0      | 0     | 0     | 0     | 0      | 0.001  | 0E-04  | 0      | 0      | 0      | 0     | 0      | -0     | -0     | 0      | 0      | 0      | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0       | 0       | 0       |

# SEMINAR NASIONAL HAKI

## Tiara Convention Hall, Medan – 30 31 Mei 2014

| mass matrix |    | m  | 1     | 2      | 3 | 4    | 5    | 6    | 7     | 8    | 9 | 10   | 11 | 12    | 13 | 14   | 15 | 16 | 17   | 18     | 19    | 20    | 21 | 22   | 23 | 24 | 25 | 26   | 27 | 28    | 29   | 30 | 31   | 32   | 33    | 34 | 35 | 36 |
|-------------|----|----|-------|--------|---|------|------|------|-------|------|---|------|----|-------|----|------|----|----|------|--------|-------|-------|----|------|----|----|----|------|----|-------|------|----|------|------|-------|----|----|----|
| story 8     | D1 | 1  | 65.56 | 0      | 0 | 0    | 0    | 0    | 0     | 0    | 0 | 0    | 0  | 0     | 0  | 0    | 0  | 0  | 0    | 0      | 0     | 0     | 0  | 0    | 0  | 0  | 0  | 0    | 0  | 0     | 0    | 0  | 0    | 0    | 0     | 0  | 0  | 0  |
|             | D1 | 2  | 0     | 65.597 | 0 | 0    | 0    | 0    | 0     | 0    | 0 | 0    | 0  | 0     | 0  | 0    | 0  | 0  | 0    | 0      | 0     | 0     | 0  | 0    | 0  | 0  | 0  | 0    | 0  | 0     | 0    | 0  | 0    | 0    | 0     | 0  | 0  |    |
|             | D1 | 3  | 0     | 0      | 0 | 2391 | 0    | 0    | 0     | 0    | 0 | 0    | 0  | 0     | 0  | 0    | 0  | 0  | 0    | 0      | 0     | 0     | 0  | 0    | 0  | 0  | 0  | 0    | 0  | 0     | 0    | 0  | 0    | 0    | 0     | 0  | 0  | 0  |
| story 7     | D1 | 4  | 0     | 0      | 0 | 75.8 | 0    | 0    | 0     | 0    | 0 | 0    | 0  | 0     | 0  | 0    | 0  | 0  | 0    | 0      | 0     | 0     | 0  | 0    | 0  | 0  | 0  | 0    | 0  | 0     | 0    | 0  | 0    | 0    | 0     | 0  | 0  | 0  |
|             | D1 | 5  | 0     | 0      | 0 | 0    | 75.8 | 0    | 0     | 0    | 0 | 0    | 0  | 0     | 0  | 0    | 0  | 0  | 0    | 0      | 0     | 0     | 0  | 0    | 0  | 0  | 0  | 0    | 0  | 0     | 0    | 0  | 0    | 0    | 0     | 0  | 0  |    |
|             | D1 | 6  | 0     | 0      | 0 | 0    | 0    | 2747 | 0     | 0    | 0 | 0    | 0  | 0     | 0  | 0    | 0  | 0  | 0    | 0      | 0     | 0     | 0  | 0    | 0  | 0  | 0  | 0    | 0  | 0     | 0    | 0  | 0    | 0    | 0     | 0  | 0  | 0  |
| story 6     | D1 | 7  | 0     | 0      | 0 | 0    | 0    | 0    | 75.79 | 0    | 0 | 0    | 0  | 0     | 0  | 0    | 0  | 0  | 0    | 0      | 0     | 0     | 0  | 0    | 0  | 0  | 0  | 0    | 0  | 0     | 0    | 0  | 0    | 0    | 0     | 0  | 0  | 0  |
|             | D1 | 8  | 0     | 0      | 0 | 0    | 0    | 0    | 0     | 75.8 | 0 | 0    | 0  | 0     | 0  | 0    | 0  | 0  | 0    | 0      | 0     | 0     | 0  | 0    | 0  | 0  | 0  | 0    | 0  | 0     | 0    | 0  | 0    | 0    | 0     | 0  | 0  | 0  |
|             | D1 | 9  | 0     | 0      | 0 | 0    | 0    | 0    | 0     | 0    | 0 | 2747 | 0  | 0     | 0  | 0    | 0  | 0  | 0    | 0      | 0     | 0     | 0  | 0    | 0  | 0  | 0  | 0    | 0  | 0     | 0    | 0  | 0    | 0    | 0     | 0  | 0  | 0  |
| story 5     | D1 | 10 | 0     | 0      | 0 | 0    | 0    | 0    | 0     | 0    | 0 | 75.8 | 0  | 0     | 0  | 0    | 0  | 0  | 0    | 0      | 0     | 0     | 0  | 0    | 0  | 0  | 0  | 0    | 0  | 0     | 0    | 0  | 0    | 0    | 0     | 0  | 0  | 0  |
|             | D1 | 11 | 0     | 0      | 0 | 0    | 0    | 0    | 0     | 0    | 0 | 0    | 0  | 75.79 | 0  | 0    | 0  | 0  | 0    | 0      | 0     | 0     | 0  | 0    | 0  | 0  | 0  | 0    | 0  | 0     | 0    | 0  | 0    | 0    | 0     | 0  | 0  |    |
|             | D1 | 12 | 0     | 0      | 0 | 0    | 0    | 0    | 0     | 0    | 0 | 0    | 0  | 0     | 0  | 2747 | 0  | 0  | 0    | 0      | 0     | 0     | 0  | 0    | 0  | 0  | 0  | 0    | 0  | 0     | 0    | 0  | 0    | 0    | 0     | 0  | 0  | 0  |
| story 5     | D2 | 13 | 0     | 0      | 0 | 0    | 0    | 0    | 0     | 0    | 0 | 0    | 0  | 0     | 0  | 66   | 0  | 0  | 0    | 0      | 0     | 0     | 0  | 0    | 0  | 0  | 0  | 0    | 0  | 0     | 0    | 0  | 0    | 0    | 0     | 0  | 0  | 0  |
|             | D2 | 14 | 0     | 0      | 0 | 0    | 0    | 0    | 0     | 0    | 0 | 0    | 0  | 0     | 0  | 0    | 66 | 0  | 0    | 0      | 0     | 0     | 0  | 0    | 0  | 0  | 0  | 0    | 0  | 0     | 0    | 0  | 0    | 0    | 0     | 0  | 0  |    |
|             | D2 | 15 | 0     | 0      | 0 | 0    | 0    | 0    | 0     | 0    | 0 | 0    | 0  | 0     | 0  | 0    | 0  | 0  | 2391 | 0      | 0     | 0     | 0  | 0    | 0  | 0  | 0  | 0    | 0  | 0     | 0    | 0  | 0    | 0    | 0     | 0  | 0  | 0  |
| story 4     | D1 | 16 | 0     | 0      | 0 | 0    | 0    | 0    | 0     | 0    | 0 | 0    | 0  | 0     | 0  | 0    | 0  | 0  | 0    | 75.797 | 0     | 0     | 0  | 0    | 0  | 0  | 0  | 0    | 0  | 0     | 0    | 0  | 0    | 0    | 0     | 0  | 0  | 0  |
|             | D1 | 17 | 0     | 0      | 0 | 0    | 0    | 0    | 0     | 0    | 0 | 0    | 0  | 0     | 0  | 0    | 0  | 0  | 0    | 0      | 75.79 | 0     | 0  | 0    | 0  | 0  | 0  | 0    | 0  | 0     | 0    | 0  | 0    | 0    | 0     | 0  | 0  | 0  |
|             | D1 | 18 | 0     | 0      | 0 | 0    | 0    | 0    | 0     | 0    | 0 | 0    | 0  | 0     | 0  | 0    | 0  | 0  | 0    | 0      | 0     | 2747  | 0  | 0    | 0  | 0  | 0  | 0    | 0  | 0     | 0    | 0  | 0    | 0    | 0     | 0  | 0  | 0  |
| story 4     | D2 | 19 | 0     | 0      | 0 | 0    | 0    | 0    | 0     | 0    | 0 | 0    | 0  | 0     | 0  | 0    | 0  | 0  | 0    | 0      | 0     | 75.79 | 0  | 0    | 0  | 0  | 0  | 0    | 0  | 0     | 0    | 0  | 0    | 0    | 0     | 0  | 0  | 0  |
|             | D2 | 20 | 0     | 0      | 0 | 0    | 0    | 0    | 0     | 0    | 0 | 0    | 0  | 0     | 0  | 0    | 0  | 0  | 0    | 0      | 0     | 0     | 76 | 0    | 0  | 0  | 0  | 0    | 0  | 0     | 0    | 0  | 0    | 0    | 0     | 0  | 0  | 0  |
|             | D2 | 21 | 0     | 0      | 0 | 0    | 0    | 0    | 0     | 0    | 0 | 0    | 0  | 0     | 0  | 0    | 0  | 0  | 0    | 0      | 0     | 0     | 0  | 2747 | 0  | 0  | 0  | 0    | 0  | 0     | 0    | 0  | 0    | 0    | 0     | 0  | 0  | 0  |
| story 3     | D1 | 22 | 0     | 0      | 0 | 0    | 0    | 0    | 0     | 0    | 0 | 0    | 0  | 0     | 0  | 0    | 0  | 0  | 0    | 0      | 0     | 0     | 0  | 0    | 76 | 0  | 0  | 0    | 0  | 0     | 0    | 0  | 0    | 0    | 0     | 0  | 0  | 0  |
|             | D1 | 23 | 0     | 0      | 0 | 0    | 0    | 0    | 0     | 0    | 0 | 0    | 0  | 0     | 0  | 0    | 0  | 0  | 0    | 0      | 0     | 0     | 0  | 0    | 0  | 76 | 0  | 0    | 0  | 0     | 0    | 0  | 0    | 0    | 0     | 0  | 0  |    |
|             | D1 | 24 | 0     | 0      | 0 | 0    | 0    | 0    | 0     | 0    | 0 | 0    | 0  | 0     | 0  | 0    | 0  | 0  | 0    | 0      | 0     | 0     | 0  | 0    | 0  | 0  | 0  | 2747 | 0  | 0     | 0    | 0  | 0    | 0    | 0     | 0  | 0  |    |
| story 3     | D2 | 25 | 0     | 0      | 0 | 0    | 0    | 0    | 0     | 0    | 0 | 0    | 0  | 0     | 0  | 0    | 0  | 0  | 0    | 0      | 0     | 0     | 0  | 0    | 0  | 0  | 0  | 0    | 76 | 0     | 0    | 0  | 0    | 0    | 0     | 0  | 0  |    |
|             | D2 | 26 | 0     | 0      | 0 | 0    | 0    | 0    | 0     | 0    | 0 | 0    | 0  | 0     | 0  | 0    | 0  | 0  | 0    | 0      | 0     | 0     | 0  | 0    | 0  | 0  | 0  | 0    | 0  | 75.79 | 0    | 0  | 0    | 0    | 0     | 0  | 0  |    |
|             | D2 | 27 | 0     | 0      | 0 | 0    | 0    | 0    | 0     | 0    | 0 | 0    | 0  | 0     | 0  | 0    | 0  | 0  | 0    | 0      | 0     | 0     | 0  | 0    | 0  | 0  | 0  | 0    | 0  | 0     | 2747 | 0  | 0    | 0    | 0     | 0  | 0  |    |
| story 2     | D1 | 28 | 0     | 0      | 0 | 0    | 0    | 0    | 0     | 0    | 0 | 0    | 0  | 0     | 0  | 0    | 0  | 0  | 0    | 0      | 0     | 0     | 0  | 0    | 0  | 0  | 0  | 0    | 0  | 76    | 0    | 0  | 0    | 0    | 0     | 0  | 0  |    |
|             | D1 | 29 | 0     | 0      | 0 | 0    | 0    | 0    | 0     | 0    | 0 | 0    | 0  | 0     | 0  | 0    | 0  | 0  | 0    | 0      | 0     | 0     | 0  | 0    | 0  | 0  | 0  | 0    | 0  | 0     | 76   | 0  | 0    | 0    | 0     | 0  | 0  |    |
|             | D1 | 30 | 0     | 0      | 0 | 0    | 0    | 0    | 0     | 0    | 0 | 0    | 0  | 0     | 0  | 0    | 0  | 0  | 0    | 0      | 0     | 0     | 0  | 0    | 0  | 0  | 0  | 0    | 0  | 0     | 0    | 0  | 2747 | 0    | 0     | 0  | 0  | 0  |
| story 1     | D2 | 31 | 0     | 0      | 0 | 0    | 0    | 0    | 0     | 0    | 0 | 0    | 0  | 0     | 0  | 0    | 0  | 0  | 0    | 0      | 0     | 0     | 0  | 0    | 0  | 0  | 0  | 0    | 0  | 0     | 0    | 0  | 76   | 0    | 0     | 0  | 0  |    |
|             | D2 | 32 | 0     | 0      | 0 | 0    | 0    | 0    | 0     | 0    | 0 | 0    | 0  | 0     | 0  | 0    | 0  | 0  | 0    | 0      | 0     | 0     | 0  | 0    | 0  | 0  | 0  | 0    | 0  | 0     | 0    | 0  | 0    | 75.8 | 0     | 0  | 0  |    |
|             | D2 | 33 | 0     | 0      | 0 | 0    | 0    | 0    | 0     | 0    | 0 | 0    | 0  | 0     | 0  | 0    | 0  | 0  | 0    | 0      | 0     | 0     | 0  | 0    | 0  | 0  | 0  | 0    | 0  | 0     | 0    | 0  | 0    | 2747 | 0     | 0  | 0  |    |
|             | D3 | 34 | 0     | 0      | 0 | 0    | 0    | 0    | 0     | 0    | 0 | 0    | 0  | 0     | 0  | 0    | 0  | 0  | 0    | 0      | 0     | 0     | 0  | 0    | 0  | 0  | 0  | 0    | 0  | 0     | 0    | 0  | 0    | 0    | 525.8 | 0  | 0  |    |
|             | D3 | 35 | 0     | 0      | 0 | 0    | 0    | 0    | 0     | 0    | 0 | 0    | 0  | 0     | 0  | 0    | 0  | 0  | 0    | 0      | 0     | 0     | 0  | 0    | 0  | 0  | 0  | 0    | 0  | 0     | 0    | 0  | 0    | 0    | 0     |    |    |    |

Figure 5 : lumped floor masses  $m$  - a diagonal floor mass matrix

|        |         |       |      |      |        |       |       |       |        |        |        |       |      |       |         |        |       |       |        |        |        |       |         |       |         |        |        |        |       |      |        |        |         |          |          |         |          |
|--------|---------|-------|------|------|--------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|-------|------|-------|---------|--------|-------|-------|--------|--------|--------|-------|---------|-------|---------|--------|--------|--------|-------|------|--------|--------|---------|----------|----------|---------|----------|
| 0.988  | -0.0013 | -0    | -0   | 0    | 0.009  | 0.017 | -0    | 0.001 | -0     | -0     | 0.002  | -0    | 0    | 0     | 0.0022  | 0.007  | -0.01 | 0.005 | 0      | -0.01  | 0      | 0     | -0.01   | -0    | 0.006   | 0.012  | -0     | 0      | -0    | 0    | -0     | 0.015  | 0.01    | 0.00307  |          |         |          |
| 0.001  | 0.9898  | 7E-04 | -0   | 0    | -1E-03 | 0     | 0.002 | -0    | -0     | 0.003  | -0     | -0    | 0    | 0     | 0.0085  | -0.01  | -0    | 0.004 | 0      | 0.009  | -0     | 0     | 0.3E-05 | -0    | 0.01    | -0.01  | -0     | -0     | 0     | 0    | 2E-04  | 0.011  | -0      | -0.00227 |          |         |          |
| -0.002 | 0.0007  | 0.98  | 0    | 0    | 6E-04  | 8E-04 | 0     | 0.002 | -0     | -0     | 4E-04  | 4E-04 | 0    | -0    | -0      | 0.002  | -0    | -0    | -0.01  | 0      | -0     | 0     | 0       | 0     | 0.5E-04 | 0      | 0.011  | 0.003  | 0     | -0   | -0     | 0      | -0      | 0.01821  |          |         |          |
| -0.011 | -0.0013 | 3E-04 | 1.97 | -0   | 4E-04  | 0.01  | 0.01  | -0    | -0.03  | -0     | 0.01   | -0    | 0    | 0     | -0.039  | 0.02   | 8E-04 | 0.003 | 0      | -0     | 0      | 0     | 0       | 0     | 0.008   | -0.002 | -0     | -0     | -0    | 0    | -0     | 0      | -0      | 7.7E-05  |          |         |          |
| 0.037  | 0.0024  | 0.001 | 0    | 1.96 | -4E-04 | 0.004 | 0.01  | 0.01  | 0.01   | -0.04  | 0.01   | 0.02  | 0.01 | 0     | 0.0025  | 0.01   | -0.04 | 4E-04 | 0      | 0.001  | 0      | 0     | 0.033   | 0     | 0.005   | 7E-04  | 0      | 0      | 0     | 0.01 | 0.01   | 1E-03  | -0      | -0.0002  |          |         |          |
| 0.008  | -0.001  | 6E-04 | 0    | -0   | 1.069  | 0.006 | 0     | -0    | -0     | 0.001  | -0.01  | 0     | -0   | -0.06 | -0.014  | 0.012  | -0    | -0    | -0     | 0      | 0.003  | 0     | -0      | 8E-04 | -0      | 4E-04  | 0.002  | -0     | -0    | 0    | 0.03   | -0.01  | 3E-04   | 0        | 0.0004   |         |          |
| 0.017  | -0.0043 | 8E-04 | 0    | 0    | 0.006  | 0.976 | -0    | -0    | 0.01   | -0     | -0.11  | 0.01  | 0    | -0.01 | 0.0047  | -0.01  | 0.007 | -0.01 | -0     | 0.015  | 0      | 0     | 0.002   | -0    | -0.037  | -0.02  | 0      | 0      | 0.01  | -0   | -0     | -0.002 | -0      | -0.0061  |          |         |          |
| -0.002 | -0.017  | 0.001 | 0.01 | 0    | 0.004  | -0    | 0.97  | 7E-06 | -0.01  | 0.013  | -0.01  | -0    | -0   | -0.01 | 0.008   | -0.01  | 7E-05 | 0.002 | 0      | 0.009  | 0      | -0    | -0.01   | -0    | 0.016   | -0.01  | -0     | -0     | 0     | 0    | -0.001 | 0.025  | -0      | -0.004   |          |         |          |
| 0.001  | 0.0004  | 0.02  | 0    | -0   | -0.001 | -0    | 0     | 0.967 | 0      | 0.007  | 0.003  | 0     | 0    | 0     | -0.001  | 7E-06  | -0    | -0.02 | 0      | -0     | -0     | -0    | -0      | -0    | 0.019   | 0.003  | 0      | -0     | -0.01 | -0   | -0     | 0.002  | -0      | 0.03206  |          |         |          |
| 0.004  | 0.0002  | -0    | 0    | 0    | -9E-04 | 0.013 | -0.01 | 0.004 | 1.92   | 0.003  | 0.005  | 0.01  | -0   | -0    | -0.0196 | 0.017  | 0.007 | 0.002 | 0      | 0      | 0      | -0    | -0      | -0    | 0.023   | 0.004  | -0     | 0      | 0     | -0   | 0.003  | 0.009  | 0       | -0.001   |          |         |          |
| -3E-04 | 0.0029  | 4E-04 | -0   | 0    | 0.001  | -0    | 0.01  | 0.007 | 0      | 1.92   | 0.006  | -0    | -0   | -0    | -0.004  | 0.01   | 0.026 | 0.001 | -0     | -0     | -0     | -0    | -0      | -0    | -0.009  | 0.003  | 0      | 0      | 0     | -0   | 0.007  | -0.01  | 0.001   | -0.0031  |          |         |          |
| 0.002  | 0.0036  | 4E-04 | 0    | 0    | -0.013 | -0.01 | 0.01  | 0.003 | 0      | 0.006  | 1.909  | -0    | 0    | 0     | 0.0083  | -0     | 0.008 | 0.001 | 0      | 0.006  | -0     | -0    | -0      | -0    | -0      | -0     | -0     | -0     | -0    | 0    | 0.004  | 8E-04  | -0      | -0.0048  |          |         |          |
| 7E-04  | 0.0017  | 0.001 | 0    | 0.02 | 0.004  | 0.012 | -0.01 | 0.001 | 0.01   | -0.01  | -0     | 1.92  | 0    | 0     | 0.0162  | 0.011  | 0.01  | 0.003 | 0      | 6E-04  | 0      | 0     | 0.005   | -0    |         |        |        |        |       | 0    | 0.011  | 0      | -0.0011 |          |          |         |          |
| 0.003  | -0.006  | -0.01 | 0    | 0.01 | -0.002 | 0.014 | -0    | -0.01 | -0     | -0.01  | -0     | 0     | 1    | -0    | -0      | 4E-04  | -0.01 | -0.01 | -0.01  | 0      | -0     | -0    | 0       | 0.007 | 0       | 0.038  | 2E-05  | -0     | -0    | -0   | -0     | -0     | -0.002  | -0       | 0.01019  |         |          |
| 0.002  | -0.0013 | 3E-04 | 0    | -0   | -0.056 | 0.01  | -0.01 | 0.001 | -0     | -0     | -0     | 0.008 | -0   | 0     | 1.94    | 0.0122 | 0.01  | 0.003 | 0.001  | 0      | -0     | 0     | 0.001   | -0    | 9E-04   | -0.01  | -0     | -0     | 0     | 0.01 | 0.007  | 0.001  | -0      | -0.0026  |          |         |          |
| 0.002  | 0.0063  | -0    | -0   | -0   | -0.014 | 0.005 | 0.01  | -0    | 0.02   | -0     | 0.008  | 0.02  | -0   | 0.01  | 1.911   | 0.013  | 0.003 | -0.01 | -0     | -0     | -0     | -0    | -0      | -0    | 0.005   | 0.008  | 0      | -0     | -0    | 0    | 0.002  | -0.01  | 0.01    | 0.046    |          |         |          |
| 0.007  | -0.0055 | -0    | -0   | -0   | 0.012  | 0.01  | -0.01 | 7E-06 | 0.02   | 0.01   | -0     | 0.01  | -0   | -0.01 | 0.0277  | 1.906  | 0.013 | -0    | -0     | 0.015  | 0      | -0    | -0      | -0    | -0      | -0     | -0     | -0     | 0.01  | -0   | 0.002  | -0.01  | -0      | -0.0028  |          |         |          |
| -0.012 | -0.003  | -0    | -0   | -0   | -0.004 | 0.007 | 0     | -0    | -0     | 0.026  | 0.008  | -0    | -0   | 0     | 0.0027  | 0.013  | 1.92  | -0    | -0     | 0.01   | -0     | -0    | -0      | -0    | -0      | -0     | -0     | -0     | -0    | 0.01 | 0.01   | 0.01   | 0       | 0.00606  |          |         |          |
| 0.005  | 0.0057  | 0.01  | 0    | 0    | -1E-04 | 0.01  | 0.01  | 0.02  | 0      | 0.001  | 0.001  | 0     | 0    | 0     | 0.006   | 0      | 0     | 0     | 0.9381 | 0      | 0      | 0     | 0       | 0     | 0       | 0      | 0      | 0      | 0     | 0    | 0.007  | 1E-03  | 0       | -0.00234 |          |         |          |
| 0.007  | 0.0094  | 0.005 | 0    | 0    | -2E-04 | 0.01  | 0.02  | 0.011 | -0     | -0     | -0     | 4E-04 | 0    | -0    | -0      | 0.008  | -0    | 0.012 | 0.001  | 1      | -0     | 0     | 0       | 0     | 7E-05   | -0     | 0.02   | -0     | 0     | 0    | 0      | -0     | 0.001   | 0.02     | 0.01     | -0.0099 |          |
| -0.008 | 0.0093  | -0    | -0   | 0    | 0.003  | 0.015 | 0.01  | -0    | -0     | -0     | -0     | 0.006 | -0   | -0    | -0      | -0.005 | 0.013 | -0.01 | -0     | -0     | 0.948  | 0     | -0      | -0    | 4E-05   | 0.017  | -0     | -0     | -0.01 | -0   | -0     | -0     | 0.002   | 0.02     | 0.00699  |         |          |
| 0.002  | -0.009  | 4E-04 | -0   | 0    | 0      | 0.037 | 0.006 | 0     | -0     | -0     | 5E-04  | 0.01  | 0.01 | -0    | -0.03   | -0.004 | 0.008 | -0    | 1E-04  | 0      | 8E-04  | 1     | -0      | 2E-04 | -0      | 7E-04  | 0.003  | -0     | 0     | 0    | 0.01   | -0     | -0      | 0.004    | 0.0004   |         |          |
| 4E-04  | 0.0005  | 2E-06 | -0   | 0.01 | -0.003 | 0.012 | -0.01 | 9E-04 | 0.02   | -0     | -0.003 | 0.002 | -0   | 0     | 0.001   | 0.0191 | 0.01  | 0.01  | -0     | -0     | 0      | 0     | 0       | 0     | 0       | 0      | 0      | 0      | 0     | 0    | 0      | 0      | 0       | 0.003    | 0.0005   | 9E-05   |          |
| -0.007 | 3E-05   | 5E-04 | 0.01 | 0.03 | 8E-04  | 0.007 | 0.01  | -0    | -0.01  | -0.027 | 0.01   | 0     | 0.01 | 0     | -0      | -0.002 | 0.01  | 0.02  | -0     | -0     | -0     | -0    | -0      | -0    | 0       | 0      | 0      | 0      | 0     | 0    | 0      | 0      | 0.001   | 0.0007   | 0.00185  |         |          |
| -0.01  | -0.0066 | 0.01  | -0   | -0   | -2E-04 | 0.01  | -0.01 | 0.019 | -0.01  | 0.003  | -0     | -0    | -0   | -0    | -0.0066 | 0.005  | -0    | 0.02  | 0      | 8E-04  | -0     | -0    | -0      | 0     | 1       | 5E-04  | 5E-05  | -0     | 0     | 0    | 0      | -0.005 | 0.02    | 0        | -0.0181  |         |          |
| 0.006  | 0.0098  | 0.01  | -0   | -0   | -0     | 0.04  | -0.01 | 0.02  | 0.019  | -0     | 0.01   | -0    | 0.01 | 0.01  | 0       | -0.005 | -0    | 0.004 | 0.027  | -0     | -0.005 | -0    | 0.0005  | 0     | 0.937   | -0     | 0      | 0      | 0     | -0   | -0     | 0.02   | 0.01    | -0.0178  |          |         |          |
| 0.012  | -0.011  | 0.003 | 0    | 0    | 0.002  | -0.02 | 0.01  | 0.003 | 0      | 0.003  | -0.01  | 0     | -0   | -0.01 | 0.0084  | -0.02  | 0.006 | 1E-03 | 0      | 0.017  | 0      | 7E-05 | -0      | 0     | 0       | -0     | 4E-04  | 0.978  | -0    | -0   | 0.01   | -0     | -0      | -0       | -0.0111  |         |          |
| -0.005 | -0.0038 | 7E-04 | 0    | 0    | -0     | 0.04  | 0.006 | 0.01  | 0.001  | -0     | 0.002  | -0    | -0   | 0     | -0      | 0.0045 | 0.002 | -0    | 0.005  | 0      | 1E-04  | -0    | -0      | -0    | 0       | 0      | 0.006  | 0.002  | 1     | -0   | 0      | 0      | -0      | 0.017    | 0        | -0.0011 |          |
| 0.002  | -0.0041 | 0.01  | -0   | 0    | -0     | 7E-04 | -0    | -0    | -0.001 | 0      | 0.002  | -0    | -0   | -0    | -0      | 0.0014 | -0    | -0    | -0.01  | 0.0003 | 0      | 0     | 0       | 0     | 0       | 0      | 0.008  | -0     | 0     | 0    | 0      | 0      | 0       | 1E-04    | 7E-04    | 0.0082  |          |
| -0.003 | 0.0043  | -0    | -0   | 0    | -0     | 9E-04 | 0.007 | 0     | -0.001 | 0      | -0     | 0.004 | -0   | -0    | -0      | 0.004  | 0.004 | -0    | -0     | -0     | -0     | 0     | 0       | 0     | 0       | 0      | 0      | 0      | 0     | 0    | 0      | 0      | 0       | 0.0004   | 0.0004   |         |          |
| -8E-04 | 0.0005  | 3E-04 | 0.02 | -0   | 1E-04  | 0     | 0     | -0    | -0.01  | 0.001  | -0     | 0     | -0   | -0    | -0      | -0.007 | -0.01 | 0.001 | 7E-04  | 0      | -0     | -0    | 0       | 0     | 0       | 8E-04  | -0     | 3E-04  | -0    | -0   | 0      | 0      | 1       | -0       | 8E-05    | 0       | -0.00025 |
| 0.002  | 0.0001  | 1E-04 | 0    | 0.01 | -0.014 | -0    | 0     | -0    | -0     | -0     | -0     | 0.001 | 0    | 0     | 0.01    | 0.002  | 0.01  | -0.01 | 7E-05  | -0     | 0      | 0     | 0       | 0     | 0       | 0.0005 | 8E-04  | -0     | -0    | 0    | 0      | 0      | 1       | -0       | 0        | 0.0004  |          |
| -0.002 | 0.0002  | -0    | -0   | -0   | -0.001 | -0    | 0     | 0.002 | 0      | 0.007  | 0.004  | -0    | -0   | -0    | 0.01    | 0.0023 | 0.002 | 0.01  | 3E-05  | -0     | -0     | -0    | -0      | -0    | -0      | -0     | -0     | -0     | -0    | -0   | -0     | -0     | -0      | -0.0004  |          |         |          |
| 0.005  | 0.014   | -0    | -0   | -0   | -0     | 3E-04 | 0.02  | 0.02  | -0     | 0.01   | -0.01  | 8E-04 | 0.01 | 0     | 0       | -0.011 | -0.01 | 0.01  | -0.01  | -0     | 0.002  | 0     | 0       | 0     | 0       | 0.002  | -0.018 | -0     | -0    | 0    | 0      | 0      | -0      | -0       | -0.967   | 0       | -0.0002  |
| 0.031  | -0.0147 | -0    | -0   | -0   | 7E-04  | 0.02  | -0.02 | 0.01  | 0      | 0.005  | -0.01  | 0     | -0   | -0    | 0.0104  | 0.02   | 0.004 | -0.01 | 0.018  | 0      | 0      | -0    | -0      | -0    | -0      | -0     | 0.01   | -0.03  | -0    | -0   | 0.01   | -0     | -0      | -0       | -0.2E-04 | 0.93    | 0.0002   |
| 0.003  | -0.0027 | 0.018 | 0    | -0   | -0     | 4E-04 | -0.01 | -0    | 0.032  | -0     | -0     | -0    | -0   | -0    | -0.0046 | -0     | 0.007 | 0.022 | -0     | 0.007  | 0      | -0    | -0      | -0    | -0      | -0     | 0.002  | -0.018 | -0.01 | -0   | 0.01   | 0      | 0       | -0       | -0       | 0       | 0.9662   |





**Tiara Convention Hall, Medan – 30 31 Mei 2014**

[illegible]

Figure 9 : 2<sup>nd</sup> accuracy Check for  $\frac{\mathcal{L}_1^2}{M_n}$  - Effective Modal Mass matrix

[illegible]

Figure 10 : 3<sup>rd</sup> accuracy Check for the computed - Base Shear & torque, Story Forces & torques due to x-x ground excitation

**Tiara Convention Hall, Medan – 30 31 Mei 2014**

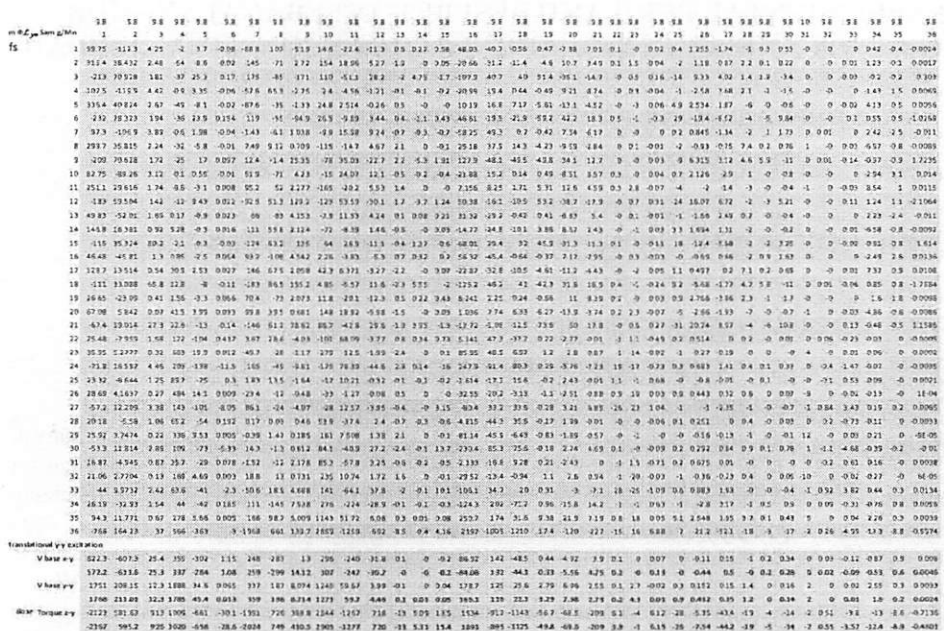


Figure 11 : 4<sup>th</sup> Check for the computed - Base Shear & torque, Story Forces & torques due to v-v ground excitation

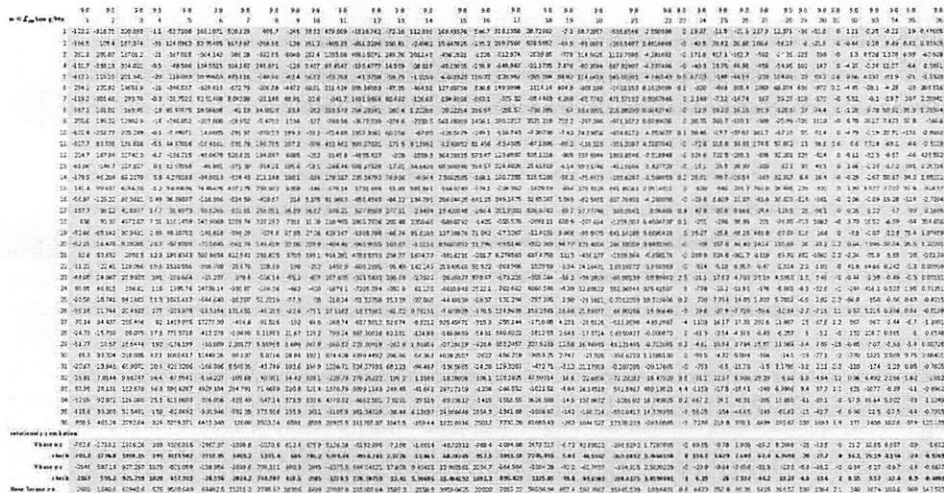


Figure 12: 5<sup>th</sup> Check for the computed - Base Shear & torque, Story Forces & torques due to z-z ground excitation



**KAJIAN EKSPERIMENTAL PERILAKU BESI BETON SEBAGAI ANGKUR  
PENGHUBUNG GESER AKIBAT GESER MURNI PADA BETON MUTU RENDAH**

Prof. Dr. Ing. Johannes Tarigan<sup>1</sup>, Sheila Hani Nasution<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Sipil, Universitas Sumatera Utara Medan, Jl. Dr. Mansyur Medan  
Email: johnstar@indosat.net.id

<sup>2</sup>Program Studi Teknik Sipil, Universitas Sumatera Utara Medan, Jl. Dr. Mansyur Medan  
Email: sheilahani87@gmail.com

**ABSTRAK**

*Retrofitting* merupakan suatu proses untuk memperbaiki atau merenovasi struktur yang sudah ada. Banyak metode yang dapat dilakukan dalam proses perkuatan, salah satunya yang berhubungan dengan penelitian ini adalah metode penambahan material baja pada kolom beton eksisting menggunakan angkur sebagai penghubung geser. Dalam penelitian ini, dilakukan peninjauan terhadap 3 buah benda uji dengan mutu beton  $f_c$  21.15 Mpa (K175) dan kedalaman angkur  $h_{ef}$  90 mm menggunakan besi beton dengan variasi jarak antar angkur masing – masing 5d, 8d dan 12d. Angkur yang digunakan adalah tipe *adhesive anchor* dengan diberikan beban *push out test* secara berangsur – angsur hingga mencapai kekuatan maksimum alat jack yaitu 20 Ton. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa beton mutu rendah akan menghasilkan deformasi dan keretakan yang lebih besar daripada beton mutu tinggi. Pada ketiga benda uji, deformasi terbesar terjadi pada Sampel 1 yang memiliki jarak yang lebih rapat, yaitu sebesar 12.27 mm, Sampel 2 sebesar 12.04 mm dan Sampel 3 sebesar 10.87 mm. Untuk angkur dalam satu baris kebawah, deformasi terbesar terjadi pada angkur paling atas dan mengecil semakin ke bawah, dengan persentase penurunan pada Sampel 1 sebesar 0.86% dan 1.711%, untuk Sampel 2 sebesar 2.42% dan 5.09% serta untuk Sampel 3 sebesar 7.27% dan 14.54%. Hasil pengujian dari ketiga sampel menunjukkan bahwa Sampel 3 dengan jarak angkur paling besar menghasilkan kemampuan menahan geser yang lebih besar, yaitu 16.25 kN, dilanjutkan Sampel 2 sebesar 13.33 kN dan Sampel 1 sebesar 10 kN. Dimana kekuatan geser rata-rata hasil eksperimen lebih kecil dari kekuatan geser menurut persamaan ETAG-001 yaitu sebesar 20.71 kN.

Kata kunci: perkuatan, angkur, kegagalan beton, ketahanan geser.

**PENDAHULUAN**

Dalam dunia konstruksi, walaupun suatu konstruksi telah didisain sebaik mungkin, namun di lapangan selalu ada perubahan – perubahan struktur konstruksi. Perubahan yang terjadi dilapangan tersebut menuntut perencana melakukan suatu disain baru perkuatan struktur sehingga akan meningkatkan kinerja bangunan. Metode perkuatan ini dirasa jauh lebih efisien dan efektif dari segi biaya maupun waktu bila dibandingkan dengan membangun bangunan baru. Banyak metode perkuatan yang dapat digunakan, tetapi tidak ada metode yang merupakan solusi terbaik. Penggunaan metode perkuatan tersebut dihasilkan melalui pertimbangan perilaku bangunan setelah diperkuat, karakteristik bangunan, biaya, maupun waktu konstruksi, kemungkinan untuk dilaksanakan dan dampak terhadap hunian bangunan setelah diperkuat. Oleh karena itu penelitian tentang aplikasi dari teknik – teknik perkuatan ini masih sangat luas dan perlu dicari alternatif lain yang dapat menghasilkan solusi yang lebih baik di masa depan. Salah satu metode perkuatan yang digunakan dalam tesis ini adalah penambahan material baja pada beton eksisting. Penyatuan antara profil baja dengan balok beton dapat menggunakan penghubung geser berupa baut angkur.

Perkembangan angkur sebagai pengikat dari profil baja terhadap beton kolom maupun balok cukup diminati dalam dunia konstruksi belakangan ini. Acuan tentang pemasangan angkur pada beton dapat kita pedomani dalam ACI 2002. Perkembangan pengangkuran cukup pesat sehingga pada bulan Juni tahun 1997 *European Organisation for Technical Approvals (EOTA)* telah menetapkan pedoman teknisnya "*Guideline for European Technical Appropal of Metal Anchors for Use in Concrete (ETAG-001)*". Walaupun metode pengangkuran telah banyak digunakan oleh pelaksana bangunan terutama dalam usaha perkuatan konstruksi, namun dikarenakan minimnya penelitian tentang angkur, sampai dengan saat ini di Indonesia belum ada pedoman teknis yang dapat menjadi acuan dalam perencanaan dan pelaksanaan pengangkuran untuk beton.

## SEMINAR NASIONAL HAKI

Tiara Convention Hall, Medan – 30 31 Mei 2014

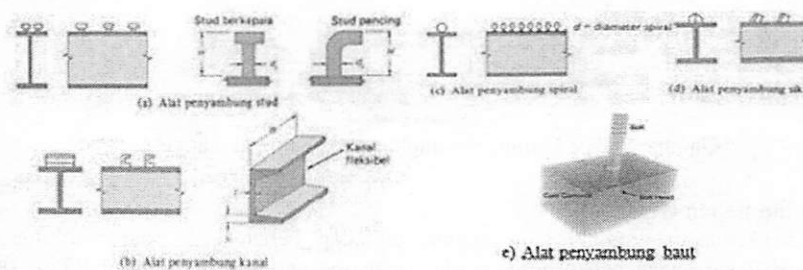
Berdasarkan alasan tersebut, maka dilakukan penelitian mengenai angkur. Penelitian ini dilakukan dengan variasi jarak angkur untuk mengetahui perilaku geser angkur pada beton. Pada penelitian ini akan diamati letak angkur yang mana yang akan mengalami kehancuran lebih dahulu.

### Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini adalah pertama, mengetahui pengaruh variasi jarak penghubung geser tipe besi beton akibat beban geser murni. Kedua, untuk mengetahui pola keruntuntuhan yang terjadi pada beton. Ketiga, membuktikan apakah besi beton dapat berperilaku sebagai penghubung geser pada struktur retrofitting.

### TINJAUAN PUSTAKA

Salah satu metode perkuatan yang digunakan adalah penambahan elemen baja pada beton eksisting. Profil baja dengan beton balok harus disatukan agar menghasilkan kekuatan yang diharapkan. Untuk menyatukan antara elemen baja dengan beton maka digunakan penghubung geser. Berikut tipe-tipe penghubung geser menurut Salmon, dkk 1991.



Gambar 1. Tipe-tipe penghubung geser

### Klasifikasi Baut Angkur Pada Beton

Baut angkur dapat diklasifikasikan menjadi berbagai macam tipe klasifikasi, salah satunya adalah pengklasifikasian pada cara pemasangannya. Menurut Wiston Wayne Clendennen (1994), berdasarkan klasifikasi ini, angkur terbagi menjadi baut angkur cor ditempat (*cast-in-place*) dan baut angkur dipasang (*post-installed*).

Berikut adalah sistem pembagian angkur:

1. *Cast-in place*, terdiri dari Headed, J&L Bolts, dan Studs.
2. *Post-installed*, terbagi atas:
  - 2.1 *Bonded*, terbagi atas:
    - a. *Adhesive*, terdiri dari: Polymer dan Hybrid system.
    - b. *Grouted*, terdiri dari: Cementitious dan Polymer.
  - 2.2 *Mechanical*, terbagi atas:
    - a. Expansion.
    - b. Undercut

Dalam eksperimen ini digunakan angkur tipe bonded anchor. *Bonded anchor* dapat terbagi atas *adhesive* dan *grouted anchor*. *Adhesive anchor* memerlukan *adhesive chemical* untuk pemasangannya sehingga angkur akan mengikat dengan beton. *Grouted anchor* ditanam pada beton yang sebelumnya telah dilubangi dengan langkah – langkah pemasangan yang sama dengan *adhesive anchor*. Angkur tipe ini mengharuskan lubang yang akan ditanam bersih dan kering agar kekuatan mengikat antara pasta, angkur dan beton menjadi maksimal.

### Kekuatan Baut Angkur Pada Beton

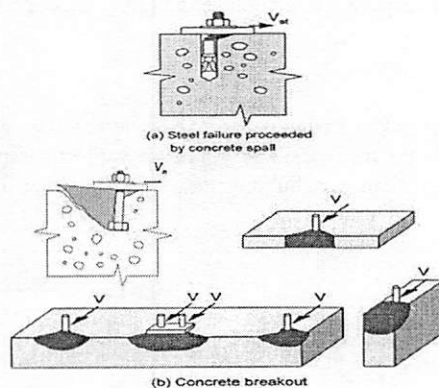
Mekanisme penyaluran gaya geser horizontal yang terjadi dari balok baja ke pelat beton ditransfer seluruhnya oleh penghubung geser, dalam hal ini adalah angkur besi beton. Yang mana kekuatan dan luas bidang kontak tulangan angkur beton tersebut dengan beton sangat mempengaruhi kapasitas suatu angkur besi beton untuk dapat mentransfer geser horizontal. Sedangkan faktor-faktor yang mempengaruhi terjadinya deformasi pada angkur besi beton yaitu: bentuk dan ukurannya, lokasinya pada balok, lokasi momen maksimum, dan cara pemasangannya pada balok baja.

## SEMINAR NASIONAL HAKI

Tiara Convention Hall, Medan – 30 31 Mei 2014

Dalam perencanaan pemasangan angkur besi beton pada beton, ACI mengenai *Anchorage to Concrete* secara umum dapat menjadi acuan, peraturan lain dapat kita adopsi dari *European Organisation for Technical Approvals (EOTA)* yang juga telah menetapkan pedoman teknisnya "*Guideline for European Technical Approval of Metal Anchors for Use in Concrete (ETAG-001)*".

Berbagai macam kegagalan yang mungkin terjadi diakibatkan oleh berbagai pembebanan (tarik, geser) antara lain sebagai berikut: *steel failure*, *pull-out failure*, *concrete cone failure*, *splitting failure*. Model keruntuhan dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2 Tipe keruntuhan angkur pada beton akibat geser

### Ketahanan Terhadap Beban Geser

Untuk mendapatkan kekuatan nominal baut angkur terhadap beban geser dapat dihitung berdasarkan keruntuhannya. Berikut ketahanan beban geser berdasarkan tipe keruntuhan menurut ETAG-001 (*Annex C: Design Methods for Anchorage*) sebagai berikut:

1. Keruntuhan yang terjadi pada angkur.

$$N_{Rk,s} = 0.5 A_s \cdot f_{uk}$$

(1)

2. Keruntuhan yang terjadi pada beton.

$$V_{Rk,c} = V_{Rk,c}^0 \cdot \frac{A_{cV}}{A_{cV}^0} \cdot \Psi_{s,V} \cdot \Psi_{R,V} \cdot \Psi_{\alpha,V} \cdot \Psi_{\tau s,N} \cdot \Psi_{st,N}$$

(2)

Dimana penjelasan untuk masing – masing variabel sebagai berikut:

- a. Nilai awal ketahanan angkur untuk beton retak dan tidak retak.

$$V_{Rk,c}^0 = k_1 \cdot d_{nom}^\alpha \cdot h_{ef}^\beta \cdot \sqrt{f_{ck,cubes}} \cdot c_1^{1.5}$$

(3)

dengan  $F_{ck,cube}$  = kuat desak beton kubus 150×150mm (N/mm<sup>2</sup>),  $h_{ef}$  = kedalaman efektif baut angkur (mm),  $d_{nom}$  = diameter terluar baut angkur (mm),  $k_1$  = 1.7 diaplikasikan pada beton yang retak,  $k_1$  = 2.4 diaplikasikan pada beton yang tidak retak.

$$\alpha = 0.1 \cdot \left( \frac{l_f}{c_1} \right)^{0.5}$$

(4)

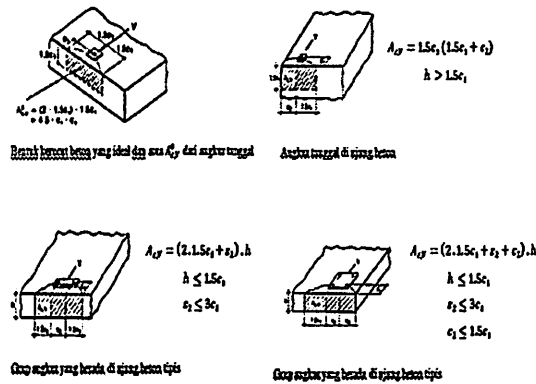
$$\beta = 0.1 \cdot \left( \frac{d_{nom}}{c_1} \right)^{0.2}$$

(5)

- b. Faktor jarak antara angkur terluar dengan ujung beton dan ketebalan beton mempengaruhi karakteristik beban.  
Posisi angkur terluar dan ketebalan beton akan memberikan pengaruh dalam disain suatu pemasangan angkur. Pengaruh posisi angkur terluar ini akan berdampak pada kekuatan dari suatu proses pengangkur. Nilai perhitungan  $A_{c,N}$  yang berbeda-beda pada beban geser dapat dilihat pada Gambar 3.



**SEMINAR NASIONAL HAKI**  
Tiara Convention Hall, Medan – 30 31 Mei 2014



Gambar 3 Contoh luasan aktual  $A_{c,N}$  dari kerucut beton

- c. Faktor  $\Psi_{s,v}$  mempengaruhi distribusi tegangan pada beton. Seperti pada faktor jarak angkur terluar, posisi angkur dalam faktor  $\Psi_{s,v}$  juga memberikan pengaruh. Pengaruh jarak tersebut tidak pada karakteristik beton, akan tetapi akan mempengaruhi distribusi beban pada beton. Untuk pengangkuran dengan jarak yang berbeda-beda, jarak yang paling dekat ke ujung beton yang dimasukkan.

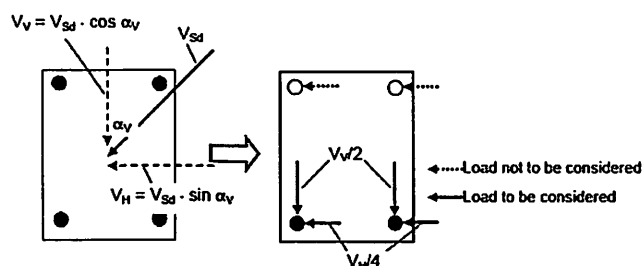
$$\Psi_{s,v} = 0.7 + 0.3 \frac{c_2}{1.5c_1} \leq 1 \quad (6)$$

- d. Faktor  $\Psi_{h,v}$  mempengaruhi kekuatan geser yang mana tidak akan berkurang dikarenakan ketebalan beton yang diasumsikan dengan rasio  $A_{c,v}/A_{c,v}^0$ .

$$\Psi_{h,v} = \left( \frac{1.5c_1}{h} \right)^{1/2} \geq 1 \quad (7)$$

- e. Faktor  $\Psi_{\alpha,v}$  berpengaruh pada sudut  $\alpha_v$  diantara beban yang diberikan,  $V_{sd}$ , dan tegak lurus terhadap beton terluar seperti pada Gambar 4.

$$\Psi_{\alpha,v} = \sqrt{\frac{1}{(\cos \alpha_v)^2 + \left( \frac{\sin \alpha_v}{2.5} \right)^2}} \geq 1 \quad (8)$$



Gambar 4 Angkur yang dibebani oleh beban yang arahnya bersudut

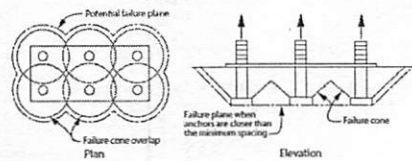
- f. Faktor  $\Psi_{ec,v}$  berpengaruh ketika besar gaya geser yang berbeda-beda bekerja pada masing – masing angkur dalam satu grup.

$$\Psi_{ec,v} = \frac{1}{1 + 2s_v/(2c_1)} \leq 1 \quad (9)$$

- g. Faktor  $\Psi_{re,v}$  berpengaruh terhadap tipe penulangan yang digunakan pada beton yang retak. dengan  $\Psi_{re,v} = 1.0$  untuk pengangkuran pada beton retak dan tidak retak tanpa penulangan ujung,  $\Psi_{re,v} = 1.2$  untuk pengangkuran pada beton retak dengan penulangan ujung ( $\geq \emptyset 12$  mm),  $\Psi_{re,v} = 1.4$  untuk pengangkuran pada beton retak dengan penulangan ujung ( $a \leq 100$  mm).

**SEMINAR NASIONAL HAKI**  
Tiara Convention Hall, Medan – 30 31 Mei 2014

Untuk angkur *multiple* atau angkur dalam satu grup, jarak minimum angkur harus diperhatikan. Angkur yang tidak memenuhi jarak minimum akan mengalami kerusakan yang berlapis seperti pada Gambar 5.



Gambar 5 Efek grup angkur

### Beberapa Penelitian Terdahulu

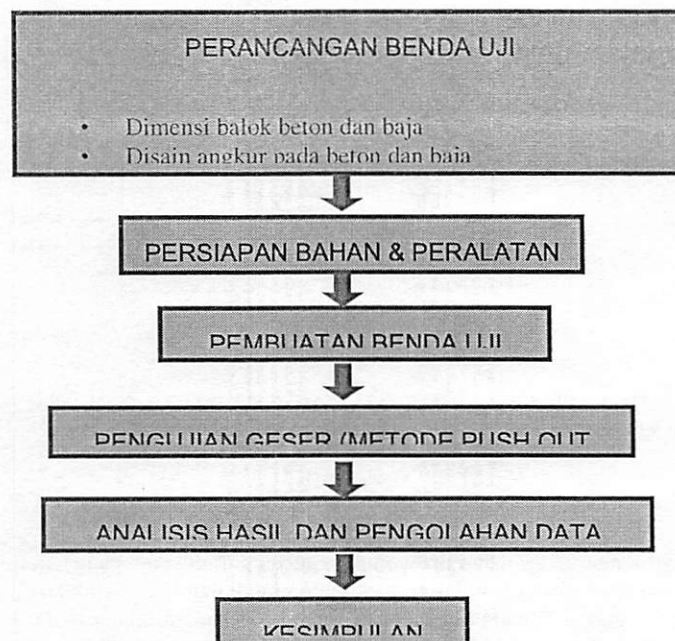
Berikut salah satu penelitian sebelumnya yang banyak membahas tentang angkur pada beton dan memiliki relevansi terhadap eksperimen yang akan dilakukan dan dapat dijadikan pertimbangan dalam proses penulisan ini yaitu penelitian Iswandi (2013), melakukan eksperimen terhadap angkur pada sambungan kolom beton baja. Eksperimen pada angkur yang ditanam memiliki pola seri dan gabungan seri dan paralel. Hasil eksperimen pada pola paralel adalah keruntuhan terjadi pada angkur saat beban ultimitnya tercapai. Untuk pola seri diketahui kekuatan geser pada angkur paling bawah adalah yang paling kecil sehingga disimpulkan bahwa pola pengangkurian seri ini dapat menurunkan kemampuan struktur secara keseluruhan dalam menahan beban. Sedangkan pada pola gabungan seri dan paralel diketahui bahwa distribusi beban yang terjadi tidak merata pada pada masing – masing angkur.

### METODOLOGI

Dalam penelitian ini ada dua metode yang digunakan untuk mendapatkan hasil penelitian yang baik dan sesuai dengan tujuan, yaitu metode pendekatan numerik dan kemudian di lakukan validasi dengan metode eksperimental. Eksperimen dilakukn di Laboratorium Struktrur Magister Teknik Sipil Universitas Sumatera Utara.

Kegiatan penelitian yang dilakukan meliputi pengadaan bahan, pengujian bahan, pengujian kekuatan hancur dari silinder beton, Penelitian ini metodanya adalah menguji kekuatan hancur silinder beton dengan mutu beton K-175, dan menguji kuat tarik besi beton ulir diameter 8 mm.

Setelah kajian secara numerik dilakukan, maka selanjutnya hasil dari kajian numerik akan divalidasi melalui kajian eksperimental. Pengujian dilakukan terhdap tiga buah benda uji. Pembuatan benda uji dan pengaturan peralatan disesuaikan dengan keterbatasan – keterbatasan yang ada di Laboratorium Beton Pasca Sarjana Teknik Sipil USU. Tahapan kajian secara eksperimental dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6 Diagram alur penelitian

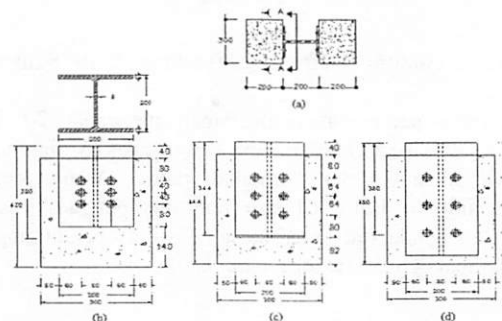
## SEMINAR NASIONAL HAKI

Tiara Convention Hall, Medan – 30 31 Mei 2014

### Pembuatan Benda Uji

Benda uji yang digunakan dalam penelitian ini adalah komposit kolom beton dengan balok baja. Dua buah beton dengan ukuran  $200 \times 300 \times 380$  mm, diantara kedua beton tersebut diapit oleh sebuah profil baja *H-Beam*  $200 \times 200 \times 8 \times 12$  mm dengan panjang profil 240 mm. Antara beton dan baja tersebut dihubungkan dengan penghubung geser (*shear connector*) berupa besi beton sirip dengan diameter 8 mm dengan jumlah 6 buah. Jarak vertikal antar baut adalah 5d, yaitu 40 mm, 8d yaitu 64 mm dan 12d yaitu 96 mm.

Pembuatan benda uji dimulai dengan pembuatan beton. Beton yang telah memasuki masa pembuatan 28 hari, kemudian dilubangi menggunakan bor untuk tempat meletakkan besi beton. Besi beton kemudian dimasukkan pada lubang yang telah dibuat dan direkatkan menggunakan *chemical additif* yang berbentuk pasta. Untuk memastikan bahwa besi beton telah merekat sempurna pada beton, maka dibutuhkan waktu 24 jam untuk pengeringan pasta. Kemudian dilanjutkan dengan pemasangan baja. Untuk lebih menyatukan elemen-elemen beton dan baja, maka digunakan pengunci *track stang*. Selanjutnya benda uji diletakkan pada *frame* dan dilakukan pengujian. Pemberian beban dalam pengujian dilakukan dengan menggunakan *hydraulic jack*. Dengan pembebanan mencapai 20 Ton. Pengujian dilakukan tiga kali, yaitu masing –masing pengujian pada tiap jarak vertikal yang berbeda. Perencanaan benda uji dapat kita lihat pada Gambar 7.



Gambar 7 Benda uji dalam eksperimen (a) Tampak atas, (b) Potongan A-A pada sampel 1, (c) Potongan A-A pada sampel 2, (d) Potongan A-A pada sampel 3

### Standar Pembebanan Dalam Pengujian Eksperimental

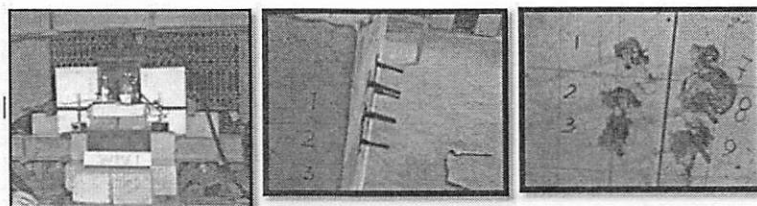
Standar pembebanan yang dilakukan dalam pengujian ini berdasarkan pada peraturan *Eurocode 4, EN 1994-1-1: Design of Composite Steel and Concrete Structure – Part 1-1: General Rules and Rules for Buildings, 2004* dan *Standar Australia (AS 2327 Part 1, 1980)*.

