

183/FT.EKS.01/SKRIP/01/2011



UNIVERSITAS INDONESIA

**EVOLUSI NILAI STIFFNESS DAN CBR PADA PROSES  
STABILISASI TANAH EKSPANSIF DENGAN SEMEN**

**SKRIPSI**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik**

**ENDRI SULISTIYONO**

**0806369272**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL**

**DEPOK  
JANUARI 2011**

183/FT.EKS.01/SKRIP/01/2011



UNIVERSITY OF INDONESIA

**EVOLUTION OF  
STIFFNESS VALUE AND CBR PROCESS ON  
EXPANSIVE SOIL STABILIZATION WITH CEMENT**

**FINAL REPORT**

**Submitted as one of the requirements needed to obtain the  
Engineer Bachelor Degree**

**ENDRI SULISTIYONO  
0806369272**

**FACULTY OF ENGINEERING  
CIVIL ENGINEERING STUDY PROGRAM**

**DEPOK  
JANUARY 2011**

183/FT.EKS.01/SKRIP/01/2011



UNIVERSITAS INDONESIA

**EVOLUSI NILAI STIFFNESS DAN CBR PADA PROSES  
STABILISASI TANAH EKSPANSIF DENGAN SEMEN**

**SKRIPSI**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik**

**ENDRI SULISTIYONO**

**0806369272**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL**

**DEPOK  
JANUARI 2011**

183/FT.EKS.01/SKRIP/01/2011



UNIVERSITY OF INDONESIA

**EVOLUTION OF  
STIFFNESS VALUE AND CBR PROCESS ON  
EXPANSIVE SOIL STABILIZATION WITH CEMENT**

**FINAL REPORT**

**Submitted as one of the requirements needed to obtain the  
Engineer Bachelor Degree**

**ENDRI SULISTIYONO  
0806369272**

**FACULTY OF ENGINEERING  
CIVIL ENGINEERING STUDY PROGRAM**

**DEPOK  
JANUARY 2011**

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Skripsi ini adalah hasil karya sendiri,  
dan semua sumber yang dikutip maupun dirujuk  
telah saya nyatakan dengan benar**

**Nama : Endri Sulistiyono**

**NPM : 0806369272**

**Tanda Tangan : **

**Tanggal : 5 Januari 2011**

## **PAGE OF ORIGINALITY PRONOUNCEMENT**

**I declare that this final report is the result of my own research,  
and all of the references either quoted or cited here  
have been stated clearly.**

**Name : Endri Sulistiyono**

**NPM : 0806369272**

**Signature : **

**Date : January, 5<sup>th</sup> 2011**

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi diajukan oleh

Nama : Endri Sulistiyono  
NPM : 0806369272  
Program Studi : Teknik Sipil  
Judul Skripsi : Evolusi Nilai Stiffness dan CBR Pada Proses Stabilisasi Tanah Ekspansif dengan Semen.

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

### DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr. Ir. Sigit P. Hadiwardoyo DEA (  )

Penguji I : Ir. Ellen S. W. Tangkudung, MSc (  )

Penguji II : Dr. Ir. Wiwik Rahayu M.T (  )

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 5 Januari 2011

## KATA PENGANTAR

Puji Syukur saya panjatkan kepada Allah SWT karena atas segala nikmat dan rahmat-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi ini dengan baik. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Penulis menyadari bahwa penulisan skripsi ini tidak akan selesai tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Allah SWT yang telah memberikan rahmat, hidayah, dan kekuatan kepada saya untuk menyelesaikan skripsi ini
2. Kedua Orang Tua saya yang telah selalu memberikan motivasi dan bantuan dukungan material dan moral.
3. Dr.Ir.Sigit P. Haryowardoyo, DEA selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan waktu dan tenaga untuk membimbing dan mengarahkan dalam penulisan skripsi ini
4. Dr.Ir. Wiwik Rahayu M.T dan Ir. Ellen S. W. Tangkudung, MSc selaku dosen penguji yang telah memberi kritik dan saran untuk penulisan skripsi ini
5. Ir. Widjojo A Prakoso, M.Sc, Ph.D selaku kepala laboratorium mekanika tanah, dan para laboran, Pak Wardoyo, Mas Riyanto, Sdr. Teguh, Pak Sunarto, Pak Achong yang telah banyak membantu dalam usaha memperoleh data yang saya perlukan dalam skripsi ini.
6. Seluruh sahabat saya angkatan Teknik Sipil ekstensi 2008 Universitas Indonesia, yang memberikan dukungan satu sama lain sehingga tetap solid.
7. Sahabat saya Ardi Wijayanto, Heppy Christanto dan Yuliana yang telah membantu dalam pengadaan material tanah ekspansif Cikarang, serta semangat yang luar biasa.
8. Seluruh teman dan sahabat yang tidak bisa disebutkan satu persatu disini.

9. Karyawan Departemen Teknik Sipil yang selalu ramah dan siap membantu seperti Mba Dian, Yalih, Hamit, Pak Kasim, Bambang, dan Izul.

Akhirnya, dengan selesainya penulisan skripsi ini, penulis berharap semoga skripsi ini dapat memberi manfaat bagi penulis pada khususnya dan bagi pembaca pada umumnya. Semoga Allah SWT senantiasa mencurahkan rahmat dan karunia-Nya kepada kita semua. Amin.

Depok, 5 Januari 2011

Penulis



## ABSTRAK

Nama : Endri Sulistiyono  
Program Studi : Teknik Sipil  
Judul : Evolusi Nilai Stiffness dan CBR Pada Proses Stabilisasi Tanah Ekspansif dengan Semen.

Dalam konstruksi jalan raya, tanah dasar yang berupa tanah ekspansif yang berpotensi untuk mengembang (*swelling*) dan menyusut (*shrinkage*) perlu dilakukan proses stabilisasi. Stabilisasi menghasilkan proses peningkatan kekuatan antara material stabilisator dengan tanah. Proses ini membutuhkan rentan waktu evolusi hingga mencapai nilai CBR dan nilai kekakuan maksimum, sehingga dapat memperoleh hubungan antara nilai kekakuan dengan nilai CBR.

Proses pengujian meliputi uji swelling, CBR laboratorium *unsoaked* dan *soaked*, didapatkan % optimum semen terhadap campuran adalah 5% semen. Pengujian nilai kekakuan dengan Geogauge, serta CBR lapangan terhadap lempung ekspansif + 5 % semen dengan masa pemeraman 1 hari, 4 hari, 7 hari, dan 14 hari. Untuk mengetahui hubungan nilai kekakuan dengan nilai CBR dilakukan analisis dengan mencari persamaan antara kedua nilai tersebut.

Masa pemeraman efektif terjadi pada hari ke empat. Hasil grafik hubungan nilai kekakuan dan CBR lapangan dibandingkan kembali dengan penelitian-penelitian sebelumnya sehingga menghasilkan persamaan baru yaitu  $0.2686(K_G)^2 + 0.6099(K_G) - 5.75$ , dengan  $K_G$  adalah nilai kekakuan dan nilai  $R^2 = 0.9516$ .

### **Kata kunci :**

Stabilisasi, Ekspansif, Semen, CBR, Kekakuan, Geogauge

## ABSTRACT

Name : Endri Sulistiyono  
Study Program : Civil Engineering  
Title : Evolution of Stiffness And CBR Value To The Process of Stabilization of Expansive Soils with Cement.

In a highway construction, base soil consists of expansive soil that has a potential to swell and shrink needs to be stabilized. Stabilization produce power increasing process between soil and the stabiliator material. This process requires vulnerable time evolution until it reaches the CBR value and the value of maximum stiffness, until obtain the relationship between the stiffness with the CBR.

The testing process involves the swelling, the CBR Unsoaked Laboratorium Test and Soaked Test that obtains the optimum percentage of cement with the mixed of 5%. Stiffness value test with Geogauge and field CBR to the expansive clay of 5% cement with days of saving of 1,4, 7, and 14 days. To measure the relationship between the stiffness value and CBR between both value can be done by doing analysis to search a new equation which obtained by stiffness graph with the field CBR.

Effective ripening period occurred on the fourth day. Graph the results of stiffness value and field CBR compared back to the previous studies so as to produce a new equation, that is  $0.2686 (KG)^2 + 0.6099 (KG) - 5.75$ , with (KG) is the stiffness value and the value of  $R^2 = 0.9516$ .

**Keyword :**

Stabilization, Expansive, Cement, CBR, Stiffness, Geogauge.

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS .....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iv
KATA PENGANTAR .....	v
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH .....	vii
ABSTRAK .....	viii
DAFTAR ISI .....	x
DAFTAR GAMBAR .....	xiii
DAFTAR TABEL .....	xvi
<b>I. PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Maksud dan Tujuan .....	3
1.3 Perumusan Masalah .....	3
1.4 Batasan Masalah .....	4
1.5 Metodeologi .....	4
1.6 Sistematika Penulisan .....	4
<b>II. TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>6</b>
2.1 Tanah Dasar Sebagai Konstruksi Jalan .....	6
2.2 Tanah Lempung Ekspansif (Expansive Clay Soil .....	8
2.2.1 Pengertian Lempung Ekspansif .....	8
2.2.1.1 Faktor Mikroskopik .....	9
2.2.1.2 Faktor Makroskopik .....	10
2.2.2 Identifikasi Lempung Ekspansif .....	13
2.3 Proses Stabilisasi .....	15
2.3.1 Semen sebagai bahan tambah .....	16
2.4 Kepadatan Tanah (ASTM D.698-70 ).....	17

