

# PENGUJIAN KINERJA BAHAN “ECO-CURE<sup>21</sup>” SEBAGAI BAHAN STABILISASI TANAH UNTUK LAPISAN SUB-BASE PERKERASAN JALAN

Y u n a e f i

Mahasiswa Program Pascasarjana Bidang Keahlian Geoteknik Jurusan Teknik Sipil,  
FTSP, ITS, Kampus ITS Sukolilo Surabaya, email: [yyunaefi@yahoo.com](mailto:yyunaefi@yahoo.com)

## ABSTRAK

Stabilitas tanah dasar sangat diperlukan untuk mendukung lapisan perkerasan jalan apalagi bila tanah dasar berupa tanah ekspansif. Sifat-sifat tanah ekspansif yang kurang menguntungkan, antara lain plastisitas yang tinggi, kekuatan geser yang rendah, kemampatan atau perubahan volume yang besar dan potensi kembang susut yang besar. Sebagai solusi pemecahannya untuk menanggulangi masalah di atas adalah diupayakan dengan menstabilisasi badan jalan dengan bahan *road stabilizers* yaitu bahan additive untuk campuran tanah-semen (*soil cement*) bernama ECO-CURE<sup>21</sup>. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kinerja bahan additive ECO-CURE<sup>21</sup> untuk campuran tanah-semen (*soil cement*), dengan penambahan sebanyak 0,6%; 0,8%; dan 1% dari berat kering tanah. Kinerja bahan diukur melalui perubahan kadar air, hubungannya dengan perubahan kuat tekan hancur (*Unconfined Compression Strength*), nilai CBR (*California Bearing Ratio*) serta besarnya Pengembangan Tanah (*Swelling Soils*).

Hasil penelitian dengan penambahan ECO-CURE<sup>21</sup> dan semen (PC) adalah : **nilai Plasticity Index (PI)**, untuk Tanah 1 +1%ECC<sup>21</sup> dari 70,58% turun menjadi 29,797% atau sebesar 33,91%, Tanah 2+1%ECC<sup>21</sup> dari 34,013% turun menjadi 31,016% atau sebesar 5,79%, dan Tanah 3+1%ECC<sup>21</sup> dari 15,608% turun menjadi 14,640% atau sebesar 4,54%. **Kepadatan maksimum ( $\gamma_{dmax}$ )**, untuk Tanah 1+10%PC+1%ECC dari 1,49 gr/cm<sup>3</sup> naik menjadi 1,78 gr/cm<sup>3</sup> atau sebesar 19,46%, Tanah 2+12%PC+1%ECC dari 1,61 gr/cm<sup>3</sup> naik menjadi 1,79 gr/cm<sup>3</sup> atau sebesar 11,18% dan Tanah 3 +8%PC+1%ECC dari 1,78 gr/cm<sup>3</sup> naik menjadi 1,92gr/cm<sup>3</sup> atau sebesar 7,30%. **Nilai kokoh tekan bebas (qu)**, Tanah 1+12%PC+1%ECC umur 7 hari sebesar 10,096 kg/cm<sup>2</sup> setelah pengujian ulang menjadi 11,005 kg/cm<sup>3</sup> atau naik 9 %. Tanah 2+12%PC+1%ECC umur 7 hari sebesar 13,749 kg/cm<sup>2</sup> setelah pengujian ulang menjadi 12,055 kg/cm<sup>3</sup> atau turun 12,32 %. Tanah 3+8%PC+1%ECC umur 7 hari sebesar 8,833 kg/cm<sup>2</sup> setelah pengujian ulang menjadi 6,018 kg/cm<sup>3</sup> atau turun 31,87%. **Nilai CBR (%) dan Swelling (%)** Tanah 1 sebesar 1,17 % dan 10%, setelah ditambah 12%PC+1%ECC menjadi 26,03 % dan 1,96%. Tanah 2 sebesar 1,25 % dan 9,14%, setelah ditambah 12%PC +1%ECC menjadi 44,37 % dan 0,32%. Tanah 3 sebesar 5,65 % dan 1,09 %, setelah ditambah 10%PC +0%ECC menjadi 65,56 % dan 0,27%. Dari hasil tersebut khususnya benda uji yang dihancurkan dan dipadatkan kembali untuk membuktikan bahwa bahan ECO-CURE<sup>21</sup> sebagai bahan perekat saat benda uji telah mengalami penghancuran dan dapat merekatkan kembali sehingga benda uji dapat memberikan nilai kokoh tekan yang lebih baik dari semula, tidak dapat dibuktikan di laboratorium. Hal ini di tunjukkan bahwa hampir semua nilai kokoh tekan benda uji yang dihancurkan dan dipadatkan kembali, mempunyai nilai kokoh tekan lebih kecil dari semula.

**Kata-kata kunci** : stabilisasi tanah, bahan additive (*road stabilizier*), kuat tekan hancur.

## 1. PENDAHULUAN

Stabilitas tanah dasar (*sub-base soil*) sangat diperlukan untuk mendukung lapisan perkerasan jalan. Apabila tanah dasar untuk lapisan perkerasan jalan memiliki kuat dukung yang buruk seperti halnya pada tanah ekspansif, akan mengakibatkan konstruksi perkerasan jalan mudah rusak. Pembangunan jalan diatas tanah lunak umumnya menghadapi masalah, yaitu apabila tanpa perbaikan tanah, penurunan tanah berlangsung sangat lambat sehingga lambat laun akan terjadi differential settlement (beda penurunan) yang nyata (Mochtar, 2000). Karena penurunan ini perkerasan jalan lebih cepat rusak dari pada umur rencananya.

Salah satu alternatif yang dianggap “promissing” (menjadi tumpuan harapan) adalah dengan menstabilkan badan jalan dengan bahan *road stabilizers*, metode stabilisasi tanah dasar yang banyak digunakan adalah stabilisasi mekanis dan stabilisasi kimiawi. Stabilisasi mekanis yaitu menambah kekuatan dan kuat dukung tanah dengan cara perbaikan struktur dan perbaikan sifat-sifat mekanis tanah, misalnya dengan cara pemadatan. Sedangkan stabilisasi kimiawi yaitu menambah kekuatan dan kuat dukung tanah dengan jalan mengurangi atau menghilangkan sifat-sifat teknis tanah yang kurang menguntungkan dengan cara mencampur tanah dengan bahan kimia seperti bahan *road stabilizers*.

Salah satu *road stabilizers* yang sudah pernah dilakukan yaitu tanah distabilisasi dengan semen (*PC*), dan di beberapa daerah di Indonesia sudah dilakukan stabilisasi dengan bahan tersebut. Namun stabilisasi dengan semen (*PC*) ini masih ada kelemahannya. Setelah dilakukan evaluasi uji coba di lapangan ternyata stabilisasi pada jalan *soil-cement*, walaupun kekuatannya pada awalnya sangat tinggi, bila kena beban roda yang berat lapisan *soil-cement* ini dapat retak dan bahannya mudah tergerus oleh roda kendaraan berat. Bila terjadi retak maka retak tersebut permanen dan tidak dapat menjadi lebih baik kembali.

Di Indonesia stabilisasi tanah dengan bermacam-macam bahan *road stabilizers* pernah dilakukan di daerah Transmigrasi di Indonesia tepatnya di Propinsi Kalimantan Selatan, dimana kondisi tanah aslinya berupa tanah yang didominasi oleh tanah lempung atau lanau dengan plastisitas tinggi. Pembuatan perkerasan jalan dari tanah yang distabilisasi dengan beberapa jenis bahan *road stabilizers* yaitu : Geosta+Soil-cement, Dustex, Base Seal, RRP, Aspal Emulsi, Consolid + Conservex dan Soil-cement, (Mochtar, 1996). Namun setelah dilakukan evaluasi hasil uji coba di lapangan dapat disimpulkan secara umum bahwa hasilnya kurang memuaskan karena kondisi permukaan setelah hujan sebagian besar masih cukup licin dan juga kondisi permukaan saat kering sebagian besar masih terdapat retak-retak.

Alternatif terbaru untuk mengatasi permasalahan yang terjadi pada tanah *subgrade* jalan di atas adalah menggunakan bahan stabilisasi tanah yang baru, yaitu dengan nama ECO-CURE<sup>21</sup>, yang merupakan produk baru dari Jepang. ECO-CURE<sup>21</sup> sebagai soil stabilizer atau penstabil tanah mampu meningkatkan kualitas tanah antara lain daya tahan terhadap beban tinggi, dapat memiliki porositas yang baik, anti retak, tidak licin dan tidak berdebu, semakin kena air makin kokoh, dapat mengeliminasi racun yang ramah lingkungan. ECO-CURE<sup>21</sup> telah banyak digunakan di Jepang, Vietnam, Thailand sejak tahun 1995 untuk bangunan jalan. ECO-CURE<sup>21</sup> juga cocok dan telah dilakukan penggunaannya sebagai bahan alternatif untuk konstruksi sub-base jalan untuk lapisan di bawah aspal hotmix, konstruksi sub base jalan pada tanah yang tergenang air atau rawa, perbaikan lapisan tanah dasar dan lereng sungai atau saluran irigasi (Project Record ECO-CURE<sup>21</sup> Nippon Eco-Technology Co.,Ltd ).

## 2. METODOLOGI

Penelitian yang dilakukan berupa pengujian eksperimental di laboratorium Mekanika Tanah dan Batuan Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya dengan menggunakan sampel tanah lempung yang mempunyai nilai plastisitas yang tinggi, sedang dan rendah yang dicampur dengan semen (*PC*) dan dengan/atau tanpa bahan stabilisasi tanah yang bernama ECO-CURE<sup>21</sup> buatan Jepang. Adapun rancangan penelitian yang dilakukan menurut tahapan-tahapan sebagai berikut :

### Persiapan Benda Uji

Tanah lempung yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah tanah lempung yang mempunyai nilai plastisitas tinggi dari daerah Babat-Bojonegoro, pengambilan contoh tanah berupa tanah terganggu.

Tanah 1 adalah 100% tanah lempung asli (Tanah Plastisitas Tinggi), Tanah 2 diasumsikan sebagai tanah yang mempunyai kira-kira nilai LL = 60% (Tanah Plastisitas Sedang) dan Tanah 3 diasumsikan sebagai tanah yang mempunyai kira-kira nilai LL = 30% (Tanah Plastisitas Rendah). Nilai Liquid Limit tersebut diperoleh melalui mencampur tanah lempung asli dan pasir dengan berbagai komposisi sampai diperoleh nilai LL yang diinginkan.

### Pengujian Volumetri –Gravimetri

Tes Volumetri-Gravimetri meliputi pengujian untuk menentukan berat volume tanah (*unit weight of soil*), penentuan kadar air (*water content*) dan penentuan *specific gravity*. Dengan standart yang digunakan masing-masing ASTM D2937-71, ASTM D2216-71, dan ASTM D854-58.

### Analisa Butiran Tanah (Analisa Saringan)

Pengujian contoh tanah dari masing-masing jenis tanah diambil sesuai dengan standart yang digunakan kemudian dilakukan pengujian analisa butiran dimana tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui prosentase fraksi butiran dari masing-masing jenis tanah. Standart yang digunakan ASTM D1140-54.

### Pengujian Batas Atterberg Limit

Pengujian batas Atterberg ini bertujuan untuk mengetahui nilai Liquid Limit (LL), Plastic Limit (PL), dan nilai Indeks Plastisitas (IP), standart yang digunakan masing-masing adalah ASTM D423-66.

Contoh tanah yang akan diuji dibuat campuran sebagai berikut :

1. Penentuan nilai LL, PL, dan IP contoh Tanah 1, Tanah 2, dan Tanah 3
2. Penentuan nilai LL, PL, dan IP contoh Tanah 1, Tanah 2, dan Tanah 3, yang dicampur dengan bahan ECO-CURE<sup>21</sup>.

### Pengujian Kepadatan Tanah

Pengujian kepadatan dilakukan dengan standart ASTM D698-78 dan rancangan pengujian sebagai berikut :

1. Contoh tanah Tanah 1, Tanah 2, dan Tanah 3
2. Contoh Tanah 1, Tanah 2, dan Tanah 3 + (PC)
3. Contoh Tanah 1, Tanah 2, dan Tanah 3 + (PC) + ECO-CURE<sup>21</sup>
4. Contoh Tanah 1, Tanah 2, dan Tanah 3 + ECO-CURE<sup>21</sup>

### Pengujian Kuat Tekan Bebas (*Unconfined Test*)

Pengujian kuat tekan bebas dilakukan untuk mengetahui kekuatan kokoh tekan hancur benda uji sesuai dengan komposisi campuran dan berdasarkan standart ASTM D216-66. Pengujian dilakukan dengan 2 (dua) cara yaitu :

**Cara 1 :** Pengujian tanpa rendaman untuk Tanah 1, Tanah 2, dan Tanah 3 + PC; Tanah 1, Tanah 2, dan Tanah 3 + PC + ECO-CURE<sup>21</sup>; dan Tanah 1, Tanah 2, dan Tanah 3 + ECO-CURE<sup>21</sup> dengan pemeraman 1 hari, 3 hari dan 7 hari. Kemudian dilakukan pengulangan uji tekan setelah pemeraman 1 hari, 3 hari dan 7 hari

**Cara 2 :** Pengujian dengan rendaman, pengujian dilakukan sama seperti cara 1, tetapi pemeraman diganti dengan rendaman selama 1 hari, 3 hari dan 7 hari.

### Pengujian California Bearing Ratio (CBR) dan Pengembangan Tanah (*Swelling Test*)

Nilai CBR ditentukan dengan perendaman selama 4 hari (96 jam). Uji CBR metode rendaman adalah untuk mengasumsikan keadaan hujan atau saat kondisi terjelek di lapangan yang akan memberikan pengaruh penambahan air pada tanah yang telah berkurang airnya, sehingga akan mengakibatkan terjadinya pengembangan (*swelling*) dan penurunan kuat dukung tanah.

Pengujian dilakukan pada contoh Tanah 1, Tanah 2, dan Tanah 3 + PC; Tanah 1, Tanah 2, dan Tanah 3 + PC + ECO-CURE<sup>21</sup>; dan Tanah 1, Tanah 2, dan Tanah 3 + ECO-CURE<sup>21</sup>. Pengujian dilakukan sesuai standart pengujian ASTM D1883-87.

## 3. HASIL DAN DISKUSI

### Analisa Pembagian Butir Dan Klasifikasi Tanah.

Hasil pengujian analisa pembagian butir tanah adalah sebagai berikut :

**Tabel 3.1.** Prosentase Fraksi Butiran.

No.	Fraksi butiran	Jenis Tanah		
		Tanah 1	Tanah 2	Tanah 3
1.	Kerikil (gravel)	0,00 %	0,66 %	1,10 %
2.	Pasir halus & kasar (sand)	1,88 %	40,27 %	68,19 %
3.	Lanau & lempung (silt & clay)	98,12 %	68,19 %	30,71 %

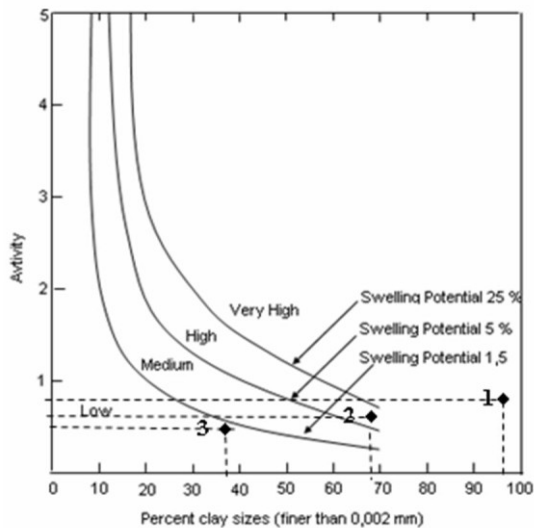
**Tabel 3.2.** Klasifikasi Tanah

No.	Jenis Tanah	AASTHO	USCS	Potensi Pengembangan
1.	Tanah 1	A-7-6 (69)	CH	lempung berplastisitas tinggi
2.	Tanah 2	A-7-6 (17)	CH	lempung berplastisitas tinggi
3.	Tanah 3	A-6 ( $\approx 0$ )	SC	lempung berplastisitas rendah

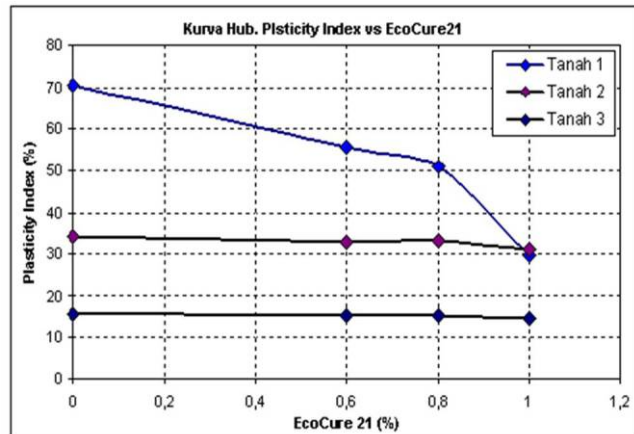
### Analisa Hasil Pengujian *Atterberg Limit*.

- Penambahan bahan ECO-CURE<sup>21</sup> secara umum memperkecil harga LL, PL dan PI dari tanah asli.
- Berdasarkan nilai Activity (A) dari Tanah 1, Tanah 2 dan Tanah 3 masing-masing 0,72; 0,58; dan 0,51 serta prosentase lolos ayakan No.200 masing-masing 98,12 %, 59,06 % dan 30,71 %, maka tingkat potensi pengembangan Tanah 1 adalah **sangat tinggi**, Tanah 2 adalah **tinggi** dan Tanah 3 adalah **rendah**, seperti dapat dilihat pada **Gambar 3.1**.
- Secara umum terlihat bahwa harga Indeks Plastisitas (*IP*) dari tanah yang distabilisasi dengan ECO-CURE<sup>21</sup> berkurang dari pada tanah aslinya. Pada **Gambar 3.2** terlihat bahwa pada Tanah 1, Tanah 2, dan Tanah 3, ditambahkan ECO-CURE<sup>21</sup> 0,6 %; 0,8 %; dan 1 % maka nilai PI Tanah 1 turun masing-masing sebesar 21,22 %; 22,07 %; dan 57,78%. Penurunan PI Tanah 2 masing-masing 3,63%; 2,87%; dan 8,81%. Sedangkan Tanah 3 masing-masing adalah 3,3%; 2,47%; dan 4,54%.

- Nilai PI Tanah 1, Tanah 2, dan Tanah 3 masih cukup besar. Berdasarkan persyaratan *AASHTO* bahwa tanah untuk lapis pondasi dan pondasi bawah dari jalan agar memiliki nilai PI < 10 %. Persyaratan ini jelas tidak terpenuhi oleh Tanah 1, Tanah 2, dan Tanah 3.



**Gambar 3.1** Grafik Menentukan Potensial Pengembangan ( after Seed, ed al, 1962) untuk Tanah 1, Tanah 2, dan Tanah 3.



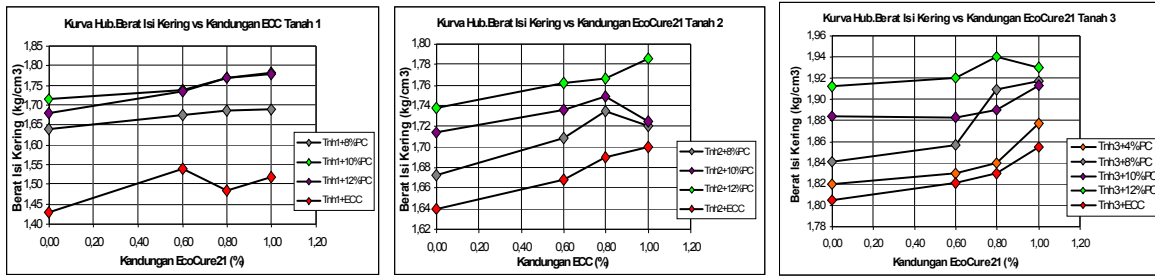
**Gambar 3.2.** Hubungan PI dan Penambahan ECO-CURE<sup>21</sup> pada Tanah 1, Tanah 2, dan Tanah 3.

### Analisa Hasil Pengujian Kepadatan Tanah

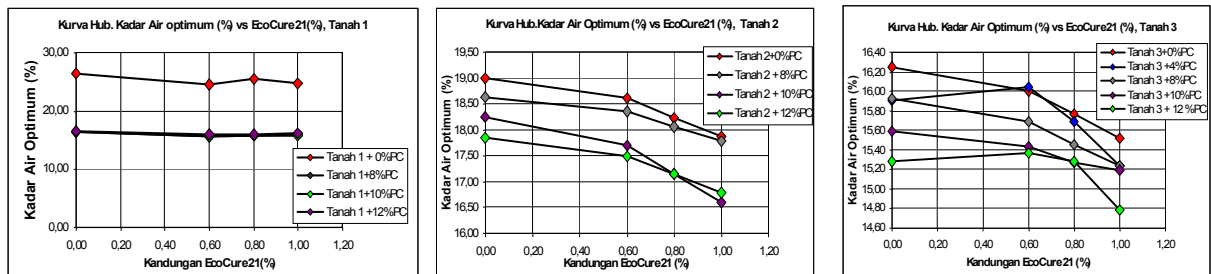
Hasil pengujian kepadatan (*Standart Proctor*) Tanah 1, Tanah 2, dan Tanah 3 untuk mendapatkan kadar air optimum ( $w_{opt}$ ) dan berat volume kering maksimum ( $\gamma_{dmax}$ ). Selanjutnya dilakukan pengujian kepadatan campuran Tanah + Semen (PC); Tanah + Semen (PC) + ECO-CURE<sup>21</sup>; dan Tanah + ECO-CURE<sup>21</sup>, dijelaskan sebagai berikut :

**Gambar 3.3** menunjukkan hubungan antara Berat Volume Kering dan Kadar ECO-CURE<sup>21</sup>, untuk Tanah 1, Tanah 2, dan Tanah 3 pada kandungan semen (PC) 0%, 4%, 8%, 10% dan 12%. Hasil uji menunjukkan bahwa penambahan persentase ECO-CURE<sup>21</sup> dalam air dan persentase semen memperlihatkan kecenderungan kenaikan berat volume kering maksimum. Hal ini menyatakan bahwa baik ECO-CURE<sup>21</sup> maupun semen (PC) dapat menyebabkan kepadatan maximum benda uji lebih tinggi. Pada prosentase semen (PC) yang sama penambahan prosentase ECO-CURE<sup>21</sup> tidak nampak berbeda bahkan ada yang sama. Untuk Tanah 1 kenaikan berat volume kering antara 0,06 % sampai dengan 2,1%. Untuk Tanah 2 kenaikan berat volume kering antara 0,81% sampai dengan 2,13 % bahkan pada penambahan ECO-CURE<sup>21</sup> 1 % terjadi penurunan sebesar 1,4% . Sedangkan untuk Tanah 3, penambahan ECO-CURE<sup>21</sup> nampak kenaikan berat volume kering sebesar 0,09 % sampai dengan 1,38 %, bahkan pada penambahan semen (PC) 12 % dan 1% ECO-CURE<sup>21</sup> terjadi penurunan sebesar 0,52 %.

**Gambar 3.4** menunjukkan hubungan antara Kadar Air Optimum ( $w_{opt}$ ) dan Kadar ECO-CURE<sup>21</sup>. Nampak bahwa semen (PC) dan ECO-CURE<sup>21</sup> menyebabkan penurunan  $w_{opt}$  dari benda uji. Pada Tanah 1 nampak pada kadar semen (PC) yang sama, penambahan ECO-CURE<sup>21</sup> tidak nampak ada perbedaan beda yang nyata bahkan sama. Pada Tanah 2 dan Tanah 3 pada kadar semen (PC) yang sama, terjadi penurunan  $w_{opt}$  sebesar 0,51% sampai dengan 2,84 %.



**Gambar 3.3** Kurva Hubungan Berat Isi Kering dengan Penambahan Semen (PC) dan ECO-CURE<sup>21</sup> untuk Tanah 1, Tanah 2, dan Tanah 3



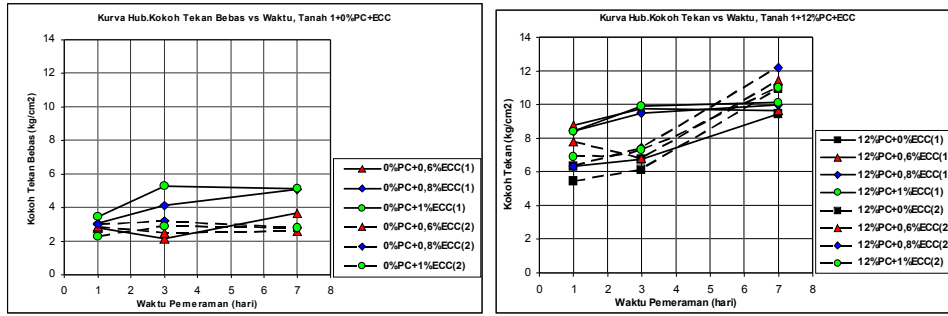
**Gambar 3.4** Kurva Hubungan Kadar Air Optimum dengan Penambahan Semen (PC) dan ECO-CURE<sup>21</sup> untuk Tanah 1, Tanah 2, dan Tanah 3

### Analisa Hasil Pengujian Unconfined Compression Strenght Test (UCS)

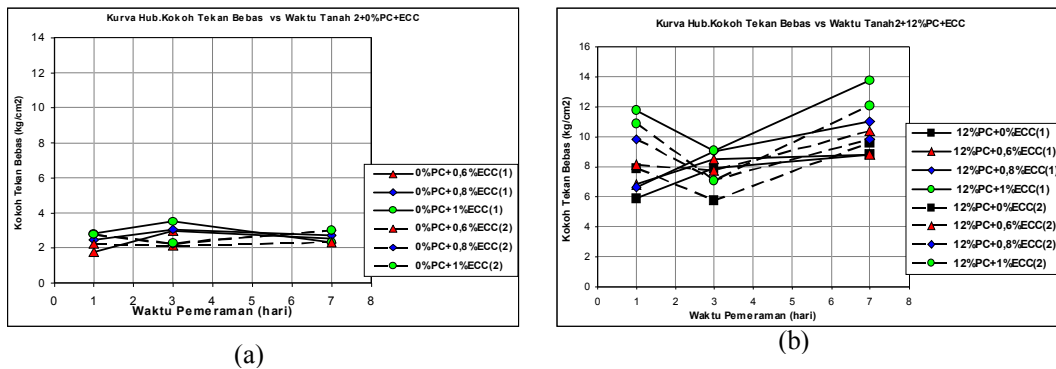
Pengujian kuat tekan hancur (*Unconfined Compression Test*) pada Tanah 1, Tanah 2 dan Tanah 3 + semen (PC); Tanah 1, Tanah 2 dan Tanah 3 + semen (PC) + ECO-CURE<sup>21</sup>; dan Tanah 1, Tanah 2 dan Tanah 3 + ECO-CURE<sup>21</sup> dilakukan untuk mencari harga tegangan tekan (*Compression Stress*) dan harga regangan (*Axial Strain*). Benda uji yang akan diuji kokoh tekan hancur adalah contoh-contoh tanah yang telah dipadatkan dengan cara di press berdasarkan nilai kepadatan maksimum ( $\gamma_{drymax}$ ) dan kadar air optimum ( $w_{opt}$ ) dari *Test Standart Proctor*. Benda uji dicetak ke dalam tabung kokoh tekan berukuran 3,8 cm x 8 cm (diameter = 3,8 cm dan tinggi = 8 cm), kemudian contoh tanah dikeluarkan dari tabung kokoh tekan lalu dilakukan test kokoh tekan setelah mengalami perawatan selama 1, 3 dan 7 hari tanpa perendaman maupun dengan perendaman. Kemudian dilakukan pengulangan pengujian kokoh tekan setelah dilakukan penghancuran benda uji dan dengan waktu pemeraman selama 1, 3, dan 7 hari. Hasil pengujian kokoh tekan hancur (UCS) Tanah 1, Tanah 2 dan Tanah 3 + semen (PC); Tanah 1, Tanah 2 dan Tanah 3 + semen (PC) + ECO-CURE<sup>21</sup>; Tanah 1, Tanah 2 dan Tanah 3 + ECO-CURE<sup>21</sup>. Hasil kokoh tekan hancur tanah yang diberi bahan stabilisasi tanpa perendaman maupun dengan perendaman mempunyai nilai yang sangat bervariasi. Nilai kokoh tekan hancur ini dapat naik atau turun dari nilai kokoh tekan sebelumnya berkisar 5 % sampai dengan 10 % dimana kenaikannya bergantung pada kadar bahan stabilisasi yang dicampurkan dari tanah aslinya.

Dari uraian dan analisa hasil perhitungan diatas dapat dijelaskan sebagai berikut :

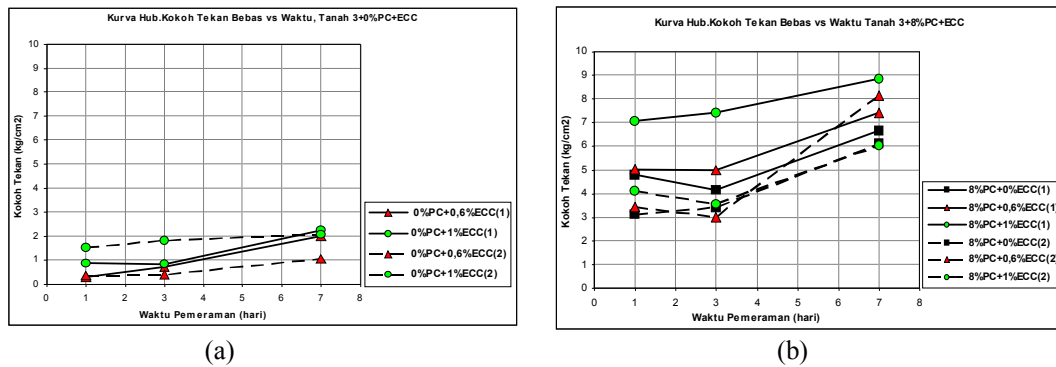
- Tanah 1 + 1 %ECC umur pemeraman 3 hari mempunyai kokoh tekan paling baik sebesar 5,292 kg/cm<sup>2</sup> dan setelah dihancurkan dan dipadatkan kembali, kokoh tekannya turun menjadi 2,907 kg/cm<sup>2</sup>. Tanah 1 + 12 %PC + 1 % ECC umur pemeraman 7 hari mempunyai kokoh tekan paling baik sebesar 10,096 kg/cm<sup>2</sup>, dan setelah dilakukan penghancuran dan pemadatan kembali, kokoh tekannya naik menjadi 11,005 kg/cm<sup>2</sup>. **Gambar 3.5.**
- Tanah 2 + 1 %ECC umur pemeraman 3 hari mempunyai kokoh tekan paling baik sebesar 3,522 kg/cm<sup>2</sup> dan setelah dihancurkan dan dipadatkan kembali, kokoh tekannya turun menjadi 2,268 kg/cm<sup>2</sup>. Tanah 2 + 12 %PC + 1 % ECC umur pemeraman 7 hari mempunyai kokoh tekan paling baik sebesar 13,749 kg/cm<sup>2</sup>, dan setelah dilakukan penghancuran dan pemadatan kembali, kokoh tekannya turun menjadi 12,055 kg/cm<sup>2</sup>. **Gambar 3.6.**



**Gambar 3.5** (a) Kurva Kokoh Tekan Bebas Tanah 1 + 1% ECO-CURE<sup>21</sup>, (b) Tanah 1 + 12% Semen (PC) + 1% ECO-CURE<sup>21</sup>.



**Gambar 3.6** (a) Kurva Kokoh Tekan Bebas Tanah 2 + 1% ECO-CURE<sup>21</sup>, (b) Tanah 2 + 12% Semen (PC) + 1% ECO-CURE<sup>21</sup>.



**Gambar 3.7** (a) Kurva Kokoh Tekan Bebas Tanah 3 + 1% ECO-CURE<sup>21</sup>, (b) Tanah 3 + 8% Semen (PC) + 1% ECO-CURE<sup>21</sup>.

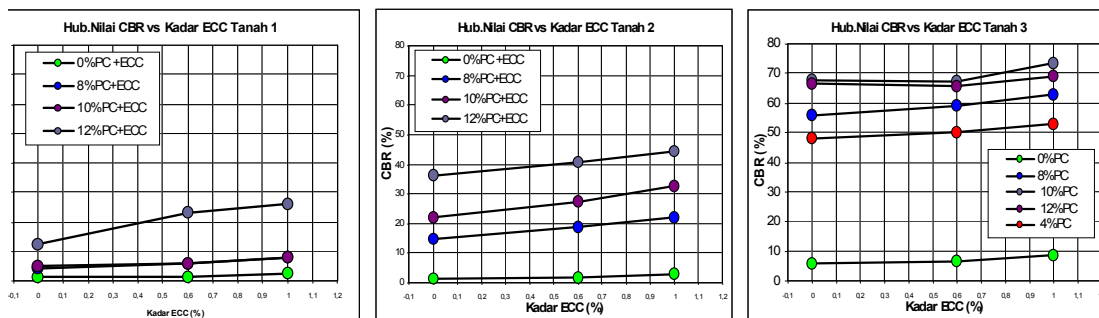
- Tanah 3 + 1 %ECC umur pemeraman 7 hari mempunyai kokoh tekan paling baik sebesar 2,232 kg/cm<sup>2</sup> dan setelah dihancurkan dan dipadatkan kembali, kokoh tekannya turun menjadi 2,060 kg/cm<sup>2</sup>. Tanah 3 + 8 %PC + 1 % ECC umur pemeraman 7 hari mempunyai kokoh tekan paling baik sebesar 8,833 kg/cm<sup>2</sup>, dan setelah dilakukan penghancuran dan pematatan kembali, kokoh tekannya turun menjadi 6,018 kg/cm<sup>2</sup>.

**Gambar 3.7.**

- Benda uji yang dihancurkan dan dipadatkan kembali untuk membuktikan bahwa bahan ECO-CURE<sup>21</sup> sebagai bahan perekat saat benda uji telah mengalami penghancuran dan dapat merekatkan kembali contoh tanah serta dapat memberikan nilai kokoh tekan yang lebih baik dari semula, tidak dapat dibuktikan di laboratorium. Hasil menunjukkan bahwa hampir semua nilai kokoh tekan benda uji yang dihancurkan dan dipadatkan kembali, mempunyai nilai kokoh tekan lebih kecil dari semula.

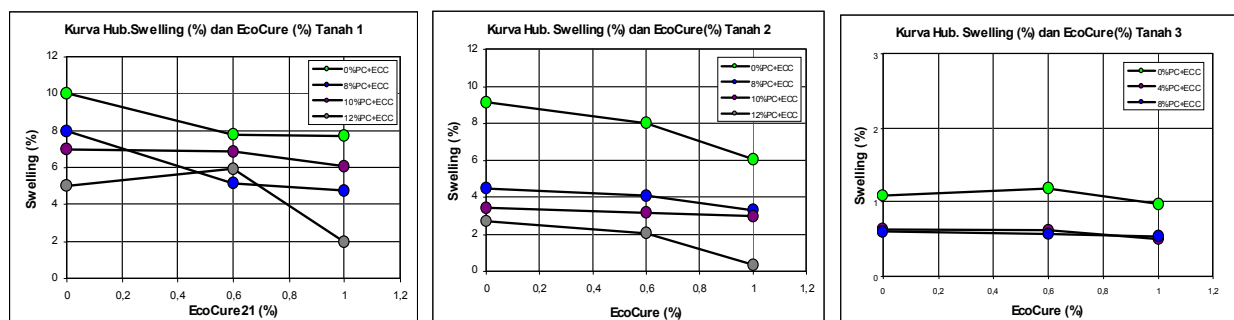
**Analisa Hasil Pengujian CBR (*California Bearing Ratio*) dan Pengembangan Tanah (*Swelling*)**

**Gambar 3.8** menunjukkan hubungan nilai CBR (%) vs Kandungan Eco Cure<sup>21</sup> (%) untuk Tanah 1, Tanah 2, dan Tanah 3. Pengujian CBR *soaked* ditetapkan masing-masing pada penetrasi 0,1” dan 0,2”, dilakukan untuk rendaman selama 4 hari saja. Penambahan ECO-CURE<sup>21</sup> tidak nampak meningkatkan nilai CBR secara nyata, Peningkatan nilai CBR nampak dengan bertambahnya kandungan semen (PC). Peningkatan nilai CBR ini disebabkan terjadinya sementasi akibat penambahan semen, sehingga menyebabkan penggumpalan butiran tanah yang menyebabkan meningkatnya daya ikat antar butiran. Peningkatan antar butiran akan meningkatkan kemampuan saling mengikat antar butiran dan rongga-rongga pori yang ada sebagian yang dikelilingi bahan semen akan lebih keras, sehingga butiran tidak mudah hancur atau terpengaruh air sehingga mempunyai kekuatan yang lebih baik. Untuk Tanah 1 nilai CBR sebesar 1,17 % setelah ditambah 12%PC + 1 %ECC menjadi 26,03 %. Untuk Tanah 2 nilai CBR sebesar 1,25 % setelah ditambah 12%PC + 1 %ECC menjadi 44,37 %. Untuk Tanah 3 nilai CBR sebesar 5,65 % setelah ditambah 10 %PC + 0 %ECC menjadi 65,56 %.