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan di laboratorium, maka didalam bab ini akan disajikan data-data hasil pengujian beserta analisa data tersebut. Adapun data yang tersedia meliputi data pengujian kuat tekan beton dan data *push out test*.

#### Pengujian *Push-out Test*

Dalam pengujian ini didapat deformasi yang terjadi pada setiap angkur. Untuk mengetahui penurunan maka *dial* penurunan diletakkan pada ujung angkur. Berikut proes pengujian pada ketiga benda uji berikut hasil pengujiannya. Gambar 8 menunjukkan pengujian pada Sampel 1.

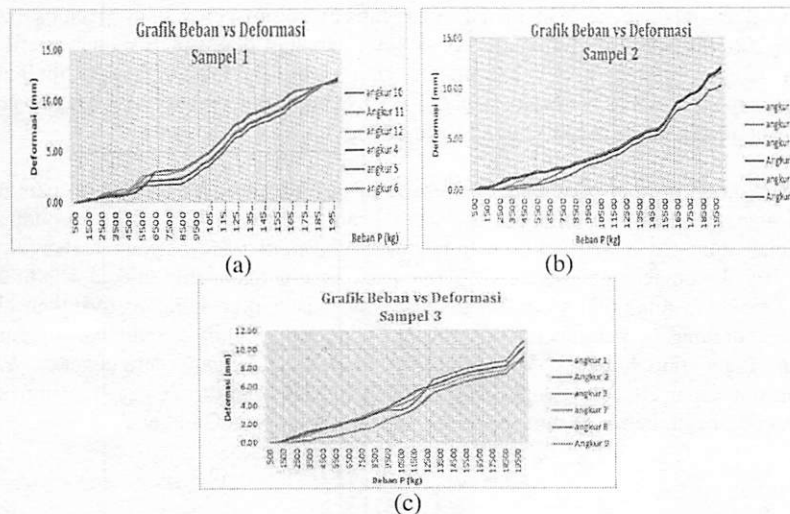


Gambar 8 Prose pengujian dan hasil pada sampel 1



**SEMINAR NASIONAL HAKI**  
Tiara Convention Hall, Medan – 30 31 Mei 2014

Hubungan beban dan deformasi Sampel 1, 2 dan 3 dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9 Grafik Beban maksimum– Deformasi (a) Sampel 2, (b) Sampel 2, (c) Sampel 3

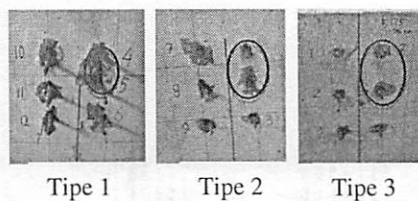
Pengujian yang dilakukan dihentikan pada saat pembebanan mencapai 20 Ton. Akan lebih baik jika pembebanan mencapai hasil akhir putus pada angkur besi beton, apakah diakibatkan beton yang tercongkel ataupun besi beton yang semakin melendut dan kemudian putus. Dalam proses eksperimen, hasil yang diharapkan tidak selalu sesuai dengan teori. Banyak faktor yang mempengaruhi hasil dari eksperimen tersebut. Diantaranya keterbatasan pembuatan benda uji, keterbatasan fasilitas pendukung pengujian yang mencakup keakuratan alat – alat pengujian, sampai dengan faktor *human error*.

#### Kekuatan Geser Nominal Angkur

Sebagai perbandingan, kekuatan geser dihitung berdasarkan beberapa peraturan, diantaranya peraturan ETAG-001 sebesar 20.71 kN, peraturan AASHTO sebesar 13.27 kN, serta perhitungan secara teoritis sebesar 16.67 kN.

Dapat kita katakan bahwa eksperimen yang dilakukan sudah sesuai dengan teori – teori pendukung, diantaranya:

1. Angkur dengan jarak antar angkur yang lebih besar akan menghasilkan penurunan yang lebih kecil. Hal ini dikarenakan angkur yang memiliki jarak terlalu dekat, yaitu pada Sampel 1 dengan jarak 40 mm, area diantara angkurnya terjadi *overlapping* kekuatan, sehingga pada beton dengan mutu beton yang rendah kerusakan yang terjadi menjadi lebih besar, seperti pada Gambar 10. Kerusakan pada sampel 1 lebih besar dari sampel 2, kerusakan pada sampel 2 lebih besar dari sampel 3. Persentase penurunan dapat dilihat pada Tabel 1.



Gambar 10 Perbandingan retak yang terjadi pada ketiga benda uji

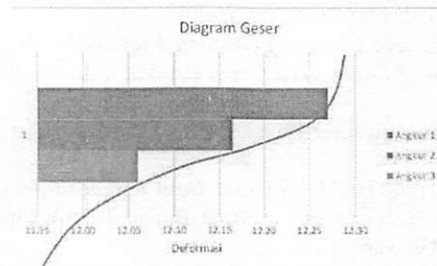
Tabel 1 Persentase penurunan masing<sup>2</sup> angkur terhadap angkur paling atas

| Angkur | % Tipe 1 | % Tipe 2 | % Tipe 3 |
|--------|----------|----------|----------|
| 1      | 100%     | 100%     | 100%     |
| 2      | 0.86     | 2.42     | 7.27     |
| 3      | 1.71     | 5.09     | 14.54    |

## SEMINAR NASIONAL HAKI

Tiara Convention Hall, Medan – 30 31 Mei 2014

2. Angkur yang paling atas memiliki deformasi lebih besar dari angkur dibawahnya.  
Dikarenakan pengaruh letak angkur yang paling atas, maka angkur paling atas ini biasanya memikul beban lebih dulu ketika beban disalurkan, kemudian menuju baja dan melalui angkur – angkur untuk sampai di beton. Hal ini dikarenakan angkur ini letaknya lebih dekat dengan pemberian beban. Sedangkan pada angkur dibawahnya, beban yang disalurkan sudah berkurang. Dalam perencanaan struktur baja, perilaku semua angkur dianggap sama. Sedangkan untuk struktur yang komposit seperti dalam eksperimen ini, perilaku semua angkur tidak sama. Masing-masing elemen terdiri dari material yang berbeda, sehingga komposit ketiganya menghasilkan perilaku yang lebih rumit. Gambar 11 menunjukkan bentuk diagram akibat beban geser dalam eksperimen.



Gambar 11 Diagram geser benda uji

Disamping itu, beban yang diberikan merata pada seluruh bagian atas baja dan bagian betonnya dikunci dengan *trackstang* sehingga semakin mencegah baja berperilaku meledut, akan tetapi menjadi semakin menurun.

3. Angkur yang tertanam pada beton mutu rendah biasanya memiliki deformasi lebih besar daripada angkur yang tertanam pada beton mutu tinggi.  
Beton mutu rendah memiliki kekuatan yang lemah dalam menahan angkur yang dibebani, sehingga saat mulai dibebani sampai dengan kekuatan maksimum alat *jack*, angkur belum juga putus akan tetapi semakin membengkok

### KESIMPULAN

Dari hasil analisis eksperimen yang dilakukan terhadap tiga sampel benda uji dengan besi beton sebagai penghubung geser dan diberi beban geser murni, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Slab beton dengan mutu beton K-175 memiliki kemampuan yang rendah dalam menahan beban dibandingkan baja, sehingga distribusi beban berakhir pada beton dan menyebabkan keretakan di permukaan beton.
2. Pada pengamatan secara visual, dari segi kerusakan, benda uji Sampel 1 memiliki rusak retak lebih besar dari Sampel 2 dan Sampel 3, sedangkan pada Sampel 2 kerusakan lebih besar dari Sampel 3.
3. Angkur paling atas lebih dulu mengalami deformasi karena lebih dulu menerima beban pada benda uji komposit beton dan baja ini, hal ini diketahui dari pengamatan nilai *displacement* ketika dibebani dari awal sampai maksimum. Perbedaan *displacement* pada Sampel 1 antara angkur paling atas dengan angkur dibawahnya sebesar 0.86% dan 1.71%, pada sampel 2 perbedaan sebesar 2.42% dan 5.09% dan pada Sampel 3 sebesar 7.27% dan 14.54%.
4. Pengaruh variasi jarak dalam eksperimen ini dimana kokoh tekan benda uji dan kedalaman pengangkuran sama, menghasilkan perbedaan deformasi pada ketiga benda uji yaitu pada Sampel 1(5d) sebesar 12.27 mm, pada Sampel 2 (8d) sebesar 12.04 mm dan Sampel 3 (12d) sebesar 10.87 mm dengan persentase perbedaan deformasi masing – masing tipe benda uji terhadap benda uji Tipe 1 adalah 2.36% dan 11.41%.
5. Kekuatan geser rata – rata hasil eksperimen sebesar 16.67 KN lebih kecil dari kekuatan geser menurut persamaan ETAG sebesar 20.71 KN.

### DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. (1997). *Guideline for European Technical Appropal of Metal Anchors for Use in Concrete (ETAG-001)*. European Organisation for Technical Approvals (EOTA).
- Anonim. (2002). *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung*. Standar Nasional Indonesia 03-2847-2002. Departemen Pekerjaan Umum Republik Indonesia.
- Anonim. (2005). *ACI Standard: Qualification of Post-Installed Mechanical Anchors in Concrete (ACI 355.2-04) and Commentary (ACI 355.2R-04)*, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI..

**SEMINAR NASIONAL HAKI**  
**Tiara Convention Hall, Medan – 30 31 Mei 2014**

- Anonim. (2008). *ACI Standard: Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-08) and Commentary*, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI.
- Anonim. (2012). *LRFD : Bridge Design Aids 5-81*.
- AR. Andriana Evendy, Dharma Giri IB., Ida Ayu. (2013). "Pengujian Kekuatan Penghubung Geser Yang Terbuat Dari Baja Tulangan Berbentuk L Yang Dibengkokkan Dengan Sudut 45 Derajat". *Jurnal Ilmiah Elektronik Teknik Sipil*, Vol. 2, No.1 Februari 2013. Denpasar.
- Cook R.A., Kunz J., Fuchs W., dan Konz R.C.. (1998). "*Behavior and Design of Single Adhesive Anchors under Tensile Load in Uncracked Concrete*". *ACI Structural Journal*, Vol. 95, No.1, January-February 1998, pp. 9-26.
- Cook R.A., dan Konz R.C.. (2001). "*Factors Influencing Bond Strength of Adhesive Anchors*". *ACI Structural Journal*, Vol. 98, No.1, January-February 2001, pp. 76-86.
- Burtz, Jennifer Lynn. (2003). *Behavior and Design of Grouted Anchors Loaded in Tension Including Edge and Group Effects And Qualification of Engineered Grout Products. Thesis, The Graduate School, University of Florida, USA*.
- Salmon, C. G., dan Johnson, J.E. (1986). *Struktur Baja Desain dan Prilaku Jilid 1 dan 2*. Edisi Ketiga, Erlangga, Jakarta.
- Widiarsa, I.B.R., dan Deskarta, Putu. (2007), "*Kuat Geser Baja Komposit dengan Variasi Tinggi Penghubung Geser Tipe-T Ditinjau dari Uji Geser Murni*". *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, Volume 11, No. 1, Program Studi Teknik Sipil, Universitas Udayana.
- Rieder, Anton. (2009). *Seismic Response of Post-Installed Anchor In Concrete. Dissertation, August 2009, Wien*.
- Sugupta, Dewa PG., Deskarta Putu, Suardian, Adi Janitra. (2012). "Studi Eksperimen Atas Kekuatan Penghubung Geser Tipe Lektan Dari Tulangan Baja Lunak Berbentuk Spiral". *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil* Vol. 16 No.1, Januari 2012, Denpasar.
- Clendennen, Wiston Wayne. (1994). *Performance of Post-Installed Anchors Under Oblique And Group Loading Conditions in Uncracked Concrete. Thesis. The Graduate School, University of Texas at Austin, USA*.



**ANALISIS TIMBUNAN DI ATAS TANAH LUNAK  
(Pada Proyek Pembangunan Jalan Toll Medan-Kualanamu)**

**Syiril Erwin, ST.,MT<sup>1)</sup>, dan Ir.Rudi Iskandar,MT<sup>2)</sup>**

<sup>1)</sup>*Dosen Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Medan  
syirilerwinhrp@gmail.com*

<sup>2)</sup>*Sekretaris Program Studi Magister Teknik Sipil USU  
sipil\_s2\_usu@yahoo.com*

**ABSTRAK**

Berdasarkan hasil penyelidikan tanah di ruas jalan toll Medan-Kualanamu, secara setempat-setempat ditemukan lapisan tanah lunak dengan ketebalan bervariasi antara 2,00 m–23,00 m dan muka air tanah sedalam 0,15 m–2,80 m dari muka tanah. Dengan tinggi timbunan pada lokasi yang ekstrim mencapai 8,50 m dan ketebalan tanah lunak sampai 23,00 m maka proses penimbunan pada lokasi tanah lunak tersebut harus direncanakan sebaik mungkin. Makalah ini menyajikan teknik penzoningan lapisan tanah lunak, teknik perbaikan tanah pada tanah lunak yang disesuaikan dengan keadaan di lapangan, Prevacibrated Vertical Drain (PVD), Instrumen Geoteknik, preloading dan pemotongan timbunan preloading. Berdasarkan hasil perhitungan pada lokasi yang ekstrim diketahui waktu yang dibutuhkan untuk mencapai derajat konsolidasi 90% tanpa menggunakan PVD adalah 315 hari. Sedangkan dengan menggunakan PVD dengan pola segitiga dengan jarak 1,60 m dibutuhkan waktu 120 hari.

Kata Kunci : Tanah Lunak, Penzoningan Teknik Perbaikan Tanah, Preloading dan PVD.

## **1. PENDAHULUAN**

Jalan toll Medan-Kualanamu adalah jalan toll 2 arah dengan masing-masing memiliki 4 lajur dan pada tahap akhir pembangunan akan memiliki 6 lajur. Panjang total jalan adalah 18,00 km, kecepatan rencana 100 km/jam dengan lebar tipikal subgrade 28,90 m dan 27,20 m untuk potongan yang berbeda.

Lintasan jalan yang akan dibangun banyak yang melintasi daerah pemukiman, persawahan dan perkebunan kelapa sawit. Elevasi tanah dasarnya secara umum datar.

Pada saat perencanaan dan pembangunan, secara setempat-setempat dijumpai lapisan tanah lunak. Jika di atas lapisan tanah lunak ini langsung ditimbun dan dibangun struktur perkerasan tanpa ada perbaikan tanah, maka akan mengakibatkan terjadinya penurunan yang besar dan perbedaan penurunan.

Beberapa teknik perbaikan tanah yang akan dilaksanakan antara lain penggantian material, pemberian beban preloading, penggunaan beban Preloading dan PVD. Perbaikan yang dilakukan disesuaikan dengan keadaan lapangan.

## **2. KEADAAN LOKASI JALAN TOLL**

### **2.1.Letak Geografis**

Letak Jalan Toll ini berada di Provinsi Sumatera Utara, Kabupaten Deli Serdang dan berjarak 36 Km dari kota Medan.

### **2.2.Kondisi Permukaan**

Kondisi permukaan lokasi jalan toll adalah persawahan, perkebunan kelapa sawit dan pemukiman penduduk.

### **2.3.KEADAAN TOPOGRAFI**

Kondisi topografi di lokasi jalan toll relatif datar. Elevasi rata-rata lokasi berada pada +12,00 m s/d +17,00 m di atas muka laut.

## SEMINAR NASIONAL HAKI

Tiara Convention Hall, Medan – 30 31 Mei 2014

### 2.4. Lokasi Daerah Tanah Lunak

Berdasarkan desain awal, lokasi yang terindikasi tanah lunak adalah pada sta. 40+000 – 40+900, 41+650–42+750 dan 5+800–6+100. Total panjang daerah tersebut adalah 2,30 km. Lokasi daerah tanah lunak seperti tergambar berikut ini



Gambar 1. Daerah Terindikasi Tanah Lunak

### 2.5. Kondisi Geoteknik

Sesuai dengan data penyelidikan tanah tahap awal, pada daerah terindikasi lokasi tanah lunak, di lakukan 3 titik pengeboran dan 2 titik sondir yang dapat digunakan untuk menentukan kondisi tanah. Kurangnya data pengujian tanah yang dimiliki pada saat awal menyebabkan sulitnya mendapatkan zonasi tanah lunak dan perencanaan detail yang cukup memuaskan.

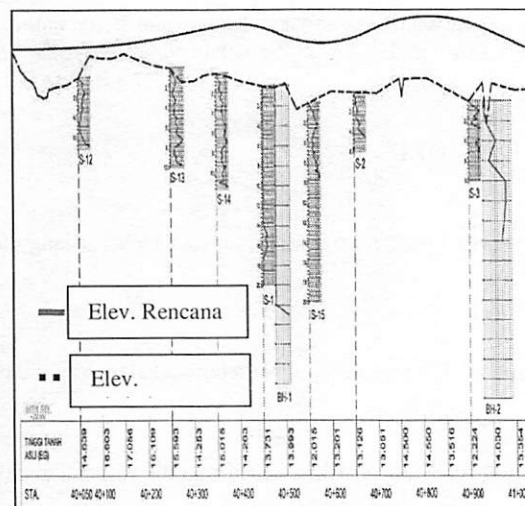
Untuk mengevaluasi tanah lunak dan menganalisis perbaikannya dilakukan pengujian tanah tambahan yaitu pengeboran, sebanyak 8 titik, pengambilan sampel tanah tidak terganggu, sondir 17 titik dan pengujian laboratorium. Dari hasil penyelidikan tanah diketahui bahwa tanah dasar di jalan toll terdiri dari lapisan tanah berbutir halus dengan ketebalan 3,00 m-23,00 m.

Konsistensi tanah dari lunak sampai sangat lunak, berplastisitas sedang sampai tinggi. *Liquid Index*, LI antara 0-1 dan ada yang lebih besar dari 1 dengan tingkat keekspansipan sedang sampai tinggi.

Jenis tanah terdiri dari lanau berplastisitas sedang sampai tinggi, pasir berlempung dan pasir berlanau. Menurut kriteria USCS dikelompokkan ke dalam ML, MH, dan SM-SC. Muka air tanah berada 0,150 m–2,80 m dari permukaan tanah.

### 2.6. Stratifikasi Tanah

Stratifikasi Tanah pada lokasi trase jalan tool Medan-Kualanamu yang paling tebal tanah lunaknya mencapai 23 m dijumpai pada Sta. 40+350-40+550 disajikan pada Gambar 2. Pada lokasi tersebut juga dibutuhkan tinggi total timbunan 8,50 m. Selengkapny lokasi stratifikasi tanah di lokasi pebangunan jalan tool ini disajikan pada Gambar berikut.



Gambar 2. Lokasi Tanah Lunak Yang Paling Tebal/Ekstrem

### 3. TEORI KONSOLIDASI

#### 3.1. Konsolidasi 1-D Terzaghi

Teori konsolidasi yang digunakan pada per baikan tanah ini adalah Konsolidasi 1-D Terzaghi dan Radial Konsolidasi.

##### 3.1.1. Persamaan Konsolidasi 1-D Terzaghi

Persamaan Matematis konsolidasi berbentuk parabolik dinyatakan dengan rumusan sebagai berikut :

$$\frac{\partial u}{\partial t} = C_v \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \dots\dots\dots 3-1$$

Dimana  $u$  adalah *excess pore water pressure*,  $t$  adalah waktu peninjauan,  $y$  adalah kedalaman peninjauan. Solusi umum persamaan ini adalah :

$$W_{Tr} = \frac{4}{\pi} \sum_{m=0}^{\infty} \frac{1}{(2m+1)^2} \exp\left[-\pi^2 (2m+1)^2 / 4 \right] \cdot \sin \frac{\pi}{2} (2m+1) Y \dots\dots\dots 3-2$$

Derajat konsolidasi rata-rata,  $U$  pada lapisan tanah dinyatakan sebagai berikut:

$$U = 1 - \frac{8}{\pi^2} \sum_{m=0}^{\infty} \frac{1}{(2m+1)^2} \exp\left[-\pi^2 (2m+1)^2 / 4 \right] \dots\dots 3-3$$

Dengan  $m$  adalah bilangan integer.

##### 3.1.2. Waktu untuk Konsolidasi 1-D

Lamanya waktu konsolidasi pada lapisan tanah dihitung dengan menggunakan rumusan:

$$T_v = \frac{C_v t}{H^2} \dots\dots\dots 3-4$$

Dimana  $T_v$  adalah faktor waktu,  $C_v$  adalah koefisien konsolidasi tanah arah vertikal,  $t$  adalah waktu dan  $H$  adalah panjang aliran rata-rata yang ditempuh air pori selama konsolidasi.

##### 3.1.3. Penurunan Konsolidasi

Penurunan konsolidasi dihitung dengan asumsi tanah bersifat normal konsolidasi dan menggunakan rumusan berikut.

$$S_p = \frac{C_c H}{1 + e_o} \log \left( \frac{P_o + \Delta p}{P_o} \right) \dots\dots\dots 3-5$$

Dimana  $S_p$  adalah penurunan konsolidasi,  $C_c$  adalah indeks pemampatan tanah,  $H$  adalah tebal lapisan tanah yang akan mampat,  $P_o$  adalah tegangan vertikal efektif awal,  $\Delta p$  adalah penambahan tekanan vertikal efektif dan  $e_o$  adalah angka pori awal.

#### 3.2. Radial Konsolidasi

##### 3.2.1. Persamaan Radial Konsolidasi

Persamaan radial konsolidasi dinyatakan sebagai berikut :



$$\frac{\partial u}{\partial t} = C_r \left( \frac{\partial^2 u}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial u}{\partial r} \right) \dots\dots\dots 3-6$$

dimana  $C_r$  adalah koefisien konsolidasi tanah arah radial,  $r$  adalah jari-jari PVD.

### 3.2.2. Faktor Waktu arah radial, $T_r$

Faktor waktu ( $T_r$ ) untuk pengaliran arah radial dihitung menggunakan rumusan berikut.

$$T_r = \frac{C_r t}{d_e^2} \dots\dots\dots 3-7$$

Dimana  $C_r$  adalah koefisien konsolidasi tanah arah radial,  $t$  adalah waktu dan  $d_e$  adalah diameter ekivalen jarak antara PVD.

### 3.2.3. Penyelesaian Persamaan Radial Konsolidasi

Dengan menganggap adanya efek *smear zone* dan dilakukan dengan cara *equal-strain consolidation*, maka penyelesaian persamaan diperoleh sebagai berikut :

$$U_{av} = u_i e^{\left[ \frac{-8T_r}{m} \right]} \dots\dots\dots 3-8$$

Derajat konsolidasi arah radial dituliskan sebagai berikut:

$$U_r = 1 - \frac{u_{av}}{u_j} = 1 - \left( e^{(-8T_r/m)} \right) \dots\dots\dots 3-9$$

### 3.3. Derajat Konsolidasi Tanah

Derajat konsolidasi untuk pengaliran arah vertikal dan radial digunakan seperti yang diusulkan oleh Carillo, 1942 sebagai berikut :

$$U = 1 - (1 - U_v)(1 - U_r) \dots\dots\dots 3-10$$

Dimana  $U_v$  dan  $U_r$  adalah derajat konsolidasi rata-rata arah vertikal dan radial.

## 4. KRITERIA PERENCANAAN TIMBU-NAN

### 4.1. Tanah Lunak

Tanah Lunak Adalah Tanah-Tanah Yang Jika Tidak Dikenali Dan Diselidiki Secara Seksama Dapat Menyebabkan Masalah Ketidakstabilan Dan Penurunan Jangka Panjang Yang Tidak Dapat Ditoleransi. Tanah Tersebut Mempunyai Kuat Geser Yang Rendah Dan Kompresibilitas Yang Tinggi.  
Kriteria Tanah Lunak Disajikan Pada Tabel Di Bawah Ini

Tabel 1. Kriteria Tanah Lunak

| NILAI           | VERY SOFT | SOFT |
|-----------------|-----------|------|
| $C(T/M^2)$      | < 2       | 2-4  |
| $Q_c (KG/CM^2)$ | < 6       | 6-10 |
| N-SPT           | < 2       | 3-5  |

**SEMINAR NASIONAL HAKI**  
Tiara Convention Hall, Medan – 30 31 Mei 2014

Dimana:

C : Kohesi Tanah dari Pengujian Tekan Tidak Terkekang

$Q_c$  : Nilai Tahanan Ujung Pengujian Sondir

N-SPT : Nilai N dari Pengujian Spt.

#### 4.2. Batasan Penurunan Timbunan untuk Badan Jalan

Secara umum permasalahan yang terjadi jika dilakukan pembebanan di atas tanah lunak adalah besar penurunan yang terjadi dan waktu yang dibutuhkan untuk mencapai penurunan tersebut cukup lama. Besar penurunan yang diijinkan sesuai dengan Manual Desain Perkerasan, 2013 adalah 100 mm dengan kecepatan penurunan (*rate of settlement*) maksimum sebesar 2 cm/tahun setelah selesainya masa konstruksi.

Batasan ini dijadikan acuan untuk evaluasi tanah lunak dan menganalisis solusi untuk memperbaiki akibat tanah lunak tersebut.

#### 4.3. Tinggi Total Timbunan

Untuk melakukan simulasi terhadap beban perkerasan dan lalu lintas, beban-beban tersebut diasumsikan sebagai beban timbunan tanah tambahan. Oleh karena itu, tinggi total timbunan adalah tinggi timbunan badan jalan ditambah timbunan sebagai simulasi beban perkerasan dan beban lalu lintas.

Beban perkerasan dan lalu lintas tersebut digantikan dengan timbunan tanah dengan tinggi sebesar beban tersebut dibagi dengan berat isi tanah yang digunakan di proyek sebagai timbunan yaitu sebesar  $1,6 \text{ ton/m}^3$ .

#### 4.4. Beban

Beban yang diperhitungkan membebani tanah asli adalah beban timbunan badan jalan, perkerasan dan lalu lintas.

Beban timbunan badan jalan adalah berat tanah timbunan yang merupakan perkalian antara berat isi tanah timbunan dengan tinggi timbunan. Beban timbunan ini akan berbeda untuk setiap segmen jalan, tergantung dari elevasi muka tanah asli dan elevasi *subgrade*.

Beban perkerasan adalah berat dari masing-masing komponen perkerasan lentur, yang terdiri dari: Base B setebal 22 cm, Base A setebal 20 cm, AC base setebal 10 cm, AC-BC setebal 7 cm dan AC-WC setebal 5 cm dikali dengan berat isi tanah timbunan.

Beban lalu lintas yang diperhitungkan sebesar  $1,5 \text{ ton/m}^2$ . Sehingga total beban perkerasan dan lalu lintas diperhitungkan sebesar  $2,8 \text{ ton/m}^2$ .

#### 4.5. Faktor Keamanan Lereng Timbunan

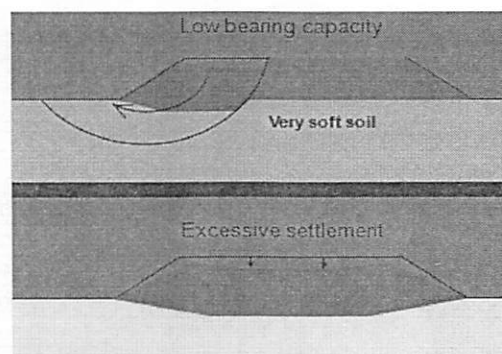
Faktor keamanan lereng yang digunakan dibedakan atas:

- Pada saat konstruksi, diambil sebesar 1.1
- Pada saat operasional, diambil lebih besar dari 1.3.

### 5. PERMASALAHAN TIMBUNAN DI ATAS TANAH LUNAK

#### 5.1. Stabilitas Lereng dan Penurunan

Permasalahan yang terjadi pada penimbunan di atas lapisan tanah lunak adalah stabilitas lereng timbunan, besarnya penurunan dan lamanya waktu konsolidasi. Ilustrasi masalah tersebut dapat dilihat pada Gambar di bawah ini.



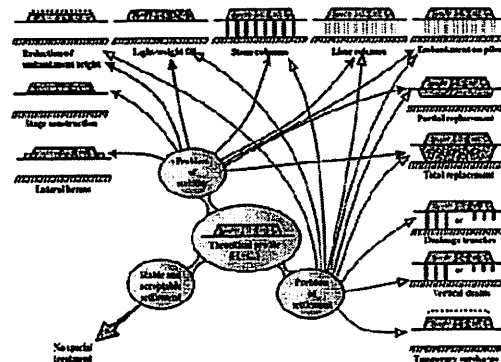
Gambar 3. Permasalahan Timbunan di atas Tanah Lunak

## 5.2. Metode Perbaikan Tanah Lunak

Terdapat beberapa alternatif solusi untuk timbunan di atas tanah lunak. Solusi ini bergantung pada masalah yang dihadapi. Untuk masalah stabilitas, solusi yang dapat diambil adalah pengurangan beban timbunan, peningkatan daya dukung tanah ataupun pengalihan beban dari tanah lunak ke struktur kolom yang ditanamkan

Untuk masalah penurunan, solusi untuk besarnya penurunan yang terjadi adalah pengurangan beban timbunan, pengalihan beban dari tanah lunak ke struktur kolom yang ditanamkan atau *soil replacement*. Sedangkan percepatan waktu penurunan dapat dilakukan dengan mempercepat drainase air pori yang mendapat *excess pore water pressure* akibat pembebanan.

Alternatif solusi di atas dapat digambarkan seperti skema di bawah ini.



Gambar 4. Metode Perbaikan Tanah Lunak

Berdasarkan faktor-faktor tersebut, maka perbaikan tanah yang akan dilakukan pada proyek ini adalah:

- Penggantian tanah lunak, jika tanah lunak berada di permukaan dengan ketebalan lebih kecil atau sama dengan 3 m.
- Preloading, jika kondisi pertama tidak terpenuhi, penurunan diperhitungkan terjadi lebih dari 10 cm dengan waktu penurunan di bawah 5 bulan.
- Preloading dan penggunaan PVD, jika waktu penurunannya di atas 5 bulan.

## 6. ANALISIS TIMBUNAN DI ATAS TANAH LUNAK

### 6.1. Zonasi Daerah Tanah Lunak

Untuk kemudahan evaluasi dan analisis tanah lunak, dibutuhkan zonasi tanah lunak. Pada setiap zona akan dilakukan satu desain perbaikan tanah.

Dengan mempertimbangkan kemiripan parameter tanah lunak yang diperoleh berdasarkan hasil penyelidikan tanah dan beban lalu lintas yang sama, maka zonasi hanya akan tergantung pada kedalaman tanah lunak dari permukaan tanah dan ketebalan timbunan badan jalan. Setiap zona diasumsikan memiliki ketebalan tanah lunak yang sama. Parameter desain yang digunakan sebagai referensi untuk setiap zona adalah parameter tanah seperti pada Tabel berikut.

Tabel 2. Zonasi Tanah Lunak.

| Zona | Station       | Referensi | Panjang | Ketebalan |
|------|---------------|-----------|---------|-----------|
|      |               |           | Zona    | Tanah     |
|      |               |           |         | Lunak     |
|      |               |           | (m)     | (m)       |
| 1    | 40+000-40+350 | 40+350    | 350     | 2.75      |
| 2    | 40+350-40+550 | 40+450    | 200     | 23.00     |
| 3    | 40+550-41+300 | 40+650    | 350     | 3.00      |
| 4    | 41+300-41+650 | 41+400    | 500     | 1.00      |
| 5    | 41+650-42+250 | 41+900    | 850     | 2.00      |
| 6    | 42+250-42+550 | 42+440    | 300     | 5.50      |
| 7    | 42+550-42+750 | 42+630    | 200     | 12.00     |
| 8    | 05+650-06+100 | 05+850    | 450     | 1.75      |



# SEMINAR NASIONAL HAKI

Tiara Convention Hall, Medan – 30 31 Mei 2014

## 6.2. Ketebalan Tanah Lunak

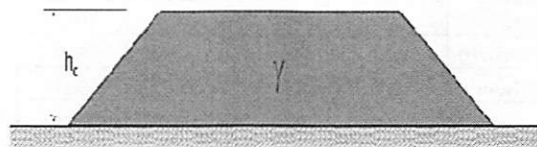
Berdasarkan data-data pada Tabel 2 di atas, dapat dilihat bahwa tanah lunak pada Zona 1, 3, 4, 5 dan 8 cukup tipis (maksimum setebal 3 m) dan berada di permukaan tanah asli.

Pada Zona 1, 3, 4, 5 dan 8, berdasarkan Gambar 4, solusi yang dapat diambil adalah penggantian tanah lunak dengan material tanah timbunan yang lebih baik. Mengingat pada lokasi tersebut terdapat muka air tanah yang tidak jauh dari permukaan tanah, maka tanah pengganti yang dipilih adalah tanah berbutir kasar sehingga pekerjaan penimbunan dan pemadatan dapat dilakukan dengan baik.

Terdapat 3 zona yang lain yang memiliki tanah lunak dengan ketebalan di atas 3 m, yaitu Zona 2, 6 dan 7.

## 6.3. Stabilitas Timbunan pada Tanah Lunak

Berdasarkan data kuat geser tanah dan pembebanan timbunan pada tanah lunak, disimpulkan permasalahan stabilitas hanya terjadi pada Zona 2 dengan referensi data pada Sta. 40+450. Tinggi timbunan badan jalan pada lokasi tersebut lebih besar dari tinggi kritis,  $h_c$ .



$$h = 5c \rightarrow h = \frac{5c}{\gamma} = h_c = \text{critical height of embankment}$$

Gambar 5. Tinggi Kritis Timbunan

Berdasarkan Gambar 4, solusi yang dapat diambil untuk menyelesaikan masalah stabilitas adalah dengan melakukan penimbunan bertahap (*staged construction*) atau konstruksi lateral berm sebagai *counterweight*. Mengingat keterbatasan lebar lokasi, maka solusi yang dipilih adalah dengan penimbunan bertahap.

## 6.4. Tinggi Timbunan

Tinggi total timbunan pada zona 2, 6 dan 7 adalah sebagai berikut:

Tabel 3. Tebal Timbunan

| Zona | Station       | Ketebalan   | Tinggi         | Tinggi         |
|------|---------------|-------------|----------------|----------------|
|      |               | Tanah Lunak | Timbunan Jalan | Total Timbunan |
|      |               | (m)         | (m)            | (m)            |
| 2    | 40+350-40+550 | 23.00       | 5.318          | 8.500          |
| 6    | 42+250-42+550 | 5.50        | 1.122          | 3.450          |
| 7    | 42+550-42+750 | 12.00       | 1.877          | 4.350          |

## 6.5. Penurunan Akibat Timbunan Badan Jalan

Berdasarkan evaluasi dan perhitungan yang dilakukan dengan Metode Element Hingga, diperoleh penurunan akibat timbunan badan jalan seperti Tabel di bawah ini.

Tabel 4. Penurunan Akibat Timbunan Badan Jalan

| Zona | Station       | Tinggi               | Settle- | Faktor      | Permasa   |
|------|---------------|----------------------|---------|-------------|-----------|
|      |               | Timbunan Badan Jalan | ment    | Keamanan    | lahan     |
|      |               | (m)                  | (m)     |             |           |
| 2    | 40+350-40+550 | 5.318                | -       | Tdk. Stabil | Stability |
| 6    | 42+250-42+550 | 1.122                | 0.021   | 4.076       | -         |
| 7    | 42+550-42+750 | 1.877                | 0.068   | 2.199       | -         |

Dari data di atas dapat disimpulkan bahwa secara umum timbunan badan jalan tidak memberikan penurunan yang cukup besar. Masalah stabilitas hanya ditemukan pada badan jalan di Sta. 40+450.

**SEMINAR NASIONAL HAKI**  
Tiara Convention Hall, Medan – 30 31 Mei 2014

Evaluasi lebih lanjut akan dilakukan dengan menambahkan beban perkerasan dan lalu lintas yang diwakili dengan beban preloading. Pada Sta.40+450 akan dilakukan timbunan bertahap sehingga diharapkan akan terjadi peningkatan kuat geser selama tahapan penimbunan.

#### 6.6. Parameter Tanah Yang Digunakan

Parameter tanah pada lokasi Sta 40+450 dengan ketebalan tanah lunak mencapai 23 m disajikan sebagai berikut.

Tabel 5. Penggunaan Parameter Tanah

| Parameter                  | Quartz<br>Sand  | Soft<br>Soil       | Embank.         | PVD             |
|----------------------------|-----------------|--------------------|-----------------|-----------------|
| Tebal (m)                  | 13,75           | 23,00              | 8,50            | 8,50            |
| Model                      | Mohr-<br>Columb | Mohr-<br>Columb    | Mohr-<br>Columb | Mohr-<br>Columb |
| Type                       | Drained         | Undrained          | Drained         | Drained         |
| $\gamma_{dry}$ ( $t/m^3$ ) | 1,70            | 1,35               | 1,50            | 1,60            |
| $\gamma_{wet}$ ( $t/m^3$ ) | 1,90            | 1,83               | 1,600           | 1,70            |
| $K_x$ (m/hari)             | 1,00            | $2 \times 10^{-3}$ | 0,50            | 10,00           |
| $K_y$ (m/hari)             | 1,00            | $1 \times 10^{-3}$ | 0,50            | 8,00            |
| E ( $Kn/m^2$ )             | 1000            | 50                 | 600             | 500             |
| $\nu$                      | 0,30            | 0,30               | 0,30            | 0,31            |
| C ( $kN/m^2$ )             | 0,00            | 1,00               | 2,00            | 0,00            |
| $\phi$ derajat             | 35              | 1                  | 35              | 25              |
| $\psi$ derajat             | -               | -                  | -               | -               |

#### 6.7. Penurunan Akibat Pembebanan Total

Pemberian beban total dengan penambahan beban preloading akan memberikan simulasi terhadap kondisi jalan selama masa operasional.

Penurunan yang terjadi akibat pembebanan total disajikan pada Tabel 6. di bawah ini.

Tabel 6. Penurunan Akibat Beban Total

| Zona | Est. Waktu<br>Konstruksi | Settle-<br>ment | t,100% | S, 90% | t,90%  | Faktor Keamanan |              |
|------|--------------------------|-----------------|--------|--------|--------|-----------------|--------------|
|      |                          | Total           |        |        |        | Short<br>Term   | Long<br>Term |
|      | (hari)                   | (m)             | (hari) | (m)    | (hari) |                 |              |
| 2    | 137                      | 2.411           | 1300   | 2.170  | 315    | 1.04            | 1.30         |
| 6    | 22                       | 0.432           | 299    | 0.389  | 30     | 1.46            | 1.47         |
| 7    | 22                       | 0.497           | 207    | 0.447  | 54     | 1.15            | 1.41         |

Berdasarkan kriteria penurunan yang ada, maka dapat disimpulkan:

##### a. Zona 2.

Pada Zona 2 dilakukan penimbunan secara bertahap dengan setiap tahap penimbunan setinggi  $\pm 1,5$  m kemudian dikonsolidasikan selama 30 hari, sehingga diperoleh masa konstruksi selama 137 hari. Penurunan,  $S_{tot}=2,41$  m  $> 0,10$  cm, waktu konsolidasi,  $t_{90}=10,5$  bln  $> 5$  bln dan  $t_{rate} \leq 2$  cm/tahun = 41,5 bln  $> 5$  bln. Maka diperhitungkan pada Zona 2 terdapat masalah besar dan waktu penurunan. Alternatif solusi yang diberikan adalah *Preloading*+PVD.

##### b. Zona 6.

Penurunan,  $S_{tot}= 43,2$  cm  $> 10$  cm, waktu konsolidasi,  $t_{90} = 1$  bln  $< 5$  bln dan  $t_{rate} \leq 2$  cm/tahun = 3,3 bln  $< 5$  bln. Maka diperhitungkan pada Zona 6 terdapat masalah besar penurunan. Alternatif solusi yang diberikan adalah *Preloading*.

##### c. Zona 7

Penurunan,  $S_{tot}=49,7$  cm  $> 10$  cm, waktu konsolidasi,  $t_{90} = 1,8$  bln  $< 5$  bln, tetapi  $t_{rate} \leq 2$  cm/tahun = 6,1 bln  $> 5$  bln, maka diperhitungkan pada Zona 6 terdapat masalah besar dan waktu penurunan. Alternatif solusi yang diberikan adalah *Preloading*+PVD.

Setelah dilakukan analisis penurunan dengan penggunaan PVD pada Zona 2 dan Zona 7, maka diperoleh hasil seperti Tabel di bawah ini.

## SEMINAR NASIONAL HAKI

Tiara Convention Hall, Medan – 30 31 Mei 2014

Tabel 7. Penurunan Akibat Beban Total dengan Penggunaan PVD

| Zona | Est. Waktu | Pen.      | t,100% | S,90% | t,90%  | Faktor Keamanan |      |
|------|------------|-----------|--------|-------|--------|-----------------|------|
|      | Konstruksi | Total (S) |        |       |        | Short           | Long |
|      | (Hari)     | (m)       | (Hari) | (m)   | (Hari) | Term            | Term |
| 2    | 137        | 2.411     | 566    | 1.975 | 120    | 1.27            | 1.33 |
| 7    | 22         | 0.497     | 60     | 0.46  | 5      | 1.21            | 1.42 |

Dengan penggunaan PVD pola segitiga dan spasi 1,60 m diperoleh kesimpulan, bahwa:

### a. Zona 2.

Penggunaan Preloading+PVD sudah memberikan hasil yang dapat memenuhi batasan penurunan yang disyaratkan. Dengan penurunan total  $S_{tot} = 2,19$  m, waktu konsolidasi,  $t_{90} = 4,0$  bulan dan  $t_{rate} \leq 2$  cm/tahun = 5,4 bulan dapat dicapai selama maksimum 5,0 bulan.

### b. Zona 7.

Penggunaan Preloading+PVD sudah memberikan hasil yang dapat memenuhi batasan penurunan yang disyaratkan. Dengan penurunan total,  $S_{tot} = 0,47$  m, waktu konsolidasi,  $t_{90} = 0,8$  bulan dan  $t_{rate} \leq 2$  cm/tahun = 1,6 bulan dapat dicapai selama maksimum 5,0 bulan.

## 6.8. Angka Keamanan (SF)

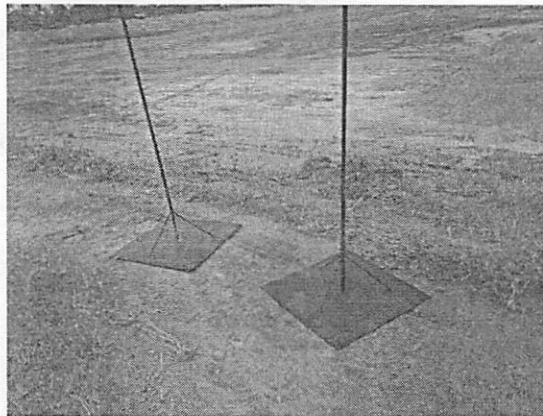
Dari Tabel 7, Penurunan Akibat Beban Total di atas, dapat dilihat bahwa syarat angka keamanan lereng dapat dipenuhi, baik pada jangka pendek (selama konstruksi,  $SF \geq 1,1$ ) maupun pada jangka panjang (masa operasional,  $SF \geq 1,3$ ).

## 6.9. Instrumentasi Lapangan

Untuk lokasi dengan preloading dilakukan pengamatan secara periodik. Pengamatan pelaksanaan preloading mengandalkan instrumentasi di lapangan. Dalam hal ini instrument yang digunakan adalah:

### a. Settlement Plate

Instrument ini akan digunakan untuk mengamati penurunan yang terjadi secara periodik. Pemasangan instrument ini dilakukan pada as dan kedua tepi badan jalan.

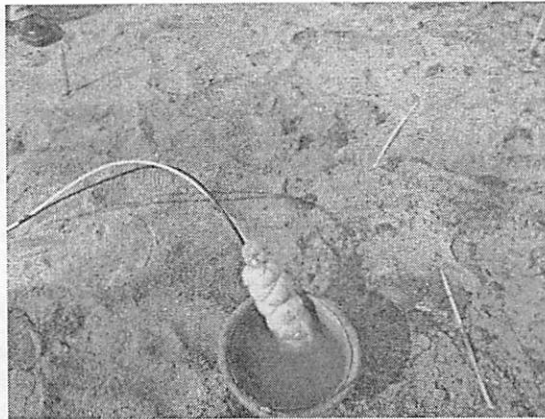


Gambar 6. Instrumen Settlement Plate

### b. Pneumatic Piezometer

Digunakan untuk mengamati perubahan tekanan air pori tanah. Alat ini dipasang pada as jalan.





Gambar 7. Instrumen Pneumatic Piezometer

**c. Water stand pipe**

Digunakan untuk mengamati posisi muka air tanah. Data ini akan digunakan untuk koreksi data yang dihasilkan oleh pneumatic piezometer, sehingga akan dipasang pada posisi yang sama dengan pneumatic piezometer.



Gambar 8. Instrumen Water Stand Pipe

**d. Inclinator**

Digunakan untuk mengukur pergerakan lateral tanah asli selama proses penimbunan. Alat ini dipasang pada tanah asli di tumit timbunan.



Gambar 9. Instrumen Inclinator

Keseluruhan pengamatan harus dilakukan pada saat kondisi lapangan tidak terganggu, yaitu pada saat pagi hari sebelum dimulai pekerjaan.

## SEMINAR NASIONAL HAKI

Tiara Convention Hall, Medan – 30 31 Mei 2014

### 6.10. Pemotongan Preloading

Pemotongan timbunan *preloading* dapat dilakukan jika seluruh syarat sebagai berikut telah terpenuhi:

- Masa konsolidasi mencapai waktu 5 bulan
- Derajat konsolidasi minimum 95%
- Rate penurunan maksimum sebesar 2 cm/tahun

Syarat-syarat tersebut akan dievaluasi berdasarkan pengamatan secara periodik terhadap instrument geoteknik yang terpasang.

### 7. RESUME PENANGANAN TANAH LUNAK

Berdasarkan uraian di atas, dapat disimpulkan penanganan tanah lunak pada Proyek Pembangunan Jalan Toll Medan-Kualanamu adalah seperti pada Tabel di bawah ini.

Tabel 8. Resume Penanganan Tanah Lunak

| Zona | Station       | Panjang | Ketebalan   | Penyelesaian Masalah                         |
|------|---------------|---------|-------------|----------------------------------------------|
|      |               | Zona    | Tanah Lunak |                                              |
|      |               | (m)     | (m)         |                                              |
| 1    | 40+000-40+350 | 350     | 2.75        | Replacement Material                         |
| 2    | 40+350-40+550 | 200     | 23.00       | State Construction, Preloading+PVD (S=1,60m) |
| 3    | 40+550-41+300 | 350     | 3.00        | Replacement Material                         |
| 4    | 41+300-41+650 | 500     | 1.00        | Replacement Material                         |
| 5    | 41+650-42+250 | 850     | 2.00        | Replacement Material                         |
| 6    | 42+250-42+550 | 300     | 5.50        | Preloading                                   |
| 7    | 42+550-42+750 | 200     | 12.00       | Preloading+PVD (S=1,60m)                     |
| 8    | 05+650-06+100 | 450     | 1.75        | Replacement Material                         |

### 8. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil evaluasi tanah lunak pada ruas jalan Tool Medan-Kualannamu, dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Tanah lunak pada lokasi proyek Jalan Toll Medan-Kualanamu ditemukan secara setempat-setempat dengan ketebalan bervariasi antara 2,00 m–23,00 m
2. Perbaikan tanah yang dilakukan adalah dengan penggantian material dan memberikan beban *preloading* bertujuan untuk memperbaiki sifat fisik dan teknis tanah asli
3. Dengan menggunakan PVD waktu konsolidasi dapat dipercepat disesuaikan dengan kebutuhan di lapangan.
4. Penanganan tanah lunak pada lokasi proyek direncanakan terdiri dari penggantian material untuk ketebalan tanah lunak lebih kecil dari 3 m, *preloading* untuk ketebalan tanah lunak 3 – 6 m, penurunan yang terjadi > 10 cm dengan waktu penurunan < 5 bulan dan *preloading*+PVD untuk ketebalan tanah lunak > 6 m dan waktu penurunan > 5 bulan.
5. Pemotongan timbunan *preloading* dapat dilakukan dengan berpedoman pada evaluasi hasil pembacaan instrument geoteknik yang terpasang.

### DAFTAR PUSTAKA

- Basu,D.,Prezzi,M.(2007), "*Effect of the Smear and Transition Zones around Prefabricated Vertical Drains Installed in a triangular Pattern on the Rate of Soil Consolidation*",International Journal of Geomechanics©ASCE, January/ February, 34-43.
- CUR.(1996), "*Building on Soft Soils*", Design and Construction of Earthstructures Both on and Into Highly Compressible Subsoils of Low Bearing Capacity, A.A. Balkema, Rotterdam,Brookfield.
- Das, B.M.(1983), "*Advanced Soil Mechanics*", McGraw-Hill Book Company
- Housmann, M.R.(1990), *Engineering Principles of Ground Modification*, McGraw-Hill International Edition.
- Holtz,R.D., Kovacs, W.D., "*An introduction to Geotechnical Engineering*", Prentice Hall, Inc.
- Irsyam, M.(1996), "*Tanah Mengembang Mekanisme dan Penanggulangan*", Departement Teknik Sipil, Institut Teknologi Bandung.
- Manual Desain Perkerasan (2103)
- National Research Council (1990), "*Guide to Earthwork Construction Transportation Research Board*", Washington,D.C
- Richard E. Landau, D. Russel, C.C., Hird, I. C. Pyrah, (1999), "*Plane Strain Modeling of Effects Associated With Vertical Drain Discussion*", "Journal Geotech Enggrg., ASCE, 96-99

**SEMINAR NASIONAL HAKI**  
Tiara Convention Hall, Medan – 30 31 Mei 2014

Stamatopoulus, A.C., Kotzias, P.C. (1985), "Soil Improvement by Preloading", John Wiley & Sons, Inc.,  
Tool Road Development Project of Medan Kualanamu, *Analisis dan design Timbunan di atas Tanah Lunak*,  
Februari 2014.

**Lampiran**

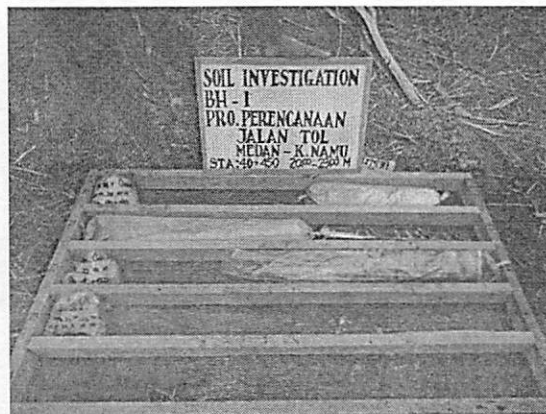
Photo Dokumentasi Lapangan



Penyelidikan Tanah pada Sta.40+450

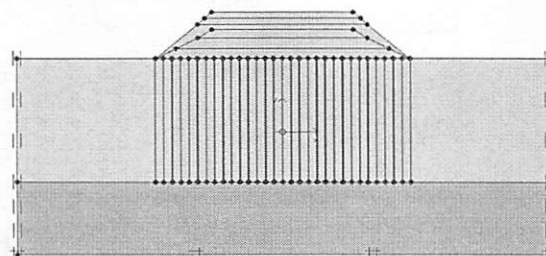


Core Box Penyelidikan Tanah pada Sta.40+450



Core Box Penyelidikan Tanah pada Sta.40+450

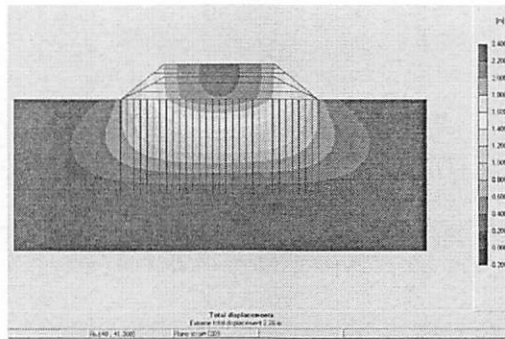
**Hasil Program Finite Element Methode**



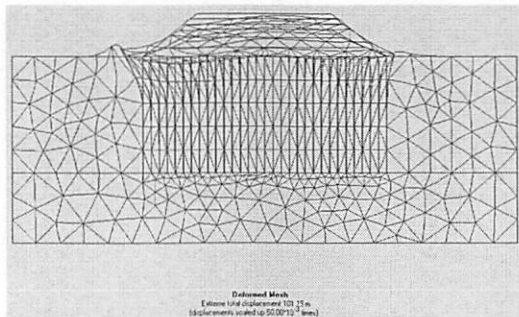
Kondisi Mesh dgn PVD di Sta.40+450 (Zona 2)



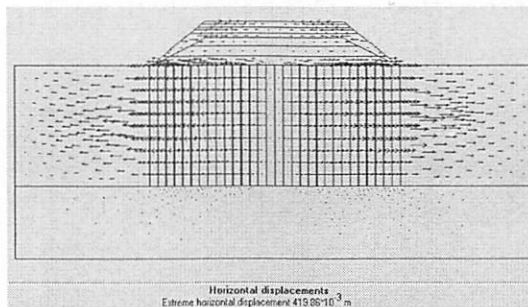
**SEMINAR NASIONAL HAKI**  
Tiara Convention Hall, Medan – 30 31 Mei 2014



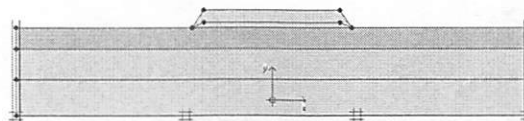
Total Displacement di Sta.40+450(Zona 2)



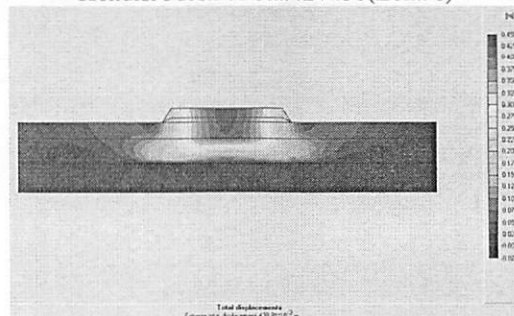
Deformasi di Sta.40+450 (Zona 2)



Deformasi Horizontal di Sta.40+450  
(Zona 2)

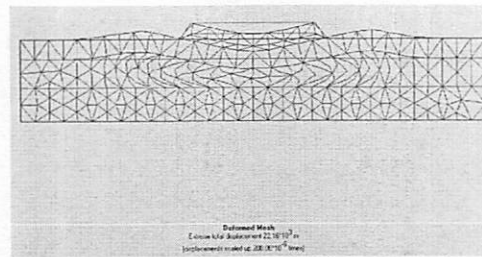


Kondisi Mesh di Sta.42+450(Zona 6)

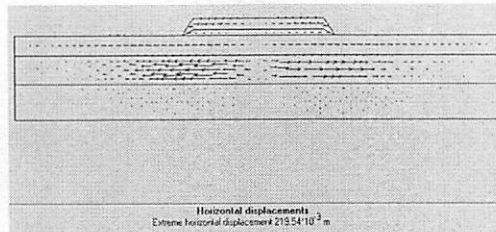


Deformasi Mesh di Sta.42+450 (Zona 6)

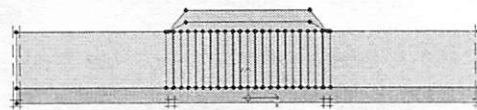
**SEMINAR NASIONAL HAKI**  
Tiara Convention Hall, Medan – 30 31 Mei 2014



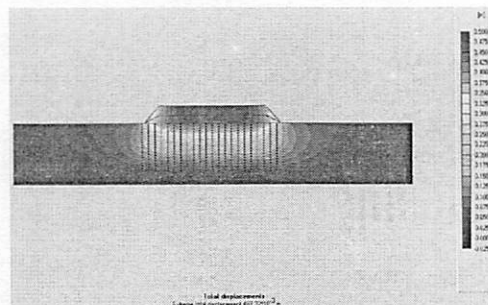
Deformasi Mesh di Sta.42+450 (Zona 6)



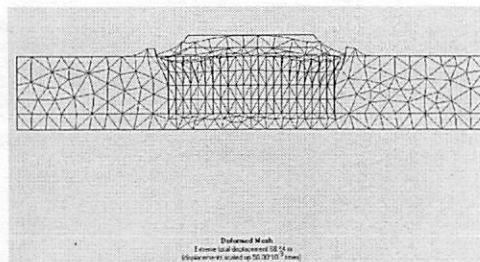
Deformasi Horizontal di Sta.42+450  
(Zona 6)



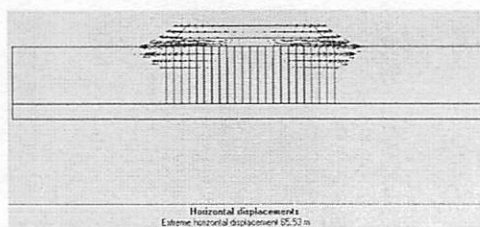
Kondisi Mesh dgn PVD di Sta.42+630 (Zona 7)



Deformasi Mesh di Sta.42+630 (Zona 7)



Deformasi Mesh di Sta.42+630 (Zona 7)



Deformasi Horizontal Mesh di Sta.42+630 (Zona 7)

## **TORSI AKTUAL PADA SRPM SIMETRIS**

Ade Faisal<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU), Jl. Mukhtar Basri 3 Medan  
Email: adefaisal@yahoo.com*

### **ABSTRAK**

Makalah ini membahas sebuah kebiasaan para perencana dalam pemodelan struktur. Struktur gedung umumnya dimodelkan dalam bentuk sistem rangka pemikul momen (SRPM) terbuka atau portal terbuka dengan lantai dianggap sebagai diafragma dan dinding pasangan bata umumnya dianggap sebagai elemen non struktural. Padahal keberadaan dinding ini menambah kekakuan lateral pada struktur tersebut. Kondisi ini juga menyebabkan terjadinya eksentrisitas antara pusat masa dan pusat kekakuan sehingga menimbulkan torsi pada lantai. Makalah ini bertujuan untuk menelusuri lebih dalam seberapa besar torsi pada lantai dapat terjadi dan mempengaruhi respon pada kondisi aktual, baik itu dalam kondisi linear maupun tidak linear.