2.5	Cara Pengukuran Nilai Cbr dan Nilai Kekakuan (Stiffness) Tanah .....	20
2.5.1	California Bearing Ratio (CBR METHOD) .....	20
2.5.2	Nilai Kekakuan Tanah .....	24
2.6	Nilai Kekakuan Tanah Sebagai Pengontrol Pematatan .....	26
2.7	Geogauge .....	26
2.7.1	Prinsip Kerja .....	31
2.7.2	Kalibrasi .....	32
2.7.3	Studi Penelitian Geogauge .....	33
<b>III. METODOLOGI PENELITIAN.....</b>		<b>40</b>
3.1	Kegiatan Penelitian .....	41
3.1.1	Kegiatan Persiapan .....	41
3.1.2	Pengujian Kadar Air .....	45
3.1.3	Pengujian Aterberg Limit .....	46
3.1.4	Specific Gravity .....	48
3.1.5	Uji Analisa Butiran (Grain Size) .....	50
3.1.6	Pematatan Tanah .....	50
3.1.7	Pengujian CBR Laboratorium dan Swelling .....	54
3.1.8	Pengujian Geogauge.....	57
3.1.9	Pengujian CBR Lapangan .....	59
3.2	Analisa dan Penulisan Laporan .....	59
3.2.1	Tahap Analisa Data .....	59
3.2.1	Tahap Penulisan Laporan .....	60
<b>IV. ANALISIS DATA PENGUJIAN.....</b>		<b>61</b>
4.1	Pendahuluan .....	61
4.2	Data hasil Pengujian .....	61
4.2.1	Hasil Pengujian Tanah Lempung Ekspansif Asli .....	61
4.2.1.1	Atterberg Limit dan Specific Gravity .....	61
4.2.1.2	Uji Analisa butiran .....	63

4.2.2 Hasil Pengujian Tanah Lempung Ekspansif + Variasi % Semen .....	65
4.3 Analisa Data Sifat Fisis .....	66
4.4 Analisa Data Terhadap Daya Dukung .....	66
4.4.1 Pemadatan (compaction) .....	67
4.4.2 CBR (Unsoaked dan Soaked) .....	73
4.4.3 Swelling dari CBR soaked .....	74
4.4.4 Hasil Uji GeoGauge .....	76
4.4.5 Hasil Uji CBR Lapangan .....	78
4.4.6 Hubungan Stiffness dengan CBR.....	80
4.4.7 Gabungan penelitian mengenai hubungan Stiffness dengan CBR .....	82
<b>IV. KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>86</b>
5.1 Kesimpulan .....	86
5.2 Saran .....	86
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Konstruksi Lapis Perkerasan Jalan .....	6
Gambar 2.2	Konstruksi jalan raya diatas tanah ekspansif .....	10
Gambar 2.3	Pola grafik Hubungan antara Penetrasi dengan Beban .....	23
Gambar 2.4	Kurva hubungan antara Shear Strain denagn G,K,E .....	24
Gambar 2.5	Deskripsi nilai kekakuan tanah.....	25
Gambar 2.6	Humboldt GoeGauge .....	27
Gambar 2.7	Detail Instrumen GoeGauge .....	28
Gambar 2.8	Kondisi Pasir setelah pengujian GeoGauge .....	29
Gambar 2.9	Alat Verifier Mass .....	33
Gambar 2.10	Kurva Hubungan Antara Plate Loading Loading Test ( $E_{PLT}$ ) dan GeoGauge ( $E_G$ ) .....	34
Gambar 2.11	Kurva Hubungan Antara Modulus GeoGauge ( $E_G$ ) dan Nilai CBR .....	35
Gambar 2.12	GeoGauge ( $E_G$ ) vs Thickness .....	36
Gambar 2.13	GeoGauge ( $K_G$ ) vs CBR .....	36
Gambar 2.14	Marshall Hammer dan Bak Kayu .....	37
Gambar 2.15	Dry density dan Stiffness vs Moisture Content .....	37
Gambar 2.16	Korelasi nilai Stiffness dan CBR Lapangan Hadre .....	38
Gambar 2.17	Korelasi nilai Young Modulus dan CBR Lapangan Hadre .....	39
Gambar 3.1	Diagram Alir Pengujian .....	40
Gambar 3.2	Lokasi pengambilan sampel tanah .....	41
Gambar 3.3	Penyimpanan sampel tanah .....	42
Gambar 3.4	Diagram Atterberg Limits .....	46
Gambar 3.5	Alat pycnometer uji specivic gravity .....	49
Gambar 3.6	Alat uji pemadatan .....	52
Gambar 3.7	Hammer dan Pemadatan Sampel Geogauge .....	54

Gambar 3.8	Uji CBR .....	56
Gambar 3.9	Uji Swelling CBR .....	57
Gambar 3.10	Pola Pembacaan Stiffnes dengan GeoGauge .....	58
Gambar 3.11	Uji Kekakuan dengan GeoGauge .....	58
Gambar 3.12	Uji CBR Lapangan .....	59
Gambar 4.1	Grafik Plasticity chart .....	62
Gambar 4.2	Grain size distribution tanah asli .....	62
Gambar 4.3	Pengaruh Bahan Stabilisasi Terhadap Nilai Berat Spesifik	57
Gambar 4.4	Grafik Kadar Air Optimum Tanah Asli .....	68
Gambar 4.5	Grafik Kadar Air Optimum Tanah + 2,5% Semen .....	68
Gambar 4.6	Grafik Kadar Air Optimum Tanah + 5% Semen .....	69
Gambar 4.7	Grafik Kadar Air Optimum Tanah + 10% Semen .....	69
Gambar 4.8	Grafik Kadar Air Optimum Tanah + 15% Semen .....	70
Gambar 4.9	Grafik gabungan kadar air vs berat jenis kering untuk setiap jenis tanah .....	71
Gambar 4.10	Grafik gabungan kadar air pada kondisi optimum .....	71
Gambar 4.11	Grafik gabungan berat jenis kering maksimum pada kondisi optimum .....	72
Gambar 4.12	Grafik perubahan nilai CBR tiap campuran .....	74
Gambar 4.13	Grafik perubahan nilai swelling tiap campuran .....	75
Gambar 4.14	Pola Pembacaan GeoGauge .....	76
Gambar 4.15	Grafik Uji Stiffnes dengan GeoGauge .....	77
Gambar 4.16	Grafik $\Delta$ Stiffnes .....	78
Gambar 4.17	Grafik Uji CBR Lapangan .....	79
Gambar 4.18	Grafik Hubungan antara Stiffness GeoGauge CBR Lapangan .....	81
Gambar 4.19	GeoGauge ( $K_G$ ) vs CBR by <i>Loisiana Departement of Transportation &amp; Development</i> .....	83
Gambar 4.20	GeoGauge ( $K_G$ ) vs CBR Skripsi Endri + Skripsi Hadre + <i>Loisiana Departement of Transportation</i>	

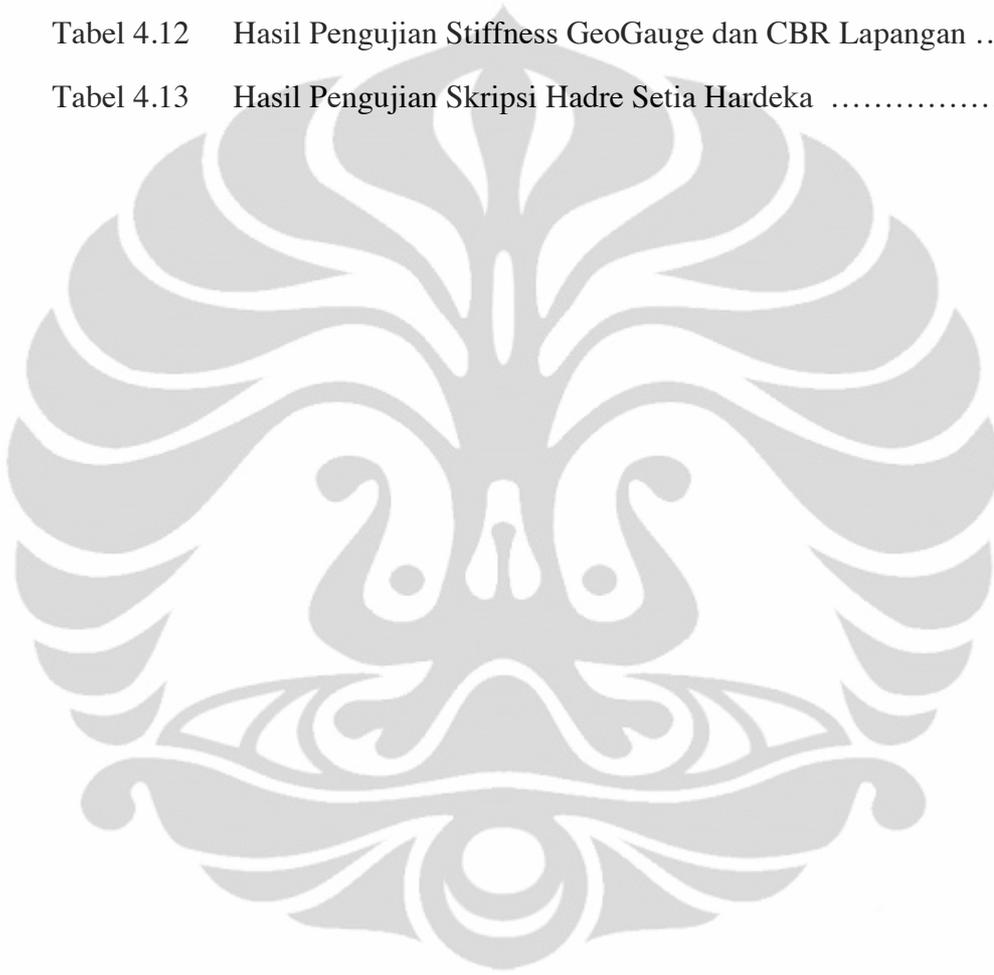
	<i>&amp; Development</i> .....	84
Gambar 4.21	GeoGauge ( $K_G$ ) vs CBR Skripsi Endri + <i>Loisiana</i> <i>Departement of Transportation &amp; Development</i> .....	84



## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Klasifikasi tanah untuk tanah dasar jalan raya, AASHTO .....	7
Tabel 2.2	Properties berbagai mineral tanah lempung (after woodwars clyde & associate, 1967) .....	11
Tabel 2.3	Klasifikasi tanah ekspansif berdasarkan indeks plastisitasnya (Chen,1988) .....	12
Tabel 2.4	Hubungan antara indeks plastisitas dengan swelling pressure (Costet dan Sanglerat, 1981) .....	12
Tabel 2.5	Klasifikasi derajat ekspansi (Seed et al. (1962).....	12
Tabel 2.6	Aktifitas Beberapa Jenis Mineral Lempung Bowles 1985 (Bowles 1985) .....	14
Tabel 2.7	Tabel Perbandingan metode Standard Proctor - AASHTO T 99 (ASTM D 698) dengan Modified Proctor - AASHTO T 180 (ASTM D 1557) .....	18
Tabel 2.8	Standard Unit Load pada tiap penetrasi .....	22
Tabel 2.9	Tabel Nilai CBR dan penggunaannya .....	23
Tabel 2.10	Nilai Kekauan Material .....	30
Tabel 2.11	Sampel tanah penelitian Ekrem Seyman .....	33
Tabel 3.1	Kandungan Kimia Semen Portland Tipe 1 .....	44
Tabel 4.1	Hasil Rata-Rata Uji Atterberg Limit dan Specific Gravity pada Tanah Asli.....	62
Tabel 4.2	Hasil Rata-Rata Uji Analisa Butiran (Sieve Analysis dan Hydrometer) Tanah Asli.....	64
Tabel 4.3	Hasil Pengujian Tanah Asli .....	65
Tabel 4.4	Hasil Pengujian Tanah + Variasi % Semen .....	65
Tabel 4.5	Hasil Pengujian Speific Gravity .....	66
Tabel 4.6	Hasil Compaction Test pada Tanah Asli dan Tanah Campuran .....	67