**Gambar 3.8.** Kurva Hubungan Nilai CBR (%) dan Kadar ECO CUR21 (%) Tanah 1, Tanah 2 dan Tanah 3

**Gambar 3.9** menunjukkan hubungan nilai Swelling (%) dan Kandungan ECO-CURE<sup>21</sup> (%) Tanah1, Tanah 2, dan Tanah 3. Nampak bahwa penambahan ECO-CURE<sup>21</sup> menurunkan nilai swelling terutama pada Tanah 1. Penambahan semen (PC) juga menurunkan nilai swelling baik Tanah1, Tanah2, dan Tanah3. Hal ini disebabkan penambahan semen (PC) dan ECO-CURE<sup>21</sup> mengakibatkan rongga-rongga yang ada dalam butiran tanah akan tertutup adanya semen sehingga rongga antar butiran akan menjadi padat, rapat dan semakin kompak. Diketahui bahwa potensi pengembangan tanah dipengaruhi oleh indeks plastisitas dan kandungan fraksi lempung (<2µm). Semakin besar nilai indeks plastisitas dan persentase fraksi lempung maka semakin besar pula potensi pengembangan. Untuk Tanah 1+12%PC + 1 %ECC nilai Swelling dari 12,9 % menjadi 1,52 %. Untuk Tanah 2 + 12%PC + 1 %ECC nilai Swelling dari 11,7 % menjadi 0,42 %. Untuk Tanah 3 + 10%PC + 0 %ECC nilai Swelling dari 1,4 % menjadi 0,35 %.



**Gambar 3.9.** Kurva Hubungan Nilai Swelling (%) dan Kadar ECO-CURE<sup>21</sup> (%) Tanah 1, Tanah 2 dan Tanah 3



## Memperkirakan Ketahanan Jalan Menahan Beban Roda Kendaraan Berdasarkan Hasil Kokoh Tekan Hancur (Unconfined Compression Strength Test) di Laboratorium.

Menurut *AASHTO* (1972), tekanan roda kendaraan berat dianjurkan tidak melampaui 80 psi. Menurut hasil survey Wiweko dan Indrasurya (1995) tekanan roda kendaraan berat (*truck*) di Indonesia berkisar antara 100 s/d 140 psi. Untuk mendapatkan jalan tanah yang mampu memikul beban roda tanpa adanya deformasi yang berarti, maka diperlukan hasil uji tekan kokoh hancur tanah sebagai berikut :

- Untuk kendaraan berat  $\bar{\sigma}_k \geq 5,90 \text{ kg/cm}^2$
- Untuk kendaraan ringan  $\sigma_k \geq 1,97 \text{ kg/cm}^2$

**Untuk Tanah 1 (Tanpa Rendaman)** dapat dilihat bahwa campuran Tanah 1 + 8% PC dan Tanah 1 + 8% PC + ECO-CURE<sup>21</sup>, tidak memenuhi persyaratan menahan beban roda kendaraan berat ( $\bar{\sigma}_k \geq 1,97 \text{ kg/cm}^2$ ), namun memenuhi untuk menahan beban kendaraan ringan ( $\bar{\sigma}_k \geq 1,97 \text{ kg/cm}^2$ ). Tanah 1 + 10% PC dan Tanah 1 + 10% PC + ECO-CURE<sup>21</sup> dapat memenuhi persyaratan menahan beban roda kendaraan ringan ( $\bar{\sigma}_k \geq 1,97 \text{ kg/cm}^2$ ) maupun kendaraan berat ( $\bar{\sigma}_k \geq 5,90 \text{ kg/cm}^2$ ). Tanah 1+12%PC dan Tanah 1 + 12%PC + ECO-CURE<sup>21</sup> dapat memenuhi persyaratan menahan beban roda kendaraan ringan ( $\bar{\sigma}_k \geq 1,97 \text{ kg/cm}^2$ ) maupun kendaraan berat ( $\bar{\sigma}_k \geq 5,90 \text{ kg/cm}^2$ ).

**Untuk Tanah 2 (Tanpa Rendaman)** dapat dilihat bahwa Tanah 2 +10% PC dan Tanah 2 + 10 %PC + ECO CURE<sup>21</sup> tidak memenuhi persyaratan menahan beban roda kendaraan berat. Tanah 2 + 8% PC dan Tanah 2 + 8%PC + ECO-CURE<sup>21</sup> dapat memenuhi persyaratan menahan beban roda kendaraan ringan ( $\bar{\sigma}_k \geq 1,97 \text{ kg/cm}^2$ ) maupun kendaraan berat ( $\bar{\sigma}_k \geq 5,90 \text{ kg/cm}^2$ ). Tanah 2 + 12% PC dan Tanah 2 + 12%PC + ECO-CURE<sup>21</sup> dapat memenuhi persyaratan menahan beban roda kendaraan ringan ( $\bar{\sigma}_k \geq 1,97 \text{ kg/cm}^2$ ) maupun kendaraan berat ( $\bar{\sigma}_k \geq 5,90 \text{ kg/cm}^2$ ).

**Untuk Tanah 3 (Tanpa Rendaman)** dapat dilihat bahwa campuran Tanah 3 + 4% PC dan Tanah 3 + 4 % PC + ECO-CURE<sup>21</sup> maupun Tanah 3 + 8% PC dan Tanah 3 + 8%PC + ECO-CURE<sup>21</sup> dapat memenuhi persyaratan menahan beban roda kendaraan ringan ( $\bar{\sigma}_k \geq 1,97 \text{ kg/cm}^2$ ) maupun kendaraan berat ( $\bar{\sigma}_k \geq 5,90 \text{ kg/cm}^2$ ).

**Untuk Tanah 1, Tanah 2, dan Tanah 3 (Dengan Rendaman)** dapat dilihat bahwa campuran Tanah 1, Tanah 2, dan Tanah 3 tidak memenuhi persyaratan menahan beban roda kendaraan berat ( $\bar{\sigma}_k \geq 5,90 \text{ kg/cm}^2$ ), namun memenuhi untuk persyaratan beban kendaraan roda ringan ( $\bar{\sigma}_k \geq 1,97 \text{ kg/cm}^2$ ).

## 4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian terhadap bahan ECO-CURE<sup>21</sup> pada tanah lempung dengan 3 variasi plastisitas tinggi, sedang dan rendah sebagai bahan stabilisasi tanah, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

### Kinerja ECO-CURE<sup>21</sup> Terhadap Nilai *Atterberg Limit*.

- Penambahan ECO-CURE<sup>21</sup> secara umum memperkecil harga LL, PL dan PI dari tanah aslinya terutama pada Tanah 1, untuk Tanah 2 dan Tanah 3 kurang efektif karena berkurangnya fraksi lempung.
- Nilai PI Tanah 1, Tanah 2, dan Tanah 3 > 10%, hal ini tidak memenuhi persyaratan *AASHTO* untuk lapis pondasi dan pondasi bawah.

### Kinerja ECO-CURE<sup>21</sup> Terhadap Pengujian Kepadatan Tanah

- Penambahan bahan stabilisasi ECO-CURE<sup>21</sup> menyebabkan kepadatan maksimum benda uji lebih tinggi dari tanah asli. Untuk Tanah 1+0,6% ECC<sup>21</sup> dari 1,49 kg/cm<sup>2</sup> menjadi 1,54 kg/cm<sup>2</sup> atau sebesar 3,36%. Pada Tanah 2 + 1% ECC<sup>21</sup> dari 1,61 kg/cm<sup>2</sup> menjadi 1,73 kg/cm<sup>2</sup> atau sebesar 7,45%. Sedangkan Tanah 3 + 1% ECC<sup>21</sup> dari 1,78 kg/cm<sup>2</sup> menjadi 1,86 kg/cm<sup>2</sup> atau sebesar 4,49%.



- Penambahan bahan stabilisasi ECO-CURE<sup>21</sup> + PC menyebabkan kepadatan maksimum benda uji lebih tinggi dari tanah asli. Untuk Tanah 1 +10 %PC+1% ECC<sup>21</sup> dari 1,49 kg/cm<sup>2</sup> menjadi 1,78 kg/cm<sup>2</sup> atau sebesar 19,46%. Tanah 2 +12% PC+1%ECC<sup>21</sup> dari 1,61 kg/cm<sup>2</sup> menjadi 1,79 kg/cm<sup>2</sup> atau sebesar 11,18%. Dan Tanah 3+8 % PC+1%ECC<sup>21</sup> dari 1,78 kg/cm<sup>2</sup> menjadi 1,92kg/cm<sup>2</sup> atau sebesar 7,30%.

#### **Kinerja ECO-CURE<sup>21</sup> Terhadap Pengujian *Unconfined Compression Strenght*.**

- Pengujian benda uji yang dihancurkan dan dipadatkan kembali untuk membuktikan bahwa bahan ECO-CURE<sup>21</sup> sebagai bahan perekat saat benda uji telah mengalami penghancuran dan dapat merekatkan kembali benda uji, serta dapat memberikan nilai kokoh tekan yang lebih baik dari semula, tidak dapat dibuktikan di laboratorium. Hasil menunjukkan bahwa hampir semua nilai kokoh tekan benda uji yang dihancurkan dan dipadatkan kembali, mempunyai nilai kokoh tekan lebih kecil dari semula.
- Tanah 1 +1%ECC mempunyai nilai kokoh tekan 5,292 kg/cm<sup>2</sup> dan setelah dihancurkan dan dipadatkan kembali menjadi 2,907 kg/cm<sup>2</sup>. Tanah 1+12 %PC +1%ECC mempunyai nilai kokoh tekan 10,096 kg/cm<sup>2</sup>, dan setelah dihancurkan dipadatkan kembali 11,005 kg/cm<sup>2</sup> atau naik 9%.
- Tanah 2 +1%ECC mempunyai nilai kokoh tekan 3,522 kg/cm<sup>2</sup> dan setelah dihancurkan dan dipadatkan kembali menjadi 2,268 kg/cm<sup>2</sup>. Tanah 2 +12%PC +1%ECC mempunyai nilai kokoh tekan 13,749 kg/cm<sup>2</sup>, dan setelah dilakukan penghancuran dan pemadatan kembali menjadi 12,055 kg/cm<sup>2</sup> atau turun 12,32%.
- Tanah 3 +1%ECC mempunyai nilai kokoh tekan 2,232 kg/cm<sup>2</sup> dan setelah dihancurkan dan dipadatkan kembali menjadi 2,060 kg/cm<sup>2</sup>. Tanah 3 +8%PC+1%ECC mempunyai nilai kokoh tekan 8,833 kg/cm<sup>2</sup>, dan setelah dilakukan penghancuran dan pemadatan kembali menjadi 6,018 kg/cm<sup>2</sup> atau turun 31,87%.

#### **Kinerja ECO-CURE<sup>21</sup> Terhadap Pengujian CBR dan *Swelling*.**

Penambahan ECO-CURE<sup>21</sup> + PC terlihat nyata menaikkan nilai CBR soaked. Untuk Tanah 1+12%PC+1 %ECC nilai CBR dari 1,17 % menjadi 26,03 % dan Swelling turun dari 10% menjadi 1,96 %. Untuk Tanah 2+12%PC+1%ECC nilai CBR dari 1,25 % menjadi 44,37 % dan Swelling dari 9,14 % menjadi 0,32 %. Untuk Tanah 3+10%PC +0%ECC nilai CBR dari 5,65 % menjadi 65,56 % dan Swelling dari 1,09 % menjadi 0,27 %.

#### **Evaluasi Terhadap Beban Roda Kendaraan**

Berdasarkan Hasil Kokoh Tekan Hancur (*Unconfined Compression Strenght Test*) di Laboratorium dapat diperkirakan bahwa Tanah 1, Tanah 2 dan Tanah 3 ditambah semen (PC)+ ECO-CURE<sup>21</sup> tanpa rendaman secara umum dapat menahan beban kendaraan berat ( $\overline{\sigma}_k \geq 5,90 \text{ kg/cm}^2$ ) maupun ringan ( $\overline{\sigma}_k \geq 1,97 \text{ kg/cm}^2$ ). Sedangkan dengan rendaman hanya dapat diperkirakan menahan beban kendaraan ringan ( $\overline{\sigma}_k \geq 1,97 \text{ kg/cm}^2$ ).

## **5. REFERENSI**

- American Society for Testing and Material, 1980, Soil and Rock, Natural Buliding Stone. Annual Book of ASTM Standards, Vol.04,08:127-129,211-214,345-348,378-384
- Chen,F.H., 1975, "**Foundation on Expansive Soils**", Elsevier Scientific Publishing Company, New York.
- Das, B.M.,1987,"**Advanced Soil Mechanics**", Mc Graw Hill Int. Edit, New York.
- Das, B. M.,1985, Alih bahasa : Noor Endah dan Indrasurya B. Moctar, 1994,"**Mekanika tanah (Prinsip Prinsip Rekayasa Geoteknis)**", Jilid 1 dan 2, Penerbit Erlangga
- Hatmoko, J.T, & Suhartono, F., 2000, "Stabilisasi Tanah Lempung Ekspansif dengan menggunakan Pasir dan Semen", **Laporan Penelitian, LPU Universitas Atma Jaya Yogyakarta.**
- Idrus, 1991, "Stabilisasi Pada Lempung Losari Dengan Kapur dan Semen.", **Master Tesis, Institut Teknologi Bandung.**
- Kezdi, A.,1979, "**Stabilized Earth Roads**", Elsevier Scientific Publishing Company, New York.
- Lembaga Pengabdian Kepada Masyarakat Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 1996 "Laporan Evaluasi Hasil Uji-Coba Prasarana Jalan" di Propinsi Kalimantan Selatan dan Sumatera Selatan.
- Mitchell,J.K., 1976, "**The Proporties of Cement Stabilized Soils**", Proceeding Residential Workshops on Material and Methods for Low Cost Road, Rail and reclamation Works, Leura, Australia, September 6-10, 1978, published by Unsearch Ltd., University of New South Wales.
- Mochtar, I.B., 2000,"**Teknologi Perbaikan Tanah dan Alternatif Perencanaan Pada Tanah Bermasalah (Problematic Soils)**", Jurusan Teknik Sipil FTSP ITS Surabaya.
- Novianto, D.,2006, "Pengujian Kinerja Bahan Ecomic SC-100 Sebagai Bahan Stabilisasi Tanah", **Master Tesis, Jurusan Teknik Spil FTSP Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya**
- Terzaghi, K 1943. "**Theoritical Soil Mechanics**". John Wiley dan Sons, New York

**HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN**

# PERBANDINGAN PENGGUNAAN SEMEN PC DAN KAPUR SEBAGAI BAHAN ADDITIVE UNTUK STABILISASI TANAH LEMPUNG

*Sudjanarko Sudirham<sup>1</sup>, Musta'in Arifl<sup>2</sup>, Trihanyndio Rendy S.<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> Dosen Jurusan Teknik Sipil, Laboratorium Mekanika Tanah dan Batuan, FTSP, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Kampus ITS Sukolilo Surabaya, Telp. 031-5928601

<sup>2</sup> Dosen Jurusan Teknik Sipil, Laboratorium Mekanika Tanah dan Batuan, FTSP, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Kampus ITS Sukolilo Surabaya, Telp. 031-5928601, email : [mustainarif@ce.its.ac.id](mailto:mustainarif@ce.its.ac.id)

<sup>3</sup> Dosen Jurusan Teknik Sipil, Laboratorium Mekanika Tanah dan Batuan, FTSP, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Kampus ITS Sukolilo Surabaya, Telp. 031-5928601, email : [rendy\\_star@yahoo.com](mailto:rendy_star@yahoo.com)

## ABSTRAK

Penggunaan bahan tambahan (*additive*) guna memperbaiki sifat tanah yang jelek untuk keperluan bangunan telah banyak diteliti dan yang paling umum dipakai untuk memperbaiki sifat-sifat jelek tanah lempung adalah bahan kapur sebagai bahan *additive*-nya. Dari beberapa penelitian yang pernah dilakukan menunjukkan bahwa pencampuran kapur pada prosentase tertentu dapat merubah sifat fisis dari tanah lempung kearah yang lebih baik, diantaranya adalah sifat swelling yang mengecil, plastisitas rendah dan daya dukung yang lebih besar. Atas dasar pertimbangan keseragaman dan sifat dasar dari bahan additive maka dicoba menggunakan semen PC (*Portland Cement*) sebagai pembanding untuk stabilisasi tanah lempung karena semen PC dibuat dalam pabrik tertentu yang memungkinkan sifat dasarnya lebih baik.

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran tentang perbedaan yang terjadi akibat perbedaan pemakaian bahan additive kapur dan semen PC yang dicampurkan pada tanah lempung.

Dari hasil analisa percobaan dapat disimpulkan bahwa untuk harga batas-batas Atterberg dapat dilihat bahwa harga PI (*Plasticity Index*) menurun atau mendekati datar apabila tanah lempung dicampur kapur sebesar 7 % dengan umur perendaman 7 hari. Harga PI untuk campuran lempung dengan semen PC stabil pada campuran mulai 4 % dengan umur perendaman 1 hari. Harga CBR (*California Bearing Ratio*) *soaked* menunjukkan kenaikan pada penambahan semen PC sebesar 4 % akan tetapi harga swelling berharga rendah terjadi pada penambahan semen sebesar 15 %. Harga CBR *soaked* pada campuran kapur mulai 2 % sudah menunjukkan kenaikan yang signifikan akan tetapi harga CBR masih menunjukkan harga yang fluktuatif walaupun besar swelling untuk campuran kapur 4 % ke atas, memberikan harga mendekati harga nol atau tidak terjadi swelling pada prosentase 4 % tersebut.

**Kata kunci :** stabilisasi tanah lempung, bahan additive, kapur, semen PC, Atterberg, CBR

## I. PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Penggunaan bahan tambahan (*additive*) guna memperbaiki sifat tanah yang jelek untuk keperluan bangunan telah banyak diteliti dan yang paling umum dipakai untuk memperbaiki sifat-sifat jelek tanah lempung adalah bahan kapur sebagai bahan additivenya.

Dari beberapa penelitian yang pernah dilakukan menunjukkan bahwa pencampuran kapur pada prosentase tertentu dapat merubah sifat fisis dari tanah lempung kearah yang lebih baik, diantaranya adalah sifat swelling yang mengecil, plastisitas rendah dan daya dukung yang lebih besar.

Pengalaman dari peneliti menunjukkan hasil dimana penggunaan kapur sebagai bahan additive memberikan hasil yang sangat fluktuatif disebabkan karena bahan kapur yang dicampurkan tidak sama atau seragam komposisinya, lebih-lebih kalau bahan kapur tersebut didapatkan dari tempat yang berbeda.

Atas dasar pertimbangan keseragaman dan sifat dasar dari bahan additive tersebut kami mencoba menggunakan semen PC sebagai pembanding untuk stabilisasi tanah lempung karena semen PC dibuat dalam pabrik tertentu yang memungkinkan sifat dasarnya lebih baik.

## 1.2. Perumusan dan Pembatasan Masalah

Tanah lempung yang dipakai dalam penelitian diambil di Surabaya (Sukolilo & Semolowaru), sedangkan kapur dan semen PC sebagai bahan additive diambil dari pertokoan yang ada di sekitar Sukolilo.

Tanah lempung dikeringkan dengan suhu udara luar kemudian diambil yang lolos saringan no.4. Bahan kapur dan semen PC dicampur secara manual dengan prosentase 2, 4, 8, 15 dan 30 % terhadap perbandingan berat.

Tabel 1.2.1. memperlihatkan % semen yang diperlukan untuk pencampuran dihubungkan dengan klasifikasi tanah yang akan dicampur sedangkan Tabel 1.2.2. memberikan hasil *unconfined compression strength* terhadap berbagai jenis tanah.

**Tabel 1.2.1.** Persyaratan Prosentase Semen terhadap perbandingan volume untuk Stabilisasi yang Efektif dari Berbagai Macam Tanah

Soil type		Percent cement by volume
AASHTO classification	Unified classification	
A-2 and A-3	GP, SP, and SW	6–10
A-4 and A-5	CL, ML, and MH	8–12
A-6 and A-7	CL, CH	10–14

\*After Mitchell and Frietag (1959)

**Tabel 1.2.2.** *Compressive Strength* dari Tanah dan Campuran Tanah-Semen

Material	Unconfined compressive strength range (kN/m <sup>2</sup> ) <sup>b</sup>
<i>Untreated soil:</i>	
Clay, peat	Less than 350
Well-compacted sandy clay	70–280
Well-compacted gravel, sand, and clay mixtures	280–700
<i>Soil-cement (10% cement by weight):</i>	
Clay, organic soils	Less than 350
Silts, silty clays, very poorly graded sands, slightly organic soils	350–1050
Silty clays, sandy clays, very poorly graded sands, and gravels	700–1730
Silty sands, sandy clays, sands, and gravels	1730–3460
Well-graded sand-clay or gravel-sand-clay mixtures and sands and gravels	3460–10,350

\*After Mitchell and Freitag (1959)

<sup>b</sup> Rounded off

Waktu pemeraman untuk campuran lempung + semen PC dilakukan selama 1 hari karena reaksi kimia yang terjadi untuk semen PC umumnya terjadi hanya beberapa jam setelah tanah dicampur semen PC. Sedangkan untuk campuran yang menggunakan kapur, waktu pemeraman dilakukan selama 1 minggu, hal ini didasarkan atas hasil penelitian yang pernah dilakukan peneliti sebelumnya.

Dari hasil pencampuran tanah+bahan additive kemudian dilakukan test, antara lain :

- Batas-batas Atterberg
- Kepadatan Tanah
- CBR
- Swelling
- Unconfined Compression Test

Dari hasil tersebut di atas diharapkan dapat diambil kesimpulan yang nantinya dapat diaplikasikan di lapangan untuk keperluan suatu konstruksi tertentu.

### 1.3. Tujuan

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran tentang perbedaan yang terjadi akibat perbedaan pemakaian bahan additive kapur dan semen PC yang dicampurkan pada tanah lempung.

### 1.4. Relevansi

Dengan diketahuinya beda hasil antara penggunaan kapur dan semen PC memungkinkan melakukan pilihan mana yang lebih baik atau lebih efektif pemakaiannya untuk keperluan pelaksanaan konstruksi di lapangan.

### 1.5. Target Luaran

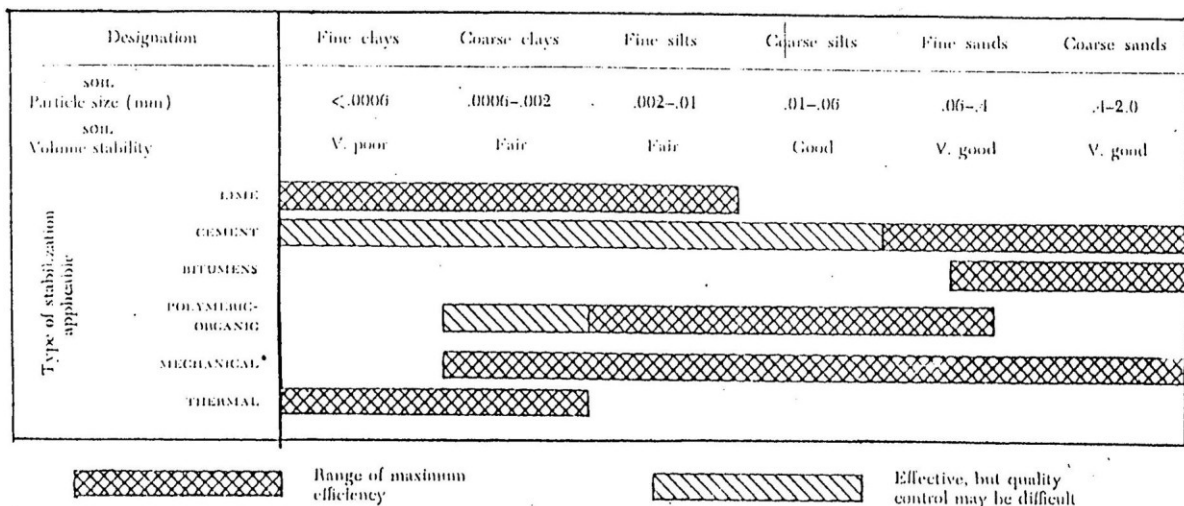
Sasaran akhir dari penelitian ini sebenarnya adalah pelaksanaan camuran di lapangan untuk berbagai macam dan kedalaman tanah lempung sehingga kalau sebagian tebal tanah lempung di lapangan sudah distabilisasi atau dengan kata lain daya dukung tanahnya dinaikkan maka pondasi dangkal bisa dipakai.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Teori Penunjang

Pada dasarnya pemakaian semen PC atau kapur ke dalam tanah lempung akan mengakibatkan reaksi kimia yang menyebabkan sifat dasar tanah lempung yang jelek berubah ke arah yang lebih baik.

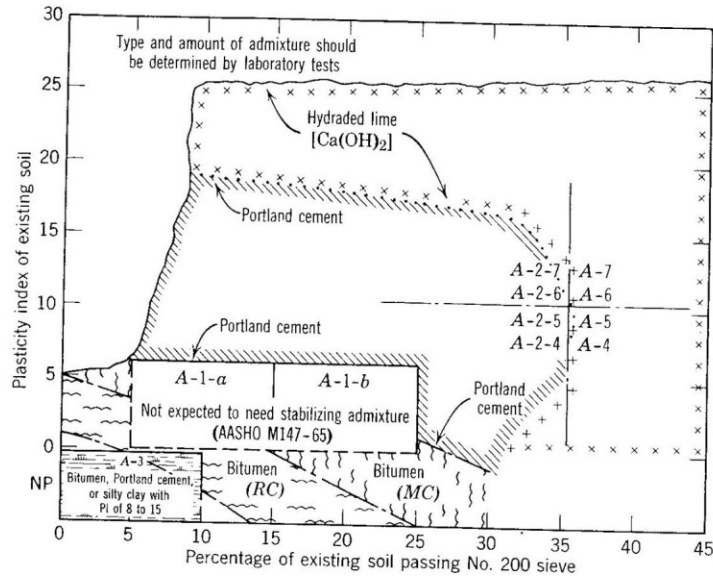
Gambar 2.1.1. memberikan referensi pemakaian beberapa jenis bahan additive yang dapat dicampurkan untuk berbagai type tanah.



\* i.e. improvement of soil grading by mixing-in gravels, sands or clays as appropriate

**Gambar 2.1.1.** Tingkatan Metode Stabilisasi

Sumber : *Soil Stabilization by : O.G. Ingles & J.B. Metcalf (1972)*



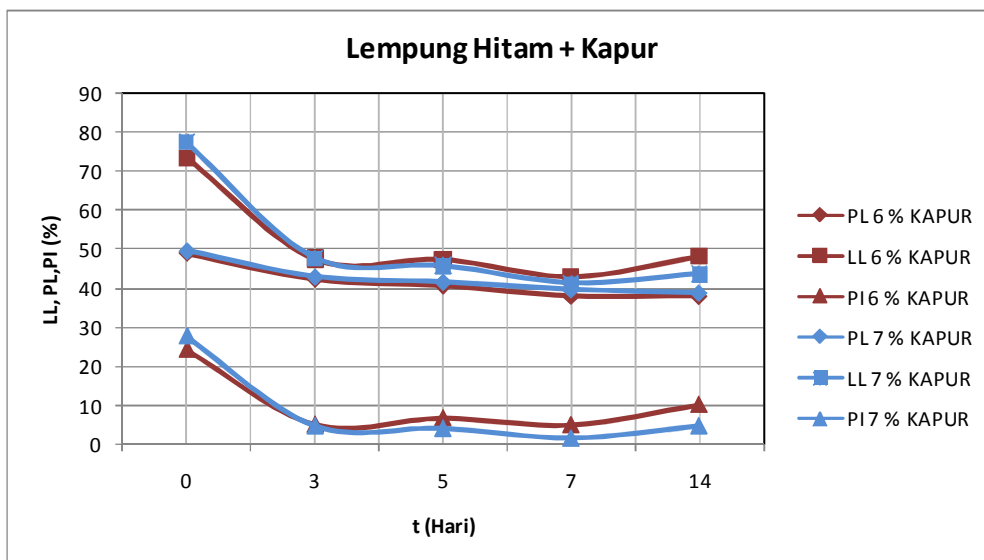
**Gambar 2.1.2.** Bahan tambahan yang cocok untuk stabilisasi, disesuaikan dengan indeks plastisitas dan prosentase butiran yang lolos ayakan No.200. (Catatan : Campuran bahan tambahan yang baik adalah apabila tanah dilebur hingga paling tidak sekitar 80 %, batu dan kerikil lolos ayakan no.4, dan 100 % lolos ayakan berdiameter  $\frac{3}{4}$  inch)  
(Sumber : Highway Engineering, Clarkson H. Oglesby)

Dari hal yang disarankan sesuai gambar 2.1.1. dan gambar 2.1.2., jenis tanah yang distabilisasi dengan kapur atau semen PC adalah tanah type A-2-4 s/d A-2-7

## 2.2. Studi Hasil Penelitian Sebelumnya

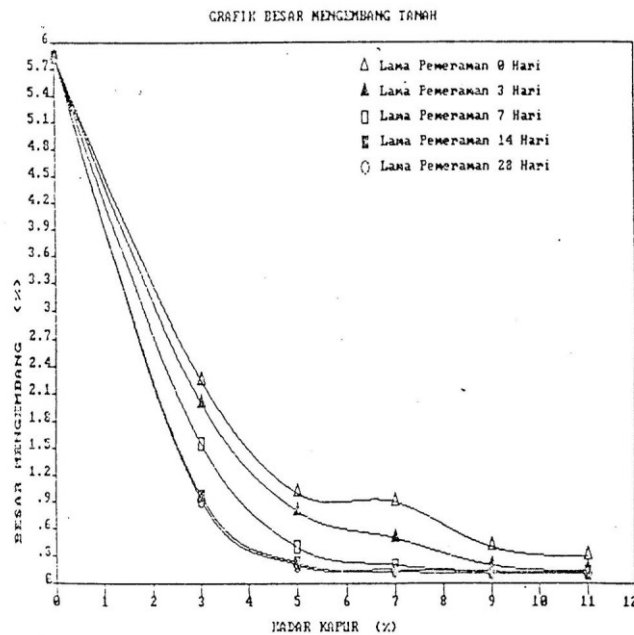
Awal studi penelitian dengan menggunakan kapur sebagai bahan additive telah dilakukan penulis mulai tahun 1977 saat menyelesaikan Tugas Akhir di ITS, dimana beberapa hasil yang dapat disampaikan di sini antara lain :

- ✓ Penentuan waktu dimana diperkirakan reaksi kimia antara kapur dan tanah lempung sudah selesai dengan bentuk grafik yang mendekati datar dari sifat fisik tanah (Harga batas-batas Atterberg)



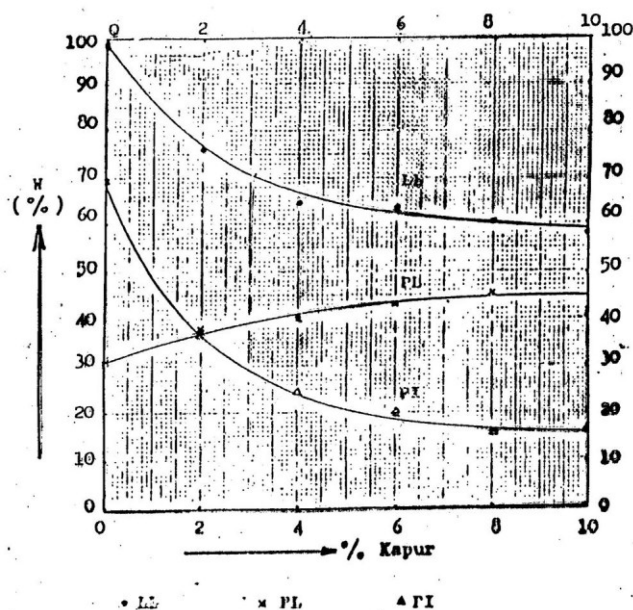
**Gambar 2.2.1.** Hubungan antara waktu pemeraman & Batas-batas Atterberg

Pada grafik Atterberg Limits dapat disimpulkan bahwa umur perendaman 3 hari kondisi tanah sudah stabil, akan tetapi dilihat dari grafik swelling vs % kapur menunjukkan bahwa kondisi tanah tidak mengembang lagi atau pengembangannya kecil terjadi pada umur pemeraman minimal 7 hari (gambar 2.2.2.)



**Gambar 2.2.2.** Grafik hubungan antara besar mengembang tanah dengan kadar kapur untuk masa pemeraman yang berbeda (Tugas Akhir I Nyoman Agus P, 1991)

Disamping umur pemeraman 7 hari dapat juga dilihat bahwa kondisi tanah tidak mengalami swelling yang berarti apabila bahan additive kapur diambil minimal 6 %. Berdasarkan data tersebut, penulis mengambil acuan bahwa lama pemeraman untuk kapur adalah 7 hari dengan prosentase bahan additive kapur juga 7 % sedangkan untuk semen PC diambil cukup 1 hari. Hasil penelitian untuk campuran kapur dengan tanah lempung dari daerah Cepu dengan umur pemeraman 7 hari dan % kapur 7 % memberikan hasil seperti gambar 2.2.3.

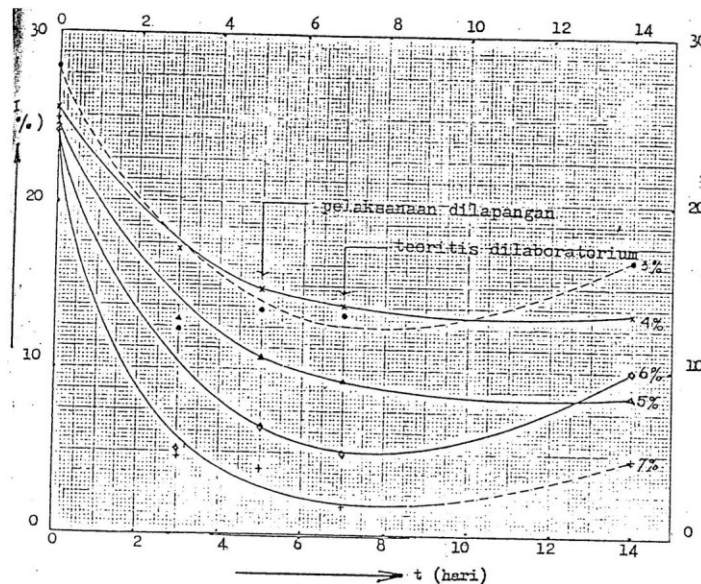


**Gambar 2.2.3.** Perubahan harga batas Atterberg akibat kenaikan % kapur pada tanah lempung Cepu (Ria Asih & Sudjanarko, 1986)



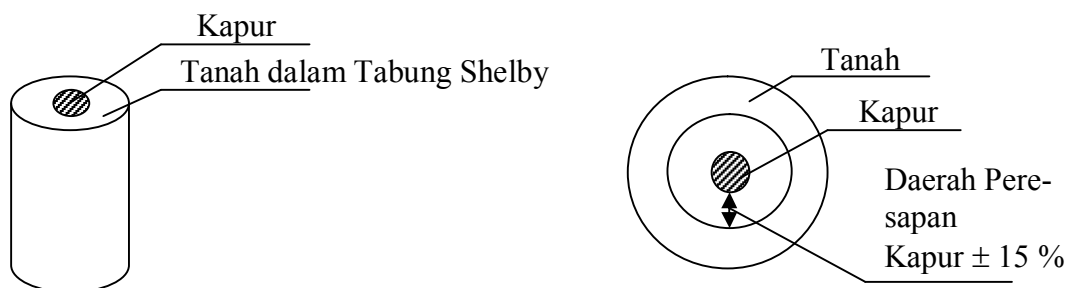
Dari grafik di atas dapat dilihat bahwa kondisi campuran sudah stabil (grafik mendatar) terjadi apabila % kapur yang dicampurkan minimal 6 % dan dapat dibuktikan dengan menggunakan plasticity chart dari USCS bahwa tanah lempung yang semula mempunyai initial clay dengan plastisitas tinggi, akibat adanya additive kapur akan berubah sifatnya ke arah Silt (lanau) dengan intial MH dan dengan berubahnya jenis tanah ke arah silt menunjukkan adanya penanganan yang lebih mudah dibandingkan jenis tanah Clay terutama jenis CH.