Kata kunci: pemodelan, eksentristas, torsi, respon tidak linear

### **1. PENDAHULUAN**

Sistem rangka pemikul momen (SRPM) adalah salah satu sistem struktur utama dalam menahan gaya-gaya lateral, baik itu gaya lateral akibat gempa maupun angin. SRPM ini dikenal cukup baik dalam memberikan sistem yang daktil namun sayangnya kurang baik dalam memberikan kekakuan lateral, khususnya untuk bangunan-bangunan yang tinggi. Untuk itu SRPM sering “dikawinkan” dengan sistem lain (*dual system*) agar kekakuan lateralnya menjadi lebih baik, seperti SRPM dengan dinding struktural ataupun SRPM dengan bresing. Simpangan antar-tingkat yang relatif besar pada tingkat-tingkat bawah di SRPM akan menjadi mengecil dengan *dual system*. Pemakaian dinding struktural ataupun struktur bresing harus hati-hati karena dapat memberikan masalah baru kepada sistem secara keseluruhan yaitu masalah torsi. Torsi ini terjadi akibat posisi pusat massa tidak lagi berhimpit dengan pusat kekakuan pada bidang lantai. Dengan kata lain torsi ditimbulkan oleh adanya eksentrisitas antara pusat massa dan pusat kekakuan, sehingga gaya inersia yang terjadi di pusat massa harus ditahan oleh pusat kekakuan secara berjauhan sehingga menyebabkan rotasi pada lantai.

Dengan menganalogikan kondisi di atas, sebuah gedung bertingkat rendah yang memiliki kondisi geometri struktur horizontal yang simetris dapat juga mengalami masalah torsi pada kondisi aktualnya. Hal ini disebabkan oleh adanya persepsi dalam perencanaan yaitu selalu menganggap gedung sebagai SRPM terbuka (portal terbuka) tanpa memasukkan dinding pasangan bata (DB) sebagai elemen struktural. Pada umumnya DB dianggap sebagai elemen non struktural adalah karena kemampuannya yang dianggap kecil dalam memikul beban gravitasi dan juga beban lateral. Padahal bila DB terpasang sangat rapat dengan SRPM maka DB dapat memberikan kekakuan lateral tambahan untuk mengurangi simpangan akibat gaya lateral (Tomazevic, 1999). Makalah ini bertujuan untuk menjelaskan lebih dalam pengaruh DB pada SRPM bertingkat rendah dalam memberikan torsi pada lantai ditinjau dari respon linear maupun respon non linear.

### **2. RESPON SRPM DENGAN DINDING PENGISI TERHADAP GEMPA**

Buonopane dan White (1999) menjelaskan bahwa SRPM dengan dinding pengisi (SRPM-DP) telah ramai diteliti baik itu secara analitik, numerik maupun eksperimental di laboratorium sejak tahun 50-an. Secara eksperimental SRPM-DP berdinding penuh dan juga dengan bukaan telah diteliti, baik itu modelnya dalam bentuk skala penuh maupun model dalam bentuk yang diperkecil. Persamaan empiris untuk mengestimasi gaya lateral SRPM-DP (dinding pasangan bata) telah diperkenalkan pada era ini. Kemudian teknologi SRPM-DP terus berkembang di tahun 60-an dimana pada era ini diperkenalkan persamaan analitik untuk menentukan lendutan dan beban batas. Pada era ini juga diperkenalkan konsep strut tekan ekuivalen sebagai elemen struktur untuk dinding pengisi (DP). Elemen strut tekan ekuivalen telah ramai dipakai sampai saat ini dalam analisa struktur model SRPM-DP.

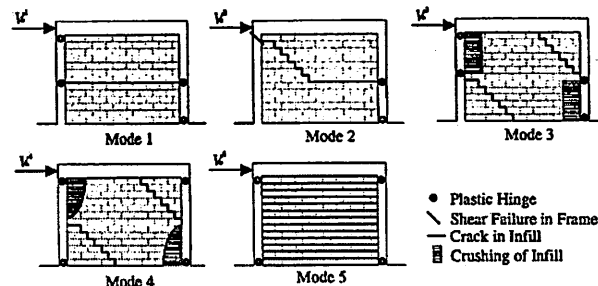
Kegagalan DP dalam merespon gaya lateral memiliki banyak ragam (Mehrabi dkk., 1996). Perilaku kegagalan ini umumnya dipengaruhi oleh gelinciran join (*joint sliding*), kehancuran bagian sudut (*corner crushing*) dan retak diagonal (*diagonal cracking*), atau kombinasi diantara ketiga faktor ini. Kegagalan ini sangat tergantung



## SEMINAR NASIONAL HAKI

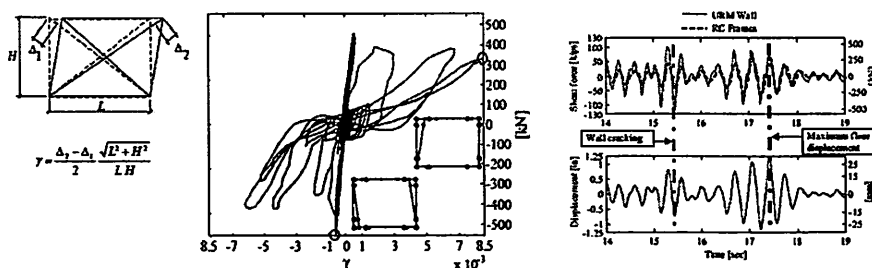
Tiara Convention Hall, Medan – 30 31 Mei 2014

kepada properti bahan (kuat tekan, kuat geser, koefisien friksi), kondisi geometri (bukaan pada bidang muka antara dinding dan SRPM, bukaan untuk jendela/pintu) dan juga kualitas pelaksanaan pembuatan SRPM-DP. Mehrabi dkk. menjelaskan ada 5 bentuk ragam kegagalan yang sering terjadi pada SRPM-DP, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. Kegagalan struktur dapat terjadi akibat DP memberikan gaya lokal yang besar kepada SRPM di tempat yang tidak direncanakan menahan gaya tersebut. Contohnya pada Mode 1 (Gambar 1) tahanan lateral yang dimiliki DP hilang setelah retak horizontal terjadi sehingga menyebabkan terjadinya momen lentur yang cukup signifikan di daerah tengah kolom. Padahal daerah tengah kolom ini di dalam desain dikenal sebagai daerah yang memiliki momen yang tidak signifikan. Akibatnya sendi plastis dapat terjadi pada daerah ini di kedua kolom yang mengapit DP, yang dikenal dengan efek kolom pendek (*short column effect*). Efek kolom pendek ini dapat juga terjadi akibat retak diagonal (Mode 3) dan kombinasi horizontal-diagonal (Mode 2). Kondisi ini dapat menyebabkan ketahanan geser lateral struktur secara global menjadi melemah secara drastis sehingga meningkatkan gaya geser dan kemudian menyebabkan keruntuhan geser datang lebih awal (Mode 2).



Gambar 1. Ragam kegagalan struktur SRPM-DP yang sering terjadi (Mehrabi dkk., 1996).

Hashemi dan Mosalam (2006) menjelaskan perilaku kehancuran SRPM-DP ketika mendapat getaran gempa maximum atau *maximum considered earthquake* (MCE = probabilitas terlampaui 2% di dalam umur layan 50 tahun) yang dapat terjadi di USA. Hashemi dan Mosalam menjelaskan bahwa kekakuan SRPM-DP mengalami penurunan drastis ketika gempa MCE terjadi yang diakibatkan oleh retak yang terjadi pada DP dan hilangnya rekatan antara DP dan SRPM. Gambar 2 menjelaskan grafik histeresis gaya geser dan deformasi geser yang terjadi pada DP dan juga grafik riwayat waktu gaya geser dan simpangan yang terjadi pada SRPM dan DP hasil studi Hashemi dan Mosalam. Studi ini menyimpulkan bahwa DP memiliki peran penting di dalam SRPM-DP seperti meningkatkan kekakuan lateral struktur menjadi 3 kali lipat dan juga meningkatkan penyebaran energi. Peningkatan kekakuan ini menyebabkan perioda getaran alami SRPM-DP menjadi 50% lebih pendek dibanding SRPM tanpa DP. Artinya *seismic demand* aktual akan sangat berbeda bila SRPM-DP dimodelkan sebagai SRPM biasa.



Gambar 2. Respon SRPM-DP terhadap getaran gempa secara eksperimental (Hashemi dan Mosalam, 2006).

Walaupun DP menambah kekakuan lateral struktur, namun pada proses perencanaan umumnya DP pasangan bata tetap tidak dianggap sebagai elemen struktur. DP dianggap hanya memberi berat kepada elemen balok dan keberadaannya dipakai sebagai indikator kinerja global. Sebagai indikator kinerja untuk *collapse prevention*, ASCE 7-10 mensyaratkan pembatasan simpangan antar lantai (*story drift*) sebesar 2,0 % - 2,5% untuk SRPM yang berfungsi sebagai bangunan normal bila mengalami 2/3 gaya akibat gempa 2500 tahun. Pada SNI 1726:2012 batasan ini boleh dilampaui sampai mencapai 125%. Pada kondisi seperti ini DP dianggap akan mengalami kerusakan parah atau bahkan rubuh. Dalam proses evaluasi dan rehabilitasi struktur, DP dianggap sebagai elemen penahan gaya vertikal, (ASCE 41-06). Dokumen ini membatasi simpangan antar lantai sebesar 4% untuk kinerja *collapse prevention* dan 2% untuk *life safety*, dimana kondisi DP akan mengalami rusak sampai dengan rubuh.

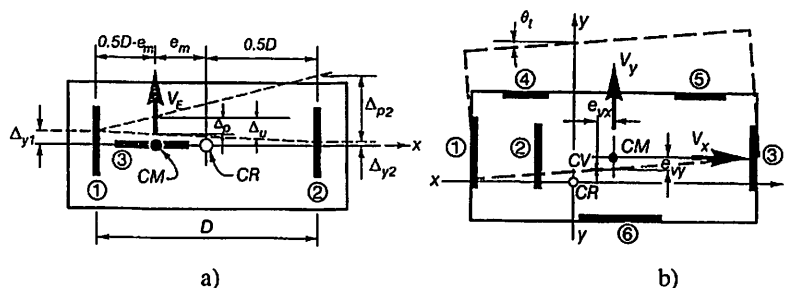
### 3. TORSI PADA BIDANG LANTAI STRUKTUR GEDUNG

Torsi pada bidang lantai struktur gedung umumnya dikaitkan kepada isu ketidakberaturan (*assymmetric*) bangunan secara horizontal akibat tidak berhimpitnya letak pusat massa dengan pusat kekakuan dan pusat kekuatan (gaya). Karena struktur direncanakan secara daktail maka letak pusat kekuatan menjadi isu penting juga di dalam masalah torsi. Hal ini disebabkan karena respon tidak elastis sebuah sistem SRPM, akibat terjadinya sendi plastis, dapat menimbulkan efek torsi pada lantai sehingga memperbesar peluang kegagalan struktur (Paulay, 1997). Torsi juga dikaitkan kepada isu ketidakpastian (*uncertainties*) dalam perencanaan seperti ketidakpastian eksentrisitas antara letak pusat massa, kekakuan, dan kekuatan. Ketidakpastian getaran juga dapat menimbulkan torsi seperti yang diakibatkan oleh getaran rotasi pada perletakan struktur yang mengakibatkan terjadinya getaran torsi. Torsi akibat ketidakpastian ini, disebut *accidental torsion* di dalam peraturan bangunan tahan gempa dan harus ditinjau bila analisa gaya lateral gempa menggunakan metode statik ekuivalen.

Di dalam sistem yang tidak simetris (tidak beraturan), bagian pada denah lantai dibagi kepada 2 bagian berdasarkan perilaku deformasinya yaitu sisi fleksibel dan sisi kaku. Sisi fleksibel adalah sisi yang terjauh dengan pusat kekakuan dan sisi ini akan mengalami deformasi lateral yang lebih besar dibanding dengan sisi kaku. Pada sistem yang tidak elastis, nilai daktilitas yang terjadi pada kedua sisi ini bisa berbeda 2 kali lipat sehingga tingkat kerusakan yang akan terjadi bila terkena gempa juga akan berbeda drastis (Stathopoulos dan Anagnostopoulos, 2005).

Paulay (1996) membedakan 2 jenis perilaku sistem yang memiliki torsi ketika menerima gaya gempa yaitu sistem yang torsinya terkekang (*torsionally restraint system*, disingkat TRS) dan sistem yang torsinya tidak terkekang (*torsionally unrestrained system* disingkat TURS). Kedua jenis ini dikaitkan kepada ketahanan elemen penahan gaya lateral setelah mengalami leleh dalam menahan gaya torsi. Jenis perilaku ini berbeda dengan penggolongan klasik yang diberikan untuk sistem torsi, yaitu sistem yang torsinya seimbang (*torsionally balanced system* atau TBS) dan sistem yang torsinya tidak seimbang (*torsionally unbalanced system* atau TUBS). TBS adalah sistem struktur yang simetris atau sistem yang memiliki letak pusat massa dan pusat kekakuan berhimpitan, sedangkan TUBS adalah struktur tidak simetris karena memiliki eksentrisitas antara letak pusat masa dan pusat kekakuan.

Ilustrasi TURS dan TRS menggunakan dinding struktural sebagai elemen penahan gaya lateral ditunjukkan pada Gambar 3. Sistem dikatakan TURS bila elemen (penahan gaya lateral) yang bekerja pada arah berlawanan dengan arah gaya akibat gempa,  $V_E$ , (elemen 3 pada Gambar 3a) tidak memiliki ketahanan terhadap torsi, setelah elemen lain yang searah gaya  $V_E$  (elemen 1 dan 2 pada Gambar 3a) mengalami leleh. Sistem dikatakan TRS bila ada elemen (penahan gaya lateral), dengan eksentrisitas ke pusat massa, yang bekerja pada arah yang berlawanan dengan arah gaya gempa memiliki ketahanan terhadap gaya lateral dan torsi (Gambar 3b). Pembagian ini diperkenalkan dalam masalah torsi adalah karena ada parameter lain selain kekakuan yang dapat mempengaruhi putaran pada lantai, yaitu parameter ketahanan atau gaya. Artinya bila gaya lateral nominal elemen, yang bekerja menahan gaya akibat gempa, tidak terdistribusi dengan merata (ada eksentrisitas terhadap letak pusat massa), maka gaya-gaya ini dapat mempengaruhi torsi pada lantai.



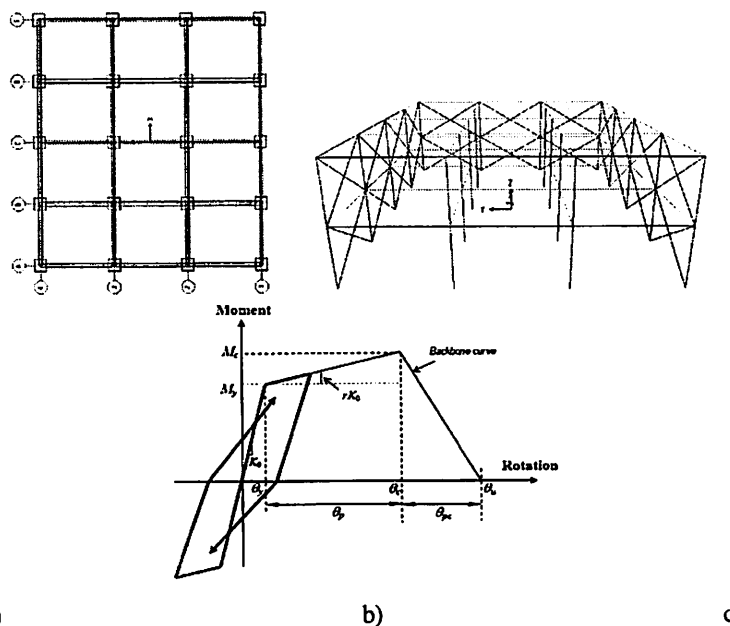
Gambar 3. Pembagian sistem yang memiliki torsi menurut Paulay (1996): a) TURS, dan b) TRS.

### 4. TORSI AKTUAL PADA SRPM SIMETRIS (TBS)

Sistem rangka pemikul momen (SRPM) yang simetris disebut juga sistem yang memiliki torsi seimbang (TBS). SRPM simetris sering diasumsikan pada banyak struktur yang memiliki rangkaian portal (balok/kolom) yang geometrinya tersusun secara merata. Sehingga letak titik berat rangkaian portal SRPM dapat dengan mudah diidentifikasi posisinya di tengah-tengah bidang denah struktur. Ini artinya struktur diasumsikan memiliki letak pusat kekakuan yang sama dengan letak pusat massa.

**SEMINAR NASIONAL HAKI**  
Tiara Convention Hall, Medan – 30 31 Mei 2014

Letak DP umumnya berada pada garis perimeter terluar, tidak termasuk pintu masuk. DP juga umumnya dipakai untuk dinding kamar mandi (toilet). Untuk melihat pengaruh DP pasangan bata terhadap torsi aktual pada SRPM simetris maka sebuah struktur SRPM 2 lantai dan 3 pintu dimodelkan seperti pada Gambar 4. Gedung ini direncanakan sebagai perkantoran untuk pelayanan bank yang terletak di zona gempa tinggi.



Gambar 4. Model yang dianalisa: a) denah model SRPM, b) model SRPM 2 lantai dalam 3D dengan DP memakai elemen bresing tekan; c) Kurva *backbone* untuk model material nonlinear.

DP pasangan bata dianggap terletak pada bagian perimeter terluar kecuali bagian depan (berbentuk U) dan dimodelkan sebagai strut diagonal ekuivalen dengan metode FEMA 356. Tinggi ekuivalen penampang DP pasangan bata,  $a$ , dihitung dengan Pers. 1.

$$a = 0,175(\lambda_t h_{col})^{-0,4} r_{inf} \quad (1)$$

dimana

$$\lambda_t = \sqrt[4]{\frac{E_{inf} t_{inf} \sin(2\theta)}{4E_{fr} I_{col} h_{inf}}} \quad (2)$$

$\lambda_t$  = faktor untuk menghitung tinggi ekuivalen DP,  $h_{col}$  = tinggi kolom diantara *centerline* balok,  $h_{inf}$  = tinggi DP,  $E_{inf}$  = modulus elastisitas material DP,  $E_{fr}$  = modulus elastisitas material SRPM,  $I_{col}$  = momen inersia penampang kolom,  $r_{inf}$  = panjang diagonal DP,  $t_{inf}$  = tebal DP,  $\theta$  = sudut yang dibentuk oleh balok/kolom SRPM yang diisi oleh DP.

Gaya aksial tekan *ultimate* (strut diagonal ekuivalen) DP pasangan bata dihitung memakai Pers. 3 (Saneinejad dan Hobs, 1995) dengan asumsi bahwa keruntuhan geser pada DP akan dominan.

$$P_H = \frac{\gamma v_{inf} l'}{(1 - 0,45 \tan \theta') \tan \theta} < \frac{0,83 \gamma_{inf} l'}{\cos \theta} \quad (3)$$

dimana  $\gamma$  = faktor beban,  $v$  = tegangan geser dasar mortar penyambung (*bed joints*) yaitu 0,25 untuk DP bata tanpa mortar atau 0,41 MPa untuk DP pasangan bata dengan mortar, namun pada makalah ini memakai 0,39 MPa berdasarkan hasil studi Aryanto (2008);  $l'$  = panjang DP,  $\tan \theta' = (1 - \alpha_c)(h_{inf}/l')$ ; dan  $\alpha_c$  = persentase panjang bidang kontak DP ke kolom yang nilainya tidak lebih dari 0,4. Kekuatan material DP didasarkan kepada hasil pengujian kuat tekan pasangan bata merah hasil studi Aryanto (2008) yaitu sebesar 3,54 MPa dengan modulus elastisitas sebesar 1000 MPa. Tebal pasangan bata disesuaikan dengan pengujian yang dilakukan Aryanto yaitu sebesar 10 cm. Luas penampang ekuivalen DP adalah  $A_d = 0,074$  m, sehingga tinggi ekuivalen DP adalah 0,74 m. Gaya tekan *ultimate* yang dimiliki oleh DP pasangan bata,  $P_H$ , adalah 481 kN. Strut



**SEMINAR NASIONAL HAKI**  
Tiara Convention Hall, Medan – 30 31 Mei 2014

diagonal ekivalen DP ini kemudian dimodelkan sebagai elemen aksial tekan nonlinear pada program analisa struktur.

Nilai-nilai yang dipakai untuk pemodelan linear dan nonlinear SRPM (portal) terbuka 2 tingkat dan SRPM 3 tingkat dengan DP pasangan bata diuraikan di dalam Tabel 1. Elemen balok dan kolom dimodelkan sebagai balok Giberson untuk pemodelan elemen nonlinear. Properti material nonlinear ditunjukkan pada Tabel 1 dengan kapasitas rotasi pasca leleh (rotasi plastis) sebesar  $\theta_p = 0,04$ , kapasitas rotasi pasca kondisi plastis  $\theta_{pc} = 0,06$  dan rotasi leleh dihitung dengan  $\theta_y = M_y/K_\theta$ . Nilai rasio antara momen maksimum dengan momen leleh adalah  $M_c/M_y = 1.13$  (Gambar 4c) di bagian tumpuan. Kekakuan elemen dihitung dengan  $K_\theta = 6EI/L$  dan momen inersia efektif diasumsikan 40% dari momen inersia biasa  $I_{ef} = 0,4 I$ . Modulus elastisitas SPRM yang dipakai adalah  $E = 25743$  MPa. Strukur SRPM diasumsikan terletak di atas tanah sedang di zona gempa tinggi, dalam studi ini dipilih Kota Banda Aceh. SNI 1726:2012 digunakan dalam penentuan spectra desain dan batasan perioda diabaikan dalam studi ini.

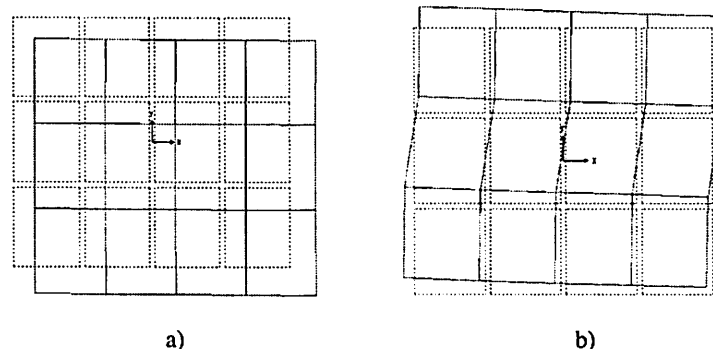
Tabel 1. Properti elemen balok dan kolom untuk pemodelan SRPM.

| Elemen     | Modulus Elastisitas Beton, $E$ (kN/m <sup>2</sup> ) | Kekakuan Elemen, $K_\theta$ (kN/m) | Panjang elemen, $L$ (m) | Momen Inersia $I$ (m <sup>4</sup> ) | Momen Inersia Efektif, $I_{ef}$ (m <sup>4</sup> ) | Momen Leleh, $M_y$ (kN.m) | Rotasi leleh, $\theta_y$ |
|------------|-----------------------------------------------------|------------------------------------|-------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------------------|---------------------------|--------------------------|
| Kolom Lt 1 | 25742960                                            | 94131.0                            | 3.5                     | 0.00213                             | 0.00085                                           | 326,9                     | 0.00347                  |
| Balok Lt.2 | 25742960                                            | 49426.5                            | 5,0                     | 0.00160                             | 0.00064                                           | 303,8                     | 0.00615                  |
| Kolom Lt.2 | 25742960                                            | 94131.0                            | 3.5                     | 0.00213                             | 0.00085                                           | 250,3                     | 0.00266                  |
| Balok Atap | 25742960                                            | 49426.5                            | 5,0                     | 0.00160                             | 0.00064                                           | 215,0                     | 0.00435                  |

Analisa ragam getar menunjukkan bahwa perioda alami SRPM simetris adalah  $T_1 = 0,49$  detik dan  $T_1 = 0,46$  detik. Perioda alami SRPM dengan DP adalah  $T_1 = 0,41$  detik dan  $T_2 = 0,29$  detik. Tampak arah ragam getar (mode) 2 menjadi kaku secara drastis akibat diberikannya elemen strut untuk DP. Hasil ini dituangkan ke dalam Tabel 2 beserta hasil analisa linear dengan metode respon spektrum. Hasil simpangan dari analisa linear pada Tabel 2 menunjukkan terjadinya perubahan simpangan yang sangat signifikan dengan adanya DP yaitu berkurang mencapai 80% pada sumbu kuat (sumbu-x), namun hanya berkurang 60% pada sumbu-y. Rotasi lantai akibat adanya DP justru meningkat 45% sehingga bersama translasi yang ada mengakibatkan gaya torsi pada bidang lantai menjadi signifikan (Gambar 5). Hasil analisa elastis ini menunjukkan dua nilai yang berbeda. Simpangan yang lebih kecil adalah pengaruh dari tambahan kekakuan lateral akibat DP pasangan bata, sedangkan rotasi bidang lantai terjadi lebih besar adalah dikarenakan letak pusat kekakuan berpindah lebih jauh (eksentrisitas  $e_x = 1,6$  m) dari letak pusat masa akibat susunan DP yang tidak seimbang pada sumbu-y. Besarnya deformasi torsi aktual elastis disini boleh jadi melebihi deformasi torsi *accidental*, bila susunan DP lebih ekstrim dan sangat tidak beraturan.

Tabel 2. Perioda alami model dan simpangan SRPM hasil analisa linear.

| Model         | $T_1$ (det) | $T_2$ (det) | $e_x$ (m) | $\Delta_x$ (m) | $\Delta_y$ (m) | Rz      |
|---------------|-------------|-------------|-----------|----------------|----------------|---------|
| SRPM Simetris | 0.49        | 0.46        | -0,0      | 0.1360         | 0.1440         | 0.00072 |
| SRPM dgn DP   | 0.41        | 0.29        | 1,6       | 0.0272         | 0.0584         | 0.00160 |

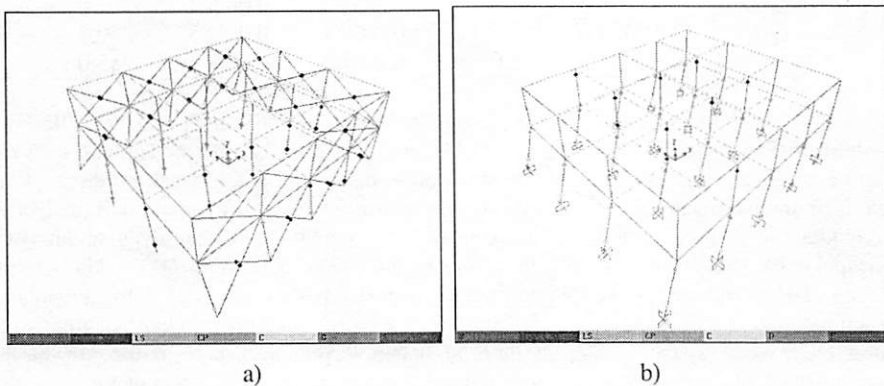


Gambar 5. Deformasi bidang model hasil analisa linear: a) model SRPM, b) model SRPM dengan DP.

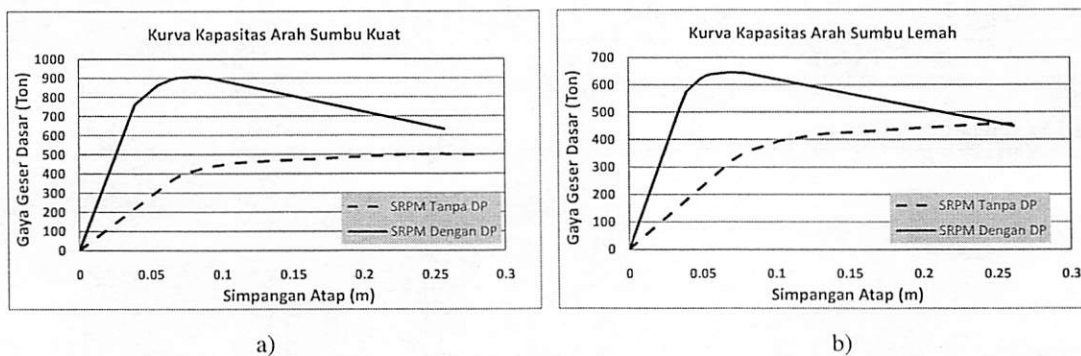
**Tiara Convention Hall, Medan – 30 31 Mei 2014**

Perilaku respon tidak linear SRPM dengan DP berdasarkan hasil analisa beban dorong (*pushover*) menunjukkan bahwa rangka pemikul momen pada sisi yang memiliki DP akan mengalami sendi plastis terlebih dahulu seketika setelah DP hancur (Gambar 6a). Sedangkan pada sisi lain yang memiliki DP hanya 2 kolom yang mengalami sendi plastis. Perilaku SRPM tanpa DP mengalami sendi plastis yang terjadi secara merata di seluruh kolom di lantai bawah (Gambar 6b). Kondisi ini menggambarkan adanya torsi aktual akibat kekakuan lateral yang tidak terdistribusi secara merata pada SRPM. Ketidakmerataan distribusi kekakuan lateral ini disebabkan oleh keberadaan DP pasangan bata. Kontribusi kekakuan DP juga ditunjukkan melalui kurva kapasitas pada Gambar 7 dimana tampak terjadi perbedaan kekakuan lateral antara SRPM tanpa DP dan SRPM dengan DP (diwakili oleh kemiringan garis linear sebelum titik leleh). Kapasitas tahanan terhadap gaya lateral juga tampak berbeda pada kedua arah sumbu bidang lantai akibat adanya DP yang tidak merata.

Kondisi ini menunjukkan bahwa sistem yang dianggap simetris dalam pemodelan pada kondisi aktualnya dapat memiliki perilaku torsi pada lantai akibat adanya DP pasangan bata. Torsi aktual walaupun ada memang tidak mendominasi sampai mempengaruhi ragam getar (mode) pertama. Namun demikian perilaku daktail sistem dapat berbicara lain. Sistem dapat menjadi dominan torsi dikarenakan satu sisi DP yang mengalami sendi plastis terlebih dahulu dibanding sisi lain yang juga memiliki DP. Sehingga membuat rangka pemikul momen yang ada pada sisi yang sama mengalami gaya lateral yang lebih besar dibanding rangka pada sisi lain dan kemudian menyebabkan sendi plastis terlebih dahulu. Kondisi yang sama juga dilaporkan pada studi-studi yang sejenis (Paulay, 1997; Stathopoulos dan Anagnostopoulos, 2005).



Gambar 6. Sendi plastis pada SRPM tanpa dan dengan DP berdasarkan analisa beban dorong: a) sendi plastis pada arah sumbu kuat (sumbu-x), dan b) sendi plastis pada arah sumbu lemah.



Gambar 7. Respon nonlinear SRPM tanpa dan dengan DP berdasarkan analisa beban dorong: a) kapasitas pada arah sumbu kuat (sumbu-x), dan b) kapasitas pada arah sumbu lemah.

## 5. KESIMPULAN

Makalah ini menjelaskan secara singkat perilaku SRPM dengan DP dan kemungkinan torsi aktual yang dapat ditimbulkannya. Beberapa kesimpulan dapat dibuat seperti di bawah ini:

**SEMINAR NASIONAL HAKI**  
Tiara Convention Hall, Medan – 30 31 Mei 2014

1. Pemasangan DP pasangan bata yang tidak merata pada SRPM yang dianggap simetris dapat menyebabkan kekakuan yang tidak merata pula pada sistem sehingga kemudian menimbulkan torsi pada bidang lantai pada kondisi aktual.
2. Torsi aktual yang terjadi pada bidang lantai pada kondisi elastis, walaupun secara persentase dapat dikatakan signifikan, namun belum dominan sampai mempengaruhi ragam getar pertama.
3. Torsi aktual kondisi elastis boleh jadi lebih besar dari torsi *accidental*, ataupun lebih kecil. Perlu penyelidikan lebih lanjut tentang hal ini.
4. Torsi aktual yang terjadi pada SRPM yang dianggap simetris pada kondisi sendi plastis bisa jadi lebih parah dibanding torsi aktual pada kondisi elastis.

**DAFTAR PUSTAKA**

- Aryanto, A. (2008). *Kinerja portal beton bertulang dengan dinding pengisi bata ringan terhadap beban gempa*. Tesis Magister, Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Buonopane, S.G. dan White, R.N. (1999). *Seismic evaluation of a masonry infilled reinforced concrete frame by pseudodynamic testing*, Technical Report MCEER-99-0001, University at Buffalo, State University of New York.
- Hashemi, A., dan Mosalam, K.M. (2006). Shake-table experiment on reinforced concrete structure containing masonry infill wall. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 35(14), 1827-1852.
- Mehrabi, A. B., Benson Shing, P., Schuller, M. P., Noland, J. L. (1996). Experimental evaluation of masonry-infilled RC frames. *J. Structural engineering*, ASCE, 122(3), 228-237.
- Paulay, T. (1996). seismic design for torsional response of ductile buildings, *Bulletin of the New Zealand Society for Earthquake Engineering*, 29(3), 178-198.
- Paulay, T. (1997). Are existing seismic torsion provision achieving the design aims. *Earthquake Spectra*, 13(2), 259-279.
- Stathopoulos, K.G. dan Anagnostopoulos, S.A. (2005). Inelastic torsion of multistorey buildings under earthquake excitations. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 34, 1449-1465.
- Saneinejad, A., dan Hobbs, B. (1995). Inelastic design of infilled frames. *Journal of Structural Engineering*, 121(4), 634-650.
- Tomazevic, M. (1999). *Earthquake-resistant design of masonry building*. Imperial College Press, London.

**POTENSI PENAMBAHAN *BOTTOM ASH* PADA TANAH LEMPUNG TERHADAP  
PENINGKATAN NILAI KUAT TEKAN**

Raden Hendra Ariyapijat, ST, MT<sup>1)</sup> Aazokhi Waruwu, ST, MT<sup>2)</sup>  
Surta Ria Nurliana Panjaitan, ST, MT<sup>3)</sup>

Staf Pengajar Jurusan Teknik Sipil, Institut Teknologi Medan, Jalan Gedung Arca No. 52, Telp (061) 7363771,  
Fax (061) 7347954, Medan, 20217

<sup>1)</sup>e-mail: [r.ariyapijati@itm.ac.id](mailto:r.ariyapijati@itm.ac.id), <sup>2)</sup>e-mail: [azokhiw@yahoo.com](mailto:azokhiw@yahoo.com),

<sup>3)</sup>e-mail: [surta.panjaitan@yahoo.com](mailto:surta.panjaitan@yahoo.com)

**ABSTRAK**

Tanah lempung pada umumnya mempunyai sifat yang kurang menguntungkan bagi konstruksi bangunan sipil, sebab mempunyai kadar air yang tinggi, kemampuan dukung rendah, sifat kembang susut yang tinggi dan penurunan yang besar. Untuk itu perlu dilakukan suatu usaha perbaikan tanah agar dapat memperbaiki sifat-sifat tanah lempung. Namun pemilihan bahan stabilisasi juga perlu dipertimbangkan ketersediaan bahan di lokasi konstruksi dan kontribusi bahan stabilisasi dalam memperbaiki sifat tanah lempung. Berdasarkan uraian di atas, maka sangatlah perlu untuk dilakukan kajian tentang pemanfaatan limbah *bottom ash* untuk ditambahkan pada tanah lempung, sehingga dapat meningkatkan baik nilai kuat tekan maupun nilai daya dukung tanah lempung. Metode yang digunakan dalam memperbaiki keadaan tanah lempung adalah stabilisasi. Stabilisasi tanah umumnya berkaitan dengan bahan campuran yang digunakan. limbah *bottom ash* sebagai bahan stabilisasi merupakan alternatif dan bahan perbandingan dalam penggunaan bahan stabilisasi tanah lempung dengan variasi penambahan limbah *bottom ash* yang digunakan adalah 0%, 2%, 4%, 6%, 8%, 10%, 12%, dan 15%. Untuk pencampuran keduanya masing-masing pengujian Kuat Tekan untuk menentukan daya dukung tanah. Pemanfaatan *bottom ash* sebagai bahan perbaikan tanah lempung, berpotensi memperbaiki sifat-sifat tanah lempung, baik sifat fisiknya maupun sifat mekanis, termasuk nilai kuat tekan yang semakin meningkat, terutama pada penambahan *bottom ash* 6 % sampai dengan 10%.

Kata kunci : lempung, limbah *bottom ash*, kuat tekan, daya dukung.

**1. PENDAHULUAN**

Lempung yang mempunyai sifat pengembangan tinggi sangat banyak terdapat di alam, pengembangan lempung ini terjadi ketika kadar air bertambah dari nilai referensinya, dan penyusutan terjadi ketika kadar air berada di bawah nilai referensinya sampai kepada batas susut. Biasanya suatu tanah lempung dapat diperkirakan akan mempunyai perubahan isi yang besar (mengembang), apabila Plasticity Index  $\geq 20$  lempung demikian disebut lempung ekspansif. Daya dukung tanah yang rendah sangat tidak menguntungkan bila tanah lempung digunakan sebagai tanah dasar untuk menopang suatu bangunan, untuk itu perlu dilakukan usaha-usaha untuk meningkatkan daya dukung tanah lempung.

Menurut Desiani (2003) mengidentifikasi komposisi kimia dan komposisi mineral pada pengujian di Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Mineral Bandung bahwa kandungan utama dari deposit tanah lempung P.Rimau terdiri dari silika ( 59,44%) dan alumina (16,06%) yang memungkinkan terjadinya sementasi.

Pada suatu lokasi konstruksi, tanah mempunyai peranan yang sangat penting karena tanah adalah pondasi pendukung suatu bangunan atau bahan konstruksi dari bangunan itu sendiri seperti tanggul, jalan raya, dan yang lainnya. Kondisi tanah di setiap tempat sangatlah berbeda karena tanah secara alamiah merupakan material yang sangat rumit dan sangat bervariasi. Apabila suatu tanah yang terdapat di lapangan bersifat sangat lepas atau sangat lunak sehingga tidak sesuai untuk suatu pembangunan maka tanah tersebut sebaiknya distabilisasi.

Stabilisasi tanah lempung telah banyak dilakukan dengan menggunakan bahan semen, kapur, bahan kimia oleh Desiani A., (2003), Anagnostopoulos C.A. dan Chatziangelou M, (2008), abu batu bara oleh Mallikarjuna K dan Rama Subba G.V, (2008). Abu cangkang sawit merupakan salah satu limbah dari pengolahan sawit diharapkan berpotensi untuk memperbaiki sifat-sifat tanah lempung.



## SEMINAR NASIONAL HAKI

Tiara Convention Hall, Medan – 30 31 Mei 2014

Salah satu metode yang digunakan dalam memperbaiki keadaan tanah lempung adalah stabilisasi. Stabilisasi tanah umumnya berkaitan dengan bahan campuran yang digunakan. *bottom ash* dan kapur sebagai bahan stabilisasi merupakan alternatif dan bahan perbandingan dalam penggunaan bahan stabilisasi tanah lempung dengan variasi penambahan *bottom ash* yang digunakan adalah 0%, 2%, 4%, 6%, 8%, 10%, 12%, dan 15%.

### 2. METODE PENELITIAN

Penelitian dilaksanakan dengan menggunakan contoh tanah lempung yang diambil dari daerah Langkat Sumatera Utara. Sedangkan Abu Dasar (*Bottom Ash*) hasil limbah padat pembakaran batu bara yang banyak ditemukan pada PLTU dan KIM.

Pengujian dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah Institut Teknologi Medan dengan tahapan penelitian meliputi:

- Batas Konsistensi (*atterberg limit*)
- Berat jenis (*specific gravity*)
- Analisa saringan (*seive analysis*)
- Uji pemadatan (*compaction test*)

Pengujian lanjutan dilakukan dalam campuran tanah lempung dengan 0%, 2%, 4%, 6%, 8%, 10%, 12%, dan 15% limbah *bottom ash*. Baik untuk *bottom ash*, lempung maupun untuk pencampuran keduanya masing-masing pengujian Kuat tekan bebas untuk menentukan daya dukung tanah.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil pengujian tanah asli yang telah dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah Institut Teknologi Medan, maka sifat-sifat fisis dari tanah lempung yang mana hasilnya disajikan pada Tabel 1. Karakteristik tanah lempung Besitang Langkat terdiri dari batas – batas *Atterberg* (batas cair, batas plastis, plasticity index, batas susut), berat volume, pemadatan, dan nilai kuat tekan bebas. Berdasarkan klasifikasi sistem AASHTO tanah ini tergolong A-7-6, sedangkan sistem USCS diklasifikasikan ke dalam golongan CL.

Tabel 1. Katarakteristik Tanah Asli

| Pemeriksaan                  | Hasil                    |
|------------------------------|--------------------------|
| Berat jenis                  | 2,655                    |
| Batas cair (LL)              | 40,23 %                  |
| Batas plastis (PL)           | 20,78 %                  |
| Batas susut (SL)             | 18,09 %                  |
| Plasticity index (PI)        | 19,45 %                  |
| Berat Volume                 | 1,871 gr/cm <sup>3</sup> |
| Lolos Saringan No. 200       | 51,9 %                   |
| Berat volume kering maksimum | 1,55 gr/cm <sup>3</sup>  |
| Kadar Air Optimum            | 23,63%                   |
| Nilai kuat tekan bebas       | 0,146 kg/cm <sup>2</sup> |

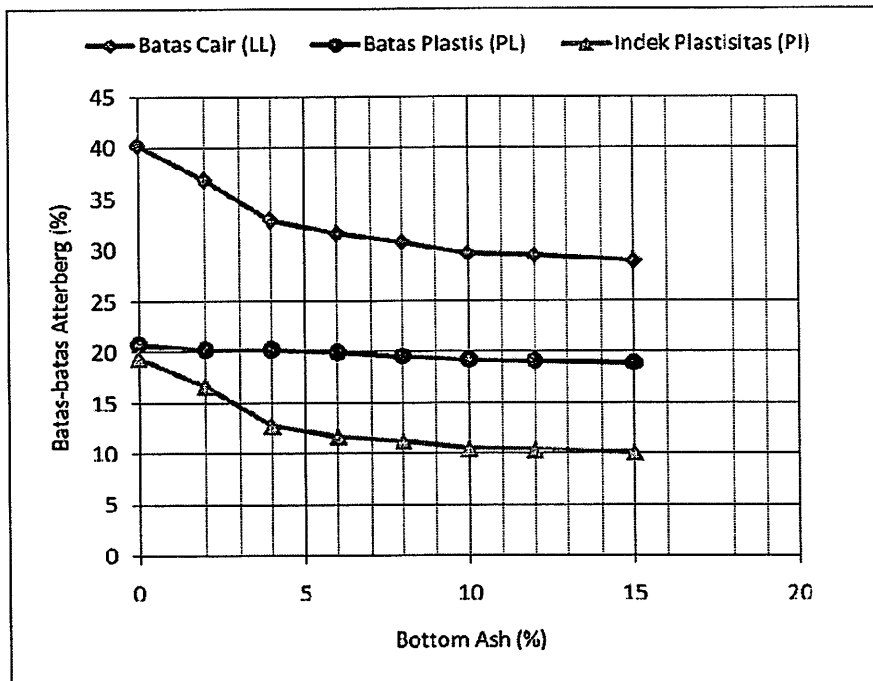
#### 3.1. Perubahan Nilai Batas-batas Atterberg Akibat Penambahan Bottom Ash

Perbaikan sifat-sifat tanah lempung diperoleh setelah pemanfaatan *bottom ash*. Dari pengujian Atterberg didapatkan bahwa nilai batas cair, batas plastis, dan indek plastisitas tanah lempung semakin menurun setelah penambahan *bottom ash* (Gambar 1).

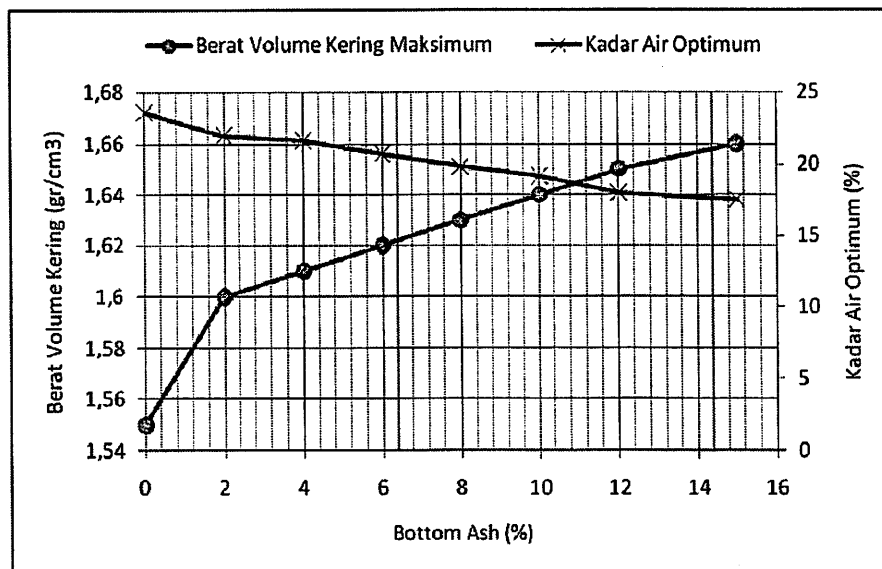
#### 3.2. Hasil Pengujian Pemadatan (*Compaction*)

Nilai berat volume kering dan kadar air optimum dari masing-masing penambahan *bottom ash* didapatkan dari pengujian compaction. Hasil pengujian compaction dapat dilihat pada Gambar 2. Nilai berat volume kering didapatkan semakin meningkat setiap penambahan *bottom ash*. Peningkatkan berat volume kering yang terus terjadi pada penambahan *bottom ash*. Sedangkan nilai kadar air optimum semakin menuruna sejalan dengan penambahan *bottom ash*. Ini berarti bahwa jumlah air yang diperlukan semakin sedikit untuk mendapatkan kepadatan maksimum pada setiap penambahan *bottom ash*.

**SEMINAR NASIONAL HAKI**  
Tiara Convention Hall, Medan – 30 31 Mei 2014



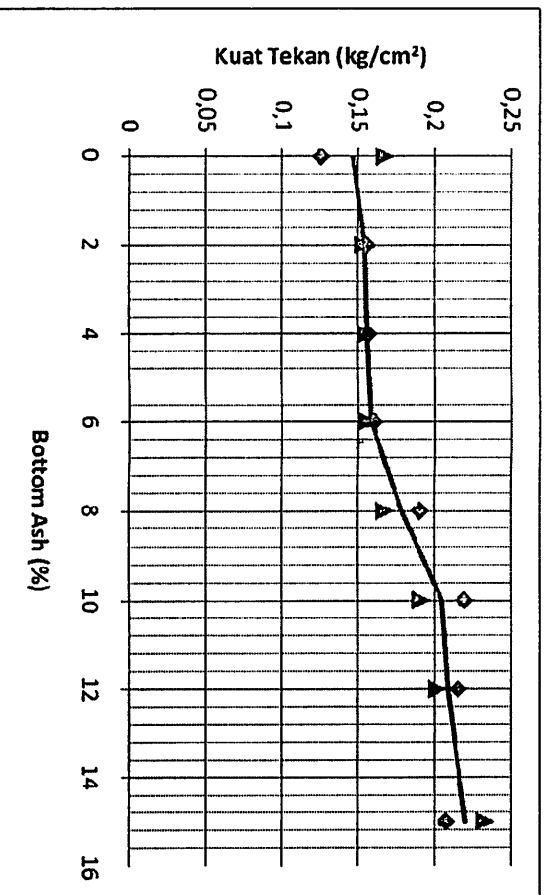
**Gambar 1.** Nilai batas-batas konsistensi tanah



**Gambar 2.** Nilai berat volume kering dan kadar air optimum pada setiap penambahan *Bottom Ash*

### 3.3. Pengaruh Penambahan Bottom Ash Terhadap Nilai Kuat Tekan

Hasil pengujian kuat tekan bebas didapat hasil pengujian kuat tekan bebas pada tanah lempung dan hubungan yang terjadi yaitu hubungan antara tegangan dan regangan, hubungan kuat tekan bebas. Hasil penggabungan grafik antara tegangan ( $\text{kg/cm}^2$ ) dan regangan (%) didapatkan nilai kuat tekan ( $q_u$ ) untuk setiap penambahan bottom ash, dapat dilihat pada Gambar 3. Nilai kuat tekan rata-rata dari dua kali pengujian terlihat semakin meningkat sejalan dengan peningkatan bottom ash. Peningkatan yang cukup baik terjadi setelah penambahan bottom ash di atas 6 %. Dan setelah penambahan 10% bottom ash, peningkatan nilai kuat tekan tanah tidak menunjukkan peningkatan yang berarti. Dengan demikian potensi peningkatan nilai kuat tekan tanah lempung terjadi pada penambahan 6% sampai dengan 10% bottom ash.



Gambar 3. Pengaruh Penambahan Bottom Ash Terhadap Nilai Kuat Tekan

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Pemanfaatan *bottom ash* dapat meningkatkan memperbaiki sifat-sifat dari pada tanah lempung, hal ini terlihat dari penurunan batas cair, batas plastis dan indeks plastisitas tanah lempung.
2. Nilai berat volume kering didapatkan semakin meningkat setiap penambahan *bottom ash*. Peningkatan berat volume kering yang terus terjadi pada penambahan *bottom ash*. Sedangkan nilai kadar air optimum semakin menurun sejalan dengan penambahan *bottom ash*.
3. Peningkatan nilai kuat tekan yang cukup baik terjadi setelah penambahan *bottom ash* 6 % sampai 10 %. Dan setelah penambahan 10% *bottom ash*, peningkatan nilai kuat tekan tanah tidak menunjukkan peningkatan yang berarti..

#### DAFTAR PUSTAKA

- Ali, M.S., and Koranne, S.S., (2011), Performance Analysis of Expansive Soil Treated With Stone Dust and Fly Ash, *EJGE*, Vol. 16 : 973-982.
- Ameta N. K., Purohit D.G. M., Wayal A. S., (2007), "Characteristics, Problems and Remedies of Expansive Soils of Rajasthan, India", *Electronic Journal of Geotechnical Engineering (EJGE)*.
- Anagnostopoulos C.A. dan Chatzangelou M, (2008), "Compressive Strength of Cement Stabilized Soils. A New Statistical Model", *Electronic Journal of Geotechnical Engineering (EJGE)*.
- K. Mallikarjuna Rao and G. V. Rama Subba Rao, (2008), "Influence of Fly Ash on Compaction Characteristics of Expansive Soils Using 22 Factorial Experimentation", *Electronic Journal of Geotechnical Engineering (EJGE)*.
- N. K. Ameta, D.G. M. Purohit, A. S. Wayal, (2008), "Characteristics, Problems and Remedies of Expansive Soils of Rajasthan, India", *Electronic Journal of Geotechnical Engineering (EJGE)*.
- Panjaitan, S, (2012), Pengaruh Waktu Pemasaman Terhadap Nilai Kohesi Tanah Mengembang yang Disabilisasi dengan Abu Cangkang Sawit, *ASP* ISSN : ISSN : 2301-718X, Volume 1, Nomor 1 Mei 2012.
- Panjaitan, S, (2012), Stabilitas Tanah Lempung Perbaikan dengan Cornice Adhesive, *Jurnal Rancang Sipil* ISSN : 2303-2553, Volume 1, No. 1, Des 2012.
- Pradip D. Jadhao and P. B. Nagarnaik (2008), "Influence of Polypropylene Fibers on Engineering Behavior of Soil-Fly Ash Mixtures for Road Construction", *Electronic Journal of Geotechnical Engineering (EJGE)*.
- Waruwo A., (2010), Pemanfaatan abu batubara dalam meningkatkan Daya dukung tanah lempung, *Seminar Nasional Biro Publikasi dan Dokumentasi ITM*, hal 222-227, Feb 2010.
- Widiarti, et.al., (2008), Studi Model *Embankment* Tanah Dengan Campuran Kapur-Abu Sekam Padi Dan Serat Karung Plastik, *Dinamika Teknik Sipil*, Volume 8, Nomor 2, Juli 2008 : 118 – 126.
- Wigayah, q., (2006), pengaruh kadar kapur, waktu perawatan dan perendaman terhadap Kuat dukung tanah lempung, *dinamika teknik sipil*, Volume 6, Nomor 1, Januari 2006 : 16 – 24.

**PEMANFAATAN GRID BAMBU SEBAGAI PERKUATAN FONDASI DANGKAL  
DI ATAS TANAH GAMBUT**

Aazokhi Waruwu, ST, MT<sup>1)</sup> dan Agus Ronaldo Situmeang<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Staf Pengajar Jurusan Teknik Sipil - Institut Teknologi Medan  
Korespondensi, HP : 081362098080, e-mail : [azokhiw@yahoo.com](mailto:azokhiw@yahoo.com)  
<sup>2)</sup>Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil - Institut Teknologi Medan

**ABSTRAK**

Pondasi di atas tanah gambut akan mengalami banyak masalah di antaranya daya dukung tanah yang rendah dan penurunan yang besar karena tanah gambut memiliki sifat kadar air tinggi, pemampatan besar, kuat geser rendah, kestabilan dalam arah lateral, dan *overall sliding*. Perbaikan daya dukung tanah gambut dapat dilakukan dengan pemanfaatan bambu sebagai perkuatan. Perkuatan bambu dapat diterapkan sebagai bahan alternatif yang ekonomis pada tanah gambut di bawah dasar pondasi, sehingga diharapkan dapat meningkatkan daya dukung pondasi dangkal di atas tanah gambut. Pemodelan yang dilakukan di laboratorium dengan memakai media tanah gambut yang dimasukkan dalam bak ukuran 90 x 120 x 90 cm<sup>3</sup>, di bawah model pondasi akan dilapis dengan pasir dan grid bambu. Tanah gambut yang telah dibersihkan dan dimasukkan ke dalam bak pengujian, setelah diberi air hingga jenuh kemudian dipadatkan setiap 15 cm dengan alat pemadat sampai elevasi 90 cm. Model perkuatan yaitu grid bambu sesuai konfigurasi yang direncanakan diletakkan pada kedalaman yang telah ditentukan. Plat pondasi berbentuk bujur sangkar dengan sisi 10 cm, diletakkan di atas lapisan perkuatan yang telah ditimbun tersebut kemudian dibebani menggunakan penambahan beban secara bertahap. Hubungan pembacaan penurunan dan beban akan menghasilkan pemampatan yang terjadi semakin kecil akibat pemanfaatan grid bambu dan beban yang dapat dipikul juga semakin tinggi sejalan dengan peningkatan jumlah lapis perkuatan grid bambu. Penambahan lapisan pasir memberikan pengaruh yang cukup baik dalam meningkatkan daya dukung dan mengurangi pemampatan. Peningkatan daya dukung dan pengurangan pemampatan yang cukup baik terjadi pada saat pemanfaatan grid bambu sebagai perkuatan pondasi di atas tanah gambut.

Kata kunci : gambut, bambu, daya dukung, fondasi dangkal.

## 1. PENDAHULUAN

Pada umumnya di Indonesia apabila ingin membangun suatu konstruksi bangunan 1-2 lantai di atas tanah gambut digunakan cerucuk dengan diameter 10-20 cm dan panjang 3-4 meter. Namun, material cerucuk sendiri makin lama makin susah didapat, maka diperlukan alternatif yang lain. Alternatif lain yang banyak diteliti adalah dengan stabilisasi tanah gambut dengan semen portland (Ilyas T., dkk, 2008), namun oleh Hermawan dkk (2009) menyatakan bahwa stabilisasi kimiawi menggunakan semen, pasir, dan bitumen adalah tidak layak pada tanah gambut yang cukup tebal atau lebih dari 1 meter. Sedangkan Huat et. al. (2011) melakukan perbaikan tanah gambut yang tidak terganggu dengan menggunakan kolom semen, Nugroho (2011) menggunakan kombinasi geotekstil dan grid bambu untuk meningkatkan daya dukung pondasi dangkal pada tanah gambut. Akan tetapi dengan pertimbangan biaya yang tidak sedikit, maka metode-metode ini, tidak dapat diterapkan oleh masyarakat dengan kemampuan ekonomi yang rendah, alternatif lain adalah dengan penggunaan grid bambu sebagai perkuatan.

Bambu yang dapat diperoleh dengan mudah, batangnya kuat, ulet, lurus, mudah dipergunakan, tumbuh di seluruh Indonesia dan tumbuh secara alami maupun yang dibudidayakan. Diharapkan dari penempatan perkuatan grid bambu tersebut bidang runtuh tanah akan terpotong oleh kombinasi perkuatan grid bambu sehingga daya dukung tanah akan meningkat.

Huang dan Menqs (Nugroho, 2011) melakukan evaluasi pada tanah yang diberi perkuatan di bawah pondasi dengan suatu mekanisme keruntuhan yang dikemukakan Schlosser et.al (Nugroho, 2011). Berdasarkan mekanisme keruntuhannya, keduanya memberikan efek saling menguatkan. Kedalaman pondasi dan lebar-slab memberikan efek, dan dapat memberikan kontribusi untuk meningkatkan kapasitas daya dukung. Konsep dasar mekanisme keruntuhan ini adalah kapasitas daya dukung dari pondasi (lebar: B) pada pondasi yang diberikan



## SEMINAR NASIONAL HAKI

Tiara Convention Hall, Medan – 30 31 Mei 2014

perkuatan adalah sepadan dengan lebar pondasi (lebar:  $B+DB$ ) dengan kedalaman dari  $d$  (total kedalaman dari perkuatan) yang tidak diberi perkuatan.

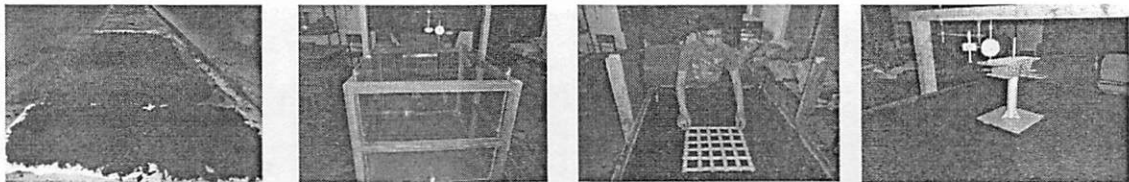
Nugroho (2011), menyatakan penambahan grid bambu dan geotekstil dapat meningkatkan daya dukung pondasi di atas tanah gambut yang ditinjau dari nilai daya dukung yang dihasilkan sehingga perkuatan grid bambu dan geotekstil dapat dijadikan salah satu alternatif bahan perkuatan tanah. Secara umum penambahan lapisan perkuatan berupa geotekstil dan grid bambu memberikan kontribusi yang signifikan untuk meningkatkan daya dukung pondasi.