Tabel 4.7	Hasil Pengujian Compaction .....	70
Tabel 4.8	Hasil Pengujian CBR Unsoaked dan Soaked .....	73
Tabel 4.9	Hasil Pengujian Swelling CBR .....	75
Tabel 4.10	Hasil Pengujian Stiffness dengan alat GeoGauge .....	77
Tabel 4.11	Hasil Pengujian CBR Lapangan .....	79
Tabel 4.12	Hasil Pengujian Stiffness GeoGauge dan CBR Lapangan .....	80
Tabel 4.13	Hasil Pengujian Skripsi Hadre Setia Hardeka .....	82



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar belakang

Jalan raya memegang peranan yang sangat penting untuk memperlancar arus barang, jasa dan mempercepat komunikasi dan perekonomian antar wilayah. Salah satu diantaranya adalah daerah Cikarang. Cikarang merupakan salah satu daerah dengan tingkat arus perekonomian tinggi dikarenakan merupakan kawasan industri. Agar jalan raya dapat berfungsi sesuai dengan harapan, perlu diperhatikan faktor-faktor yang mempengaruhi fungsi pelayanan konstruksi jalan tersebut, antara lain sifat tanah dasar dimana perkerasan jalan diletakkan di atasnya.

Kondisi tanah di lapangan tidak selalu sesuai dengan persyaratan yang ditetapkan. Ada kalanya tanah dasar badan jalan merupakan tanah lempung ekspansif yang mempunyai sifat kembang susut yang sangat tinggi akibat perubahan kadar airnya. Hal ini disebabkan partikel tanah lempung ekspansif didominasi oleh butiran halus serta mengandung mineral lempung yang mudah menyerap air. Tanah lempung ekspansif merupakan tanah dasar yang kurang baik dalam mendukung konstruksi di atasnya karena berpotensi mengalami kegagalan misalnya retak, bergelombang, amblas, dan sebagainya.

Tanah Ekspansif meliputi hampir 20% luasan tanah di pulau Jawa, dan lebih kurang 25% luasan tanah di Indonesia. Sifatnya yang plastis membuat tanah ini mudah mengembang dan menyusut, permukaan air tanah meningkat tinggi pada waktu musim hujan dan tanah merekah pada waktu musim kemarau, sehingga apabila ada struktur atau infrastruktur bangunan di atas tanah tersebut dan perencana tidak memperhitungkan perilaku tanah ini, dapat dipastikan bangunan itu akan mengalami kegagalan seperti retak pada dindingnya.

Permasalahan di atas patut dijadikan perhatian karena pada kenyatannya sebagian besar sarana dan prasarana jalan terletak di daerah ini mengalami beberapa kasus, yang sempat tercatat antara lain adalah terjadinya keretakan dan pada beberapa ruas jalan Cikarang, kabupaten Bekasi.

Usaha-usaha untuk mendapatkan sifat tanah yang memenuhi syarat-syarat teknis tertentu adalah dengan metode stabilisasi tanah. Metode stabilisasi tanah dapat dibagi menjadi 2 klasifikasi utama yaitu berdasarkan sifat teknisnya dan berdasarkan pada tujuannya, dimana beberapa variasi dapat digunakan. Dari sifat teknisnya, stabilisasi dapat dibagi menjadi 3 jenis yaitu : stabilisasi mekanis, stabilisasi fisik dan stabilisasi kimiawi. (Ingles dan Metcalf, 1972).

Nilai daya dukung tanah untuk perencanaan konstruksi perkerasan jalan raya dapat ditentukan antara lain dengan metode California Bearing Ratio (CBR) lapangan dan laboratorium, serta nilai kekakuan dengan alat Geogauge. Nilai CBR adalah bilangan perbandingan antara tekanan yang diperlukan untuk menembus tanah dengan piston berpenampang bulat seluas 3 inch<sup>2</sup> (19,35 cm<sup>2</sup>) dengan kecepatan penetrasi 0,05 inch / menit terhadap tekanan yang diperlukan untuk menembus suatu bahan standar tertentu. Nilai CBR dinyatakan dalam persen.

Kekuatan tanah (*strength*) merupakan salah satu *engineering properties* tanah. Sebagaimana diketahui bahwa nilai kekakuan tanah menggambarkan kekuatan tanah dan tujuan dari pemadatan tanah adalah untuk memperbaiki *engineering properties* tanah sehingga penggunaan nilai kekakuan tanah sebagai pengontrol pemadatan tanah lebih relevan bila dibandingkan dengan *CBR*.

Geogauge merupakan alat yang diproduksi oleh perusahaan Humboldt yang digunakan untuk menentukan nilai kekakuan / *stiffness* dan modulus dari tanah dan agregat. Geogauge memiliki dimensi yaitu tinggi 28 cm, dan diameter 25,4 cm dengan berat 10 kg. Pengujian dengan menggunakan GeoGauge dapat dilakukan dengan cepat dan mudah tanpa menimbulkan kerusakan pada material yang akan diuji. Pengujian dengan menggunakan GeoGauge cukup dilakukan oleh satu orang, dikarenakan ukurannya yang tidak terlalu besar dan beratnya yang cukup ringan. GeoGauge mampu mengukur nilai kekakuan tanah pada jarak 220 –

310 mm dari permukaan material yang akan di uji. GeoGauge memiliki memory yang mampu menyimpan data hingga 100 pengukuran. Geogauge memiliki 2 baterai sebagai sumber tenaga yang mampu melakukan pengukuran hingga 1500 pengukuran.

## 1.2. Maksud dan Tujuan

Maksud dan tujuan dari penulisan ini adalah:

- a. Untuk mengetahui evolusi nilai kekakuan dan nilai CBR pada proses stabilisasi tanah ekspansif .
- b. Stabilisasi menghasilkan proses peningkatan kekuatan antara material stabilisator dengan tanah. Proses ini membutuhkan rentang waktu hingga mencapai nilai CBR dan kekakuan maksimum.
- c. Untuk mengetahui hubungan antara CBR lapangan dengan *stiffness* (kekakuan) yang didapat dari hasil pengukuran Geogauge.
- d. Membandingkan hasil penelitian skripsi ini dengan penelitian-penelitian sebelumnya.

## 1.3. Perumusan Masalah

Dari latar belakang di atas dapat dirumuskan masalah sebagai berikut :

- a. Tanah dikatakan sebagai tanah yang tidak stabil bila memiliki sifat mudah mengembang dan menyusut (ekspansif), bergradasi buruk, ataupun tanah yang memiliki tingkat kadar air tinggi.
- b. Stabilisasi campuran dapat dilakukan dengan berbagai metode, diantaranya dengan memperbaiki gradasi tanah tersebut, melakukan metode pemadatan, menambahkan bahan kimia, ataupun mengganti tanah tersebut dengan tanah yang lebih baik.

#### 1.4. Batasan masalah

Berdasarkan maksud dan tujuan yang diuraikan di atas, penulis membatasi masalah pada :

- a. Tanah yang diteliti adalah jenis tanah ekspansif yang diambil dari proyek “Java Resident” Jababeka Cikarang, Jawa Barat, dengan koordinat  $6^{\circ}16'22.24''S$   $107^{\circ}10'34.60''E$ .
- b. Penelitian sebatas meninjau evolusi nilai CBR dan nilai kekakuan tanah pada proses stabilisasi persatuan waktu.
- c. Bahan Stabilisasi yang dipakai menggunakan *Portland Cement*

#### 1.5. Metodologi

Untuk mencapai tujuan tersebut di atas, dalam menyusun skripsi ini dilakukan kegiatan dengan metodologi sebagai berikut :

1. Studi literatur, mencari informasi studi-studi yang dilakukan sebelumnya, pengumpulan data-data dari berbagai buku, hasil seminar, dan bahan-bahan lainnya yang terkait dengan skripsi ini.
2. Pengolahan data, data yang diperoleh melalui proses pengujian laboratorium.
3. Analisis data, analisis data hasil pengolahan uji laborattorium.
4. Kesimpulan, analisis data dibuat kesimpulan.

#### 1.6. Sistematika Penulisan

Dalam penyusunan laporan ini, penulis menggunakan sistematika penulisan sebagai berikut :

Bab I Pendahuluan

Membahas tentang latar belakang, maksud dan tujuan, batasan masalah, metodologi dan sistematika penulisan.

## Bab II Tinjauan Pustaka

Membahas tentang teori umum lapisan tanah dasar, tanah ekspansif, proses stabilisasi tanah, kepadatan tanah, dan cara pengukuran nilai CBR dan kekakuan tanah.

## Bab III Metodologi Penelitian

Membahas tentang metode yang akan digunakan pada pengujian di laboratorium serta membahas batasan permasalahan.

## Bab IV Analisis Data Pengujian

Membahas analisis hasil pengujian laboratorium berdasarkan batasan-batasan permasalahannya.

## Bab V Kesimpulan dan Saran

Membahas tentang kesimpulan dari hasil-hasil yang didapat dari analisis pengujian serta berisikan saran-saran terhadap analisis tersebut.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Tanah Dasar Sebagai Konstruksi Jalan

Konstruksi badan jalan pada umumnya terdiri dari tanah dasar (*sub grade*) dan perkerasan jalan (*pavement*). Menurut *Sukirman (1995)*, tanah dasar adalah lapisan tanah setebal 50 – 100 cm di atas mana akan diletakkan lapis pondasi bawah konstruksi jalan raya. Fungsi tanah dasar adalah menerima tekanan akibat beban lalu lintas yang ada di atasnya, sehingga tanah dasar harus mempunyai kapasitas dukung yang optimal agar mampu menerima gaya akibat beban lalu lintas tanpa mengalami perubahan atau kerusakan yang berarti. Tanah dasar dapat berupa tanah asli yang dipadatkan jika tanah aslinya baik, tanah yang didatangkan dari tempat lain dan dipadatkan atau tanah yang distabilisasi dengan bahan tambah (*additive*). Apabila tanah dasar merupakan tanah lempung yang mempunyai daya dukung yang rendah akan menyebabkan ketidakstabilan jalan tersebut.