Hubungan antara Batas Atterberg (PI) dengan waktu pemeraman untuk berbagai % kapur yang dicampurkan untuk tanah lempung Cegu memberikan hasil seperti gambar 2.2.4. Dapat disimpulkan di sini bahwa secara teoritis laboratorium lama pemeraman adalah 7 hari tapi dalam pelaksanaan di lapangan dapat diambil 5 hari, artinya setelah tanah di lapangan dicampur kapur dan dibiarkan 5 hari maka boleh digilas atau dipadatkan.



**Gambar 2.2.4.** Hubungan antara waktu dan Plasticity Index untuk berbagai % campuran kapur (Seminar Lempung Cegu Oktober 1986)

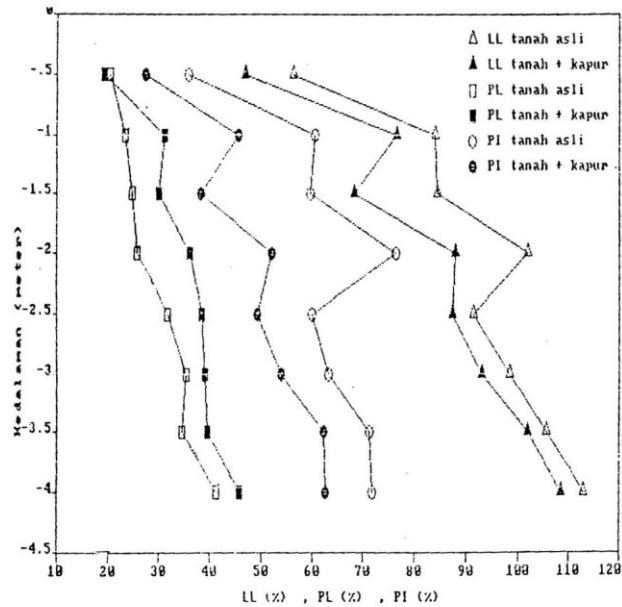
Stabilisasi dengan kapur disamping dapat dilakukan dengan cara pencampuran manual (diaduk) dengan prosentase tertentu, mungkin juga dilakukan dengan cara memasang kolom-kolom tiang kapur. Pengaruh adanya kolom kapur terhadap tanah lempung sekitarnya telah dicoba pada pembuatan tugas akhir mahasiswa Unitomo tahun 1991 yaitu dengan membuat tiang kapur pada tanah lempung yang telah diambil dengan tabung Shelby dan ternyata tiang kapur bisa meresap ke samping sampai dengan kira-kira 15 % (Tugas Akhir Lilik Devi A-1991).



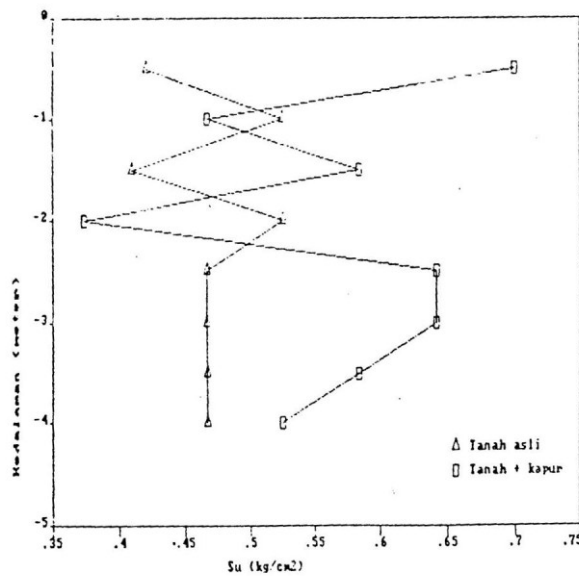
**Gambar 2.2.5.** Ilustrasi topik tugas akhir Lilik Devi A. (1991)

Realisasi di lapangan dengan menggunakan skala penuh dilakukan di daerah Lamongan pada tahun 1992. Lubang-lubang bor dibuat dengan  $\varnothing = 10$  cm; spacing 0,50 m dan kedalaman 4 m, ke dalam masing-masing lubang bor diisi dengan gamping dan disiram air dengan harapan adanya kapur gamping yang mendidih memberikan aksi ke samping ke dinding-dinding lempung sehingga terjadi penetrasi ke lapisan tanah lempung tersebut.

Test yang dilakukan pada bagian-bagian antara lubang bor memberikan hasil seperti gambar 2.2.6. untuk tes Atterberg Limits dan gambar 2.2.7. untuk hasil Vane Shear Test Lapangan.



Gambar 2.2.6. Pengaruh Lime Column terhadap Atterberg limits

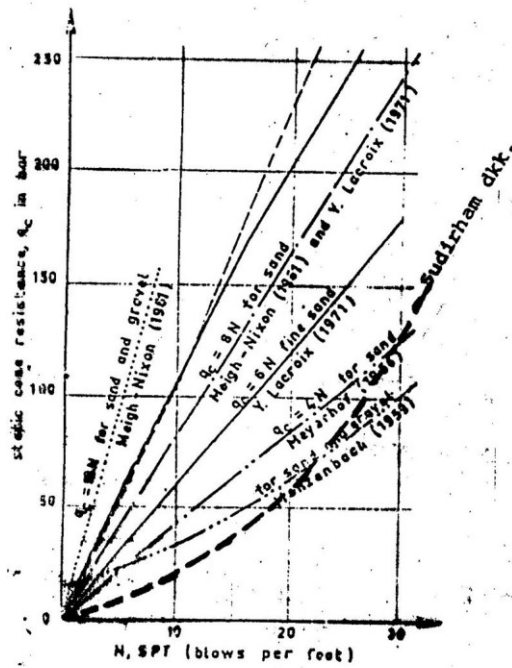


Gambar 2.2.7. Hasil Vane Test Lapangan (Cu) untuk tanah asli dan tanah asli+kapur

Gambar 2.2.6. memberikan indikasi bahwa akibat pemasangan lime column mengakibatkan penurunan dari harga LL, PL maupun PI terhadap aslinya.

Data dari test Vane Shear lapangan seperti ditunjukkan pada gambar 2.2.7. memberikan gambaran dimana pada kedalaman -2,50 m dari muka tanah setempat terjadi kenaikan harga undrained shear strength (Su) walaupun tidak teratur hasilnya. Akan tetapi mulai dari permukaan tanah sampai dengan -2,50 m hasilnya tidak teratur, hal ini kemungkinan besar kondisi tanah yang masih dipengaruhi oleh cuaca luar di atas muka tanah.

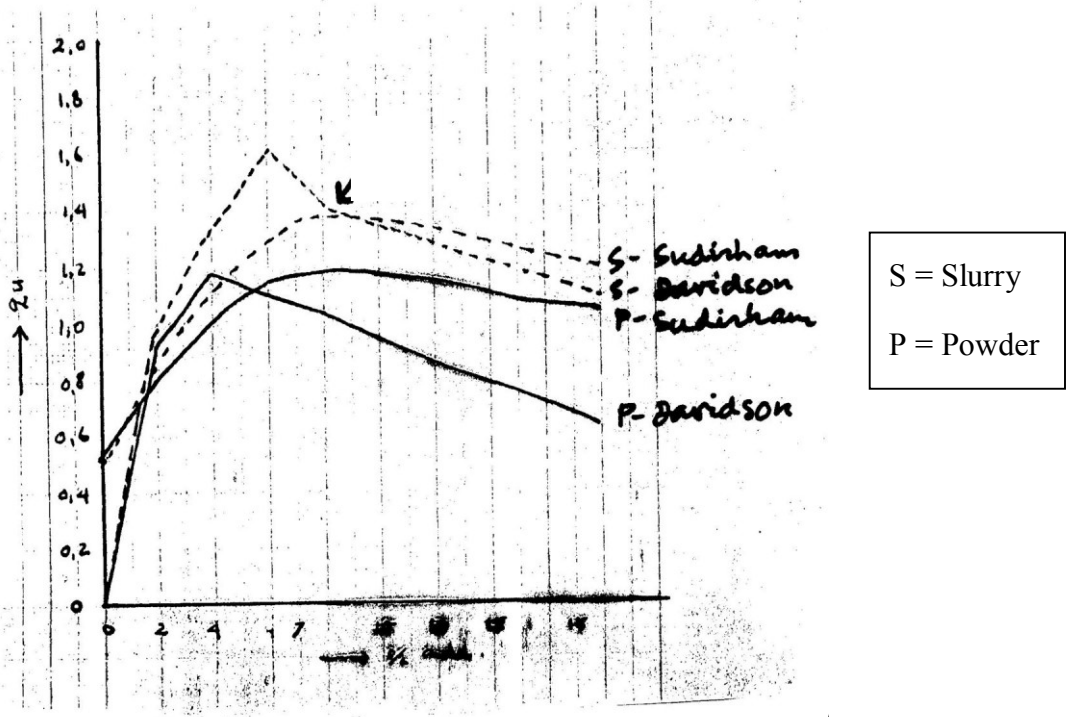
Pengaruh kenaikan harga Su memberikan pengertian bahwa ada kenaikan kekuatan (daya dukung) dari tanah. Daya dukung di lapangan dapat diukur dengan berbagai jenis alat, umumnya alat sondir dan SPT banyak dilakukan di Indonesia, beberapa korelasi antara harga tekanan conus dari Sondir dan harga SPT dari boring bisa dilihat pada gambar 2.2.8.



Gambar 4.11 Relation between N and  $q_c$

Gambar 2.2.8. Korelasi antara N-SPT dan  $q_c$ -Sondir

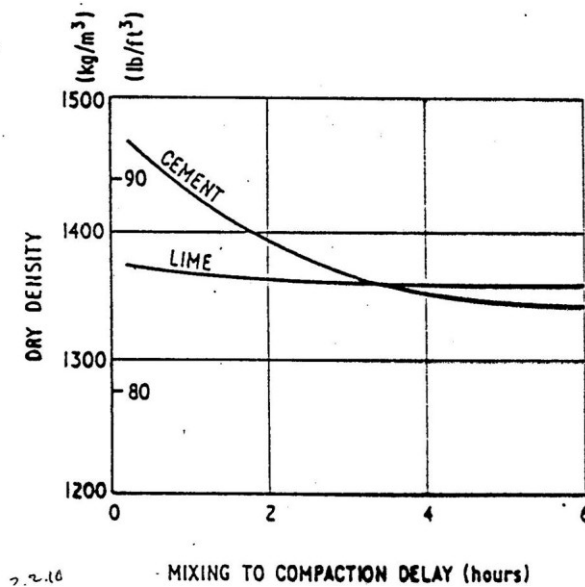
Pengaruh bahan additive kapur terhadap tanah lempung juga akan berbeda hasilnya apabila kapur yang dipakai adalah bentuk slurry dibandingkan dengan bentuk powder, pengaruh perbedaan hasil tersebut dapat dilihat pada gambar 2.2.9.



Gambar 2.2.9. Grafik korelasi antara N-SPT dengan  $q_c$  dari hasil sondir

Dari penelitian di atas memberikan gambaran bahwa penggunaan kapur sebagai bahan additive akan memberikan hasil yang lebih baik kalau pencampurannya dilakukan dengan kapur yang telah yang dicairkan atau dibentuk slurry terlebih dahulu.

Penggunaan semen PC sebagai bahan additive pada dasarnya sama dengan penggunaan kapur, hanya saja curing atau waktu pemeraman untuk semen biasanya lebih pendek karena semen umumnya bereaksi jauh lebih cepat dibandingkan dengan kapur.

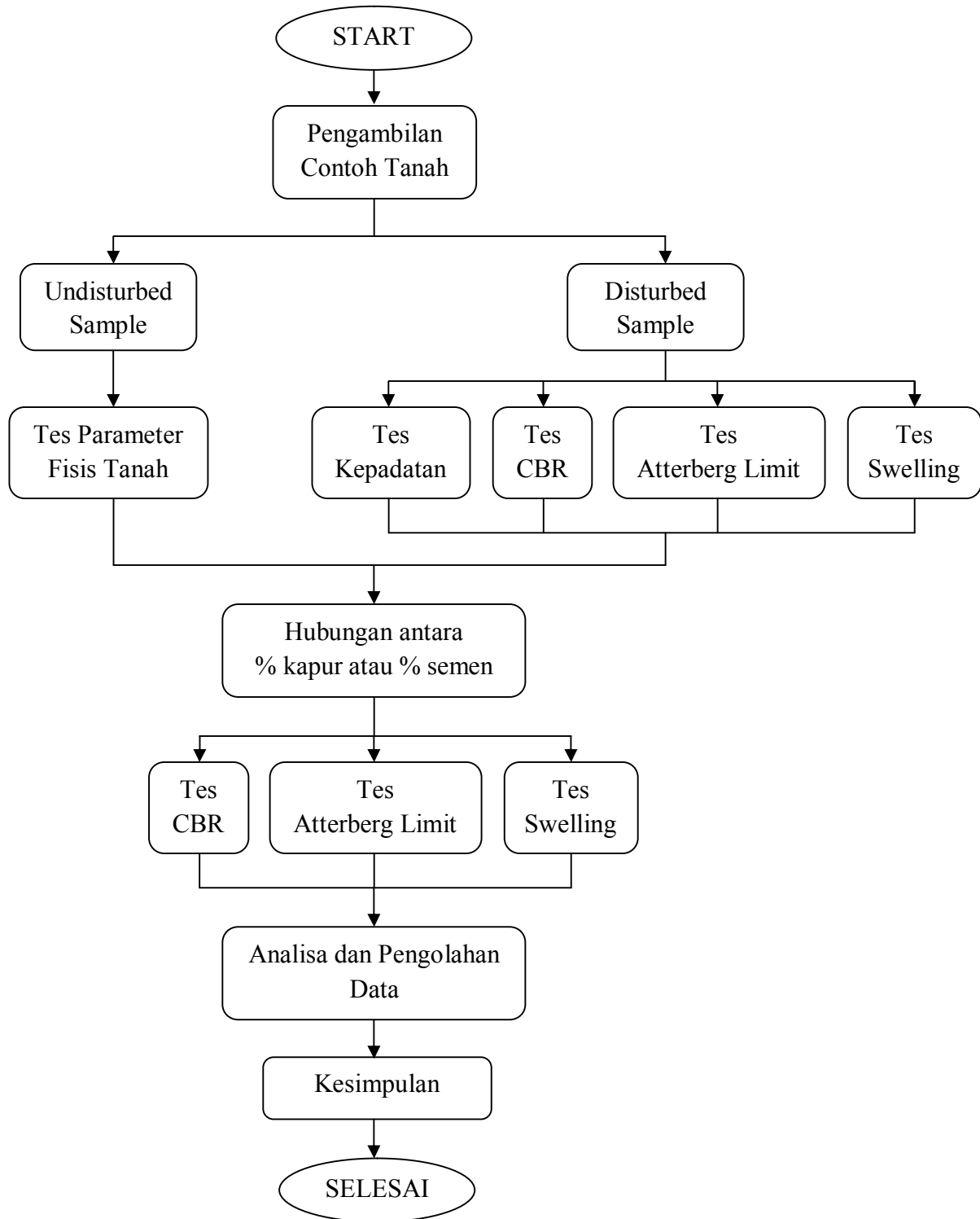


**Gambar 2.2.10.** Pengaruh dari stabilisasi 10 % (setelah Dumbleton) terhadap kepadatan *Heavy Clay*

Dari gambar 2.2.10. dapat disimpulkan bahwa campuran dengan menggunakan semen PC dan kapur sebagai bahan additive akan sangat berbeda dalam pencampurannya.

Pada mixing to compaction dengan harga yang sama, campuran semen akan lebih cepat turun harga  $\gamma_d$ -nya, hal ini memberikan gambaran bahwa kecepatan reaksinya dengan tanah juga akan terjadi cepat, sedang untuk kapur grafiknya relatif datar sehingga penurunan  $\gamma_d$ -nya kecil, atau kualitas campurannya tidak terlalu dipengaruhi oleh waktu pemeraman.

### III. METODOLOGI PENELITIAN

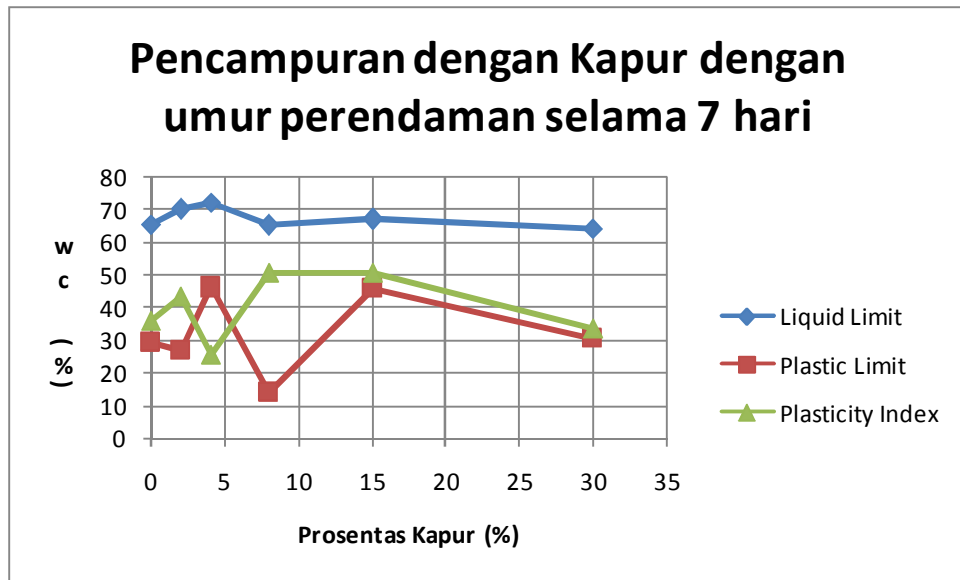


Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian

#### IV. HASIL PENELITIAN

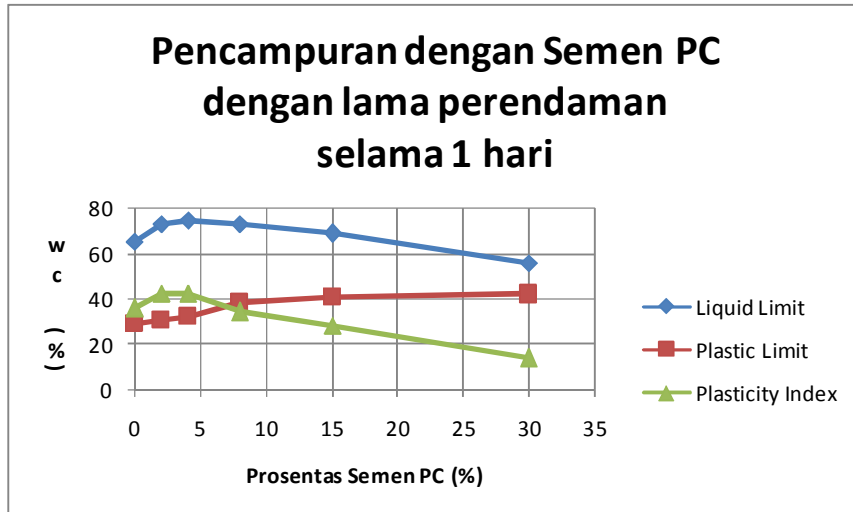
4.1. Pencampuran dengan kapur dengan umur perendaman selama 7 hari menghasilkan data plastisitas sebagai berikut :

% Kapur Wc %	0	2	4	8	15	30
LL	65,25	70	72	65	67	64
PL	29,32	26,74	46,14	14,26	45,65	30,39
PI	35,93	43,26	25,86	50,74	50,74	33,61



4.2. Pencampuran dengan semen PC dengan lama perendaman selama 1 hari menghasilkan data plastisitas sebagai berikut :

% Semen Wc %	0	2	4	8	15	30
LL	65,25	73	75	73	69	56
PL	29,32	30,68	32,21	38,83	40,71	42,11
PI	35,93	42,32	42,79	34,17	28,29	13,89

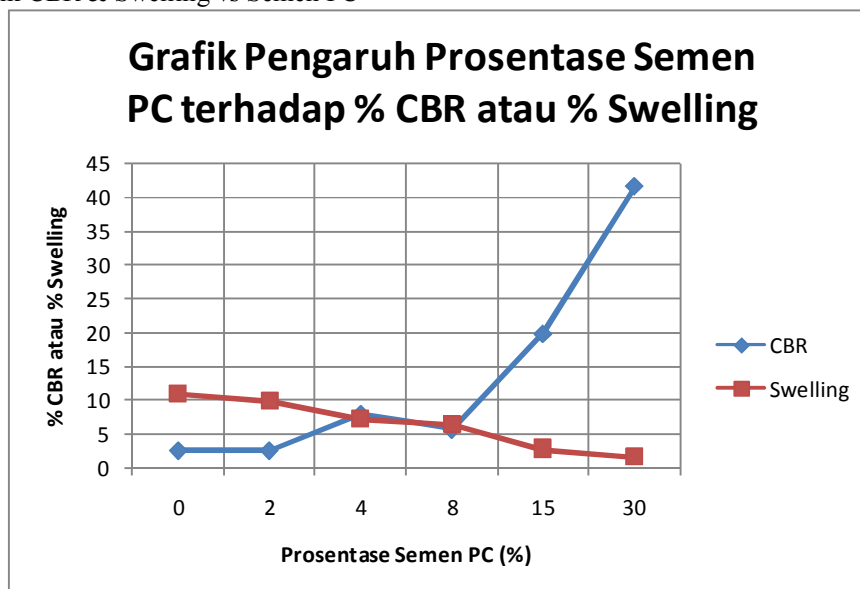


#### 4.3. Hasil Test CBR dan Swelling

4.3.1. Data Test Laboratorium untuk pemakaian bahan additive semen PC umur perendaman 1 hari memberikan data sebagai berikut :

% Semen	0	2	4	8	15	30
Test						
CBR	2,54	2,54	7,94	5,65	19,76	41,50
Swelling	11,01	10,01	7,34	6,53	2,83	1,69

⇒ Grafik CBR & Swelling vs Semen PC

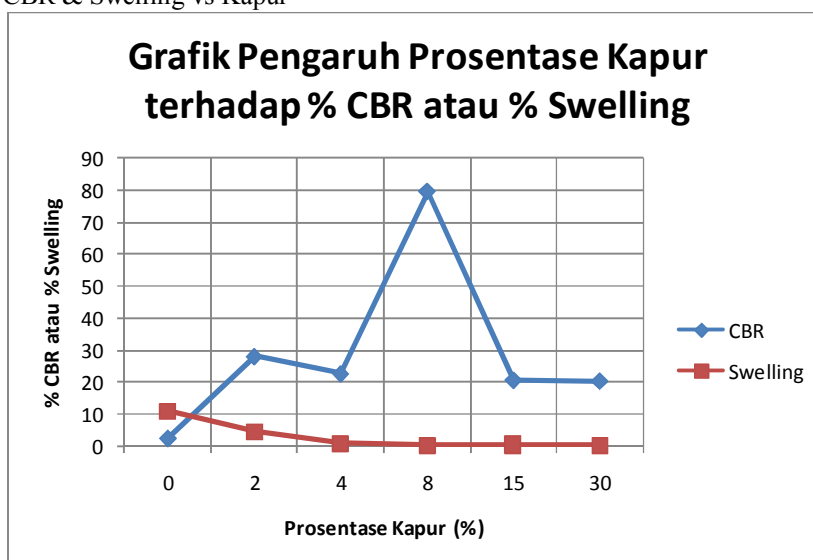




4.3.2. Data Test Laboratorium campuran kapur dengan umur perendaman 1 minggu memberikan data sebagai berikut :

% Kapur Test	0	2	4	8	15	30
CBR	2,54	27,95	22,58	79,33	20,61	20,33
Swelling	11,01	4,68	0,95	0,49	0,63	0,39

⇒ Grafik CBR & Swelling vs Kapur



## V. KESIMPULAN

1. Dari harga batas-batas Atterberg dapat dilihat bahwa harga PI menurun atau mendekati datar apabila tanah lempung dicampur kapur sebesar 7 % dengan umur perendaman 7 hari
2. Harga PI untuk campuran lempung dengan semen PC stabil pada campuran mulai 4 % dengan umur perendaman 1 hari
3. Harga CBR soaked menunjukkan kenaikan pada penambahan semen PC sebesar 4 % akan tetapi harga swelling berharga rendah terjadi pada penambahan semen sebesar 15 %
4. Harga CBR soaked pada campuran kapur mulai 2 % sudah menunjukkan kenaikan yang signifikan akan tetapi harga CBR masih menunjukkan harga yang fluktuatif walaupun besar swelling untuk campuran kapur 4 % ke atas, memberikan harga mendekati harga nol atau tidak terjadi swelling pada prosentase 4 % tersebut.
5. Harga unconfined compression strength pada umumnya naik sesuai dengan kenaikan harga CBR, hanya di sini belum bisa dijelaskan dengan angka karena masih dalam proses penelitian lebih lanjut dimana hasil tersebut akan dikaitkan dengan test pencampuran di lapangan secara langsung.

## VI. DAFTAR PUSTAKA

- Aswadi, dan Lilik Devi (1991), **Tugas Akhir, Unitomo Surabaya**, Surabaya
- O.G. Ingles, dan J.B. Metcalf (1972), **“Soil Stabilization”**, Butterworths, Sydney
- Oglesb Clarkson H. (1975), **“Highway Engineering”**, John Wiley & Sons, New York, Chichester, Brisbane, Toronto

- Pastika, Agus Nyoman I. (1991), **Tugas Akhir, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, Surabaya**
- Sudirham, Sudjanarko & S. Paulus (1977), **Tugas Akhir, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, Surabaya**
- Sudirham, Sudjanarko & Ria Asih Soemitro (1986), **Seminar Lempung Cepu, BP Migas Cepu, Cepu**
- Sudirham, Sudjanarko & Abdullah Hidayat S.A. (1992), **“Penelitian Percobaan Skala Penuh Stabilisasi Tanah Lempung Dengan Lime Column”**
- Sudirham, Sudjanarko, Suwarno & Abdullah Hidayat S.A. (1993), **“Penelitian Korelasi Daya Dukung Tanah Berdasarkan Standard Penetration Test & Cone Penetrometer Test”**
- Sudirham, Sudjanarko & Suwarno (1988), **“Penelitian Pemakaian Kapur Gamping Sebagai Penguat Konstruksi Timbunan Tanah Lempung Pada Konstruksi Jalan Raya Dan Jalan K.A.”**
- Sudirham, Sudjanarko (1995) **“Penelitian Perbedaan Penggunaan Kapur Bentuk Powder Dan Slurry Dalam Stabilisasi Tanah Lempung”**

# FAILURE OF GEOTEXTILE RETAINING WALL DUE TO LACK OF SOIL INVESTIGATION AND UNCERTAINTY OF SOIL STRATIFICATION

**Budijanto Widjaja**

Geotechnical Engineering Division, Department of Civil Engineering, Parahyangan Catholic University  
Email: geotek.gw@gmail.com

**Dania Wardhani**

GW & Associates – Geotechnical Works, Geotechnical Engineering Consultant  
Email: geoteknik2005@yahoo.com

## ABSTRACT

Limited soil investigation such as standard penetration test (SPT) and cone penetration test (CPT) were conducted at initial step of a project. Based on soil stratification from those results, a mechanically stabilized earth wall using geotextile with an 11.0 m average height was constructed. But, this wall failed and a surface settlement behind wall was in a range of 0.9 – 43.6 cm just in three months after the wall construction. To solve this failure, a detailed soil investigation such as boring with SPT, CPT, and CPTu was completed. Laboratory tests were also conducted from undisturbed samples. Based on this result, the new soil stratification result really differs from the former. The significant difference is a 6.0 m undetected soft clay below wall. Due to low bearing capacity of this clayey soil, the wall tends to move and this foundation layer tends to settle. This paper gives contribution to give a better understanding to simulate this wall failure using finite element based software (PLAXIS) and limit equilibrium method (SLIDE). The new construction is a combination of cut, fill, and construction 50.0 cm diameter and 17.0 m length soldier piles. The new design was also simulated by software and monitored by using inclinometers. The comparison of the old and new design shows that the soil uncertainty of soil stratification could make an unwanted failure especially in geotechnical design and construction. This lesson remark how important to conduct appropriate soil investigation to reduced geotechnical failure.

**Keywords:** mechanically stabilized earth wall, geotextile, uncertainty, soil investigation, soldier pile, failure

## 1. Introduction

A low bearing capacity of soil foundation below an embankment can cause a settlement. Figure 1 shows the location of the soil investigation at Cicalengka in which observed into two sections. Settlement occurred in the area of geotextile reinforcement on the second section (Figure 2).



**Figure 1:** Location of study case

Based on monitoring data at this location, geotextile wall on the left side shift is about 10.0 cm in average. While from January 11<sup>th</sup> 2010 until February 2<sup>nd</sup> 2010, a surface settlement was occurred above the embankment in the range 0.90 – 43.6 cm. The indication of lateral movement can be seen from the tilting of piles.

## 2. Soil Parameter

Data of soil parameters used in the investigation are as follows:

- Initial data before construction,
- Data of soil after construction of embankment, and
- Additional test data that are recommended for remediation after failure.



Initial soil investigation was conducted three points of mechanical Cone Penetration Test (CPT) with 2.5 tons capacity and a drilling technique (BM1). Laboratory tests were also conducted. The depth of penetration and the predicted ground water level of soil investigation could be seen in Table 1. Based on CPT test results at point S-1, the upper layer is clay with medium to hard consistency and conus resistant range from 10.0 kg/cm<sup>2</sup> to more than 150.0 kg/cm<sup>2</sup>. At point S-2, clay layer is dominant with medium to hard consistency and conus resistant range from 12.0 kg/cm<sup>2</sup> to more than 150.0 kg/cm<sup>2</sup>. At point S-3 the layer is also clay with medium to hard consistency and conus resistant range from 12.0 kg/cm<sup>2</sup> to more than 150.0 kg/cm<sup>2</sup>.

**Table 1:** Penetration depth and predicted ground water level of initial soil investigation

No.	CPT ID	Penetration Depth (m)	Predicted Ground Water Level (m)
1	S-1	11.40	8.40
2	S-2	9.40	5.00
3	S-3	11.20	0.40

After embankment construction, there were conducted two points of 2 tons capacity mechanical CPT. Based on this result, penetration depth is in range from 15.6 m to 17.6 m and no indication of ground water level. From S-1 and S-2 result, there was clay layer with soft to hard consistency and conus resistant range from 5.0 to be larger than 150.0 kg/cm<sup>2</sup>.

**Table 2:** Penetration depth after geotextile wall construction

No.	CPT ID	Penetration Depth (m)	Predicted Ground Water Level (m)
1	S-1	17.60	-
2	S-2	15.60	-

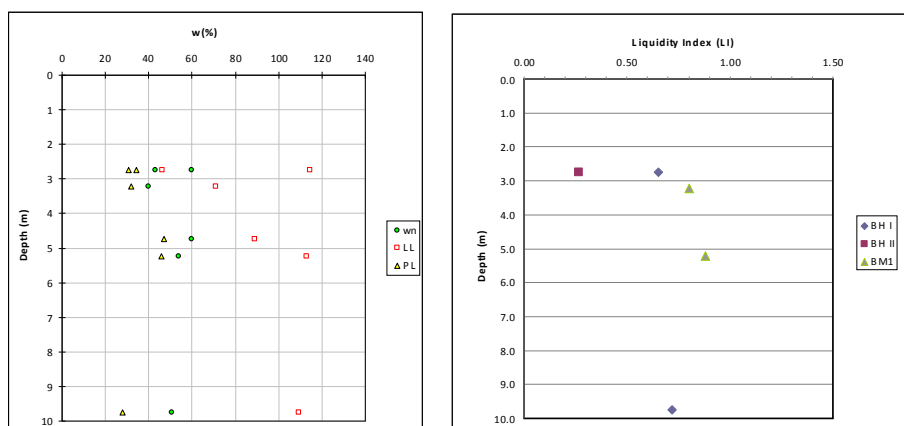
Additional tests were two points of drilling include Standard Penetration Test (BH1 and BH2), four points of 2.5 tons capacity of CPT and four points of CPT with pore pressure measurement (CPTu). Laboratory tests were also conducted. Soil stratification from drilling test results, at BH-1 a soil layer from 0.0 m to 16.0 m depth represents silty clay with medium to stiff consistency with N<sub>SPT</sub> value range from 6 to 12 blows per ft. A layer from 16.0 to 30.0 m depth represents clay with hard consistency with N<sub>SPT</sub> value range from 44 to more than 60 blows per ft. At BH-2, a soil layer from 0.0 to 9.5 m depth represents silty clay with medium to stiff consistency with N<sub>SPT</sub> value range from 2 to 15 blows per ft. A layer from 9.5 to 20.45 m depth represents clay with hard consistency with N<sub>SPT</sub> value is greater than 60 blows per ft.

Based on CPTu result at each point, soil stratification is dominantly clay layer. At CPTU-1, a soil layer from 0.0 – 15.6 m depth is sandy clay layer with conus resistant range from 5.0 to 8.0 kg/cm<sup>2</sup>. A dissipation test was conducted at 8.0 m depth. CPTU-2 shows that a layer from 0.0 m – 2.0 m depth is organic clay with average conus resistant value is 2.0 kg/cm<sup>2</sup>. A soil layer from 2.0 m – 7.2 m depth is silty clay with conus resistant value range from 8.0 to greater than 17.0 kg/cm<sup>2</sup>. A dissipation test at this point was conducted at

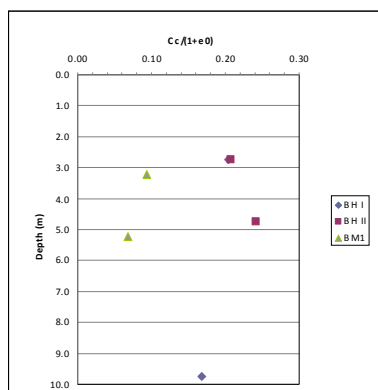
7.2 m depth. CPTU-3 shows that from 0.0 – 8.8 m depth is silty clay with average conus resistant 5.0 kg/cm<sup>2</sup>. A dissipation test was conducted at 5.10 m depth. CPTu-4 shows that from 0.0 – 14.0 m depth is clay layer with conus resistant value range from 5.0 to 10.0 kg/cm<sup>2</sup>. A layer from 14.0 – 16.56 m depth is silty clay layer with average conus resistant value is 10.0 kg/cm<sup>2</sup>. A dissipation test was conducted at 10.0 m depth.

The relationship of water content with depth at each borehole BM1, BH1 and BH2 can be seen in Figure 3. Especially in BM1, natural water content (w) approaches the liquid limit (LL) or the Liquidity Index values close to 1.0. This indicates that the soil is soft and shear strength is low.

Figure 4 shows the relationship between compressibility ( $C_c / 1 + e_o$ ) and depth. Based on the classification of Coduto (1999), the soil included to compressibility slightly category for BM1, moderately compressibility for BH-1, and high compressibility for BH-2. Because the soil foundation of the geotextile at some locations near BH-2, this is an indication that the large settlement may occur at this location.



(a) (b)  
**Figure 3 :** (a) Relationship between water content and depth (b) relationship between liquidity index and depth



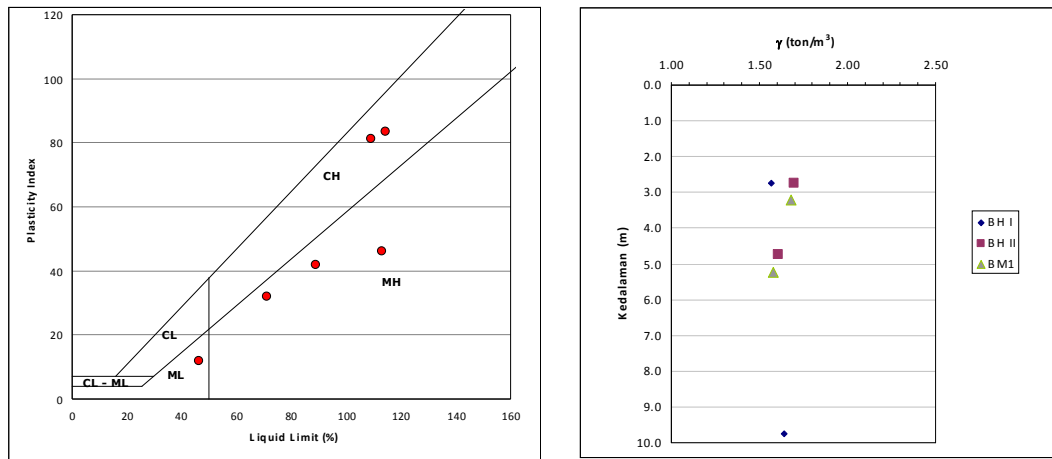
**Figure 4 :** Relationship between compressibility and penetration depth

Unit weight of soil is in a range from 1.5 – 1.7 t/m<sup>3</sup>. The classification of soil based on soil samples were taken at this location can be seen in Figure 5. The types of soil are various between low plasticity silt (ML), high plasticity silt (MH) and high plasticity clay (CH) using unified soil classification system.