### 2. METODE PENELITIAN

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Mekanika Tanah Institut Teknologi Medan dengan membebani suatu model pondasi yang mempunyai penampang bujur sangkar berukuran  $10 \times 10 \text{ cm}^2$ , tebal 1 cm terbuat dari besi diletakkan di tengah-tengah permukaan suatu lapisan tanah gambut. Tanah gambut diambil dari Desa Selingsing, Kecamatan Medang Kampai, Dumai, Provinsi Riau. Tanah gambut yang telah dibersihkan (*sortir*), dicampur merata terlebih dahulu dan diberi air hingga jenuh dan kadar air mendekati 200% kemudian dipadatkan setiap 15 cm dengan alat pemadat sampai elevasi 90 cm, kemudian dimasukkan kedalam kotak model ukuran lebar 90 cm, panjang 120, dan tinggi 90 cm, dimana di bagian bawahnya telah diberi lapisan pasir padat setebal 10 cm. Pondasi di atas gambut siap untuk uji pembebanan kemudian dimodelkan sesuai ketentuan yang telah ditetapkan.

Pengujian dibagi menjadi tiga (3) tahap yaitu pengujian pendahuluan, instalasi alat dan pengujian utama. Uji pendahuluan meliputi pengujian sifat fisik dan sifat mekanik tanah gambut. Setelah instalasi peralatan, tanah gambut dan pasir ke dalam bak/kotak pengujian, dilanjutkan dengan penjenuhan dan pemberian beban awal (*preloading*) sebesar berat penyangga model beban yang digunakan. Pada tahap ketiga dilakukan setup pengujian utama yaitu pengujian pembebanan pada model pondasi di atas tanah gambut, dengan pasir, dan perkuatan bambu (Gambar 1).

Model perkuatan yaitu grid bambu dengan sisi 5 cm sesuai konfigurasi yang direncanakan diletakkan pada kedalaman yang telah ditentukan. Bagian atas perkuatan diisi dengan pasir yang berfungsi sebagai tanah timbun untuk mempermudah dalam proses pengujian. Plat pondasi berbentuk bujur sangkar dengan sisi 10 cm diletakkan di atas lapisan perkuatan yang telah ditimbun tersebut kemudian dibebani menggunakan penambahan beban secara bertahap.



Gambar 1. Serangkaian pengujian di laboratorium.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1. Sifat Fisik Dan Karakteristik Tanah Gambut Yang Diteliti

Karakteristik tanah gambut yang diambil dari Desa Selingsing, Kecamatan Medang Kampai, Dumai, Provinsi Riau dapat dilihat dari Tabel 1.

Tabel 1. Hasil uji sifat fisis dan mekanis tanah

| No  | Sifat tanah gambut                 | Satuan           | Nilai  |
|-----|------------------------------------|------------------|--------|
| (1) | (2)                                | (3)              | (4)    |
| 1.  | Kadar Air ( $w$ )                  | (%)              | 100,47 |
| 2.  | Berat Jenis ( $G_s$ )              | --               | 1,25   |
| 3.  | Angka Pori ( $e$ )                 | --               | 1,46   |
| 4.  | Berat volume basah ( $\gamma_b$ )  | $\text{gr/cm}^3$ | 1,11   |
| 5.  | Berat volume kering ( $\gamma_d$ ) | $\text{gr/cm}^3$ | 0,76   |
| 6.  | Kohesi ( $c$ )                     | $\text{kg/cm}^2$ | 0.097  |

**SEMINAR NASIONAL HAKI**  
Tiara Convention Hall, Medan – 30 31 Mei 2014

| No  | Sifat tanah gambut     | Satuan | Nilai  |
|-----|------------------------|--------|--------|
| (1) | (2)                    | (3)    | (4)    |
| 7.  | Sudut Geser ( $\phi$ ) | °      | 26,51  |
| 8.  | Kadar Abu              | %      | 13,628 |
| 9   | Kadar Organik          | %      | 86,372 |
| 10. | Kadar Serat            | %      | 25,322 |

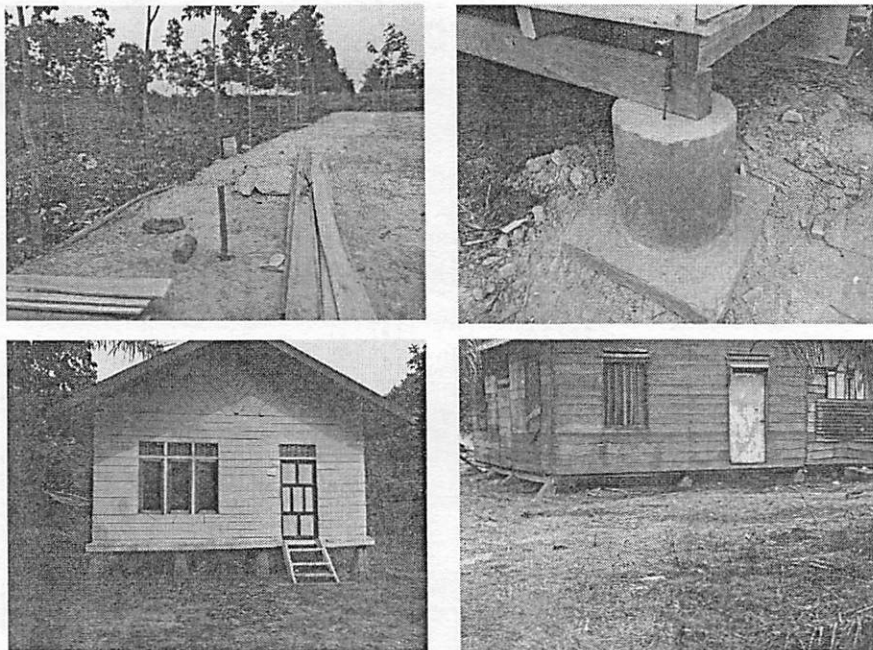
Berdasarkan Tabel 1 tanah gambut pada Desa Selingsing termasuk dalam kategori sebagai berikut *Slightly absorbent*, yaitu tanah gambut yang dapat menampung air < 300%. *Medium ash-peat*, yaitu tanah gambut dengan kadar abu antara 5% dan 15%. Tanah gambut dengan kadar organik tinggi dengan kadar organik > 75 %, dan Gambut berserat (*Fibrous peat*), yaitu tanah gambut dengan kadar serat > 20 %.

### 3.2. Kondisi Fondasi Bangunan Tanpa Perkuatan

Sistem pelaksanaan fondasi dangkal di lokasi pengambilan sampel tanah gambut, pada umumnya menggunakan pondasi dari beton dengan ukuran yang relatif kecil yang diletakan di atas tanah gambut yang terlebih dahulu ditimbun dengan tanah yang lebih baik. Daya dukung pondasi ini terlihat cukup baik pada saat-saat awal pelaksanaan konstruksi, akan tetapi tidak tahan dalam jangka waktu yang lama.

Berdasarkan pengamatan di lapangan (Gambar 2), ditemukan bahwa masyarakat di Desa Selingsing ini, menggunakan jenis dan tipe pondasi yang hampir sama jika membangun bangunan rumahnya. Pada awalnya, pondasi ini cukup mampu memikul beban bangunan rumah. Akan tetapi seiring dengan bertambahnya waktu, sesuai dengan sifatnya tanah gambut memiliki pemampatan yang cukup besar jika memikul beban di atasnya, dan daya dukungnya cukup rendah sehingga tidak mampu memikul beban. Seperti terlihat di lokasi, banyak bangunan yang mengalami kegagalan akibat pondasi yang tidak mampu memikul beban bangunannya, sementara bangunannya masih cukup baik. Hal ini dapat disebabkan karena tidak ada perkuatan pada tanah gambut sehingga tanah dan pondasi tidak mampu memikul beban bangunan, dan mengakibatkan terjadinya penurunan dan pergeseran secara horizontal.

Pemanfaatan bambu sebagai perkuatan di atas tanah gambut dan di bawah pondasi merupakan alternatif yang dapat digunakan pada pembangunan rumah penduduk di lokasi tanah gambut. Bahan bambu dapat dengan mudah didapatkan, dan pelaksanaanya sangat sederhana. Sehingga bangunan-bangunan rumah ini mampu bertahan lama dan aman untuk ditempati.



Gambar 2. Pelaksanaan Fondasi Dangkal Tanpa Perkuatan

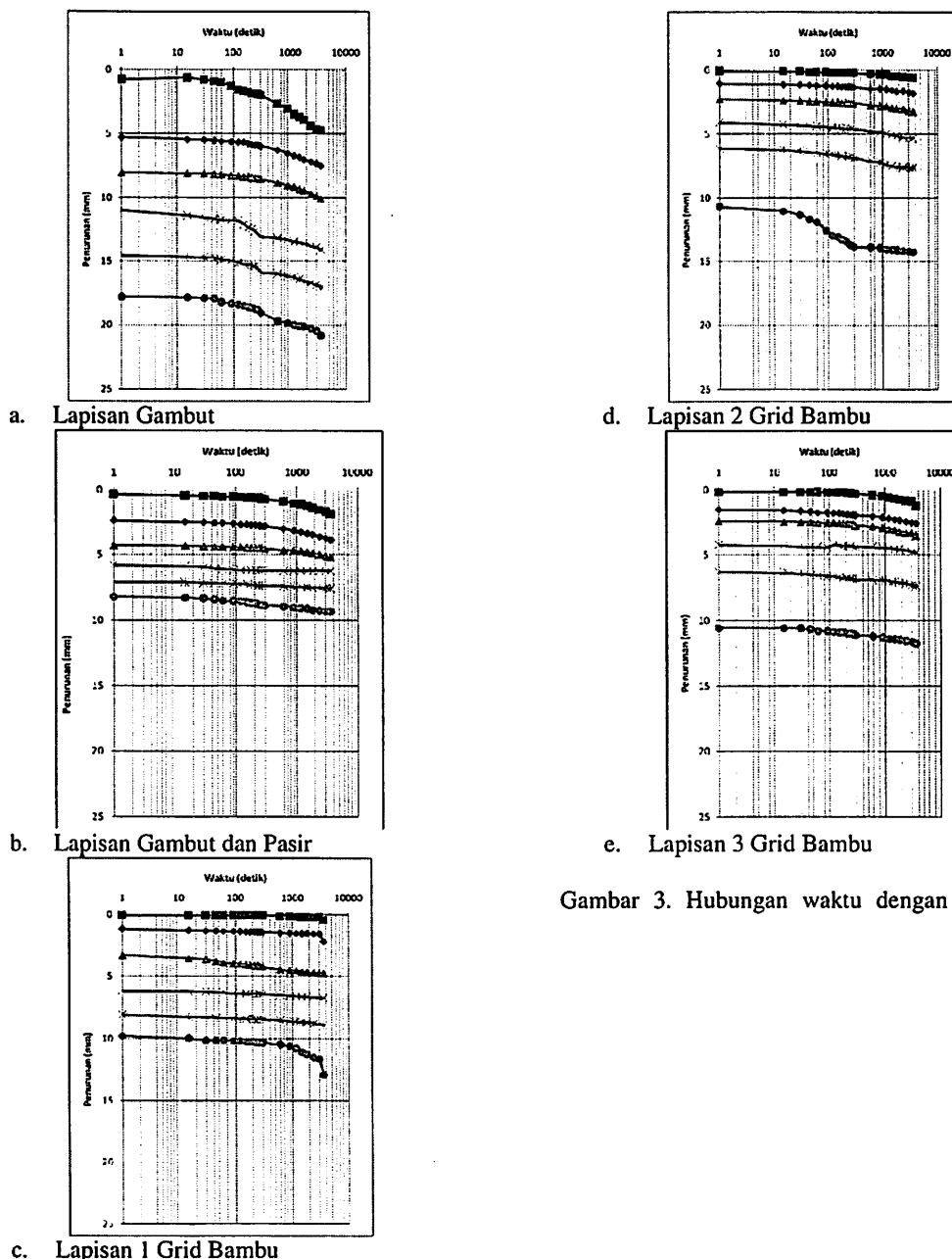
## SEMINAR NASIONAL HAKI

Tiara Convention Hall, Medan – 30 31 Mei 2014

### 3.3. Manfaat Perkuatan dalam Mengurangi Pemampatan Tanah Gambut

Pemampatan yang terjadi pada tanah gambut terlihat cukup tinggi pada uji pembebanan (hubungan waktu dan penurunan pada Gambar 3a). Pembebanan dengan sistem bertahap dengan beban 0,83 kg, 1,65 kg, 2,48 kg, 4,13 kg, 5,78 kg, dan 7,43 kg memperlihatkan pemampatan yang cukup besar pada tanah gambut di bawah pondasi telapak. Pemampatan sedikit berkurang jika tanah gambut dilapisi dengan pasir pada beban yang sama (Gambar 3b).

Pemanfaatan bambu sebagai perkuatan di bawah pondasi telapak memberikan pengaruh yang cukup baik terhadap pemampatan tanah gambut. Tanah gambut dapat memikul beban yang semakin tinggi ketika tanah gambut diperkuat dengan grid bambu. Beban yang diterapkan 1,65 kg, 4,95 kg, 8,25 kg, 13,98 kg, 20,58 kg, dan 33,78 kg. Jika dibandingkan dengan beban pada lapisan gambut dan lapisan gambut dengan pasir, maka pemampatan yang terjadi semakin sedikit akibat pemanfaatan grid bambu dan beban yang dapat dipikul juga semakin tinggi sejalan dengan peningkatan jumlah lapis perkuatan grid bambu.

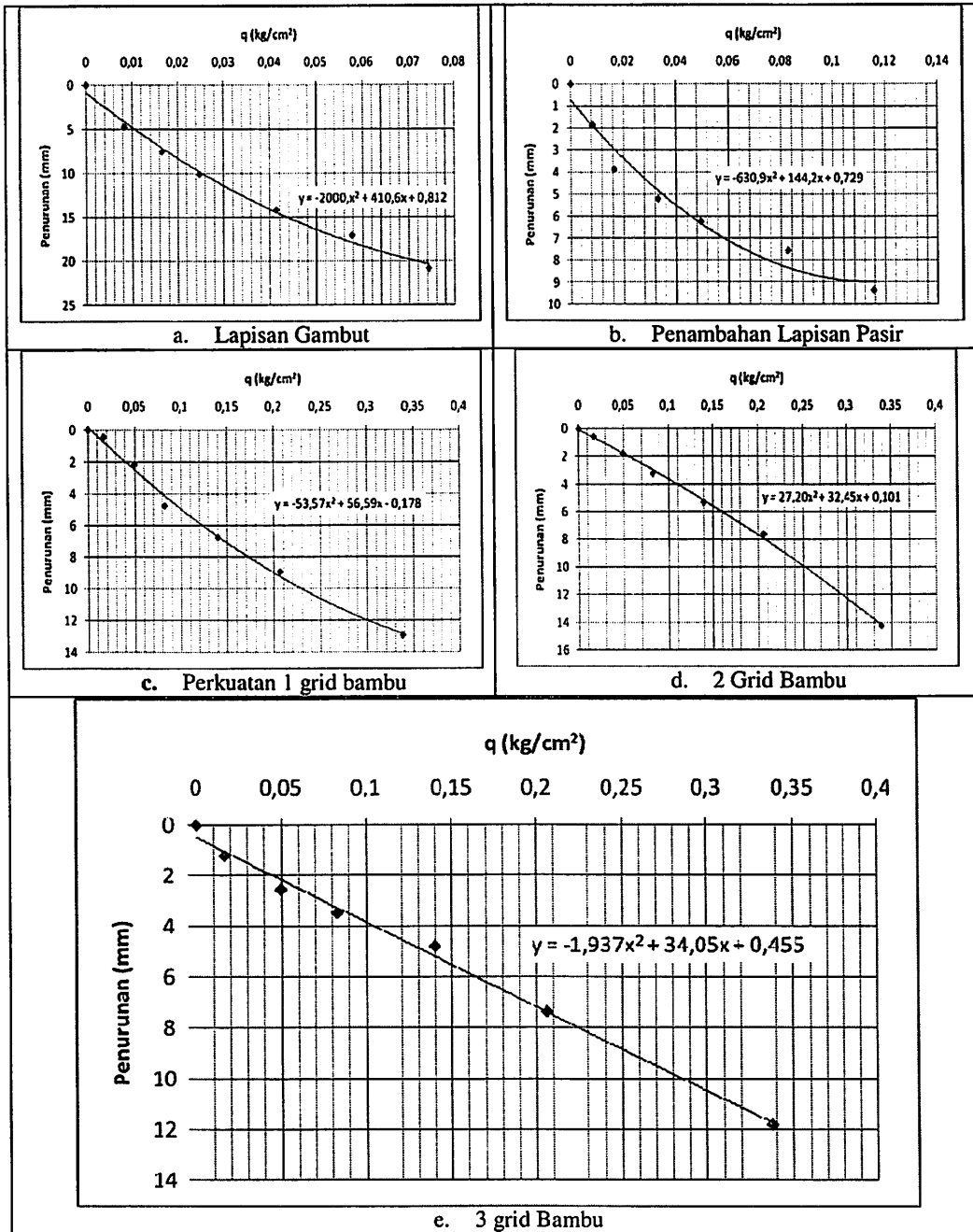


Gambar 3. Hubungan waktu dengan penurunan.

**SEMINAR NASIONAL HAKI**  
Tiara Convention Hall, Medan – 30 31 Mei 2014

**3.4. Perilaku Daya Dukung Fondasi Dangkal Akibat Pemanfaatan Perkuatan Bambu**

Pengujian model pondasi dangkal di atas tanah gambut meperlihatkan nilai daya dukung tanah ( $q$ ,  $\text{kg/cm}^2$ ) pada fondasi dangkal untuk setiap model pengujian pada pondasi bujur sangkar ukuran 10 cm (Gambar 4).



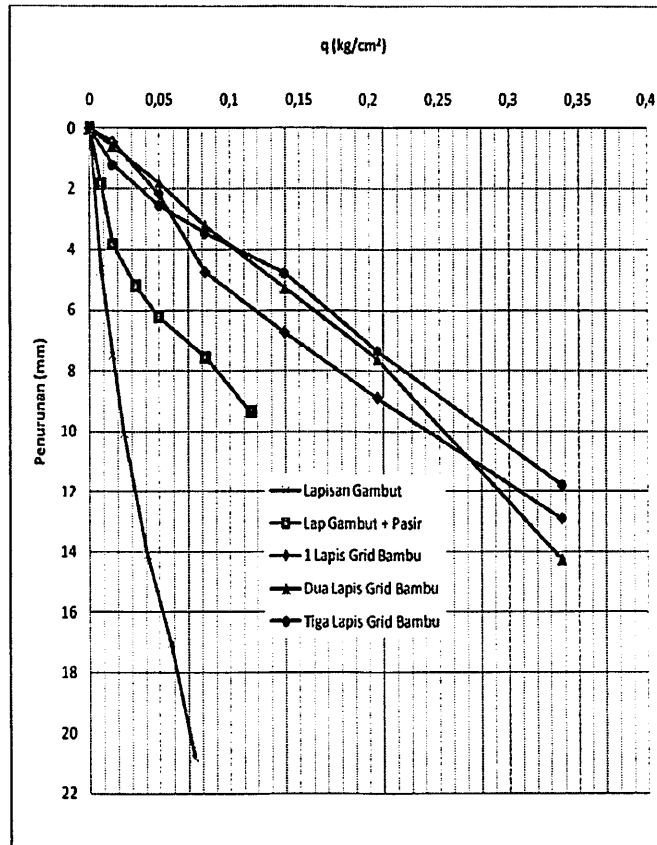
Gambar 4. Perilaku daya dukung

Gambar 4. Menunjukkan peningkatan daya dukung pondasi di atas tanah gambut setelah pemanfaatan grid bambu. Daya dukung meningkat dan penurunan semakin pada setiap model yang diuji. Jika dilihat pada Gambar 5, didapatkan perilaku daya dukung pondasi pada hubungan  $q$  dan penurunan. Pada kondisi awal terlihat daya dukung pondasi di atas tanah gambut tanpa perkuatan dan tanpa lapisan pasir, relatif cukup kecil dengan penurunan yang cukup besar. Penambahan lapisan pasir memberikan pengaruh yang cukup baik dalam meningkatkan daya dukung dan mengurangi pemampatan.



**SEMINAR NASIONAL HAKI**  
Tiara Convention Hall, Medan – 30 31 Mei 2014

Peningkatan daya dukung dan pengurangan pemampatan yang cukup baik terjadi pada saat pemanfaatan grid bambu sebagai perkuatan pondasi di atas tanah gambut. Baik untuk satu lapis perkuatan, dua lapis, maupun pemanfaatan sampai tiga lapis memberikan pengaruh yang cukup baik dalam peningkatan daya dukung tanah gambut.



Gambar 5. Peningkatan daya dukung pondasi.

#### 4. KESIMPULAN

Hasil penelitian dapat disimpulkan sebagai berikut :

- a. Pemanfaatan bambu sebagai perkuatan di bawah pondasi telapak memberikan pengaruh yang cukup baik terhadap pemampatan tanah gambut. Tanah gambut dapat memikul beban yang semakin tinggi ketika tanah gambut diperkuat dengan grid bambu. Jika dibandingkan dengan beban pada lapisan gambut dan lapisan gambut dengan pasir, maka pemampatan yang terjadi semakin kecil akibat pemanfaatan grid bambu dan beban yang dapat dipikul juga semakin tinggi sejalan dengan peningkatan jumlah lapis perkuatan grid bambu.
- b. Pada kondisi awal terlihat daya dukung pondasi di atas tanah gambut tanpa perkuatan dan tanpa lapisan pasir, relatif cukup kecil dengan penurunan yang cukup besar. Penambahan lapisan pasir memberikan pengaruh yang cukup baik dalam meningkatkan daya dukung dan mengurangi pemampatan. Peningkatan daya dukung dan pengurangan pemampatan yang cukup baik terjadi pada saat pemanfaatan grid bambu sebagai perkuatan pondasi di atas tanah gambut.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Hermawan, et. al. (2009), Kajian Geoteknik Lapisan Gambut untuk Fondasi Konstruksi Bangunan, Buletin Geologi Tata Lingkungan, Vol. 19 No. 2 : 97-106.
- Huat Bujang B. K., et al. (2011), *A study of the compressibility behavior of peat stabilized by DMM: Lab Model and FE analysis*, Academic Journals, Vol. 6 (1), pp. 196-204
- Ilyas, et.al, (2008), Studi Perilaku Kekuatan Tanah Gambut Kalimantan yang Di-Stabilisasi dengan Semen Portland, Jurnal Teknologi, Edisi No. 1 tahun XXI.

**SEMINAR NASIONAL HAKI**  
**Tiara Convention Hall, Medan – 30 31 Mei 2014**

- Kazemian Sina dkk, (2011), *A state of art review of peat: Geotechnical engineering perspective*, *International Journal of the Physical Sciences* Vol. 6(8), pp. 1974-1981, 18 April, 2011.
- Nugroho S.A, 2011, Studi Daya Dukung Pondasi Dangkal pada Tanah Gambut dengan Kombinasi Geotekstil dan Grid Bambu, *Jurnal Teknik Sipil* Vol. 18 No. 1 : 13 – 40.
- Patmadjaja H., (2002), pemodelan pondasi dangkal dengan menggunakan tiga lapis geotekstil di atas tanah liat lunak, *dimensi teknik sipil* vol. 4, NO. 1 : 15 – 18.
- Waruwu A., 2011, Peningkatan Parameter Kuat Geser Tanah Gambut Akibat Pembebanan, *Jurnal Juridikti*, Vol 4, No. 1, : 40-51.
- Waruwu A., (2012a), *The Compaction Potential in Increasing Compressive and Shear Strength at Peat Soil*, *Seminar Internasional Red Star* : 251-259.
- Waruwu A., dkk (2012b), Tinjauan Karakteristik Konsolidasi Tanah Gambut Bagansiapi-api, *Jurnal Rancang Sipil*, Vol. 1, No. 1, Desember 2012 : 69 – 78.

**REUTULISASI SEDIMEN HASIL PEKERJAAN Pengerukan SEBAGAI  
MATERIAL BARU DALAM PEKERJAAN PEMBANGUNAN JALAN**

Ernesto Silitonga<sup>(1)</sup>, Syafiatun Siregar<sup>(2)</sup>, Nono Sebayang<sup>(3)</sup>, Rahmat Taufik<sup>(4)</sup>,

*Pendidikan Teknik Bangunan, Universitas Negeri Medan, Jl. Willem Iskandar Pasar V Medan Estate,  
Medan Indonesia*

*Email : [ernestosilitonga@yahoo.fr](mailto:ernestosilitonga@yahoo.fr)<sup>(1)</sup>*

**ABSTRAK**

Penelitian ini direalisasikan dengan tujuan untuk mengumpulkan data sedimen hasil pekerjaan pengerukan yang merupakan salah satu langkah yang diperlukan untuk mencegah pembuangan sedimen hasil pekerjaan pengerukan ke tengah laut seperti yang telah dilakukan selama ini. Sedimen yang digunakan dalam penelitian ini adalah sedimen Pelabuhan Belawan, Sumatera Utara. Tahap awal yang dilakukan dalam penelitian ini adalah dengan mengidentifikasi karakteristik fisik dan kimia dari sedimen hasil pekerjaan pengerukan yang kemudian dilanjutkan dengan mengidentifikasi kadar polusi yang terkandung dari bahan penelitian. Tahap berikutnya yang direalisasikan adalah menganalisa reaksi yang dimunculkan dari bahan penelitian apabila sedimen dicampur dengan bahan pengikat umum (semen, kapur). Hasil TCLP, memperlihatkan beragam tingkat polusi dari sedimen, tingkat polusi tergantung pada lokasi dimana sedimen tersebut dikeruk, sedimen Pelabuhan Belawan dapat dikategorikan sebagai limbah berbahaya dengan kadar Copper (Cu) dan Cadmium (Cd) yang cukup tinggi. Penggunaan bahan pengikat (semen dan kapur) dalam campuran, menunjukkan berbagai ragam peningkatan performa dari sedimen, hasil penelitian menunjukkan bahwa kadar polusi berpengaruh negatif terhadap peningkatan performa yang dihasilkan.

Kata Kunci. Sedimen hasil pengerukan, karakteristik mekanik, karakteristik kimia, TCLP.

**PENDAHULUAN**

Masalah utama yang selalui dijumpai dalam aktivitas pelabuhan adalah masalah pendangkalan yang disebabkan oleh sedimentasi.. Pendangkalan ini dapat mengganggu alur pelayaran. Pekerjaan pengerukan merupakan salah satu pekerjaan yang sangat penting untuk kelangsungan operasi pelabuhan dan kegiatan ini dilakukan secara kontiniu untuk mencegah pendangkalan sehingga masalah ini tidak akan mengganggu berjalannya kegiatan di pelabuhan. Problem pendangkalan pada pelabuhan ini merupakan masalah rutin dalam pelaksanaan aktivitas pelabuhan. Masalah sedimentasi atau pendangkalan ini menimbulkan masalah lingkungan lainnya, dimana limbah industri dan domestik ikut terbawa oleh sedimen yang berasal dari sungai-sungai yang bermuara di pelabuhan. Sungai sungai ini dimanfaatkan untuk berbagai keperluan untuk kesejahteraan manusia sekitarnya. Namun, seiring dengan waktu, pertumbuhan industri dan jumlah penduduk, sehingga meningkatkan beban limbah industri dan domestik disungai-sungai dan menyebabkan sungai ini tercemar. Limbah domestik sebagai penyumbang terbesar pencemaran kedua sungai ini adalah timbunan sampah. Akibatnya seluruh limbah tersebut akan ikut terbawa oleh transportasi sedimen yang bermuara di pelabuhan. Secara otomatis, pembuangan sedimen ke tengah laut pada akhir dari proses pengerukan, dapat dianggap sebagai penyebaran limbah secara tidak langsung.. Tindakan pencegahan penyebaran limbah secara tidak langsung ini telah diterapkan semenjak tahun 1998 di berbagai Negara maju baik di Benua Eropah maupun Amerika (*Colin 2003 dan Behmanesh 2008*) dimana dalam penerapannya, semua material (sedimen) hasil proses pengerukan langsung di test untuk mendapatkan kadar polusi dan berdasarkan tingkat polusi ini, dapat ditentukan apakah sedimen dapat dibuang kembali ke laut atau harus ditempatkan pada suatu daerah tertentu, dan dilakukan penstabilisasian, sehingga dapat diberdayagunakan sebagai material baru (*Silitonga E. 2009<sup>1</sup> dan Zhibo 2008*). Konfensi « Convention pour la protection du milieu marin de l'Atlantique du Nord-Est » pada tahun 1998 Konfesi ini dihadiri oleh Negara Jerman, Belgia, Denmark, Finlandia, Prancis, Inggris Irlandia Utara dan Swiss. dimana disepakati bahwa diperlukan tindakan pencegahan untuk pembuangan material hasil pekerjaan pengerukan di tengah laut. Setelah diadakannya Konfensi ini maka seluruh Negara anggota bersepakat bahwa negara-negara eropah memulai membuka lahan depot untuk tempat penimbunan sedimen-sedimen hasil pengerukan ini. Akan tetapi dikarenakan oleh volume dari sedimen hasil pengerukan ini semakin lama semakin meningkat, sehingga diperlukan tempat yang lebih luas untuk tempat penampungan (*Detzner, H. D., A. Netzbund, et al. 2004 dan Heise, S., E. Claus, et al. 2005*). Setelah itu maka para ahli menyatakan bahwa solusi lahan depot untuk

## SEMINAR NASIONAL HAKI

Tiara Convention Hall, Medan – 30 31 Mei 2014

pennampungan penimbunan sedimen hasil pengerukan ini tidak efisien dan disamping itu mengeluarkan dana yang sangat tinggi untuk tempat penyediaan lokasi penimbunan. Solusi berikutnya dalam menanggulangi sedimen hasil pengerukan ini adalah dengan menemukan pendayagunaan yang tepat, baik dari segi ekonomi dan lingkungan. Akan tetapi pendayagunaan ulang sedimen hasil pengerukan ini tergantung oleh karakteristik dan kadar polusi material tersebut sesuai dengan hasil syarat yang dibutuhkan.

Dalam upaya menemukan pendayagunaan sedimen hasil pekerjaan pengerukan ini para peneliti masih terus berupaya melakukan penelitian-penelitian terkait seperti contoh : Silitonga, berusaha melakukan solusi dengan meneliti sedimen hasil pengerukan pelabuhan Cherbourg-Basse Normandie, Prancis (*Silitonga E. et al., 2008\**<sup>1</sup>). Penelitian ini disponsori oleh Pelabuhan Cherbourg-Basse Normandie, Prancis. Penelitian ini direalisasikan dengan menggunakan limbah industri lainnya, yaitu Abu terbang, yang berasal dari Pertambangan Batubara di Lorraine Prancis. Perusahaan pertambangan batubara Lorraine berusaha memberdayakan limbah mereka (abu terbang), dikarenakan volume penimbunan limbah ini setiap tahunnya semakin meningkat. Selain mengidentifikasi karakteristik origin dari sedimen hasil pengerukan, penelitian ini juga mengidentifikasi pengaruh dua tipe kapur yang berbeda yang digunakan dalam percobaan ini.. Penelitian lainnya dari Silitonga (*Silitonga E. et al., 2008\**) memperlihatkan bahwa, penggunaan abu terbang dalam campuran sangat berdampak positif untuk meningkatkan ketahanan daya tekan pada sampel yang dicampur dengan abu terbang. Dimana peningkatan terhadap daya tekan berbanding lurus terhadap peningkatan persentase campuran abu terbang di dalam sampel. Abu terbang juga terbukti meningkatkan ketahanan sampel pada pergantian kondisi lingkungan yang ekstrim. Melalui percobaan Freeze-Thaw test, dengan pergantian suhu dari 10°C ke -10°C setiap 8 jam, sampel dengan campuran Abu Terbang menunjukkan kinerja yang ketahanan yang sangat tinggi akan kondisi udara yang ekstrim. Selain ini kepekaan sampel terhadap air meningkat drastis. Hal ini dapat diperhatikan melalui percobaan Dry-Wet test. Dari hasil percobaan ini, dapat kita perhatikan bahwa ukuran abu terbang yang tergolong sangat kecil (0,5 sampai 200  $\mu\text{m}$ ). Kelebihan abu terbang inilah yang bertanggung jawab atas peningkatan kekuatan sampel akan pergantian suhu ekstrim. Kecilnya ukuran abu terbang, memberikan peluang kepada material ini untuk dapat mengisi celah-celah atau ruang kosong dalam matrix sampel. Dengan terisinya celah-celah ini, maka matrix benar-benar solid sehingga tidak ada celah untuk air dapat masuk untuk mengisi ruang-ruang kosong

Beberapa faktor yang dapat memberi dampak negatif pada sampel dalam memperoleh performa yang diharapkan. Berdasarkan Penelitian yang dilakukan oleh Silitonga. (*Silitonga E. et al., 2009*)<sup>1</sup> yang bertujuan untuk menstabilisasi sedimen hasil pengerukan di pelabuhan Cherbourg-Basse Normandie, Prancis, dengan menggunakan abu terbang sebagai binder Pengikat. Hasil Penelitian ini menunjukkan bahwa persentase kadar polusi dalam sedimen dapat memperlambat atau proses reaksi kimia yang terjadi dalam matrik untuk mendapatkan kekuatan dan kepadatan (solid). Sebaliknya dalam penelitian ini juga dibuktikan bahwa dengan ditambahnya binder pozzolanic (abu terbang) dalam campuran sampel, selain meningkatkan performa mekanik juga menurunkan kadar polusi pada sedimen. Penelitian oleh Silitonga (*Ernesto SILITONGA. et al., 2010*) bertujuan untuk menemukan pendayagunaan sediment hasil pengerukan dari Pelabuhan Port En Bessin, Prancis dengan pertimbangan lingkungan, aman dan ekonomis. Hasil pengukuran distribusi granulometri dari sediment ini menggunakan alat pengukuran granulometri laser, dikarenakan ukuran dari sedimen ini sangat kecil (< 200 $\mu\text{m}$ ). Pengukuran granulometri laser (foto 5) diambil dari 4 titik yang berbeda disekitar Pelabuhan..

### METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang diadaskan digunakan terdiri langkah-langkah dibawah ini :

#### 1. Identifikasi masalah

Dalam tahap ini, masalah-masalah yang timbul dan terkait mengenai penggunaan ulang sedimen hasil pengerukan akan dibuat hipotesis yang akan ditindak lanjuti oleh penelitian dan ujicoba untuk mengklarifikasi hipotesis tersebut.

#### 2. Pengumpulan data dan sumber pendukung.

Penelitian penelitian ilmiah yang telah dilakukan di dalam ataupun diluar negri yang bersangkutan dengan pendayagunaan sedimen hasil pengerukan akan dikumpulkan dan lalu didaftarkan sebagai referensi untuk penelitian ini.

#### 3. Pengambilan Sampel

Tahap ketiga dari percobaan ini adalah pengambilan sample (sedimen hasil pekerjaan pengerukan) penempatan titik tempat pengambilan sample sangatlah penting untuk mendapatkan hasil yang diharapkan. Untuk menentukan titik pengambilan sample, sebelumnya harus mendapat gambaran letak strategis penimbunan sedimen yang berasal dari sungai Belawan dan sungai Deli. Hal ini berguna untuk mendapatkan sample yang mewakili sedimen terpolusi dari dua daerah yang berbeda.



## SEMINAR NASIONAL HAKI

Tiara Convention Hall, Medan – 30 31 Mei 2014

4. Identifikasi tipe penyimpanan dan pengeringan  
Setelah tahap pengambilan sample, tahap berikutnya adalah menemukan sistem yang memadai dan efisien dalam upaya untuk mengurangi kadar air dari sediment. Seperti yang kita ketahui bersama, kadar air origin dari sedimen hasil pengerukan sangatlah tinggi, sehingga tidak memungkinkan untuk digunakan dalam campuran. Berbagai jenis sistem 'Dewatering' telah dilaksanakan di berbagai Negara (Mehta, ...). Pemilihan system 'Dewatering' ditentukan oleh beberapa faktor, yaitu: kuantitas material/ sediment yang dikeruk setiap tahunnya, dana yang tersedia dan Jenis pendayagunaan ulang dari material/ sedimen.
5. Identifikasi karakteristik material dan binder yang akan digunakan.
  - a. Tahap pertama terdiri dari percobaan ini adalah, mengidentifikasi karakteristik/ propoerti mekanik, mineralogi dan kimia, dari material yang digunakan, dalam hal ini Sedimen hasil pengerukan dari Pelabuhan Belawan. Identifikasi properti fisik / mekanik dari material ini dilakukan dengan melakukan percobaan-percobaan yang umumnya dilakukan dalam pekerjaan teknik sipil, contohnya: identifikasi distribusi granulometri, identifikasi kadar material organik, identifikasi batas plastisitas dan likuiditas dengan metode Atteberg, percobaan bleu de methylene untuk mengetahui perilaku tanah liat yang terkandung dalam material, percobaan Proctor, California Bearing Ratio (CBR) dan lain-lain. Leaching test diperlukan untuk menentukan properti kimia dan kadar polusi dalam material.
  - b. Tahap ketiga dari percobaan ini dimulai dengan melakukan identifikasi dari binder (bahan pengikat) yang akan digunakan dalam penelitian ini (semen, kapur ataupun binder pozzolonic). Hal ini diperlukan untuk mengetahui kelas atau kinerja dari binder yang digunakan, dan agar nantinya dapat dibandingkan dengan hasil percobaan setelah binder tersebut dicampur dengan sedimen hasil pekerjaan pengerukan.
6. Penentuan formulasi dari campuran.  
Setelah mengidentifikasi kinerja binder kemudian tahap berikutnya direalisasikan dengan mencampur sedimen dengan binder (bahan pengikat) campuran (binder) yang umum digunakan dalam pekerjaan bangunan, seperti semen dan kapur. Binder ini diharapkan dapat mengurangi kadar polusi dari material/ sedimen yang digunakan.. Tahap ketiga ini direalisasikan dengan tujuan untuk mengetahui perilaku material/ sedimen terhadap kehadiran binder dalam campuran. Percobaan-percobaan mekanik untuk mengukur ketahanan sebuah material yang akan digunakan dalam pekerjaan bangunan akan direalisasikan. seperti percobaan daya tekan, daya geser, percobaan permeability, dan tentunya akan dilanjutkan dengan percobaan kimia(leaching test) untuk mengidentifikasi kadar polusi yang ada disetiap campuran yang akan direalisasikan. Setelah percobaan diatas dilakukan, tentunya seluruh hasil percobaan dikumpulkan dan di dianalisa, dan dengan pertimbangan dari segi ekonomis maka campuran dengan kadar polusi terkecil akan dipilih menjadi campuran yang memiliki komposisi yang terbaik.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### 1. Pengambilan sampel

Pemilihan lokasi ini berdasarkan kondisi lokasi yang diharapkan dapat mewakili kondisi yang diperlukan dalam mendapatkan sampel sesuai dengan perkiraan. Lokasi tempat pengambilan sampel adalah : lokasi Alur Kolam Citra Pelabuhan (L1) dan lokasi depot perbaikan kapal (L2)

Kedua tempat pengambilan ini berada di area Pelabuhan Belawan, Sumatera Utara. Namun sangat disayangkan untuk mendapatkan izin dalam mengambil sampel ini tidak mudah, untuk itu peneliti berusaha untuk mendapatkan sampel dari lokasi-lokasi lain disekitar PELABUHAN BELAWAN yang diperkirakan dapat mewakili kondisi seperti yang dimiliki lokasi Alur Pelayaran dan Lokasi Alur Kolam Citra.

### 2. Karakteristik origin

#### a) Distribusi ukuran partikel

Hasil pengukuran distribusi granulometri dari sediment ini menggunakan alat pengukuran granulometri laser, hal ini dikarenakan ukuran dari sedimen ini sangat kecil ( $<200\mu\text{m}$ ). sehingga pengukuran ukuran material dengan menggunakan metode manual tidak akan memberikan hasil yang diharapkan. Pengukuran granulometri laser (Tabel 1) diambil dari 2 lokasi yang berbeda (L1 dan L2) dimana masing-masing diwakili oleh 4 sampel yang diperoleh dari 4 titik yang berbeda. Berdasarkan hasil pengukuran yang diperoleh maka dapat disimpulkan bahwa sedimen hasil bahan pengerukan dari pelabuhan Belawan ini terdiri dari 90% dari butir sedimen ini berukuran antara  $66-78\mu\text{m}$ . Hasil ini memperlihatkan bahwa ukuran dari sedimen ini dapat dikategorikan sangat kecil.

**SEMINAR NASIONAL HAKI**  
Tiara Convention Hall, Medan – 30 31 Mei 2014

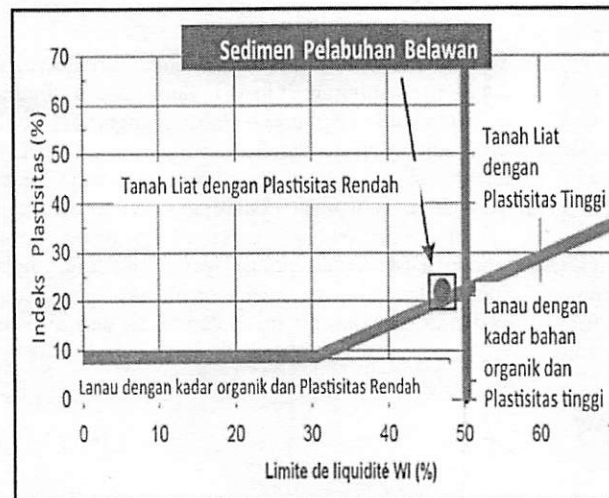
Tabel 1. Distribusi granulometri sedimen hasil pekerjaan pengerukan

|                                               | PEB A-1 | PEB B-1 | PEB C-1 | PEB D-1 |
|-----------------------------------------------|---------|---------|---------|---------|
| D10 ( $\mu\text{m}$ )                         | 2       | 1.92    | 1.5     | 2.2     |
| D50 ( $\mu\text{m}$ )                         | 12      | 11.1    | 10.6    | 12.5    |
| D90 ( $\mu\text{m}$ )                         | 78.4    | 66.7    | 72      | 75.6    |
| Fraction argileuse (<2 $\mu\text{m}$ ) (%)    | 10.7    | 10.6    | 13.8    | 9       |
| Fraction silteuse (2 à 63 $\mu\text{m}$ ) (%) | 77.2    | 78.8    | 74.8    | 78.8    |
| fraction sableuse (> 63 $\mu\text{m}$ ) (%)   | 12.6    | 10.6    | 11.5    | 12.2    |

Selain itu, dengan memperhatikan gambar 3 maka dapat kita simpulkan bahwa ukuran dari sedimen yang diambil dari 2 lokasi berbeda tergolong dalam kelas yang sama (66-78  $\mu\text{m}$ ) terlihat tidak terdapat perbedaan yang mencolok antara sampel yang diperoleh, dengan demikian dapat kita simpulkan bahwa sedimen ini tergolong homogeny.

b) Indeks Plastisitas Tanah

Pengukuran Indeks Plastisitas direalisasikan dengan percobaan limite d'Atterberg. Pengukuran dilakukan pada 8 sampel yang berbeda dari 2 Lokasi (L1 dan L2). Hasil rata-rata dari pengukuran ini dapat dilihat dari gambar 1.



Gambar 1. Indeks Plastisitas

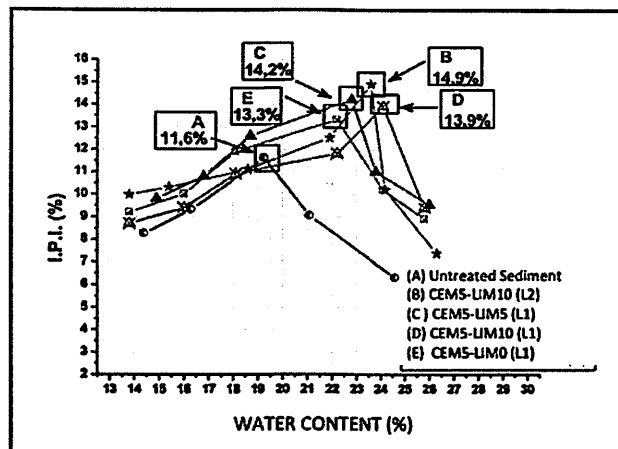
Hasil percobaan Limite d'Atterberg memperlihatkan bahwa indeks Plastisitas dari sedimen hasil pekerjaan pengerukan adalah 24 % dengan batas liquid 47%. Dari tabel ini dapat disimpulkan bahwa sedimen belabuhan Belawan termasuk dalam golongan tanah liat dengan Plastisitas rendah. Berdasarkan hasil percobaan ini, maka peneliti akan lebih berhati-hati akan resiko yang diberikan oleh tanah liat dengan plastisitas rendah. Berdasarkan penelitian sebelumnya, maka tanah liat dengan nilai plastisitas rendah sebaiknya distabilisasi dengan persentase kapur yang tidak terlalu tinggi. Hal ini untuk mengantisipasi fenomena 'membengkaknya' tanah liat apabila dicampur dengan kapur dengan persentase yang tinggi dan apabila menggunakan kapur yang sangat reaktif.

### 3. Karakteristik mekanik

a) Percobaan IPI dan Proctor

Percobaan California Bearing Ration (CBR) direalisasikan untuk mengidentifikasi nilai Indeks Portance Immediate (IPI) dengan kondisi kadar air yang maksimal. Nilai IPI sangat menentukan dalam penggunaan material dalam pekerjaan pembangunan jalan.

**SEMINAR NASIONAL HAKI**  
Tiara Convention Hall, Medan – 30 31 Mei 2014



Gambar 2. Hasil percobaan California CBR

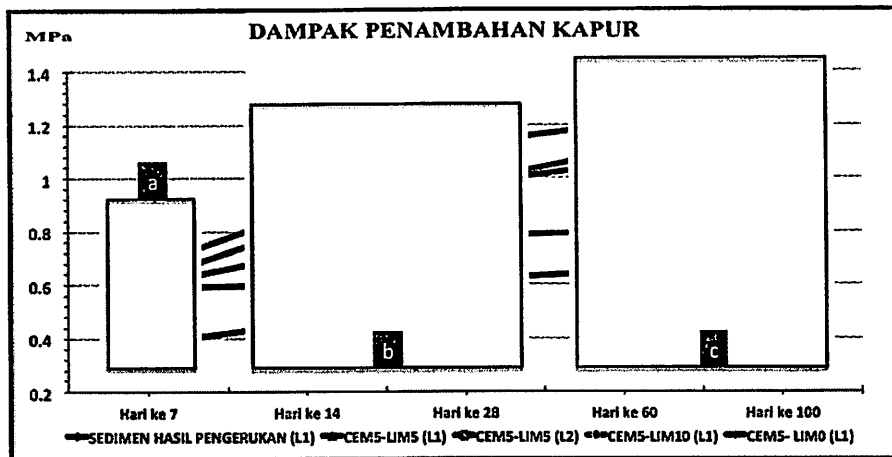
Pada gambar 2 hasil percobaan California Bearing Ratio (CBR) memperlihatkan bahwa nilai IPI meningkat sesuai dengan bertambahnya persentase binder yang digunakan. Hasil percobaan memperlihatkan bahwa nilai IPI yang tertinggi adalah sampel (B) dengan persentase binder 5% semen dan 10% kapur untuk lokasi pengambilan sampel L2, Namun untuk sampel dengan persentase yang sama dengan lokasi yang berbeda (L1). Sampel dengan lokasi pengambilan L1, apabila kita perhatikan antara sampel C (5% semen dan 5% kapur) sampel dan D (5% semen dan 10% kapur), hasil percobaan memperlihatkan bahwa dengan penambahan persentase kapur sebanyak 5% tidak memperlihatkan peningkatan nilai IPI yang signifikan sesuai dengan persentase penambahan kapur. Hal ini disebabkan oleh kadar polusi yang terdapat pada sedimen sehingga mengganggu proses reaksi kapur. Penelitian sebelumnya menemukan bahwa penambahan binder kapur sangat membantu dalam menaikkan nilai pH sampel menjadi sangat tinggi (pH=12) dan hal ini memberikan dampak positif untuk kinerja binder lainnya. Pengaruh binder kapur akan terus memberikan ketahanan ekstra selama pH sampel diatas 12, tingginya nilai pH ini mengakibatkan disolusi dari ion Kalsium, sedimen mengeluarkan aluminium dan silica yang nantinya akan bereaksi terhadap ion Kalsium sehingga membentuk C-S-H dan C-A-H. Kedua elemen ini yang mempunyai andil besar dalam memberikan ketahanan dan menjadi solidanya sebuah sampel, akibat kekuatan ikatan mereka merekat unsur-unsur lainnya. Teori ini tidak sesuai dengan hasil yang didapatkan dalam percobaan ini, seperti kita sebutkan sebelumnya, penambahan persentase kapur tidak memperlihatkan perbedaan peningkatan nilai CBR yang signifikan, Hal ini disebabkan oleh hadirnya elemen polusi yang sangat mengganggu dalam memperoleh kekuatan dalam waktu yang dekat.

#### b) Percobaan daya tekan (Unconfined Compressive Strength)

Percobaan daya tekan ini (UCS) direalisasikan untuk mengetahui peningkatan performa mekanik dari sampel, dan juga untuk mengidentifikasi efek yang diberikan oleh binder yang digunakan dalam performa mekanik. Hasil dari percobaan daya tekan (UCS) ini diperlihatkan pada gambar 3. Hasil percobaan ini khusus direalisasikan untuk mengidentifikasi dampak persentase semen yang ditambahkan kedalam campuran. Pada hasil percobaan UCS ini sampel yang digunakan hanya sampel yang diambil pada lokasi depot perbaikan kapal (L1), untuk mempermudah pengidentifikasian dampak penambahan semen dalam campuran, penggolongan peningkatan nilai daya tekan dikategorikan dalam 3 periode yang akan diperlihatkan pada gambar

##### (i) Dampak kapur terhadap performa mekanik

Penambahan kapur dalam campuran direalisasikan dengan pertimbangan bahwa penggunaan kapur telah terbukti selama ini dapat meningkatkan performa dari sampel yang digunakan. Hasil Percobaan Unconfined Compressive Strength diperlihatkan di gambar 3 dimana 5 sampel dengan formulasi binder yang berbeda. Persentase jumlah kapur didalam campuran dimulai dari 0% (CEM5-LIM0), 5% (CEM5-LIM5) dan 10% (CEM5-LIM 10). Berdasarkan pengalaman peneliti dalam pekerjaan stabilisasi tanah, persentase kapur pada campuran diatas 10% tidak direkomendasikan, dikhawatirkan dengan persentase kapur yang terlalu tinggi dapat memprovokasi pembengkakan akibat reaksi yang ditimbulkan oleh kapur. Untuk mempermudah analisa, hasil percobaan daya tekan ini (UCS) ini dikategorikan dalam 3 periode (telah diterangkan di sub bab sebelumnya). Pada Periode *curing age awal* (a) nilai daya tekan (UCS) antara binder dengan persentase kapur 0%, 5% dan 10% tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan. Sampel dengan persentase semen 5% dan kapur 5% dan dari lokasi L2 memperlihatkan nilai daya tekan yang tertinggi (0,68 MPa) dibanding sampel dari lokasi L1.



Gambar 3 Unconfined Compressive Strength

Hal ini disebabkan oleh reaksi kapur dalam memberi peningkatan performa mekanik tergolong lambat. Reaksi kapur umumnya memerlukan waktu sekitar 60 hari (tergantung kadar reaktif dari kapur itu sendiri) untuk dapat memberikan hasil yang maksimal. Reaksi kapur memprovokasi peningkatan pH sampel sehingga dengan waktu berjalan ion Kalsium dari matriks sedimen akan membentuk C-S-H dan C-A-H, yang mempunyai peranan utama dalam peningkatan performa dari sampel. Hal ini menjelaskan mengapa tidak terlihat perbedaan yang signifikan pada nilai daya tekan dari beberapa sampel (dengan formulasi yang berbeda). Pada periode *curing age* awal (7 hari) reaksi kapur dalam menaikkan pH diperkirakan hanya membantu mengendapkan air yang terdapat dalam sampel sehingga sampel lebih cepat mencapai tingkat solid, sehingga memperoleh performa mekanik. Periode *curing age* menengah (14-28 hari) perbedaan nilai daya tekan semakin terlihat jelas, dimana sampel dengan persentase kapur sebesar 10% memperlihatkan peningkatan nilai UCS. Sampel dengan 5% kapur dan 5% semen (CEM5-LIM5) dengan sedimen berasal dari L1 tetap memperlihatkan nilai daya tekan terbesar, pada periode *curing age* menengah ini terutama pada hari ke 28, hanya sampel dengan sedimen L2 ini yang melewati kekuatan daya tekan sebesar 1 MPa. Nilai daya tekan 1MPa merupakan batas yang diperlukan dalam penggunaan pembangunan jalan. Sampel sedimen dari lokasi L1 memperlihatkan kekuatan daya tekan yang hampir mendekati 1 MPa. Perbandingan antara sampel dengan sedimen L1 dan L2 memperlihatkan perbedaan yang penting, walaupun dengan formulasi yang sama (5% semen dan 5% kapur). Hal ini disebabkan oleh tingginya tingkat polusi dari sampel dengan sedimen yang berasal dari lokasi alur kolam citra (L1). Berdasarkan pengalaman peneliti, elemen polusi apabila mencapai jumlah tinggi akan mengganggu reaksi dari binder yang digunakan, baik itu reaksi semen ataupun reaksi kapur. Tingginya elemen penyebab polusi ini dapat memperlambat proses pembentukan clinker (pada reaksi hidratisasi semen) dan menghambat kenaikan pH (pada reaksi kapur) sehingga hal ini menyebabkan terhambatnya sampel dalam mencapai performa mekanik yang maksimal. Hal ini dapat disimak dari tabel 2 dimana terlihat dari hasil Toxicity Characteristic Leaching procedure (TCLP) ditemukan bahwa sedimen berasal dari lokasi L1 jauh lebih berpolusi dari sedimen L2. Terutama Cadmium (Cd) dan Cooper (Cu). Faktor ini yang menyebabkan terhambatnya reaksi binder (semen dan kapur) sehingga sampel dengan sedimen dari lokasi L1 (CEM5-LIM5-L1) menghasilkan nilai daya tekan (UCS) lebih kecil dari sedimen dari lokasi L2 (CEM5-LIM5-L2). Periode *curing age* jangka panjang (60-100 hari) hasil percobaan memiliki pola yang sama dengan Periode *curing age* menengah, sampel dari Lokasi L2 (CEM5-LIM5-L2) masih menunjukkan hasil percobaan daya tekan yang terbaik, diikuti oleh (CEM5-LIM5-L1) dan (CEM5-LIM10-L1). Sampel dari lokasi L2 (CEM5-LIM5-L2) menunjukkan peningkatan yang tinggi dari kekuatan terhadap daya tekan. Hal ini disebabkan oleh reaksi dari hidratisasi dari kapur dalam menaikkan pH dan hidratisasi dari ion Kalsium dan ion Aluminium lalu membentuk gel C-S-H dan C-A-H. Sampel dengan formulasi yang sama dengan sedimen dari L1 (CEM5-LIM5-L1) tidak memperlihatkan peningkatan daya tahan terhadap daya tekan sebaik sampel dari L2. Peningkatan nilai daya tekan pada hari ke 60 dan 90 disebabkan oleh reaksi hidratisasi kapur, hal ini dapat dibuktikan dengan memperhatikan gambar 7 dimana evolusi daya tekan sampel tanpa ada campuran kapur (0%) didalamnya (CEM5-LIM0), sampel ini hampir tidak memperlihatkan peningkatan nilai daya tekan setelah hari ke 28. Absennya kehadiran kapur dalam sedimen ini yang membuat tidak ada peningkatan daya tekan (UCS) karena setelah 28 hari, menurut teori, reaksi semen (hidratisasi clinker) hampir selesai setelah 28 hari. Hal ini dapat diverifikasi apabila kita perhatikan bahwa evolusi nilai daya tekan sampel ini (CEM5-LIM0) pada periode *curing age* dari 28 hari sampai 100 hari hampir sama dengan sampel origin (tanpa binder).



**SEMINAR NASIONAL HAKI**  
Tiara Convention Hall, Medan – 30 31 Mei 2014

#### 4. KARAKTERISTIK KIMIA

Percobaan kimia ini direalisasikan untuk mengidentifikasi kadar polusi dari sedimen hasil pekerjaan pengerukan dari pelabuhan Belawan. Percobaan kimia ini dilakukan dengan metode Toxicity Characteristic Leaching Procedure (TCLP).