Bagian perkerasan jalan terdiri dari lapisan tanah dasar (*sub grade*), lapisan pondasi bawah (*sub base*), lapisan pondasi atas (*basecourse*) dan lapisan permukaan (*surface*), dapat dilihat pada **Gambar 2.1**



Gambar 2.1. Konstruksi Lapis Perkerasan Jalan

Lapisan tanah dasar adalah lapisan tanah yang berfungsi sebagai tempat perletakan lapis perkerasan dan mendukung konstruksi perkerasan jalan di atasnya. Menurut Spesifikasi, tanah dasar adalah lapisan paling atas dari timbunan badan

jalan setebal 30 cm, yang mempunyai persyaratan tertentu sesuai fungsinya, yaitu yang berkenaan dengan kepadatan dan daya dukungnya (CBR). Lapisan tanah dasar dapat berupa tanah asli yang dipadatkan jika tanah aslinya baik, atau tanah urugan yang didatangkan dari tempat lain atau tanah yang distabilisasi dan lain lain.

Ditinjau dari muka tanah asli, maka lapisan tanah dasar dibedakan atas :

1. Lapisan tanah dasar, tanah galian.
2. Lapisan tanah dasar, tanah urugan.
3. Lapisan tanah dasar, tanah asli.

Kekuatan dan keawetan konstruksi perkerasan jalan sangat tergantung dari sifat-sifat dan daya dukung tanah dasar. Umumnya persoalan yang menyangkut tanah dasar adalah sebagai berikut:

1. Perubahan bentuk tetap (deformasi permanen) akibat beban lalu lintas.
2. Sifat mengembang dan menyusutnya tanah akibat perubahan kadar air. Daya dukung tanah yang tidak merata akibat adanya perbedaan sifat-sifat tanah pada lokasi yang berdekatan atau akibat kesalahan pelaksanaan misalnya kepadatan yang kurang baik. Klasifikasi tanah dasar dapat dilihat pada tabel 2.1

Tabel 2.1 Klasifikasi tanah untuk tanah dasar jalan raya, AASHTO.

Klasifikasi Umum	Tanah Granuler <sup>1</sup>					
	A-1		A-3	A-2		
Kelompok	A-1-a	A-1-b	A-3	A-2-4	A-2-5	A-2-6
Persen lolos saringan						
No. 10	50 max					
No. 40	30 max	50 max	51 min			
No. 200	15 max	25 max	10 max	35 max	35 max	35 max
Batas cair <sup>2</sup>	6 max		NP	40 max	41 min	40 max
Indek Plastisitas <sup>2</sup>	6 max		NP	10 max	10 max	11 min
Fraksi tanah	Kerikil dan pasir		Pasir halus	Kerikil dan pasir lanau atau lempung		
Kondisi kuat dukung	Sangat baik hingga baik					
Klasifikasi Umum	Tanah Granuler		Tanah Mengandung Lanau-Lempung <sup>2</sup>			
Kelompok	A-2	A-4	A-5	A-6	A-7	
	A-2-7				A-7-5 <sup>b</sup>	A-7-6 <sup>c</sup>
Persen lolos saringan						
No. 10						
No. 40						
No. 200	35 max	36 min	36 min	36 min	36 min	36 min
Batas cair <sup>2</sup>	41 min	40 max	41 min	40 max	40 max	41 min
Indek Plastisitas <sup>2</sup>	11 min	10 min	10 max	10 min	10 min	11 min
Fraksi tanah	Kerikil, pasir lanau/lempung		Lanau	Lempung		
Kondisi kuat dukung	Sangat baik hingga baik		Kurang baik hingga jelek			

Keterangan : <sup>1</sup> Persen lolos saringan No. 200  $\leq$  35%, <sup>2</sup> Persen lolos saringan No. 200  $>$  35%, <sup>a</sup> Tanah yang lolos saringan No. 40, <sup>b</sup> Untuk A-7-5,  $PI \leq LL - 30$ , <sup>c</sup> Untuk A-7-6,  $PI > LL - 30$ .

## 2.2. Tanah Lempung Ekspansif (Expansive Clay Soil)

Menurut Craig (1987), tanah lempung adalah mineral tanah sebagai kelompok-kelompok partikel kristal koloid berukuran kurang dari 0,002 mm, yang terjadi akibat proses pelapukan kimia pada batuan yang salah satu penyebabnya adalah air yang mengandung asam ataupun alkali, dan karbondioksida. Sedangkan menurut Mitchell (1976), mineral tanah adalah unsur dasar yang digunakan untuk mengetahui perilaku tanah, selain faktor utama untuk mengontrol bentuk, ukuran, sifat fisik, dan sifat kimia dari partikel tanah. Tampak bahwa tanah lempung adalah mineral tanah dari kelompok partikel-partikel berukuran koloid ( $< 0,002$  mm), yang hanya dapat dilihat oleh mikroskop electron.

Lapisan tanah yang disebut sebagai lapisan yang lunak adalah lempung (clay) atau lanau (silt) yang mempunyai nilai penetrasi standar (SPT)  $N$  yang lebih kecil dari 4 atau tanah organik seperti gambut yang mempunyai kadar air alamiah yang sangat tinggi. Lapisan lunak umumnya terdiri dari tanah yang sebagian besar terdiri dari butiran-butiran yang sangat kecil seperti lempung atau lanau. Pada lapisan lunak, semakin muda umur akumulasinya, semakin tinggi letak muka airnya. Lapisan muda ini juga kurang mengalami pembebanan sehingga sifat mekanisnya buruk dan tidak mampu memikul beban. Sifat lapisan tanah lunak adalah gaya gesernya yang kecil, kemampuan yang besar, dan koefisien permeabilitas yang kecil. Jadi, bilamana pembebanan konstruksi melampaui daya dukung kritisnya maka dalam jangka waktu yang lama besarnya penurunan akan meningkat yang akhirnya akan mengakibatkan berbagai kesulitan.

### 2.2.1 Pengertian Lempung Ekspansif

Tanah ekspansif adalah definisi yang biasanya dipakai pada tanah atau batuan yang berpotensi untuk mengembang (swelling) dan menyusut (shrinkage) karena perubahan keadaan kelembaban dan kadar air. Masalah utama yang dihadapi pada tanah ekspansif ini adalah deformasi yang terjadi lebih besar daripada deformasi elastic dan deformasi ini tidak dapat diprediksi dengan elastic atau plastic theory, (Nelson, 1992)

Karakteristik tanah ekspansif dipengaruhi oleh dua hal, yaitu faktor mikroskopik dan faktor makroskopik. Faktor mikroskopik adalah mineralogi tanah dan perilaku kimiawi tanah. Sedangkan yang dimaksud dengan faktor makroskopik adalah properti tanah secara fisik antara lain plastisitas dan berat volume tanah. Faktor makroskopik tanah ekspansif dipengaruhi oleh perilaku mikroskopiknya.

### 2.2.1.1 Faktor Mikroskopik

Beberapa faktor mikroskopik yang menyebabkan tanah ekspansif mengalami perilaku kembang susut antara lain adalah mineralogy tanahnya, perilaku kimiawi air tanah dan jumlah *exchangeable cation* (CEC), serta besarnya *specific surface* dari partikel tanah. Mineralogi tanah lempung dibagi menjadi tiga grup mineral utama, yaitu kaolinite, illite, montmorillonite. Montmorillonit termasuk jenis mineral tanah lempung yang memiliki kembang susut yang tinggi dan biasanya menjadi penyebab utama timbulnya masalah pada tanah lempung. Umumnya partikel-partikel lempung bermuatan negatif pada permukaannya. Beberapa muatan positif terdapat di ujung lempengan partikel. Makin besar luasan spesifiknya maka makin besar muatan negatif yang dijumpai pada partikel lempung pada lempung kering, muatan negative di permukaan partikel dinetralkan oleh adanya *exchangeable cation*, yaitu ion-ion positif yang berganti dengan lainnya seperti ion  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{Al}^{++}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  yang mengelilingi partikel lempung tersebut dan terikat pada partikel oleh gaya tarik menarik elektrostatik. Bila air berpenetrasi ke dalam lempung, beberapa kation dan anion (ion negatif) akan bergerak di antara partikel-partikel, keadaan ini disebut *diffuse double layer* yang berakibat tanah akan mengemban. Konsistensi kation pada larutan akan mengecil bila jaraknya dari partikel makin jauh. semakin tinggi harga CEC maka semakin tinggi pula potensi kembang susut tanah. Apabila *specific surface* membesar, maka harga batas cair juga akan membesar. Tanah yang mempunyai harga batas cair atau indeks plastisitas yang tinggi menunjukkan tanah tersebut memiliki potensi kembang susut yang tinggi pula.

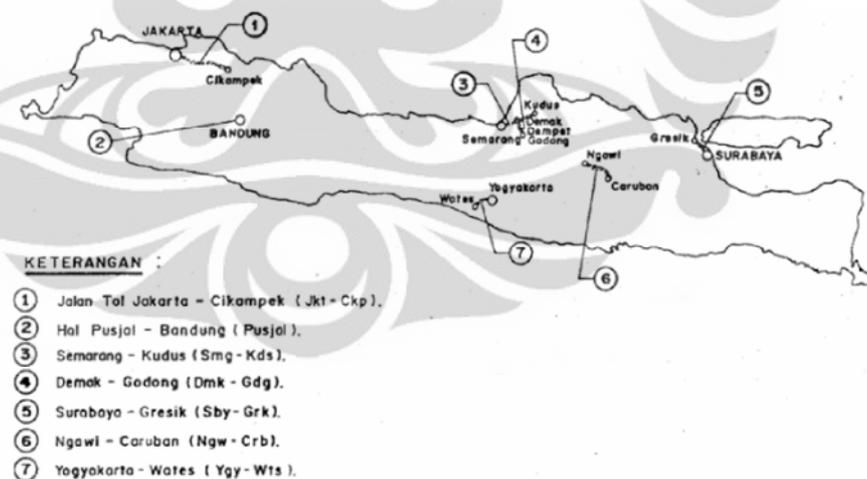
### 2.2.1.2 Faktor Makroskopik

Perilaku kembang susut tanah biasanya ditunjukkan oleh karakteristik tanah makro, antara lain:

- Mempunyai harga batas cair dan indeks plastisitas yang tinggi
- Mempunyai harga batas swelling indeks ( $C_s$ ) yang besar
- Mempunyai kandungan organik karbon, clay, montmorillonite yang besar
- Arah atau deformasi volume biasanya bersifat isotropic.