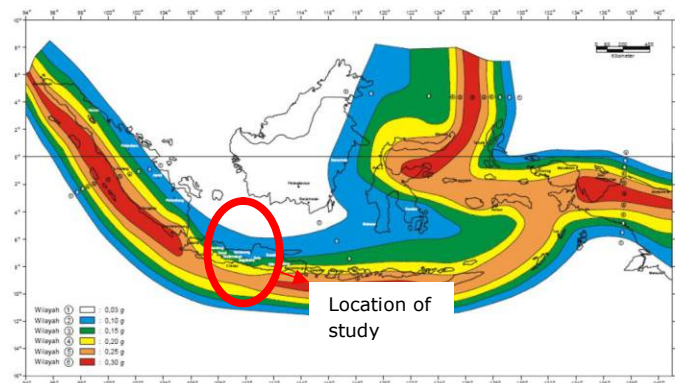
### 3. Analysis Result and Geotechnical Recommendation

The assumptions used in geotechnical recommendations are as follows.

- Tensile strength used for geotextile configuration is 71.1 kg
- Structural load is assumed 100 kN/m' and use shallow foundation
- Earthquake acceleration used 0.2 g for this study case as shown at Figure 6 (SNI 1726-2002)
- Location of ground water level refers to the results of soil testing in the field
- Minimum strength of concrete with characteristic compressive strength is 275 kg/cm<sup>2</sup>



**Figure 5 :** Classification of soil based on Casagrande's plasticity chart (right) and relationship between unit weight and depth



**Figure 6 :** Earthquake acceleration (SNI 1726-2002)

Safety Factor (SF) in this case is using Limit Equilibrium Method with SLIDE version 4 (Rockscience, 2000). Minimum allowable safety factor can be seen at Table 3.

### 3.1. Existing Condition

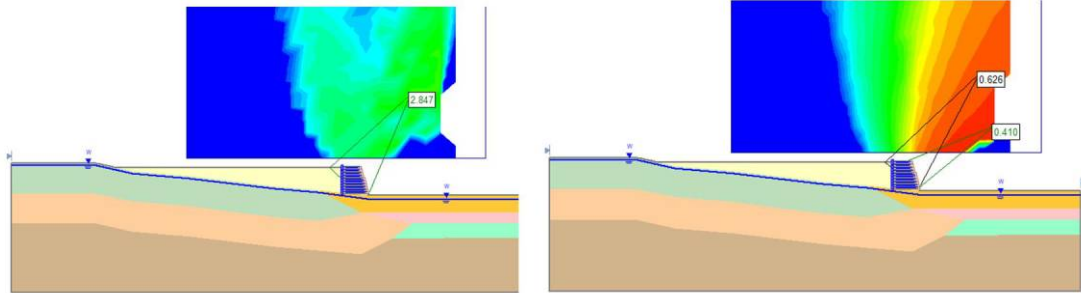
There was a horizontal and vertical movement triggered by settlement below the embankment in this existing condition. Location of each section can be seen in Figure 1.

**Table 3 :** Minimum Allowable Safety Factor for Analysis of Slope Stability

Condition	Minimum Safety Factor	Remark
TSA	1.50	Total Stress Analysis (TSA)
TSA-EQ	1.10	Total Stress Analysis + Earthquake (TSA+Eq)
ESA	1.25	Effective Stress Analysis (ESA)

#### a. Section 1

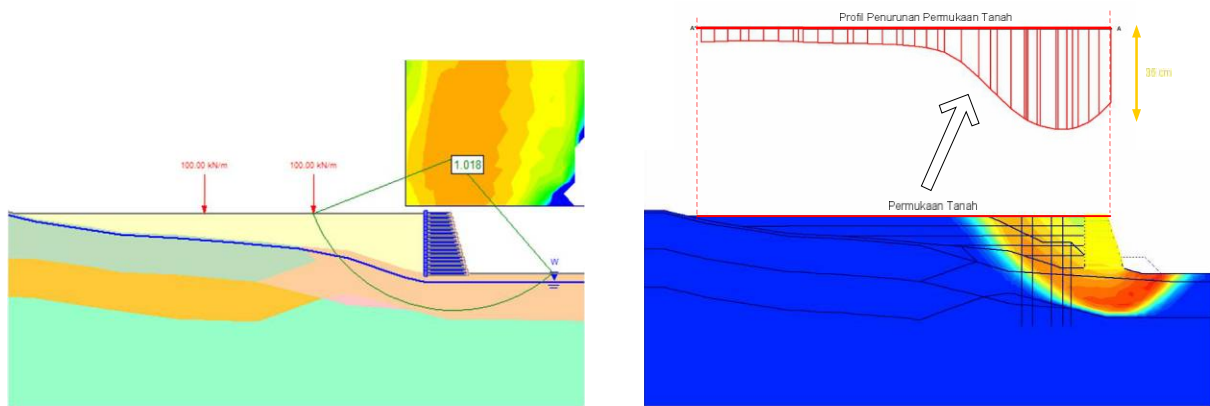
On existing conditions in this study area, SF is 2.85 and 0.63 for Total Stress Analysis (TSA) and Effective Stress Analysis (Figure 7), respectively. Based on those criteria in Table 3, the slope is in unsafe conditions.



**Figure 7 :** Safety factor is 2.85 for TSA and 0.63 for ESA using limit equilibrium method at section 1

b. Section 2

SF is 1.02 for TSA condition (Figure 8). Based on criteria of minimal allowable safety factor in Table 3, this slope is under unsafe condition. The similar result using PLAXIS program version 8.2, safety factor of this slope is 1.22. A maximum settlement in the surface reaches 35.0 cm. This value is quite close to the observation in the site with maximum value of measurement reached 43.6 cm or 38.0 cm in average.



**Figure 8 :** Output SLIDE (left) dan PLAXIS (right) for existing condition in section 2

3.2. Remediation

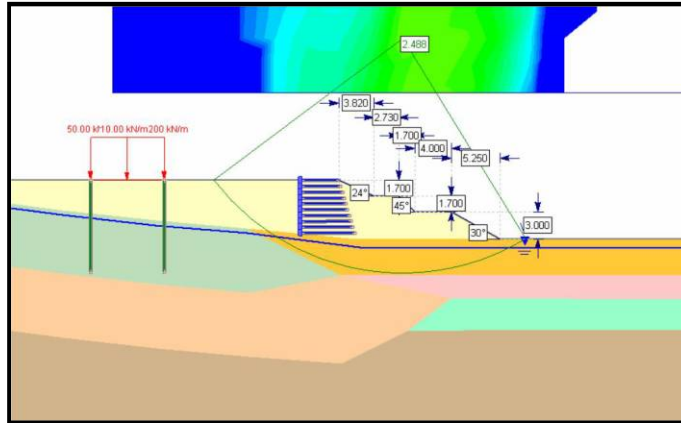
Based on the latter drilling results, the soil stratification is dominated by soft clay. The low bearing capacity can cause settlement. Therefore, a suggested solution is to reduce the burden (i.e. fill) on this area.

a. Section 1

In section 1, combination of buttress and the counterweight berm are constructed. The stages of construction are as follows. Phase 1 is a land clearing 0.5 m thick. Phase 2 is soil compaction by 15.0 cm per lift by using the appropriate compaction equipment. At this stage, the installation of horizontal drain can be conducted together with the process of soil compaction.

Suitable embankment material should be tested using laboratory compaction test. Embankment material must be compacted with a thickness of 15.0 cm per lift up to the planned elevation. Cone penetration tests should be conducted after compaction to control the quality of compacted material. In addition, the soaked CBR test is needed to get the information carrying capacity of the soil drainage in the worst condition.





**Figure 9 :** Safety factor is 2.45 for Total Stress Analysis (TSA) using SLIDE

**Table 4 :** Summary of safety factor with soldier pile installation

Condition	Minimum Safety Factor	Safety Factor (Limit Equilibrium Method)	Remark
TSA	1.50	2.45	Relatively Safe
TSA-EQ	1.10	1.29	Relatively Safe
ESA	1.25	2.42	Relatively Safe

b. Section 2

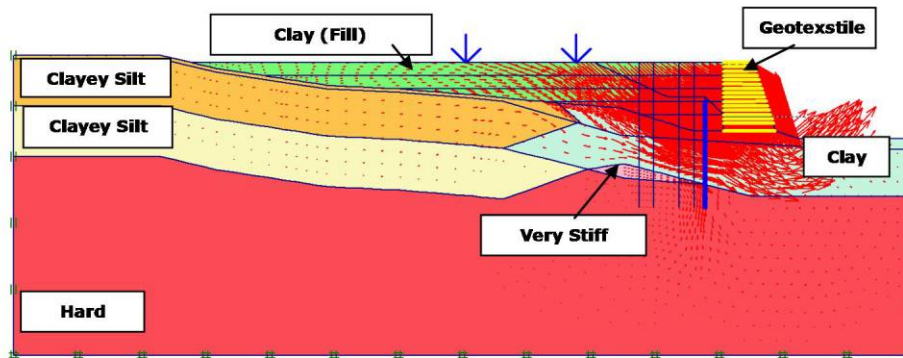
In section 2, the stages construction of the proposed remediation is as follows:

1. Phase 1: Installation of soldier pile diameter of 0.5 m.

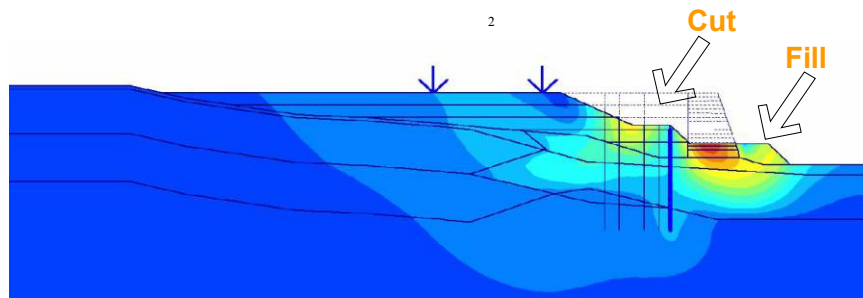
Soldier pile is constructed on embankment, as shown in Figure 10. Soldier piles with 0.5 m diameter, spacing is 1.25 m center to center and penetration depth is 15.0 m. The result from PLAXIS shows that safety factor increases from 1.22 to 1.72. It indicates that the slope is in safe condition refer to Table 3. Dimension of soldier pile is determined from Limit Equilibrium Method based on the shear strength of concrete across the slip area.

2. Phase 2: *Cut and Fill*

At this phase, some of soil layer is cut in terraced slope due to low bearing capacity. The angle of first slope is 24° and both of second and third slope are 45° due to the lack of space (Figure 11). This configuration could increase the safety factor to 2.40.



**Figure 10 :** Installation of Soldier Pile (Blue Pile) and Safety Factor is 1.72



**Figure 11 :** Cut and fill by using PLAXIS Program with Soldier Pile

After this final configuration, long term condition (ESA) is also considered. Effective shear strength parameter is obtained from CIU Triaxial test and empirical correlation. Safety factor from PLAXIS and SLIDE are 1.59 and 1.36, respectively. This information indicates that the slope is relatively safe slope. The construction of horizontal drain is conducted simultaneously with the process of soil compaction. Table 5 and Table 6 show a summary of safety factor using soldier pile. A bored pile with 0.4 m diameter is also constructed in this slope to support two tanks.

**Table 5:** Summary of safety factor with soldier pile and bored pile

Type	Condition	Minimum Safety Factor	Safety Factor	Remark
With Soldier Pile	TSA	1.50	1.65	Relatively Safe
	TSA-EQ	1.10	1.11	Relatively Safe
	ESA	1.25	1.36	Relatively Safe
With Soldier Pile and Bored Pile	TSA	1.50	1.65	Relatively Safe
	TSA-EQ	1.10	1.11	Relatively Safe
	ESA	1.25	2.89	Relatively Safe

**Table 6:** Summary of safety factor of existing condition and remediation for Each Section

Section No.	Condition	Safety Factor of Existing Condition	Safety Factor of Remediation	Remediation Method
Section 1	TSA	2.85	2.45	Butress + Terasering
	TSA-EQ	-	1.29	
	ESA	0.63	2.42	
Section 2	TSA	1.02	1.65	Soldier Pile + Cut and Fill (Terasering)
	TSA-EQ	-	1.11	
	ESA	-	1.36	
	TSA	1.02	1.65	Soldier Pile + Bored Pile + Cut and Fill (Terasering)
	TSA-EQ	-	1.11	
	ESA	-	2.89	

#### 4. Conclusion and Recommendation

Soil remediation using combination of cut and fill and the installation of soldier piles could increase the stability of slope. The analysis is based on three critical condition such as Total Stress Analysis Condition (TSA), Total Stress Analysis with Earthquake (TSA + EQ), and Effective Stress Analysis Condition (ESA). In this case, the most critical condition is when the TSA + EQ conditions.

PIT (Pile Integrity Testing) to determine the quality control of soldier pile and bored pile construction is recommended. To determine the actual bearing capacity of bored pile, it is recommended to apply the PDA test. It is recommended to install instrumentation such as an inclinometer to monitor horizontal movement of soil. PDA and PIT tests are being tested when this paper is published in this proceeding.

#### References

- SNI 1726-2002 (2002) Standard for Earthquake Resistance Design for Structural Building (in Indonesia)
- Widjaja, B. et al (2010) Remediation of Failure of Geotextile Wall in Project X in Bandung District-West Java. Report. Parahyangan Catholic University

**HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN**

# APLIKASI JARINGAN NEUROFUZZY MENGUNAKAN *SOFTWARE fuzzyTECH* UNTUK PREDIKSI BALIK PENURUNAN FONDASI DANGKAL DI ATAS TANAH *GRANULAR*

Helmy Darjanto<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Jurusan Teknik Sipil Universitas Narotama Surabaya,  
Sekretaris HATTI (Himpunan Ahli Teknik Tanah Indonesia) Jawa Timur,  
Sertifikasi G1.

Email: [h.darjanto@consultant.com](mailto:h.darjanto@consultant.com)

## ABSTRAK

Dalam beberapa tahun terakhir, jaringan syaraf tiruan (ANNs) telah berhasil digunakan untuk banyak aspek rekayasa geoteknik dan bidang terkait. *Multi-Layer Perceptrons* (MLPs) yang dilatih dengan algoritma propagasi balik digunakan pada sebagian besar aplikasi ini. Hal ini dapat dihubungkan dengan fakta bahwa MLPs dilatih dengan propagasi balik memiliki kapabilitas tinggi untuk pemetaan data. Namun, satu kelemahan dari jenis JST (Jaringan Syaraf Tiruan) adalah bahwa pengetahuan yang diperoleh selama pelatihan disimpan dalam bobot koneksi dengan cara yang rumit dan sering sulit diinterpretasikan. Akibatnya, aturan yang mengatur hubungan antara jaringan *input/output* variabel sulit untuk dihitung, dan dengan demikian ANNs sering dikritik karena kotak hitam. Salah satu cara untuk mengatasi masalah ini adalah dengan menggunakan jaringan *neurofuzzy*. Jaringan *neurofuzzy* menggabungkan representasi pengetahuan eksplisit sistem *fuzzy* dengan kekuatan potensi belajar algoritma JST. Jaringan *neurofuzzy* dapat dilatih dengan pengolahan data sampel untuk melakukan pemetaan *input/output*, mirip dengan cara MLPs bekerja, dengan manfaat tambahan untuk dapat menerjemahkan pengetahuan yang diperoleh menjadi seperangkat aturan *fuzzy* transparan yang secara jelas menggambarkan hubungan model *input/output*. Dalam tulisan ini, kelayakan dari penggunaan jaringan *neurofuzzy* dalam bidang rekayasa geoteknik diselidiki untuk studi kasus memprediksi penyelesaian fondasi dangkal pada tanah granular (Shahin et al. 2003). Hasilnya menunjukkan bahwa jaringan *neurofuzzy* adalah teknik yang berguna yaitu: (i) mampu memprediksi secara akurat penyelesaian fondasi dangkal pada tanah granular, dan (ii) mampu memberikan pemahaman yang transparan tentang hubungan antara penurunan dan faktor-faktor yang mempengaruhi itu. Piranti lunak *fuzzyTECH* sudah menyediakan *tools* untuk jaringan *neurofuzzy* yang bisa digunakan sebagai alat baru dalam bidang rekayasa geoteknik. Penelitian Shahin et al. (2003) dihitung balik dengan menggunakan piranti lunak tersebut dalam makalah ini.

**Kata kunci:** *jaringan neurofuzzy, penurunan, fondasi dangkal, prediksi, granular, fuzzyTECH*

## PENDAHULUAN

Jaringan syaraf tiruan (ANNs) (Zurada 1992; Fausett 1994) telah digunakan dengan sukses dalam banyak aplikasi rekayasa geoteknik (lihat Shahin et al 2001). *Multi-layer perceptrons* (MLPs) yang dilatih dengan algoritma *back-propagasi* digunakan pada sebagian besar aplikasi ini. Kelemahan utama dari MLPs tersebut adalah bahwa pengetahuan yang diperoleh di jaringan dilatih disimpan dalam bobot koneksi mereka secara kompleks. Hal ini membuat sulit untuk mengekstrak pengetahuan yang telah dipelajari oleh jaringan mengenai hubungan antara model *input* dan *output* yang sesuai. Salah satu cara untuk mengatasi masalah ini adalah dengan menggunakan jaringan *neurofuzzy*. Jaringan *neurofuzzy* dapat dilatih untuk memberikan masukan data keluaran/ pemetaan dan untuk mengekstrak pengetahuan tentang model hubungan antara *input* dan *output* yang sesuai. Jaringan *Neurofuzzy* mengaktifkan pengetahuan yang telah dipelajari dalam jaringan yang akan diterjemahkan ke dalam seperangkat aturan *fuzzy* yang menggambarkan model hubungan *input/output* dengan cara yang lebih transparan. Ni et al. (1996) telah menerapkan pendekatan jaringan *neurofuzzy* dalam rekayasa geoteknik untuk evaluasi potensi kegagalan lereng. Namun, tinjauan pustaka menunjukkan bahwa jaringan *neurofuzzy* adalah alat baru dalam bidang rekayasa geo-teknik.

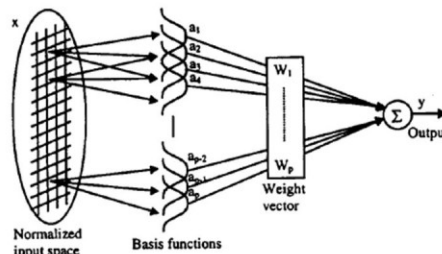
Dalam tulisan ini, hasil penelitian Shahin et.al (2003) dihitung dengan menggunakan piranti lunak *fuzzyTECH*.

**Jaringan Neurofuzzy.** Pemodelan jaringan *Neurofuzzy* adalah teknik yang menggabungkan representasi pengetahuan eksplisit linguistik sistem *fuzzy* dengan kekuatan pembelajaran jaringan syaraf tiruan (ANNs) (Altrock 1995; Brown dan Harris 1995). Jaringan *neurofuzzy* menggunakan sistem logika *fuzzy* untuk menyimpan pengetahuan yang diperoleh antara *set* variabel *input* ( $x_1, x_2, \dots, x_n$ ) dan variabel *output* yang sesuai ( $y$ ) dalam satu *set* aturan *fuzzy* linguistik yang dapat mudah diinterpretasikan, seperti : IF ( $x_1$  is *high* AND  $x_2$  is *low*) THEN ( $y$  is *high*),  $c = 0.9$ , di mana ( $c = 0.9$ ) adalah aturan kepercayaan yang menunjukkan berapa banyak aturan di atas telah memberikan kontribusi untuk *output*. Konsep logika *fuzzy* diperkenalkan oleh Zadeh (1965). Sebagai bagian dari sistem logika *fuzzy*, dua komponen utama (yaitu *fuzzy set* dan aturan *fuzzy*) perlu ditentukan. Untuk menentukan *fuzzy set*, istilah linguistik (misalnya kecil, menengah, dan besar) dapat ditafsirkan secara matematis dalam bentuk fungsi keanggotaan, dan variabel model fuzzifikasi menjadi anggota parsial dari fungsi keanggotaan dalam kelas interval (0, 1). Ini berarti bahwa, untuk menetapkan *fuzzy set* A, sebuah variabel *input* x adalah fuzzifikasi menjadi anggota sebagian dari himpunan *fuzzy* A dengan mengubahnya menjadi derajat keanggotaan dari fungsi  $u_A(x)$  dari interval (0,1). fungsi dasar B-spline adalah polinomial ordo k agar dapat digunakan sebagai salah satu bentuk fungsi keanggotaan. Untuk setiap variabel, *fuzzy set* yang overlap dan mencakup rentang variasi yang diperlukan untuk variabel yang dalam proses yang disebut fuzzifikasi. Perlu dicatat bahwa *output* model satu *set* adalah *fuzzy* juga, dan untuk memperoleh hasil nyata dihargai, maka diperlukan defuzzifikasi. Nilai puncak rata-rata dan pusat gravitasi yang paling populer adalah algoritma defuzzifikasi (Brown dan Harris 1995).

Struktur umum dari suatu jaringan *neurofuzzy* mengandung tiga *layer*: *layer input*, *layer* tersembunyi tunggal, dan *layer output* (Brown dan Harris 1994). *Layer input* menormalisir ruang *input* dalam kisi p-dimensi (Gambar 1). *Layer output* tertimbang jumlah *output* dari fungsi dasar untuk memproduksi *output* jaringan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$y = \sum a_i w_i \quad (1)$$

dimana  $y$  = model *output*;  $a_i$  = *output* dari fungsi dasar ke  $p$ ; dan  $w_i$  = connection weight terkait dengan  $a_i$ . *Output* ini dibandingkan dengan *output* aktual terukur dan suatu kesalahan koneksi (Mean Square Error, MSE, biasanya digunakan) perlu dihitung. Menggunakan kesalahan ini dan menerapkan aturan pembelajaran, jaringan *neurofuzzy* menyesuaikan bobot dan menentukan parameter *fuzzy* (yaitu *fuzzy set* dan *fuzzy rules*).



Gambar 1. Struktur spesifik jaringan *neurofuzzy* (Brown dan Harris 1995).

Salah satu kelemahan utama dari jaringan *neurofuzzy B-spline* adalah apa yang disebut lemahnya dimensi (*curse of dimensionality*), di mana jumlah aturan *fuzzy* eksponensial tergantung pada dimensi ruang *input*. Hal ini menghasilkan sejumlah besar aturan *fuzzy* dan model representasi sehingga tidak praktis. Analisis varians (ANOVA) representasi adalah salah satu pendekatan yang berguna untuk mengatasi masalah ini (Brown dan Harris 1995). ANOVA terurai fungsi n-dimensi menjadi sebuah kombinasi linear dari sejumlah fungsi yang terpisah, sebagai berikut (Brown dan Harris 1995):

$$f(x) = f_0 + \sum_{i=1}^n f_i(x_i) + \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n f_{i,j}(x_i, x_j) + \dots + f_{1,2,\dots,n}(x) \quad (2)$$

dimana  $f_0$  merupakan konstanta (bias fungsi), dan persyaratan lainnya mewakili univariat, bivariat dan *high-order subfunctions*. Dalam banyak situasi, sebagian besar istilah ordo tinggi adalah nol atau diabaikan, sehingga jumlah terbatas *subfunctions* (sering disebut *subnetwork*) dari dimensi yang jauh lebih rendah dari perkiraan jaringan pemetaan *input/output*. Perlu dicatat bahwa setiap *subnetwork* dalam deskripsi ANOVA merupakan sistem *neurofuzzy* sendiri dan keseluruhan model *output* dihasilkan dengan cara menjumlahkan hasil dari *subnetwork* semua.

Data pengamatan dari model *spline* adaptif (ASMOD) diusulkan oleh Kavli (1993) merupakan algoritma yang dapat digunakan untuk secara otomatis mendapatkan struktur yang optimal jaringan *neurofuzzy B-spline* dan masukan model pilih yang memiliki dampak yang paling signifikan terhadap *output*. Algoritma ini dimulai dengan model sederhana (misalnya hanya satu variabel dengan dua fungsi keanggotaan), dan iteratif memurnikan struktur model selama pelatihan sehingga secara bertahap meningkatkan kemampuan model berhenti sampai beberapa kriteria terpenuhi. Kemungkinan perbaikan termasuk menambahkan atau menghapus masukan variabel, pembentukan *subnetwork* multi-variabel dengan menggunakan ANOVA, dan meningkatkan jumlah dan dimensi dari individu *subnetwork*. Untuk setiap perbaikan, dampak pemangkasan jaringan dievaluasi dan jaringan yang memiliki struktur yang paling sederhana dengan dipilih kinerja terbaik. Satu kriteria yang umum dipilih adalah *Bayesian Information Criterion* (BIC) diberikan oleh Brown dan Harris (1994), seperti berikut:

$$K = L \ln(MSE) + p \ln(L) \quad (3)$$

di mana  $K$  = ukuran kinerja;  $p$  = ukuran model saat ini;  $MSE$  = *mean square error*; dan  $L$  = jumlah pasangan data yang digunakan untuk melatih model. Ukuran, diberikan pada Persamaan 3, kompleksitas model seimbang, jumlah data pelatihan, dan kesalahan model. Perlu dicatat bahwa kriteria menghentikan BIC membutuhkan data yang akan dibagi menjadi dua kelompok, pelatihan satu *set* untuk membangun model dan validasi independen diatur untuk tes kemampuan prediksi model dalam situasi dunia nyata.

## METODE DAN DATA

**Metode.** Metode pengujian untuk topik makalah di atas yakni hasil riset Shahin et.al (2003) dihitung balik dengan piranti lunak fuzzyTECH.

**Data.** Studi kasus dalam penelitian ini dianggap berkaitan dengan memprediksi penurunan fondasi dangkal pada tanah granular. Penurunan fondasi dangkal biasanya dibagi menjadi penurunan elastis dan penurunan konsolidasi. Penurunan segera/elastis terjadi segera setelah pembangunan struktur. Hal ini terutama disebabkan oleh distorsi dan reorientasi butir tanah. Di sisi lain, penurunan konsolidasi, biasanya memerlukan waktu berbulan-bulan hingga tahun untuk terjadinya karena adanya disipasi tekanan air pori sepanjang waktu. Untuk tanah granular (pasir dan kerikil) yang merupakan subyek makalah ini, hanya penurunan segera/elastis yang ditinjau, sedangkan penurunan konsolidasi umumnya untuk tanah kohesif (tanah lanau dan tanah lempung). Penurunan segera/elastis fondasi dangkal pada tanah granular biasanya menyebabkan deformasi relatif cepat dari struktur atas, yang jika menimbulkan kerusakan membutuhkan perbaikan struktur, dan selanjutnya terhindar dari deformasi lebih lanjut. Penurunan yang berlebihan bisa menimbulkan kegagalan struktural dari bangunan (Sowers 1970). Sebagai konsekuensi, penurunan merupakan masalah utama dan merupakan kriteria penting dalam proses desain fondasi dangkal pada tanah granular. Hal ini berlaku umum bahwa lima parameter memiliki dampak yang paling signifikan terhadap penyelesaian fondasi dangkal pada tanah granular (Burland dan Burbidge 1985; Shahin et al. 2002). Ini termasuk lebar fondasi ( $B$ ), tekanan *footing* akibat beban tanah di atasnya ( $q$ ), kompresibilitas tanah (atau kepadatan) yang dapat diwakili oleh jumlah pukulan rata-rata ( $N$ ) yang diperoleh dari uji penetrasi standar (SPT) pada kedalaman tanah di bawah fondasi, geometri pondasi ( $L/B$ ) dan rasio *footing-embedment* ( $D_f/B$ ).

Data dalam penelitian ini terdiri dari total 189 kasus-kasus individu (Shahin et al 2002), yang mencakup pengukuran fondasi dangkal di lapangan, serta informasi terkait tentang fondasi dan tanah. *Range* data yang digunakan dirangkum pada Tabel 1.

Tabel 1. *Range* dari data yang tersedia

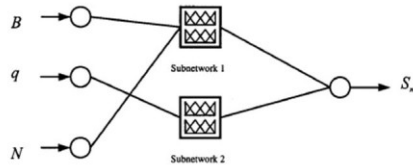
Model Variable	Minimum value	Maximum value
Footing width, $B$ (m)	0.8	60.0
Net applied pressure, $q$ (kPa)	18.3	697.0
Average SPT blow count, $N$	4.0	60.0
Footing geometry, $L/B$	1.0	10.5
Footing embedment, $D_f/B$	0.0	3.4
Measured settlement, $S_m$ (mm)	0.6	121.0

## HASIL DAN DISKUSI

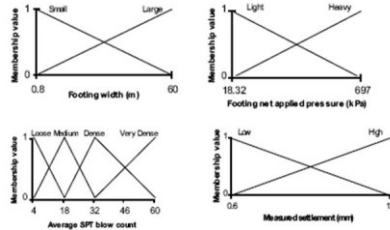
**Hasil.** Tampilan skematis dari model yang diperoleh adalah diberikan pada Gambar 2. Hal ini dapat dilihat bahwa model menggunakan hanya 3 dari 5 variabel *input* potensial sebagai masukan yang paling signifikan. Masukan yang dipilih adalah lebar pondasi ( $B$ ), tekanan *footing* ( $q$ ), dan rata-rata pukulan SPT ( $N$ ) sebagai nilai ukuran kepadatan tanah. Hal ini juga dapat dilihat bahwa model memiliki satu 1D dan satu 2D *subnetwork*. Pada masing-masing *subnetwork* diperoleh, fungsi keanggotaan segitiga ordo 2 digunakan untuk semua variabel masukan, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3. Hal ini dapat dilihat dari angka ini bahwa fungsi keanggotaan  $B$ ,  $q$ , dan  $S_m$  disajikan atas universal dua-nilai linguistik (yaitu *small and large for B*, *light and heavy for q*, dan *low and high for S<sub>m</sub>*). Di sisi lain, fungsi keanggotaan dari kepadatan tanah, yang diwakili di sini oleh jumlah rata-rata pukulan SPT,  $N$ , disajikan atas universal empat-nilai linguistik (yaitu *loose, medium, dense, dan very dense*). Sebagai hasilnya, *subnetwork* pertama berisi 8 aturan sedangkan *subnetwork* kedua berisi 2 aturan, menghasilkan model dengan 10 aturan *fuzzy*, seperti yang tercantum dalam Tabel 3. Perlu dicatat bahwa jumlah antara kurung pada Tabel 3 merupakan keyakinan aturan yang dijelaskan di Bagian 2.

Tabel 2. Aturan *fuzzy* diekstraksi dengan model *neurofuzzy*

<i>Subnetwork</i> No.	<i>Rule</i> No.	<i>Rule</i>
1	1	IF "Footing width" is <i>Small</i> AND "Soil" is <i>Loose</i> THEN "Settlement" is <i>Low</i> (0.84) OR "Settlement" is <i>High</i> (0.16)
	2	IF "Footing width" is <i>Large</i> AND "Soil" is <i>Loose</i> THEN "Settlement" is <i>High</i> (1.00) IF "Footing width" is <i>Small</i> AND "Soil" is <i>Medium-dense</i>
	3	THEN "Settlement" is <i>Low</i> (0.99) OR "Settlement" is <i>High</i> (0.01) IF "Footing width" is <i>Large</i> AND "Soil" is <i>Medium-dense</i>
	4	THEN "Settlement" is <i>Low</i> (0.44) OR "Settlement" is <i>High</i> (0.56) IF "Footing width" is <i>Small</i> AND "Soil" is <i>Dense</i>
	5	THEN "Settlement" is <i>Low</i> (0.96) OR "Settlement" is <i>High</i> (0.04) IF "Footing width" is <i>Large</i> AND "Soil" is <i>Dense</i>
	6	THEN "Settlement" is <i>Low</i> (0.86) OR "Settlement" is <i>High</i> (0.14) IF "Footing width" is <i>Small</i> AND "Soil" is <i>Very Dense</i>
	7	THEN "Settlement" is <i>Low</i> (1.00) IF "Footing width" is <i>Large</i> AND "Soil" is <i>Very Dense</i>
	8	THEN "Settlement" is <i>Low</i> (0.86) OR "Settlement" is <i>High</i> (0.14) IF "Net applied pressure" is <i>Light</i>
2	9	THEN "Settlement" is <i>Low</i> (0.96) OR "Settlement" is <i>High</i> (0.04) IF "Net applied pressure" is <i>Heavy</i>
	10	THEN "Settlement" is <i>Low</i> (0.87) OR "Settlement" is <i>High</i> (0.13)

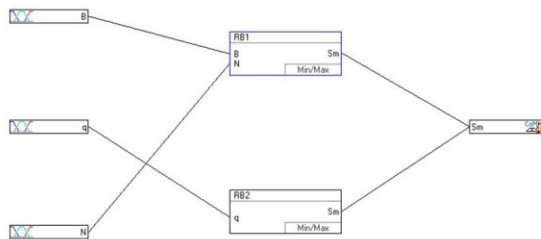


Gambar 2. Skema representasi dari model *neurofuzzy*



Gambar 3. Fungsi keanggotaan variabel *input* yang digunakan oleh model *neurofuzzy*

Pada *subnetwork* penambahan aturan terhadap penurunan tanah yang mengalami *failure* perlu disajikan dalam solusi *neurofuzzy*. Dengan dibantu program *fuzzyTECH 5.54* maka problem tersebut dapat diselesaikan dengan mudah (Gambar 3).



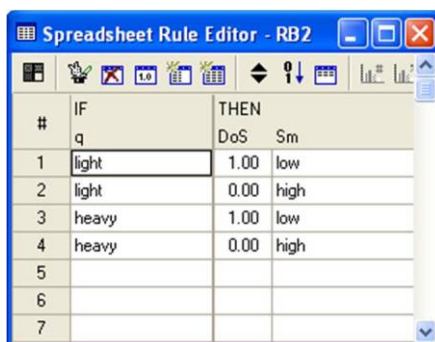
Gambar 4. Model *neurofuzzy* menggunakan program *fuzzy TECH 5.54*

#	IF		THEN	
	B	N	DoS	Sm
1	small	loose	1.00	low
2	small	loose	0.00	high
3	large	loose	1.00	high
4	small	medium	1.00	low
5	small	medium	0.00	high
6	large	medium	0.50	low
7	large	medium	0.50	high
8	small	dense	1.00	low
9	small	dense	0.00	high
10	large	dense	0.90	low
11	large	dense	0.10	high
12	small	verydense	1.00	low
13	large	verydense	0.90	low
14	large	verydense	0.10	high
15				
16				
17				
18				

Gambar 5. *Spreadsheet rule editor* (*subnetwork 1*)

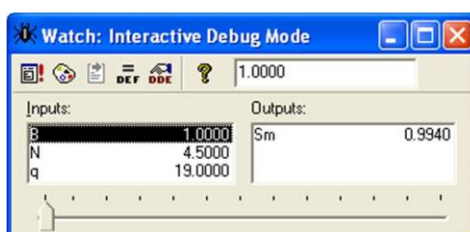


program *fuzzyTECH* 5.54



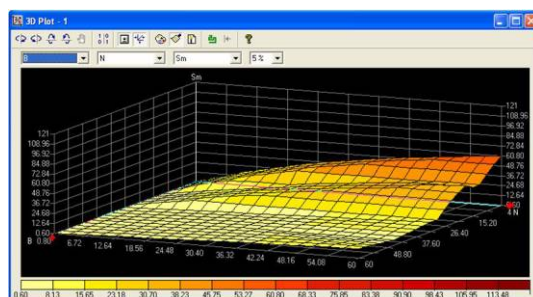
#	IF	THEN
	q	DoS Sm
1	light	1.00 low
2	light	0.00 high
3	heavy	1.00 low
4	heavy	0.00 high
5		
6		
7		

Gambar 6. *Spreadsheet rule editor (subnetwork 2)* program *fuzzyTECH* 5.54



Inputs:	Outputs:
B 1.0000	Sm 0.9940
N 4.5000	
q 19.0000	

Gambar 7. *Interactive debug mode* piranti lunak *fuzzyTECH* 5.54.



Gambar 8. *Analyzer 3D Plot* piranti lunak *fuzzyTECH* 5.54

**Pembahasan.** Piranti lunak *fuzzyTECH* 5.54 bisa melakukan eksplorasi hasil penelitian Shahin et.al (2003) dalam bentuk 3D Plot dan interaktif *input* sebarang untuk mendapatkan luaran prediksi penurunan yang terjadi.