Tabel 2. Hasil Percobaan TCLP pada sedimen hasil pekerjaan pengerukan Pelabuhan Belawan

| Elemen                  | Kondisi Origin |         | Kondisi Origin (2) |         | Setelah Proses Pengeringan |         |
|-------------------------|----------------|---------|--------------------|---------|----------------------------|---------|
|                         | L1             | L2      | L1                 | L2      | L1                         | L2      |
| Nickel, Ni              | <0.05          | <0.05   | <0.05              | <0.05   | <0.05                      | <0.05   |
| Cadmium, Cd             | 3.97           | 0.9     | 5.19               | 0.23    | 3.02                       | 0.15    |
| Chromium, Cr            | <0.01          | <0.01   | <0.01              | <0.01   | <0.01                      | <0.01   |
| Copper, Cu              | 2.6            | <0.01   | 3.7                | 0.2     | 2.03                       | 0.1     |
| Lead, Pb                | <0.01          | <0.01   | <0.01              | <0.01   | <0.01                      | <0.01   |
| Zinc, Zn                | 28.8           | 10.4    | 37.1               | 17.2    | 21.3                       | 9.04    |
| Mercury, Hg             | <0.0002        | <0.0002 | <0.0002            | <0.0002 | <0.0002                    | <0.0002 |
| Arsenic, As***          | <0.002         | <0.002  | <0.002             | <0.002  | <0.002                     | <0.002  |
| Nitrit, NO <sub>2</sub> | 0.03           | 0.03    | 0.03               | 0.03    | 0.03                       | 0.03    |
| Silver, Ag              | <0.01          | <0.01   | <0.01              | <0.01   | <0.01                      | <0.01   |
| Cobalt, Co              | <0.05          | <0.05   | <0.05              | <0.05   | <0.05                      | <0.05   |

Percobaan ini dilakukan dengan metode analisis EPA SW 846, jenis metode tergantung atas elemen yang diuji, contohnya untuk Cadmium (Cd), Nickel (Ni), Barium (Ba), Chromium (Cr), Silver (Ag), Cobalt (Co) digunakan metode EPA SW 846-AAS dan untuk Selenium (Se) EPA SW 7741-AAS. Waktu yang diperlukan dari mulai persiapan sampel hingga hasil untuk menyelesaikan percobaan TCLP ini adalah 7 hari. Hasil dari Percobaan TCLP ini dapat dilihat pada kolom dibawah ini. Hasil percobaan direalisasikan pada sedimen hasil pekerjaan pengerukan pada 2 lokasi yang berbeda (L1 dan L2) dengan 3 sampel untuk mendapatkan variasi mewakili setiap sedimen dilokasi pengambilan. Dari hasil percobaan TCLP dapat kita perhatikan bahwa sedimen berasal dari Alur kolam pelabuhan (L1) menunjukkan hasil yang tinggi dibanding sedimen yang diambil pada depot perbaikan kapal (L2). Hal ini menunjukkan bahwa kegiatan industri pelabuhan di daerah alur kolam lebih berpotensi dalam memproduksi sedimen berpolusi dibanding kegiatan perbaikan kapal. Melalui hasil percobaan TCLP ini juga dapat kita simpulkan bahwa sedimen hasil pekerjaan pengerukan dari Pelabuhan Belawan dapat dikategorikan sedimen dengan tingkat polusi yang cukup penting. Cadmium (Cd) dan Tembaga (Cu) merupakan elemen yang terlihat menunjukkan kwantitas cukup tinggi dalam sedimen Pelabuhan Belawan.

Tabel 3. Referensi ambang polusi sedimen hasil pengerukan di Eropah

| Elemen       | N1                           | N2                     |
|--------------|------------------------------|------------------------|
|              | Batas limbah tidak berbahaya | Batas limbah Berbahaya |
| Nickel (Ni)  | 37                           | 74                     |
| Cadmium (Cd) | 1.2                          | 2.4                    |
| Chromium(Cr) | 90                           | 180                    |
| Copper(Cu)   | 45                           | 90                     |
| Lead (Pb)    | 100                          | 200                    |
| Zinc(Zn)     | 276                          | 552                    |
| Mercury (Hg) | 0.4                          | 0.8                    |
| Arsenic (As) | 25                           | 50                     |

Selain Cd dan Cu, kita dapat memperhatikan juga nilai Zinc (Zn) yang diatas rata-rata nilai rata-rata. Elemen-elemen tersebut apabila mencapai kadar yang tinggi dapat menimbulkan bahaya (lihat resiko kematian) apabila bersentuhan dengan manusia. Pemerintah Perancis mengeluarkan peraturan menyangkut ambang batas polusi dari sedimen hasil pekerjaan pengerukan. Ambang batas dari polusi tersebut dapat diperhatikan di Tabel 3. Pada tabel dibawah ini terlihat ambang batas dari elemen polusi yang dapat kita kategorikan dalam 3 golongan. Peneliti menggunakan ambang batas ini hanya untuk referensi dikarenakan belum adanya peraturan mengenai ambang batas polusi mengenai sedimen hasil pekerjaan pemerintah di Indonesia. Berdasarkan Ambang batas yang digunakan di Perancis, dapat kita simak bahwa dengan kandungan mereka yang tinggi dalam sampel maka elemen kandungan Cadmium dan Tembaga tergolong dalam kategori limbah berbahaya, dan elemen Zinc termasuk dalam kategori golongan limbah tidak berbahaya. Hal ini tentunya dapat memberikan referensi kepada pemerintah daerah atau instansi terkait agar tidak membuang sedimen hasil pekerjaan pengerukan ke tengah laut, (yang masih dilakukan sampai sekarang) Karena hal tersebut dapat mengakibatkan

## SEMINAR NASIONAL HAKI

Tiara Convention Hall, Medan – 30 31 Mei 2014

penyebaran sedimen terpolusi dari pelabuhan Belawan ke daerah-daerah sekitarnya. Berdasarkan hasil TCLP ini diharapkan kegiatan pembuangan sedimen ke tengah laut dihentikan.

### KESIMPULAN

Penelitian ini direalisasikan untuk mencari aplikasi reutilisasi sedimen hasil pekerjaan pengerukan sehingga tindakan pembuangan sedimen hasil pekerjaan pengerukan tersebut dapat dihentikan. Hal ini diperkuat oleh percobaan kimia melalui percobaan TCLP, hasil yang diperoleh menunjukkan sedimen mengandung elemen Cu dan Cd yang cukup tinggi, dan apabila diperbandingkan dengan referensi batas polusi sedimen yang digunakan di Eropah, Sedimen tersebut termasuk dalam kategori limbah berbahaya. Karakteristik mekanik dari sedimen origin berdasarkan penelitian yang dilakukan menunjukkan bahwa sedimen terkait termasuk dalam kategori tanah liat dengan plastisitas rendah, dengan ukuran mayoritas sekitar 66-78  $\mu\text{m}$ . Percobaan Proctor dan CBR menunjukkan bahwa sedimen tersebut dengan campuran binder seperti semen dan kapur dengan persentase kapur 10% menunjukkan hasil IPI yang tertinggi. Efek dari binder semen maupun kapur dapat diidentifikasi melalui percobaan daya tekan (unconfined compressive strength). Melalui percobaan ini diketahui bahwa penambahan kuantitas semen mempengaruhi performa mekanik pada periode *curing age* jangka pendek (7-14 hari) dan penambahan kuantitas persentase kapur mempengaruhi performa mekanik pada periode *curing age* jangka panjang (60-100 hari). Pengaruh kadar limbah pada sedimen juga diidentifikasi melalui percobaan ini, dimana sedimen L1 (dengan kadar polusi lebih tinggi) memperlihatkan performa mekanik lebih rendah dibanding L1. Komposisi binder yang menghasilkan performa mekanik terbaik adalah komposisi dengan 5% semen dan 5% kapur. Sampel dengan komposisi diatas tersebut dapat digunakan dalam pekerjaan pembangunan jalan dimana persyaratan nilai daya tekan diatas 1 MPa dapat dipenuhi oleh sampel.

### DAFTAR PUSTAKA

- Colin D (2004) *Valorisation des sédiments fins de dragage en technique routière* Tesis Doktor, l'Université de Caen, 323 halaman [2] Situmorang, M., Sinaga, M., Tarigan, D.A., Sitorus, C.J, dan Tobing, A.M.L., (2011), *The Affectivity of Innovated Chemistry Learning*
- Javad BEHMANESH (2008) *Etude de la durabilité d'un sédiment, traité au ciment et additifs*. Tesis Doktor, l'Université de Caen. 214 halaman
- Silitonga E., Levacher D., Mezazigh S., (2009) *Effects of the use of fly ash as a binder on the mechanical behaviour of treated dredged sediments*; Environmental Technology, Volume 3 Published by Taylor and Francis Group.
- Duan ZHIBO (2008) *Caractérisation, stabilisation et solidification de sédiment marin*, Tesis Doktor, Université de Caen, 245 halaman
- Detzner, H. D., A. Netzbänd, et al. (2004) *Dredged Material Management in Hambur*, Terra et Aqua 96(September): 314
- Heise, S., E. Claus, et al. (2005) *Studie zur Schadstoffbelastung der Sedimente im Elbeeinzugsgebiet*. Ursachen und Trends. Hamburg, Hamburg Port Authority: 195
- Silitonga E., Shrivastava A., Levacher D. (2008) *Influence of fly ash addition on the mechanical properties of treated dredged material*. Proceeding of International Symposium on Sediment Management, Lille, France, 9-11 Juillet 2009
- Silitonga E., Mezazigh S., Levacher D. (2008) *Investigating the influence of dredged material stabilized by pozzolanic binders on geotechnical properties*. Proceeding of Xèmes Journées Nationales Génie Côtier-Génie Civil, Sophia Antipolis, France, 14-18 Octobre 2008.
- Silitonga E., Levacher D., Mezazigh S., (2009) *Effects of the use of fly ash as a binder on the mechanical behaviour of treated dredged sediments*; Environmental Technology, Volume 3 Published by Taylor and Francis Group
- Ernesto SILITONGA *Valorisation des sédiments marins contaminés par solidification/ stabilisation à base de liants hydrauliques et de fumée de silice* » Tesis Doktor, Université de Caen, 267 hal

## **PERILAKU BALOK BETON BERTULANG DENGAN PERKUATAN PELAT BAJA DALAM MEMIKUL LENTUR**

**Nursyamsi<sup>1</sup> dan Nomi Novita Sitepu<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> *Staf Pengajar Departemen Teknik Sipil, Universitas Sumatera Utara, Jl. Perpustakaan No. 1 Kampus USU  
Medan*

*Email: njnursyamsi@gmail.com*

<sup>2</sup> *Mahasiswa Departemen Teknik Sipil, Universitas Sumatera Utara, Jl. Jamin Ginting Pasar VII Padang Bulan  
Medan*

*Email: nominovita@gmail.com*

### **ABSTRAK**

Konstruksi beton bertulang adalah salah satu struktur yang umum digunakan saat ini. Seiring peningkatan ekonomi dan ketersediaan lahan, mengakibatkan munculnya bangunan-bangunan tinggi dan tidak jarang bangunan lama berubah fungsi. Perubahan fungsi tersebut mengakibatkan perubahan beban yang bekerja pada struktur. Dengan adanya perubahan tersebut maka perlu dilakukan evaluasi kemampuan struktur dalam memikul beban dengan dua alternatif, pertama struktur dirubuhkan dan dibangun struktur baru, kedua dilakukan perkuatan pada elemen struktur. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui besarnya daya dukung pelat baja yang digunakan sebagai perkuatan pada balok beton bertulang dalam kondisi lemah untuk memikul lentur. Dalam hal ini benda uji balok beton bertulang dibuat sebanyak 3 (tiga) buah dengan ukuran masing-masing balok (20x30)cm dan bentang 300cm serta pelat baja dengan tebal 2mm. Balok pertama tanpa menggunakan pelat baja, balok kedua adalah balok dengan kondisi dibebani dengan beban rencana terlebih dahulu kemudian diberi perkuatan pelat baja dan balok ketiga adalah balok yang langsung diperkuat dengan pelat baja. Dari hasil penelitian diperoleh bahwa pelat baja mampu meningkatkan kapasitas balok dalam memikul lentur dan mengurangi lendutan yang terjadi pada balok. Hasil pengujian balok beton bertulang dengan perkuatan pelat baja dalam memikul lentur meningkat sebesar 84,62%.

**Kata kunci :** Beton Bertulang, Lentur, Perkuatan Balok, Pelat Baja

### **1. PENDAHULUAN**

Beton bertulang adalah bahan konstruksi yang sangat penting. Beton bertulang digunakan dalam berbagai bentuk untuk hampir semua struktur. Dengan desain tertentu beton bertulang akan mampu memikul beban sesuai dengan perencanaan. Sukses beton bertulang sebagai bahan konstruksi yang universal dapat dipahami jika dilihat dari segala kelebihan yang dimiliki oleh beton itu sendiri. Beton juga memiliki kekurangan yang dapat menyebabkan kerusakan pada struktur beton yang akan mengakibatkan kekuatan dan daya dukung beton berkurang.

Jika suatu struktur memikul beban yang berlebihan atau tidak sesuai dengan perencanaan, maka struktur tersebut akan mengalami lendutan melebihi kemampuan struktur dan akan mengakibatkan terjadinya retak/ patahan pada struktur tersebut. Oleh karena itu dibutuhkan suatu metode perbaikan bahan dan perkuatan guna mengembalikan kekuatan struktur.

Perkuatan beton dilakukan pada struktur bangunan yang mengalami kegagalan struktur < 50%, dengan kata lain struktur bangunan yang diberi perkuatan adalah bangunan yang masih berfungsi 70%-nya. Perkuatan balok dilakukan dengan memberikan perkuatan pelat baja pada balok beton bertulang.

### **2. METODE PENELITIAN**

Bahan untuk pembuatan balok beton yang digunakan dalam penelitian ini adalah pasir alami, kerikil bulat, air, semen type-I (semen padang), Baja tulangan U<sub>24</sub> dengan □4 mm, tulangan sengkang □6 mm, kawat beton, kayu multiplex tebal 9mm, broti ukuran 1/2 inci, pelat baja dengan ketebalan 2 mm & panjang 3 m. Pengujian dilakukan di laboratorium menggunakan 6 (buah) benda uji kubus untuk pengujian kuat tekan, benda uji balok beton persegi yang berukuran (20x30x300) cm sebanyak 3 (tiga) buah. Balok pertama adalah balok beton bertulang tanpa perkuatan pelat baja, balok beton kedua adalah balok beton bertulang yang dibebani lebih dulu

**SEMINAR NASIONAL HAKI**  
Tiara Convention Hall, Medan – 30 31 Mei 2014

kemudia diberi pelat baja dan balok beton ketiga adalah balok beton bertulang yang langsung diberi perkuatan pelat baja. Pembebanan balok dilakukan dengan sistem terpusat. Mutu kuat tekan karakteristik rencana adalah  $K_{250}$ . Perawatan terhadap benda uji balok beton dengan cara menutupi seluruh permukaan beton dengan kain basah atau selimut dan dikontrol supaya tetap basah selama 28 hari, sedangkan pelepasan bekesting dilakukan lebih kurang 24 jam dari saat pengecoran. Meterial perekat yang digunakan pada balok beton dan pelat baja adalah *Sicadur 31 CF Normal* yang terdiri dari dua komponen *epoxy* untuk perekat dan perbaikan struktur beton.

Parameter yang diukur pada penelitian ini adalah lendutan dan lebar retakan. Pembebanan dilakukan secara bertahap dengan kenaikan beban setiap 0,5 ton. Setiap kenaikan 0,5 ton dilakukan pembacaan penurunan dan penggambaran pola retak yang terjadi. Pembebanan dihentikan setelah balok mengalami retak dan lendutan yang besar sehingga meskipun diberi beban, balok tidak lagi memberi perlawanan. Hasil pengujian ini kemudian dibandingkan dengan hasil analisa.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### Pengujian kuat tekan benda uji kubus

$$\sigma_{bk} = \sigma_{bm} - 1,64 SD \quad (1)$$

dengan  $\sigma_{bk}$  = kuat tekan beton karakteristik,  $\sigma_{bm}$  = kuat tekan beton rata-rata, SD = standard deviasi

Jika jumlah seluruh benda uji yang diperiksa kurang dari 20 buah, maka untuk menghitung kuat tekan beton karakteristik adalah:

$$\sigma_{bk} = \sigma_{bk} + 0,82 SD \quad (2)$$

Data dan perhitungan hasil pengujian kuat tekan beton benda uji kubus dapat dilihat seperti di bawah ini:

Tabel 1. Hasil pengujian kuat tekan benda uji kubus

| No<br>Sampel | Slump<br>(cm) | Umur<br>(hari) | Faktor<br>bentuk | P<br>(kg) | $\sigma_b$<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | $\sigma_{bm}$<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | $(\sigma_b - \sigma_{bm})^2$<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) |
|--------------|---------------|----------------|------------------|-----------|-------------------------------------|----------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| 1            | 9             | 28             | 1                | 60000     | 266,98                              | 303,705                                | 1371,74                                               |
| 2            | 9             | 28             | 1                | 70000     | 311,11                              |                                        | 54,83                                                 |
| 3            | 9             | 28             | 1                | 75000     | 333,33                              |                                        | 877,94                                                |
| 4            | 9             | 28             | 1                | 80000     | 355,55                              |                                        | 2688,94                                               |
| 5            | 9             | 28             | 1                | 65000     | 288,89                              |                                        | 219,48                                                |
| 6            | 9             | 28             | 1                | 60000     | 266,67                              |                                        | 1371,59                                               |
| Jumlah       |               |                |                  |           | 1822,22                             |                                        | 6584,07                                               |

Dari data di atas, diperoleh:

$$SD = \sqrt{\frac{6584,07}{6-1}} = 36,29 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\begin{aligned} \sigma_{bk} &= 303,705 - 1,64 \times 36,29 \\ &= 244,19 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

Untuk benda uji kurang dari 20 buah maka kuat tekan beton karakteristiknya adalah :

$$\begin{aligned} \sigma_{bk} &= 244,18 + 0,82 \times 36,29 \\ &= 273,95 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

#### Pengujian kuat tarik pelat baja dan tulangan

Pengujian kuat tarik baja dan tulangan dapat dilihat pada table dibawah ini :



**SEMINAR NASIONAL HAKI**  
Tiara Convention Hall, Medan – 30 31 Mei 2014

Tabel 2. Pengujian kuat tarik tulangan baja

| No               | Diameter Benda Uji dari Pabrik (mm) | Diameter Benda Uji (mm) | Fy (N) | Fu (N) | $\sigma_y$ (N/mm <sup>2</sup> ) | $\sigma_u$ (N/mm <sup>2</sup> ) | $\epsilon$ (%) | Ket |
|------------------|-------------------------------------|-------------------------|--------|--------|---------------------------------|---------------------------------|----------------|-----|
| 1                | Polos – 14 ► 1                      | 9,10                    | 21300  | 30200  | 327,66                          | 464,57                          | 33,56          |     |
| 2                | Polos – 14 ► 2                      | 9,00                    | 21250  | 29700  | 334,20                          | 467,09                          | 26,67          |     |
| <b>Rata-rata</b> |                                     |                         |        |        | <b>330,93</b>                   | <b>465,83</b>                   | <b>30,11</b>   |     |

Tabel 3. Hasil pengujian kuat tarik pelat baja

| No               | Jenis Bahan (mm)   | Ukuran Benda Uji (mm) | Fy (N) | Fu (N) | $\sigma_y$ (N/mm <sup>2</sup> ) | $\sigma_u$ (N/mm <sup>2</sup> ) | $\epsilon$ (%) | Ket |
|------------------|--------------------|-----------------------|--------|--------|---------------------------------|---------------------------------|----------------|-----|
| 1                | Pelat Baja t = 1,6 | 1,6 x 10,0            | 3330   | 5550   | 208,13                          | 346,88                          | 27,44          |     |
| 2                | Pelat Baja t = 1,6 | 1,6 x 10,0            | 3360   | 5600   | 210,00                          | 350,00                          | 17,56          |     |
| <b>Rata-rata</b> |                    |                       |        |        | <b>209,06</b>                   | <b>348,44</b>                   | <b>22,50</b>   |     |

**Pengujian penurunan balok secara teoritis**

Secara teoritis untuk balok beton bertulang tanpa pelat baja diperoleh nilai  $P = 42,52$  KN dan lendutan yang terjadi  $\delta_{total} = 9,2$ mm. Kapasitas penampang berdasarkan lendutan pada balok tanpa menggunakan pelat baja diperoleh ( $P$ ) = 4265,19 Kg. Hasil analisa kapasitas penampang berdasarkan lendutan pada balok tanpa menggunakan pelat baja dapat dilihat pada tabel dibawah :

Tabel 4. Hasil analisa secara teoritis penurunan balok tanpa pelat baja

| Beban (ton) | 1/4L-L   | Center Line | 1/4L-R   |
|-------------|----------|-------------|----------|
|             | Lendutan | Lendutan    | lendutan |
|             | (mm)     | (mm)        | (mm)     |
| 0           | 0,00     | 0,00        | 0,00     |
| 500         | 1,03     | 1,19        | 1,03     |
| 1000        | 2,06     | 2,37        | 2,06     |
| 1500        | 3,09     | 3,56        | 3,09     |
| 2000        | 4,13     | 4,75        | 4,13     |
| 2500        | 5,16     | 5,93        | 5,16     |
| 3000        | 6,19     | 7,12        | 6,19     |
| 3500        | 7,22     | 8,30        | 7,22     |
| 4000        | 8,25     | 9,49        | 8,25     |
| 4265,19     | 8,80     | 10,12       | 8,80     |

Secara teoritis untuk balok beton bertulang tanpa pelat baja diperoleh nilai  $P = 85,79$  KN dan lendutan yang terjadi ( $\delta$ ) 10,75mm. Kapasitas penampang berdasarkan lendutan pada balok dengan menggunakan pelat baja diperoleh ( $P$ ) = 8577,57 Kg. Hasil analisa kapasitas penampang berdasarkan lendutan pada balok tanpa menggunakan pelat baja dapat dilihat pada tabel dibawah :

Tabel 5. Hasil analisa secara teoritis penurunan balok tanpa pelat baja

| Beban (ton) | 1/4L-L        | Center Line   | 1/4L-R        |
|-------------|---------------|---------------|---------------|
|             | Lendutan (mm) | Lendutan (mm) | Lendutan (mm) |
| 0           | 0.00          | 0.00          | 0.00          |
| 500         | 1.05          | 1.20          | 1.05          |
| 1000        | 2.09          | 2.41          | 2.09          |
| 1500        | 3.14          | 3.61          | 3.14          |
| 2000        | 4.18          | 4.81          | 4.18          |
| 2500        | 5.23          | 6.01          | 5.23          |
| 3000        | 6.27          | 7.22          | 6.27          |
| 3500        | 7.32          | 8.42          | 7.32          |
| 4000        | 8.37          | 9.62          | 8.37          |
| 4500        | 9.41          | 10.82         | 9.41          |
| 5000        | 10.46         | 12.03         | 10.46         |

**SEMINAR NASIONAL HAKI**  
Tiara Convention Hall, Medan – 30 31 Mei 2014

|         |       |       |       |
|---------|-------|-------|-------|
| 5500    | 11.50 | 13.23 | 11.50 |
| 6000    | 12.55 | 14.43 | 12.55 |
| 6500    | 13.60 | 15.63 | 13.60 |
| 7000    | 14.64 | 16.84 | 14.64 |
| 7500    | 15.69 | 18.04 | 15.69 |
| 8577.57 | 17.94 | 20.63 | 17.94 |

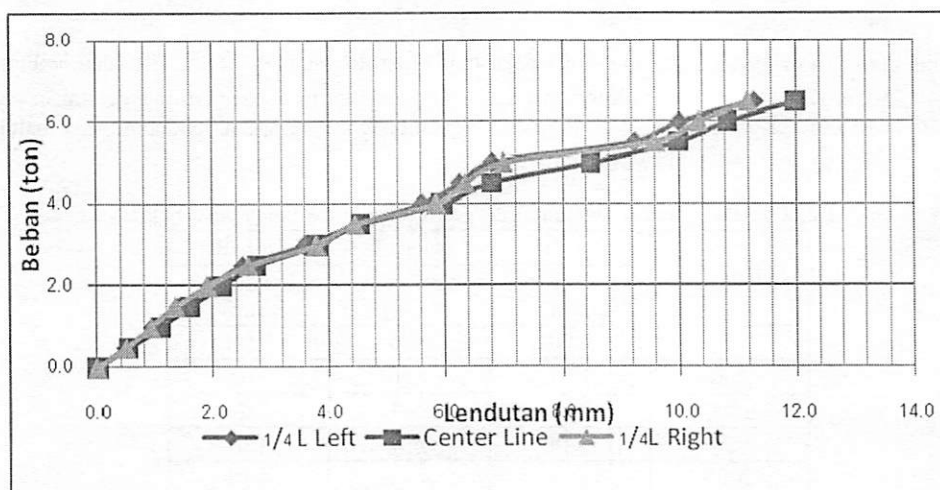
Pengujian balok beton bertulang berdasarkan hasil penelitian

Pengujian balok beton bertulang tanpa pelat baja

Pada balok beton bertulang tanpa pelat baja, pengujian yang dilakukan meliputi, pengujian lenturan di tiga titik (yakni 1/4L, 1/2L, dan 3/4L), serta daya dukung maksimum sampai balok tersebut hancur. Penurunan balok beton bertulang tanpa pelat baja dapat dilihat pada tabel dan grafik hubungan beban lendutan dibawah ini :

Tabel 6. Data hasil pengujian penurunan pada balok 1(balok tanpa perkuatan)

| beban<br>(ton) | 1/4L-L                         |                  | $\epsilon = \Delta L/L$ | CL                             |                  | $\epsilon = \Delta L/L$ | 1/4L-R                         |                  | $\epsilon = \Delta L/L$ |
|----------------|--------------------------------|------------------|-------------------------|--------------------------------|------------------|-------------------------|--------------------------------|------------------|-------------------------|
|                | Dial<br>reading<br>(<br>x0,01) | lendutan<br>(mm) |                         | Dial<br>reading<br>(<br>x0,01) | lendutan<br>(mm) |                         | Dial<br>reading<br>(<br>x0,01) | lendutan<br>(mm) |                         |
| 0.0            | 0.0                            | 0.0              | 0.000                   | 0.0                            | 0.0              | 0.000                   | 0.0                            | 0.0              | 0.000                   |
| 0.5            | 48.0                           | 0.5              | 0.000                   | 53.0                           | 0.5              | 0.000                   | 49.0                           | 0.5              | 0.000                   |
| 1.0            | 95.0                           | 1.0              | 0.000                   | 110.0                          | 1.1              | 0.000                   | 92.0                           | 0.9              | 0.000                   |
| 1.5            | 140.0                          | 1.4              | 0.000                   | 160.0                          | 1.6              | 0.001                   | 135.0                          | 1.4              | 0.000                   |
| 2.0            | 195.0                          | 2.0              | 0.001                   | 215.0                          | 2.2              | 0.001                   | 190.0                          | 1.9              | 0.001                   |
| 2.5            | 250.0                          | 2.5              | 0.001                   | 275.0                          | 2.8              | 0.001                   | 260.0                          | 2.6              | 0.001                   |
| 3.0            | 360.0                          | 3.6              | 0.001                   | 380.0                          | 3.8              | 0.001                   | 380.0                          | 3.8              | 0.001                   |
| 3.5            | 450.0                          | 4.5              | 0.002                   | 455.0                          | 4.6              | 0.002                   | 445.0                          | 4.5              | 0.001                   |
| 4.0            | 560.0                          | 5.6              | 0.002                   | 595.0                          | 6.0              | 0.002                   | 585.0                          | 5.9              | 0.002                   |
| 4.5            | 625.0                          | 6.3              | 0.002                   | 680.0                          | 6.8              | 0.002                   | 635.0                          | 6.4              | 0.002                   |
| 5.0            | 680.0                          | 6.8              | 0.002                   | 850.0                          | 8.5              | 0.003                   | 700.0                          | 7.0              | 0.002                   |
| 5.5            | 925.0                          | 9.3              | 0.003                   | 1000.0                         | 10.0             | 0.003                   | 960.0                          | 9.6              | 0.003                   |
| 6.0            | 1000.0                         | 10.0             | 0.003                   | 1085.0                         | 10.9             | 0.004                   | 1035.0                         | 10.4             | 0.003                   |
| 6.5            | 1130.0                         | 11.3             | 0.004                   | 1200.0                         | 12.0             | 0.004                   | 1120.0                         | 11.2             | 0.004                   |



Gambar I. Hubungan beban-lendutan pada balok 1 tanpa perkuatan

Pada gambar tersebut terlihat bahwa, retak pertama terjadi pada saat beban 3 Ton. Pada praretak, kurva dari beban defleksi masih merupakan garis lurus yang memperlihatkan perilaku elastis penuh. kemudian pada kondisi daerah 2, baja leleh terlebih dahulu yaitu pada saat beban 5 Ton. Jika beban terus ditingkatkan, meskipun besarnya peningkatan relatif kecil akan tetapi lendutan yang terjadi cukup besar dibandingkan lendutan sebelum leleh. Akhirnya pada suatu titik tertentu beton desak mengalami rusak (pecah atau *spalling*) sehingga jika

# SEMINAR NASIONAL HAKI

Tiara Convention Hall, Medan – 30 31 Mei 2014

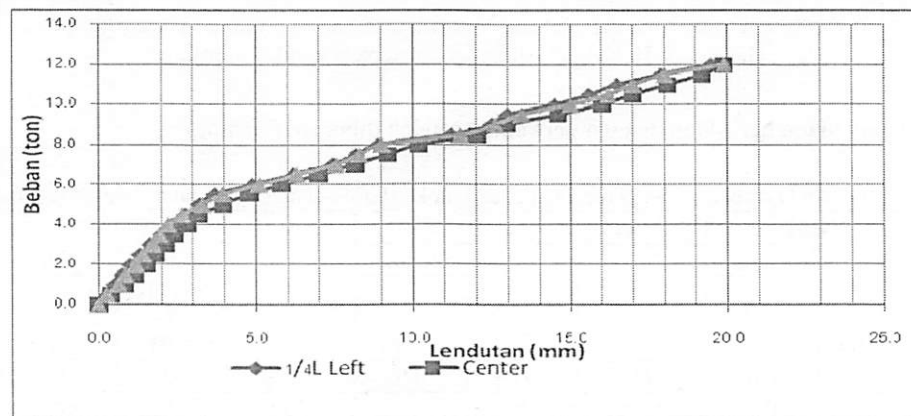
beban ditambah sedikit saja maka balok tidak dapat lagi menahan beban dan akhirnya runtuh. Beban batas/maskimum yang masih dapat dipikul oleh balok dengan tetap berada pada kondisi keseimbangan disebut beban batas (*ultimate*) ditunjukkan pada beban 6,5 Ton.

## Pengujian balok beton bertulang dengan pelat baja

Hasil Pengujian penurunan balok beton bertulang dengan menggunakan pelat baja sebagai perkuatan dapat dilihat pada tabel dan grafik di bawah ini :

Tabel 7. Data hasil pengujian penurunan pada balok 2 (balok dengan menggunakan pelat baja)

| beban<br>(ton) | 1/4L-L                         |                  | $\epsilon = \Delta L/L$ | CL                             |                  | $\epsilon = \Delta L/L$ | 1/4L-R                         |                  | $\epsilon = \Delta L/L$ |
|----------------|--------------------------------|------------------|-------------------------|--------------------------------|------------------|-------------------------|--------------------------------|------------------|-------------------------|
|                | Dial<br>reading<br>(<br>x0,01) | lendutan<br>(mm) | Regangan                | Dial<br>reading<br>(<br>x0,01) | lendutan<br>(mm) | Regangan                | Dial<br>reading<br>(<br>x0,01) | lendutan<br>(mm) | Regangan                |
| 0.0            | 0.0                            | 0.0              | 0.000                   | 0.0                            | 0.0              | 0.000                   | 0.0                            | 0.0              | 0.000                   |
| 0.5            | 26.0                           | 0.3              | 0.000                   | 40.0                           | 0.4              | 0.000                   | 25.0                           | 0.3              | 0.000                   |
| 1.0            | 50.0                           | 0.5              | 0.000                   | 82.0                           | 0.8              | 0.000                   | 62.0                           | 0.6              | 0.000                   |
| 1.5            | 75.0                           | 0.8              | 0.000                   | 115.0                          | 1.2              | 0.000                   | 85.0                           | 0.9              | 0.000                   |
| 2.0            | 100.0                          | 1.0              | 0.000                   | 150.0                          | 1.5              | 0.000                   | 116.0                          | 1.2              | 0.001                   |
| 2.5            | 131.0                          | 1.3              | 0.000                   | 180.0                          | 1.8              | 0.000                   | 140.0                          | 1.4              | 0.001                   |
| 3.0            | 162.0                          | 1.6              | 0.001                   | 215.0                          | 2.2              | 0.001                   | 170.0                          | 1.7              | 0.001                   |
| 3.5            | 199.0                          | 2.0              | 0.001                   | 240.0                          | 2.4              | 0.001                   | 192.0                          | 1.9              | 0.001                   |
| 4.0            | 235.0                          | 2.4              | 0.001                   | 280.0                          | 2.8              | 0.001                   | 220.0                          | 2.2              | 0.001                   |
| 4.5            | 275.0                          | 2.8              | 0.001                   | 320.0                          | 3.2              | 0.001                   | 265.0                          | 2.7              | 0.001                   |
| 5.0            | 320.0                          | 3.2              | 0.001                   | 395.0                          | 4.0              | 0.001                   | 330.0                          | 3.3              | 0.001                   |
| 5.5            | 370.0                          | 3.7              | 0.001                   | 480.0                          | 4.8              | 0.001                   | 395.0                          | 4.0              | 0.002                   |
| 6.0            | 490.0                          | 4.9              | 0.002                   | 580.0                          | 5.8              | 0.002                   | 510.0                          | 5.1              | 0.002                   |
| 6.5            | 620.0                          | 6.2              | 0.002                   | 700.0                          | 7.0              | 0.002                   | 630.0                          | 6.3              | 0.002                   |
| 7.0            | 745.0                          | 7.5              | 0.002                   | 815.0                          | 8.2              | 0.002                   | 755.0                          | 7.6              | 0.003                   |
| 7.5            | 820.0                          | 8.2              | 0.003                   | 920.0                          | 9.2              | 0.003                   | 830.0                          | 8.3              | 0.003                   |
| 8.0            | 890.0                          | 8.9              | 0.003                   | 1020.0                         | 10.2             | 0.003                   | 900.0                          | 9.0              | 0.003                   |
| 8.5            | 1120.0                         | 11.2             | 0.004                   | 1204.0                         | 12.0             | 0.004                   | 1150.0                         | 11.5             | 0.004                   |
| 9.0            | 1250.0                         | 12.5             | 0.004                   | 1300.0                         | 13.0             | 0.004                   | 1260.0                         | 12.6             | 0.004                   |
| 9.5            | 1300.0                         | 13.0             | 0.004                   | 1460.0                         | 14.6             | 0.004                   | 1345.0                         | 13.5             | 0.005                   |
| 10.0           | 1450.0                         | 14.5             | 0.005                   | 1600.0                         | 16.0             | 0.005                   | 1500.0                         | 15.0             | 0.005                   |
| 10.5           | 1560.0                         | 15.6             | 0.005                   | 1700.0                         | 17.0             | 0.005                   | 1620.0                         | 16.2             | 0.006                   |
| 11.0           | 1650.0                         | 16.5             | 0.006                   | 1810.0                         | 18.1             | 0.006                   | 1700.0                         | 17.0             | 0.006                   |
| 11.5           | 1790.0                         | 17.9             | 0.006                   | 1920.0                         | 19.2             | 0.006                   | 1800.0                         | 18.0             | 0.006                   |
| 12.0           | 1950.0                         | 19.5             | 0.007                   | 1990.0                         | 19.9             | 0.007                   | 1990.0                         | 19.9             | 0.007                   |



Gambar 2. Hubungan beban-lendutan pada balok 2 dengan perkuatan pelat baja

**SEMINAR NASIONAL HAKI**  
Tiara Convention Hall, Medan – 30 31 Mei 2014

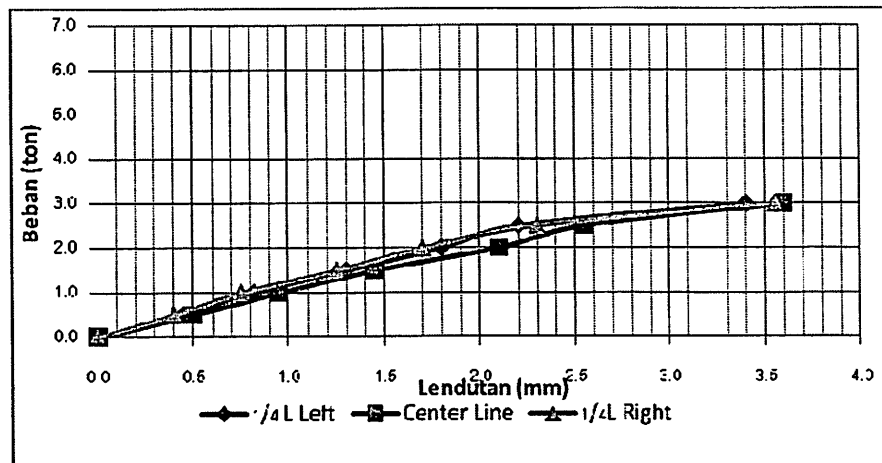
Pada gambar tersebut terlihat bahwa, retak pertama terjadi pada saat beban 7 Ton. Pada praretak, kurva dari beban defleksi masih merupakan garis lurus yang memperlihatkan perilaku elastis penuh. kemudian pada kondisi daerah 2, baja leleh terlebih dahulu yaitu pada saat beban 9,5 Ton. Jika beban terus ditingkatkan, meskipun besarnya peningkatan relatif kecil akan tetapi lendutan yang terjadi cukup besar dibandingkan lendutan sebelum leleh. Akhirnya pada suatu titik tertentu beton desak mengalami rusak (pecah atau *spalling*) sehingga jika beban ditambah sedikit saja maka balok tidak dapat lagi menahan beban dan akhirnya runtuh. Beban batas/maskimum yang masih dapat dipikul oleh balok dengan tetap berada pada kondisi keseimbangan disebut beban batas (*ultimate*) ditunjukkan pada beban 12 Ton.

**Pengujian penurunan balok beton bertulang tanpa perkuatan (unloading)**

Hasil Pengujian penurunan balok beton bertulang pada kondisi unloading dapat dilihat pada tabel dan grafik di bawah ini :

Tabel 8. Data hasil pengujian penurunan pada balok 3 (balok tanpa perkuatan unloading)

| beban<br>(ton) | 1/4L-L                         |                  | $\epsilon = \Delta L/L$ | CL                          |                  | $\epsilon = \Delta L/L$ | 1/4L-R                         |                  | $\epsilon = \Delta L/L$ |
|----------------|--------------------------------|------------------|-------------------------|-----------------------------|------------------|-------------------------|--------------------------------|------------------|-------------------------|
|                | Dial<br>reading<br>(<br>x0,01) | lendutan<br>(mm) | Regangan                | Dial<br>reading (<br>x0,01) | lendutan<br>(mm) | Regangan                | Dial<br>reading<br>(<br>x0,01) | lendutan<br>(mm) | Regangan                |
| 0.0            | 0.0                            | 0.0              | 0.0000                  | 0.0                         | 0.0              | 0.0000                  | 0.0                            | 0.0              | 0.0000                  |
| 0.5            | 45.0                           | 0.5              | 0.0002                  | 50.0                        | 0.5              | 0.0002                  | 40.0                           | 0.4              | 0.0001                  |
| 1.0            | 82.0                           | 0.8              | 0.0003                  | 95.0                        | 1.0              | 0.0003                  | 75.0                           | 0.8              | 0.0003                  |
| 1.5            | 130.0                          | 1.3              | 0.0004                  | 145.0                       | 1.5              | 0.0005                  | 125.0                          | 1.3              | 0.0004                  |
| 2.0            | 180.0                          | 1.8              | 0.0006                  | 210.0                       | 2.1              | 0.0007                  | 170.0                          | 1.7              | 0.0006                  |
| 2.5            | 220.0                          | 2.2              | 0.0007                  | 255.0                       | 2.6              | 0.0009                  | 230.0                          | 2.3              | 0.0008                  |
| 3.0            | 340.0                          | 3.4              | 0.0011                  | 360.0                       | 3.6              | 0.0012                  | 355.0                          | 3.6              | 0.0012                  |



Gambar 3. Hubungan beban-lendutan pada kondisi unloading

**Pengujian balok beton bertulang dengan perkuatan setelah dibebani (loading)**

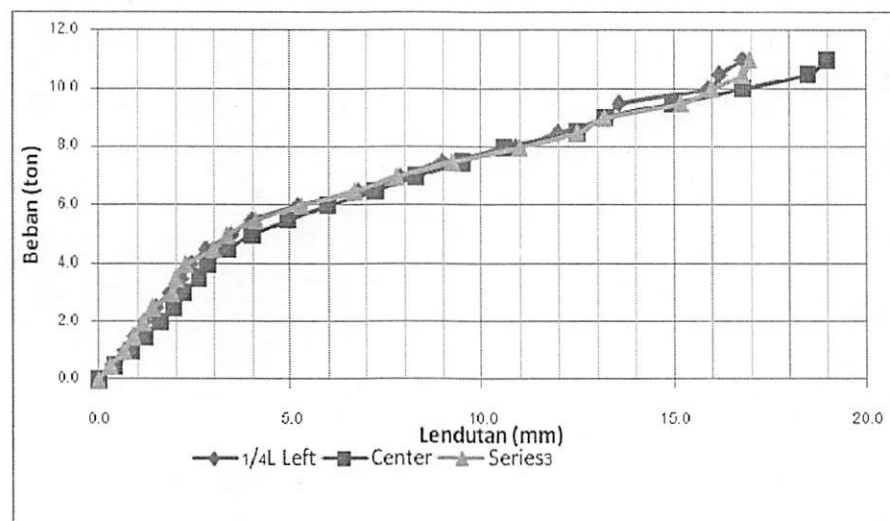
Tabel 9. Data hasil pengujian penurunan pada balok 3(balok dengan perkuatan setelah dibebani)

| beban<br>(ton) | 1/4L-L                         |                  | $\epsilon = \Delta L/L$ | CL                          |                  | $\epsilon = \Delta L/L$ | 1/4L-R                         |                  | $\epsilon = \Delta L/L$ |
|----------------|--------------------------------|------------------|-------------------------|-----------------------------|------------------|-------------------------|--------------------------------|------------------|-------------------------|
|                | Dial<br>reading<br>(<br>x0,01) | lendutan<br>(mm) | Regangan                | Dial<br>reading (<br>x0,01) | lendutan<br>(mm) | Regangan                | Dial<br>reading<br>(<br>x0,01) | lendutan<br>(mm) | Regangan                |
| 0.0            | 0.0                            | 0.0              | 0.000                   | 0.0                         | 0.0              | 0.000                   | 0.0                            | 0.0              | 0.000                   |
| 0.5            | 35.0                           | 0.4              | 0.000                   | 42.0                        | 0.4              | 0.000                   | 30.0                           | 0.3              | 0.000                   |
| 1.0            | 68.0                           | 0.7              | 0.000                   | 85.0                        | 0.9              | 0.000                   | 65.0                           | 0.7              | 0.000                   |
| 1.5            | 92.0                           | 0.9              | 0.000                   | 120.0                       | 1.2              | 0.000                   | 90.0                           | 0.9              | 0.000                   |



**SEMINAR NASIONAL HAKI**  
Tiara Convention Hall, Medan – 30 31 Mei 2014

|      |        |      |       |        |      |       |        |      |       |
|------|--------|------|-------|--------|------|-------|--------|------|-------|
| 2.0  | 120.0  | 1.2  | 0.000 | 160.0  | 1.6  | 0.001 | 115.0  | 1.2  | 0.000 |
| 2.5  | 150.0  | 1.5  | 0.001 | 195.0  | 2.0  | 0.001 | 140.0  | 1.4  | 0.000 |
| 3.0  | 185.0  | 1.9  | 0.001 | 220.0  | 2.2  | 0.001 | 190.0  | 1.9  | 0.001 |
| 3.5  | 215.0  | 2.2  | 0.001 | 260.0  | 2.6  | 0.001 | 200.0  | 2.0  | 0.001 |
| 4.0  | 240.0  | 2.4  | 0.001 | 285.0  | 2.9  | 0.001 | 225.0  | 2.3  | 0.001 |
| 4.5  | 280.0  | 2.8  | 0.001 | 335.0  | 3.4  | 0.001 | 300.0  | 3.0  | 0.001 |
| 5.0  | 345.0  | 3.5  | 0.001 | 400.0  | 4.0  | 0.001 | 335.0  | 3.4  | 0.001 |
| 5.5  | 400.0  | 4.0  | 0.001 | 495.0  | 5.0  | 0.002 | 410.0  | 4.1  | 0.001 |
| 6.0  | 520.0  | 5.2  | 0.002 | 600.0  | 6.0  | 0.002 | 530.0  | 5.3  | 0.002 |
| 6.5  | 680.0  | 6.8  | 0.002 | 725.0  | 7.3  | 0.002 | 670.0  | 6.7  | 0.002 |
| 7.0  | 790.0  | 7.9  | 0.003 | 830.0  | 8.3  | 0.003 | 780.0  | 7.8  | 0.003 |
| 7.5  | 900.0  | 9.0  | 0.003 | 950.0  | 9.5  | 0.003 | 925.0  | 9.3  | 0.003 |
| 8.0  | 1090.0 | 10.9 | 0.004 | 1060.0 | 10.6 | 0.004 | 1100.0 | 11.0 | 0.004 |
| 8.5  | 1200.0 | 12.0 | 0.004 | 1250.0 | 12.5 | 0.004 | 1250.0 | 12.5 | 0.004 |
| 9.0  | 1330.0 | 13.3 | 0.004 | 1320.0 | 13.2 | 0.004 | 1320.0 | 13.2 | 0.004 |
| 9.5  | 1360.0 | 13.6 | 0.005 | 1500.0 | 15.0 | 0.005 | 1520.0 | 15.2 | 0.005 |
| 10.0 | 1590.0 | 15.9 | 0.005 | 1680.0 | 16.8 | 0.006 | 1600.0 | 16.0 | 0.005 |
| 10.5 | 1620.0 | 16.2 | 0.005 | 1850.0 | 18.5 | 0.006 | 1680.0 | 16.8 | 0.006 |
| 11.0 | 1680.0 | 16.8 | 0.006 | 1900.0 | 19.0 | 0.006 | 1700.0 | 17.0 | 0.006 |



Grafik IV. Hubungan Beban-Lendutan Pada Balok 3 Dengan Perkuatan Setelah Dibebeani (Loading)

#### 4. KESIMPULAN

Dari hasil pengujian dan pembahasan maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Berdasarkan hasil perhitungan secara teoritis bahwa pelat perkuatan dapat meningkatkan kapasitas balok dalam memikul lentur, dan mengurangi lendutan yang terjadi pada balok. Di mana kapasitas balok dalam memikul lentur meningkat sebesar 70,59%
2. Berdasarkan hasil pengujian balok beton bertulang dengan perkuatan pelat baja dapat meningkatkan kapasitas balok dalam memikul lentur sebesar 84,62%
3. Berdasarkan hasil pengujian untuk balok beton yang sudah dibebani kemudian diberi perkuatan pelat baja, dapat meningkatkan kapasitas balok dalam memikul lentur sebesar 69,23%
4. Dari hasil perhitungan pada pengujian balok beton bertulang tanpa pelat baja diperoleh  $E_c' = 0,002$  dan  $E_s = 0,003$ . Untuk balok beton bertulang dengan pelat baja diperoleh  $E_c' = 0,003$  dan  $E_s = 0,004$
5. Efisiensi balok beton bertulang yang diberi pelat baja kemudian dibebani adalah 45,83% dan efisiensi balok beton bertulang yang dibebani terlebih dahulu kemudian diperkuat dengan pelat baja adalah 40,90%.

**SEMINAR NASIONAL HAKI**  
**Tiara Convention Hall, Medan – 30 31 Mei 2014**

**DAFTAR PUSTAKA**

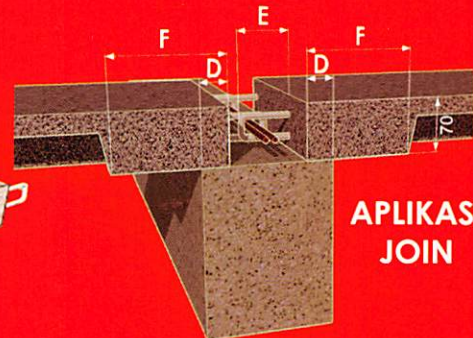
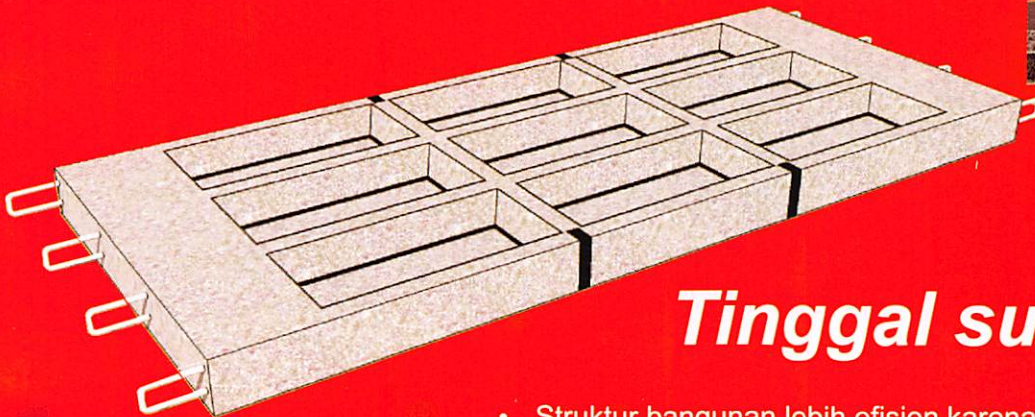
- Astroni, A. (2010). *Kolom Fondasi & Balok T Beton Bertulang*. Graha Ilmu, Yogyakarta.
- Nugraha, P. dan Antoni. *Teknologi Beton*. ANDI, Yogyakarta.
- Dipohusodo, Istimawan. (1994). *Struktur Beton Bertulang*. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Riza, A. dan Zulfira, M. (2008). "Pengujian Lentur Balok Beton Bertulang Dengan Menggunakan Modifikasi Alat Uji Tekan". *Jurnal Ilmiah Poli Rekayasa*, Vol. 3, No. 2, 74-80.
- I, Wayan, S. (2011). "Perilaku Lentur Pelat Beton Bertulang Yang Diperkuat Dengan Overlay Beton". *Jurnal Logic*, Vol. 11, No. 1, 7-14.
- Masdar, H. (2009). "Perbaikan Balok Beton Bertulang Yang Telah Mengalami Beban Puncak Dengan Baja Siku". *Jurnal Rekayasa*, Vol. 13, No. 1, 55-65.
- Sagel, R., Kole, P. dan Kusuma, Gideon. (1997). *Pedoman Pengerjaan Beton*. Erlangga, Jakarta.
- Mulyono, T. (2003). *Teknologi Beton*. ANDI, Yogyakarta.
- SNI 03-2847-2002. *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung*. Badan Standar Nasional SIKADUR @-31 CF Normal. "Product Data Sheet, Edition 28/08/2006, Identification No : 02 04 02 03 001 0 000039"
- Peraturan Beton Bertulang Indonesia. (1971). Ni-2, Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta.





"Solusi Masa Depan Bangunan Bertingkat"  
**PLAT LANTAI BETON PRECAST/PRACETAK**  
**CEPAT, HEMAT & KUAT**

# FLYSLAB dan ECOSLAB



**APLIKASI JOIN**

***Tinggal susun, Beres!!!***

- Struktur bangunan lebih efisien karena *ecoslab* memiliki bobot jauh lebih ringan dibandingkan dengan plat beton yang lain.
- Dalam hal manajemen konstruksi
  - mengurangi jenis pekerjaan pada proses pembangunan.
  - waktu pelaksanaan lebih cepat
  - tenaga kerja sedikit
  - tanpa bekisting
- tidak ada sisa material yang terbuang (*waste meterial*)
  - biaya konstruksi jauh lebih hemat dan terukur

**Keunggulan:**



**PT. MACAN SUMATERA INDONESIA**

**Alamat Produsen :**

**BATAM**

Komplek Pertokoan Batam Sentosa Blok A no 1-2 Kota Batam,

**MEDAN**

Jl Yos Sudarso No 93 KM 14,5 Martubung Kota Medan,

phone (061) 684 0688, contact : Johan (0852 74215255), fax (061) 684 0588

**PEKANBARU**

Jl Raya Teratak Buluh lokasi SPBU H.Syahrial Kampar Pekanbaru,

phone (0761) 833 3390, contact : Joni Anwar (0823 68229999)

**LAMPUNG**

Jl Raya Branti (Jalan Lintas Sumatera) No:9 KM.18, Kel Haduyang, Kec. Natar,  
Kab. Lampung Selatan, Provinsi Lampung. phone 0811 691580 & 0811 702283



**PT. MACAN SUMATERA INDONESIA**

Website : [www.betonflyslab.com](http://www.betonflyslab.com)

Email : [macan.sumatera@betonflyslab.com](mailto:macan.sumatera@betonflyslab.com)

[macan\\_flyslab@yahoo.co.id](mailto:macan_flyslab@yahoo.co.id)



## DATA TEKNIS "FLYSLAB"

| NO | TYPE "FLYSLAB"<br>A - A | DIMENSI DALAM MM |     |     |    |                |                | MUTU<br>BETON | MUTU<br>BESI | MAX.LIFE LOAD<br>CAPACITY |
|----|-------------------------|------------------|-----|-----|----|----------------|----------------|---------------|--------------|---------------------------|
|    |                         | A                | B   | C   | D  | E<br>fleksibel | F<br>fleksibel |               |              |                           |
| 1  | 600x1000x100            | 880              | 600 | 100 | 50 | -              | -              | K-250         | U-32<br>U-24 | 300 Kg/M <sup>2</sup>     |
| 2  | 600x1500x100            | 1380             | 600 | 100 | 50 | -              | -              | K-250         | U-32<br>U-24 | 300 Kg/M <sup>2</sup>     |
| 3  | 600x2000x100            | 1880             | 600 | 100 | 50 | -              | -              | K-300         | U-24<br>U-32 | 300 Kg/M <sup>2</sup>     |
| 4  | 600x2500x100            | 2380             | 600 | 100 | 50 | -              | -              | K-300         | U-24<br>U-32 | 300 Kg/M <sup>2</sup>     |
| 5  | 600x3000x100            | 2880             | 600 | 100 | 50 | -              | -              | K-300         | U-24<br>U-32 | 300 Kg/M <sup>2</sup>     |
| 6  | 600x3500x100            | 3380             | 600 | 100 | 50 | -              | -              | K-300         | U-24<br>U-32 | 300 Kg/M <sup>2</sup>     |
| 7  | 600x4000x100            | 3880             | 600 | 100 | 50 | -              | -              | K-300         | U-24<br>U-32 | 300 Kg/M <sup>2</sup>     |
| 8  | 600x4500x120            | 4380             | 600 | 120 | 50 | -              | -              | K-350         | U-24<br>U-32 | 300 Kg/M <sup>2</sup>     |

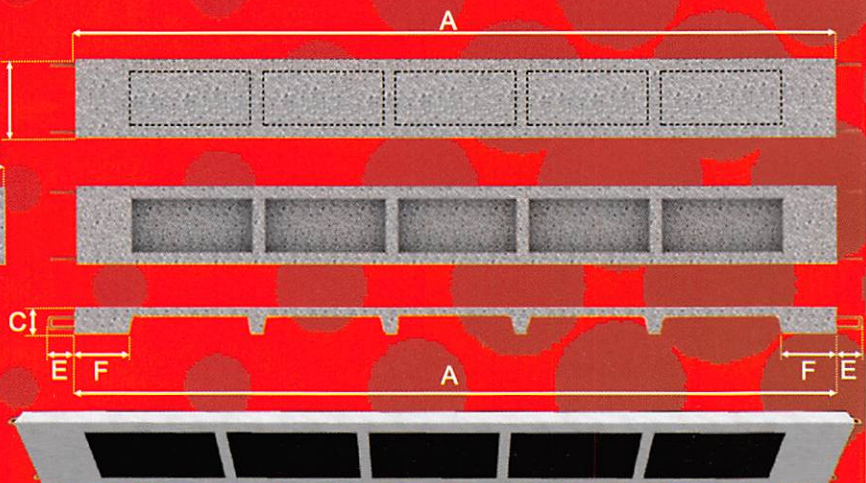
| NO | TYPE "FLYSLAB"<br>B - B | DIMENSI DALAM MM |     |     |    |                |                | MUTU<br>BETON | MUTU<br>BESI | MAX.LIFE LOAD<br>CAPACITY |
|----|-------------------------|------------------|-----|-----|----|----------------|----------------|---------------|--------------|---------------------------|
|    |                         | A                | B   | C   | D  | E<br>fleksibel | F<br>fleksibel |               |              |                           |
| 1  | 800x1000x100            | 880              | 800 | 100 | 50 | -              | -              | K-250         | U-32<br>U-24 | 300 Kg/M <sup>2</sup>     |
| 2  | 800x1500x100            | 1380             | 800 | 100 | 50 | -              | -              | K-250         | U-32<br>U-24 | 300 Kg/M <sup>2</sup>     |
| 3  | 800x2000x100            | 1880             | 800 | 100 | 50 | -              | -              | K-300         | U-24<br>U-32 | 300 Kg/M <sup>2</sup>     |
| 4  | 800x2500x100            | 2380             | 800 | 100 | 50 | -              | -              | K-300         | U-24<br>U-32 | 300 Kg/M <sup>2</sup>     |
| 5  | 800x3000x100            | 2880             | 800 | 100 | 50 | -              | -              | K-300         | U-24<br>U-32 | 300 Kg/M <sup>2</sup>     |
| 6  | 800x3500x100            | 3380             | 800 | 100 | 50 | -              | -              | K-300         | U-24<br>U-32 | 300 Kg/M <sup>2</sup>     |
| 7  | 800x4000x100            | 3880             | 800 | 100 | 50 | -              | -              | K-300         | U-24<br>U-32 | 300 Kg/M <sup>2</sup>     |
| 8  | 800x4500x120            | 4380             | 800 | 120 | 50 | -              | -              | K-350         | U-24<br>U-32 | 300 Kg/M <sup>2</sup>     |

## DATA TEKNIS "ECOSLAB"

| NO | TYPE "ECOSLAB"<br>(mm) | DIMENSI DALAM MM |     |    |    |   |   | MUTU<br>BETON | MUTU<br>BESI | MAX.LIFE LOAD<br>CAPACITY |
|----|------------------------|------------------|-----|----|----|---|---|---------------|--------------|---------------------------|
|    |                        | A                | B   | C  | D  | E | F |               |              |                           |
| 1  | 300x1000x70            | 950              | 300 | 70 | 50 | - | - | K-250         | U-32<br>U-24 | 250 Kg/M <sup>2</sup>     |
| 2  | 300x1500x70            | 1380             | 300 | 70 | 50 | - | - | K-250         | U-32<br>U-24 | 250 Kg/M <sup>2</sup>     |
| 3  | 300x2000x70            | 1880             | 300 | 70 | 50 | - | - | K-250         | U-24<br>U-32 | 250 Kg/M <sup>2</sup>     |
| 4  | 300x2500x70            | 2380             | 300 | 70 | 50 | - | - | K-250         | U-24<br>U-32 | 250 Kg/M <sup>2</sup>     |
| 5  | 300x3000x70            | 2880             | 300 | 70 | 50 | - | - | K-250         | U-24<br>U-32 | 250 Kg/M <sup>2</sup>     |
| 6  | 300x3500x70            | 3380             | 300 | 70 | 50 | - | - | K-300         | U-24<br>U-32 | 250 Kg/M <sup>2</sup>     |
| 7  | 300x4000x70            | 3880             | 300 | 70 | 50 | - | - | K-300         | U-24<br>U-32 | 250 Kg/M <sup>2</sup>     |



APLIKASI BANGUNAN



### Dampak positif bagi pengguna:

- Biaya lebih pasti dan lebih hemat (terukur)
- Pekerjaan lebih mudah (tanpa menggunakan alat berat)
  - Mutu beton dan mutu besi terjaga
- Lokasi pekerjaan bersih dan mengurangi limbah yang terbuang



**DURABILITY AND MECHANICAL CHARACTERISTICS OF POLYMER  
MODIFIED FERROCEMENT IN STRUCTURAL DEVELOPMENT**

**Fahrizal Zulkarnain<sup>1</sup>, Mohd. Zailan Suleiman<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Lecturer, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering,  
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU), Jl. Mukhtar Basri 3, Medan, Indonesia  
Email: [zulkarnain\\_fahrizal@yahoo.com](mailto:zulkarnain_fahrizal@yahoo.com)*

<sup>2</sup>*Lecturer, School of Housing, Building and Planning, Universiti Sains Malaysia, Malaysia*

**ABSTRACT**

This Paper Discusses The Durability Study Of Polymer-Modified Ferrocement In Comparison With Conventional Ferrocement Particularly When Exposed To Severe Environmental Conditions. The Development Of Strength, Deformability And Fracture Properties Were Slightly Different From Conventional Ferrocement. Test Result Indicates A Significant Improvement In Reducing And Bridging Micro Cracks, Especially In The Prepeak Load Region. Fracture Toughness And Deformability Increased Significantly. However, The Post Peak Behaviour Was Quite Similar To Conventional Ferrocement.