Dilihat dari skala makronya, karakteristik tanah ekspansif yang berpotensi besar untuk mengalami kembang susut, secara umum mempunyai ciri-ciri sebagai berikut:

1. Mempunyai harga batas cair dan indeks plastisitas tinggi.
2. Mempunyai harga batas swelling index ( $C_s$ ) yang besar.
3. Mempunyai kandungan karbon organik, clay. Montmorillonite yang besar.
4. Arah atau deformasi volume biasanya bersifat isotropic



Gambar 2.2 Konstruksi jalan raya diatas tanah ekspansif

Sumber : Pengkajian Kerusakan Jalan Di Atas Tanah Ekspansif,  
(Departemen Pekerjaan Umum)

Data mengenai peta persebaran tanah ekspansif di Indonesia sangatlah minim, walaupun ada, itu dikarenakan pernah dibangunnya konstruksi jalan di daerah tersebut. Sebenarnya apabila dilakukan observasi menjauh akan banyak

didapatkan di berbagai daerah Indonesia yang memiliki tanah ekspansif karena negeri kita dikelilingi oleh banyak sekali gunung berapi yang merupakan salah satu pembentuk material tanah ekspansif.

Propertis tanah lempung ditinjau berdasarkan mineral yang tergantung di dalamnya dilihat pada Tabel 2.2

Tabel 2.2 Properties berbagai mineral tanah lempung  
(after woodwars-clyde & associate, 1967)

	Kaolinite	Illite	Montmorillonite
Particle thickness	0.5 – 2 microns	0.003 – 0.1 microns	Leass than 9.5 A
Particle diameter	0.5 – 2 microns	0.5 – 10 microns	0.05 – 10 microns
Specific surface (m <sup>2</sup> /g)	10 - 20	65 – 180	50 – 840
Cation exchange capacity (miliequivalents per 100g)	3 - 15	10 - 40	70 – 80

Identifikasi tanah ekspansif pada awal penyelidikan tanah diperlukan untuk melakukan metode pengujian yang lebih tepat di laboratorium. Klasifikasi yang didasarkan pada indeks properties tanah seperti kandungan lempung dan plastisitas adalah yang paling umum dipakai untuk mengidentifikasi tanah ekspansif. Indeks plastisitas (PI) adalah parameter yang paling sering digunakan untuk menentukan potensi kembang susut tanah.

Secara umum Wiszman (1985) menyatakan bahwa apabila tanah memiliki PI lebih besar dari 32% atau *shrinkage limit* nya lebih kecil dari 10%, maka tanah tersebut dikategorikan memiliki potensi kembang susut. Sedangkan hubungan antara PI dengan potensi kembang susutnya secara detail dapat dilihat pada tabel 2.3.

Tabel 2.3 Klasifikasi tanah ekspansif berdasarkan indeks plastisitasnya  
(Chen,1988)

Potensi Kembang Susut	Indeks Plastisnya (%)
Rendah	0 - 15
Medium	10 – 35
Tinggi	22 - 55
Sangat Tinggi	>35

Hubungan antara potensi kembang susut dengan *swelling pressure* dapat dilihat pada tabel 2.4

Tabel 2.4 Hubungan antara indeks plastisitas dengan swelling pressure (Costet dan Sanglerat, 1981)

Potensi Kembang Susut	Indeks Plastisitas (%)	Swelling Pressure (KPa)
Lemah	0 - 15	50
Sedang	10 – 35	150 – 250
Tinggi	22 - 55	250 – 500
Sangat Tinggi	>35	>1000

Memperhatikan petunjuk praktis dari *USBR* mengenai gambaran kemampuan pengembangan tanah, Seed et al. (1962) menyarankan klasifikasi *derajat ekspansi* (*degree of expansion*) yang ditunjukkan dalam tabel 2.5

Tabel 2.5 Klasifikasi derajat ekspansi (Seed et al. (1962)

Derajat Ekspansi	Potensi Pengembangan, S (%)
Rendah	0 – 1,5
Sedang	1,5 – 5
Tinggi	5,0 - 25
Sangat Tinggi	>25

### 2.2.2 Identifikasi Lempung Ekspansif

Pengidentifikasian apakah suatu deposit tanah bersifat ekspansif atau tidak sangat penting dilakukan, mengingat besarnya kerugian yang ditimbulkan akibat sifat yang dimiliki oleh tanah ekspansif. Identifikasi harus dilakukan pada tahap awal perencanaan sehingga dapat diantisipasi kerusakan-kerusakan yang mungkin timbul pada struktur. Identifikasi ini dapat dilakukan dengan berbagai cara, yaitu :

#### a Visual

Beberapa indikasi alamiah yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi tanah lempung ekspansif secara visual adalah:

1. Karakteristik bongkahan tanahnya : sangat keras saat mengering, licin saat dipotong dengan scraper atau shovel, memiliki pola retak tertentu. Lembut dan lengket ketika basah dan meninggalkan sisa ketika diremas dengan telapak tangan.
2. Karakteristik di lapangan : fakta-fakta menunjukkan adanya pergerakan pada lereng, retak yang dalam akibat penyusutan dengan jarak yang tetap.
3. Pengaruh vegetasi yang ada : jaringan akar secara terus menerus menghisap kandungan air pada bagian atas tanah (permukaan) sehingga sifat ekspansifnya masih terjaga. Misalnya padi, ilalang serta tumbuhan dengan akar serabut lainnya. Ketika tumbuhan tersebut hilang karena ada konstruksi di atasnya, tumbuhan tersebut mulai mendapatkan kembali kandungan airnya sehingga mengembang. Efek tersebut yang membahayakan konstruksi di atasnya meskipun berlangsung relatif lambat.

#### b Identifikasi Tidak langsung

Identifikasi dengan cara ini dilakukan dilaboratorium dan membagi tanah ekspansif ke dalam berbagai potensi pengembangan. Pengujian yang dilakukan meliputi pengujian batas-batas atterberg dan analisa hidrometer. Banyak kriteria dan metode yang telah dibuat untuk identifikasi tidak langsung ini.

Nilai Aktivitas Skempton (1953) didefinisikan sebagai berikut :

$$\text{Aktivitas (A)} = \frac{PI}{C}$$

Dimana :

PI = Indeks Plastis (%)

C = Fraksi lempung lebih kecil dari 0,002 mm (%)

Dari nilai aktivitasnya sendiri juga dapat diidentifikasi jenis material yang terkandung dalam suatu tanah lempung. Nilai-nilai aktivitas dari mineral lempung dapat dilihat pada tabel 2.6. berikut ini :

Tabel 2.6 Aktivitas Beberapa Jenis Mineral Lempung Bowles 1985  
(Bowles 1985)

Mineral	Aktivitas
Montmorilonite	1,0 - 7,0
Illite	0,5 - 1,0
Kaolinite	0,4 - 0,5

#### c Identifikasi Mineralogi

Menurut Gromko (1974) kandungan mineral suatu jenis tanah dapat ditentukan berdasarkan serangkaian pengujian dengan menggunakan mikroskop elektron dan optik, difraksi sinar-X, analisa perbedaan thermal, analisa sinar inframerah, dye adsorption, dan analisa kimiawi. Pengujian yang paling sering dan banyak digunakan untuk menentukan kandungan kimiawi suatu jenis tanah beserta bentuk dan susunan struktur kristalnya adalah metode pengujian difraksi Sinar-X.

#### d Identifikasi Langsung

Dilakukan test langsung pada tanah dengan cara modified Terzaghi Oedemeter. Cara ini digunakan apabila sudah ada indikasi bahwa tanah

tersebut ekspansif karena dibutuhkan biaya yang cukup besar untuk melakukan test ini.

### 2.3. Proses Stabilisasi

Salah satu upaya untuk mendapatkan sifat tanah yang memenuhi syarat-syarat teknis tertentu adalah dengan metode stabilisasi tanah. Metode stabilisasi tanah dapat dibagi menjadi 2 klasifikasi utama yaitu berdasarkan sifat teknisnya dan berdasarkan pada tujuannya, dimana beberapa variasi dapat digunakan. Dari sifat teknisnya, stabilisasi dapat dibagi menjadi 3 jenis yaitu : stabilisasi mekanis, stabilisasi fisik dan stabilisasi kimiawi. (Ingles dan Metcalf, 1972).

Stabilisasi tanah ekspansif yang murah dan efektif adalah dengan menambahkan bahan kimia tertentu, dengan penambahan bahan kimia dapat mengikat mineral lempung menjadi padat, sehingga mengurangi kembang susut tanah lempung ekspansif (Ingles dan Metcalf, 1972).

Stabilisasi ini dapat dilakukan dengan mencampurkan tanah dengan bahan-bahan lain untuk memperbaiki sifat tanah itu sendiri. Pada proses stabilisasi tanah, dilakukan pencampuran antara tanah dengan semen, kapur, abu terbang dan lain-lain kemudian ditambahkan dengan air lalu dipadatkan. Semen yang bercampur dengan tanah mengakibatkan terjadinya proses pertukaran kation alkali ( $\text{Na}^+$  dan  $\text{K}^+$ ) dari tanah digantikan oleh kation dari semen sehingga ukuran butiran lempung bertambah besar (flokulasi). Selain proses flokulasi yang terjadi dalam stabilisasi tanah, terjadi pula proses pozzolan, proses hidrasi, dan proses sementasi. Proses pozzolan terjadi antara kalsium hidroksida dari tanah bereaksi dengan silikat ( $\text{SiO}_2$ ) dan aluminat ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) dari semen membentuk material pengikat yang terdiri dari kalsium silikat atau aluminat silikat. Reaksi dari ion  $\text{Ca}^{2+}$  dengan silikat dan aluminat dari permukaan partikel lempung membentuk pasta semen (hydrated gel) sehingga mengikat partikel-partikel tanah. Proses sementasi dapat juga terjadi karena sifat semen bila bercampur dengan air yang sesuai akan menjadi pozzolan / sementasi. Dampak dari perbaikan sifat tanah ini tidak hanya membantu proses pelaksanaan pekerjaan konstruksi, tetapi juga memberikan dampak positif terhadap kinerja struktur perkerasan.