## KESIMPULAN

Piranti lunak *fuzzyTECH* 5.54 mampu digunakan dalam prediksi balik penurunan fondasi dangkal di atas tanah *granular*..

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih sebesar-besarnya kepada Panitia Seminar Nasional ‘Aplikasi Teknologi Prasarana Perkotaan’ Program Diploma Teknik Sipil FTSP ITS yang memberikan peluang kepada kami untuk tampil dalam Seminar Nasional di atas.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Darjanto, H. 2005. *Rekayasa Fondasi: Draft Buku Seri Praktis Rekayasa Geoteknik*, Surabaya.
- [2] Irsyam, M. 2010. *Kuliah Pemodelan Geotek-nik: DTS Universitas Diponegoro*, Semarang.
- [3] Naba, A. 2009. *Belajar Cepat Fuzzy Logic Menggunakan MATLAB: Penerbit ANDI*, Yogyakarta.
- [4] Program *fuzzyTECH 5.54 2001*. Inform Software Corp. Midwest Bd, Oak Brook, IL 60523.
- [5] Shahin, M.A., Maier, H.R. & Jaksa, M.B. 2003. *Neurofuzzy networks applied to settlement of shallow foundations on granular soils: Applications of Statistics and Probability in Civil Engineering*, Der Kiureghian, Mada-nat & Pestana (eds), Millpress, Rotterdam, ISBN 90 5966 004 8.
- [6] Shahin, M.A., Maier, H.R. & Jaksa, M.B. *Neural and Neurofuzzy Techniques Applied to Modelling Settlement of Shallow Foundations on Granular Soils*.
- [7] Zadeh, L.A. 1965. *Fuzzy sets*. Information and Control 8: 338-353.

**HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN**

# STUDI PEMILIHAN STRUKTUR PERKERASAN LAPANGAN PENUMPUKAN PETI KEMAS DIATAS TANAH LEMPUNG LUNAK (Kasus PT. Pelindo III Banjarmasin)

Mohammad Muntaha<sup>1</sup>, Djoko Sulistiono<sup>1</sup>, Amalia Firdaus Mawardi<sup>1</sup>

## ABSTRAK

Growing-up economics and improvement activity eksport-import at Pelindo III branch Banjarmasin, make existing container yard overloaded. Pelindo III plan make new container yard for supporting existing facilities. According result of soil investigation data, type soils are soft clay soil. Consolidation is main problem its must be solve before this facilities running. Prefabricated Vertical (PV) Drains combined with burden pressure will be used to quickening consolidation time. The result of calculation Alidrain S type PVD with parallelogram pattern and 1,25 meters distance are choosen. Time of consolidation plan 8 weeks with 100% degree of consolidation. Pavingstone pronged, 10 centimeters thick and K450 quality are choosen for container yard pavements.

*Keywords : container yard, soft clay, PVD, pavements*

<sup>1</sup> Dosen Diploma Teknik Sipil ITS.

## 1. PENDAHULUAN

Seiring peningkatan kegiatan perekonomian dan kegiatan eksport-import di Pelabuhan Indonesia III Cabang Banjarmasin, maka lapangan kontainer (*Container Yard*) yang ada saat ini tidak mampu mendukung kegiatan yang ada. Untuk itu Pelindo III berencana membangun lapangan kontainer (*Container Yard*) yang baru. Lapangan kontainer direncanakan dibangun pada lahan seluas 1,8 ha, penumpukan kontainer maksimal 4 tumpukan dengan beban 25 ton per kontainer. Sedangkan untuk transportasi di area lapangan kontainer menggunakan Rea chstacker . Lapis perkerasan lapangan kontainer direncanakan menggunakan Paving Block.

Untuk keperluan desain perkerasan telah dilakukan penyelidikan tanah, yang telah dilakukan pada akhir bulan Mei 2009. Hasil penyelidikan tanah menunjukkan bahwa tanah di lokasi lapangan kontainer adalah tanah lempung lunak jenuh air sampai kedalaman 25 meter. Akibat beban penumpukan kontainer, timbunan dan aktivitas lalu-lintas maka penurunan konsolidasi adalah faktor penting yang harus diselesaikan. Untuk itu, dalam perencanaan ini preloading dan vertikal drain digunakan untuk mempercepat proses konsolidasi.

## 2. DASAR TEORI

### 2.1 Konsolidasi

Penambahan beban diatas permukaan tanah dapat menyebabkan lapisan tanah dibawahnya mengalami pemampatan. Das, 1985, mendefinisikan konsolidasi sebagai proses keluarnya air atau udara dari dalam pori tanah, deformasi partikel tanah, relokasi partikel yang disebabkan oleh beban tambahan pada tanah. Secara umum penurunan pada tanah yang disebabkan oleh pembebanan dibagi menjadi penurunan konsolidasi (*consolidation settlement*) dan penurunan segera (*immdiate settlement*). Kecepatan konsolidasi tanah sangat dipengaruhi oleh jenis tanah dan koefisien rembesan pada tanah.

Untuk menghitung besarnya konsolidasi yang terjadi Das, BM memberikan beberapa perumusan sesuai dengan kondisi tanah, yaitu:

$$S = \frac{CcH}{1+e_0} \log\left(\frac{P_o + \Delta P}{P_o}\right) \dots\dots\dots (1)$$

Persamaan diatas adalah untuk tanah terkonsolidasi normal (*normally consolidated*), sedangkan untuk tanah terkonsolidasi lebih (*overconsolidated*), persamaannya adalah:

$$S = \frac{CsH}{1+e_0} \log\left(\frac{P_o + \Delta P}{P_o}\right) \dots\dots\dots (2)$$

di mana:

- S = total konsolidasi
- Cc = indeks pemampatan
- Cs = indeks pemuaiian
- e<sub>0</sub> = angka pori awal tanah
- p<sub>o</sub> = tekanan overburden tanah
- Δp = penambahan tekanan vertikal pada tanah

## 2.2 Prefabricated Vertical (PV) Drains

Untuk mengatasi kelongsoran seperti pekerjaan reklamasi di atas tanah lempung lunak – sangat lunak, mempercepat konsolidasi maka praktisi sering menggunakan teknologi PVD (Prefabricated Vertical Drain). Teknologi ini mempercepat proses konsolidasi dan meningkatkan kuat dukung tanah sehingga permasalahan kelongsoran dapat dicegah. Kelemahan teknologi ini, pada kenyataannya penurunan global masih sering terjadi, seperti kasus di Pelabuhan Tanjung Mas, Semarang; ruas-ruas jalan di Jawa sisi utara: Lamongan; perumahan mewah pantai kapuk Jakarta, Laguna Surabaya.

## 2.3 Perhitungan Tebal Perkerasan

Perhitungan tebal perkerasan paving dipengaruhi oleh harga CBR timbunan sirtu sebagai tanah dasar, Faktor Regional (FR), Umur Rencana, volume /pertumbuhan lalu lintas, Muatan Sumbu Terberat (MST). Sesuai data dan asumsi volume lalu lintas dihitung Lintas Ekuivalen Permulaan (LEP) dan Lintas Ekuivalen Akhir (LEA)

Kemudian dihitung Lintas Ekuivalen Tengah (LET) =  $\frac{1}{2}$  (LEP + LEA), Lintas Ekuivalen Rencana (LER) = LET x UR/10 dan ESA = LER x 10 x 365 > 100.000 dipakai nomogram 1. Sebaliknya bila ESA < 100.000 yang biasanya terjadi lalu lintas ringan dipakai nomogram 2.

Melalui nomogram 1 dapat ditentukan ITP dan tebal perkerasan paving. Tebal paving untuk lapangan parkir container sesuai ketentuan adalah 10 cm dari bahan beton. Material perkerasan seperti pasir pengisi, pasir perata, agregat A, agregat B harus mengikuti persyaratan gradasi yang telah ditetapkan.

## 3. METODOLOGI

Studi/perencanaan yang dilakukan berupa studi lapangan dan studi numerik. Studi lapangan berupa penelitian sifat-sifat fisik dan mekanis tanah. Setelah diperoleh hasil-hasil lapangan, dilakukan perhitungan konsolidasi, perhitungan PVD dan perhitungan tebal perkerasan. Serangkaian pengujian lapangan dan laboratorium dilakukan untuk mendapatkan propertis fisik dan mekanik tanah di lokasi perencanaan. Penelitian lapangan terdiri atas pengukuran sondir, bor dangkal yang bertujuan untuk memperoleh kuat geser in-situ tanah. Penelitian laboratorium yang dilakukan meliputi sifat fisik tanah: berat volume tanah ( $\gamma$ ), kadar air ( $w$ ), spesifik gravity ( $G_s$ ), analisa ayakan, batas-batas atterberg (LL, PL, IP); sifat mekanik/kuat geser: kohesi ( $c$ ) dan sudut geser dalam tanah ( $\phi$ ).

Tahapan berikutnya setelah dilakukan penyelidikan tanah adalah perencanaan tebal perkerasan dan perhitungan konsolidasi. Adapun tahapan analisa perhitungan secara lengkap adalah sebagai berikut:

### 1. Hitung konsolidasi

Menggunakan beberapa alternatif tinggi timbunan, maka dapat dihitung besarnya (amplitudo) konsolidasi yang terjadi pada tanah dibawah perkerasan.

### 2. Hitung beberapa alternatif pola pemasangan dan kedalaman PVD

Alternatif ukuran PVD, pola pemasangan dan kedalaman PVD dihitung berdasarkan data-data yang ada dan asumsi-asumsi lain yang diperlukan.

### 3. Rencanakan tebal perkerasan

Dengan menggunakan data-data yang tersedia dan asumsi-asumsi perencanaan, kemudian dipilih/dihitung type paving stone, tebal pasir perata, tebal base (LPA) dan tebal subbase (LPB).

## 4. HASIL DAN ANALISA

### 4.1 Hasil Penyelidikan Tanah

Dari hasil pengujian tanah di lapangan maupun di laboratorium tanah diklasifikasikan sebagai tanah lempung (CH) dengan tingkat palstisitas tinggi. Dari 9 titik sondir yang dilakukan terlihat bahwa tanah lunak sampai kedalaman 24 meter dengan nilai konus  $\pm 40$  kg/cm<sup>2</sup> dan JHP 2000 kg/cm. Hasil uji Boring yang telah dilakukan di lapangan dapat dilihat pada Tabel 1 & Tabel 2.

**Tabel 1 : BH – 1**

Depth (m)	Deskripsi	Konus	Konsistensi
0.00 – 6.00	Lempung berlanau, abu - abu	1 - 10	Lunak
6.50 – 12.00	Lempung berlanau, abu - abu	10 - 15	Lunak
12.50 – 18.00	Lempung berlanau, abu - abu	15 - 30	Lunak s/d sedang
18.50 – 24.00	Lempung berlanau, abu - abu	30 - 40	Sedang

**Tabel 2 : BH – 2**

Depth (m)	Deskripsi	Konus	Konsistensi
0.00 – 6.00	Lempung berlanau, abu - abu	1 - 10	Lunak
6.50 – 12.00	Lempung berlanau, abu - abu	10 - 20	Lunak
12.50 – 18.00	Lempung berlanau, abu - abu	20 - 25	Lunak s/d sedang
18.50 – 24.00	Lempung berlanau, abu - abu	25 - 30	Sedang

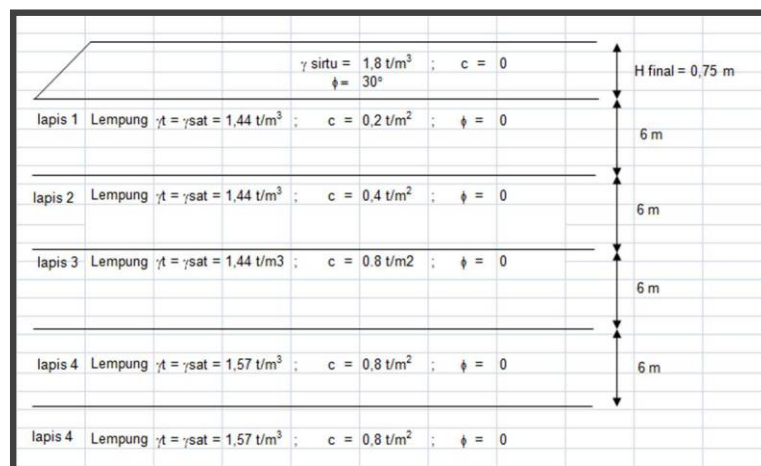
Untuk data titik-titik sondir yang lain secara lengkap dapat dilihat pada lampiran. Untuk mengetahui propertis tanah telah dilakukan uji laboratorium, hasil pengujian laboratorium pada titik bor 1 dan bor 2 seperti terlihat pada Tabel 2.3.

**Tabel 3 : Sifat-sifat Fisis Tanah**

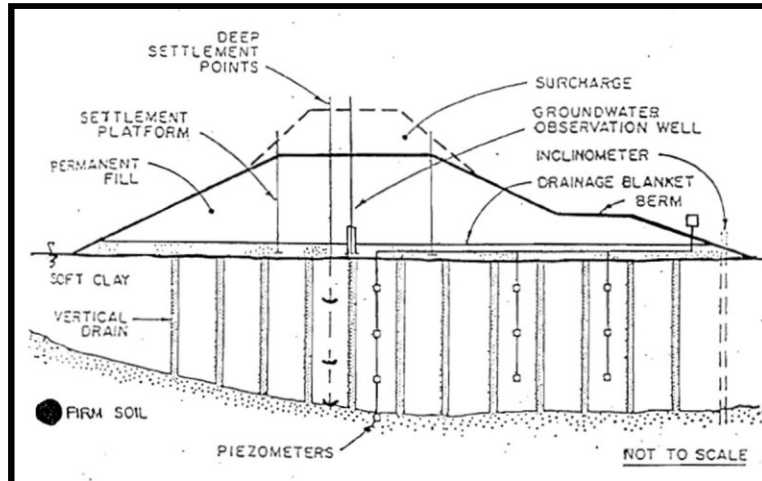
Borehole	Depth (m)	Classf.	$\gamma_t$ t/m <sup>3</sup>	PI
BH-01	1.00 – 1.50	CH	1.58	73
	3.00 – 3.50	CH	1.52	63
	5.00 – 5.50	CH	1.53	36
BH-02	1.00 – 1.50	CH	1.54	31
	3.00 – 3.50	CH	1.55	39
	5.00 – 5.50	CH	1.55	51

#### 4.2 Perhitungan Konsolidasi

**Pemodelan.** Gambar 1, dibawah merupakan gambar model diskripsi tanah dan pemasangan preloading serta vertikal drain. Sedangkan Gambar 2 merupakan contoh pemasangan vertikal drain dibawah timbunan jalan raya.



Gambar 1. Pemodelan Lapisan tanah bawah permukaan dan elevasi akhir urugan dalam perencanaan

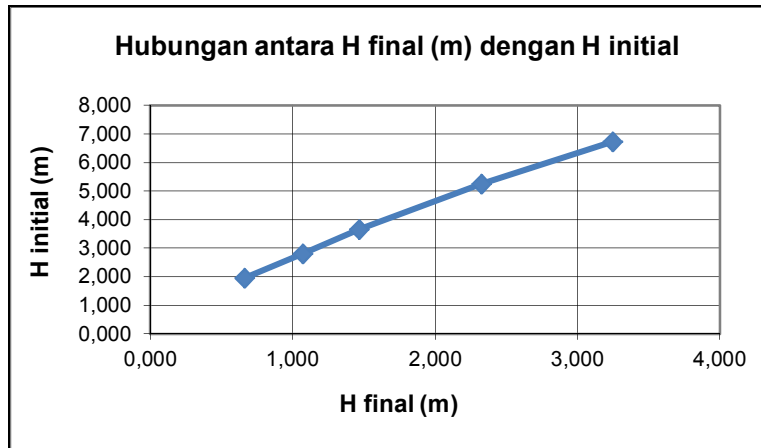


Gambar 2. Pemasangan Vertikal Drain dan Instrumentasi Pengamatan

**Hasil Perhitungan.** Langkah awal perhitungan adalah menghitung besarnya konsolidasi yang terjadi akibat beban timbunan, beban kontainer dan kendaraan yang akan bekerja pada lapangan kontainer. Tabel 4 berikut adalah besarnya penurunan (amplitudo) konsolidasi yang terjadi akibat beban timbunan setinggi 3,4 meter. Dengan cara yang sama dilakukan perhitungan untuk kondisi tinggi timbunan yang lain, sehingga didapatkan hasil seperti terlihat pada gambar 3.

**Tabel 4. Perhitungan Konsolidasi**

No.	Tebal lapisan H (m)	z (m)	$e_0$	Cc	Cs	$\gamma_{sat}$ t/m <sup>3</sup>	$p_0'$ t/m <sup>2</sup>	$p_0'$ t/m <sup>2</sup>	a/z	b/z	l	$\Delta p$ t/m <sup>2</sup>	$\Delta p + p_0'$ t/m <sup>2</sup>	Sc (m)	S <sub>ccum</sub> (m)	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
1	1	0,5	2,76	1,15	0,14	1,440	0,220	1,22	2,00	60,00	0,500	7,00	7,22	0,264	0,264	
2	1	1,5	2,76	1,15	0,14	1,440	0,660	1,66	0,67	20,00	0,500	7,00	7,66	0,218	0,482	
3	1	2,5	2,76	1,15	0,14	1,440	1,100	2,1	0,40	12,00	0,500	7,00	8,10	0,190	0,672	
4	1	3,5	2,76	1,15	0,14	1,420	1,540	2,54	0,29	8,57	0,495	6,93	8,47	0,168	0,840	
5	1	4,5	2,76	1,15	0,14	1,420	1,980	2,98	0,22	6,67	0,492	6,89	8,87	0,151	0,991	
6	1	5,5	2,76	1,15	0,14	1,420	2,420	3,42	0,18	5,45	0,488	6,83	9,25	0,138	1,129	
7	1	6,5	2,63	1,34	0,15	1,440	2,860	3,86	0,15	4,62	0,482	6,75	9,61	0,152	1,281	
8	1	7,5	2,63	1,34	0,15	1,440	3,300	4,3	0,13	4,00	0,480	6,72	10,02	0,140	1,421	
9	1	8,5	2,63	1,34	0,15	1,440	3,740	4,74	0,12	3,53	0,473	6,62	10,36	0,130	1,551	
10	1	9,5	2,63	1,34	0,15	1,460	4,180	5,18	0,11	3,16	0,466	6,52	10,70	0,120	1,671	
11	1	10,5	2,63	1,34	0,15	1,460	4,620	5,62	0,10	2,86	0,463	6,48	11,10	0,113	1,783	
12	1	11,5	2,63	1,34	0,15	1,460	5,060	6,06	0,09	2,61	0,452	6,33	11,39	0,104	1,888	
13	1	12,5	2,43	1,48	0,17	1,660	5,500	6,5	0,08	2,40	0,443	6,20	11,70	0,114	2,002	
14	1	13,5	2,43	1,48	0,17	1,660	5,940	6,94	0,07	2,22	0,440	6,16	12,10	0,108	2,109	
15	1	14,5	2,43	1,48	0,17	1,660	6,380	7,38	0,07	2,07	0,432	6,05	12,43	0,101	2,210	
16	1	15,5	2,43	1,48	0,17	1,570	6,820	7,82	0,06	1,94	0,425	5,95	12,77	0,095	2,305	
17	1	16,5	2,43	1,48	0,17	1,570	7,260	8,26	0,06	1,82	0,413	5,78	13,04	0,088	2,393	
18	1	17,5	2,43	1,48	0,17	1,570	7,700	8,7	0,06	1,71	0,406	5,68	13,38	0,083	2,476	
19	1	18,5	2,12	1,26	0,17	1,590	8,140	9,14	0,05	1,62	0,401	5,61	13,75	0,074	2,551	
20	1	19,5	2,12	1,26	0,17	1,590	8,580	9,58	0,05	1,54	0,391	5,47	14,05	0,070	2,621	
21	1	20,5	2,12	1,26	0,17	1,590	9,020	10,02	0,05	1,46	0,382	5,35	14,37	0,066	2,686	
22	1	21,5	2,12	1,26	0,17	1,570	9,460	10,46	0,05	1,40	0,377	5,28	14,74	0,063	2,749	
23	1	22,5	2,12	1,26	0,17	1,570	9,900	10,9	0,04	1,33	0,368	5,15	15,05	0,059	2,808	
24	1	23,5	2,12	1,26	0,17	1,570	10,340	11,34	0,04	1,28	0,367	5,14	15,48	0,057	2,865	
25	1	24,5	1,98	0,48	0,17	1,570	10,780	11,78	0,04	1,22	0,360	5,04	15,82	0,023	2,887	
26	1	25,5	1,98	0,48	0,17	1,570	11,220	12,22	0,04	1,18	0,358	5,01	16,23	0,022	2,909	
27	1	26,5	1,98	0,48	0,17	1,570	11,660	12,66	0,04	1,13	0,356	4,98	16,64	0,021	2,931	
															<b>Total</b>	2,931



Gambar 3. Grafik hubungan tinggi awal timbunan dan tinggi akhir (*final*) timbunan

Dari gambar 3 terlihat bahwa, dalam perencanaan alternatif kondisi: beban timbunan setinggi 2,8 m (setara beban 3 t/m<sup>2</sup>) akan mengakibatkan konsolidasi sebesar ± 1,73 m, dengan elevasi tinggi akhir timbunan adalah 1 meter.

#### 4.3. Perencanaan PVD

Fungsi utama digunakannya vertikal drain dalam suatu lapisan tanah lempung “compressible” adalah untuk mempercepat proses konsolidasi primer. Konsolidasi primer adalah merupakan peristiwa keluarnya air dari dalam ruang pori tanah sebagai akibat adanya pembebanan mekanik atau lainnya, sehingga mengakibatkan suatu settlement dari lapisan tanah tersebut. Vertikal drain dapat diklasifikasikan menjadi 3 type umum yaitu: sand drain, fabric encased sand drain dan prefabricated vertical (PV) drains. Beberapa contoh dimensi PVD dan pabrik yang memproduksi adalah seperti pada tabel 5.

Tabel 5. Type dan Spesifikasi dan Produsen PVD

Name of PV drain	Width a (mm)	Thickness b (mm)	Weight (g/m)	Free Surface (mm <sup>2</sup> )	Free Volume (mm <sup>3</sup> /mm)	Manufacturer
Alidrain	100	7	150	180	470	Burcan Industries, Canada
Alidrain S	100	4	90	100	250	Burcan Industries, Canada
Amerdrain 307	100	3	93	200	250	American Wick Drain Co, North Carolina
Amerdrain 407	100	3	93	200	250	American Wick Drain Co, North Carolina
Bando drain	96	2,9	70	-	150	Bando Chemical Company, Japan
Castle drain board	96	2,6	90	-	108	Kinjo rubber Co, Japan
Colbond CX-1000	100	3,5	90	-	152	Colbond BV, Holland
Desol	95	2	50	77	146	Soletanche, France
Hitek Flodrain	100	8	90	200	500	-
Mebradrain MD 7007	100	3	92	200	180	Geotechnics Holland, Holland
Sol compact	100	5	98	-	-	Rhone-Poulenc, France
Vynilux	95	4	93	137	-	Vynilux Corp, Tennessee

**Perhitungan Jarak PVD.** Dalam perhitungan kebutuhan vertical drain, yaitu dari data koefisien radial tanah tanah  $C_r$  yang diketahui, ditetapkan terlebih dahulu lamanya proses konsolidasi yang diinginkan ( $t$ ) dan derajat konsolidasi radial ( $U_r$ ) yang diharapkan. Bertitik tolak dari hal tersebut diatas, kita dapat menentukan diameter ( $d$ ) serta jarak vertical drainnya ( $l$  atau  $s$ ). Dalam perencanaan ini dipilih type PVD Alidrain S. Adapun data-data perencanaan dan asumsi yang digunakan adalah:

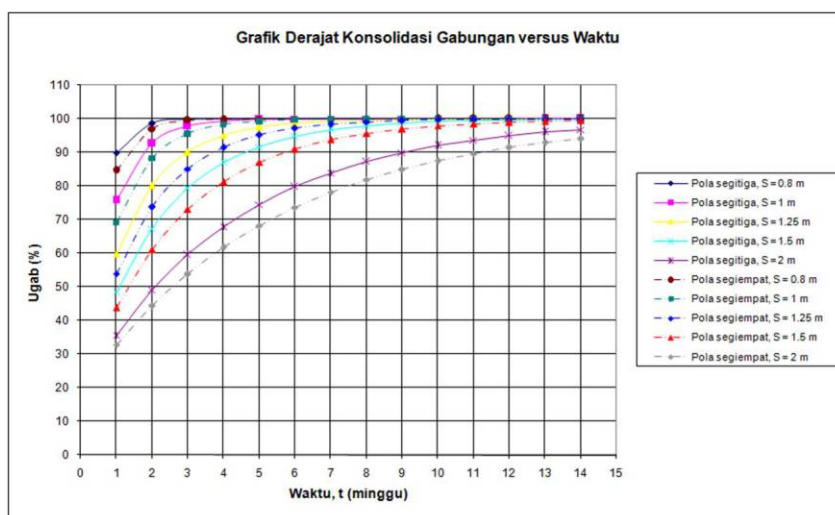
- Type vertical drain: lebar 10 cm, tebal 4 mm, berat 90 g/m.
- Jarak pemasangan: persegi dan segitiga
- Derajat konsolidasi radial > 60 %.

Contoh hasil perhitungan seperti terlihat pada tabel 6, hasil akhir perhitungan seperti terlihat pada gambar 4.



**Tabel 6 Perhitungan Derajat Konsolidasi dengan pola pemasangan PVD Segitiga pada berbagai jarak pemasangan**

No.	t (minggu)	Tv	Uv	Pola segitiga, D = 1,05.S																			
				80				100				125				150				200			
				F(N)	S	Ur	Ugab	F(N)	S	Ur	Ugab	F(N)	S	Ur	Ugab	F(N)	S	Ur	Ugab	F(N)	S	Ur	Ugab
1	1	0,001	0,190	2,032	84	0,876	89,973	2,255	105	0,700	75,723	2,478	131,25	0,504	59,853	2,661	157,5	0,365	48,567	2,948	210	0,206	35,691
2	2	0,001	0,191	2,032	84	0,985	98,760	2,255	105	0,910	92,731	2,478	131,25	0,754	80,120	2,661	157,5	0,596	67,373	2,948	210	0,369	48,992
3	3	0,002	0,193	2,032	84	0,998	99,847	2,255	105	0,973	97,823	2,478	131,25	0,878	90,156	2,661	157,5	0,744	79,302	2,948	210	0,499	59,541
4	4	0,002	0,194	2,032	84	1,000	99,981	2,255	105	0,992	99,348	2,478	131,25	0,940	95,126	2,661	157,5	0,837	86,870	2,948	210	0,602	67,909
5	5	0,003	0,195	2,032	84	1,000	99,998	2,255	105	0,998	99,805	2,478	131,25	0,970	97,586	2,661	157,5	0,897	91,671	2,948	210	0,684	74,546
6	6	0,003	0,196	2,032	84	1,000	100,000	2,255	105	0,999	99,942	2,478	131,25	0,985	98,805	2,661	157,5	0,934	94,716	2,948	210	0,749	79,810
7	7	0,004	0,197	2,032	84	1,000	100,000	2,255	105	1,000	99,983	2,478	131,25	0,993	99,408	2,661	157,5	0,958	96,648	2,948	210	0,801	83,986
8	8	0,004	0,198	2,032	84	1,000	100,000	2,255	105	1,000	99,995	2,478	131,25	0,996	99,707	2,661	157,5	0,973	97,874	2,948	210	0,842	87,298
9	9	0,005	0,199	2,032	84	1,000	100,000	2,255	105	1,000	99,998	2,478	131,25	0,998	99,855	2,661	157,5	0,983	98,651	2,948	210	0,874	89,925
10	10	0,006	0,200	2,032	84	1,000	100,000	2,255	105	1,000	100,000	2,478	131,25	0,999	99,928	2,661	157,5	0,989	99,144	2,948	210	0,9	92,009
11	11	0,006	0,201	2,032	84	1,000	100,000	2,255	105	1,000	100,000	2,478	131,25	1,000	99,964	2,661	157,5	0,993	99,457	2,948	210	0,921	93,661
12	12	0,007	0,202	2,032	84	1,000	100,000	2,255	105	1,000	100,000	2,478	131,25	1,000	99,982	2,661	157,5	0,996	99,656	2,948	210	0,937	94,972
13	13	0,007	0,204	2,032	84	1,000	100,000	2,255	105	1,000	100,000	2,478	131,25	1,000	99,991	2,661	157,5	0,997	99,782	2,948	210	0,95	96,012
14	14	0,008	0,205	2,032	84	1,000	100,000	2,255	105	1,000	100,000	2,478	131,25	1,000	99,996	2,661	157,5	0,998	99,861	2,948	210	0,96	96,837



Gambar 4. Grafik derajat konsolidasi gabungan vs waktu

Dalam perencanaan ini, waktu konsolidasi direncanakan 8 minggu dan derajat konsolidasi 100 %, maka dipilih pola pemasangan PVD pola segiempat, dan jarak antar PVD adalah 1,25 meter dan kedalaman PVD 15 meter.

4.4. Perencanaan Perkerasan

Perkerasan paving blok untuk halaman lapangan kontainer PT. (Persero) Pelabuhan Indonesia III Cabang Banjarmasin direncanakan menggunakan Paving Block Kelas I, setebal 10 cm dengan mutu beton K-450. Kecepatan rencana kendaraan  $\leq 60 \text{ km/jam}$ . CBR tanah dasar diasumsi 9,75% dan beban gandar truck peti kemas MST 9 ton serta Reach stacker MST 30 ton lifting capacity 45 ton. Asumsi-asumsi volume lalu lintas sebagai berikut :

- Truck peti kemas (5.5.5 + 9.9) .....100 kendaraan
- Kendaraan ringan 2 ton ( 1+1).....150 kendaraan
- Reachstacker ( 30 +15 ).....300 kendaraan

Diperoleh hasil perhitungan LEP = 4219,50 ; LEA = 6864,12 ; LET = 5542;

LER untuk umur rencana 10 tahun = 5542, sehingga total ESA selama 10 tahun =

$5542 \times 10 \times 365 = 20.228.300 > 100.000$  dipakai nomogram 1

Sesuai nomogram 1 diperoleh ITP = 11 dan ditetapkan tebal perkerasan sebagai berikut:

- Paving blok K450 tebal 10 cm
- Pasir perata tebal 5 cm
- Agregat A (LPA) tebal 30 cm
- Agregat B (LPB) tebal 20 cm
- Sirtu (Urugan) CBR 10%.

## 5. KESIMPULAN

Dari perhitungan diatas, untuk mengatasi penurunan konsolidasi selama masa konstruksi, maka dilakukan percepatan konsolidasi dengan menggunakan Prefabricated Vertical (PV) Drains, dipilih PVD type Alidrain S, dengan pola pemasangan segi empat dan jarak antar PVD 1,25 meter. Sedangkan untuk perkerasan dipilih paving block sisi bergigi pada keempat bidang sisinya setebal 10 cm dan dipasang mengikuti pola tulang ikan dengan mutu K450. lengkap dengan pasir perata tebal 5 cm, agregat A tebal 30 cm, agregat B tebal 20 cm diatas timbunan sirtu CBR= 9,75 % sebagai tanah dasar.

## 6. DAFTAR PUSTAKA

- Bowles, J.E. (1991). **“Sifat-sifat Fisis dan Geoteknis Tanah”**, Erlangga, Jakarta.
- Das, B.M. (1993). **“Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis)”**, Erlangga, Jakarta.
- Japan-Thailand Joint Study Project on Soft Clay Fpundation (1998). **“Manual for Design and Construction of PVD Method”**, November 2008.
- Laporan Penyelidikan Tanah, Laboratorium Diploma Teknik Sipil ITS Surabaya, Maret 2009.
- Laporan Akhir “ Perhitungan Perkerasan Lapangan Kontainer PT. Pelindo III Banjarmasin” Laboratorium Geoteknik ITS-PT. Rancang Bangun, Mei 2009.
- Saodang, H (2004), **“ Perancangan perkerasan jalan raya”** Penerbit Nova Bandung

**HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN**

# Desain, Sistem Monitoring, dan Unjuk Kerja Metode *Braced Excavation* pada Pekerjaan Galian Dalam (*Deep Excavation*)

Oleh :

Mohamad Khoiri, ST., MT. \*)

\*) Dosen Diploma Teknik Sipil ITS, Surabaya

Email: [mkhoiri@yahoo.com](mailto:mkhoiri@yahoo.com)

## ABSTRAK

Fasilitas kota di bawah tanah selalu dibutuhkan keberadaannya di kota-kota besar didunia baik untuk stasiun, basement, jalan raya dll. Pembuatan fasilitas tersebut selalu memerlukan proses penggalian yang harus dilakukan di areal yang terbatas di tengah2 bangunan perkotaan yang telah ada. Metode *braced excavation* adalah salah satu metode penggalian yang umum dipergunakan pada proses penggalian untuk melindungi bangunan sekitar dari pengaruh proses penggalian.

Desain metode *braced excavation* meliputi *geological investigation*, investigasi bangunan sekitar, penentuan kriteria desain, konfirmasi data, penentuan metode galian, penentuan *auxiliary method*, penentuan kedalaman *retaining wall*, analisa stabilitas, desain layout strut, analisa dewatering, analisa *uplift*, analisa deformasi, *stress analysis*, detail desain *struts system*, dan perencanaan sistem monitoring. Dalam prakteknya banyak teori, hipotesa, metode empiris, analitis, dan software komputer yang telah tersedia untuk perhitungan analisa dan desain penggalian. Sistem monitoring pada pekerjaan galian juga sangat diperlukan karena stabilitas dan unjuk kerja galian harus dipantau selama proses penggalian.

Metode penggalian saat ini juga semakin berkembang pesat, seiring dengan semakin umum dan rutinnya pekerjaan galian di tengah perkotaan.

**Kata Kunci :** Galian dalam (*deep excavation*), *braced excavation*.

## 1. PENGANTAR

Di kota-kota besar diseluruh dunia keberadaan fasilitas bawah tanah (*underground facility*) adalah sudah merupakan kelaziman. Fasilitas tersebut dapat berwujud sebagai tempat parkir mobil, tempat mesin2 utilitas gedung, penyeberangan bawah tanah, stasiun MRT (*Mass Rapid Transit*), stasiun bus, jalan pintas, saluran air, reservoir air dan bahkan pusat perbelanjaan (*mall*). Bangunan tersebut dipilih dibuat terletak di dalam tanah karena didorong oleh alasan teknis seperti keterbatasan lahan perkotaan, tuntutan kebersihan kota, kebutuhan khusus di simpul-simpul jalur lalu-lintas kota atau ditujukan untuk menghindari kebisingan ditengah kota yang diakibatkan oleh mesin utilitas gedung atau moda kereta api/listrik. Alasan ini pada tingkat tertentu lebih dominan dibandingkan dengan kenyataan bahwa biaya konstruksi bangunan bawah tanah adalah relatif mahal, sehingga pada situasi tersebut pembangunannya dapat dinilai layak (*feasible*) walaupun biayanya relatif mahal.

Karena fasilitas tersebut dibangun seiring dengan kemajuan sebuah kota, maka tentunya proses pembangunannya diharuskan seminimal mungkin menimbulkan dampak gangguan pada lingkungannya. Misalnya walau dengan lahan yang cukup terbatas, maka penggalian tanah (*excavation*), sebagai salah satu tahapan konstruksi, tidak diperbolehkan memberikan dampak yg signifikan pada bangunan disekitarnya atau gangguan pada aktifitas masyarakat misalnya kegiatan lalu-lintas jalan raya. Tahap ini adalah tahap yang paling kritis dan berisiko pada proses pembangunan fasilitas bawah. Galian untuk fasilitas bawah tanah ini bisa bervariasi mulai dari 6 sampai 30 meter dari muka tanah atau setara dengan 2 s/d 7 lantai bangunan bawah tanah, sementara bangunan eksisting atau jalan raya yang terletak sejarak 1-2 meter disebelahnya masih harus tetap dapat beroperasi seperti biasanya.

Tulisan ini dimaksudkan untuk memberikan gambaran singkat salah satu metode pelaksanaan untuk galian dalam (*deep excavation*) yang banyak digunakan yaitu metode *braced excavation*. Uraianya meliputi aspek desain, monitoring, dan penilaian unjuk kerja (*performance*) metode *braced excavation* yang ditinjau dari perspektif geoteknik.

Pembahasan mengenai hal ini adalah sangat relevan ditengah kegiatan pembangunan MRT Jakarta yang saat ini sedang dilanjutkan kembali, dan seiring dengan mulai banyaknya gedung yang dibangun dengan basement lebih dari dua lantai di kota Surabaya seperti Bangunan Pasar Atum Baru, Gedung BAPINDO, Gramedia Expo, dan Komplek Ciputra World. Pada masa mendatang, diyakini di kota Surabaya akan semakin banyak variasi jenis dan jumlah fasilitas bawah tanah yang akan dibangun sebagai tuntutan prasarana kota besar.