**Keywords:** Deformability, early age performance, polymer modified ferrocement, micro cracks, prepeak, postpeak, strength development.

**1. INTRODUCTION**

Ferrocement is known for its high durability performance in corrosive environments and its successful use in these structures may be an example and incentive asset to other major engineering applications (Obama and Shirai, 1992, Alexander, 1992, Matthews et al, 1993, Xiong, 1997). The transformation of ferrocement materials into a high durability and high performance material is a great challenge. One of the ways to make a material of high mechanical properties and high aesthetic values is through a polymer modification of mortar and concrete. To achieve desired mortar and concrete properties, experimental research on certain types of polymer admixture is necessary. Through researching and finding the optimal admixture quantity, mortar and concrete properties can be significantly improved. The wide applications of polymer modification for mortar and concrete urge researchers to carry out extensive work in order to establish a good base for this development. Hence, the main objective of the experimental investigation is study and evaluates the characteristics of polymer-modified ferrocement under static flexure. This includes load-deflection characteristics, first crack strength, crack width and crack spacing of ferrocement elements exposed to air and salt water environments.

**2. RESEARCH METHODOLOGY AND EXPERIMENTAL PROGRAMME**

The objective of the research methodology is to study and evaluate the deformation characteristic of polymer modified ferrocement elements cured in air and salt-water environments. The test included determination of load and deflection characteristics, cracking moments, crack widths, crack spacing, and number of cracks developed in ferrocement elements to a static flexural loading.

The compressive and flexural strengths of the mortar used in the ferrocement test specimens were determined from the mortar cube, 100 mm x 100 mm x 100 mm and mortar prisms, 100 mm x 100 mm x 500 mm according to BS 1881: part 116: 1983 and BS 1881: Part 118: 1983, respectively. The flexural properties of ferrocement were determined from the test specimens, 125 mm x 350 mm x 30 mm, reinforced with 3 layer of square welded mesh with volume fraction of 0.65% and the diameter is 1.0 mm. A four-point loading was used over a simply supported span of 300 mm to determine the load-deflection properties, crack width and crack spacing in the polymer modified ferrocements, as shown in Figure 1.

Three different polymer modification systems was employed in this study, namely styrene butadiene rubber latex (SBR) (10% by weight of cement), natural rubber latex (NR) (10% by weight of cement) and epoxy resin (ER) (10% by weight of cement), in their ability to increase the bond strength between mortar and

**SEMINAR NASIONAL HAKI**  
Tiara Convention Hall, Medan – 30 31 Mei 2014

reinforcement. The material properties are listed in Table 1. The fine aggregate was graded river sand with 5.0 mm maximum size and complied with the grading limit of zone F of BS 882. The sand has a specific gravity of 2.65, absorption of 0.80% and a fineness modulus of 2.46. Ordinary Portland cement of ASTM type I was used. The type of wire mesh used for the entire ferrocement test programme consisted of a square welded mesh of wire diameter 1.0 mm, and a mesh opening of 12.0 mm x 12.0 mm. The characteristics of the wire are listed in Table 2.

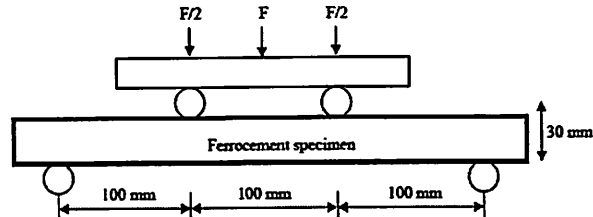


Figure 1. Test set-up for flexural test of ferrocement.

Table 1. Material properties of polymer.

| Properties                            | NR           | SBR          | ER            |
|---------------------------------------|--------------|--------------|---------------|
| Colour                                | White liquid | White liquid | Clear liquid  |
| Odour                                 | Ammonia gas  | Slight       | slight        |
| PH                                    | 10.56        | 8.5 – 11.0   | -             |
| Water solubility                      | soluble      | soluble      | insoluble     |
| Relative density (g/cm <sup>3</sup> ) | 0.94         | 1.01-1.025   | 1.16 at 25 °C |
| Solids content (%)                    | 61.52        | 46.5 – 49.5  | 100           |
| Particle size                         | -            | 0.15 µm      | -             |

Table 2. Characteristics of wire mesh.

| Type of wire            | Diameter of wire (mm) | Mesh size (mm) | Yield strength (MPa) | Ultimate Strenght (MPa) | Young's Modulus of Elasticity (Gpa) |
|-------------------------|-----------------------|----------------|----------------------|-------------------------|-------------------------------------|
| Square welded wire mesh | 1.0                   | 12.0 x 12.0    | 93.7                 | 231.2                   | 1.1                                 |

The mortar mix proportions used in this study were cement : sand : 1 : 3, all by weight with a water-cement ratio of 0.45 for initial mixes. Irrespective of the final (w/c) ratio used, all the mixes were designed for a slump of 130 – 150 mm. The amount of cement content used in the mortar mix is therefore, designed based on the following expression (Paillere, 1985).

$$C = \frac{700}{\sqrt[3]{D}} \quad (1.0)$$

Where:  $C$  is the cement proportion in kg/m<sup>3</sup>  
 $D$  is the maximum size of aggregate in mm

The maximum size of fine aggregate in the mix proportion is 5.0 mm, then the cement content should be used is about 500 kg/m<sup>3</sup>. The mix proportion is shown in Table 3.

Table 3. Design mixes for ferrocement specimens.

| Type of ferrocement | Cement (kg/m <sup>3</sup> ) | Polymer (%) | Superplasticizer (%) | Sand (kg/m <sup>3</sup> ) | W/c  | Slump (mm) |
|---------------------|-----------------------------|-------------|----------------------|---------------------------|------|------------|
| FEKAW               | 500                         | 0           | 1.5                  | 1500                      | 0.45 | 150        |
| FESBR               | 500                         | 10          | 0                    | 1500                      | 0.35 | 140        |
| FEER                | 500                         | 10          | 1.5                  | 1500                      | 0.45 | 145        |
| FEGA                | 500                         | 10          | 1.8                  | 1500                      | 0.45 | 140        |

**SEMINAR NASIONAL HAKI**  
Tiara Convention Hall, Medan – 30 31 Mei 2014

Note: FEKAW (Unmodified control ferrocement), FESBR (Styrene butadiene rubber latex ferrocement), FEER (Epoxy resin ferrocement), FEGA (Natural rubber latex ferrocement).

When designing the mix, the percentage of water present in the polymer dispersion was taken into account for determining the mixing water. A superplasticiser, sulphonated naphthalene condensate, was used (by weight of cement). All ferrocement specimens were cast in steel moulds, an external vibrator was used to facilitate compaction and decrease the amount of air bubbles. The samples were demoulded after 24 hours and then cured in water for 28 days. Once demoulded, the specimens were further cured in air and salt water cyclically for seven and three days each until the time of test. Prior to testing, the ferrocement specimens were subjected to the ages of 30, 90, 180 and 365 days. The test specimens, 125 mm x 350 mm x 30 mm as shown in Figure 2a.

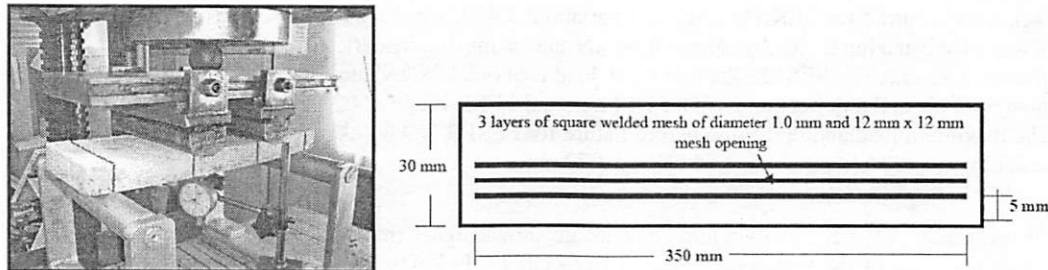


Figure 2. Flexural test of ferrocement, a) experimental set-up, and b) a schematic diagram of ferrocement test specimen.

The flexural test was conducted in a TORSEE testing machine as shown in Figure 2b. The deflection of the specimen was measured at the loading points, and was manually plotted. The strain gauge was bonded in the middle of each tensile reinforcement to measure the deflection of the first crack and ultimate loads of the ferrocement specimens the cracks widths were measured at the bottom-most of the vertical face of the specimen in the constant bending moment region. The number of cracks within the central 100 mm of the specimens was noted and the width of each crack was measured using a microscope.

### 3. TEST RESULTS AND DISCUSSIONS

#### 3.1 Mechanical Properties

The mechanical properties of mortar used for the ferrocement specimens are presented in Figure 4. to 6., each data presented here was obtained from an average of three test result. The test results are show that the compressive strength of the polymer modified cement mortars are always lower than that of the unmodified control, FEKAW, with the FESBR mix showing higher strengths than the FEER and FEGA mixes. This is attributed to the fact that the polymer films present in the matrix are fairly soft compares to that of cement matrix, and when they fill the voids and coat the aggregates and the cement particles, the resulting matrix will have a much lower compressive strength. Although the compressive strength of the unmodified control, FEKAW is higher than those of the polymer-modified mixes, its flexural strength is lower than that of the polymer-modified specimens (FESBR, FEGA, and FEER). Similarly, the Young's modulus of elasticity of the unmodified mortar, FEKAW, is marginally higher than that of the polymer-modified mortars. The test result also show that polymer modification has significantly improved the mechanical properties of cement mortars in particularly, the flexural strength of all polymer-modified cement mortars has been greatly.

#### 3.2 First Crack Strength and Ultimate Load

The predicted values of first crack load of the specimens at 30 days curing are found to be higher than those of the experimental values. The ratio of the first crack load from experiment,  $F_{cr} (Exp)$  to the predicted first crack load,  $F_{cr} (pred)$  varies between 0.83 to 0.87 and FEGA mix shows the lowest first crack load. While the ultimate loads of specimens obtained from the experiment  $F_u (exp)$  are higher than those obtained from calculation,  $F_u (pred)$ .

The test results show that, the experimental values for the first crack load of the specimens at 90 days are higher than those obtained from the calculation. All the specimens also record higher ultimate loads from experiment. A higher first crack and ultimate loads in the polymer modified ferrocements are attributed to the increased in

**SEMINAR NASIONAL HAKI**  
Tiara Convention Hall, Medan – 30 31 Mei 2014

flexural capacity as result of polymer film formation, which bind the aggregate and cement particles into a monolithic structure.

### 3.3 Load-Deflection Characteristics

The first crack load for FEKAW occurred at about 1.23 kN and a deflection of about 0.24 mm. For FESBR at about 1.55 kN and a deflection of about 0.56 mm, FEGA at about 1.34 kN and a deflection of about 0.44 mm and FEER at a about 1.34 kN and a deflection of about 0.44 mm. The maximum load before failure for FEKAW is about 3.72 kN, and the maximum deflection is about 1.38 mm. The maximum load and deflection for FESBR is 4.36 kN and 2.10 mm, FEGA is 4.10 kN and 1.74 mm and FEER is 4.23 kN and 2.22 mm.

The first crack load occurred for FEKAW (365 days) at about 3.43 kN and a deflection is about 0.98 mm. The specimen achieved its maximum load is about 4.34 kN and a maximum deflection of this specimen before failure is of about 2.52 mm. For FESBR, the first crack load is about 4.28 kN and a deflection is about 1.80 mm, FEGA is about 3.82 kN and a deflection is about 1.44 mm and FEER is about 4.21 kN and a deflection is about 1.50 mm. The maximum load and deflection before failure for FESBR is 4.86 kN and 3.96 mm, FEGA is about 4.61 kN and 3.12 mm and FEER is about 4.85 kN and 3.72 mm.

Based on the test result, polymer modified ferrocements are shows higher first crack load, maximum load and a deflection value than that of the unmodified control ferrocement, FEKAW. The result also indicates that, the first crack load, maximum load and a deflection value are found to increase with the increasing age of curing. From Figs 7. to 10., the load-deflection curves of ferrocement have been reported to have three distinct stages (Naaman and Shah, 1971), namely; before cracking mortar, after the first cracking of mortar but before the yielding of steel and, after yielding of steel meshes when the slopes becomes almost parallel to the axis of deflection.

### 3.4 Crack Width and Spacing

Based on the test result, the predicted values of the average crack widths are found to be lower than those of the experimental values. The result also indicate that, polymer modified ferrocements (FESBR, FEGA and FEER) are shows lower average crack widths than that of unmodified control ferrocement, FEKAW. All the test specimens indicate that, the increase in average crack width with respect the increasing age of curing. The results show that the average crack spacing obtained from the experiment is always lower than the predicted. For polymer-modified ferrocements, the average crack spacing is lower than that unmodified control ferrocement.

## 4. CONCLUSIONS

From the test results and the analysis of the experimental work carried out in this study the following are the main conclusions and recommendations:

1. From the mechanical properties test results are show that the compressive strength and Young's modulus of elasticity of the polymer-modified cement mortars are lower than that of unmodified control. The test result also shows that polymer modification has significantly improved the mechanical properties of cement mortars in particularly, the flexural strength of all polymer-modified cement mortars has been greatly.
2. The predicted values of first crack load of polymer-modified and unmodified control ferrocements are always higher than that of the experimental values at 30 days of curing. The ratio of the first crack load from experiment to the predicted first crack load varies between 0.83 to 0.87. While the ultimate loads of specimens obtained from the experiment are higher than those from prediction.
3. For 90, 180 and 365 days of curing, the test result that the experimental values for the first crack and ultimate loads are higher than those obtained from the calculation. A higher first crack and ultimate loads in the polymer modified ferrocements are attributed to the increased in flexural capacity as result of polymer film formation, which bind the aggregate and cement particles into a monolithic structure.
4. Based on the test result, polymer modified ferrocements are shows higher first crack load, maximum load and a deflection value than that of the unmodified control ferrocement. The result also indicates that, the first crack load, maximum load and a deflection value are found to increase with the increasing age of curing.
5. The average crack width of specimens determined from calculation is always lower than the experimental values. Lower crack widths in all polymer modified ferrocements indicate that polymer modification



**SEMINAR NASIONAL HAKI**  
Tiara Convention Hall, Medan – 30 31 Mei 2014

- improves the bonding between aggregate, cement and polymer particles by the formation of polymer films, bridging and cementing them into a durable matrix and exhibiting higher resistance to crack development.
6. The average crack spacing obtained from the experiment is always lower than the calculation as based on Eq. (3.0), the average crack spacing in all specimens is 38.0 mm. For polymer-modified ferrocements, the average crack spacing is lower than that unmodified control ferrocement.

## 5. ACKNOWLEDGEMENTS

We extend our gratitude to the Research Creativity and Management Office, Universiti Sains Malaysia, for funding this research and to The School of Housing, Building and Planning, Universiti Sains Malaysia for facilitating the field equipments. special thanks are also who rendered their timely help to the successful completion of this project research.

## 6. REFERENCES

- Alexander, D. (1992). "The Durability of Ferrocement and Fibrous Ferrocement in Aggressive Environments". *Journal of Ferrocement*, Vol. 22 (4), 373-375.
- Mathews, M.S., Sudhakumar, J., and Jayasree, P. (1993). "Durability Studies on Ferrocement, *Journal of Ferrocement*". Vol. 23 (1), 15-23.
- Naaman, A.E. (1997). "Design Predictions of Crack Widths in Ferrocement". *The ACI Publication SP-61*, American Concrete Institute, 25-42.
- Ohama, Y., and Shirai, A. (1992). "Durability of Polymer Ferrocement". *Journal of Ferrocement*, Vol. 22 (1), 27-34.
- Paillere, A.M. (1985). "Durability and Repair of Ferrocement". *Proceedings of the Second International Symposium on Ferrocement*, Bangkok, 673-679.
- Naaman, A.E., and Shah, A.P. (1971). "Tensile Test of Ferrocement". *Journal of the American Concrete Institute*, 693-698.
- Swamy, R.N. (1984). *New Reinforced Concrete – Concrete Technology and Design*, Volume 2, Surrey University Press, London, 1-102.
- Singh, G. (1994). "Cracking: Its Prediction and Engineering Significance – Keynote Lecture". *Proceedings of the Fifth International Symposium on Ferrocement*, Eds. P.J. Nedwell and R.N. Swamy, Manchester, U.K., 123-140.
- Xiong, G. J., et al (1997). "Review of the Fatigue Behavior of Ferrocement in a Corrosive Environment". *Journal of Ferrocement*, Vol. 27 (1), 7-18.

**INTERPRETASI HASIL PENYELIDIKAN TANAH  
DALAM PENENTUAN KEBUTUHAN TIANG PANCANG**

Binsar Silitonga<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Pengajar di Program Studi Teknik Sipil, Universitas Katolik Santo Thomas Sumatera Utara,  
Jalan Setia Budi No. 479F – Tanjung Sari – Medan  
Email: binsar\_silitong@yahoo.co.id

**ABSTRAK**

Kegiatan penyelidikan tanah hanyalah merupakan langkah awal dalam perencanaan pondasi terutama untuk pemakaian pondasi tiang pancang. Hasil dari kegiatan penyelidikan tanah tersebut dengan menggunakan alat (*tools*) berupa landasan teori dan persamaan-persamaan (*formula*) yang ada akan menghasilkan perhitungan nilai daya dukung tanah yang terukur yang akan dipakai dalam menentukan jenis, sifat, ukuran, kedalaman serta jumlah tiang pondasi yang tepat. Oleh karenanya kegiatan penyelidikan tanah janganlah hanya dipandang sekedar untuk mendapatkan jumlah pukulan palu (*N-blows*) dari tinggi tertentu, nilai perlawanan ujung (*tip bearing*), nilai hambatan lekat (*skin friction*), parameter *index properties*, dan parameter *engineering properties* saja, namun haruslah dipandang secara menyeluruh (*comprehensive*) sebagai satu kesatuan utuh. Pemakaian kata utuh disini bermakna bahwa kegiatan penyelidikan tanah itu haruslah meliputi penentuan jenis penyelidikan tanah yang tepat, pelaksanaan kegiatan penyelidikan tanah yang benar, serta interpretasi dan analisis hasil penyelidikan tanah yang juga harus benar. Keseluruhan ini akan menghasilkan perencanaan kebutuhan tiang pancang yang tidak saja aman namun juga optimal.

Kata kunci: penyelidikan tanah, analisis dan interpretasi hasil, tiang pancang, aman, optimal.

## **1. PENDAHULUAN**

Merujuk pada hukum Newton ke III yang menyatakan bahwa untuk setiap aksi yang bekerja akan ada reaksi untuk mengimbangi aksi tersebut yang besarnya sama namun dengan arah yang berlawanan. Pemahaman ini menjadi dasar dalam perencanaan struktur baik itu struktur atap, lantai, balok, dinding dan pondasi.

Dalam praktek perencanaan bangunan sipil yang termasuk dalam kategori aksi adalah keseluruhan beban yang bekerja yang dikelompokkan menjadi beban mati, beban hidup, beban angin, beban gempa, dan jenis beban yang lain sesuai dengan peraturan pembebanan yang berlaku. Sedangkan yang termasuk dalam kategori reaksi adalah berupa ukuran penampang serta kemampuan dukung dari penampang tersebut yang bergantung pada jenis material penyusunnya.

Bila tubuh bangunan sipil dikelompokkan atas tubuh bangunan atas (*upper structure*) dan tubuh bangunan bawah (*sub structure*), maka yang tersulit adalah dalam perencanaan tubuh bangunan bagian bawah. Kesulitan dalam perencanaan tubuh bangunan bagian bawah ini terjadi karena tanah yang menjadi penopang utama keseluruhan berat tubuh bangunan mempunyai sifat yang tidak homogen baik dalam arah kedalaman (*vertical*) maupun dalam arah lebar serta panjang (*horizontal*). Selain ketidakhomogenannya maka karakter dari tanah dipengaruhi oleh ukuran butiran, komposisi antar ukuran butiran, kandungan air tanah, letak kedudukan muka air tanah, berat spesifik, angka pori, kemampuan lekatan, besar sudut geser dan faktor lainnya yang keseluruhan itu dalam mekanika tanah (*soil mechanics*) dapat dikategorikan dalam *index properties* dan *engineering properties*. Kerjasama keseluruhan parameter inilah yang menghasilkan kemampuan daya dukung tanah.

## **2. PENYELIDIKAN TANAH**

Dalam prakteknya, penyelidikan tanah dilakukan dengan dua (2) cara yaitu penyelidikan lapangan (*field test*) dan penyelidikan laboratorium (*laboratory test*). Bentuk penyelidikan lapangan yang biasanya dilakukan guna mendapatkan nilai daya dukung tanah adalah uji sondir atau CPT (*cone penetration test*), uji SPT (*standard*

## SEMINAR NASIONAL HAKI

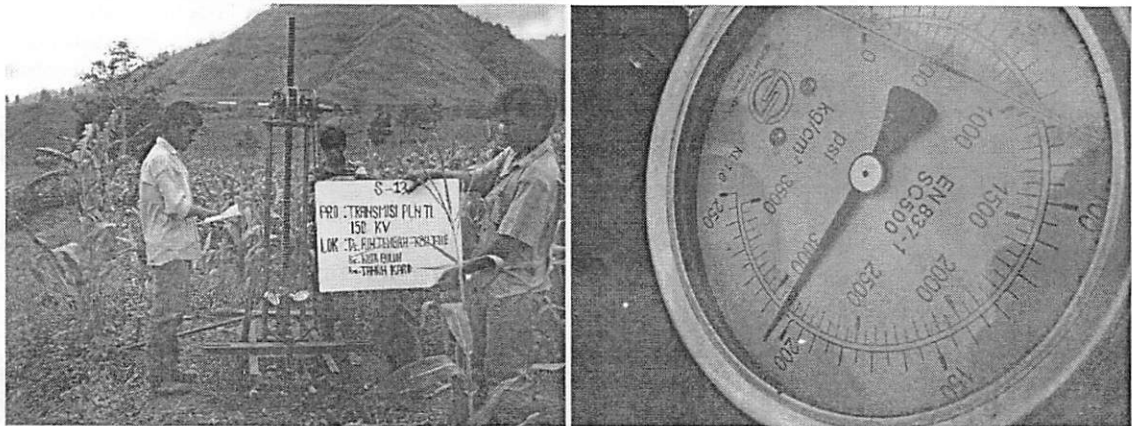
Tiara Convention Hall, Medan – 30 31 Mei 2014

*penetration test*), dan uji DCPT (*dynamic cone penetration test*). Ketiga cara penyelidikan lapangan seperti yang disebutkan diatas sesungguhnya mempunyai karakteristik yang berbeda, sehingga perlu dipahami dengan baik.

### 2.1. Uji Sondir

Dalam prakteknya uji sondir dilakukan secara manual dengan menggunakan tenaga orang yang secara konsisten mengayuh suatu tuas untuk mendorong batang besi (*rod*) masuk kedalam tanah. Agar batang besi ini dapat dengan mudah masuk menusuk tanah, maka pada bagian ujungnya diberi alat berbentuk kerucut (*cone*) yang runcing. Alat pada bagian ujung ini akan terhubung dengan suatu alat pencatat (*manometer*). Dari alat pencatat ini kita dapat mengetahui besar perlawanan ujung konus maupun besar perlawanan selimut badan konus pada setiap kedalaman alat masuk menembus tanah. Perlawanan ujung konus akan member nilai daya dukung ujung (*tip bearing*) dan perlawanan selimut badan konus akan memberi nilai daya dukung perlekatan selimut (*skin friction*).

Karena dilakukan secara manual, maka bila uji sondir ini dilakukan dengan benar akan memberikan nilai perlawanan ujung maupun perlawanan lekatan selimut yang konsisten. Namun cara manual ini mempunyai keterbatasan yaitu angka yang ditunjukkan oleh manometer terhenti pada nilai 250 kg./cm<sup>2</sup>. Diatas nilai ini akan sangat sulit dicapai karena perlawanan tanah sudah sangat besar sedang yang melakukan pengujian adalah tenaga manusia. Karena terbatasnya besaran yang dapat ditunjukkan oleh manometer, maka jenis sondir ini disebut sebagai sondir ringan.



Gambar 1. Uji sondir (*cone penetration test*) dan besaran pada manometer.

### 2.2. Uji DCPT

Uji *dynamic cone penetrometer* (DCP) adalah salah satu instrumen yang lajim digunakan pada pekerjaan-pekerjaan tanah di lapangan baik itu pada tanah asli maupun untuk pekerjaan penimbunan dan pemadatan tanah seperti pemadatan untuk badan jalan, pemadatan talud saluran, pemadatan untuk lapangan parkir, pemadatan untuk tangki timbun dll. Instrumen ini sangat umum dipakai untuk pekerjaan tersebut diatas karena memiliki keunggulan yaitu dapat memberikan hasil dengan cepat.



Gambar 2. Uji DCP (*dynamic cone penetration test*) dan komponen instrument.

### 3. INTERPRETASI HASIL SONDIR

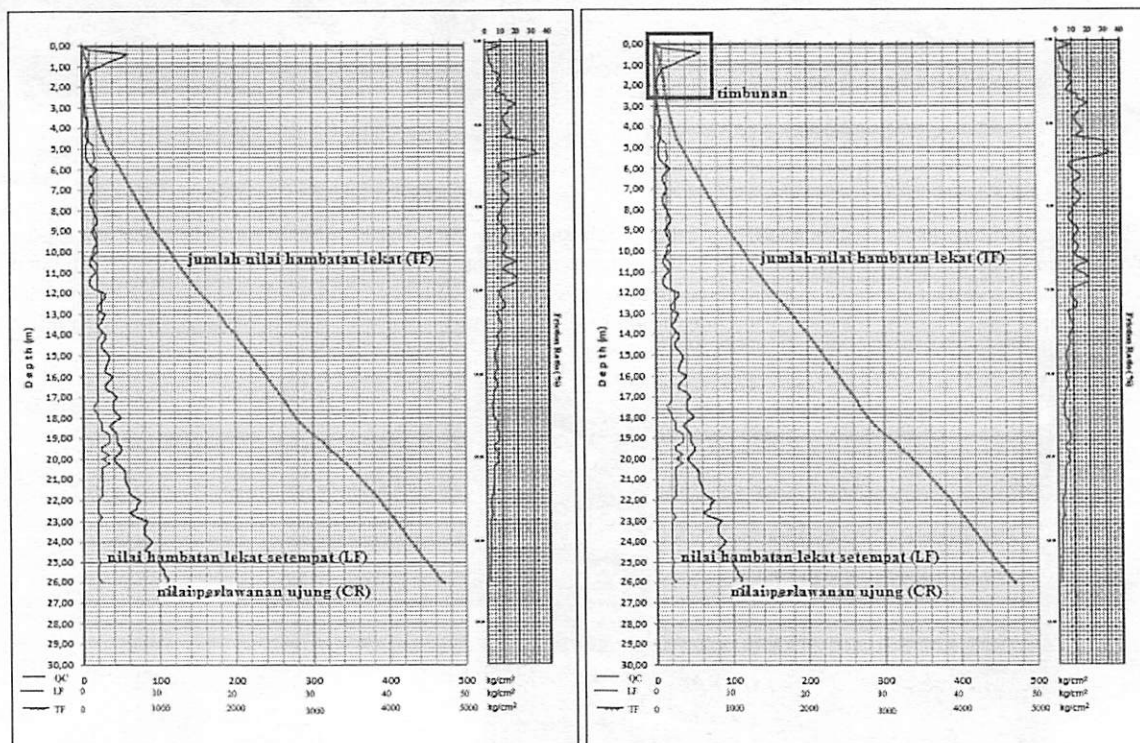
Seperti yang telah disebutkan sebelumnya bahwa penyelidikan tanah lapangan adalah bertujuan untuk mendapatkan nilai daya dukung tanah (*soil bearing capacity*). Banyak metode yang dapat dilakukan, namun yang paling umum adalah dengan menggunakan uji sondir atau disebut juga dengan uji CPT (*cone penetration test*). Uji sondir terutama sondir ringan adalah yang paling umum atau paling banyak dipakai karena ketika ujung konus masuk menembus permukaan tanah dan kemudian bergerak secara konsisten menembus lapisan tanah lebih dalam. Konsistensi masuknya ujung konus ini memungkinkan sangat kecil pengaruh luar merusak sampel tanah kecuali karena ujung konus.

Hasil uji sondir diperlihatkan dalam bentuk angka-angka maupun grafik yang berisikan informasi nilai perlawanan ujung atau CR (*cone resistance*), nilai hambatan lekat pada kedalaman tertentu atau LF (*local friction*) dan jumlah nilai hambatan lekat sampai kedalaman tertentu atau TF (*total friction*).

Selain menghasilkan angka-angka maupun grafik yang berisikan informasi nilai perlawanan ujung atau CR (*cone resistance*), nilai hambatan lekat pada kedalaman tertentu atau LF (*local friction*) dan jumlah nilai hambatan lekat sampai kedalaman tertentu atau TF (*total friction*), dari hasil uji sondir juga dapat diperkirakan apakah tiap lapisan tanah berupa tanah asli ataupun tanah hasil penimbunan.

Memperhatikan ujung grafik yang tertera pada gambar diatas, maka dapat dikatakan tanah keras yakni perlawanan ujung konus sebesar  $250 \text{ kg/cm}^2$  sudah tercapai pada kedalaman dengan kisaran kurang dari 10 meter. Ini bermakna bahwa bilamana dari hasil perhitungan beban-beban yang bekerja mengharuskan tubuh konstruksi tidak boleh turun, maka ujung tiang pondasi haruslah berada pada nilai perlawanan ujung terbesar. Dalam perencanaan pondasi bangunan dengan menggunakan tiang pancang, maka prinsip perhitungan seperti ini dikatakan bahwa tiang pancang mengandalkan daya dukung ujung tiang (*end bearing pile*). Dan dalam praktek pelaksanaan pemancangan tiang, maka pemancangan yang berhenti ketika tiang sudah tidak mampu lagi masuk menembus tanah disebut sebagai *final set*.

Hal seperti yang disebutkan diatas akan sangat memungkinkan bilamana tanah keras telah dijumpai pada kedalaman yang tidak terlalu besar. Namun bagaimana bila tanah keras dijumpai sangat dalam? Jawabnya tentulah tetap memakai pondasi tiang. Tetapi apakah kedalaman tiang harus sampai tanah keras?



Gambar 3. Grafik hasil uji DCP (*dynamic cone penetration test*) dan perkiraan adanya lapisan timbunan di permukaan.



**SEMINAR NASIONAL HAKI**  
Tiara Convention Hall, Medan – 30 31 Mei 2014

Untuk keadaan dimana tanah keras berada cukup dalam, maka pilihan terhadap tiang dengan daya dukung tanah kombinasi antara daya dukung ujung tiang (*end bearing pile*) dan daya dukung perlekatan selimut tiang (*friction pile*) adalah paling tepat. Hanya saja informasi karakteristik tanah dari hasil pengujian laboratorium adalah suatu keharusan.

#### 4. PERKIRAAN DAYA DUKUNG TIANG PANCANG BERDASARKAN DATA SONDIR

Ada banyak persamaan yang bisa dipakai untuk memperkirakan besar daya dukung pondasi tiang pancang berdasarkan data sondir dan persamaan yang dipakai untuk menghitung daya dukung tiang pada permasalahan ini adalah Persamaan Schmertmann (1978) yang dinyatakan seperti berikut:

$$Q_{ult} = \alpha' f_s A_s + q_p A_p$$

dimana

$\alpha'$  = koefisien gesek sondir terhadap tiang

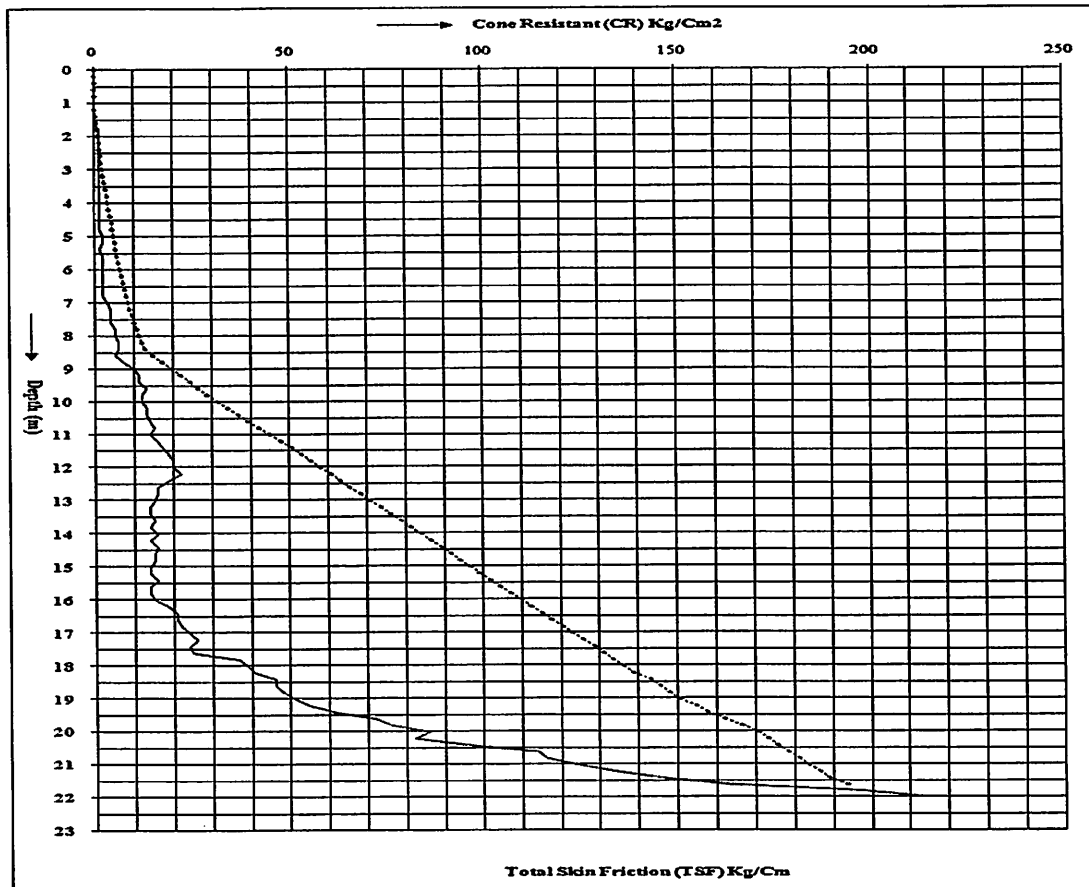
$f_s$  = rata-rata perlawanan hambatan lekat hasil sondir sepanjang rencana panjang tiang

$q_p$  = tahanan ujung hasil sondir pada rencana ujung tiang

Misalkan data pencatatan hasil sondir untuk dipakai dalam menganalisis daya dukung tiang adalah seperti

| Depth<br>(m) | Cone<br>Resistant<br>(CR)<br>Kg/Cm <sup>2</sup> | Total<br>Resistant<br>(TR)<br>Kg/Cm <sup>2</sup> | Depth<br>(m) | Cone<br>Resistant<br>(CR)<br>Kg/Cm <sup>2</sup> | Total<br>Resistant<br>(TR)<br>Kg/Cm <sup>2</sup> | Depth<br>(m) | Cone<br>Resistant<br>(CR)<br>Kg/Cm <sup>2</sup> | Total<br>Resistant<br>(TR)<br>Kg/Cm <sup>2</sup> |
|--------------|-------------------------------------------------|--------------------------------------------------|--------------|-------------------------------------------------|--------------------------------------------------|--------------|-------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| 0.00         | 0                                               | 0                                                | 7.00         | 3                                               | 5                                                | 14.00        | 16                                              | 29                                               |
| 0.20         | 0                                               | 0                                                | 7.20         | 4                                               | 6                                                | 14.20        | 14                                              | 27                                               |
| 0.40         | 0                                               | 0                                                | 7.40         | 4                                               | 6                                                | 14.40        | 16                                              | 29                                               |
| 0.60         | 0                                               | 0                                                | 7.60         | 4                                               | 7                                                | 14.60        | 15                                              | 28                                               |
| 0.80         | 0                                               | 0                                                | 7.80         | 5                                               | 8                                                | 14.80        | 15                                              | 28                                               |
| 1.00         | 0                                               | 0                                                | 8.00         | 5                                               | 8                                                | 15.00        | 14                                              | 27                                               |
| 1.20         | 0                                               | 0                                                | 8.20         | 6                                               | 9                                                | 15.20        | 14                                              | 27                                               |
| 1.40         | 0                                               | 0                                                | 8.40         | 6                                               | 9                                                | 15.40        | 16                                              | 29                                               |
| 1.60         | 0                                               | 0                                                | 8.60         | 5                                               | 8                                                | 15.60        | 14                                              | 27                                               |
| 1.80         | 1                                               | 2                                                | 8.80         | 7                                               | 11                                               | 15.80        | 14                                              | 27                                               |
| 2.00         | 1                                               | 2                                                | 9.00         | 10                                              | 21                                               | 16.00        | 15                                              | 28                                               |
| 2.20         | 1                                               | 2                                                | 9.20         | 11                                              | 23                                               | 16.20        | 19                                              | 33                                               |
| 2.40         | 1                                               | 2                                                | 9.40         | 11                                              | 23                                               | 16.40        | 21                                              | 34                                               |
| 2.60         | 1                                               | 2                                                | 9.60         | 13                                              | 25                                               | 16.60        | 21                                              | 34                                               |
| 2.80         | 1                                               | 2                                                | 9.80         | 12                                              | 24                                               | 16.80        | 22                                              | 35                                               |
| 3.00         | 1                                               | 2                                                | 10.00        | 13                                              | 23                                               | 17.00        | 24                                              | 37                                               |
| 3.20         | 1                                               | 2                                                | 10.20        | 13                                              | 25                                               | 17.20        | 26                                              | 39                                               |
| 3.40         | 1                                               | 2                                                | 10.40        | 15                                              | 26                                               | 17.40        | 24                                              | 37                                               |
| 3.60         | 1                                               | 2                                                | 10.60        | 14                                              | 27                                               | 17.60        | 25                                              | 38                                               |
| 3.80         | 1                                               | 3                                                | 10.80        | 15                                              | 28                                               | 17.80        | 37                                              | 51                                               |
| 4.00         | 1                                               | 3                                                | 11.00        | 14                                              | 27                                               | 18.00        | 39                                              | 53                                               |
| 4.20         | 1                                               | 2                                                | 11.20        | 16                                              | 29                                               | 18.20        | 41                                              | 53                                               |
| 4.40         | 1                                               | 2                                                | 11.40        | 17                                              | 31                                               | 18.40        | 46                                              | 59                                               |
| 4.60         | 1                                               | 3                                                | 11.60        | 19                                              | 34                                               | 18.60        | 46                                              | 58                                               |
| 4.80         | 1                                               | 3                                                | 11.80        | 20                                              | 33                                               | 18.80        | 48                                              | 70                                               |
| 5.00         | 2                                               | 3                                                | 12.00        | 20                                              | 32                                               | 19.00        | 51                                              | 63                                               |
| 5.20         | 2                                               | 3                                                | 12.20        | 22                                              | 36                                               | 19.20        | 55                                              | 68                                               |
| 5.40         | 1                                               | 3                                                | 12.40        | 19                                              | 31                                               | 19.40        | 61                                              | 73                                               |
| 5.60         | 2                                               | 3                                                | 12.60        | 16                                              | 29                                               | 19.60        | 72                                              | 94                                               |
| 5.80         | 2                                               | 3                                                | 12.80        | 16                                              | 28                                               | 19.80        | 76                                              | 90                                               |
| 6.00         | 2                                               | 3                                                | 13.00        | 15                                              | 28                                               | 20.00        | 86                                              | 108                                              |
| 6.20         | 2                                               | 4                                                | 13.20        | 14                                              | 27                                               | 20.20        | 82                                              | 104                                              |
| 6.40         | 2                                               | 4                                                | 13.40        | 14                                              | 27                                               | 20.40        | 96                                              | 118                                              |
| 6.60         | 2                                               | 4                                                | 13.60        | 15                                              | 28                                               | 20.60        | 114                                             | 126                                              |
| 6.80         | 2                                               | 4                                                | 13.80        | 14                                              | 27                                               | 20.80        | 116                                             | 129                                              |
| 7.00         | 3                                               | 5                                                | 14.00        | 16                                              | 29                                               | 21.00        | 124                                             | 137                                              |

Gambar 4. Data hasil uji sondir



Gambar 5. Grafik hasil uji sondir dan hubungan perlawanan penetrasi konus (PPK) dan jumlah hambatan lekat (JHL).

Maka dengan memakai persamaan tersebut diatas dengan mengandaikan tiang pancang yang dipakai adalah *concrete spun pile* (CSP) diameter 300 mm, maka besar daya dukung tiang pancang untuk beberapa kedalaman tiang masuk ketanah adalah seperti berikut:

| Kedalaman Pemancangan (meter) | Daya Dukung Ijin Tiang (Ton) |
|-------------------------------|------------------------------|
| 18                            | 37                           |
| 19                            | 41                           |
| 20                            | 51                           |
| 21                            | 62                           |

##### 5. DAYA DUKUNG TIANG BERDASARKAN DATA PEMANCANGAN

Ada banyak persamaan yang dipakai untuk menghitung besar daya dukung tiang berdasarkan pencatatan jumlah pukulan yang dibutuhkan untuk menancapkan tiang masuk kedalam tanah. Salah satu persamaan yang biasa dipakai adalah Persamaan Energi yang dinyatakan seperti berikut:

$$Q_u = \frac{W \times h}{S + C}$$

**SEMINAR NASIONAL HAKI**  
Tiara Convention Hall, Medan – 30 31 Mei 2014

dimana :

$Q_u$  = besar beban ultimate,  $W$  = berat hammer,  $H$  = tinggi jatuh hammer,  $S$  = penetrasi pukulan, dan  $C$  = konstanta

Berdasarkan Persamaan Energi ini maka besar beban ultimate akan beragam sebab respons tanah ketika menerima masuknya tiang juga beragam. Oleh karena itu untuk kepastian seberapa besar daya dukung tiang maka sebaiknya dilakukan pengujian terhadap tiang dan yang umum dipakai adalah uji dinamik dengan metode pile driving analysis (PDA test).

#### 6. DAYA DUKUNG TIANG BERDASARKAN DATA UJI DINAMIK (PDA TEST)

Berdasarkan data uji dinamik yang dilakukan oleh konsultan PT. Testana Engineering maka besar daya dukung tiang yang telah dipancang adalah seperti berikut:

| No.    | Daya Dukung Tiang |       |          | Diameter<br>(cm) | L<br>(m) | Energi<br>(tm) |
|--------|-------------------|-------|----------|------------------|----------|----------------|
|        | Selimut           | Ujung | Ultimate |                  |          |                |
| A34    | 51,30             | 19,60 | 70,90    | 30               | 16,80    | 2,36           |
| A105   | 59,20             | 7,20  | 66,40    | 30               | 16,80    | 2,31           |
| AT B16 | 55,10             | 27,90 | 83,00    | 30               | 16,80    | 2,40           |
| AT B13 | 93,20             | 5,30  | 98,50    | 30               | 16,80    | 2,40           |
| AT A9  | 89,50             | 6,60  | 96,10    | 30               | 17,00    | 1,29           |
| CT7    | 194,30            | 50,50 | 244,80   | 30               | 21,30    | 3,02           |
| D9     | 48,00             | 12,20 | 60,20    | 30               | 17,00    | 1,18           |
| B3     | 96,70             | 23,10 | 119,80   | 30               | 22,70    | 0,71           |
| A14    | 96,60             | 13,10 | 109,70   | 30               | 22,60    | 0,63           |
| I21    | 46,30             | 21,80 | 68,10    | 30               | 16,60    | 1,00           |

#### 7. Kesimpulan

Adapun yang menjadi kesimpulan dari tulisan ini adalah:

1. Pemahaman yang menyeluruh dan benar dalam melakukan penyelidikan tanah akan sangat membantu untuk menganalisis pemilihan jenis tiang dan kebutuhan tiang.
2. Untuk pilihan pondasi berupa tiang pancang dimana dari hasil analisis data penyelidikan tanah memungkinkan perhitungan daya dukung tiang dengan memobilisasi hambatan lekat, maka pencatatan jumlah pemukulan pada saat pemancangan hanya merupakan alat bantu dalam menduka besar daya dukung tiang.
3. Untuk kepastian daya dukung tiang yang memobilisasi hambatan lekatnya maka uji dinamik terhadap tiang yang telah terpancang adalah suatu keharusan.

#### DAFTAR PUSTAKA

Braja M. Das, (1990), "Principles of Foundation Engineering", 2<sup>nd</sup> Edition, PWS-KENT Publishing, Boston.  
Bowles, (1988), "Foundation Analysis and Design", McGraw Hill International.  
Muni Budhu, (2000), "Soil Mechanics and Foundation", John Wiley & Sons Inc., United States of America  
Tomlinson M., Woodward J., (1977), "Pile Design and Construction Practice", 5<sup>th</sup> Edition, Taylor & Francis., London & New York

**PENGENDALIAN PROYEK KONSTRUKSI DENGAN KONSEP EARNED VALUE**  
**Studi Kasus : Pembangunan Gardu Induk Pasir Pangaraian dan Bangkinang**

Syahrizal<sup>1</sup>, dan Fitri Handayani<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Staff Pengajar Departemen Teknik Sipil, Universitas Sumatera Utara, Jl. Perpustakaan No. 1 Kampus USU  
Medan

Email : [rizal\\_ar@ymail.com](mailto:rizal_ar@ymail.com)

<sup>2</sup>Departemen Teknik Sipil, Universitas Sumatera Utara, Jl. Perpustakaan No. 1 Kampus USU Medan

Email : [fhandayani1989@gmail.com](mailto:fhandayani1989@gmail.com)

**ABSTRAK**

Pengendalian proyek yang berskala besar dan cukup kompleks harus ditangani secara sistematis, terbuka dan komunikatif. Metode pengendalian kinerja proyek yang digunakan pada penelitian ini adalah *Earned Value Methode*, yang dapat memberikan informasi mengenai posisi kinerja proyek dalam jangka waktu tertentu serta dapat memperkirakan progres proyek pada periode selanjutnya, yaitu dalam hal biaya dan waktu penyelesaian proyek. Analisis data dilakukan dengan menerapkan 3 (tiga) indikator *Earned Value* yaitu Budgeted Cost of Work Scheduled (BCWS), Budgeted Cost of Work Performed (BCWP), dan Actual Cost Work Performed (ACWP). Adapun tahapan dalam mengolah data, yang pertama adalah menentukan nilai-nilai planned value, earned value, dan actual cost, lalu dilakukan perhitungan untuk menentukan nilai varian terpadu, indeks kinerja proyek dan perkiraan biaya dan waktu sampai pekerjaan selesai. Dari hasil analisis data diketahui bahwa, kinerja pelaksanaan proyek yang diteliti dari segi waktu mengalami keterlambatan yang ditunjukkan dengan nilai Schedule Performed Indeks (SPI)  $0,64 < 1$ . Sedangkan dari segi biaya menunjukkan bahwa biaya pelaksanaan lebih kecil daripada rencana anggaran yang dibuktikan dari nilai Cost Performed Indeks (CPI)  $= 1,15 > 1$ .

Kata Kunci : *Pengendalian Kinerja Proyek, Earned Value Methode, BCWS, BCWP, ACWP*

**ABSTRACT**

Project with large scale and complex enough is need to be controlled sistematically, communicatively and openly. The controlling methode that used in this study is Earned Value Methode, which can provide information about the position of the project's progress in the next periode, especially in term of cost and project completion time. Data analysis was made by applying the three indicators of Earned Value they are Budgeted Cost of Work Scheduled (BCWS), Budgeted Cost of Work Performed (BCWP), dan Actual Cost Work Performed (ACWP). Stages of data processing are, first difine the planned value, earned value, and actual cost, then do calculation to determine integrated varian, project performance index and estimation the costs and time to complete the work. From the analysis of the data known that performance of the project in terms of time is delayed, indicated by the value of schedule performed indeks (SPI)  $= 0,64 < 1$ . Whereas in terms of costs shows that the cost of implementation is smaller than the budget plan, indicated by the value of cost performed index (CPI)  $= 1,15 > 1$ .

Key words : *Controlling Of Project Performance, Earned Value Methode, BCWS, BCWP, ACWP*

**PENDAHULUAN**

**Latar Belakang**

Pada era globalisasi seperti saat sekarang ini, persaingan antar pelaku dibidang konstruksi berkembang dengan sangat cepat. Masing-masing berusaha untuk menghasilkan suatu proyek konstruksi yang memiliki kualitas terbaik dengan tetap memperhitungkan keuntungan akhir dari sebuah proyek konstruksi.



## SEMINAR NASIONAL HAKI

Tiara Convention Hall, Medan – 30 31 Mei 2014

Pada kenyataannya suatu proyek mempunyai keterbatasan akan sumber daya, baik berupa manusia, material, biaya ataupun alat. Untuk itu diperlukan pengelolaan sumber daya mulai dari fase awal hingga fase penyelesaian proyek. Dengan meningkatnya tingkat kompleksitas proyek dan semakin terbatasnya sumber daya, maka dibutuhkan juga peningkatan sistem pengelolaan proyek yang baik dan terintegrasi (Ahuja et al., 1994).

Sasaran dan tujuan proyek seperti optimasi kinerja biaya, mutu, waktu dan keselamatan kerja harus memiliki format standar dan kriteria sebagai alat ukur, agar dapat mengindikasikan pencapaian kinerja proyek. Alat ukur yang digunakan dapat berupa jadwal, kuantitas pekerjaan, standar mutu/spesifikasi pekerjaan, serta standar keselamatan dan kesehatan kerja, yang untuk selanjutnya diproses dalam suatu sistem informasi. Sistem informasi ini mengolah data-data yang kemudian menghasilkan informasi penting untuk pengambilan keputusan.

Pengendalian proyek yang berskala besar dan cukup kompleks harus ditangani secara sistematis, terbuka dan komunikatif. Salah satu metode pengendalian kinerja proyek yang digunakan adalah *Earned Value Methode*, yang dapat memberikan informasi mengenai posisi kemajuan proyek dalam jangka waktu tertentu serta dapat memperkirakan progres proyek pada periode selanjutnya, yaitu dalam hal biaya dan waktu penyelesaian proyek. Sehingga hasil dari evaluasi kinerja proyek ini dapat digunakan sebagai early warning. Jika terdapat inefisiensi dalam penyelesaian proyek sehingga dapat dilakukan kebijakan-kebijakan manajemen dan perubahan metode pelaksanaan agar pembengkakan biaya dalam keterlanjutan penyelesaian proyek dapat dicegah.

### Tujuan Penelitian

Untuk mengetahui kinerja proyek Pembangunan Gardu Induk Pasir Pangaraian dan Bangkinang apakah pelaksanaannya telah dilakukan dengan optimal.

### METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah deskriptif kuantitatif, penelitian yang menggambarkan kondisi proyek tertentu dengan analisis data-data yang ada. Analisis data menggunakan metode analitis. Analitis berarti data yang sudah ada diolah sedemikian rupa sehingga menghasilkan hasil akhir yang dapat disimpulkan. Konsep Nilai Hasil (*Earned Value Methode*) mengkaji kecenderungan varian jadwal dan varian biaya pada suatu periode waktu selama proyek berlangsung.

Adapun beberapa tahapan dalam mengolah data yaitu :

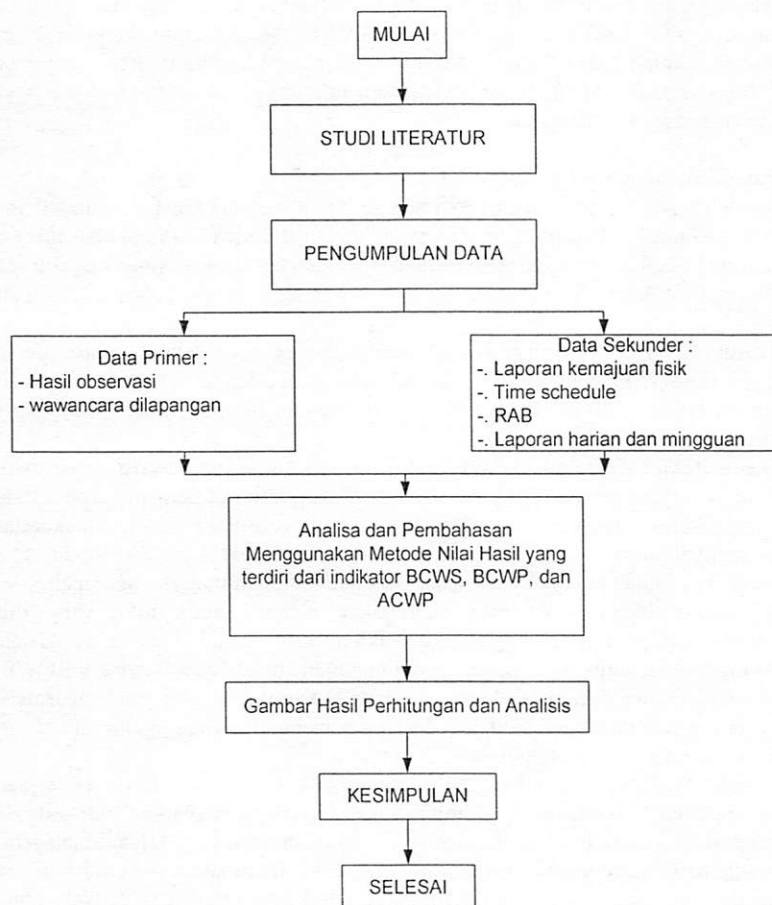
1. Menghitung indikator *Planned Value* atau BCWS adalah bobot rencana per-bulan dikalikan dengan *budget at completion* (Nilai Kontrak). Perhitungan Anggaran menurut Jadwal (*Planned Value*) didapat dengan merencanakan seluruh aktifitas proyek berdasarkan metode konstruksi yang terpilih atau juga dapat ditentukan dengan metode kurva-S. *Planned value* sama dengan bobot rencana dikalikan dengan nilai kontrak.
2. Menghitung indikator *Earned Value* atau BCWP adalah bobot yang telah tercapai per-bulan dikalikan dengan biaya proyek (*budget at completion*). *Earned value* sama dengan bobot realisasi dikalikan dengan nilai kontrak. Dimana bobot realisasi diatas didapat dari laporan mingguan progress pekerjaan yang telah tercapai dalam kurun waktu tertentu.
3. Menghitung indikator *Actual Cost* atau ACWP, untuk mendapatkan *actual cost* dapat menggunakan hasil analisa harga satuan pekerjaan per-item pekerjaan maupun data kontrak dengan sub-kontraktor untuk item-item pekerjaan yang disub-kontrakkan. *Actual cost* adalah seluruh biaya per-item pekerjaan tertentu yang dikeluarkan untuk menyelesaikan item pekerjaan tersebut. *Actual cost* dapat ditentukan dengan melakukan perhitungan analisa harga satuan pekerjaan termasuk sewa, alat, bahan/material dan upah.
4. Menentukan nilai varian biaya (CV) yang merupakan selisih antara nilai yang diperoleh setelah menyelesaikan paket-paket pekerjaan dengan biaya aktual yang terjadi selama pelaksanaan proyek dan varian waktu (SV) digunakan untuk menghitung penyimpangan antara BCWS dengan BCWP.
5. Menentukan *Cost Performance Indeks* (CPI) yang menunjukkan bobot nilai yang diperoleh terhadap biaya yang dikeluarkan, untuk mendapatkan indikator CPI yaitu dengan perbandingan antara *earned value* dan *actual cost* sesuai dengan data yang telah diolah sebelumnya.
6. Menentukan *Schedule Performance Indeks* (SPI) menunjukkan seberapa besar pekerjaan yang mampu diselesaikan terhadap satuan pekerjaan yang direncanakan, untuk mendapatkan indikator SPI yaitu dengan perbandingan antara *earned value* dengan *planned value* sesuai dengan yang telah diolah sebelumnya.
7. Menentukan *Estimate at Completion* (EAC), perhitungan EAC merupakan penjumlahan biaya aktual yang sudah dikeluarkan dan sisa biaya yang akan dibutuhkan untuk menyelesaikan proyek, untuk mendapatkan nilai ini dengan cara menghitung bobot terisa dan mengalikannya dengan nilai kontrak atau harga satuan.

**SEMINAR NASIONAL HAKI**  
Tiara Convention Hall, Medan – 30 31 Mei 2014

Informasi yang dihasilkan dari indikator-indikator tersebut adalah sebagai berikut:

Tabel 1. Analisis varian terpadu

| $BCWP - BCWS = SV$ | $BCWP - ACWP = CV$ | KETERANGAN                                                                                                         |
|--------------------|--------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Positif            | Positif            | Jadwal pelaksanaan pekerjaan lebih cepat dari yang direncanakan, biaya yang dialokasikan lebih kecil dari anggaran |
| Positif            | Negatif            | Pelaksanaan lebih cepat dari yang direncanakan, alokasi biaya lebih besar dari anggaran.                           |
| Positif            | Nol                | Pelaksanaan lebih cepat dari jadwal dengan alokasi biaya sama dengan anggaran.                                     |
| Nol                | Nol                | Pelaksanaan sama dengan yang dijadwalkan dengan alokasi biaya lebih besar dari anggaran                            |
| Nol                | Negatif            | Pelaksanaan sama dengan jadwal dengan alokasi biaya lebih besar dari anggaran.                                     |
| Negatif            | Positif            | Pelaksanaan lebih lambat dari yang dijadwalkan dengan alokasi biaya lebih kecil dari anggaran.                     |



Gambar 3. Diagram alir langkah-langkah penelitian.