**Universitas Indonesia**

Menurut Ingels dan Metcalf (1972), sifat-sifat tanah yang diperbaiki dengan stabilisasi dapat meliputi kestabilan volume, kekuatan/daya dukung, permeabilitas, dan kekekalan/keawetan. Metode atau cara memperbaiki sifat – sifat tanah ini juga sangat bergantung pada lama waktu pemeraman, hal ini disebabkan karena didalam proses perbaikan sifat – sifat tanah terjadi proses kimia yang dimana memerlukan waktu untuk zat kimia yang ada didalam aditif untuk bereaksi. Pada penelitian ini peneliti mencoba melakukan stabilisasi tanah dengan menggunakan *Portland Cement*.

Taufan Candra Abadi, 2007, Fakultas Teknik Institut Teknologi Nasional, Bandung, melakukan penelitian *perbandingan hasil stabilisasi tanah ekspansif dengan semen dan fly ash*. Beliau menggunakan variasi persentase campuran berturut-turut 5%, 10%, 15%, 20% yang menggunakan semen, dan 2.5%, 5 %, 10%, 15%, 20% dan 25% yang menggunakan fly ash sebagai bahan stabilisasi. Hasil tes kompaksi modified proctor menunjukkan kadar flay ash dan semen yang optimum sebagai bahan stabilisasi pada sisi basah dan optimum berturut-turut sebesar 5% dan 20%, sedangkan kondisi kering adalah 10% dan 15%.

### **2.3.1 Semen sebagai bahan tambah**

Gromko (1975) menyatakan bahwa stabilisasi tanah dikembangkan atas dasar adanya reaksi antara kalsium silikat dan aluminium hidroksida dengan mineral tanah. Kekerasan dan kekakunn pada tanah akan terjadi secara beertahap seiring dengan proses pengenyalan dan pengkristalan. Aktifitas dari semen yang ditambahkan pada lempung ekspansif akan mengurangi batas cair, indeks plastis dan potensi pengembangan serta memperbesar batas susut dan gaya gesernya.

Persentase campuran yang proporsional sangat penting untuk mencapai stabilitas yang efisien dan ekonomis.

Dengan pencampuran semen akan terjadi suatu perbaikan yang mekanismenya dapat diterangkan sebagai berikut:

- a. Pengurangan Plastisitas

Perubahan sifat yang terjadi bila semen dicampurkan pada tanah kohesif adalah terjadinya penurunan plastisitas, perubahan ini disebabkan oleh lepasnya ion-ion kalsium selama berlangsungnya hidrasi semen. Terjadinya pertukaran kation atau pengerumunan kation tambahan akan merubah kerapatan muatan listrik sekeliling partikel-partikel lempung. Partikel-partikel lempung kemudiann saling tarik tertarik, yang menyebabkan terjadinya flokulasi atau agregasi. Lempung yang bergumpal bersifat atau berkelakuan seperti lanau (silt), yang mempunyai plastisitas rendah. Proses agregasi ini berlangsung agak cepat.

#### b. Sementasi

Pada campuran tanah semen yang dipadatkan, hidrasi dari unsur-unsur semen terjadi dengan kecepatan yang berbeda-beda yang menghasilkan produk kristalin yang bersifat menyemen. Proses sementasi ini bersifat kimiawi yang dapat diartikan sebagai pembentukan ikatan kimiawi antara permukaan butir-butir tanah yang terbuka.

### 2.4 Kepadatan Tanah (ASTM D. 698-70)

Pemadatan (*compaction*) adalah proses naiknya kerapatan tanah dengan memperkecil jarak antar partikel sehingga terjadi reduksi volume udara, tidak terjadi perubahan volume air yang cukup berarti pada tanah ini. Tujuan pemadatan tanah adalah memadatkan tanah pada kadar air optimum dan memperbaiki karakteristik mekanisme tanah, yang akan memberikan keuntungan yaitu:

- a Memperkecil pengaruh air terhadap tanah.
- b Bertambahnya kekuatan tanah.
- c Memperkecilkan pemampatan dan daya rembes air.
- d Mengurangi perubahan volume sebagai akibat perubahan kadar air.

Pemadatan tanah biasanya digunakan pada pembuatan bendung, jalan raya, lapangan terbang dasar pondasi dsb. Perubahan yang terjadi jika tanah dipadatkan adalah pengurangan volume pori tanah sehingga akibatnya

Suatu pemadatan (*Compactive Effort = CE*) yang dilakukan tersebut adalah fungsi dari variabel-variabel berikut:

$$CE = \frac{W \cdot H \cdot L \cdot B}{V}$$

dengan :

*CE* = *Compactive Effort* (kg/cm<sup>2</sup>)

*W* = berat *hammer* (kg)

*H* = tinggi jatuh (cm)

*L* = jumlah *layer*

*B* = jumlah pukulan per-*layer*

*V* = volume tanah (cm<sup>3</sup>)

Pemadatan tanah yang dilakukan di laboratorium pada umumnya terdiri dari dua macam, yaitu:

1. *Standard Proctor* - AASHTO T 99 (ASTM D 698)
2. *Modified Proctor* - AASHTO T 180 (ASTM D 1557)

Perbedaan mengenai dua metode tersebut dirangkum pada tabel 2.7 di bawah ini:

Tabel 2.7 Tabel Perbandingan metode Standard Proctor - AASHTO T 99 (ASTM D 698) dengan Modified Proctor - AASHTO T 180 (ASTM D 1557)

Test Identification	AASHTO T 99 ASTM D 698		AASHTO T 180 ASTM D 1557	
Diameter mould (inch)	4"	6"	4"	6"
Berat hammer (lb)	5,5	5,5	10	10
Tinggi jatuh hammer (inch)	12	12	18	18
Jumlah layer	3	3	5	5
Jumlah pukulan per-layer	25	56	25	56
C.E (lb/ft <sup>2</sup> )	12.375	12.375	56.25	56.25
Ukuran butiran maksimum yang lolos	No.4 (3/4")	No.4 (3/4")	No.4 (3/4")	No.4 (3/4")

Kepadatan tanah bergantung pada kadar airnya. Untuk membuat suatu hubungan tersebut dibuat beberapa contoh tanah minimal empat contoh dengan kadar air yang berbeda-beda, dengan perbedaan kurang lebih 4% antara setiap sampel. Dari percobaan tersebut kemudian dibuat grafik yang menggambarkan hubungan antara kepadatan dan kadar air, sehingga dari grafik tersebut diperoleh  $\gamma_{dry}$  maksimum pada kadar air optimumnya. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa suatu tanah yang dipadatkan dengan kadar air tanah lebih dari  $W_{opt}$  akan diperoleh nilai kepadatan yang lebih kecil dari  $\gamma_{dry}$  maksimum.

$$W = \frac{W_{water}}{W_{dry}} \times 100\%$$

$$W_{wet} = W_{dry} (1+W)$$

$$W_{dry} = \frac{W_{wet}}{(1+W)}$$

dengan :

$W$  = Kadar air

$W_{water}$  = Berat air (gram)

$W_{dry}$  = Berat tanah kering (gram)

$W_{wet}$  = Berat tanah basah (gram)

- Menentukan penambahan air pori

$$V_{add} = \frac{W - W_0}{W} \times W$$

dengan:

$V_{add}$  = volume air yang akan ditambahkan

$WX$  = kadar air yang akan dibuat

$W_0$  = kadar air awal

$W$  = berat sampel tanah (gram)

- Menghitung nilai  $\gamma_{wet}$  dan  $\gamma_{dry}$

$$\gamma_{wet} = \frac{W_{wet}}{V}$$

$$\gamma_{dry} = \frac{W_{dry}}{V} = \frac{W_{wet} - W_w}{V} = \frac{W_{wet}}{V} - \frac{W_w}{V}$$

dengan:

$\gamma_{wet}$	= berat isi tanah dalam keadaan basah (gr/cm <sup>3</sup> )
$W_{wet}$	= berat tanah basah (gr)
$V$	= volume sampel tanah yang telah dipadatkan (cm <sup>3</sup> )
$\gamma_{dry}$	= berat isi tanah dalam keadaan kering (gr/cm <sup>3</sup> )
$W_{dry}$	= berat tanah kering (gr)
$W$	= kadar air (%)

- Menghitung nilai zero air void line (ZAV line)

ZAV-line adalah garis yang menggambarkan hubungan antara berat isi kering dengan kadar air dalam kondisi derajat kejenuhan ( $S_r$ ) 100%.

$$ZAV = \frac{G_s \cdot \gamma_w}{1 + (W \cdot G_s) / S_r}$$

dengan:

$G_s$	= nilai <i>specific gravity</i>
$\gamma_w$	= berat jenis air (gr/cm <sup>3</sup> )
$W$	= kadar air (%)
$S_r$	= derajat kejenuhan

## 2.5 Cara Pengukuran Nilai CBR dan Nilai Kekakuan (Stiffness) Tanah

### 2.5.1 California Bearing Ratio (CBR METHOD)

Cara yang paling umum dipakai untuk mengetahui kekuatan daya dukung tanah dasar adalah dengan menggunakan uji CBR (California Bearing Ratio). Metoda ini awalnya diciptakan oleh O.J poter kemudian di kembangkan oleh

California State Highway Departement, kemudian dikembangkan dan dimodifikasi oleh Corps insinyur-insinyur tentara Amerika Serikat (U.S Army Corps of Engineers). Metode ini mengkombinasikan percobaan pembebanan penetrasi di Laboratorium atau di Lapangan dengan rencana Empiris untuk menentukan tebal lapisan perkerasan. Hal ini digunakan sebagai metode perencanaan perkerasan lentur (flexible pavement) suatu jalan.