## 2. GALIAN DALAM (*DEEP EXCAVATION*)

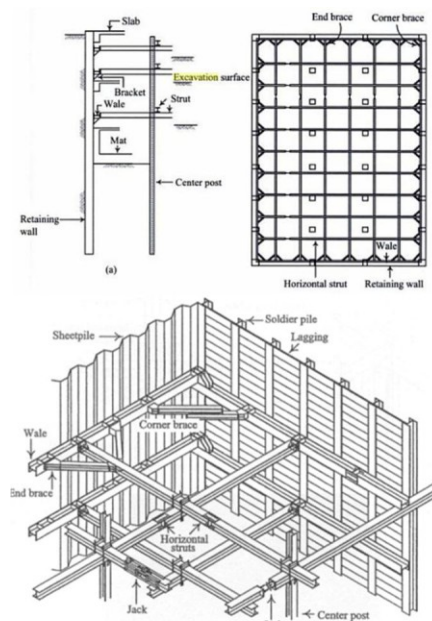
Galian dalam (*deep excavation*) didefinisikan pertama-tama pada tahun 1943 oleh Therzaghi, disebut galian dangkal (*shallow excavation*) bila kedalaman galian (D) lebih kecil dari lebar galian (B), dan bila  $D > B$  maka disebut sebagai galian dalam (*deep excavation*)<sup>[1]</sup>. Pada tahun 1967 dan tahun 1977 definisi tersebut direvisi menjadi; galian dangkal adalah galian dengan kedalaman kurang dari 6 meter dan selebihnya adalah galian dalam<sup>[2],[3]</sup>. Secara umum dapat dikatakan bahwa untuk perencanaan galian dangkal hanya diperlukan analisa yang sederhana dan untuk perencanaan galian dalam diperlukan analisa yang lebih rumit. Pada akhirnya dengan kehadiran komputer, sebagian besar analisa dan perhitungan berkaitan dengan pekerjaan galian tersebut dilakukan oleh program komputer, sehingga saat ini perbedaan galian dalam dan galian dangkal sudah tidak terlalu relevan lagi<sup>[4]</sup>.

Analisa desain galian dalam secara umum adalah melakukan analisa terhadap interaksi antara tanah (*soil*) dan struktur (*retaining wall, struts system*). Sifat mekanis tanah yang spesial seperti ; inelastis, anisotropik, non-linier, dapat mengalami konsolidasi, terpengaruh dengan kadar air dan adanya rangkak (*creep*) berinteraksi dengan struktur penahannya berinteraksi dengan struktur penahan yang elastis dan isotropik. Pada dasarnya analisa desain galian dalam ini adalah mensimulasikan seluruh tahapan penggalian yang direncanakan dan mengkaji konsekuensi yang akan ditimbulkannya yang berupa gaya dan deformasi baik yang terjadi pada tanah maupun struktur penahan<sup>[4]</sup>. Penjelasan lebih rinci seperti yang diuraikan pada seksi nomor 3 dan 4 berikut.

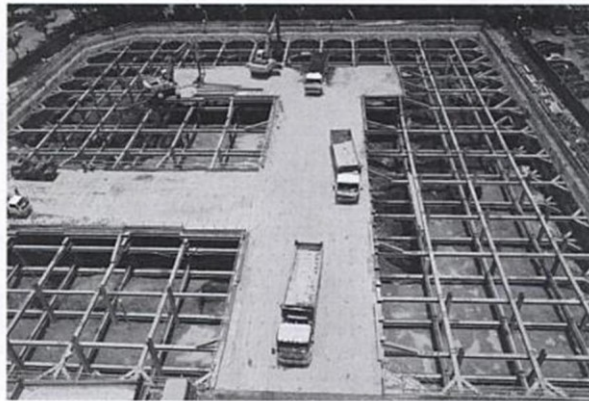
## 3. METODE *BRACED EXCAVATION*

Metode *braced excavation* adalah metode penggalian yang menggunakan struts yang dipasang untuk menahan tekanan tanah yang bekerja pada retaining wall. Gambar 1. berikut menunjukkan sketsa dari profil melintang, layout, dan isometris metode *braced excavation* sedangkan Gambar 2. adalah foto sebuah galian basement yang menggunakan metode tersebut. Komponen *strutting system* termasuk didalamnya terdiri atas horisontal struts, pengaku (*brace*), *wale*, *bracket*, dan *center post*. *Wale* berfungsi untuk menyalurkan tekanan tanah pada retaining wall ke horisontal struts. *Brace* berfungsi untuk menambah titik kontak antara *struts* dan *wale*, sehingga memperkecil panjang tekuk lentur (*flexure*) pada *wale*. Sedangkan *center post* berfungsi untuk menahan horisontal struts dari gaya berat sendirinya.

Pada pekerjaan galian dalam proses pengerjaannya dilakukan secara bertahap, berikut adalah tipikal tahapan untuk metode *braced excavation*; (1) Pemasangan retaining wall dan center post, (2) Penggalian tahap pertama, (3) Pasang wale diatas level permukaan galian, dan pasang strut level pertama yang disertai dengan *pre-load* pada strut sehingga antara sistem strut dan *retaining wall* terjadi kontak yang sempurna, (4) Ulangi tahap '2' dan '3' sampai kedalaman penggalian yang direncanakan, (5) Pembuatan pondasi gedung, (6) Pembongkaran strut paling bawah yang terletak diatas pondasi gedung, (7) Pembuatan slab lantai basement (dari bawah), (8) ulangi tahap '6' dan '7' sampai dengan lantai *ground floor*<sup>[4]</sup>.



Gambar 1. *Braced excavation* ; profil melintang, layout, dan tampak isometri<sup>[4]</sup>.



Gambar 2. Foto lapangan contoh pelaksanaan braced excavation <sup>[4]</sup>.

Tahapan pembuatan bangunan bawah tanah diatas juga sering disebut dengan *bottom-up construction method*, karena urutan pembuatan bangunan utamanya dimulai dari bawah ke atas. Disamping metode tersebut terdapat juga metode yang disebut dengan *top-down construction method*, pada metode ini pembuatan bangunan bawah dimulai dari atas (*ground floor*) ke bawah (*base foundation slab*), dan slab lantai juga difungsikan sebagai struts.

Penggalian yang menggunakan *top-down construction method* umumnya berlangsung relatif lama (beberapa bulan), karena terdapat waktu tunggu untuk mengerasnya beton pada slab lantai disetiap tahapan penggalian. Adanya jeda waktu *retaining wall* berdiri 'tanpa perkuatan strut' selama waktu tunggu pengerasan beton akan menimbulkan adanya deformasi tambahan yang signifikan pada *retaining wall* yang disebabkan oleh rangkai 'creep' pada tanah atau proses konsolidasi terutama pada galian yang berada pada tanah lempung lunak. Hal tersebut tidak akan terjadi bila penggalian dilakukan dengan tahapan *bottom-up construction method*, karena strut baja langsung berfungsi setelah terpasang, dan penggalian tahap berikutnya dapat segera dilakukan. Kecepatan penggalian dengan *bottom-up construction method* ini dapat dilaksanakan hanya beberapa minggu, dengan kecepatan rata-rata penggalian adalah 1-2 minggu per-lantai. Penggunaan strut baja mungkin akan menimbulkan biaya konstruksi tambahan, namun dengan adanya rutinitas pekerjaan galian yang berulang pada proyek lain, maka strut sistem baja ini dapat digunakan secara berulang-ulang ditempat lain dengan hanya memerlukan sedikit perbaikan dan penyesuaian. Dengan demikian biaya tambahan akibat pengadaan strut baja ini nilainya bisa menjadi relatif kecil dan ekonomis.

Struktur *retaining wall* untuk *braced excavation* dapat berupa *soldier piles*, *sheet piles*, *column piles*, dan *diaphragm wall*. *Soldier piles* berupa tiang profil baja WF atau H-beam yang dipancang tegak ber-urutan yang sekaligus dijadikan rel penopang untuk papan kayu yang dipasang diantara tiang tersebut. *Sheet piles* adalah tiang tipis baja yang dirancang khusus mempunyai *interlocking* diantaranya. *Column pile* adalah tiang-tiang beton yang dibuat secara *cast in place (bore pile)* yang di pasang secara berurutan sepanjang garis *retaining wall*, termasuk dalam kategori ini adalah *concrete pile*, *secant pile* (konfigurasi *bore pile* dengan bentuk *secant*), dan *soil mixed wall (bore-pile* menggunakan tanah setempat yang dicampur dengan semen dan diperkuat dengan profil baja). *Diaphragm wall* adalah dinding beton bertulang dengan ketebalan 90-200 cm yang dibuat secara *cast in place* dengan menggunakan alat penggali khusus dan dengan rancangan penulangan dan metode kerja yang didesain khusus pula.

#### 4. DESAIN BRACED EXCAVATION

Analisa dan desain penggalian dimulai dengan investigasi geologi dan investigasi *property* yang terletak disekitar lokasi penggalian. Investigasi tersebut sangat penting karena akan menjadi pertimbangan untuk kriteria desain. Kriteria desain akan sangat menentukan semua perhitungan dan analisa dan hasil akhir dari desain penggalian. Analisa dan desainnya termasuk didalamnya penentuan dimensi *retaining wall*, analisa stabilitas, pertimbangan apakah memerlukan *auxiliary method* (perkuatan dan *soil improvement* tambahan) atau tidak, simulasi tahap dan prosedur penggalian, analisa deformasi dan detail desain serta pengaturan tata letak *monitoring system*. Tabel 1 menunjukkan alur kegiatan analisa dan desain penggalian.



Tabel 1. Alur kegiatan analisa dan desain penggalian

START	
Kegiatan	Keterangan
1 Geological Investigation dan Adjacent property Invest.	
2 Tentukan kriteria desain	<i>lihat syarat2 di Code yang dirujuk</i>
3 Konfirmasi data dgn kondisi excavation site	<i>cek kembali data no '1' dgn kondisi lapangan</i>
4 Tentukan metode penggalian	
5 Tentukan auxiliary method	<i>auxiliary method : soil improvement, dll</i>
6 Tentukan kedalaman retaining wall - Analisa Boiling - Analisa Push-in failure - Analisa Basal heave	
7 Pertimbangkan, apakah cukup ekonomis?	<i>bila 'Ya' lanjut ke no '8', 'Tidak' kembali ke '4'</i>
8 Desain strut layout	
9 Tentukan prosedur penggalian - Analisa dewatering - Analisa uplift	
10 Analisa deformasi	<i>cek retaining wall dan ground settlement</i>
11 Pertimbangkan, apakah telah memenuhi kriteria desain?	<i>bila 'Ya' lanjut ke no '12', 'Tidak' kembali ke '4'</i>
12 Stress analysis pada seluruh komponen struktur	
13 Detail desain strutting system	
14 Pengaturan tata letak monitoring sistem	
END	

### **Geological Investigation**

Pada tahap ini dilakukan penyelidikan tanah dan peninjauan geologi tanah setempat. Bor dalam sangat diperlukan mengingat kedalaman galian yang bisa mencapai 30 meter dari muka tanah. Pengeboran setidaknya harus mencapai tanah keras atau bila tidak dijumpai tanah keras setidaknya lapisan tanah sampai dengan 3 kali kedalaman galian harus diketahui dan diidentifikasi natural properti dan mekanikal propertinya. Informasi kedalaman dan distribusi muka air tanah sangat penting untuk diketahui. Semua investigasi itu membantu desainer untuk dapat mengetahui dan melakukan *engineering judgement* apakah lapisan2 tanah bersifat *undrained* atau *drained*, dua sifat yang sangat menentukan respon tanah terhadap galian. *Engineering judgement* sangat diperlukan karena pada umumnya data tanah hasil soil investigation tidak bisa dilihat langsung apa adanya.

### **Adjacent Property Investigation dan Kriteria Desain**

Investigasi dalam eksisting properti seperti gedung, saluran air, kabel listrik dan telepon, dll dalam radius sejarak 5 kali kedalaman galian rencana dari tepi lokasi penggalian sangat diperlukan. Hal tersebut untuk mengembangkan disain kriteria galian (menentukan batasan penurunan yang diijinkan). Bangunan tua, cagar budaya, atau bangunan umum seperti sekolah, kolam renang, tiang listrik, dll yang sensitif terhadap *differential settlement* perlu di investigasi untuk meminimalisir dari pengaruh dampak galian. Sedangkan besarnya penurunan yang diijinkan untuk sebuah gedung atau fasilitas sangat erat kaitannya dengan tipe pondasi, material bangunan, tipe struktur dan usia bangunan.

### **Konfirmasi Data dgn Kondisi Excavation Site**

Adalah sangat penting untuk mengetahui informasi tentang riwayat (*case history*) pekerjaan penggalian sejenis yang telah pernah ada disekitar lokasi. Walaupun telah memiliki data investigasi primer, informasi *case history* masih sangat bernilai, karena setara dengan data eksperimen dengan skala penuh di lokasi yang sama. Pengambilan keputusan untuk penentuan tipe *retaining wall* dan metode penggalian akan sangat terbantu dengan adanya informasi tersebut.

### **Metode Penggalian**

Pada pekerjaan galian dalam, metode penggalian yang menjadi pilihan adalah ; (1) *full open cut*, (2) *braced excavation*, (3) *anchored excavation*, (4) *island excavation*, (5) *zoned excavation*. Metode *full open cut* adalah penggalian seluruh area tanpa menggunakan strut penahan, baik yang dilakukan dengan cara membentuk dinding galian dengan kemiringan tertentu (metode *slope open cut*) maupun dengan sistem *cantilever retaining wall* (metode *cantilevered open cut*). *Braced excavation* memakai strut untuk menahan tekanan tanah, sedangkan *anchored excavation* menggunakan *ground anchor*. *Island excavation* umumnya digunakan untuk penggalian dengan area galian yang cukup luas, sehingga galian bisa dilakukan di bagian

tengah terlebih dahulu sekaligus struktur gedung nya diselesaikan, sementara di bagian tepi tidak digali karena difungsikan sebagai *counterfort* untuk menahan *retaining wall*. Bagian tepi tersebut baru digali setelah bangunan di bagian dalam selesai, dengan dipasang strut penahan diantara *retaining wall* dan bangunan yang telah diselesaikan tersebut. *Zoned excavation* adalah penggalian dilakukan dalam beberapa *zone* untuk memperkecil deformasi, umumnya dilakukan untuk areal penggalian yang cukup luas.

**Auxiliary method**

Karena tanah yang terlalu lunak, atau kondisi bangunan sekitar lokasi penggalian yang terlalu rapuh (bangunan tua), terkadang sangat sulit untuk memenuhi kriteria desain, maka dari itu *auxiliary method* mungkin diperlukan untuk mencapainya. *Auxiliary method* adalah tindakan tambahan untuk meningkatkan unjuk kerja penggalian, misalnya ; metode *soil improvement, counterfort, cross wall, micropiles, dan underpinning*, dll.

**Analisa Boiling**

*Sand boiling* adalah fenomena saat tegangan efektif tanah sama dengan nol yang disebabkan oleh tekanan air pori tanah. Angka keamanan (SF) terhadap *sand boiling* dapat dihitung dengan persamaan 1 atau 2 berikut :

$$SF = \frac{i_{cr}}{i_{max}}, \text{ dimana } i_{cr} = \frac{\gamma'}{\gamma_w} \text{ dan } i_{max} = \frac{\Delta h}{\Delta l} \text{ [5]} \tag{1}$$

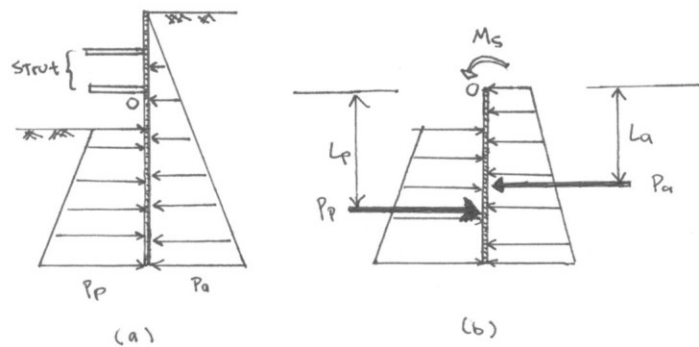
$$SF = \frac{W'+Q}{U}, \text{ dimana } U = \text{volume soil block } x (i_{avg} \cdot \gamma_w) \text{ [6]} \tag{2}$$

Gradien hidrolik saat tegangan efektif tanah sama dengan nol disebut dengan gradien hidrolik kritis,  $i_{cr}$ . Dan gradien hidrolik maksimum,  $i_{max}$ , yang terjadi adalah perbandingan dari perbedaan head pressure,  $\Delta h$ , dengan dengan panjang alirnya,  $\Delta l$ . Gradien hidrolik maksimum yang ditinjau adalah pada dasar galian, di daerah exit *seepage*. Perhitungan *seepage* dapat menggunakan dua macam cara, yaitu cara diagram *flow-net* atau menggunakan cara yang lebih sederhana yaitu dengan metode *one-dimensional seepage*.  $W'$  adalah berat efektif *soil block* dan  $Q$  adalah berat material penyaring (bila ada). Angka keamanan untuk persamaan di atas setidaknya harus mencapai 1.5 [7],[8].

**Analisa Push-In Failure**

Analisa *push-in failure* adalah analisa kesetimbangan momen yang diakibatkan oleh tekanan tanah aktif di sisi luar galian sebagai penyebab momen penggerak (*driving moment, Md*), dan tekanan tanah pasif disisi dalam galian sebagai penyebab momen penahan (*resistant moment, Mr*). Titik pusat momen (O point) yang dijadikan acuan adalah titik kontak strut paling dekat dengan dasar galian. Ciri dari keruntuhan *push-in* ini adalah terjadinya 'kick-out' pada ujung bawah *retaining wall*, ciri keruntuhan ini umumnya terjadi pada tanah berpasir. Menggunakan persamaan 3, angka kermanan terhadap push-in ( $F_p$ ) harus mencapai 1.5 [7],[8], meski demikian bila *bending moment* ijin dari *retaining wall* ( $M_s$ ), diasumsikan = 0, maka  $F_p = 1.2$  masih dapat digunakan [4].

$$F_p = \frac{M_r}{M_d} = \frac{P_p \cdot L_p + M_s}{P_a \cdot L_a} \tag{3}$$



Gambar 3. Sketsa analisa *push-in failure*  
(a) distribusi total tekanan tanah dan (b) *free body* - kesetimbangan gaya *retaining wall*



### Analisa Basal Heave

Analisa *basal heave* ini diaplikasikan pada tanah lempung atau berlempung, dimana kohesi tanah adalah dominan proporsinya dibanding friksi antar butir pada kuat geser tanah. Fenomena *basal heave* adalah terjadinya pengangkatan ke atas (*heaving*) pada dasar galian. Terdapat empat metode untuk perhitungan *basal heave* ini. Yaitu; (1) *metode bearing capacity*, (2) *metode negative bearing capacity*, (3) metode Bjerrum dan Eide's, serta (4) *metode slip circle*. Perhitungan angka keamanan terhadap basal heave,  $F_b$ , untuk keempat metode diatas seperti pada persamaan 4 s/d 7. Secara umum, angka kewanaman terhadap *basal heave* ( $F_b$ ) harus lebih besar atau sama dengan 1.5 [7], [8].

Metode *bearing capacity*,

$$F_b = \frac{Q_u}{W - S_{u_1} \cdot H_e}, \text{ dimana } Q_u = 5.7 S_{u_2} \quad (4)$$

Metode *negative bearing capacity*,

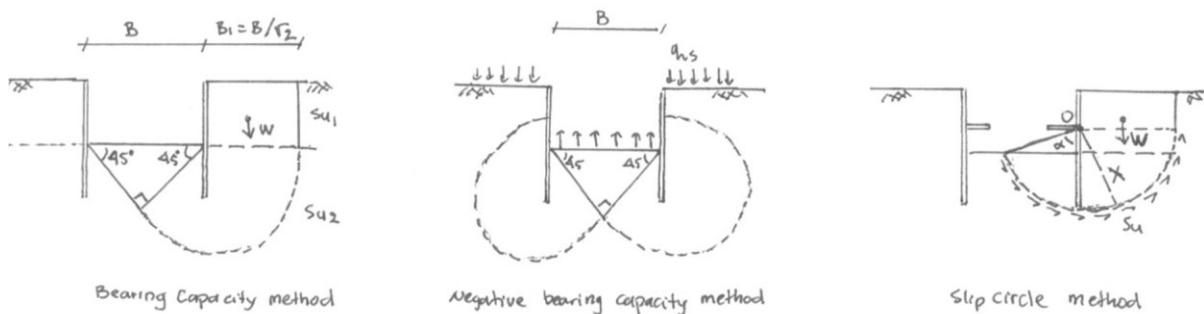
$$F_b = \frac{N_c \cdot S_u}{\gamma \cdot H_e + q_s}, \text{ dimana } N_c = \text{faktor daya dukung} \quad (5)$$

Metode Bjerrum dan Eide's,

$$F_b = S_{u_1} \cdot N_{c,s} \cdot f_d \cdot f_s, \text{ dimana } N_{c,s} = \text{faktor daya dukung}; f_d \cdot f_s = \text{faktor bentuk dan rasio} \quad (6)$$

Metode *slip circle*,

$$F_p = \frac{M_r}{M_d} = \frac{x \cdot \left(\frac{\pi}{2} + \alpha\right) \cdot X \cdot S_u}{W \cdot \frac{x}{2}}, \text{ dimana } \left(\frac{\pi}{2} + \alpha\right) \text{ dinyatakan dalam radian} \quad (7)$$



Gambar 4. Sketsa analisa *basal heave* untuk beberapa metode

### Analisa Stabilitas dengan Metode Numerik

Seiring dengan perkembangan metode numerik dalam perangkat lunak komputasi geoteknik, analisa stabilitas atau angka keamanan (FS) dapat juga dilakukan secara numerik, dengan menggunakan prinsip perhitungan yang berbeda seperti ditunjukkan pada persamaan 8. Proses iterasi dengan menggunakan algoritma tertentu pada model numerik diperlukan untuk mendapatkan FS dengan persamaan tersebut [9], [10], [11], [12]. Namun penggunaan metode numerik untuk perhitungan angka keamanan terhadap stabilitas penggalian dengan metode *braced excavation* masih belum menjadi kebiasaan umum para desainer, dan standarisasi penggunaannya sampai saat ini masih terus dikembangkan agar dapat digunakan secara umum. Karena selain algoritma dan proses iterasi, hasil akhir perhitungan SF dengan menggunakan metode numerik ini juga dipengaruhi oleh geometri model numerik, *constitutive soil model*, dan kriteria keruntuhannya (*failure criteria*).

$$SF = \frac{\text{Original Soil Strength}}{\text{Soil Strength at failure}} \quad (8)$$

### Desain Layout Strut

Analisa stabilitas diatas menentukan kedalaman *retaining wall* yang diperlukan. Untuk menentukan layout strut, seperti jarak horisontal dan jarak vertikal antar strut, maka perlu di selaraskan dengan tahapan penggalian, rencana level slab lantai dan denah rencana bangunan. Perlu dipertimbangkan pula prosedur

pemasangan dan pembongkaran, dan pengangkutan selama proses penggalian dan pembuatan konstruksi bangunan bawah tanahnya.

### Analisa Dewatering

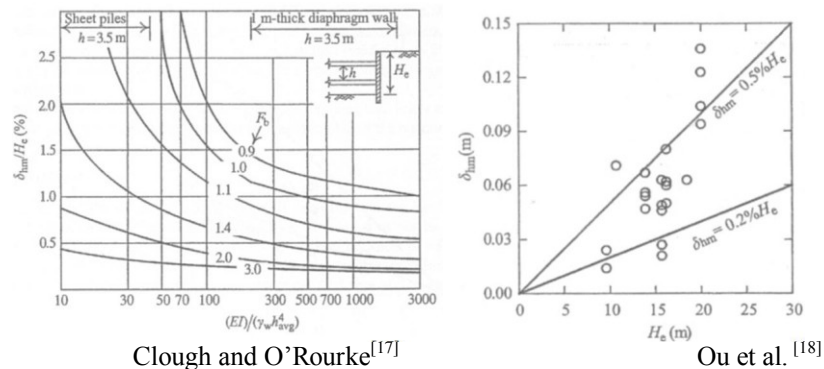
Analisa *dewatering* diperlukan untuk menjaga agar selama proses penggalian dasar galian harus tetap kering, sehingga memungkinkan pekerja dan alat-alat penggalian dapat bekerja didalam areal galian. Perhitungan ini menyangkut metode *dewatering*, perhitungan mesin pompa air yang diperlukan, serta memperkirakan besarnya dampak penurunan muka air disekitar area galian. Perhitungan untuk kasus *confined aquifer* dapat menggunakan persamaan Theis dan Jacob's<sup>[13],[14]</sup> dengan persamaan *non-equilibriumnya*, atau persamaan Thiem's<sup>[15]</sup> dengan persamaan *equilibrium*. Untuk kasus *free aquifer*, jika penurunan muka air tanah ( $s$ ) diperkirakan sangat kecil dibandingkan dengan ketebalan *aquifernya* ( $D$ ), ( $s \ll D$ ), maka persamaan *non-equilibrium* Theis dan Jacob's masih bisa dipergunakan. Bila tidak, maka dapat digunakan persamaan *equilibrium* Dupit-Thiem's<sup>[15],[16]</sup>.

### Analisa Uplift

Untuk galian yang cukup dalam, pada tanah berpasir dengan permeabilitas ( $k$ ) yang tinggi, maka tekanan air tanah dibawah dasar galian cukup besar. Dalam hal ini perlu dilakukan analisa kesetimbangan gaya *uplift* yang dapat mengakibatkan terangkatnya bangunan bawah dan tanah yang terletak diantara dasar galian dan ujung bawah *retaining wall* selama masa konstruksi. Untuk analisa ini kita juga harus memberi perhatian pada *layer-layer* jenis tanah yang ada di daerah tersebut. Peningkatan kedalaman penetrasi *retaining wall* ke dalam tanah adalah salah satu tindakan yang dapat diambil untuk memperkecil tekanan *uplift* tersebut.

### Deformation analysis

Tujuan dari analisa deformasi ini adalah untuk penilaian kinerja dari sistem struktur penahan galian, karena deformasi yang terjadi harus memenuhi kriteria desain yang telah ditetapkan. Karakteristik deformasi *retaining wall* pada pekerjaan galian adalah merupakan fungsi dari ketidak-seimbangan gaya (*unbalance force*), kekakuan *retaining wall* dan sistem strut, dan stabilitas galian. Ketidak-seimbangan gaya merupakan fungsi dari kedalaman galian ( $H_e$ ) dan lebar area galian ( $B$ ). Kekakuan *retaining wall* dan sistem strut merupakan fungsi dimensi dan jarak pemasangan. Sedangkan stabilitas galian merupakan fungsi dari kedalaman penetrasi *retaining wall* ( $H_p$ ) dan parameter tanah. Gambar 5. menunjukkan karakteristik hubungan antara maksimum defleksi horisontal maksimum *retaining wall* dengan parameter-parameter tersebut diatas dengan pendekatan empiris.



Gambar 5. Hubungan antara defleksi horisontal maksimum ( $\delta_{hm}$ ) dengan kedalaman galian ( $H_e$ ), Kekakuan *retaining wall* dan sistem strut, dan angka keamanan (stabilitas galian).

Pendekatan *beam on elastic foundation method* dapat digunakan untuk melakukan analisa deformasi ini. Sifat elastis tanah pada metode ini dinyatakan dengan konstanta pegas ( $k_s$ ) yang merupakan rasio antara pressure dan *displacement* pada tanah. Analisa defleksi diperoleh dari interaksi antara pegas dan tekanan tanah aktif dan pasif sehingga diperoleh defleksi akhir yang dalam keadaan seimbang (*equilibrium state*). Program komputer komersial yang menggunakan prinsip ini misalnya program RIDO. Sebuah perangkat lunak yang cukup simple dengan pendekatan *beam on elastic foundation* 1 D (1 dimensi). Saat ini telah tersedia pula perangkat lunak 2D dan 3D *beam on elastic foundation*.

Pendekatan *finite element method* (FEM) saat ini adalah yang paling luas dan populer penggunaannya baik 2D FEM maupun 3D FEM, karena seiring dengan peningkatan kemampuan komputer. Beberapa contoh

perangkat lunak yang tersedia seperti PLAXIS, MIDAS, ABAQUS, dan FLAC. Perkembangan perangkat lunak tersebut saat ini sangat pesat, baik dari sisi *user interface*, interaksi data antar *software* terkait, *soil constitutive model*, sistem komputasi, maupun analisa *outputnya*.

### Ground Settlement

Secara umum *ground settlement* (deformasi vertikal) disekitar area galian dapat dikatakan sebagai fungsi dari deformasi horisontal yang terjadi pada *retaining wall*. Besarnya *ground settlement* maksimum adalah 0.5 s/d 0.75 kali dari nilai deformasi maksimum deformasi horisontal *retaining wall*, tergantung dengan jenis tanahnya [18]. *Ground settlement* yang terjadi harus memenuhi kriteria desain agar penggalian tidak memberikan efek yang signifikan pada gedung disekitarnya. Gambar 6 salah satu contoh *warning index* yang dapat dijadikan acuan sebagai kriteria disain untuk pekerjaan penggalian.

Pendekatan dengan perangkat lunak berbasis FEM umum digunakan untuk kalkulasi ini. Teknik empiris juga telah dikembangkan dan tetap memegang peranan yang penting sebagai kontrol atas hasil FEM, yang bersifat *garbage-in garbage-out*, dan juga berguna untuk menilai *preformance* deformasi aktual dilapangan. Besar dan distribusi *ground settlement* secara empiris telah dikembangkan oleh Peck (1969), Bowles (1986), Clough & O' Rourke (1990) dan Ou and Hsieh (2000) [19], [20], [17], [18]. Pada pendekatan empiris, besar dan distribusi *ground settlement* di sekitar areal galian dipengaruhi oleh kedalaman galian (He), kedalaman lapisan *gravel* (lapisan keras), ketebalan lapisan lempung, dan lebar galian (B). Adapun pada pendekatan FEM, hal tersebut sangat dipengaruhi oleh parameter tanah, dimensi model numerik, *meshing*, dan *soil constitutive model*.

《Technical code for excavation engineering》 (Shanghai,DG/TJ08-61-2010)

Environment protection grade	Maximum lateral displacement of retaining wall	Maximum ground settlement
I	0.18%H	0.15%H
II	0.3%H	0.25%H
III	0.7%H	0.55%H

H is the excavation depth (m).

《Code for design of building foundation》

多层和高层建筑的整体倾斜 globe inclination of high-rise building	
$H_g \leq 24$	0.004
$24 < H_g \leq 60$	0.003
$60 < H_g \leq 100$	0.0025
$H_g > 100$	0.002
Average settlement of high-rise building (mm)	200
高耸结构基础的倾斜 globe inclination of towering building	
$H_g \leq 20$	0.008
$20 < H_g \leq 50$	0.006
$50 < H_g \leq 100$	0.005
$100 < H_g \leq 150$	0.004
$150 < H_g \leq 200$	0.003
$200 < H_g \leq 250$	0.002
settlement of towering building (mm)	
$H_g \leq 100$	400
$100 < H_g \leq 200$	300
$200 < H_g \leq 250$	200

H<sub>g</sub> is height of building from top to ground

(a)

(b)

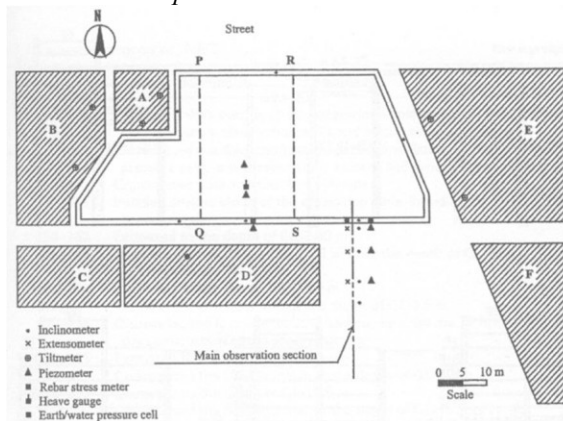
Gambar 6. *Warning index* untuk pekerjaan galian, (a) untuk *retaining wall*. (b) untuk gedung di sekitar galian<sup>[21]</sup>.

### Analisa Stress dan Detail Desain *Strutting System*

Analisis stress diperlukan untuk data detail disain dari semua dimensi, sambungan, dan penulangan struktur. Analisa stress mencakup perhitungan gaya aksial, gaya geser, dan *bending moment* pada strut, *bracing*, *wale*, serta *retaining wall*. Semua *stress* yang terjadi harus disimulasikan untuk seluruh tahapan penggalian. Metode empiris, semi-empiris, *beam on elastic foundation*, serta FEM dapat digunakan untuk perhitungannya. Penentuan dimensi dan detail sambungan tergantung pada *code* dan database standard profil material yang dianut masing-masing negara.

## 5. SISTEM MONITORING

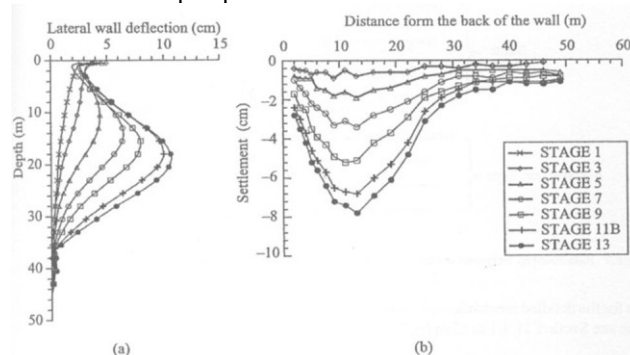
Investigasi geologi, penyelidikan tanah, analisa dan desain yang cukup teliti, pemahaman banyak teori dan hipotesa yang baik, mampu menutupi ketidakpastian yang umum terdapat pada permasalahan galian ini. Namun demikian, sistem monitoring harus juga terpasang selama proses penggalian. Sistem ini akan memberikan informasi perubahan stress dan deformasi yang terjadi pada struktur secara langsung yang diakibatkan oleh proses penggalian. Dengan demikian desainer dapat terus mengevaluasi angka keamanan proses penggalian setiap saat. Untuk galian dengan skala yang luas, maka ketidakpastian kondisi tanah akan meningkat, maka penggunaan sistem monitoring menjadi sangat penting dan sifatnya wajib. Sistem monitoring tersebut terdiri dari *Inclinometer*, *extensometer*, *tiltmeter*, *piezometer*, *rebar stress meter*, *heave gauge*, *ground settlement observation* dan *earth/water pressure cell*.



Gambar 7. Contoh layout pemasangan sistem monitoring pada penggalian Taipei National Enterprise Center [4].

## 6. PENILAIAN UNJUK KERJA

Unjuk kerja sebuah pekerjaan galian dalam, dapat dinilai dari data monitoring sistem. Data tersebut diambil berdasarkan waktu, dan saat terjadi peralihan tahap pekerjaan. Gambar 8 menunjukkan contoh deformasi horisontal *retaining wall* dan *ground settlement* pada setiap tahapan penggalian. Dengan demikian dapat diketahui *trend* unjuk kerjanya pada tahap tahap awal, dari data awal tersebut dapat diprediksi unjuk kerja pada tahap berikutnya, sehingga dapat direncanakan tindakan perbaikan apabila diperlukan agar penggalian tahap berikutnya masih aman dan tetap dapat memenuhi kriteria desain.

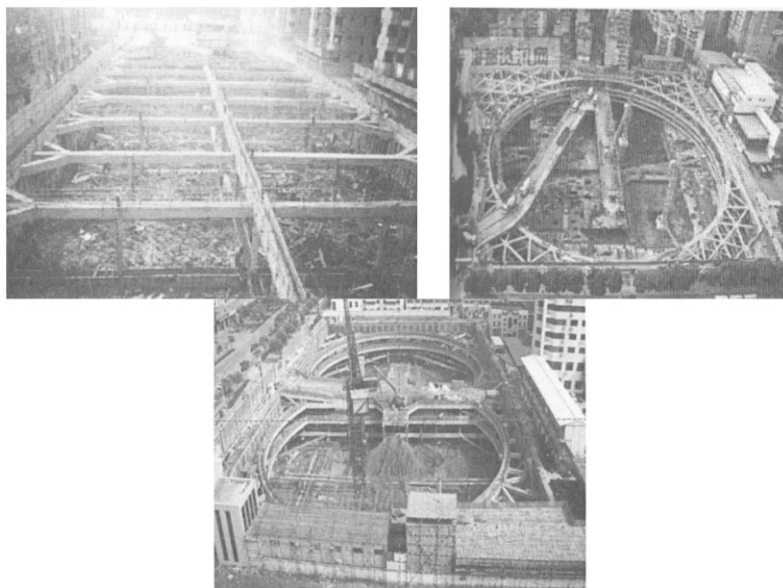


Gambar 8. Contoh *lateral wall deflection* dan *ground settlement profile* untuk setiap tahap penggalian pada Taipei National Enterprise Center [4].