**SEMINAR NASIONAL HAKI**  
Tiara Convention Hall, Medan – 30 31 Mei 2014

**HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN**

Proyek Pembangunan Gardu Induk Pasir Pangaraian dan Bangkinang memerlukan dana sebesar Rp. 50.689.145.000,00, jumlah itu adalah jumlah keseluruhan setelah ditambahkan dengan pajak sebesar 10%. Akan tetapi pada analisa data untuk perhitungan BCWS, BCWP, dan ACWP akan dilakukan tanpa memperhitungkan penambahan biaya pajak sehingga jumlah dana proyek jika dikurangi dengan pajak adalah sebesar Rp. 46.084.869.624,15.

1.  $BCWS = \% \text{ Bobot Rencana} \times \text{Rencana Anggaran}$   
Pada penelitian ini nilai BCWS diperoleh berdasarkan perkalian bobot rencana dalam jadwal pelaksanaan proyek dengan rencana anggaran biaya. Dimana besarnya anggaran adalah Rp. 46.084.869.624,15. Dana tersebut adalah total dana pekerjaan fisik, tanpa penambahan biaya pajak.
2.  $BCWP = \% \text{ Bobot Actual} \times \text{Rencana Anggaran}$   
BCWP merupakan total biaya pekerjaan fisik tanpa ada penambahan pajak. BCWP didapat dari bobot aktual terhadap seluruh pekerjaan dikali dengan besarnya nilai kontrak. Nilai BCWP keseluruhan sampai pelaporan bulan oktober adalah = Rp. 36.328.840.731,03.
3.  $ACWP = \text{Biaya Actual untuk pekerjaan yang telah dilaksanakan}$   
ACWP adalah jumlah biaya aktual dari pekerjaan yang telah dilaksanakan. Biaya ini diperoleh berdasarkan data keuangan dan akuntansi pada perusahaan pelaksana pada tanggal pelaporan (misalnya akhir bulan), yaitu catatan segala pengeluaran biaya aktual dari paket-paket pekerjaan termasuk perhitungan overhead dan lain-lain. Nilai ACWP keseluruhan sampai pelaporan bulan oktober adalah = Rp. 32.594.049.014,10.

Selanjutnya perhitungan parameter varian waktu dan biaya serta estimasi biaya untuk penyelesaian dan lama waktu penyelesaian dengan menggunakan rumus dibawah ini.

$$SV = BCWP - BCWS$$

$$CV = BCWP - ACWP$$

$$SPI = \frac{BCWP}{BCWS}$$

$$CPI = \frac{ACWP}{(BCWS - BCWP)}$$

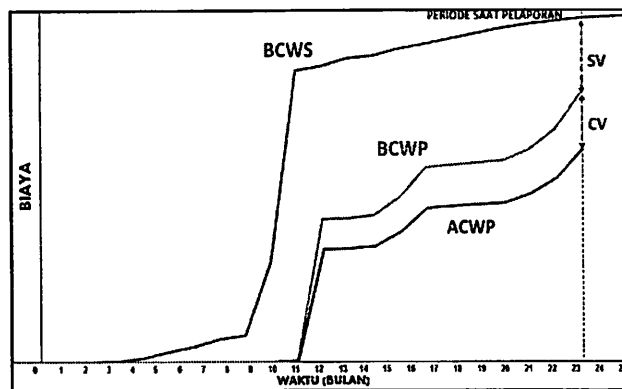
$$ETC = \frac{CPI}{BCWS - BCWP}$$

$$EAC = ACWP + \left( \frac{BCWS - BCWP}{CPI} \right)$$

Tabel 2. Hasil perhitungan kinerja proyek

| No | Konsep Nilai Hasil               | Hasil Perhitungan     | Keterangan                                                                                                                                       |
|----|----------------------------------|-----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | Indikator                        |                       |                                                                                                                                                  |
|    | - BCWS                           | Rp. 46.084.869.841,16 |                                                                                                                                                  |
|    | - BCWP                           | Rp. 36.328.840.731,03 |                                                                                                                                                  |
|    | - ACWP                           | Rp. 32.594.049.014,10 |                                                                                                                                                  |
| 2  | Parameter Waktu                  |                       |                                                                                                                                                  |
|    | - SV (Schedule Variance)         | Negatif               | SV bernilai negatif, menandakan sampai pada saat pelaporan pelaksanaan proyek mengalami keterlambatan dari rencana awal.                         |
|    | - SPI (Schedule Performed Index) | 0,64                  | SPI bernilai kecil dari 1 menandakan bahwa kemajuan pekerjaan proyek lebih kecil dari yang telah direncanakan.                                   |
|    | - EAS (Estimate All Schedule)    | 104,5 minggu          | Perkiraan penyelesaian pelaksanaan proyek mengalami keterlambatan selama 4,5 minggu, dan diprediksikan proyek akan selesai pada 7 februari 2014. |
| 3  | Perkiraan Biaya                  |                       |                                                                                                                                                  |
|    | - CV (Cost Variance)             | Positif               | CV bernilai positif, menunjukkan bahwa biaya yang diperlukan lebih kecil daripada biaya anggaran.                                                |
|    | - CPI (Cost Performed Index)     | 1,15                  | CPI bernilai lebih dari satu berarti pengeluaran lebih kecil dari anggaran yang telah direncanakan                                               |
|    | - EAC (Estimate at Completion)   | Rp. 38.373.012.412,49 | Perkiraan biaya pengeluaran untuk proyek lebih kecil dari rencana anggaran proyek.                                                               |

**SEMINAR NASIONAL HAKI**  
Tiara Convention Hall, Medan – 30 31 Mei 2014



Gambar 2. Grafik Earned Value kinerja proyek

Dari grafik diatas terlihat bahwa grafik BCWP terletak dibawah grafik BCWS yang menandakan bahwa progres pelaksanaan proyek mengalami keterlambatan. Sedangkan dana yang digunakan untuk pekerjaan terealisasi lebih sedikit dari rencana, ditunjukkan dengan grafik ACWP yang terletak dibawah grafik BCWP.

## KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Kinerja pelaksanaan proyek dari segi waktu pelaksanaan mengalami keterlambatan, hal ini ditunjukkan dari indikator Schedule Varian (SV) bernilai negatif dan dari nilai Schedule Performed Indeks (SPI)=  $0,64 < 1$ .
2. Biaya pelaksanaan proyek memperoleh keuntungan, hal ini ditunjukkan dari indikator Cost Variance (CV) yang bernilai positif dan dari nilai Cost Performed Indeks (CPI)= $1,15 > 1$ .
3. Jika kinerja pelaksanaan proyek berjalan tetap sama sampai proyek selesai, maka biaya yang dibutuhkan untuk penyelesaian pekerjaan yang tersisa (ETC) adalah sebesar Rp. 5.778.963.398,40. Nilai tersebut masih lebih rendah dibandingkan dengan dana yang tersisa yang berarti pelaksanaan proyek mengalami keuntungan.
4. Waktu perkiraan penyelesaian pekerjaan akan memerlukan waktu selama 26,5 bulan, yang berarti mengalami keterlambatan selama 4,5 minggu dari rencana awal yang ditetapkan pada kontrak yaitu 25 bulan.

### Saran

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan, adapun beberapa hal yang dapat disarankan adalah sebagai berikut :

1. Metode Earned Value cocok digunakan untuk proyek yang berskala besar dan berlokasi di beberapa tempat sekaligus. Karena dengan metode ini monitoring berjalannya proyek bisa dilakukan secara bersamaan lebih mudah.
2. Apabila terdapat inefisiensi dalam pelaksanaan proyek, maka harus segera dilakukan evaluasi sedini mungkin agar proyek dapat berjalan sesuai dengan target dan kerugian dapat dihindari.
3. Pembuatan kurva S pada time schedule yang digunakan untuk mengontrol kinerja proyek sebaiknya dibuat seideal mungkin, sehingga bisa dihasilkan kurva Earned Value yang lebih baik.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abrar, Husein. 2008. "Manajemen Proyek , perencanaan, penjadwalan & pengendalian proyek". Andi . Yogyakarta.
- Biemo W.dkk. 2006. "Konsep Earned Value untuk Pengelolaan Proyek Konstruksi". Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Istitut Teknologi Bandung.
- Cleland D, Ireland L. 2007. "Project Management Strategic Design and Implementation, Fifth Edition". Mc. Graw- hill, USA
- Dipohusodo, Istimawan. 1995." Manajemen Konstruksi Jilid I". Kanisius. Yogyakarta.
- Dipohusodo, Istimawan. 1995. "Manajemen Konstruksi Jilid II".. Kanisius. Yogyakarta.
- Ervianto, Wulfram. 2004. "Teori Aplikasi Manajemen Proyek Konstruksi. Andi". Yogyakarta.
- Gray, Clifford, Larson, Erik. 2007. "Manajemen Proyek Proses Manajerial Edisi 3". Andi. Yogyakarta.
- Mingus, Nancy. 2002. "Project Management Dalam 24 Jam Edisi Pertama". Prenada Media. Jakarta.



**SEMINAR NASIONAL HAKI**  
Tiara Convention Hall, Medan – 30 31 Mei 2014

- Nurhayati. 2010. "Manajemen Proyek". Graha Ilmu. Yogyakarta.
- Soeharto, Iman. 1998." Manajemen Proyek dari Konseptual sampai Operasional Jilid I". PT. Gelora Aksara Pratama. Jakarta.
- Soeharto, Iman. 1998. "Manajemen Proyek dari Konseptual sampai Operasional Jilid II". PT. Gelora Aksara Pratama. Jakarta.

## **EVALUASI DAKTILITAS PADA BANGUNAN RUMAH TOKO DI KOTA MEDAN**

**Tondi Amirsyah Putera<sup>1</sup>, Bobby Sulaiman Malik Parinduri<sup>2</sup> dan Ade Faisal<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>*Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU), Jl. Muchtar Basri, No.3 Medan  
Email: tondimt@yahoo.com*

<sup>2</sup>*Alumni Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU),  
Jl. Muchtar Basri, No.3 Medan  
Email: bobbysulaiman@gmail.com*

<sup>3</sup>*Program Studi Magister (S2) Teknik Sipil, Universitas Sumatera Utara (USU), Jl. Dr. Mansyur, No.9 Medan  
Email: adefaisal@yahoo.com*

### **ABSTRAK**

Pembangunan rumah toko (ruko) di Kota Medan berkembang secara pesat. Tetapi sayangnya perencanaan ruko tidak diperhitungkan dengan baik. Kondisi ini dapat berdampak buruk jika terjadi gempa kuat. Perencanaan struktur tahan gempa menurut peraturan terdiri dari tiga parameter utama yaitu kekuatan, kekakuan dan daktilitas. Penulisan makalah ini bertujuan untuk mengetahui perilaku struktur gedung ruko di Kota Medan berdasarkan SNI 03-1726-2002. Parameter yang ditinjau yaitu daktilitas struktur ( $\mu$ ). Analisa yang digunakan adalah analisis beban dorong (tidak linear). Ada 2 ruko yang dievaluasi yaitu ruko 4 lantai di Jl. Setia Budi dan ruko 3 lantai di Jl. Amir Hamzah. Dari hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa nilai daktilitas struktur ruko melebihi nilai daktilitas maksimum pada SNI 03-1726-2002.

Kata kunci : daktilitas, analisis linier, analisa nonlinier

### **1. PENDAHULUAN**

Pesatnya pertumbuhan ekonomi di Kota Medan dan masalah keterbatasan lahan sangat berpengaruh pada pembangunan infrastruktur terutama gedung bertingkat, khususnya bangunan rumah toko atau Ruko (gedung yang berfungsi sebagai rumah sekaligus toko). Dalam pembangunan rumah toko sangatlah penting memperhitungkan strukturnya terutama dalam menghadapi bencana, seperti bencana gempa bumi. Hal ini dikarenakan di Indonesia sering terjadi gempa bumi yang berskala besar. Bila gedung tidak diperhitungkan dengan baik maka dapat mengakibatkan keruntuhan saat gempa terjadi. Ada beberapa faktor yang harus diperhatikan dalam perancangan struktur gedung bertingkat yaitu kekuatan, kekakuan dan daktilitas. Ukuran kekuatan ditentukan oleh Faktor Reduksi Gempa ( $R$ ) yaitu faktor yang digunakan dalam perancangan struktur sebagai jembatan bagi desain elastis menuju ke desain tidak elastis. Nilai  $R$  berpengaruh kepada daktilitas struktur. Ukuran daktilitas pada gedung bertingkat ada 2 jenis yaitu daktilitas global dan daktilitas antar tingkat. Daktilitas global yaitu daktilitas yang diukur pada titik paling atas (atap) gedung, sedangkan daktilitas antar tingkat yaitu daktilitas yang diukur pada setiap lantai gedung tersebut. Ketiga isu ini diatur oleh pemerintah melalui standar perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung. Pemerintah telah mengeluarkan peraturan baru tentang standar perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung yaitu SNI 1726:2012. SNI baru ini merupakan revisi dari SNI 03-1726-2002. Menurut SNI 1726:2012 gempa rencana ditetapkan sebagai gempa dengan kemungkinan terlewat 2% selama umur bangunan 50 tahun (gempa 2500 tahun) atau lebih besar dari SNI sebelumnya yang memakai gempa 500 tahun. Pada penulisan ini akan dibahas perilaku bangunan ruko dalam hal periode getar alami dan daktilitas yang dikaitkan terhadap batasan-batasannya yang diatur di dalam peraturan gempa SNI 03-1726-2002 dan SNI 1726:2012. Karena nilai daktilitas tidak dimuat lagi pada SNI 1726:2012 maka ianya dianggap sama dengan nilai daktilitas pada SNI 03-1726-2002.

### **2. WILAYAH GEMPA**

Menurut SNI 03-1726-2002 Pasal 4.7, Indonesia ditetapkan dalam 6 wilayah gempa seperti ditunjukkan dalam Gambar 1. Wilayah gempa 1 adalah wilayah dengan kegempaan paling rendah dan wilayah gempa 6 dengan

# SEMINAR NASIONAL HAKI

Tiara Convention Hall, Medan – 30 31 Mei 2014

kegempaan paling tinggi. Sedangkan berdasarkan SNI 1726:2012 Pasal 14, Indonesia dibagi kepada 15 wilayah gempa dengan probabilitas terlampaui 2% dalam masa layan 50 tahun (Gambar 2). Spektrum respon disain ditetapkan berdasarkan parameter  $S_s$  (percepatan batuan dasar pada periode pendek 0,2 detik) dan  $S_1$  (percepatan batuan dasar pada periode 1 detik).



Gambar 1. Wilayah gempa di Indonesia dengan percepatan puncak pada batuan dasar: a) gempa 500 tahun menurut SNI 03-1726-20012; b) gempa 2500 tahun menurut SNI 1726:2012.

## 3. HASIL SURVEY BANGUNAN RUMAH TOKO DI KOTA MEDAN

Dalam studi kasus ini penulis melakukan survey pada beberapa lokasi di Kota Medan. Penulis memilih lokasi ruko di Jl. Setia Budi dan Jl. Amir Hamzah. Pada lokasi tersebut terdapat banyak pembangunan rumah toko. Teknik pengumpulan data yang digunakan dalam survey ini adalah wawancara, observasi dan dokumentasi.

Tabel 1. Data Hasil Survey Ruko di Jl. Setia Budi dan Jl. Amir Hamzah

| Data Rumah Toko di Jl. Setia Budi (Gambar 3a)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Data Rumah Toko Jl. Amir Hamzah (Gambar 3b)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Gedung ruko terdiri dari 4 lantai dan bentuk struktur persegi panjang,</li> <li>2. Panjang arah x = 28 m dan panjang arah y = 15,9 m,</li> <li>3. Data ukuran tinggi antar lantai sebagai berikut: Tinggi lantai 2 terhadap lantai dasar sebesar 3 m, Tinggi lantai 3 terhadap lantai 2 sebesar 3,5 m, Tinggi lantai 4 terhadap lantai 3 sebesar 4,5 m, Tinggi lantai atap terhadap lantai 4 sebesar 4 m.</li> <li>4. Tebal pelat lantai dasar sampai atap sebesar 10 cm</li> <li>5. Gedung ruko terdiri dari 7 pintu, lebar bentang satu pintu sebesar 4 meter,</li> <li>6. Struktur bangunan ruko adalah rangka pemikul momen, balok/kolom terbuat dari</li> </ol> | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Gedung ruko terdiri dari 3 lantai dan bentuk struktur persegi panjang,</li> <li>2. Panjang arah x = 32 m dan panjang arah y = 16 m,</li> <li>3. Data ukuran tinggi antar lantai sebagai berikut: <ul style="list-style-type: none"> <li>– Tinggi lantai 2 terhadap lantai dasar sebesar 4,5 m, Tinggi lantai 3 terhadap lantai 2 sebesar 4 m, Tinggi lantai atap terhadap lantai 3 sebesar 4 m.</li> </ul> </li> <li>4. Tebal pelat lantai dasar sampai atap sebesar 10 cm</li> <li>5. Gedung ruko terdiri dari 8 pintu, lebar bentang satu pintu sebesar 4 meter,</li> <li>6. Struktur bangunan ruko adalah rangka pemikul momen, balok/kolom terbuat dari beton bertulang,</li> <li>7. Mutu bahan/material struktur yang digunakan</li> </ol> |

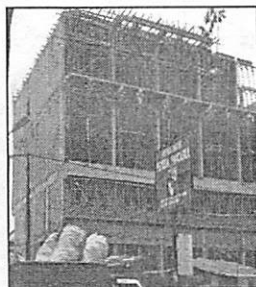
- 
- |                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                             |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>beton bertulang,</p> <p>7. Mutu bahan/material struktur yang digunakan meliputi:</p> <p>a. Mutu beton: kolom, balok, pelat dan pondasi: K-175 (<math>f'_c = 14,2</math> Mpa)<br/>Mutu baja: Baja tulangan ulir (BJTD-40) untuk <math>\phi \geq 13</math> mm, <math>f_y = 400</math> Mpa.</p> | <p>meliputi:</p> <p>a. Mutu beton: Kolom, balok, pelat dan pondasi: K-225 (<math>f'_c = 19,3</math> Mpa)<br/>b. Mutu baja: Baja tulangan polos (BJTP-24) untuk <math>\phi \leq 12</math> mm, <math>f_y = 240</math> Mpa</p> |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
- 

#### 4. PEMODELAN STRUKTUR BANGUNAN RUKO

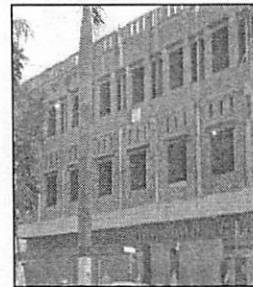
Pemodelan struktur bangunan ruko Jl. Setia Budi dan untuk ruko Jl. Amir Hamzah dapat dilihat pada Gambar 5. Pemodelan ini memakai sistem rangka pemikul momen (SRPM) dengan menggunakan elemen garis. Plat lantai dan atap dimodelkan dengan *solid element* untuk mendapatkan berat sendiri dan kemudian dianggap diafragma kaku. Pembebanan umum menggunakan Pedoman Perencanaan Pembebanan Untuk Rumah dan Gedung (PPPURG-1987) dan pembebanan gempa menggunakan SNI 03-1726-2002 dan SNI 1726:2012. Bangunan ruko yang ditinjau dianggap berdiri di atas tanah sedang.

Hasil analisa ragam getar menunjukkan bahwa perioda alami kedua bangunan ruko ini lebih besar dari perioda alami yang disyaratkan di SNI 03-1726-2002 dan SNI 1726:2012. Sehingga bangunan ruko ini termasuk jenis struktur yang kurang kaku (sangat fleksibel).

Pemodelan material tidak linier: analisa nonlinier sangat ditentukan oleh ketidaklinieran kekakuan yang dihasilkan melalui properti material yang tidak linier (Faisal, 2013). Untuk menentukan properti material yang tidak linier diperlukan analisa tampang yaitu menentukan hubungan momen-kurvatur pada balok dan hubungan interaksi aksial-momen pada kolom. Studi ini memakai program CUMBIA untuk analisa tampang.

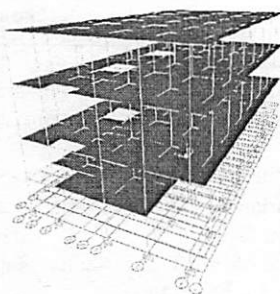


a)

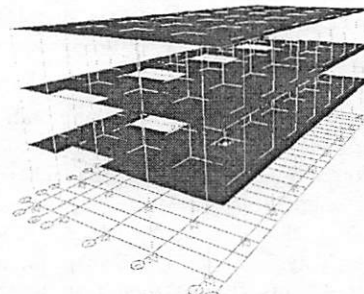


b)

Gambar 3. . Dokumentasi bangunan rumah toko yang ditinjau: a) rumah toko di Jl. Setia Budi, Medan; b) rumah toko di Jl. Amir Hamzah, Medan



a)



b)

Gambar 5. Pemodelan desain Ruko dengan SAP 2000: a) Ruko Jl. Setia Budi, dan b) Ruko Jl. Amir Hamzah.



## 5. ANALISIS BEBAN DORONG

Analisa beban dorong merupakan analisa statis tidak linier. Dalam analisis beban dorong, satu sendi plastis yang mengalami pelepasan pertama dan kemudian diikuti kondisi leleh pada sendi-sendi plastis lainnya, dapat diidentifikasi dengan baik. Menurut Aisyah dan Megantara (2011) proses *pushover* dapat dilakukan dengan prosedur *load-controlled* atau *displacement-controlled*. Prosedur *load-controlled* dipakai jika beban yang diaplikasikan telah diketahui nilainya, sedangkan prosedur *displacement-controlled* digunakan jika beban yang bisa ditahan oleh suatu struktur belum diketahui dengan pasti. Studi ini menggunakan metode *displacement-controlled* dalam analisa beban dorong untuk mendapatkan kurva kapasitas (gaya geser dasar versus simpangan atap) dan simpangan leleh ( $\delta_y$ ). Simpangan aktual ( $\delta_{maks}$ ) yang terjadi diperoleh melalui *capacity spectrum method* yaitu membentuk kurva *capacity-demand* dengan menggabungkan kurva kapasitas dengan spektra desain yang ditinjau. Perhitungan daktilitas kemudian ditentukan oleh simpangan aktual dan simpangan leleh dengan persamaan berikut:

$$\mu = \frac{\delta_{maks}}{\delta_y} \quad (1)$$

## 6. DAKTILITAS HASIL ANALISA BEBAN DORONG

Nilai daktilitas yang diperoleh untuk struktur bangunan ruko Jl. Setia Budi pada arah y dan arah x berdasarkan beban *pushover* yang mengacu kepada spektra desain SNI 03-1726-2002 dan SNI 1726:2012 secara berurutan dapat dilihat pada Tabel 5 dan Tabel 6. Daktilitas maksimum pada tabel-tabel tersebut diambil berdasarkan nilai daktilitas sistem rangka pemikul momen menengah beton yang dimuat di SNI 03-1726-2002. Terlihat jelas bahwa daktilitas yang dihasilkan oleh bangunan ruko ini cukup besar mencapai  $\mu \geq 5,0$ . Nilai ini melampaui batas maksimum yang disyaratkan SNI 03-1726-2002 untuk SRPM menengah beton yaitu 3,3. Nilai daktilitas hasil analisa beban dorong memakai beban berdasarkan spektra desain SNI 1726:2012 juga menunjukkan tren yang sama yaitu melebihi nilai daktilitas maksimum yang disyaratkan. Namun nilai daktilitas ini ditemukan sedikit lebih besar dari nilai daktilitas yang dihasilkan memakai beban spektra desain SNI 03-1726-2002. Hal ini terjadi disebabkan oleh nilai spektra desain SNI 1726:2012 pada rentang perioda alami ruko berada adalah sedikit lebih kecil dari nilai spektra desain SNI 03-1726-2002.

Sedangkan nilai daktilitas struktur ruko Jl. Amir Hamzah untuk arah y dan arah x berdasarkan beban *pushover* yang mengacu kepada spektra desain SNI 03-1726-2002 dan SNI 1726:2012 dapat dilihat pada Tabel 7 dan Tabel 8. Tren yang terjadi adalah sama seperti tren pada Tabel 5 dan 6 yaitu daktilitas bangunan ruko melebihi nilai yang disyaratkan di dalam peraturan gempa, kecuali daktilitas arah x pada bangunan ruko Jl. Amir Hamzah berdasarkan beban *pushover* yang mengacu kepada spektra desain SNI 1726:2012.

Tabel 5. Daktilitas struktur ruko Jl. Setia Budi berdasarkan beban *pushover* yang mengacu kepada spektra desain SNI 03-1726-2002.

| Arah    | $\delta_{maks}$ (mm) | $\delta_y$ (mm) | $\mu$ | $\mu_{maks}$ | $\mu \leq \mu_m$ |
|---------|----------------------|-----------------|-------|--------------|------------------|
| Y (U-S) | 275,518              | 51              | 5,40  | 3,3          | Tidak OK         |
| X (B-T) | 322,342              | 64              | 5,04  | 3,3          | Tidak OK         |

Tabel 6. Daktilitas struktur ruko Jl. Setia Budi berdasarkan beban *pushover* yang mengacu kepada spektra desain SNI 1726:2012.

| Arah    | $\delta_{maks}$ (mm) | $\delta_y$ (mm) | $\mu$ | $\mu_{maks}$ | $\mu \leq \mu_m$ |
|---------|----------------------|-----------------|-------|--------------|------------------|
| Y (U-S) | 273,046              | 54              | 5,06  | 3,3          | Tidak OK         |
| X (B-T) | 348,109              | 79              | 4,41  | 3,3          | Tidak OK         |

Tabel 7. Daktilitas struktur ruko Jl. Amir Hamzah berdasarkan beban *pushover* yang mengacu kepada spektra desain SNI 03-1726-2002.

| Arah    | $\delta_{maks}$ (mm) | $\delta_y$ (mm) | $\mu$ | $\mu_{maks}$ | $\mu \leq \mu_m$ |
|---------|----------------------|-----------------|-------|--------------|------------------|
| Y (U-S) | 221,492              | 35              | 6,33  | 3,3          | Tidak OK         |
| X (B-T) | 163,098              | 36              | 4,53  | 3,3          | Tidak OK         |

**SEMINAR NASIONAL HAKI**  
Tiara Convention Hall, Medan – 30 31 Mei 2014

Tabel 8. Daktilitas struktur ruko Jl. Amir Hamzah berdasarkan beban *pushover* yang mengacu kepada spektra desain SNI 1726:2012

| Arah    | $\delta_{maks}$ (mm) | $\delta_y$ (mm) | $\mu$ | $\mu_{maks}$ | $\mu \leq \mu_m$ |
|---------|----------------------|-----------------|-------|--------------|------------------|
| Y (U-S) | 225,311              | 36              | 6,26  | 3,3          | Tidak OK         |
| X (B-T) | 181,366              | 57              | 3,18  | 3,3          | OK               |

## 7. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil studi kasus yang dipaparkan pada makalah ini maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Periode alami struktur yang diperoleh dari analisa ragam getar melebihi nilai periode maksimum yang telah ditetapkan dalam peraturan SNI 03-1726-2002 dan SNI 1726:2012. Besarnya periode membuat struktur sangat fleksibel atau dapat dikatakan kurang kaku.
2. Daktilitas ( $\mu$ ) yang diperoleh dari analisa beban dorong melebihi nilai daktilitas maksimum ( $\mu_{maks}$ ) yang diatur di dalam SNI 03-1726-2002.

## 8. DAFTAR PUSTAKA

- Aisyah, S., Megantara, Y.. (2011). *Pemodelan Struktur Bangunan Gedung Bertingkat Beton Bertulang Rangka Terbuka Simetris di Daerah Rawan Gempa Dengan Metoda Analisis Pushover*, *Seminar Nasional AVoER ke-3*, Palembang.
- Badan Standardisasi Nasional; (2002). *Standard Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung SNI 03-1726-2002*, Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional; (2012). *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung SNI 1726:2012*, Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta.
- Budiono, Supriatna; (2011). *Studi Komparasi Desain Bangunan Tahan Gempa Dengan Menggunakan SNI 03-1726-2002 dan SNI 1726:2012*, ITB Press, Bandung.
- Dewobroto, W.; (2005). *Evaluasi Kinerja Struktur Baja Tahan Gempa Dengan Analisa Pushover*, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Pelita Harapan.
- Faisal, A.; (2013). *Pemodelan Getaran Gempa Struktur Beton Untuk Analisa Tidak Linier*, *Prosiding Seminar Nasional IV HASTAG*, Medan.
- Kementrian Pekerjaan Umum, (1987). *Pedoman Perencanaan Pembebanan Untuk Rumah dan Gedung*, Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta.
- Siregar, Y. A. N, (2008), *Evaluasi Daktilitas Pada Struktur Ganda*, *Laporan Tugas Akhir*, Program Studi Teknik Sipil, Universitas Indonesia, Jakarta.
- Tavio., Wimbadi, I., Roro, (2011), *Studi Daktilitas Kurvatur Pada Kolom Persegi Panjang Beton Bertulang Terkekang Dengan Menggunakan Visual Basic 6.0*, *Seminar Nasional VII Teknik Sipil ITS*, Surabaya.

**PERENCANAAN PERKERASAN KAKU (RIGID PAVEMENT) PADA PELEBARAN  
JL AMIR HAMZAH BINJAI**

Yetty Riris Rotua Saragi

*Program Studi Teknik Sipil, Universitas HKBP Nommensen, Jl. Sutomo No 4A Medan  
Email: [yettyririsaragi@yahoo.com](mailto:yettyririsaragi@yahoo.com)*

**ABSTRAK**

Proyek Pelebaran Jl Amir Hamzah Binjai terletak di Kota Binjai Provinsi Sumatera Utara. Lokasi pekerjaan ini berbatasan langsung dengan Kabupaten Langkat menuju Provinsi Nanggroe Aceh Darussalam. Status jalan ini adalah Jalan Nasional dimana kondisi jalan perkerasan lentur tersebut masih perlu pelebaran agar arus lalu lintas antar kedua Provinsi lancar serta dapat meningkatkan roda perekonomian sehingga pendapatan perkapita daerah tersebut akan meningkat. Hasil survey awal yang dilakukan bersama yaitu PT Utama Karya, Konsultan dan Pihak Direksi/Pengawas lapangan di lokasi terdapat utilitas yang ada disamping 5 jembatan harus direlokasi. Disamping itu terdapat utilitas (pipa PDAM, jaringan PLN, TELKOM) yang tertanam di sepanjang rencana pelebaran jalan 1,50 m kiri-kanan dan berdasarkan hasil DCP harus direlokasi. Selain dari pada itu terdapat juga pohon-pohon di sepanjang jalan yang mempersulit ruang gerak alat berat untuk melakukan galian area pelebaran jalan. Penelitian dilakukan untuk merubah desain dari perkerasan lentur (flexible pavement) menjadi perkerasan kaku (rigid pavement) dan direncanakan ketebalan rigid pavement tidak melampaui/mencapai kedalaman utilitas, dengan kata lain pekerjaan rigid pavement tidak mengganggu utilitas yang ada. Perkerasan kaku (perkerasan beton semen) adalah suatu struktur perkerasan yang umumnya terdiri dari tanah dasar, lapis pondasi bawah dan lapis beton semen dengan tulangan ataupun tanpa tulangan. Metode dasar perencanaan perkerasan kaku adalah perkiraan lalu lintas dan komposisinya selama umur rencana, kekuatan tanah dasar yang dinyatakan dengan CBR(%), kekuatan beton yang digunakan, jenis bahu jalan, jenis perkerasan dan jenis penyaluran beban. Berdasarkan hasil perhitungan dengan menggunakan buku Pedoman Konstruksi Bangunan Perencanaan Perkerasan Jalan Beton Semen (Pd T-14-2003) dihitung tebal perkerasan. Dari hasil perhitungan diperoleh tebal perkerasan yang paling efisien adalah 27 cm, lantai kerja 10 cm, material porous 10, jadi total kedalaman 47 cm. Sehingga ketebalan perkerasan kaku tidak melampaui kedalaman utilitas dan tidak mengganggu utilitas yang ada.

Kata kunci: perkerasan kaku, CBR, volume lalu lintas

## **8. PENDAHULUAN**

Hasil survey awal yang dilakukan bersama antara PT Utama Karya, Konsultan dan Pihak Direksi/Pengawas lapangan di lokasi terdapat 5 unit jembatan yang ada terjadi penyempitan jalan sehingga harus dilakukan pembongkaran parapet dan penambahan lebar jembatan. Setelah dilakukan pengukuran bersama-sama bahwa rata-rata lebar jembatan 9,40 m sehingga untuk memenuhi desain 10,0 m (belum termasuk bahu jalan pada jembatan) maka rencana pelebaran disetiap jembatan ditambah 2,00 m ( 1,00 m di kiri dan 1,00 m di kanan), sehingga utilitas yang ada disamping jembatan harus direlokasi.

Disamping itu terdapat utilitas (pipa PDAM, jaringan listrik, dll) yang tertanam di sepanjang rencana pelebaran jalan 1,50 m kiri-kanan. Dari hasil penggalian kedalaman utilitas yang berada di sepanjang rencana pelebaran jalan, kedalaman rata-rata 0,60 m – 0,75 m dari permukaan tanah. Berdasarkan hasil DCP diperoleh rencana desain Jl Amir Hamzah di kedalaman 0,80 m. Sehingga utilitas yang berada di dalam tanah harus direlokasi.

Selain dari pada itu terdapat juga pohon-pohon di sepanjang jalan yang mempersulit ruang gerak alat berat untuk melakukan galian area pelebaran jalan. Adapun jenis dan jumlah utilitas yang ada pada Paket Pelebaran Jl Amir Hamzah dapat dilihat pada Tabel I.1 berikut.

Sehubungan dengan hasil survey awal tersebut maka dapat diketahui bahwa kondisi utilitas di lapangan sangat berdekatan dengan desain pelebaran 1,50 m kiri-kanan dan di bawah permukaan tanah sedalam 60 – 75 cm terdapat utilitas PDAM, PLN dan TELKOM. Sementara sesuai desain awal dibutuhkan galian pelebaran dengan

kedalaman 80 cm, sehingga menyebabkan utilitas yang ada akan terkena galian demikian juga pada saat pemadatan.

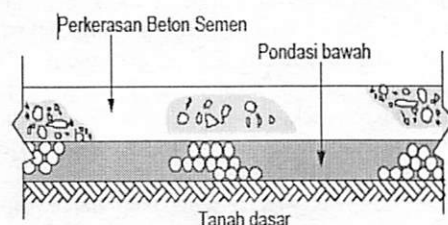
Berkaitan dengan hal itu maka pada perencanaan pelebaran disepakati melakukan perubahan desain dari perkerasan lentur (flexible pavement) menjadi perkerasan kaku (rigid pavement) dan direncanakan ketebalan rigid pavement tidak melampaui/mencapai kedalaman utilitas, dengan kata lain pekerjaan rigid pavement tidak mengganggu utilitas yang ada.

## 9. PERENCANAAN PERKERASAN KAKU

Perkerasan kaku (perkerasan beton semen) adalah suatu struktur perkerasan yang umumnya terdiri dari tanah dasar, lapis pondasi bawah dan lapis beton semen dengan tulangan ataupun tanpa tulangan. Metode dasar perencanaan perkerasan kaku adalah perkiraan lalu lintas dan komposisinya selama umur rencana, kekuatan tanah dasar yang dinyatakan dengan CBR(%), kekuatan beton yang digunakan, jenis bahu jalan, jenis perkerasan dan jenis penyaluran beban.

### 2.1 Struktur dan jenis perkerasan kaku

Perkerasan beton semen adalah struktur yang terdiri atas pelat beton semen yang bersambung (tidak menerus) tanpa atau dengan tulangan, atau menerus dengan tulangan, terletak di atas lapis pondasi bawah atau tanah dasar, tanpa atau dengan lapis permukaan beraspal. Struktur perkerasan beton semen secara tipikal sebagaimana terlihat pada Gambar 1 berikut ini.



Gambar 1 Tipikal struktur perkerasan beton semen

Sumber : Pedoman Konstruksi dan Bangunan Perencanaan Perkerasan Beton Semen, Dept. Permukiman dan Prasarana Wilayah, 2003

### 2.2 Persyaratan teknis

#### 2.2.1 Tanah dasar

Daya dukung tanah dasar ditentukan dengan pengujian CBR insitu sesuai dengan SNI 03-1731-1989 atau CBR laboratorium sesuai dengan SNI 03-1744-1989, masing-masing untuk perencanaan tebal perkerasan lama dan perkerasan jalan baru. Apabila tanah dasar mempunyai nilai CBR lebih kecil dari 2 %, maka harus dipasang pondasi bawah yang terbuat dari beton kurus (*Lean-Mix Concrete*) setebal 15 cm yang dianggap mempunyai nilai CBR tanah dasar efektif 5 %.

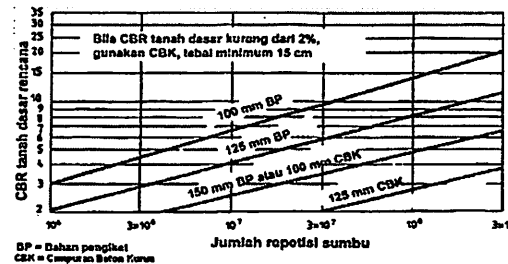
#### 2.2.2 Pondasi bawah

Bahan pondasi bawah dapat berupa bahan berbutir, stabilisasi atau dengan beton kurus giling padat (*Lean Rolled Concrete*), campuran beton kurus (*Lean-Mix Concrete*). Lapis pondasi bawah perlu diperlebar sampai 60 cm diluar tepi perkerasan beton semen. Tebal lapisan pondasi minimum 10 cm yang paling sedikit mempunyai mutu sesuai dengan SNI No. 03-6388-2000 dan AASHTO M-155 serta SNI 03-1743-1989. Bila direncanakan perkerasan beton semen bersambung tanpa ruji, pondasi bawah harus menggunakan campuran beton kurus (CBK). Tebal lapis pondasi bawah minimum yang disarankan dapat dilihat pada Gambar 2 dan CBR tanah dasar efektif didapat dari Gambar 3.

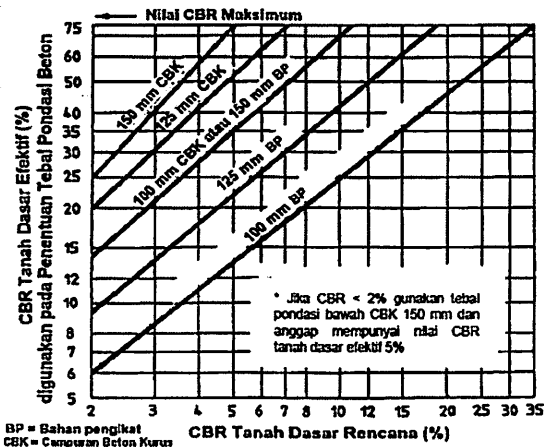


# SEMINAR NASIONAL HAKI

Tiara Convention Hall, Medan – 30 31 Mei 2014



Gambar 2 Tebal pondasi bawah minimum perkerasan beton semen  
Sumber : Pedoman Konstruksi dan Bangunan Perencanaan Perkerasan Beton Semen, Dept. Permukiman dan Prasarana Wilayah, 2003



Gambar 3 CBR tanah dasar efektif dan tebal pondasi bawah  
Sumber : Pedoman Konstruksi dan Bangunan Perencanaan Perkerasan Beton Semen, Dept. Permukiman dan Prasarana Wilayah, 2003

## 2.2.3 Beton semen

Kekuatan beton harus dinyatakan dalam nilai kuat tarik lentur (*flexural strength*) umur 28 hari, yang didapat dari hasil pengujian balok dengan pembebanan tiga titik (ASTM C-78) yang besarnya secara tipikal sekitar 3–5 MPa (30-50 kg/cm<sup>2</sup>). Kuat tarik lentur beton yang diperkuat dengan bahan serat penguat seperti serat baja, aramit atau serat karbon, harus mencapai kuat tarik lentur 5–5,5 MPa (50-55 kg/cm<sup>2</sup>). Kekuatan rencana harus dinyatakan dengan kuat tarik lentur karakteristik yang dibulatkan hingga 0,25 MPa (2,5 kg/cm<sup>2</sup>) terdekat. Hubungan antara kuat tekan karakteristik dengan kuat tarik-lentur beton dapat didekati dengan rumus berikut :

$$f_{cf} = K (f_c')^{0,50} \text{ dalam MPa atau} \quad (1)$$

$$f_{cf} = 3,13 K (f_c')^{0,50} \text{ dalam kg/cm}^2 \quad (2)$$

Dengan pengertian :

$f_c'$  : kuat tekan beton karakteristik 28 hari (kg/cm<sup>2</sup>)

$f_{cf}$  : kuat tarik lentur beton 28 hari (kg/cm<sup>2</sup>)

K : konstanta, 0,7 untuk agregat tidak dipecah dan 0,75 untuk agregat pecah.

Kuat tarik lentur dapat juga ditentukan dari hasil uji kuat tarik belah beton yang dilakukan menurut SNI 03-2491-1991 sebagai berikut :

$$f_{cf} = 1,37.f_{cs}, \text{ dalam MPa atau} \quad (3)$$

$$f_{cf} = 13,44.f_{cs}, \text{ dalam kg/cm}^2 \quad (4)$$

Dengan pengertian :

$f_{cs}$  : kuat tarik belah beton 28 hari

## 2.2.4 Lalu lintas

Penentuan beban lalu-lintas rencana untuk perkerasan beton semen, dinyatakan dalam jumlah sumbu kendaraan niaga (*commercial vehicle*), sesuai dengan konfigurasi sumbu pada lajur rencana selama umur rencana. Lalu-

**SEMINAR NASIONAL HAKI**  
Tiara Convention Hall, Medan – 30 31 Mei 2014

lintas harus dianalisis berdasarkan hasil perhitungan volume lalu-lintas dan konfigurasi sumbu, menggunakan data terakhir atau data 2 tahun terakhir. Kendaraan yang ditinjau untuk perencanaan perkerasan beton semen adalah yang mempunyai berat total minimum 5 ton. Konfigurasi sumbu untuk perencanaan terdiri atas 4 jenis kelompok sumbu sebagai berikut :

- Sumbu tunggal roda tunggal (STRT).
- Sumbu tunggal roda ganda (STRG).
- Sumbu tandem roda ganda (STdRG).
- Sumbu tridem roda ganda (STrRG).

Lajur rencana merupakan salah satu lajur lalu lintas dari suatu ruas jalan raya yang menampung lalu-lintas kendaraan niaga terbesar. Jika jalan tidak memiliki tanda batas lajur, maka jumlah lajur dan koefisien distribusi (C) kendaraan niaga dapat ditentukan dari lebar perkerasan sesuai Tabel 1.

Tabel 1. Jumlah lajur berdasarkan lebar perkerasan dan koefisien distribusi (C) kendaraan niaga pada lajur rencana

| Lebar perkerasan ( $L_p$ )           | Jumlah lajur ( $n_l$ ) | Koefisien distribusi (C) |        |
|--------------------------------------|------------------------|--------------------------|--------|
|                                      |                        | 1 Arah                   | 2 Arah |
| $L_p < 5.50$ m                       | 1 lajur                | 1                        | 1      |
| $5.50 \text{ m} \leq L_p < 8.25$ m   | 2 lajur                | 0.70                     | 0.50   |
| $8.25 \text{ m} \leq L_p < 11.25$ m  | 3 lajur                | 0.50                     | 0.475  |
| $11.25 \text{ m} \leq L_p < 15.00$ m | 4 lajur                | -                        | 0.45   |
| $15.00 \text{ m} \leq L_p < 18.75$ m | 5 lajur                | -                        | 0.425  |
| $18.75 \text{ m} \leq L_p < 22.00$ m | 6 lajur                | -                        | 0.40   |

Sumber : Pedoman Konstruksi dan Bangunan Perencanaan Perkerasan Beton Semen, Dept. Permukiman dan Prasarana Wilayah, 2003

Umur rencana perkerasan jalan ditentukan atas pertimbangan klasifikasi fungsional jalan, pola lalu-lintas serta nilai ekonomi jalan yang bersangkutan, yang dapat ditentukan antara lain dengan metode *Benefit Cost Ratio*, *Internal Rate of Return*, kombinasi dari metode tersebut atau cara lain yang tidak terlepas dari pola pengembangan wilayah. Umumnya perkerasan beton semen dapat direncanakan dengan umur rencana (UR) 20 tahun sampai 40 tahun.

Volume lalu-lintas akan bertambah sesuai dengan umur rencana atau sampai tahap di mana kapasitas jalan dicapai dengan faktor pertumbuhan lalu-lintas yang dapat ditentukan berdasarkan rumus sebagai berikut :

$$R = \frac{(1+i)^{UR} - 1}{i} \quad (5)$$

Dengan pengertian :

R : Faktor pertumbuhan lalu lintas

i : Laju pertumbuhan lalu lintas per tahun dalam %.

UR : Umur rencana (tahun)

Faktor pertumbuhan lalu-lintas ( R ) dapat juga ditentukan berdasarkan Tabel 2

Tabel 2 Faktor pertumbuhan lalu lintas (R)

| Umur Rencana (Tahun) | Laju Pertumbuhan (i) per tahun (%) |      |      |       |       |       |
|----------------------|------------------------------------|------|------|-------|-------|-------|
|                      | 0                                  | 2    | 4    | 6     | 8     | 10    |
| 5                    | 5                                  | 5.2  | 5.4  | 5.6   | 5.9   | 6.1   |
| 10                   | 10                                 | 10.9 | 12   | 13.2  | 14.5  | 15.9  |
| 15                   | 15                                 | 17.3 | 20   | 23.3  | 27.2  | 31.8  |
| 20                   | 20                                 | 24.3 | 29.8 | 36.8  | 45.8  | 57.3  |
| 25                   | 25                                 | 32   | 41.6 | 54.9  | 73.1  | 98.3  |
| 30                   | 30                                 | 40.6 | 56.1 | 79.1  | 113.3 | 164.5 |
| 35                   | 35                                 | 50   | 73.7 | 111.4 | 172.3 | 271   |
| 40                   | 40                                 | 60.4 | 95   | 154.8 | 259.1 | 442.6 |

Sumber : Pedoman Konstruksi dan Bangunan Perencanaan Perkerasan Beton Semen, Dept. Permukiman dan Prasarana Wilayah, 2003

## SEMINAR NASIONAL HAKI

Tiara Convention Hall, Medan – 30 31 Mei 2014

Lalu-lintas rencana adalah jumlah kumulatif sumbu kendaraan niaga pada lajur rencana selama umur rencana, meliputi proporsi sumbu serta distribusi beban pada setiap jenis sumbu kendaraan. Beban pada suatu jenis sumbu secara tipikal dikelompokkan dalam interval 10 kN (1 ton) bila diambil dari survai beban. Jumlah sumbu kendaraan niaga selama umur rencana dihitung dengan rumus berikut :

$$JSKN = JSKNH \times 365 \times R \times C \quad (6)$$

Dengan pengertian :

JSKN : Jumlah total sumbu kendaraan niaga selama umur rencana .

JSKNH : Jumlah total sumbu kendaraan niaga per hari pada saat jalan dibuka.

R : Faktor pertumbuhan kumulatif yang besarnya tergantung dari pertumbuhan lalu lintas tahunan dan umur rencana;

$$R = \frac{(1+i)^{UR} - 1}{i} \quad (7)$$

C : Koefisien distribusi kendaraan

Pada penentuan beban rencana, beban sumbu dikalikan dengan faktor keamanan beban (FKB). Dalam penelitian ini digunakan FKB 1.1 untuk jalan bebas hambatan (freeway) dan jalan arteri dengan volume kendaraan niaga menengah

### 2.2.5 Bahu

Bahu dapat terbuat dari bahan lapisan pondasi bawah dengan atau tanpa lapisan penutup beraspal atau lapisan beton semen. Perbedaan kekuatan antara bahu dengan jalur lalu-lintas akan memberikan pengaruh pada kinerja perkerasan. Hal tersebut dapat diatasi dengan bahu beton semen, sehingga akan meningkatkan kinerja perkerasan dan mengurangi tebal pelat Yang dimaksud dengan bahu beton semen dalam pedoman ini adalah bahu yang dikunci dan diikatkan dengan lajur lalu-lintas dengan lebar minimum 1,50 m, atau bahu yang menyatu dengan lajur lalu-lintas selebar 0,60 m, yang juga dapat mencakup saluran dan kereb.

### 2.2.6 Sambungan

Sambungan pada perkerasan beton semen ditujukan untuk membatasi tegangan dan pengendalian retak yang disebabkan oleh penyusutan dan pengaruh lenting serta beban lalu-lintas, memudahkan pelaksanaan, mengakomodasi gerakan pelat. Semua sambungan harus ditutup dengan bahan penutup (*joint sealer*), kecuali pada sambungan isolasi terlebih dahulu harus diberi bahan pengisi (*joint filler*).

## 10. PROSEDUR DAN PERENCANAAN TEBAL PERKERASAN KAKU

Prosedur perencanaan perkerasan beton semen didasarkan atas dua model kerusakan yaitu retak fatik (lelah) tarik lentur pada pelat, erosi pada pondasi bawah atau tanah dasar yang diakibatkan oleh lendutan berulang pada sambungan dan tempat retak yang direncanakan. Prosedur ini mempertimbangkan ada tidaknya ruji pada sambungan atau bahu beton. Perkerasan beton semen menerus dengan tulangan dianggap sebagai perkerasan bersambung yang dipasang ruji. Data lalu-lintas yang diperlukan adalah jenis sumbu dan distribusi beban serta jumlah repetisi masing-masing jenis sumbu/kombinasi beban yang diperkirakan selama umur rencana.

Tebal pelat taksiran dipilih dan total fatik serta kerusakan erosi dihitung berdasarkan komposisi lalu-lintas selama umur rencana. Jika kerusakan fatik atau erosi lebih dari 100%, tebal taksiran dinaikan dan proses perencanaan diulangi. Tebal rencana adalah tebal taksiran yang paling kecil yang mempunyai total fatik dan atau total kerusakan erosi lebih kecil atau sama dengan 100%. Langkah-langkah perencanaan tebal pelat diperlihatkan pada Tabel 3 berikut ini.

## 11. HASIL PERENCANAAN PLAT BETON PERKERASAN KAKU

Dari data perencanaan Dept. Bina Marga dan survey oleh PT Utama Karya diperoleh data perencanaan tebal plat beton dan data lalu lintas sebagai berikut.

Perencanaan plat beton

|                       |                                   |
|-----------------------|-----------------------------------|
| CBR tanah dasar       | = 4%                              |
| Mutu beton            | = 350 kg/cm <sup>2</sup> = 30 MPa |
| Kuat lentur beton     | = 4,11 MPa                        |
| Bahan pondasi bawah   | = lean concrete                   |
| Faktor keamanan beban | = 1,1                             |

Data Lalu lintas arah Aceh-Binjai (2010)

|                 |        |
|-----------------|--------|
| Mobil penumpang | = 5511 |
| Bus kecil       | = 310  |
| Bus besar       | = 162  |
| Truk 2 as kecil | = 732  |
| Truk 2 as besar | = 284  |

**SEMINAR NASIONAL HAKI**  
Tiara Convention Hall, Medan – 30 31 Mei 2014

|                         |            |              |       |
|-------------------------|------------|--------------|-------|
| Bahu jalan              | = tidak    | Truk 3 as    | = 394 |
| Pertumbuhan lalu lintas | = 6%       | Truk gandeng | = 63  |
| Umur rencana            | = 22 tahun | Trailer      | = 11  |

Perhitungan analisa lalu lintas berdasarkan jenis dan beban lalu lintas dapat dilihat selengkapnya Tabel 4.

Dari analisa fatik dan erosi diperoleh repetisi ijin untuk analisa fatik adalah TT (tidak terbatas) dan repetisi ijin untuk analisa erosi adalah TT untuk jenis sumbu STRT dan sebagian jenis sumbu STRG. Dari analisa erosi diperoleh persen rusak (%) adalah 16,68%.

**Tabel 3 Langkah-langkah perencanaan tebal perkerasan beton semen**

| Langkah | Uraian Kegiatan                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|---------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1       | Pilih jenis perkerasan beton semen, bersambung tanpa ruji, bersambung dengan ruji, atau menerus dengan tulangan.                                                                                                                                                                                       |
| 2       | Tentukan apakah menggunakan bahu beton atau bukan                                                                                                                                                                                                                                                      |
| 3       | Tentukan jenis dan tebal pondasi bawah berdasarkan nilai CBR rencana dan perkiraan jumlah sumbu kendaraan niaga selama umur rencana sesuai dengan Gambar 2.2                                                                                                                                           |
| 4       | Tentukan CBR efektif berdasarkan nilai CBR rencana dan pondasi bawah yang dipilih sesuai dengan Gambar 2.3                                                                                                                                                                                             |
| 5       | Pilih kuat tarik lentur atau kuat tekan beton pada umur 28 hari ( $f_{ct}$ )                                                                                                                                                                                                                           |
| 6       | Pilih faktor keamanan beban lalu lintas ( $F_{KB}$ )                                                                                                                                                                                                                                                   |
| 7       | Taksir tebal plat beton (taksir awal dengan tebal tertentu berdasarkan pengalaman atau menggunakan contoh yang tersedia atau dapat menggunakan Gambar 3.6-3.13)                                                                                                                                        |
| 8       | Tentukan tegangan ekuivalen (TE) dan faktor erosi (FE) untuk STRT dari Tabel 3.1 atau Tabel 3.2                                                                                                                                                                                                        |
| 9       | Tentukan faktor rasio tegangan (FRT) dengan membagi tegangan ekuivalen (TE) oleh kuat tarik lentur ( $f_{ct}$ )                                                                                                                                                                                        |
| 10      | Untuk setiap rentang beban kelompok tersebut, tentukan beban per roda dan kalikan dengan faktor keamanan beban ( $F_{KB}$ ) untuk menentukan beban rencana per roda. Jika beban rencana per roda $\geq 65$ kN (6,5 Ton), anggap dan gunakan nilai tersebut sebagai batas tertinggi pada Gambar 3.2-3.4 |
| 11      | Dengan faktor rasio tegangan (FRT) dan beban rencana, tentukan jumlah repetisi ijin untuk fatik dari Gambar 3.2, yang mulai dari beban roda tertinggi dari jenis sumbu STRT tersebut                                                                                                                   |
| 12      | Hitung persentase dari repetisi fatik yang direncanakan terhadap jumlah repetisi ijin                                                                                                                                                                                                                  |
| 13      | Dengan menggunakan faktor erosi (FE) tentukan jumlah repetisi ijin untuk erosi dari Gambar 3.3-3.4                                                                                                                                                                                                     |
| 14      | Hitung persentase dari repetisi erosi yang direncanakan terhadap jumlah repetisi ijin                                                                                                                                                                                                                  |
| 15      | Ulangi langkah 11-14 untuk setiap beban per roda pada sumbu tersebut sampai jumlah repetisi beban ijin yang terbaca pada Gambar 3.2 dan Gambar 3.3 atau Gambar 3.4 yang masing-masing mencapai 10juta dan 100juta repetisi                                                                             |
| 16      | Hitung jumlah total fatik dengan menjumlahkan persentase fatik dari setiap beban roda pada STRT tersebut. Dengan cara yang sama hitung jumlah total erosi dari setiap beban roda pada STRT tersebut                                                                                                    |
| 17      | Ulangi langkah 8-16 untuk setiap jenis kelompok sumbu lainnya                                                                                                                                                                                                                                          |
| 18      | Hitung jumlah total kerusakan akibat fatik dan jumlah total kerusakan akibat erosi untuk seluruh jenis kelompok sumbu                                                                                                                                                                                  |
| 19      | Ulangi langkah 7-18 hingga diperoleh ketebalan tertipis yang menghasilkan total kerusakan akibat fatik dan erosi $\leq 100\%$ . Tebal tersebut sebagai tebal perkerasan beton semen yang direncanakan                                                                                                  |

Sumber : Pedoman Konstruksi dan Bangunan Perencanaan Perkerasan Beton Semen, Dept. Permukiman dan Prasarana Wilayah, 2003



**SEMINAR NASIONAL HAKI**  
Tiara Convention Hall, Medan – 30 31 Mei 2014

Tabel 4 Perhitungan jumlah sumbu berdasarkan jenis dan bebannya

| Jenis Kend         | Konfigurasi beban sumbu<br>(ton) |    |     |     | Jlh<br>Kend<br>(bh) | Jlh<br>sumbu<br>per Kend | Jlh<br>sumbu | STRT        |         | STRG     |         | STdRG    |         |
|--------------------|----------------------------------|----|-----|-----|---------------------|--------------------------|--------------|-------------|---------|----------|---------|----------|---------|
|                    | RD                               | RB | RGD | RGB |                     |                          |              | BS<br>(ton) | JS (bh) | BS (ton) | JS (bh) | BS (ton) | JS (bh) |
| MP                 | 1                                | 1  |     |     | 5511                |                          |              |             |         |          |         |          |         |
| Bus Kecil          | 3                                | 6  |     |     | 310                 | 2                        | 620          | 3           | 310     | 6        | 310     |          |         |
| Bus Besar          | 3                                | 6  |     |     | 162                 | 2                        | 324          | 3           | 162     | 6        | 162     |          |         |
| Truk 2 as<br>kecil | 2                                | 4  |     |     | 732                 | 2                        | 1464         | 2           | 732     |          |         |          |         |
|                    |                                  |    |     |     |                     |                          |              | 4           | 732     |          |         |          |         |
| Truk 2 as<br>besar | 6                                | 12 |     |     | 284                 | 2                        | 568          | 6           | 284     | 12       | 284     |          |         |
| Truk 3 as          | 6                                | 19 |     |     | 394                 | 2                        | 788          | 6           | 394     |          |         | 19       | 394     |
| Gandeng            | 6                                | 9  | 8   | 8   | 63                  | 4                        | 252          | 6           | 63      | 9        | 63      |          |         |
|                    |                                  |    |     |     |                     |                          |              |             |         | 8        | 63      |          |         |
|                    |                                  |    |     |     |                     |                          |              |             |         | 8        | 63      |          |         |
| Trailer            | 8                                | 23 |     |     | 11                  | 3                        | 33           |             |         | 12       | 11      | 23       | 11      |
| Total              |                                  |    |     |     |                     |                          | 4049         |             | 2688    |          | 956     |          | 405     |

Jumlah sumbu kendaraan niaga (JKSN) selama umur rencana  $(20+2) = 365$  (JSKNH) (R)  
 $= 365 (4049) (43.39)$   
 $= 6.41 \cdot 10^7$

Perhitungan repitisi sumbu rencana selengkapnya pada Tabel 5. Diperoleh repitisi yang terjadi adalah  $5,41 \cdot 10^7$ . Perhitungan analisa fatik dan erosi dapat dilihat pada Tabel 6 berikut.