Berdasarkan cara mendapatkan contoh tanahnya, CBR dapat dibagi menjadi 3:

- 1) CBR Lapangan (CBR in place atau field In place)  
Digunakan untuk memperoleh nilai CBR asli di Lapangan sesuai dengan kondisi tanah pada saat itu. Umum digunakan untuk perencanaan tebal perkerasan yang lapisan tanah dasarnya tidak akan dipadatkan lagi. Pemeriksaan ini dilakukan dalam kondisi kadar air tanah tinggi (musim penghujan), atau dalam kondisi terbuuk yang mungkin terjadi. Juga digunakan apakah kepadatan yang diperoleh dengan sesuai dengan yang kita inginkan.
- 2) CBR lapangan rendaman (undisturbed soaked CBR). Digunakan untuk mendapatkan besarnya nilai CBR asli di lapangan pada keadaan jenuh air dan tanah mengalami pengembangan (swell) yang maksimum. Hal ini sering digunakan untuk menentukan daya dukung tanah di daerah yang lapisan tanah dasarnya tidak akan dipadatkan lagi, terletak pada daerah yang badan jalannya sering terendam air pada musim penghujan dan kering pada musim kemarau. Sedangkan pemeriksaan dilakukan di musim kemarau. Pemeriksaan dilakukan dengan mengambil contoh tanah dalam tabung (mould) yang ditekan masuk kedalam tanah mencapai kedalaman yang diinginkan. Tabung berisi contoh tanah dikeluarkan dan direndam dalam air selama beberapa hari sambil diukur pengembangannya. Setelah pengembangan tidak terjadi lagi, barulah dilakukan pemeriksaan besarnya CBR.
- 3) CBR Laboratorium tanah dasar (Subgrade) pada konstruksi jalan baru dapat berupa tanah asli, tanah timbunan atau tanah galian yang telah dipadatkan sampai mencapai kepadatan 95% kepadatan maksimum. Dengan demikian

daya dukung tanah dasar tersebut merupakan nilai kemampuan lapisan tanah memikul beban setelah tanah tersebut dipadatkan. CBR ini disebut CBR laboratorium, karena disiapkan di laboratorium. CBR laboratorium dibedakan atas dua macam, yaitu CBR laboratorium rendaman dan CBR laboratorium tanpa rendaman.

Nilai CBR adalah perbandingan antara kekuatan contoh tanah dengan kepadatan tertentu dan kadar air tertentu terhadap kekuatan batu pecah bergradasi rapat sebagai standar material dengan nilai CBR = 100, didapatkan pada test compaction. Metode CBR dikembangkan pertama kali oleh California Division of Highways (1929) yang digunakan untuk mengklasifikasikan tanah yang sesuai untuk material subgrade atau material base course pada konstruksi jalan raya.

Prinsip kerja CBR laboratorium yaitu tanah diberi beban lalu dilakukan pembacaan pada penetrasi 0.0125", 0.025", 0.05", 0.075", 0.1", 0.15", 0.2". Nilai CBR yang dicari adalah nilai CBR pada penetrasi 0.1" dan 0.2". Untuk mencari nilai CBR digunakan rumus:

$$\% \text{ CBR} = \frac{x}{x} \times 100\%$$

dimana:

M = pembacaan dial

LRC = factor kalibrasi alat (lbf/div)

A = luas piston (in<sup>2</sup>)

BS = Standard Unit Load

Tabel 2.8 : Standard Unit Load pada tiap penetrasi

Penetrasi (mm)	Beban Standard	
	(psi)	(Kn/m <sup>2</sup> )
2,5	1000	6900
5,0	1500	10300
7,5	1900	13000
10,0	2300	16000
12,5	2600	18000

Sumber: Lab Mekanika Tanah FT-UI

Beban (load) didapat dari hasil pembacaan dial penetrasi yang kemudian diubah dengan grafik Calibraton Prooving Ring.

$$= \dots = \frac{(\quad)}{\quad}$$

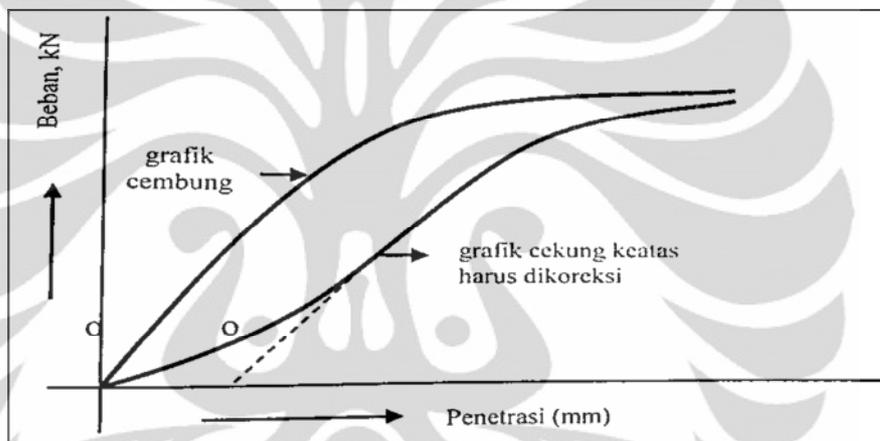
dimana:

A = luas piston (3 in<sup>2</sup>)

P = M x LRC

M = pembacaan dial

LRC = factor kalibrasi alat (lbf/div)



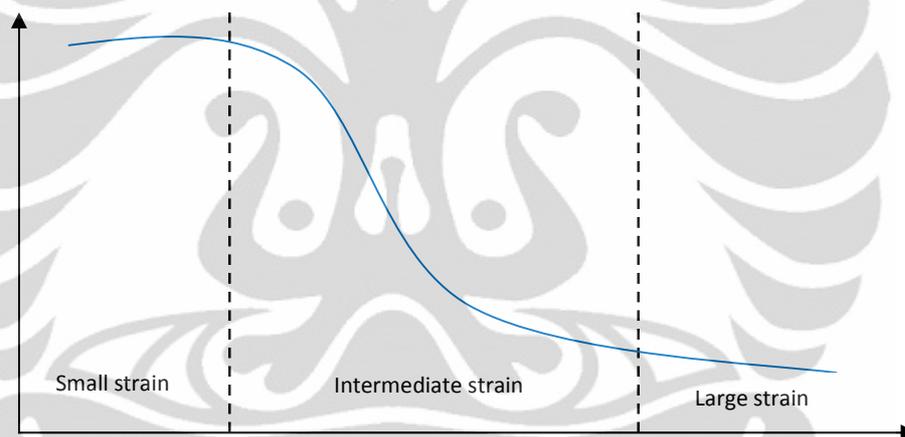
Gambar 2.3: Pola grafik Hubungan antara Penetrasi dengan Beban

Tabel 2.9 : Tabel Nilai CBR dan penggunaannya

CBR	Rating	Penggunaan
0-3	Sangat Buruk	Sub Grade
3-7	Buruk	Sub Grade
7-20	Sedang	Sub Base
20-50	Baik	Base, Sub Base
>50	Memuaskan	Base

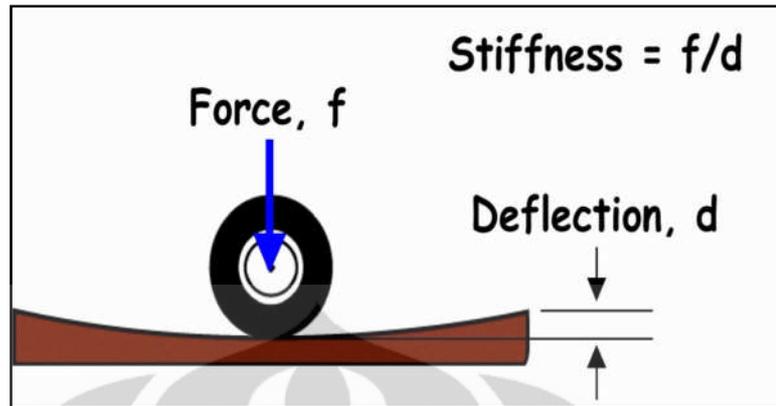
### 2.5.2 Nilai Kekakuan Tanah

Nilai kekakuan tanah menggambarkan kekuatan dari tanah yang diuji. Nilai kekakuan tanah bergantung kepada jumlah *shear strain* atau regangan geser<sup>4</sup>. Meningkatnya regangan geser menyebabkan nilai modulus geser (G) dan modulus elastisitas (E) menurun. Hal ini menyebabkan nilai kekakuan tanah menurun. Saat kondisi regangan geser kecil yaitu kurang dari 0.001%, nilai kekakuan tanah konstan dan tanah berperilaku seperti material yang elastic linier. Saat nilai regangan geser diantara 0.001%-1%, nilaikekakuan tanah menurun secara signifikan dan tanah berperilaku elastoplastis (nonlinier). Pada kondisi regangan geser > 1 %, nilai kekakuan tanah menurun secara perlahan hingga mencapai nilai yang konstan saat tanah mencapai kondisi critical state ( lihat Gambar2.4).



Gambar 2.4: kurva hubungan antara Shear Strain dengan G,K,E  
(Sumber : Soil Mechanics and Foundations, Muni Budhu, 2007)

Nilai kekakuan Tanah juga dapat didefinisikan sebagai perbandingan antara gaya yang bekerja pada permukaan tanah dengan besarnya defleksi pada permukaan tanah. Nilai kekakuan tanah didapatkan dengan memberikan gaya sebesar F pada permukaan tanah. Sebagai akibat pemberian gaya F, tanah akan mengalami defleksi sebesar d.