## 7. PERKEMBANGAN DAN INOVASI TERKINI

Dengan semakin banyaknya pekerjaan galian, pembiayaan proyek yang dituntut semakin ekonomis, dan variasi kriteria desain, maka variasi inovasi metode *braced excavation* juga semakin berkembang. Perkembangan meliputi variasi penggunaan material strut, metode urutan penggalian, dan inovasi tata letak

dan desain layout strut. Gambar 9 menampilkan contoh *braced excavation* yang menggunakan material beton bertulang pada *struts system* pada lapis-lapis awal, dan dikombinasikan dengan mengadopsi efek bentuk busur pada *struts system*nya.



Gambar 9. Perkembangan metode *braced excavation*, *reinforced concrete braced excavation*, *circle reinforced concrete braced excavation*, dan *braced balanced excavation* <sup>[21]</sup>.

## 8. RINGKASAN DAN PENUTUP

Metode *braced excavation* adalah salah satu metode penggalian yang umum dipergunakan pada proses penggalian untuk melindungi bangunan sekitar dari pengaruh proses penggalian di daerah perkotaan. Desain metode *braced excavation* meliputi *geological investigation*, investigasi bangunan sekitar, penentuan kriteria desain, konfirmasi data, penentuan metode galian, penentuan *auxiliary method*, penentuan kedalaman *retaining wall*, analisa stabilitas, desain layout strut, analisa dewatering, analisa *uplift*, analisa deformasi, *stress analysis*, detail desain *struts system*, dan perencanaan sistem monitoring. Metode analisa, desain, dan pelaksanaannya terus berkembang pesat seiring tuntutan kriteria disain. Tren ini diyakini penulis juga akan terjadi pada kota-kota besar di Indonesia pada masa mendatang seperti di kota Jakarta dan Surabaya. Untuk itu penting bagi para desainer dan para pelaku dibidang konstruksi untuk mendapatkan pengetahuan, pemahaman, dan pengalaman, pada teknologi *braced excavation* ini.

## REFERENSI

- [1] Terzaghi, K., *Theoretical Soil Mechanics*, John Wiley & Sons, New York, 1943.
- [2] Terzaghi, K. and Peck, R.B., *Soil Mechanics in Engineering Practice*, John Wiley & Sons, New York, 1967.
- [3] Peck, R. B. Hanson, W.E., and Thornburn, T. H., *Foundation Engineering*, John Wiley & Sons, New York, 1977.
- [4] Ou, C.Y., *Deep Exacavation*, Taylor & Francis, London, 2006.
- [5] Harza, L. F., *Uplift and Seepage*, McGraw-Hill Book Company, New York, 1962, pp.26, 125.
- [6] Terzaghi, Der Grundgrunch on Stauwerken un Seine Verhutung, Die Wasserkraft, vol. 17, pp. 445-449, 1922, dicetak ulang pada *From Theory to Practice in Soil Mechanics*, John Wiley & Sons, New York, 1961, pp. 146-148,.
- [7] JSA, *Guidelines of Design and Construction of Deep Excavations*, Japanese Society of Architecture, 1988.
- [8] TGS, *Design Specifications for the Foundation of the Building*, Taiwanese Geotechnical Society, 2001.

- [9] Goh, A. T. C., Assessment of Basal Heave Stability for Braced Excavation Systems Using The Finite Element Method, *Jurnal Computers and Geotechnics*, Elsevier Science Publishers Ltd, England, 1991.
- [10] Goh, A. T. C., Estimating Basal-Heave Stability for Braced Excavations in Soft Clay, *Journal of Geotechnical Engineering*, Vol. 120, No. 8, August 1994, pp. 1430-1436.
- [11] Faheem, H., Cai, F., and Ugai, K., Three-Dimensional Base Stability of Rectangular Excavations in Soft Soils using FEM, *Jurnal Computers and Geotechnics*, Volume 31, Issue 2, March 2004, Pages 67-74, Elsevier Science Publishers Ltd, England.
- [12] Cai, F., Ugai, K. and Hagiwara T., Base Stability of Circular Excavations in Soft Clay, *Jurnal Geotechnics and Geoenvironmental Engineering*, Volume 128, 2002, ASCE.
- [13] Theis, C. V., The Relation Between The Lowering of The Piezometric Surface and The Rate and Discharge of A Well Using Ground Water Storage, *Transactions of The American Geophysical Union 16<sup>th</sup> Annual Meeting*, 1935.
- [14] Jacob, C.E., On The Flow of Water in An Elastic Artesian Aquifer, *Transaction, American Geophysical Union*, 1940, pp. 574-586.
- [15] Dupuit, J., Etudes Theoretiques et Pratiques sur le Mouvement des eaux, 1863.
- [16] Thiem, G., Hydrologische Methoden, JM Gephardt, Leipzig., 1906.
- [17] Clough, G. W., dan O'Rourke, Construction-Induced Movements of In Situ Walls, Design and Performance of Earth Retaining Structures, *ASCE Special Publication*, 1990, No. 25, pp. 439-470.
- [18] Ou, C.Y., Hsieh, P.G., dan Chiou, D.C., Characteristics of Ground Surface Settlement During Excavation, *Canadian Geotechnical Journal*, 1993, Vol. 30, pp. 758-767.
- [19] Peck, Advantages and Limitations of The Observational Method in Applied Soil Mechanics, *Geotechnique*, 1969, Vol. 19, No. 2, pp. 171-187.
- [20] Bowles, J.E., Foundation Analysis and Design, 4<sup>th</sup> Ed., 1988, McGraw-Hill Book Company, New York, USA.
- [21] Ding, W., Supporting System and Environmental Safety Control Technology of Super Large and Deep Foundation Pit in Soft Ground, 2010, 2010 International Symposium on Urban Geotechnical Engineering, National Taiwan University of Science and Technology (Taiwan Tech).

**HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN**

# KAJIAN PENGARUH PENGEMBANGAN (*SWELLING*) PADA *SUBGRADE* DARI TANAH LEMPUNG BERPLASTISITAS TINGGI TERHADAP KERUSAKAN LAPISAN PERKERASAN JALAN

**Syahril, B.Sc.(Eng.), M.T.**  
Mahasiswa Program S-3  
Program Studi Teknik Sipil  
Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan  
Institut Teknologi Bandung  
Jl. Ganesa No.10 Bandung  
Telp: (022)2502350, Fax: (022) 2502350  
[syahril\\_polban@yahoo.com](mailto:syahril_polban@yahoo.com)

**Prof. Dr. Ir. Bambang Sugeng Subagio, DEA**  
Staf Pengajar Sekolah Pascasarjana  
Program Studi Teknik Sipil  
Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan  
Institut Teknologi Bandung  
Jl. Ganesa No.10 Bandung  
Telp: (022) 2502350, Fax: (022) 2502350  
[bsugengs@si.itb.ac.id](mailto:bsugengs@si.itb.ac.id)

**Dr. Ir. Ilyas Suratman, CES., DEA**  
Staf Pengajar Sekolah Pascasarjana  
Program Studi Teknik Sipil  
Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan  
Institut Teknologi Bandung  
Jl. Ganesa No.10 Bandung  
Telp: (022)2502350, Fax: (022) 2502350  
[ilyas\\_su@si.itb.ac.id](mailto:ilyas_su@si.itb.ac.id)

**Dr. Ir. Siegfried, M.Sc.**  
Peneliti Senior  
Pusat Penelitian dan Pengembangan  
Jalan dan Jembatan  
Departemen Pekerjaan Umum  
Jl. A.H. Nasution No. 264 Bandung  
Telp: (022) 7802251, Fax: (022) 7802726  
[siegfried2001id@yahoo.com](mailto:siegfried2001id@yahoo.com)

## ABSTRACT

In a pavement of road construction, soil is an important part which has a function as a roadbed and it also has to have an ability to bear the traffic load that work on it. The strength, swelling plasticity, and bearing capacity of a subgrade will be the most important thing to be considered in the pavement of road construction. A high plasticity clay which is used as a subgrade is generally has a low capability of bearing capacity. If the bearing capacity of subgrade is very poor or less than a permissible limit, it has to change with another good soil or it has to be improved. The improvement of the bearing capacity of the clay can be done by using many methods.

Subgrades can be composed of a wide range of materials. In order to have a high quality of soil subgrades, an optimum process of soil improvement could be done for the high plasticity clay which has a poor bearing capacity as a subgrade. This research discusses a few of the aspects of subgrade materials and properties that make them undesirable and the typical tests used to characterize subgrades. In this case, the process will be considered on the strength and swelling of the high plasticity soft soil (clay). The laboratory process will investigate the physical and mechanical of the soil properties, that is the plasticity characteristics and the swelling influences of the clay for the subgrade of road pavement that causes the damages of the pavement.

**Keywords:** *subgrade, bearing capacity, strength, swelling, road pavement.*

## 1. PENDAHULUAN

Tanah yang berfungsi sebagai lapis pondasi dasar (*subgrade*) merupakan elemen yang sangat penting dalam suatu pekerjaan konstruksi jalan, dimana daya dukung tanah merupakan unsur utama dalam pembangunan konstruksi jalan tersebut. Tanah sebagai tempat berdirinya suatu konstruksi harus mampu menahan beban yang bekerja di atasnya karena tanah merupakan landasan yang menerima dan menahan beban-beban yang bekerja di atasnya. Sebagai landasan, tanah harus mempunyai daya dukung yang baik untuk mendukung beban konstruksi di atasnya. Oleh karena itu sebelum dilaksanakan pekerjaan pembangunan harus diketahui terlebih dahulu daya dukungnya.

Masalah - masalah yang sering timbul dalam pelaksanaan pekerjaan jalan, baik pembuatan lapisan perkerasan lentur maupun perkerasan kaku, adalah tidak selalu ditemuinya tanah dasar dengan daya dukung yang



memadai. Untuk itu diperlukan lapisan pondasi yang cukup tebal. Seringkali timbul masalah baru yaitu material yang ada di lokasi tidak tersedia dalam jumlah yang cukup memadai dan minimnya dana untuk mendatangkannya dari tempat yang relatif jauh.

Pemilihan jenis tanah yang dapat dijadikan tanah dasar melalui penyelidikan tanah menjadi penting karena tanah dasar akan sangat menentukan tebal lapis perkerasan di atasnya, sifat fisik perkerasan di kemudian hari, dan kelakuan perkerasan seperti deformasi permukaan dan lain sebagainya. Kekuatan yang tidak memadai (ketahanan terhadap deformasi) merupakan masalah yang sering dijumpai pada pelaksanaan konstruksi jalan dan merupakan penyebab kerugian secara ekonomis atau juga bisa menyebabkan terjadi kecelakaan.



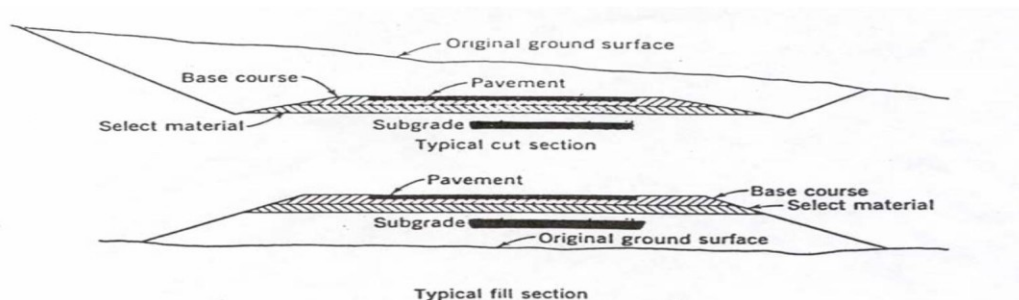
Gambar 1. Tipikal kerusakan jalan akibat kualitas *subgrade* yang tidak baik

Tidak semua jenis tanah dapat digunakan sebagai tanah dasar pendukung badan jalan secara baik, karena harus dipertimbangkan beberapa sifat yang penting untuk kepentingan struktur jalan, seperti : (1) Daya dukung dan kestabilan tanah yang cukup; (2) Komposisi dan gradasi butiran tanah; (3) Sifat kembang susut (*swelling*) tanah; (4) Kemudahan untuk dipadatkan; (5) Kemudahan meluluskan air (*drainase*); (6) Plastisitas dari tanah; (7) Sifat ekspansif tanah.

## 2. DASAR TEORI

### 2.1. Lapisan Tanah Dasar (*Subgrade*)

Lapisan penyangga konstruksi perkerasan jalan yang terbawah dinamakan *subgrade* (artinya tanah dasar). Tebal lapisan ini umumnya 60 cm, kisarannya antara 60-100 cm. Konstruksi *subgrade* ini dipersiapkan secara khusus agar didapatkan pondasi yang stabil bagi perkerasan dengan cara memadatkan tanah material *subgrade* menggunakan alat berat.



Gambar 2. Tipikal potongan lapisan *subgrade* : (a) pada galian, (b) pada timbunan

Kekuatan utama sebuah konstruksi perkerasan jalan ada pada *subgrade*-nya, sehingga diperlukan membentuk *subgrade* yang kuat dan stabil. Karena material *subgrade* dari tanah, maka diperlukan perlindungan agar tahan terhadap perubahan cuaca dan air tanah. Perlindungan *subgrade* didapat dengan memadatkan tanah

sehingga memperkecil rongga antar butiran (*porosity*)-nya dan meningkatkan sifat tidak mudah ditembus oleh air (*impermeability*)-nya, juga adanya lapisan *surface* dari bahan campuran bitumen agregat yang kedap air dan konstruksi drainase yang baik di bahu jalan akan turut memperpanjang umur *subgrade*.

## 2.2. Tanah Lunak

Tanah lunak dapat didefinisikan sebagai tanah yang mempunyai sebagian besar ukuran butirnya sangat halus (lolos ayakan standar No. 200). Tanah lunak dapat dikelompokkan dalam butiran tanah lempung (*clay*) dan lanau (*silt*). Kedua jenis butiran tanah tersebut mempunyai kadar air yang tinggi dan kandungan pasir lepas yang terletak dekat atau dibawah permukaan air tanah.

Tanah lempung (*clay*) merupakan tanah yang berukuran mikroskopis sampai dengan sub mikroskopis yang berasal dari pelapukan unsur-unsur kimiawi penyusun batuan. Tanah lempung sangat keras dalam keadaan kering dan bersifat plastis pada kadar air sedang. Pada kadar air lebih tinggi lempung bersifat lengket (kohesif) dan sangat lunak (Das, 1998). Tanah lempung memiliki butiran-butiran tanah yang halus dan menunjukkan sifat plastis, dan kohesi. Kohesi menunjukkan kenyataan bahwa bagian-bagian itu melekat satu sama lainnya, sedangkan sifat plastis memungkinkan bentuk bahan itu dirubah tanpa perubahan isi atau tanpa kembali ke bentuk aslinya, dan tanpa terjadi retakan-retakan.

Tanah lanau (*silt*) merupakan peralihan antara lempung dan pasir halus. Tanah lanau memiliki sifat kurang plastis dan lebih mudah ditembus air dari pada lempung. Ukuran butiran tanah lanau adalah lebih kecil dari 0,075 mm (lolos ayakan standar No. 200).

## 2.3. Tanah Lempung Berplastisitas Tinggi

Lempung (*clay*) sebagian besar terdiri dari patikel mikroskopis dan submikroskopis (tidak dapat dilihat dengan jelas bila hanya dengan mikroskopis biasa) yang berbentuk lempengan-lempengan pipih dan merupakan partikel-partikel dari mika, mineral-mineral lempung (*clay minerals*), dan mineral-mineral yang sangat halus lainnya.

Dari segi mineral (bukan ukurannya), yang disebut tanah lempung (dan mineral lempung) ialah yang mempunyai partikel-partikel mineral tertentu yang menghasilkan sifat-sifat plastis pada tanah bila dicampur dengan air. Kekurangan dari tanah lempung berplastisitas tinggi diantaranya : (a) Susah untuk dipadatkan; (b) Memiliki sifat kembang susut yang cukup tinggi; (c) Bisa menimbulkan suatu keretakan pada konstruksi jalan akibat kembang susutnya.

Tanah lempung berplastisitas tinggi didefinisikan sebagai suatu tanah lunak dimana jika ditambah air akan berubah menjadi tanah lumpur yang sangat lengket (*sticky mud*). Jika tanah lempung berplastisitas tinggi menjadi lapisan tanah dasar (*subgrade*) dari suatu konstruksi jalan maka akan terjadi gaya yang cukup besar yang dapat mendorong tanah dasar tersebut keatas dan bahkan dapat menyebabkan terjadinya kerusakan terhadap konstruksi perkerasan jalan.

## 2.4. Gaya Pengembangan Tanah (*Swelling*)

*Swelling* adalah gaya pengembangan tanah. Tanah yang mengembang (*swelling soils*) adalah tanah lunak dimana volumenya akan bertambah pada kondisi basah dan akan menyusut pada kondisi kering.



Gambar 3. Tipikal permukaan tanah yang memiliki gaya pengembangan yang besar

*Swelling potential* atau kemampuan mengembang tanah dipengaruhi oleh nilai aktivitas tanah. Setiap tanah lempung memiliki nilai aktivitas yang berbeda-beda. Gambar 4 mengidentifikasi tingkat aktivitas tanah dalam 4 kelompok, yaitu :

- Rendah : Tanah yang memiliki nilai *Swelling Potential*  $\leq 1,5\%$ ;
- Sedang : Tanah yang memiliki nilai *Swelling Potential*  $> 1,5\%$  dan  $\leq 5\%$ ;
- Tinggi : Tanah yang memiliki nilai *Swelling Potential*  $> 5\%$  dan  $\leq 25\%$ ;
- Sangat Tinggi : Tanah yang memiliki nilai *Swelling Potential*  $> 25\%$ .

Besarnya nilai potensi pengembangan (*swelling potential*) dari tanah dapat ditentukan berdasarkan rumus sebagai berikut (Seed et al., 1962) :

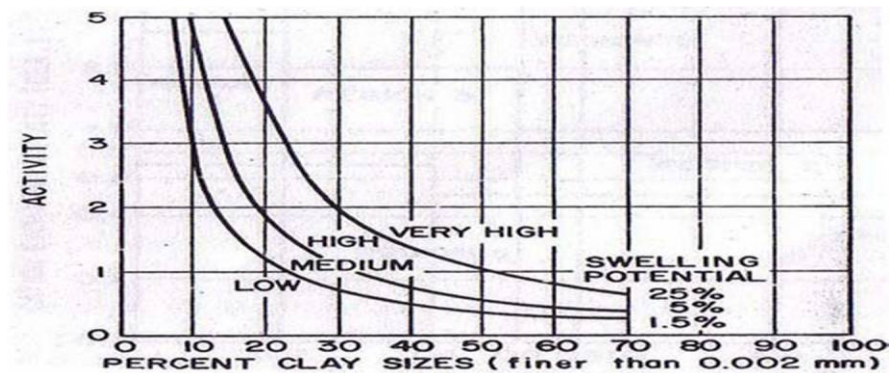
$$S = (k) (A^{2,44}) (C^{3,44}) \dots\dots\dots(1)$$

dimana : S = potensi pengembangan (*swelling potential*);  
 k = konstanta, untuk semua jenis mineral lempung  $\approx 3,6 \times 10^{-5}$ ;  
 A = aktivitas;  
 C = kandungan lempung (*clay*).

Nilai indeks plastis (PI) merupakan cara terbaik untuk menentukan besarnya potensi pengembangan (*swelling potential*) dari suatu tanah (Seed et al., 1962).

$$S = (k) (M) (PI^{2,44}) \dots\dots\dots(2)$$

dimana : M = konstanta;  
 = 60 untuk tanah asli;  
 = 100 untuk tanah buatan.



Sumber : John D. Nelson dan Debora J. Miller, 1991, *Expansive Soil*

Gambar 4. Hubungan antara persentasi butiran lempung dan aktivitas

Penentuan potensi pengembangan (*swelling potential*) dengan cara tidak langsung dapat dilakukan dengan menggunakan indeks tunggal berdasarkan nilai indeks plastisitas untuk mengidentifikasi tanah ekspansif, dengan ketentuan bahwa untuk potensi tingkat pengembangan tinggi  $PI = 20 - 55$ , sedangkan sangat tinggi  $PI > 55$ .

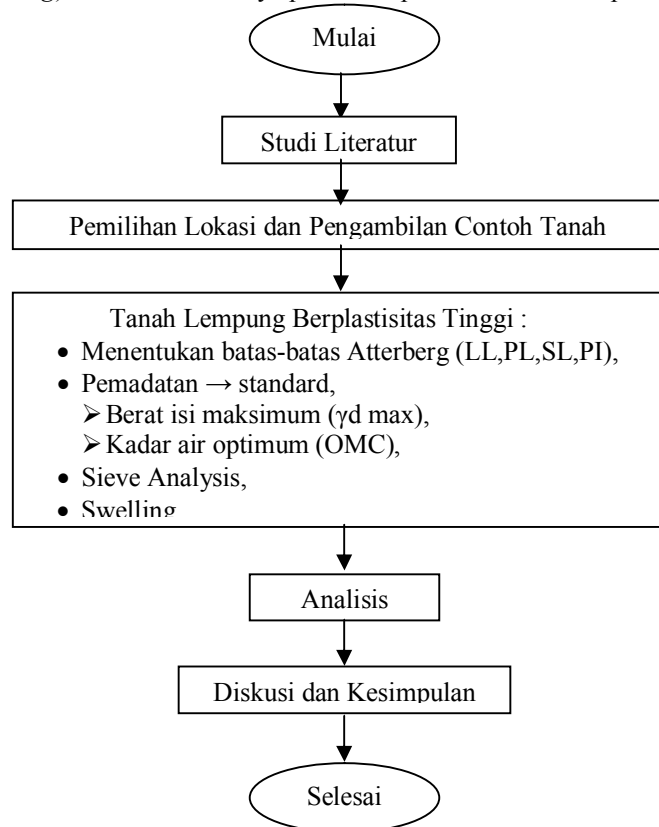




Gambar 5. Tipikal kerusakan jalan akibat besarnya gaya pengembangan tanah *subgrade*

### 3. METODOLOGI PENGUJIAN

Metodologi yang dilakukan dalam pengujian ini adalah mencari besarnya nilai pengembangan tanah (*swelling*). Pengujian dilaksanakan untuk mendapatkan adanya hubungan sebab akibat dari suatu perlakuan pengembangan tanah (*swelling*) terhadap kerusakan jalan yang terjadi. Dalam pengujian ini juga yang ingin diketahui adalah seberapa jauh peningkatan dari perubahan perilaku pengembangan tanah (*swelling*) tanah akibat adanya perlakuan pembebanan diatas permukaan jalan.



Gambar 6. Metodologi Pengujian

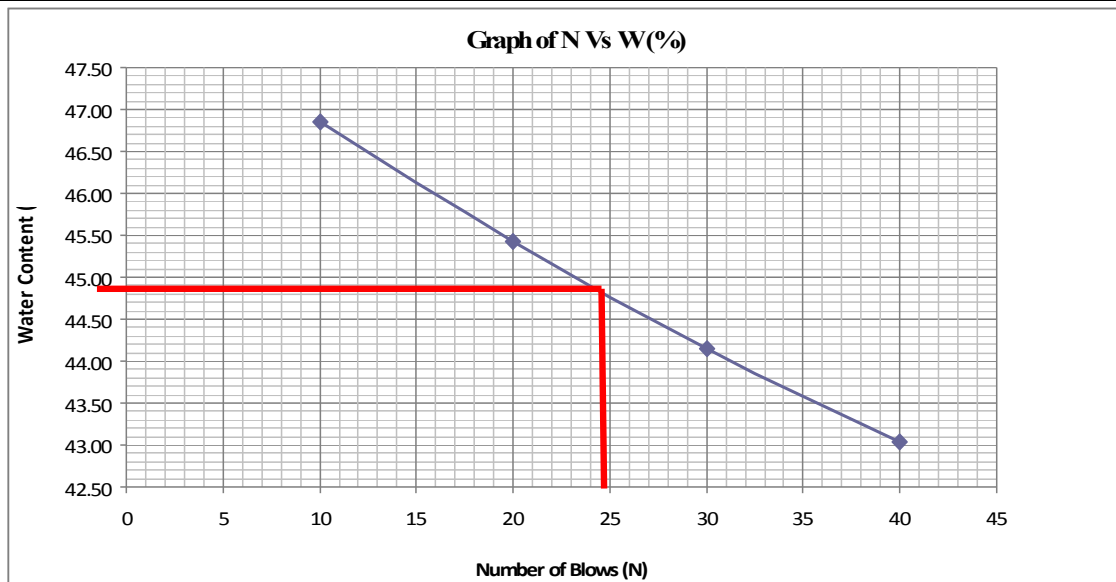
### 4. HASIL PENGUJIAN DAN DISKUSI

#### 4.1. Atterberg Limit

Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan terhadap tanah lempung *subgrade*, maka diperoleh nilai indeks plastis (PI) tanah sebagai berikut :

Exprimental Type :	LIQUID LIMIT	PLASTIC LIMIT
--------------------	--------------	---------------

No.	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3
Weight of bowl (gr)	15.5	15.7	15.79	15.35	15.52	15.71	15.48				
Weight of bowl + wet soil (gr)	58.69	38.27	50.04	52.27	25.35	25.04	25.04				
Weight of bowl + dry soil (gr)	44.91	31.22	39.55	41.16	23.35	23.26	23.29				
Weight of water (gr)	13.78	7.05	10.49	11.11	1.88	1.78	1.75				
Weight of dry soil (gr)	29.41	15.52	23.76	25.81	7.83	7.55	7.81				
Water Content, w (%)	46.85	45.43	44.15	43.05	24.01	23.58	22.41				
Number of blows	10	20	30	40							
Limit Values	LL = 45.00								PL =	23.33	

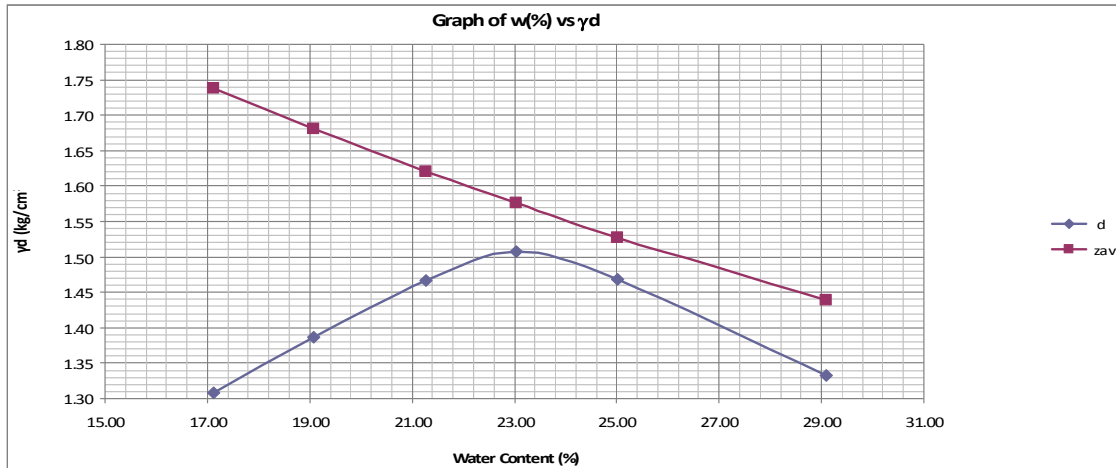


#### 4.2. Pemasatan

Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan terhadap tanah lempung *subgrade*, maka diperoleh nilai pematatan tanah sebagai berikut :

No. of Test	1	2	3	4	5	6
Water Content, w (%)	17,3	18,72	21,81	23,04	28,04	33,29
Dry Weight ( $\rho_d$ ) (gr/cm <sup>3</sup> )	1,31	1,35	1,49	1,51	1,41	1,36
$\rho_{zav}$ (gr/cm <sup>3</sup> )	1,74	1,68	1,62	1,58	1,53	1,44





#### 4.3. Analisa Ukuran Butir

Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan terhadap tanah lempung *subgrade*, maka diperoleh nilai ukuran butir tanah berdasarkan analisa saringan sebagai berikut :

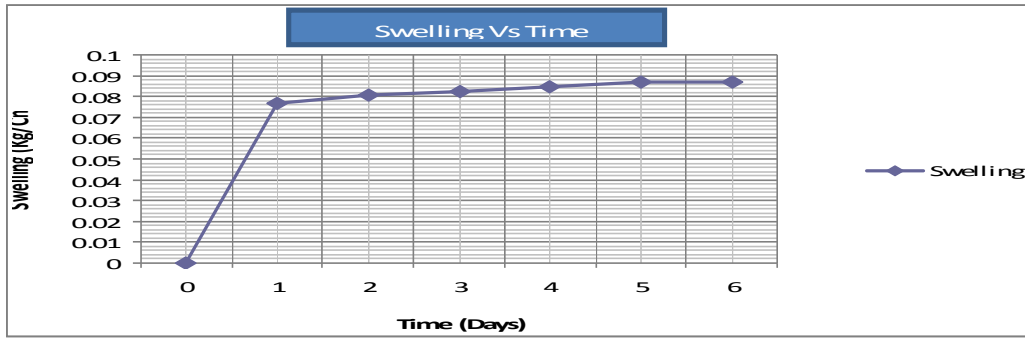
No. of Sieve	Diameter [mm]	Restrained Weight [gram]	% Restrained	% Pass Cumulative
4	4,750	2,07	2,07	97,93
10	2,000	4,37	4,37	93,56
20	0,840	3,12	3,12	90,44
40	0,425	2,29	2,29	88,15
60	0,250	1,38	1,38	86,77
100	0,150	2,62	2,62	84,15
200	0,074	3,09	3,09	81,06
		18,94	18,94	

#### 4.4. Pengembangan Tanah (*Swelling*)

Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan terhadap tanah lempung *subgrade*, maka diperoleh nilai pengembangan tanah (*swelling*) sebagai berikut :

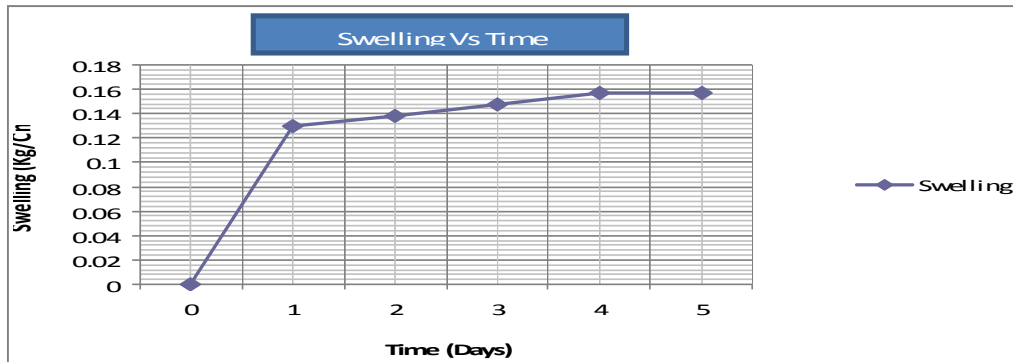
##### a) Pengembangan tanah saat pemadatan 100%

Reading Date	Time	Reading (day)	Dial Reading (div)	Dial Reading (Kg)	Area of pad	Swelling (Kg/cm <sup>2</sup> )
03-Mei-10	09.33	0	0,000	0,000		0
04-Mei-10	09.33	1	30,800	6,560	85,767	0,0765
05-Mei-10	09.33	2	32,500	6,923	85,767	0,0807
06-Mei-10	09.33	3	33,200	7,072	85,767	0,0825
07-Mei-10	09.33	4	34,000	7,242	85,767	0,0844
08-Mei-10	09.33	5	35,000	7,455	85,767	0,0869



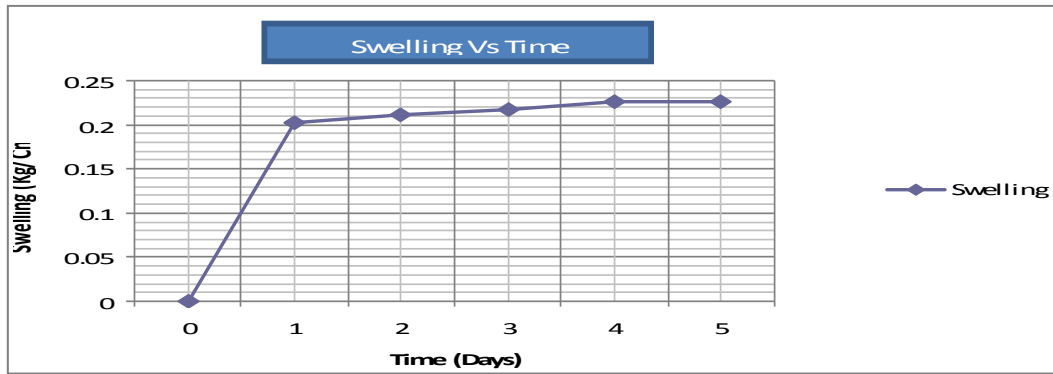
**b) Pengembangan tanah saat pemadatan 90%**

Reading Date	Time	Reading (day)	Dial Reading (div)	Dial Reading (Kg)	Area of pad	Swelling (Kg/cm <sup>2</sup> )
10-Mei-10	14.39	0		0,000		0
11-Mei-10	14.39	1	76,500	11,169	85,767	0,1302
12-Mei-10	14.39	2	81,000	11,826	85,767	0,1379
13-Mei-10	14.39	3	86,500	12,629	85,767	0,1472
14-Mei-10	14.39	4	92,000	13,432	85,767	0,1566
15-Mei-10	14.39	5	92,000	13,432	85,767	0,1566



**c) Pengembangan tanah saat pemadatan 80%**

Reading Date	Time	Reading (day)	Dial Reading (div)	Dial Reading (Kg)	Area of Pad	Swelling (Kg/cm <sup>2</sup> )
17-Mei-10	13.30	0		0,000		0
18-Mei-10	13.30	1	119,000	17,374	85,767	0,2026
19-Mei-10	13.30	2	124,500	18,177	85,767	0,2119
20-Mei-10	13.30	3	128,000	18,688	85,767	0,2179
21-Mei-10	13.30	4	133,000	19,418	85,767	0,2264
22-Mei-10	13.30	5	133,000	19,418	85,767	0,2264



#### 4.5. Korelasi-korelasi Hasil Pengujian

Dari hasil pengujian laboratorium yang telah dilaksanakan, maka diperoleh suatu analisis hasil pengujian sebagai berikut :

##### 4.5.1. Indeks Plastisitas (PI) Tinggi

Tanah yang telah diuji menghasilkan nilai indeks plastisitas (PI) yang cukup tinggi, seperti yang terlihat pada tabel dibawah ini :

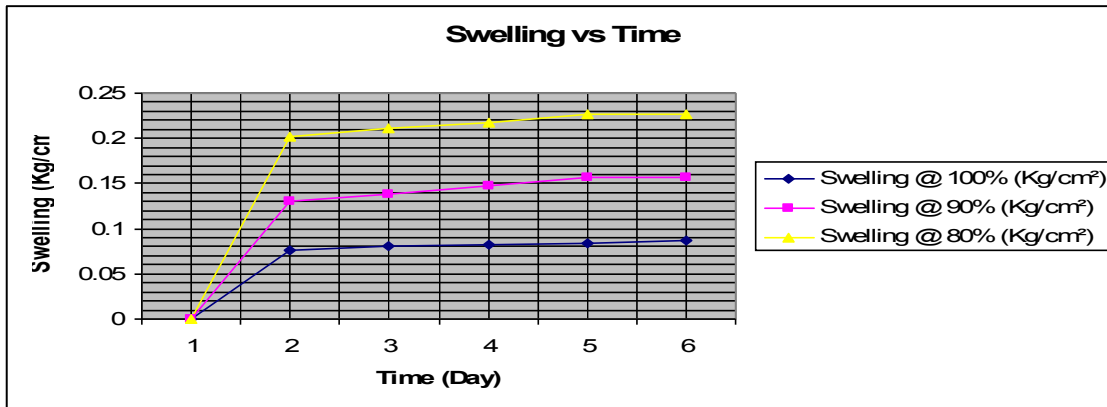
Limit Value		
Liquid Limit, LL	45.00	%
Plastic Limit, PL	23.33	%
Plasticity Index, PI=LL - PL	21.67	%

##### 4.5.2. Perilaku Pengembangan Tanah

Tanah yang telah diuji menghasilkan nilai pengembangan tanah (*swelling*) yang cukup tinggi, seperti yang terlihat pada tabel dibawah ini :

Laboratory Results of Swelling at The Compaction 100%, 90%, 80%			
No. of Reading	Swelling @ 100% (Kg/cm <sup>2</sup> )	Swelling @ 90% (Kg/cm <sup>2</sup> )	Swelling @ 80% (Kg/cm <sup>2</sup> )
0	0	0	0
1	0.0765	0.130224912	0.202572085
2	0.0807	0.137885201	0.21193466
3	0.0825	0.147247776	0.217892663
4	0.0844	0.156610351	0.226404095
5	0.0869	0.156610351	0.226404095





## 5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa tanah lunak yang diselidiki memiliki indeks plastis (PI) yang cukup tinggi sehingga tanah tersebut dapat dikategorikan sebagai tanah lempung berplastisitas tinggi.