Tabel 5 Perhitungan repitisi sumbu rencana

| Jenis sumbu | Beban sumbu | Jumlah sumbu | Proporsi beban | Proporsi sumbu | Lalu lintas rencana | Repitisi yang terjadi |
|-------------|-------------|--------------|----------------|----------------|---------------------|-----------------------|
| STRT        | 8           | 11           | 0.0041         | 0.66           | 6.41E+07            | 1.74E+05              |
|             | 6           | 741          | 0.2757         | 0.66           | 6.41E+07            | 1.17E+07              |
|             | 4           | 732          | 0.2732         | 0.66           | 6.41E+07            | 1.16E+06              |
|             | 3           | 472          | 0.1756         | 0.66           | 6.41E+07            | 7.48E+06              |
|             | 2           | 732          | 0.2723         | 0.66           | 6.41E+07            | 1.16E+07              |
| Total       |             | 2688         | 1.0000         | 0.66           |                     |                       |
| STRG        | 12          | 295          | 0.3086         | 0.24           | 6.41E+07            | 4.67E+06              |
|             | 9           | 63           | 0.0659         | 0.24           | 6.41E+07            | 9.98E+05              |
|             | 8           | 126          | 0.1318         | 0.24           | 6.41E+07            | 2.00E+06              |
|             | 6           | 472          | 0.4937         | 0.12           | 6.41E+07            | 3.69E+06              |
| Total       |             | 956          | 1.0000         |                |                     |                       |
| STdRG       | 23          | 11           | 0.0272         | 0.10           | 6.41E+07            | 1.74E+05              |
|             | 19          | 394          | 0.9728         | 0.10           | 6.41E+07            | 6.24E+06              |
| Total       |             | 405          | 1.0000         |                |                     |                       |
| Kumulatif   |             | 4049         |                |                |                     | 5.41E+07              |

Tabel 6 Analisa fatik dan erosi

| Jenis sumbu | Beban sumbu |      | Beban Rencana per Roda | Repitisi yang Terjadi | Faktor Tegangan dan Erosi | Analisa Fatik Repitisi Ijin | Persen Rusak (%) | Analisa Erosi Repitisi Ijin | Persen Rusak (%) |
|-------------|-------------|------|------------------------|-----------------------|---------------------------|-----------------------------|------------------|-----------------------------|------------------|
|             | (ton)       | (KN) | (KN)                   |                       |                           |                             |                  |                             |                  |
| STRT        | 8           | 80   | 44.0                   | 1.74E+05              | TE = 0.55                 | TT                          | 0.00             | TT                          |                  |
|             | 6           | 60   | 33.0                   | 1.17E+07              | FRT = 0.13                | TT                          | 0.00             | TT                          |                  |
|             | 4           | 40   | 22.0                   | 1.16E+07              | FE = 1.69                 | TT                          | 0.00             | TT                          |                  |
|             | 3           | 30   | 16.5                   | 7.48E+06              |                           | TT                          | 0.00             | TT                          |                  |
|             | 2           | 20   | 11.0                   | 1.16E+07              |                           | TT                          | 0.00             | TT                          |                  |
| STRG        | 12          | 120  | 33.0                   | 4.67E+06              | TE = 0.94                 | TT                          | 0.00             | 7.00E+07                    | 6.67             |
|             | 9           | 90   | 24.8                   | 9.98E+05              | FRT = 0.23                | TT                          | 0.00             | TT                          |                  |

**SEMINAR NASIONAL HAKI**  
Tiara Convention Hall, Medan – 30 31 Mei 2014

|       |    |     |      |          |            |    |      |          |       |
|-------|----|-----|------|----------|------------|----|------|----------|-------|
|       | 8  | 80  | 22.0 | 2.00E+06 | FE = 2.3   | TT | 0.00 | TT       |       |
|       | 6  | 60  | 16.5 | 3.69E+06 |            | TT | 0.00 | TT       |       |
| STdRG | 23 | 230 | 31.6 | 1.74E+05 | TE = 0.87  | TT | 0.00 | 1.60E+07 | 1.09  |
|       | 19 | 190 | 26.1 | 6.24E+06 | FRT = 0.21 | TT | 0.00 | 7.00E+07 | 8.91  |
|       |    |     |      |          | FE = 2.49  |    |      |          |       |
| Total |    |     |      |          |            |    |      |          | 16.68 |

Dari analisa tebal perkerasan dan tulangan beton diperoleh tebal perkerasan yang sesuai dan tidak mengganggu utilitas yang ada dan dapat dilihat pada Tabel 7 berikut ini.

Tabel 7 Analisa tebal perkerasan dan tulangan

|                                                   |                                  |
|---------------------------------------------------|----------------------------------|
| Sumber data beban                                 | Hasil survey                     |
| Jenis perkerasan                                  | Beton bersambung dengan tulangan |
| Jenis bahu                                        | Diperkeras                       |
| Umur rencana (tahun)                              | 22                               |
| JSK                                               | 5.41 E+07                        |
| Faktor keamanan beban                             | 1.1                              |
| Kuat tarik lentur beton ( $f_{cr}$ ) umur 28 hari | 4.11 MPa                         |
| Jenis lapisan pondasi                             | Lean concrete                    |
| CBR tanah dasar (%)                               | 4                                |
| CBR efektif (%)                                   | 15                               |
| Tebal taksiran plat beton (mm)                    | 275                              |
| Tebal taksiran lean concrete (mm)                 | 100                              |
| Lebar plat (m)                                    | 1.5                              |
| Panjang plat (m)                                  | 7.5                              |
| Koef. gesek plat beton dengan pondasi bawah       | 1.3                              |
| Kuat tarik ijin baja (MPa)                        | 240                              |
| Berat isi beton ( $kg/m^3$ )                      | 2400                             |
| Tulangan memanjang                                | Ø 12 mm jarak 15 cm              |
| Luas tulangan memanjang ( $mm^2$ )                | 134.06                           |
| Luas tulangan melintang ( $mm^2$ )                | 26.81                            |

## 12. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisa perhitungan dan mempertimbangkan kondisi existing maka digunakan perkerasan kaku dimensi 1,50 meter kiri-kanan dan tebal 27.5 cm, lantai kerja 10 cm. Sehingga ketebalan perkerasan kaku tidak melampaui/mencapai kedalaman utilitas, dengan kata lain pekerjaan perkerasan kaku tidak mengganggu utilitas yang ada. Untuk perencanaan perkerasan selanjutnya disarankan agar dilakukan survey yang lebih seksama dan mendetail sehingga dalam proses pelaksanaannya tidak terjadi perubahan desain dari yang direncanakan di awal. Apabila pekerjaan berjalan sesuai dengan desain dan tidak terjadi perubahan desain tentu pekerjaan dapat berjalan lebih baik.

## DAFTAR PUSTAKA

- Departemen PU Direktorat Jendral Bina Marga. (1983). *Petunjuk Perencanaan Tebal Perkerasan Dengan Metode Analisa Komponen*. Yayasan Badan Penerbit PU. Jakarta
- Departemen PU Direktorat Jendral Bina Marga. (1986). *Petunjuk Pelaksanaan Perkerasan Kaku*. Yayasan Badan Penerbit PU. Jakarta.
- Departemen PU Direktorat Jendral Bina Marga. (1986). *Perkerasan Kaku (Rigid Pavement)*. Yayasan Badan Penerbit PU. Jakarta.
- Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah. (2003). *Pedoman Konstruksi dan Bangunan Perencanaan Perkerasan Beton Semen*. Yayasan Badan Penerbit PU. Jakarta.
- Sukirman S.(1992). *Perkerasan Lentur Jalan Raya*.Bandung.
- Saragi Y. (2013). *Perencanaan Perkerasan Kaku (Rigid Pavement) Pada Pelebaran Jalan Amir Hamzah Binjai (Review Design)*. Laporan Penelitian. Universitas HKBP Nommensen. Medan

**PEMANFAATAN LIMBAH PABRIK GULA (TETES TEBU) SEBAGAI BAHAN  
TAMBAH DALAM CAMPURAN BETON**

M. Agung Putra Handana<sup>1</sup>, Ahmad Prima Syahnan<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Staff Pengajar Departemen Teknik Sipil, Universitas Sumatera Utara, Jl. Perpustakaan No. 1 Kampus USU  
Medan

Email : [agung13handana@gmail.com](mailto:agung13handana@gmail.com)

<sup>2</sup> Departemen Teknik Sipil, Universitas Sumatera Utara, Jl. Perpustakaan No. 1 Kampus USU Medan

Email : [ahmad\\_prima91@yahoo.com](mailto:ahmad_prima91@yahoo.com)

**ABSTRAK**

Seiring meningkatnya perindustrian di era globalisasi dan kemajuan teknologi yang terus berkembang, hal ini mengakibatkan munculnya benda-benda tak habis pakai (limbah) menumpuk. Salah satu limbah yang belum begitu banyak diteliti sebagai bahan dalam campuran beton yaitu tetes tebu (*molase*). Pada penelitian ini tetes tebu (*molase*) sebagai penambahan dari penggunaan semen dalam campuran beton. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui sejauh mana pengaruh penambahan kadar tetes tebu dari penggunaan semen terhadap waktu ikat semen, nilai *slump*, mutu kuat tekan beton dan kuat tarik belah beton. Komposisi penambahan kadar tetes tebu sebanyak 0%, 0,25%, 0,5%, 0,75%, dan 1% dari penggunaan semen. Mutu beton yang direncanakan 20 MPa dan lamanya waktu perendaman 14 dan 28 hari. Dari pengujian kuat tekan beton pada sampel dengan berbagai variasi tetes tebu diperoleh kesimpulan bahwa kuat tekan yang optimal diperoleh pada penambahan tetes tebu pada variasi penambahan 0,25%. untuk kuat tarik belah diperoleh kuat tarik belah yang optimal pada penambahan tetes tebu 0,5%.

**Kata Kunci :** tetes tebu, waktu ikat, kuat tekan beton, kuat tarik belah.

## **1. PENDAHULUAN**

*Molase* atau yang sering disebut tetes tebu adalah sisa dari kristalisasi gula yang berulang-ulang sehingga tidak memungkinkan lagi untuk diproses menjadi gula. Kebanyakan masyarakat memanfaatkan *molase* sebagai campuran ternak. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui sejauh penggunaan tetes tebu sebagai bahan tambah terhadap waktu ikat semen, nilai *slump*, mutu kuat tekan beton dan kuat tarik belah beton. Penelitian yang dilakukan meliputi pemeriksaan material, pengujian waktu ikat semen serta pengujian kuat tekan beton dan kuat tarik belah, penelitian ini dilakukan di Laboratorium Bahan Rekayasa Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara.

### **1.1 Bahan Penyusun Beton**

Semen Portland didefinisikan sebagai semen hidrolik yang dihasilkan dengan menggiling klinker yang terdiri dari kalsium silikat hidrolik, yang umumnya mengandung satu atau lebih bentuk kalsium sulfat sebagai bahan tambahan yang digiling bersama-sama dengan bahan utama (ASTM C-150, 1985).

Agregat ialah butiran mineral alami yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran beton. Agregat ini harus bergradasi sedemikian rupa sehingga seluruh massa beton dapat berfungsi sebagai benda yang utuh, homogen, dan rapat, dimana agregat yang kecil berfungsi sebagai bahan pengisi celah yang ada di antara agregat berukuran besar (Nawy, 1998). Air harus selalu ada di dalam beton cair, tidak saja untuk hidrasi semen, tetapi juga untuk mengubahnya menjadi suatu pasta sehingga betonnya lecah (Nugraha dan Antoni, 2007).

### **1.2 Tetes Tebu (*Molase*)**

Tebu merupakan salah satu jenis tanaman yang hanya dapat ditanam di daerah yang memiliki iklim tropis. Di Indonesia, perkebunan tebu menempati luas areal ± 321 ribu hektar. Mengingat luasnya areal penanaman tebu yang dimiliki Indonesia, maka semakin besar juga limbah yang dihasilkan dari pengolahan tebu tersebut. Menurut Risvan (2011) limbah yang diperoleh langsung pada berbagai tahap pengolahan tebu menjadi gula adalah pucuk tebu, ampas, blotong dan tetes.

## SEMINAR NASIONAL HAKI

Tiara Convention Hall, Medan – 30 31 Mei 2014

Tetes tebu adalah salah satu limbah pabrik gula. Tetes tebu merupakan sisa dari hasil kristalisasi gula yang berulang-ulang sehingga tidak memungkinkan lagi untuk diproses menjadi gula. Tetes tebu masih mengandung 50% sampai 60% gula.

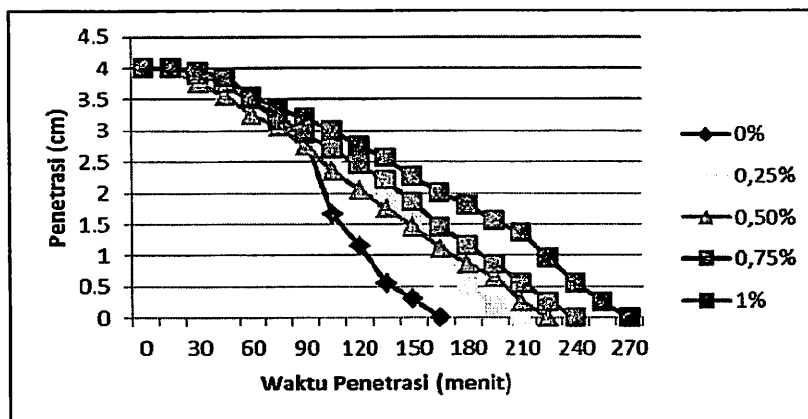
### 2. METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah kajian eksperimental yang dilakukan di Laboratorium Beton Fakultas Teknik Departemen Teknik Sipil Universitas Sumatera Utara. Bahan-bahan yang digunakan untuk pembuatan beton adalah semen jenis OPC (*Ordinary Portland Cement*) atau tipe 1 produksi PT. Semen Padang, agregat halus diperoleh dari daerah Binjai, agregat kasar batu pecah (*split*), air bersih yang berasal dari PDAM Tirtanadi, serta tetes tebu (*molase*). Bahan-bahan untuk campuran beton seperti agregat halus dan kasar terlebih dahulu dianalisa untuk memeriksa kelayakan bahan.

Mutu rencana beton adalah  $f'_c$  20 MPa dengan benda uji silinder beton  $\phi$  15 cm dan tinggi 30 cm. Variasi penambahan tetes tebu yaitu 0%, 0,25%, 0,5%, 0,75% dan 1% dari penggunaan semen. Pembuatan benda uji menggunakan metode Departemen Pekerjaan Umum yang berdasarkan SK SNI T-15-1990-03. Dari hasil perhitungan *mix design* diperoleh perbandingan campuran beton antara semen : pasir : kerikil : air = 1,00 : 1,87 : 2,80 : 0,48

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

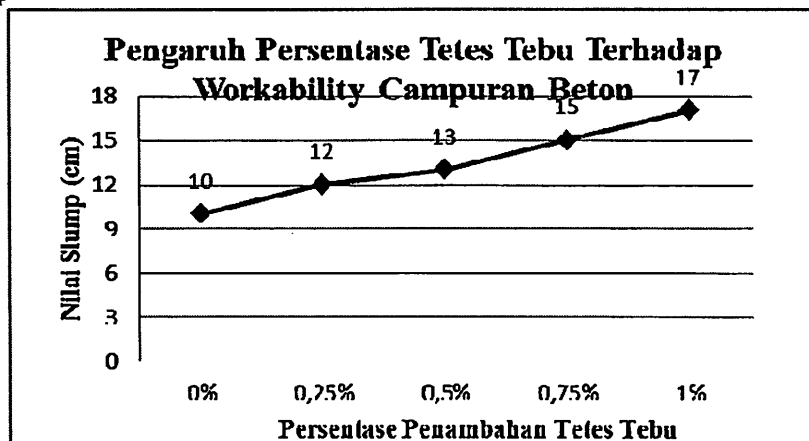
#### 3.1 Waktu Ikat Semen



Gambar 1. Grafik waktu ikat semen dengan penambahan tetes tebu (*molase*)

Dari grafik waktu ikat semen diperoleh hasil sebagai berikut, semakin banyak penambahan *molase* maka semakin lama waktu ikat awal dan waktu ikat akhirnya. Waktu ikat awal dan waktu ikat akhir terlama terdapat pada variasi penambahan tetes tebu 1%.

#### 3.2 Nilai Slump



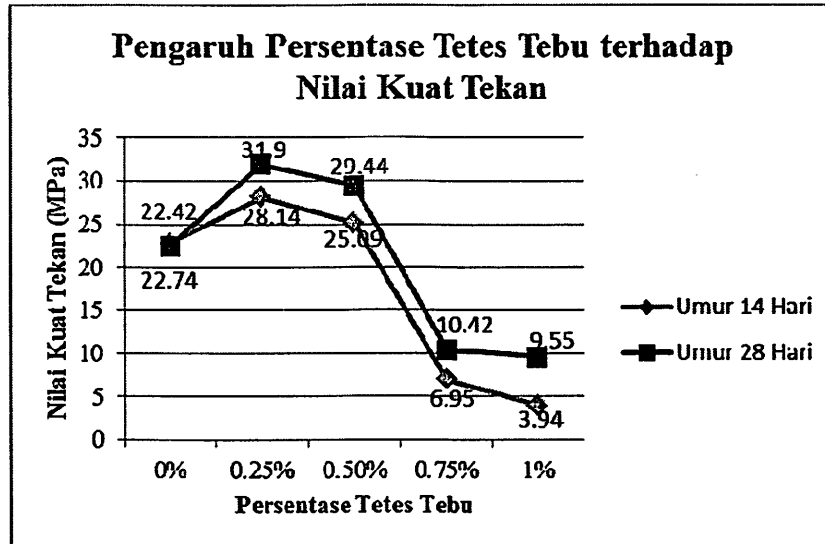
Gambar 2. Grafik nilai Slump



**SEMINAR NASIONAL HAKI**  
Tiara Convention Hall, Medan – 30 31 Mei 2014

Dari grafik dapat dilihat bahwa dengan meningkatnya persentase penambahan tetes tebu, maka nilai *slump* semakin naik, hal ini sesuai dengan sifat tetes tebu yang bersifat mengencerkan campuran beton.

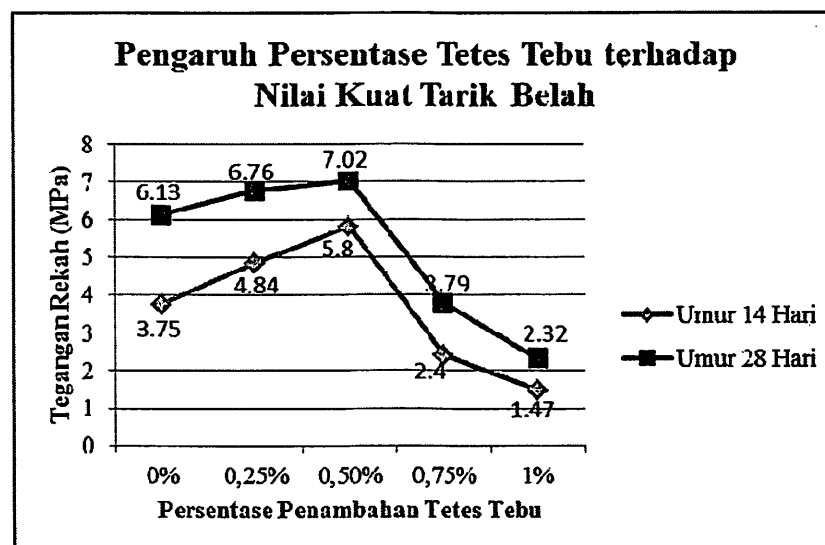
### 3.3 Kuat Tekan Beton



Gambar 3. Grafik kuat tekan beton terhadap variasi penambahan tetes tebu

Dari grafik hasil pengujian kuat tekan beton diperoleh hasil bahwa pada umur 14 hari terjadi peningkatan kuat tekan beton pada variasi penambahan tetes tebu 0,25% dan 0,5% dibandingkan dengan beton normal. Begitu juga pada umur 28 hari terjadi peningkatan kuat tekan beton pada variasi penambahan tetes tebu 0,25% dan 0,5% dibandingkan dengan beton normal.

### 4.4 Kuat Tarik Belah Beton



Gambar 4. Grafik kuat tarik belah beton terhadap variasi penambahan tetes tebu

Dari hasil pengujian kuat tarik belah beton diperoleh hasil bahwa pada umur 14 hari terjadi peningkatan kuat tarik belah beton pada variasi penambahan tetes tebu 0,25% dan 0,5% dibandingkan dengan beton normal. Begitu juga pada umur 28 hari terjadi peningkatan kuat tarik belah beton pada variasi penambahan tetes tebu 0,25% dan 0,5% dibandingkan dengan beton normal.

**SEMINAR NASIONAL HAKI**  
Tiara Convention Hall, Medan – 30 31 Mei 2014

**KESIMPULAN DAN SARAN**

**5.1 Kesimpulan**

Dari hasil penelitian, analisa, dan pembahasan yang sudah dilaksanakan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Penambahan penggunaan tetes tebu (*molase*) pada campuran beton dapat meningkatkan nilai slump serta memperlambat waktu ikat awal dan waktu ikat akhir pada setiap penambahan variasi.
2. Pada pengujian kuat tekan beton, diperoleh kuat tekan beton optimal pada umur 14 dan 28 hari yaitu pada variasi penambahan 0.25%.
3. Pada pengujian kuat tarik belah beton, diperoleh kuat tarik belah beton optimal pada umur 14 dan 28 hari yaitu pada variasi penambahan 0. 5%.

**5.2 Saran**

Setelah melihat hasil penelitian dan menyadari adanya kekurangan dalam penelitian ini, maka saran-saran yang dapat diberikan sebagai berikut :

1. Perlu diadakan penelitian lebih lanjut tentang pemakaian bahan retarder dan hasilnya dibandingkan dengan pemakaian tetes tebu pada campuran beton
2. Penelitian selanjutnya perlu diteliti lebih lanjut tentang penggunaan variasi penambahan tetes tebu dengan rentang persentase 0%-0,5% untuk mendapatkan persentase yang optimal terhadap kekuatan beton.

**DAFTAR PUSTAKA**

- ASTM C150, *Standart Spesification for Portland Cement*. (1985). Annual Books of ASTM Standards. Philadelphia-USA.
- Departemen Pekerjaan Umum. (1991). *Tata Cara Rencana Pembuatan Campuran Beton Normal*, SK SNI T-15-1990-03. Bandung. Departemen Pekerjaan Umum, Yayasan LPBM.
- Nawy, E. G. (1998). *Beton Bertulang (Suatu Pendekatan Dasar)*. Bandung. Refika Aditama
- Nugraha, P., dan Antoni. (2007). *Teknologi Beton*. Yogyakarta. ANDI.
- Risvank.2011.Disversifikasi Produk Pabrik Gula. [www.risvank.com](http://www.risvank.com). 22 Maret 2013.
- Syahnan, Ahmad Prima. (2014). *Pemanfaatan Limbah Pabrik Gula (Tetes Tebu) sebagai Bahan Tambah dalam Campuran Beton*.

**OPTIMASI PENGARUH SUBSTITUSI ABU SERABUT KELAPA  
DALAM CAMPURAN BETON**

**Rahmi Karolina<sup>1</sup>, Nora Usrina<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> *Staff Pengajar Departemen Teknik Sipil, Universitas Sumatera Utara, Jl. Perpustakaan No. 1 Kampus USU  
Medan*

*Email : rahmi.karolina@usu.ac.id; rachmiecaroline@gmail.com*

<sup>2</sup> *Mahasiswa Departemen Teknik Sipil, Universitas Sumatera Utara, Jl. Perpustakaan No. 1 Kampus USU  
Medan*

*Email : norausrina@ymail.com*

**ABSTRAK**

Bahan buangan atau limbah sering dimanfaatkan menjadi suatu bahan yang dapat difungsikan untuk keperluan tertentu seperti bidang rekayasa bahan bangunan, limbah sudah sering diteliti untuk kemudian dimanfaatkan. Salah satu bahan buangan yang belum begitu banyak diteliti sebagai bahan bangunan beton yaitu abu dari serabut kelapa (ASK). Pada penelitian ini abu serabut kelapa sebagai substitusi dari semen dalam campuran beton. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui sejauh mana pengaruh penggantian semen dengan abu serabut kelapa (ASK) terhadap waktu ikat semen, nilai *slump*, mutu kuat tekan beton dan kuat tarik belah beton. Komposisi penggantian semen dengan abu serabut kelapa sebanyak 0%, 1,5%, 3%, 4,5%, 6%, 7,5%, 9%, 10,5%, 12%, 13,5% dan 15% dari volume beton. Mutu beton yang direncanakan 20 MPa dan lamanya waktu perendaman 28 hari. Dari pengujian kuat tekan beton pada sampel dengan berbagai variasi abu serabut kelapa diperoleh kesimpulan bahwa material abu serabut kelapa hanya efektif digunakan pada variasi substitusi 1,5% ASK dan 3% ASK yaitu dengan nilai kuat tekan sebesar 23,32 MPa dan 22,50 MPa.

*Kata Kunci : abu serabut kelapa, waktu ikat, kuat tekan beton, kuat tarik belah.*

**1. PENDAHULUAN**

Salah satu unsur utama dalam pembangunan ialah beton. Bahan dasar beton adalah campuran dari semen, air, agregat halus dan agregat kasar, serta tulangan baja untuk beton bertulang. Namun belakangan ini banyak sekali beton menggunakan bahan tambahan (*addictive*) agar bisa memenuhi permintaan konsumen. Pada penelitian ini bahan tambah yang digunakan adalah abu serabut kelapa. Abu serabut kelapa berasal dari pengolahan limbah serabut kelapa yang dibakar yang kemudian menjadi abu. Oleh karena itu, dilakukan penelitian untuk memanfaatkan limbah abu serabut kelapa menjadi bahan yang bermanfaat, yaitu sebagai bahan tambah dalam campuran beton.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui sejauh mana pengaruh penggantian semen dengan abu serabut kelapa (ASK) terhadap waktu ikat semen, nilai *slump*, mutu kuat tekan beton dan kuat tarik belah beton. Penelitian yang dilakukan meliputi pemeriksaan material (analisa ayakan, berat jenis, berat isi, absorpsi dan pencucian agregat dengan ayakan no. 200), pengujian waktu ikat semen serta pengujian kuat tekan beton dan kuat tarik belah, penelitian ini dilakukan di Laboratorium Rekayasa Bahan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara.

**2. TINJAUAN PUSTAKA**

Beton didefinisikan sebagai campuran antara semen portland atau semen hidrolik yang lain, agregat halus, agregat kasar, dan air, dengan atau tanpa bahan tambahan membentuk massa padat (SK SNI T-15-1991-03). Campuran tersebut akan mengeras seperti batuan. Pengerasan terjadi karena peristiwa reaksi kimia antara semen dengan air. Sifat-sifat dan karakteristik material penyusun beton akan mempengaruhi kinerja dari beton yang dibuat. Pemilihan material yang memenuhi persyaratan sangat penting dalam perancangan beton, sehingga diperoleh kekuatan yang optimum. Selain itu kemudahan pengerjaan (*workability*) juga sangat dibutuhkan pada perancangan beton.

## SEMINAR NASIONAL HAKI

Tiara Convention Hall, Medan – 30 31 Mei 2014

Bahan tambah (*admixture*) adalah bahan-bahan pembentuk beton (semen, air, dan agregat) yang digunakan untuk memperbaiki dan menambah sifat beton. Fungsi dari bahan ini adalah untuk mengubah sifat-sifat dari beton agar menjadi lebih cocok untuk pekerjaan tertentu, atau untuk menghemat biaya. Bahan tambah digunakan untuk memodifikasi sifat dan karakteristik dari beton misalnya untuk dapat dengan mudah dikerjakan, mempercepat pengerasan, menambah kuat tekan, penghematan, atau untuk tujuan lain seperti penghematan energi.

### 2.1 Bahan Penyusun Beton

Menurut SII 0013-1981, semen *portland* adalah semen hidraulis yang dihasilkan dengan cara menghaluskan klinker yang terutama terdiri dari silikat-silikat kalsium yang bersifat hidraulis bersama bahan-bahan yang biasa digunakan, yaitu gypsum. Fungsi semen ialah untuk mengikat butir-butir agregat hingga membentuk suatu massa padat dan mengisi rongga-rongga udara di antara butiran agregat.

Agregat adalah bahan-bahan campuran beton yang saling diikat oleh perekat semen (Sagel, Kole, dan Kusuma, 1993). Agregat ini harus bergradasi sedemikian rupa sehingga seluruh massa beton dapat berfungsi sebagai benda yang utuh, homogen, dan rapat, dimana agregat yang kecil berfungsi sebagai pengisi celah yang ada di antara agregat berukuran besar (Nawy, 1998).

Air merupakan bahan yang diperlukan untuk proses reaksi kimia, dengan semen untuk pembentukan pasta semen. Air juga digunakan untuk pelumas antara butiran dalam agregat agar mudah dikerjakan dan dipadatkan. Air dalam campuran beton menyebabkan terjadinya proses hidrasi dengan semen.

### 2.2 Abu Serabut Kelapa (ASK)

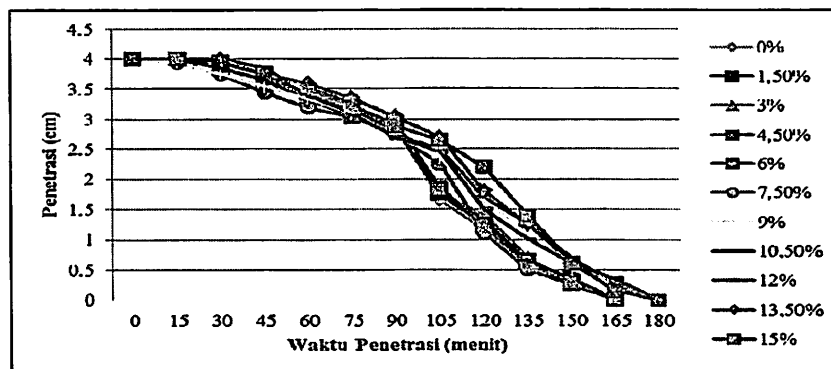
Serabut kelapa merupakan bagian yang cukup besar dari buah kelapa, yaitu 35% dari berat keseluruhan buah. Serabut kelapa terdiri dari serat dan gabus yang menghubungkan satu serat dengan serat lainnya. Setiap butir kelapa mengandung serat 525gr (75% dari serabut), dan gabus 175gr (25% dari serabut). Abu serabut kelapa berasal dari pengolahan limbah serabut kelapa yang dibakar yang kemudian menjadi abu. Abu serabut kelapa memiliki sifat pozzolan yang mengandung unsur silikat yang tinggi. Komposisi senyawa ASK (dalam satuan persen berat) terdiri dari unsur  $\text{SiO}_2$  42,98%,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  2,26%, dan  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  1,66% (Alexander, 2011).

## 3. METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah kajian eksperimental yang dilakukan di Laboratorium Beton Fakultas Teknik Departemen Teknik Sipil Universitas Sumatera Utara. Bahan-bahan yang digunakan untuk pembuatan beton adalah semen jenis OPC (*Ordinary Portland Cement*) atau tipe 1 produksi PT. Semen Padang, agregat halus diperoleh dari daerah Binjai, agregat kasar batu pecah (*split*), air bersih yang berasal dari PDAM Tirtanadi, serta abu serabut kelapa (ASK). Bahan-bahan untuk campuran beton seperti agregat halus dan kasar terlebih dahulu dianalisa untuk memeriksa kelayakan bahan. Mutu rencana beton adalah  $f'c$  20 MPa dengan benda uji silinder beton  $\phi$  15 cm dan tinggi 30 cm. Variasi substitusi abu serabut kelapa yaitu 1,5%, 3%, 4,5%, 6%, 7,5%, 9%, 10,5%, 12%, 13,5%, dan 15% dari volume beton. Pembuatan benda uji menggunakan metode Departemen Pekerjaan Umum yang berdasarkan SK SNI T-15-1990-03. Dari hasil perhitungan *mix design* diperoleh perbandingan campuran beton antara semen : pasir : kerikil : air = 1,00 : 1,87 : 2,80 : 0,48

## 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Waktu Ikat Semen



Gambar 1. Grafik waktu ikat semen dengan substitusi abu serabut kelapa



## SEMINAR NASIONAL HAKI

Tiara Convention Hall, Medan – 30 31 Mei 2014

Dari grafik didapat semakin besar substitusi abu serabut kelapa maka semakin lama waktu ikat awal dan waktu ikat akhirnya. Peningkatan waktu ikat awal terbesar terjadi pada variasi 15% yaitu 16,03% dari pasta normal. Sedangkan waktu ikat akhir terbesar terjadi pada variasi 9%-15% yaitu 9,09% dari pasta normal.

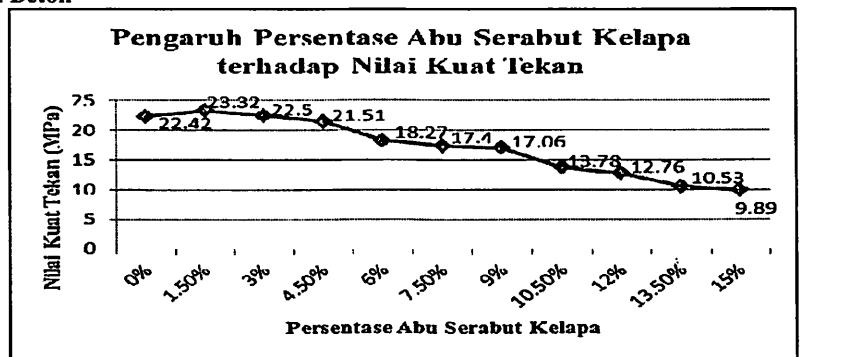
### 4.2 Nilai Slump



Gambar 2. Grafik nilai slump

Dari grafik dapat dilihat bahwa dengan meningkatnya persentase pemakaian abu serabut kelapa, maka nilai slump semakin naik, hal ini sesuai dengan sifat abu serabut kelapa yang memiliki daya serap air rendah.

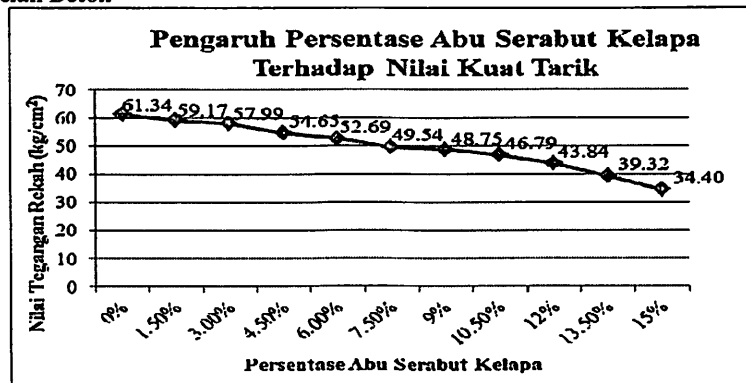
### 4.3 Kuat Tekan Beton



Gambar 3. Grafik kuat tekan beton terhadap variasi substitusi ASK

Dari grafik hasil pengujian kuat tekan beton diperoleh hasil bahwa terjadi peningkatan kekuatan pada substitusi abu serabut kelapa 1,5% dan 3%, kemudian terjadi penurunan kekuatan pada substitusi abu serabut kelapa pada variasi berikutnya. Sehingga didapat grafik yang semakin menurun seiring peningkatan persentase substitusi abu serabut kelapa.

### 4.4 Kuat Tarik Belah Beton



Gambar 4. Grafik kuat tarik belah beton terhadap variasi substitusi ASK

## SEMINAR NASIONAL HAKI

Tiara Convention Hall, Medan – 30 31 Mei 2014

Dari hasil pengujian kuat tarik belah beton diperoleh hasil bahwa terjadi penurunan tegangan tarik beton pada setiap persentase substitusi abu serabut kelapa. Sehingga didapat grafik yang menurun dengan signifikan seiring dengan peningkatan persentase substitusi abu serabut kelapa.

### 5. KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian, analisa, dan pembahasan yang sudah dilaksanakan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

4. Substitusi abu serabut kelapa pada campuran beton dengan menggantikan sebagian semen dari volume beton meningkatkan nilai slump.
5. Semakin besar substitusi abu serabut kelapa maka semakin lama waktu ikat awal dan waktu ikat akhir pada campuran pasta tersebut. Peningkatan waktu ikat awal dan waktu ikat akhir terbesar terjadi pada variasi 15%, yaitu 16,03% dan 9,09% dari beton normal.
6. Penggunaan abu serabut kelapa pada campuran beton dengan menggantikan 1,5% dan 3% semen dari volume beton meningkatkan nilai kuat tekan beton sebesar 4,01% dan 0,36% pada umur 28 hari menjadi 23,32 MPa dan 22,50 MPa dari nilai beton normal. Sedangkan pada nilai kuat tarik belah beton mengalami penurunan kekuatan sebesar 3,54% dan 5,46% pada umur 28 hari dari beton normal.
7. Sedangkan pada variasi 4,5%, 6%, 7,5%, 9%, 10,5%, 12%, 13,5%, dan 15% terjadi penurunan kuat tekan maupun kuat tarik belah. Ini bisa saja disebabkan oleh senyawa yang membentuk kekuatan awal pada semen yaitu  $C_3S$  yang dibantu oleh panas hidrasi dari senyawa  $C_3A$ . Dengan adanya butiran abu serabut kelapa maka reaksi hidrasi dari kedua senyawa ini akan terganggu, sehingga reaksi akan berlangsung lebih panjang yang mengakibatkan pengerasan beton akan lebih lama.

#### 5.2 Saran

Setelah melihat hasil penelitian dan menyadari adanya kekurangan dalam penelitian ini, maka saran-saran yang dapat diberikan sebagai berikut :

3. Hasil penelitian ini menunjukkan penggunaan abu serabut kelapa sebagai substitusi semen tidak begitu dianjurkan.
4. Bagi peneliti yang ingin melakukan penelitian lanjutan dapat menggunakan bahan tambah lainnya seperti *superplasticizer* untuk dikombinasikan dengan abu serabut kelapa.

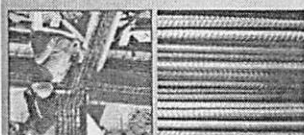
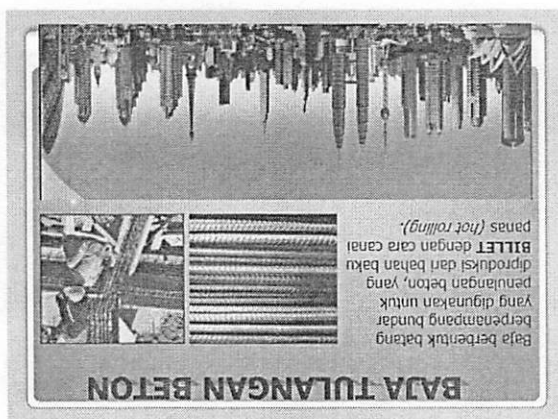
### DAFTAR PUSTAKA

- Alexander, H., dan Mukhlis. 2011. *Kajian Kuat Tekan Beton (Compressive Strength) Pada Beton dengan Campuran Abu Serabut Kelapa (ASK)*. Rekayasa Sipil Volume VII, Nomor 2.
- Kimpraswil, NSPM. 2002. *Metode, Spesifikasi, dan Tata Cara, Edisi Pertama*. Jakarta. Badan Penelitian dan Pengembangan.
- Nawy, E.G. (1998). *Beton Bertulang (Suatu Pendekatan Dasar)*. Bandung. Refika Aditama
- Sagel, R., Kole, P., & Kusuma, G. (1993). *Pedoman Pengerjaan Beton*. Jakarta. Erlangga.
- SII 0013-1981 *Mutu dan Cara Uji Semen Portland*

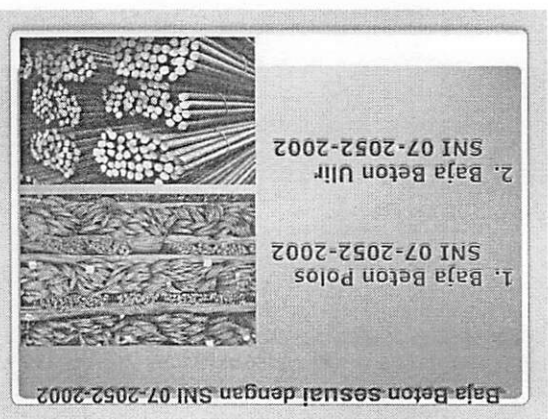
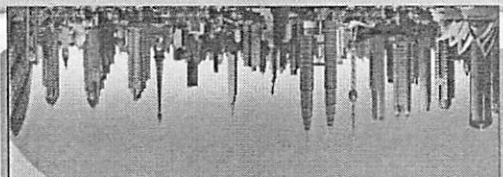
---

**Sponsor**

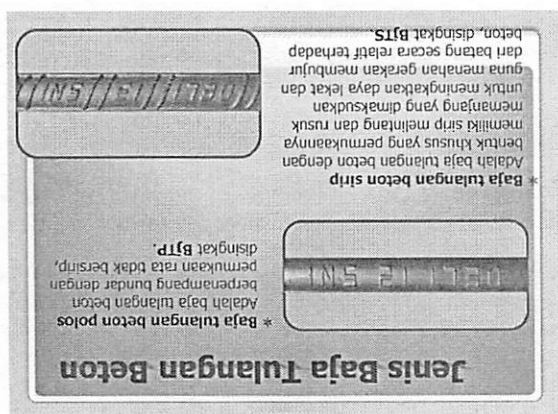
---



Baja berbentuk batang berpemangpun bundar yang digunakan untuk penulangan beton, yang diproduksi dari bahan baku BILLET dengan cara canal panas (hot rolling).



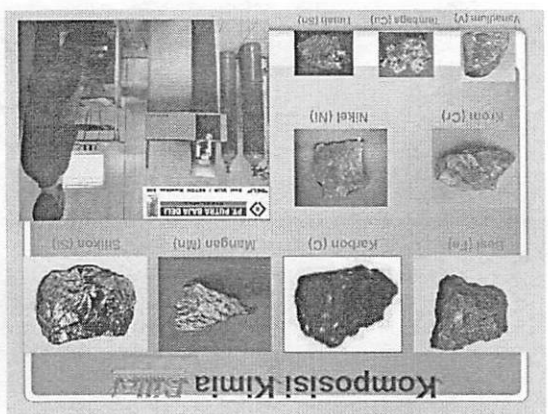
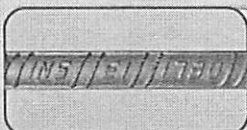
1. Baja Beton Polos  
SNI 07-2052-2002  
2. Baja Beton Ulir  
SNI 07-2052-2002



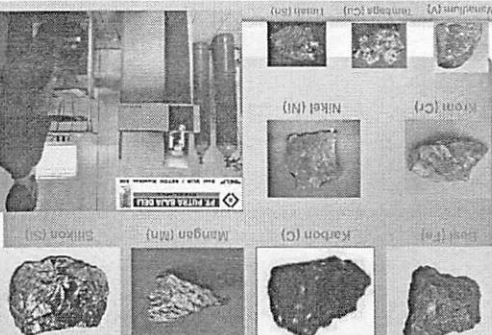
\* Baja tulangan beton polos adalah baja tulangan beton berpemangpun bundar dengan permukaan rata tidak bersip, disingkat BTP.



\* Baja tulangan beton sirip adalah baja tulangan beton dengan bentuk khusus yang pemakaiannya memiliki sirip melintang dan rusuk untuk meningkatkan daya lekat dan menahan secara relatif terhadap beton, disingkat BJTS.



Komposisi Kimia Baja





# SEMINAR NASIONAL HAKI

Tiara Convention Hall, Medan – 30 31 Mei 2014

## Syarat Mutu

### A. Sifat Tampak

Baja tulangan beton tidak boleh mengandung, serpihan, lipatan, retakan, gelombang, cerna yang dalam dan hanya diperkenankan berkarat ringan pada permukaan.

### B. Bentuk

#### Baja tulangan beton polos

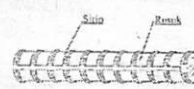
Permukaan batang baja tulangan beton harus rata tidak bersirip.

#### Baja Tulangan Beton Sirip

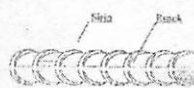
- Memiliki sirip yang teratur dan rusuk memanjang.
- Bila diperlukan tanda angka-angka atau huruf-huruf pada permukaan baja tulangan beton, maka sirip melintang pada posisi di mana angka atau huruf dapat diabaikan.
- Sudut sirip  $45^\circ$  s/d  $70^\circ$ , arah sirip melintang pada satu sisi, atau kedua sisi dibuat berlawanan. Bila sudutnya diatas  $70^\circ$  arah yang berlawanan tidak diperlukan.

Beberapa bentuk baja tulangan sirip beton seperti pada gambar berikut.

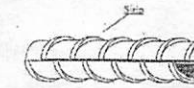
a) Jenis bambus (Bamboo type)



b) Jenis tulangan lain (Flat bar type)



c) Jenis sirip curam (Taper type)



### C. Ukuran dan toleransi

#### Diameter, berat dan ukuran sirip

Diameter dan berat per meter baja tulangan beton polos seperti tercantum pada Tabel 1. Diameter, ukuran sirip dan berat per meter baja tulangan beton sirip seperti tercantum pada Tabel 2.

#### Toleransi diameter

Toleransi diameter baja tulangan beton polos dan sirip seperti pada Tabel 3.

#### Panjang

Panjang baja tulangan beton ditetapkan 6 m, 9 m, dan 12 m.

#### Toleransi panjang

Toleransi panjang baja tulangan beton ditetapkan -0 mm & +70 mm.

#### Toleransi berat

Toleransi berat per batang ditetapkan seperti tercantum dalam Tabel 4.

Toleransi berat per lot ditetapkan seperti tercantum dalam Tabel 5.

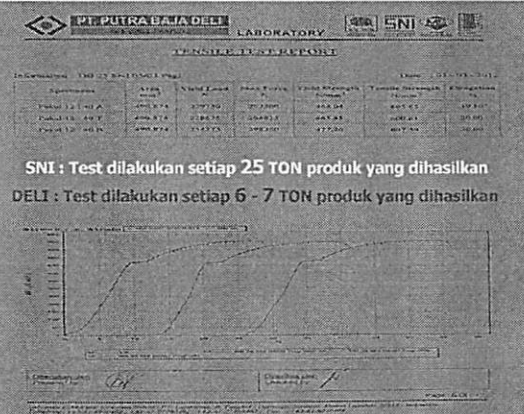
### D. Sifat mekanis

Tabel 6. Sifat Mekanis Baja Tulangan Beton Polos

| Kelas Baja Tulangan | Nomor Batang Uji | Uji Tarik                                                           |                                                                       | Uji Lintang                |                                     |
|---------------------|------------------|---------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|----------------------------|-------------------------------------|
|                     |                  | Batas Atas (Yield Strength) $K_y / \text{mm}^2$ ( $\text{N/mm}^2$ ) | Kuat Tarik (Tensile Strength) $R_m / \text{mm}^2$ ( $\text{N/mm}^2$ ) | Kepangsan (Elongation) (%) | Sudut Lintang Diameter Pelanghangan |
| BJTP 24             | No. 2<br>No. 3   | Min. 24<br>(235)                                                    | Min. 39<br>(380)                                                      | 20<br>24                   | 180°                                |
| BJTP 30             | No. 2<br>No. 3   | Min. 30<br>(295)                                                    | Min. 45<br>(440)                                                      | 18<br>22                   | 180°                                |

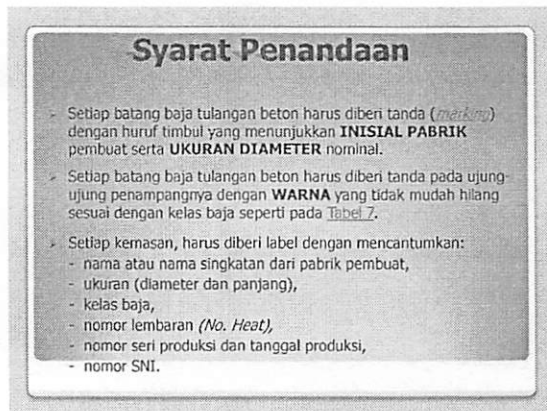
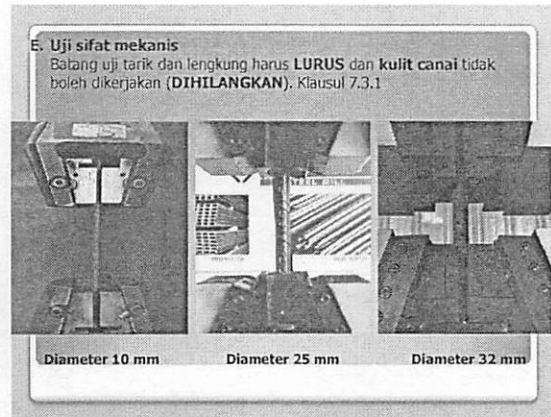
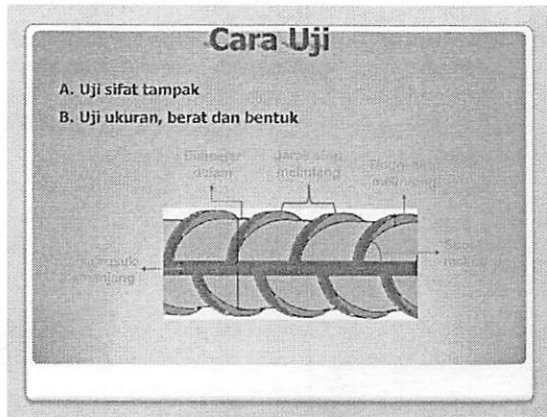
Tabel 7. Sifat Mekanis Baja Tulangan Beton Sirip

| Kelas Baja Tulangan | Nomor Batang Uji | Uji Tarik                                                           |                                                                       | Uji Lintang                |                                     |
|---------------------|------------------|---------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|----------------------------|-------------------------------------|
|                     |                  | Batas Atas (Yield Strength) $K_y / \text{mm}^2$ ( $\text{N/mm}^2$ ) | Kuat Tarik (Tensile Strength) $R_m / \text{mm}^2$ ( $\text{N/mm}^2$ ) | Kepangsan (Elongation) (%) | Sudut Lintang Diameter Pelanghangan |
| BJTS 20             | No. 2<br>No. 3   | Min. 20<br>(195)                                                    | Min. 35<br>(340)                                                      | 18<br>20                   | 180°                                |
| BJTS 25             | No. 2<br>No. 3   | Min. 25<br>(245)                                                    | Min. 40<br>(390)                                                      | 16<br>18                   | 180°                                |
| BJTS 30             | No. 2<br>No. 3   | Min. 30<br>(295)                                                    | Min. 45<br>(440)                                                      | 14<br>16                   | 180°                                |
| BJTS 40             | No. 2<br>No. 3   | Min. 40<br>(390)                                                    | Min. 57<br>(560)                                                      | 16<br>18                   | 180°                                |
| BJTS 50             | No. 2<br>No. 3   | Min. 50<br>(490)                                                    | Min. 68<br>(670)                                                      | 12<br>14                   | 180°                                |



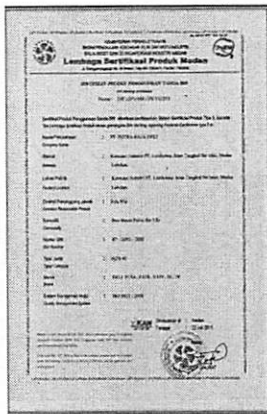
# SEMINAR NASIONAL HAKI

Tiara Convention Hall, Medan – 30 31 Mei 2014



# SEMINAR NASIONAL HAKI

Tiara Convention Hall, Medan – 30 31 Mei 2014



**SNI**  
SNI 77-2002-2002

**Baja Tulangan Beton**

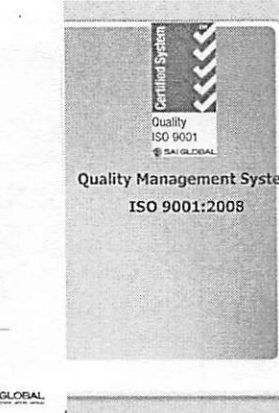
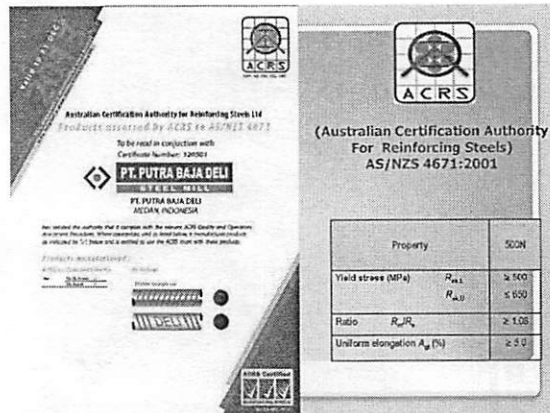
| Kelas Baja Tulangan | Momen Bending (kg/cm²) | Uji Tarik                        |                                    | Regangan (Elongation) (%) |
|---------------------|------------------------|----------------------------------|------------------------------------|---------------------------|
|                     |                        | Stress (Yield Strength) (kg/cm²) | Strain (Tensile Strength) (kg/cm²) |                           |
| Baris 1             | 10                     | Min. 40                          | Min. 57                            | 16                        |
| Baris 2             | 15                     | Min. 40                          | Min. 57                            | 16                        |
| Baris 3             | 20                     | Min. 40                          | Min. 57                            | 16                        |



**MS**  
MS 146:2006

**(Standard and Industrial Research Institute of Malaysia)**

| Bar          | Grade | Minimum Yield Strength (N/mm²) | Tensile Strength (N/mm²)             | Minimum Elongation on Gauge Length (A5.5.5, %) |
|--------------|-------|--------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------------------|
| Round Bar    | 250   | 250                            | Min. 15% greater than Yield Strength | 25                                             |
| Deformed Bar | 300   | 300                            | Min. 15% greater than Yield Strength | 17                                             |

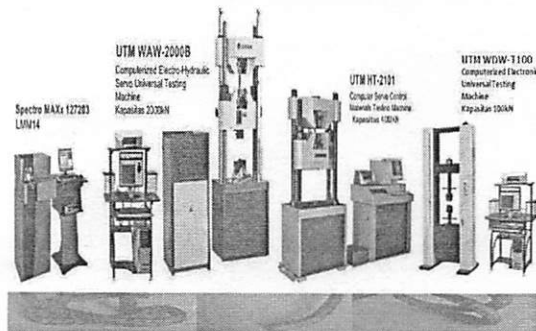


**Daftar Lingkup Pengujian**

| Bidang Pengujian | Bahan atau produk yang diuji | Jenis pengujian atau sifat-sifat yang diukur | Spesifikasi, metode pengujian, teknik yang digunakan |
|------------------|------------------------------|----------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| Mekanik          | Baja tulangan beton sirip    | Sifat tarik                                  | SNI 77-2002-2002                                     |
|                  |                              | Uji tarik, berat, bentuk                     | MS 146:2006; BS 4449:2005; AS/NZS 4671:2001          |
|                  | Baja tulangan beton polos    | Uji tarik                                    | SS2: Part 2:1999                                     |
|                  |                              | Uji tarik, berat, bentuk                     | SNI 77-2002-2002; MS 146:2006; BS 4449:1997          |
| Kimia            | Low alloy (carbon steel)     | Uji tarik                                    | AS/NZS 4671:2001                                     |
|                  |                              | Uji tarik                                    | SS2: Part 1:1999                                     |

**SEMINAR NASIONAL HAKI**  
Tiara Convention Hall, Medan – 30 31 Mei 2014

**Laboratorium Independen**  
ISO/IEC 17025



**Proyek – Proyek  
Yang Sudah Menggunakan  
“DELI”**

**Kami BANGGA menggunakan**

**Besi Ulir Kualitas SNI**  
**DELI**



**PT. PUTRA BAJA DELI**  
**STEEL MILL**

Website : <http://www.putrabajadeli.com>







# PT. PUTRA BAJA DELI

## STEEL MILL

KAWASAN INDUSTRI PT. LAMHOTMA

Jl. Tangkul / Dermaga, Medan 20252 - PO Box 1398 SUMATERA UTARA - INDONESIA

Telp. (6261) 4550402 (Hunting) ; (6261) 77700402 • Fax. (6261) 4570401

Website : <http://www.putrabajadeli.com> • email : [deli@putrabajadeli.com](mailto:deli@putrabajadeli.com)

# Besi Ulir Kualitas SNI

No. 07-2052-2002

# DELI

## SALES ONLINE

<http://www.putrabajadeli.com>



**Besi Beton/Ulir**

SNI 07-2052-2002



e-mail : [deli@putrabajadeli.com](mailto:deli@putrabajadeli.com)

Website : <http://www.putrabajadeli.com>





*Prosiding*  
**SEMINAR NASIONAL**  
**HAKI**

Supported by:



**PT. PUTRA BAJA DELI**  
STEEL MILL



PT. CROWN TID ALUMINUM INDONESIA



CONSTRUCTION & INVESTMENT



**JAYA**  
**BETON**



PT. MACAN SUMATERA INDONESIA



**Holcim**



PT. Jaya Pondasi Nusantara



PT. HUTAMA KARYA (Persero)



**PT. PERINTIS PONDASI TEKNOTAMA**  
Pondasi Teknik Supermarket  
Hydraulic Jacking System, Drilled & Hydraulic Jacking System  
Bored Pile, Mini Pile, Underpinning, etc.

BUILDING TRUST



**CV. KOKOH BERSAMA SUKSES**

ISBN 979-458-741-9



9 789794 587416 9 0000

[usupress.usu.ac.id](http://usupress.usu.ac.id)