- ✓ Water Content : 8.20 %.
- ✓ Specific Gravity : 2.473 gr/cm<sup>3</sup>
- ✓ Liquid Limit (LL) : 45.00 %.
- ✓ Plastic Limit (PL) : 23.33 %
- ✓ Plasticity Index (IP) : 21.67 %
- ✓ Optimum Water Content : 23.04 %
- ✓ Maximum Dry Volume Weight : 1.51 gr/cm<sup>3</sup>

Semakin kecil pemadatan tanah maka akan menghasilkan nilai pengembangan tanah (*swelling*) yang semakin tinggi. Masalah pengembangan tanah (*swelling*) dapat diakibatkan oleh kurangnya pemadatan tanah saat proses pekerjaan pembangunan jalan berlangsung.

- ✓ Pada pemadatan 100%, nilai pengembangan tanah adalah 0.0869 Kg/cm<sup>2</sup>
- ✓ Pada pemadatan 90%, nilai pengembangan tanah adalah 0.1566 Kg/cm<sup>2</sup>
- ✓ Pada pemadatan 80%, nilai pengembangan tanah adalah 0.2264 Kg/cm<sup>2</sup>

## 6. DAFTAR PUSTAKA

- Bowles, J.E., 1984. *Physical and Geotechnical Properties of Soils*, McGraw-Hill Inc., USA.
- Craig, R.F., 1978. *Soil Mechanics*, Van Nostrand Reinhold, New York.
- Harr, M.E., 1966. *Foundations of Theoretical Soil Mechanics*, McGraw-Hill, New York.
- Holtz, R.D. and Kovacs, W.D., 1981. *An Introduction to Geotechnical Engineering*, Prentice Hall Civil Engineering and Engineering Mechanics Series. Englewood Cliffs, New Jersey.
- Lambe, T.W. and Whitman, R.V., 1969. *Soil Mechanics*, Wiley, New York.
- Milligan, G.W.E. and Houlsby, G.T., 1984. *Basic Soil Mechanics*, Butterworths, London.
- Nelson, John D. and Miller Deborah J., 1991. *Expansive Soil : Problems and Practice in Foundation and Pavement Engineering*, Courier Companies, Inc, USA
- Ranganatham, B. V. and Satyanarayan, B., 1965. *A Rational Method of Predicting Swelling Potential for Compacted Expansive Clays*: Proc. 6th Inter. Conf. Soil Mechanics Foundation Eng. Vol. 1, pp. 92-96.
- Ruiz, C. L., 1962. *Osmotic Interpretation of the Swelling of Expansive Soils*: Bull. Highway Res. Board No. 313, pp. 47-77.
- Scott, C.R., 1978. *Soil Mechanics and Foundations*, Applied Science Publishers, London.
- Scott, R.F., 1963. *Principles of Soil Mechanics*, Addison-Wesley, Reading MA.
- Seed, H. B., Woodward, R. J., Jr. and Lundgren, R., 1962. *Prediction of Swelling Potential for Compacted Clays*: J. ASCE, Soil Mechanics and Foundation Division, Vol. 88, No. SM-3, Part I, pp. 53-87.
- Smith, G.N., 1978. *Elements of Soil Mechanics*, Granada, London.
- Terzaghi, K., 1940. *Theoretical Soil Mechanics*, Wiley, New York.

Terzaghi, K. and Peck, R.B., 1948. *Soil Mechanics in Engineering Practice*, Wiley, New York.

## **PERILAKU PONDASI SISTIM RAKIT-TIANG PADA TANAH LUNAK**

Oleh :

**Dewi Amalia**

Mahasiswa Pasca Sarjana Jurusan Teknik Sipil  
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya  
Email : [dh3\\_w13q\\_or3nzz@yahoo.co.id](mailto:dh3_w13q_or3nzz@yahoo.co.id)

**Ananta Sigit Sidharta**

Jurusan Teknik Sipil  
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya  
Email : [ananta@ce.its.ac.id](mailto:ananta@ce.its.ac.id)

**Musta'in Arief**

## ABSTRAK

Banyak bangunan-bangunan di Indonesia yang dibangun di atas tanah lunak (*compressible soil*) menggunakan tiang pancang *end bearing* sebagai pondasinya untuk mengatasi permasalahan akibat daya dukung yang rendah dan pemampatan yang besar. Hal itu mengakibatkan biaya yang sangat besar mengingat banyak tanah keras di Indonesia baru dijumpai kedalaman 40 m bahkan lebih. Pondasi rakit bertiang (*Pile-raft systems*) merupakan solusi dari permasalahan tersebut karena pondasi ini menggabungkan 2 macam bentuk pondasi yaitu pondasi rakit (*raft*) dan pondasi tiang pancang dalam hal ini *friction pile*. Ini merupakan solusi ekonomi yang praktis untuk bangunan karena baik *bearing capacity* dari *raft* dan *bearing capacity* dari tiang pancang, keduanya sama-sama bekerja.

Penelitian mengenai pondasi *pile-raft systems* yang ada sampai saat ini, Poulos (1972), Hooper (1973), Burland et al (1985), Price and Wardle (1986), Franke (1991), Hansbo (1993), dan Franke et al (1994), hanya membahas bagaimana pengaruh kekakuan *raft* maupun tiang, jarak antar tiang, banyak tiang, kekakuan tiang terhadap perilaku penurunan (*settlement*) *pile-raft systems*, dan lain-lain, dan belum pernah membahas bagaimana perilaku *pile-raft systems* di berbagai media tanah lunak.

Untuk itu diambil berbagai jenis *compressible soil* dari 10 titik bor di teluk lamong, dimana tiap titiknya dibor sampai kedalaman 60 m. Data-data yang diperoleh dari lokasi tersebut dianalisis hingga menghasilkan 5 variasi jenis tanah dan selanjutnya dimodelkan dengan bantuan program finite element 3D, Plaxis versi 1.6. Sebelum pemodelan *Pile-raft systems*, dilakukan validasi data-data masukkan dengan membandingkan hasil keluaran program Plaxis dan hasil perhitungan pondasi *raft* secara manual. Setelah hasil validasi dinyatakan sesuai (perbedaan nilainya dibawah 25%) barulah dilakukan pemodelan *Pile-raft systems* dan *End bearing pile* dengan menggunakan Plaxis dengan variasi 5 jenis tanah, 3 macam ketebalan *raft*, 5 macam jumlah tiang, variasi spasi dan panjang tiang.

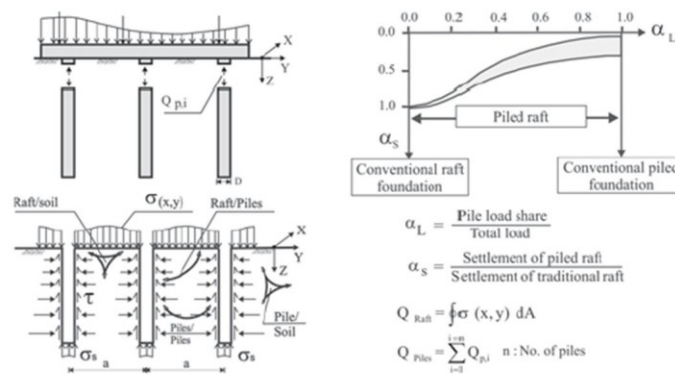
Dari hasil secara garis besar didapatkan bahwa semakin kaku jenis tanah penurunan yang didapatkan makin kecil, dengan semakin tebalnya *raft* dan semakin besarnya beban yang bekerja mengakibatkan *settlement* semakin besar, panjang tiang dan kontribusi *raft* semakin terlihat dengan makin besarnya jarak antar tiang.

**Kata kunci :** *pile-raft*, pondasi *raft*, *end bearing*, tanah lunak, kontribusi *raft*, *settlement*, *differential settlement*

## 1. PENDAHULUAN

Banyak daerah di Indonesia, misalnya kota Banjarmasin Kalimantan Selatan memiliki lapisan tanah lunak yang sangat dalam. Tanah keras di kota kota ini baru ditemui kedalaman sekitar 40 m dari permukaan tanah. Lapisan tanah lunak (*soft clay*) maupun yang sangat lunak (*very soft clay*) ini memiliki sifat-sifat antara lain cenderung sangat *compressible* (mudah memampat), tahanan geser tanah rendah, permeabilitas rendah, dan mempunyai daya dukung yang rendah. Sifat-sifat inilah yang menjadi permasalahan utama pembangunan struktur di atas tanah tersebut. Kondisi seperti ini menyebabkan pilihan menggunakan tiang pancang *end bearing* akan memerlukan biaya yang sangat besar. Jadi, perlu dipikirkan penggunaan pondasi lain yaitu pondasi rakit bertiang (*raft pile*). Pondasi rakit bertiang (*raft pile*) adalah pondasi yang menggabungkan 2 macam bentuk pondasi yaitu pondasi rakit (*raft*) dan pondasi tiang pancang dalam hal ini *friction pile*.

Pondasi rakit bertiang (*raft pile*) ini merupakan solusi ekonomi yang praktis untuk bangunan karena baik *bearing capacity* dari *raft* dan *bearing capacity* dari tiang pancang, keduanya sama-sama bekerja (lihat Gambar 1). Pondasi *raft pile* berperan sebagai konstruksi gabungan yang terdiri dari 3 element penahan yaitu *friction pile*, *raft*, dan tanah. Jika dibandingkan dengan pondasi konvensional (tiang pancang *end bearing*), desain dari pondasi *raft pile* ini membentuk dimensi baru struktur interaksi dari partikel tanah dikarenakan desain filosofi yang baru menggunakan tiang yang dimaksimalkan sampai batas *bearing capacity* berdasarkan interaksi tanah dan tiangnya. Pondasi *raft pile* ini mengarah ke pondasi yang ekonomis dengan sedikit penurunan, apabila tanah itu mempunyai *soil modulus* yang bertambah sebanding dengan kedalaman. (Katzenbach, 1993).



Gambar 1. Prinsip kerja dari *raft pile* (Mossallamy 2008)

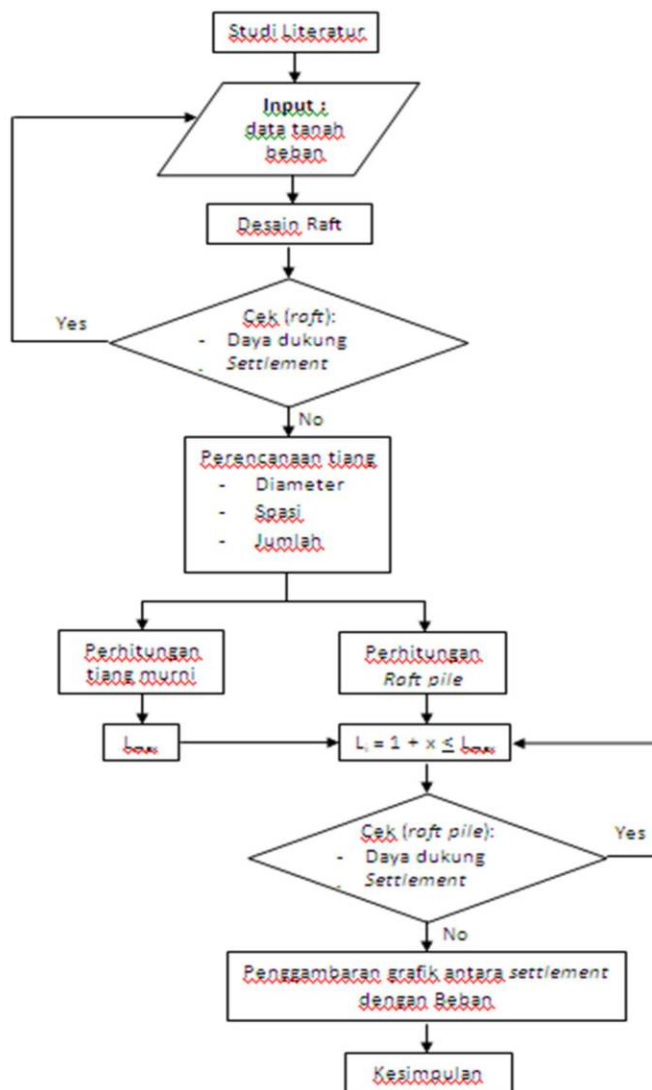
Beberapa analisa perbandingan juga telah dilakukan salah satunya oleh Dian (2008). Peneliti tersebut membandingkan penggunaan sistem *raft pile* dengan penggunaan pondasi tiang pancang biasa. Hasil yang diperoleh, untuk merencanakan struktur gedung antara 5-8 lantai, dengan ketebalan *raft* 1 meter dan jumlah tiang yang sama, dengan metode konvensional biasa diperlukan pemancangan sampai sekitar 29.5 meter. Sedangkan jika menggunakan sistem *raft pile* ini hanya diperlukan pemancangan maksimal 19 meter. Penghematan tiang dapat dilakukan sampai 10 meter tiap titiknya. Ini berarti penggunaan sistem ini sangatlah ekonomis.

Karena mengingat begitu ekonomisnya serta belum adanya informasi mengenai batasan penggunaan sistem *raft pile* ini, maka perlu adanya penelitian dasar untuk mengetahui lebih dalam dan mencari batasan agar *raft pile* berfungsi dalam segi daya dukung dan penurunan (*settlement*), seperti bagaimana pengaruh bantuan tiang terhadap penurunan pada pondasi *raft pile*, bagaimana pengaruh kekakuan *raft* terhadap penurunannya, bagaimana pengaruh jarak antar tiang terhadap penurunannya, bagaimana pengaruh jenis tanah agar sistem *raft pile* ini berfungsi, dan bagaimana pola keruntuhannya, sehingga nantinya didapatkan batasan-batasan yang menentukan sampai dimana sistem *raft pile* dapat berlaku.

## 2. METODOLOGI

Penelitian yang dilakukan berupa pemodelan menggunakan program finite element Plaxis 3D. Plaxis 3D versi 1.6 merupakan software yang mempunyai kemampuan untuk menganalisa deformasi dan stabilitas tanah dengan dilengkapi pemodelan terhadap waktu. Plaxis menggunakan metode finite element yang telah dikembangkan secara khusus untuk menganalisa deformasi dan stabilitas tanah dalam suatu proyek geoteknik. Plaxis menyediakan prosedur input yang sederhana sehingga mampu menjalankan model *finite element* yang kompleks secara cepat dan juga menyediakan fasilitas *output* dengan hasil perhitungan yang detail. Hasil perhitungan ini sendiri otomatis dijalankan oleh prosedur numerik yang terstruktur. Plaxis juga menjelaskan variasi model tanah secara terperinci yang memungkinkan input data tanah yang lebih akurat.

Berikut adalah diagram alir dalam menyelesaikan penelitian ini.



Gambar 2. Diagram alir

### Beban yang digunakan

Beban yang digunakan adalah beban 25 kolom dengan jarak 4 m, dimana tiap kolomnya mempunyai variasi beban sebagai berikut :

- B1 = 200 kN
- B2 = 450 kN
- B3 = 700 kN
- B4 = 950 kN

### Data Tanah

Data tanah yang digunakan adalah sebagai berikut :

Tabel 1. Data Tanah *Compressible* yang Digunakan

No.	Cohesive Soil	wc (%)	$d_{30}$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\sigma_{unsat}$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\sigma_{sat}$ (kN/m <sup>3</sup> )	e	k (m/day)	k pake (m/day)	Cv (m <sup>2</sup> /day)	Cv pake (m <sup>2</sup> /day)
1	Very soft clay	88	8.4	11.7	15	2.38	4.4E-05	4.5E-05	0.001728	0.002
2	Soft clay	59.97	10.3	13.65	17	1.42	0.00185	1.2E-05	0.00530496	0.001
3	Medium clay	47.39	11.9	14.95	18	1.14	0.00317	0.00317	0.00662688	0.009
4	Stiff clay	38.98	13.2	16.1	19	0.89	0.00461	0.00026	0.00806112	0.09
5	Hard clay	22.42	16.8	18.9	21	0.55	0.00734	0.00073	0.0741312	1.271

Tabel 2. Data Tanah *Compressible* yang Digunakan (lanjutan 1)

No.	Cohesive Soil	LL (%)	$c_u$ (kN/m <sup>2</sup> )	$c'$ (kN/m <sup>2</sup> )	$\alpha$	$\beta$	$E_{50}$ (kN/m <sup>2</sup> )	$E'$ (kN/m <sup>2</sup> )	$\phi$ (°)	$\psi$ (°)
1	Very soft clay	89	8	5.33333	0.489	0.326	525	350	0	0
2	Soft clay	75	20	13.3333	0.483	0.322	900	600	0	0
3	Medium clay	50	30	20	0.453	0.302	1650	1100	0	0
4	Stiff clay	31	90	60	0.418	0.2787	4050	2700	0	0
5	Hard clay	20	140	93.3333	0.34	0.2267	22500	15000	0	0

Tabel 3. Data Tanah *Compressible* yang Digunakan

No.	Cohesive Soil	Cc $0.006LL+0.13 \text{ eo}2-0.13$
1	Very soft clay	1.140372
2	Soft clay	0.582132
3	Medium clay	0.338948
4	Stiff clay	0.158973
5	Hard clay	0.029325

### Parameter Raft

Parameter raft yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari data-data yang terdapat pada manual Plaxis 3D v.1.6 yang menggunakan model material "linier elastis". Parameter raft tersebut adalah sebagai berikut :

Tabel 4. Parameter Raft yang Digunakan dalam Penelitian

Parameter	Nilai	Satuan
Tebal	0.5; 1.0; 1.5	m
Material model	Linier elastis	-
Material behaviour	Non porous	-
□ Berat volume,	24	kN/m <sup>3</sup>
Modulus Young, E	10000000	kN/m <sup>2</sup>
□ Angka poisson,	0.2	-

Pelat raft direncanakan untuk meneruskan gaya dari struktur atas ke tanah. Perhitungan pelat raft adalah seperti menghitung ketebalan minimum pada pondasi telapak. Pada saat pondasi raft dan pondasi tiang dipadukan, pelat raft difungsikan seperti poer yang mempunyai kontribusi terhadap daya dukung tanah terhadap beban yang bekerja. Untuk menghitung ketebalan minimum maka pelat raft harus memiliki kekuatan yang cukup terhadap geser pons dan lentur.

Data rencana poer :

- $P_{max}$  (1 kolom) = 95000 kg (struktur 8 lantai)
- Mutu beton = 30 MPa
- Mutu baja = 400 MPa
- Selimut beton = 50 mm
- Diameter tulangan 25 mm
- Tinggi efektif (d) :  
 $dx = 500 - 50 - (\frac{1}{2} \times 25) = 437.5$  mm  
 $dy = 500 - 50 - 25 - (\frac{1}{2} \times 25) = 412.5$  mm

#### Kontrol geser pons pada pelat raft

Dalam merencanakan raft harus dipenuhi persyaratan kekuatan gaya geser nominal beton yang harus lebih besar dari *geser pons* yang terjadi. Hal ini sesuai yang disyaratkan pada *SNI 03-2847-2002 pasal 13.12(2)*.

Kuat geser yang disumbangkan beton dirumuskan :

$$\phi V_c = \phi \left( 1 + \frac{2}{\beta c} \right) \left( \frac{\sqrt{f'_c}}{6} \right) \times b_o \times d$$

dan tidak boleh kurang dari :

$$\phi V_c = \phi \times \frac{1}{3} \times \sqrt{f'_c} \times b_o \times d$$

dimana :

$$\beta c = \text{rasio dari sisi panjang terhadap sisi pendek beton dari daerah beban terpusat atau reaksi} = 500/500 = 1$$

$b_o$  = keliling dari penampang kritis pada raft

- Keliling penampang kritis  
 $b_o = 2(b_k + d) + 2(h_k + d)$

dimana :

$b_k$  = lebar penampang kolom

$h_k$  = tinggi penampang kolom

$d$  = tebal efektif poer

$$b_o = 2(500 + 437.5) + 2(500 + 437.5) = 3750 \text{ mm}$$

- Batas geser pons

$$\begin{aligned} \phi V_c &= 0,6 \left( 1 + \frac{2}{1} \right) \left( \frac{\sqrt{30}}{6} \right) \times 3750 \times 437.5 \\ &= 2695821.963 \text{ N} = 269582.196 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Phi V_c &= 0.6 \times \frac{1}{3} \times \sqrt{30} \times 3750 \times 437.5 \\ &= 1797214.642 \text{ N} \\ &= 179721.464 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$P_u = 95000 < \Phi V_c = 179721.464 \text{ kg (OK)}$$

Jadi ketebalan plat rakit setebal 0.5 m memenuhi syarat terhadap geser pons.

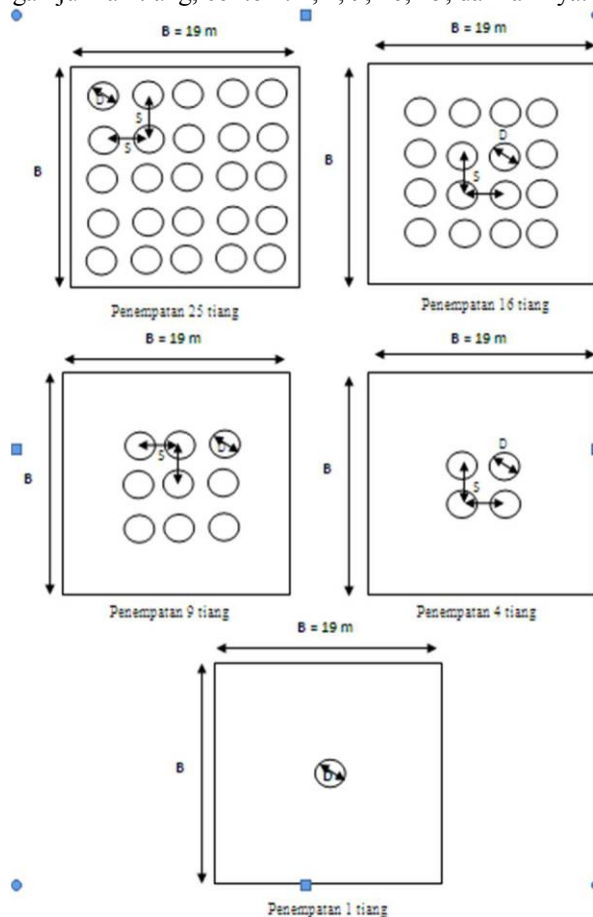
### Spesifikasi Tiang Pancang

Dari Spesifikasi Wika *Pile Classification* (Wayudi, 1999) tabel 3.3 direncanakan tiang pancang beton dengan :

Diameter	=	50 cm
Tebal	=	9 cm
Kelas	=	C
<i>Allowable axial</i>	=	155,64 ton
<i>Bending moment crack</i>	=	17 t.m
<i>Bending moment ultimate</i>	=	34 t.m
Modulus elastisitas (E)	=	$w_c^{1,5} \cdot 0,043 \cdot \sqrt{f_c'}$
	=	$2400^{1,5} \cdot 0,043 \cdot \sqrt{60}$
	=	39161,647 MPa
	=	391616,465 kg/cm <sup>2</sup>
Momen inersia ( $I_{d=0,5}$ )	=	$\frac{1}{64} \cdot \pi \cdot (50^4 - 32^4)$
	=	255324,30 cm <sup>4</sup>

### Jumlah Tiang

Jumlah tiang simetris dengan jumlah tiang, contoh : 1, 4, 9, 16, 25, dan lainnya.



Gambar 3. Jumlah dan penempatan tiang pancang

### Spasi tiang pancang



- Spasi tiang pancang minimum yang digunakan adalah  $2,5d$  berdasarkan faktor efisiensi oleh Kerisel (1967), dimana efisiensi tiang harus  $> 50\%$ .

Tabel 5. Faktor Efisiensi untuk Kelompok Tiang (Kerisel 1967)

Jarak Pusat ke Pusat Tiang	Faktor Efisiensi ( $E_g$ )
10 d	1
8d	0.95
6d	0.90
5d	0.85
4d	0.75
3d	0.65
2.5d	0.55

- Spasi tiang pancang maksimal yang digunakan sesuai penelitian sebelumnya yaitu  $s = 8 d$ .

#### Panjang tiang pancang

- Panjang maksimal tiang pancang ditentukan berdasarkan kebutuhan tiang *raft pile* dengan kondisi *raft* terpisah dengan tanah (*end bearing*),
- Variasi panjang tiang diperoleh dengan menambah panjang tiang dengan berulang ( $L = 1 + x < L_{max}$ ).

### 3. HASIL DAN ANALISA

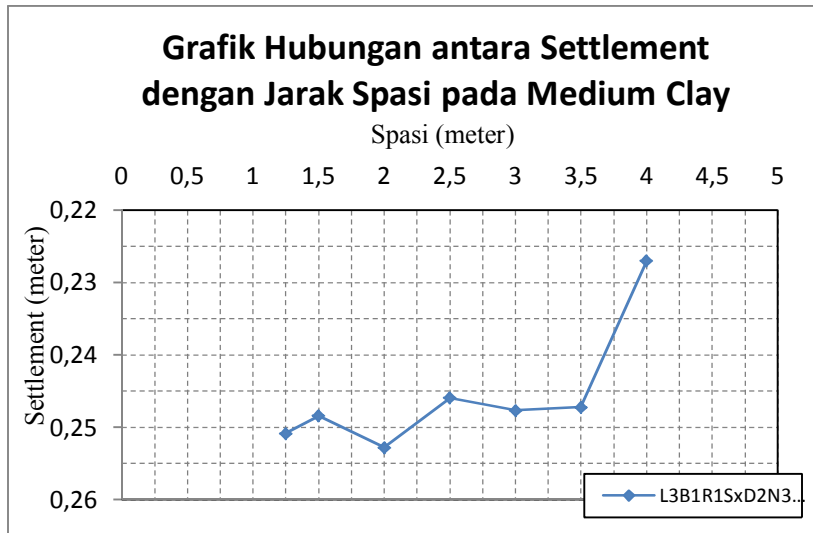
Hasil dan analisa dari pemodelan Plaxis adalah sebagai berikut :

#### Variasi Diameter

Pemodelan ini menggunakan raft pile dengan ketebalan raft 0.5 meter dan 9 tiang yang dipancang kedalam tanah medium clay sampai kedalaman 10 m dengan spasi yang bervariasi. Beban yang digunakan dalam pemodelan ini adalah 200kN dan hasil dari pemodelan dapat dilihat pada Tabel 6. Dan Gambar 4.

Tabel 6. Settlement pada Raft Pile dengan Spasi yang Berbeda

Spasi		Settlement
(x D)	(meter)	(meter)
2.5 D	1.25	0.25082
3 D	1.5	0.24838
4 D	2	0.25279
5 D	2.5	0.24593
6 D	3	0.24764
7 D	3.5	0.24721
8 D	4	0.22698



Gambar 4. Grafik hubungan antara settlement dengan jarak spasi pada medium clay

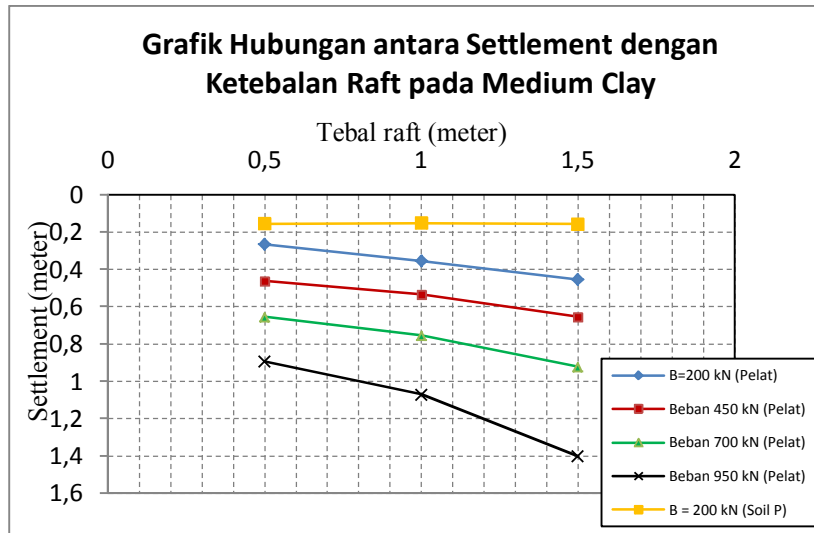
Dari Tabel 6. dan Gambar 4. terlihat bahwa semakin besar jarak spasi suatu pile pada system raft pile akan mengurangi settlement yang terjadi.

#### Variasi Beban dan Ketebalan Raft

Pemodelan ini masih menggunakan data tanah Medium clay dengan beban dan ketebalan raft yang bervariasi. Pada beban 200kN pemodelan dilakukan dengan 2 cara yang berbeda. Cara pertama, raft dimodelkan menggunakan pelat dan yang kedua raft dimodelkan sebagai soil yang parameternya disesuaikan dengan parameter raft beton itu sendiri. Hasil dari pemodelan dapat dilihat pada Tabel 7. dan Gambar 5. berikut.

Tabel 7. Settlement pada Raft Pile dengan Spasi yang Berbeda

Beban	Nama Model	Settlement	
		Pelat	Soil
Beban 200 kN	L3B1R1D1N0L1	0.26516	0.15457
	L3B1R2D1N0L1	0.35385	0.15108
	L3B1R3D1N0L1	0.45353	0.15767
Beban 450 kN	L3B2R1D1N0L1	0.46145	-
	L3B2R2D1N0L1	0.53393	-
	L3B2R3D1N0L1	0.65422	-
Beban 700 kN	L3B3R1D1N0L1	0.65366	-
	L3B3R2D1N0L1	0.75342	-
	L3B3R3D1N0L1	0.92263	-
Beban 950 kN	L3B4R1D1N0L1	0.89269	-
	L3B4R2D1N0L1	1.07	-
	L3B4R3D1N0L1	1.4	-



Gambar 5. Grafik hubungan antara settlement dengan ketebalan raft pada soft clay

Dimana :

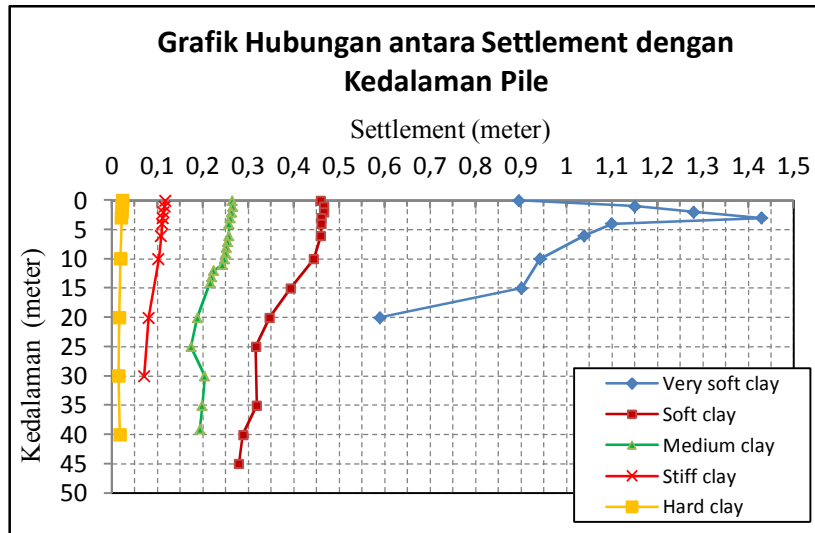
L1 = Very soft clay	B1 = Beban 200 kN
L2 = Soft clay	B2 = Beban 450 kN
L3 = Medium clay	B3 = Beban 700 kN
L4 = Stiff clay	B4 = Beban 950 kN
L5 = Hard clay	N0 = Jumlah tiang 0
R1 = Tebal raft 0.5 m	D1 = Diameter tiang
R2 = Tebal raft 1.0 m	L1 = Panjang tiang
R3 = Tebal raft 1.5 m	

Dari Tabel 7. dan Gambar 5. terlihat bahwa pemodelan raft menggunakan pelat menghasilkan settlement yang lebih besar daripada pemodelan menganggap raft sebagai tanah (soil properties). Hal ini karena pada pemodelan raft dengan pelat tidak terjadi pengurangan massa tanah bahkan tanah mendapatkan beban lebih akibat berat pelat itu sendiri. Sedangkan ketika raft dimodelkan sebagai soil properties, massa tanah selebar  $19 \times 19 \times t$  meter<sup>3</sup> dihilangkan dan diganti dengan massa beton raft. Sehingga wajar saja jika hasil dari pemodelan raft menggunakan pelat menghasilkan settlement yang lebih besar.

Masih dari tabel dan gambar yang sama didapatkan bahwa semakin tebal raft settlement yang terjadi semakin besar. Hal ini diakibatkan karena semakin tebalnya raft akan mengakibatkan semakin besarnya massa raft tersebut, yang artinya tanah tersebut akan menerima beban yang lebih berat.

### Variasi Jenis Tanah

Untuk pemodelan ini yang menjadi variasi adalah jenis tanah, sedangkan raft pile yang digunakan adalah raft pile dengan ketebalan raft 0.5 meter dan 9 tiang yang dipancang kedalam tanah medium clay sampai kedalaman 10 m dengan spasi 0.5 meter. Beban yang digunakan dalam pemodelan ini adalah 200kN dan hasil dari pemodelan dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Grafik hubungan antara settlement di berbagai kedalaman pile

Dari Gambar 6. terlihat bahwa semakin bagus jenis tanah akan menyebabkan settlement yang terjadi akan semakin kecil. Masih dari gambar yang sama terlihat gradasi perubahan settlement yang cukup besar pada jenis tanah very soft clay dan soft clay, maka dari sini dapat disimpulkan bahwa pada tanah jenis inilah sistem raft pile masih berfungsi.

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pemodelan tersebut didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

- Semakin besar jarak spasi tiang pancang akan mengakibatkan kontribusi raft untuk memikul beban semakin besar, sehingga settlement yang dihasilkan akan semakin kecil.
- Dengan menggunakan program Plaxis 3D v.16 didapatkan pemodelan raft menggunakan pelat menghasilkan settlement yang lebih besar daripada pemodelan raft sebagai soil properties.
- Semakin besar beban yang bekerja dan dimensi raft (ketebalan) akan mengakibatkan settlement pada raft pile semakin besar pula.
- Sistem raft pile ini hanya berfungsi pada jenis tanah lunak terutama very soft clay dan soft clay.

#### 5. REFERENSI

- Ardiyanto, Dian. 2009. Alternatif Kombinasi Basement dan Tiang Pancang sebagai Pondasi pada Gedung Tinggi di Tanah Lunak, **Tugas Akhir** di Jurusan Teknik Sipil, FTSP ITS.
- Das, Braja M. 1990. **Principles of Foundation Engineering**.
- Egin, H.K, dkk. 2008. Estimation of Pile Group Behaviour using Embedded Piles. **The 12<sup>th</sup> International Conference of International Association for Computer Methods and Advances in Geomechanics**. India.
- Hardiyatmo, H.C. 2006. **Teknik Pondasi 2**. Seturan: Beta Offset.
- Mossallamy, Yaseer, dkk. 2008. Modelling the Behaviour of Piled Raft Applying Plaxis 3D Foundation Version 2, **Plaxis Bulletin issue 23 March**.
- Nakai, Shoichi, dkk. 2004. Load Bearing Mechanism of Piled Raft Foundation during Earthquake, **Proceedings Third UJNR Workshop on Soil-Structure Interaction, March 29-30**. Menlo Park-California.
- Poulos, H.G dan E.H Davis. 1980. **Pile Foundation Analysis and Design**, United States of America : John Wiley & Sons, Inc.
- Wahyudi, Herman. 1999. **Daya Dukung Pondasi Dalam**. Surabaya : Jurusan Teknik Sipil, FTSP ITS.
- Wardani, Dienes, P. 2008. Studi Pengaruh Penambahan *Friction Pile* Pondasi Dangkal pada Tanah Lunak menjadi *Pile-Raft System* dengan Bantuan Lembar Kerja Excel, **Proposal Tugas Akhir** di Jurusan Teknik Sipil, FTSP ITS.