Gambar 2.5 Deskripsi nilai kekakuan tanah  
( sumber : *Humblodt Co*)

Dengan melakukan perbandingan antara F dan D maka nilai kekakuan tanah dapat ditentukan.

$$\text{Stiffness} = \frac{F}{d} \dots\dots\dots 2.3$$

Dimana:

Stiffness = nilai kekakuan tanah (N/m)

F = gaya pada permukaan tanah (N)

d = defleksi pada tanah (m)

Nilai kekakuan tanah juga dapat ditentukan dari modulus elastisitas tanah yaitu dengan menggunakan perumusan *static stiffness* dari *rigid anular ring pada tanah elastic*, homogeny dan isotropik 5 yaitu:

$$K = \frac{E}{(1-\nu^2)} \dots\dots\dots 2.4$$

Dimana:

K = Stiffness (MN/m)

E = Modulus elastisitas (Mpa)

R = radius GeoGauge ring (2.25 inches = 0.05715 m)

V = poisson's ratio

(n) = fungsi ratio antara diameter dalam dan diameter luar GeoGauge (0.565)

Dengan memasukkan beberapa nilai didapat S, maka perumusan *stiffness* menjadi :

$$K = \frac{S}{( )} \dots\dots\dots 2.5$$

Sebagaimana diketahui bahwa modulus elastic dan modulus geser saling berhubungan yaitu  $G = \frac{S}{( )}$ , sehingga kita dapat mencari nilai *stiffness* dari modulus geser yaitu :

$$K = \frac{S}{( )} \dots\dots\dots 2.6$$

## 2.6 Nilai Kekakuan Tanah Sebagai Pengontrol Pematatan

Pematatan tanah merupakan salah satu komponen yang paling penting dalam konstruksi jalan raya, timbunan, dan pondasi. Ketahanan dan stabilitas struktur bergantung pada kualitas pematatan. Metode yang digunakan untuk mengontrol pematatan tanah adalah dengan melakukan uji CBR. Komponen properti tanah yang diuji yaitu kerapatan kering tanah dan kadar air tanah. Pada uji CBR terdiri dari uji CBR lapangan dan laboratorium. Hasil dari uji CBR lapangan dibandingkan dengan uji CBR laboratorium. Proses uji CBR memakan waktu yang cukup lama, tingkat akurasi yang diragukan, dan menjadi tidak praktis bila material yang di uji cukup banyak. Alasan utama penggunaan uji CBR sebagai pengontrol pematatan tanah adalah karena prosesnya tidak rumit dan biaya yang dikeluarkan tidak besar. Hanya saja tujuan dari pematatan tanah adalah untuk memperbaiki engineering properties tanah tidak hanya kerapatan kering dan kadar air saja. Sehingga dapat disimpulkan bahwa pengujian CBR tidak menggambarkan *engineering properties* tanah pada kondisi yang sesungguhnya.

Kekuatan tanah (strength) merupakan salah satu engineering properties tanah. Sebagaimana diketahui bahwa nilai kekakuan tanah menggambarkan kekuatan tanah dan tujuan dari pemadatan tanah adalah untuk memperbaiki *engineering properties* tanah sehingga penggunaan nilai kekakuan tanah sebagai pengontrol pemadatan tanah lebih relevan bila dibandingkan dengan *CBR*.

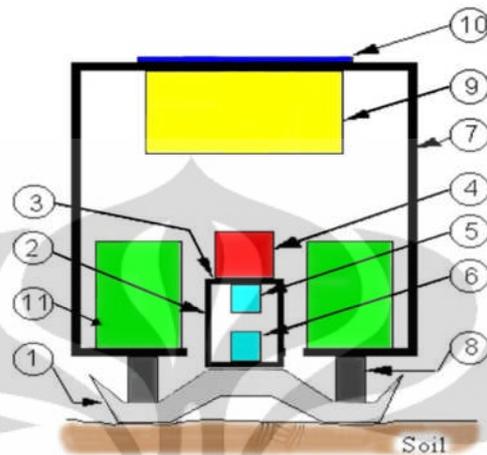
## 2.7 Geogauge

Geogauge merupakan alat yang diproduksi oleh perusahaan Humboldt yang digunakan untuk menentukan nilai kekakuan dan modulus dari tanah dan agregat. Geogauge memiliki dimensi yaitu tinggi 28 cm, dan diameter 25,4 cm dengan berat 10 kg ( lihat gambar 2.5). Pengujian dengan menggunakan GeoGauge dapat dilakukan dengan cepat dan mudah tanpa menimbulkan kerusakan pada material yang akan diuji. Pengujian dengan menggunakan GeoGauge cukup dilakukan oleh satu orang, dikarenakan ukurannya yang tidak terlalu besar dan beratnya yang cukup ringan. GeoGauge mampu mengukur nilai kekakuan tanah pada jarak 220 – 310 mm dari permukaan material yang akan di uji. GeoGauge memiliki memory yang mampu menyimpan data hingga 100 pengukuran. Geogauge memiliki 2 baterai sebagai sumber tenaga yang mampu melakukan pengukuran hingga 1500 pengukuran.



Gambar 2.6 Humboldt GoeGauge

(Sumber : Humboldt Co,2002)



Gambar 2.7 Detail Instrumen GoeGauge

(Sumber : Humboldt Co,2002)

Berikut ini adalah detail instrument GeoGauge ( lihat Gambar2.7):

1. Rigid foot dengan annular riing.
2. Rigid cylindrical sleeve.
3. Clamped flexible palte.
4. Electro-mechanical shaker.
5. Upper velocity sensor.
6. Lower velocity sensor.
7. External case.
8. Vibration isolation mounts.
9. Electronics.
10. Control & display.
11. Power supply

Hal yang perlu diperhatikan dalam pengujian GeoGauge adalah : GeoGauge harus memiliki kontak yang sempurna dengan permukaan benda uji (permukaan benda uji harus benar-benar rata). Salah satu kelemahan GeoGauge adalah tidak mampu bekerja dengan akurat bila permukaan benda uji terlalu padat atau keras. Untuk

**Universitas Indonesia**

mengatasi hal ini maka di atas permukaan benda uji diletakkan pasir yang kondisinya tidak terlalu basah sebagai dudukan GeoGauge. Fungsi pasir tersebut selain sebagai dudukan GeoGauge juga sebagai alat ukur apakah GeoGauge melakukan pengukuran dengan akurat atau tidak. Bila pada permukaan pasir yang telah dilakukan pengujian GeoGauge terbentuk lingkaran penuh, maka GeoGauge telah melakukan pengukuran dengan akurat (lihat Gambar 2.8)



Gambar 2.8 Kondisi Pasir setelah pengujian GeoGauge

(Sumber : Humboldt Co,2002)

Berikut adalah beberapa keuntungan dan kelemahan menggunakan Humboldt GeoGauge.

Keuntungan:

1. Dimensi dan berat GeoGauge yang tidak terlalu besar menyebabkan alat ini mudah dibawa ke dalam lokasi proyek.
2. Prosedur penggunaan alat ini simple dan tidak rumit.
3. Geogauge hanya membutuhkan waktu selama 75 detik untuk melakukan pengukuran terhadap nilai kekakuan dan modulus tanah.
4. GeoGauge menimbulkan defleksi pada permukaan tanah sebesar  $< 1,27 \times 10^{-6}$  m, sehingga penggunaan GeoGauge tidak menimbulkan kerusakan pada permukaan tanah yang di uji.
5. GeoGauge tidak terpengaruh oleh suara dan getaran yang ditimbulkan pada pekerjaan konstruksi.

6. GeoGauge dilengkapi memori yang dapat menyimpan data yang memungkinkan dapat dilakukan pengujian sebanyak 100 kali dalam satu hari.
7. Data hasil pengukuran dapat ditransfer dari GeoGauge ke computer untuk analisis lebih lanjut.
8. GeoGauge dilengkapi dengan Verifer Mass yang digunakan untuk mengkalibrasi GeoGauge sehingga keakuratan data hasil pengujian dapat dijaga dengan baik.

Kelemahan:

1. GeoGauge hanya mampu mengukur nilai kekakuan suatu material hingga 70 MN/m. Bila dilakukan pengukuran terhadap material yang nilai kekakuannya diatas 70 MN/m maka hasilnya tidak akurat. Berikut adalah tabel nilai kekakuan material yang merupakan hasil tes di Mexico yang dilakukan oleh Humboldt.

Tabel 2.10 Nilai Kekakuan Material

Material	Mean Stiffness (MN/m)	Coefficient of Variation (%)	Mean Resilient Modulus	
			(MPa)	(Ksi)
Sandy Clay Subgrade (not stabilized)	11,9	14,2	103,8	15,5
Sandy Clay Subgrade Lime Stabilized (1 day cure)	13,4	18,3	116,7	16,9
Sandy Clay Subgrade Lime Stabilized (2 day cure)	15,5	16,9	134,9	19,6
Sandy Clay Subgrade Lime Stabilized (2 weeks cure)	22,5	13,8	196,2	28,4
Clayey Sand Subgrade (not stabilized)	14,6	15,2	126,2	18,3
4" Milled Asphalt Base	18,4	18,5	159,5	23,1
2 <sup>nd</sup> Coarse Aspalht	38,9	23,9	337,7	49

Universitas Indonesia

Sumber: Humboldt Co.(2002)

2. GeoGauge tidak dapat melakukan pengukuran terhadap material yang permukannya terlalu padat atau keras. Untuk mengatasi hal tersebut maka diatas permukaan benda uji diletakkan pasir yang kondisinya tidak terlalu basah sebagai dudukan GeoGauge.

### 2.7.1 Prinsip Kerja

Prinsip kerja dari GeoGauge adalah alat ini memberikan gaya sebesar  $F$  pada permukaan tanah dengan melakukan getaran sebanyak 7400 kali. Lalu nilai kekakuan tanah dan modulus tanah dan agregat di ukur dari impedansi dari getaran GeoGauge pada permukaan tanah. Gaya yang diberikan oleh GeoGauge dan ditransfer ke permukaan tanah dapat diperhitungkan sebagai berikut:

$$F_{dr} = K_{flex} (X_2 - X_1) + 2 m_{int} X_1 \dots \dots \dots 2.7$$

dimana:

$F_{dr}$  = gaya yang diberikan oleh Geogauge (N)

$K_{flex}$  = nilai kekakuan dari flexible plate (MN/m)

$X_2$  = *displacement* yang terjadi pada flexible plate (m)

$X_1$  = *displacement* pada bagian rigid foot dari Geogauge (m)

=  $2\pi f$ , dimana  $f$  adalah frekuensi (Hz)

$m_{int}$  = massa komponen internal (kg)

Pada frekuensi saat pengoperasian ( antara 100 – 196 Hz), nilai kekakuan tanah dapat ditentukan dari impedansi yang terjadi, yaitu:

$$K = \frac{F_{dr}}{X_1} \dots \dots \dots 2.8$$

dimana:

$K_{gr}$  = nilai kekakuan tanah

$F_{dr}$  = gaya yang diberikan Geogauge (N)

$X_1$  = *displacement* pada bagian rigid foot dari Geogauge (m)

Universitas Indonesia

Sehingga nilai kekakuan tanah dapat ditentukan sebagai berikut :

$$K_{gr} = K_{flex} \frac{\sum \text{---}}{\text{---}} + \frac{\sum \text{---}}{\text{---}} m_{int} = K_{flex} \frac{\sum \text{---}}{\text{---}} + \frac{\sum \text{---}}{\text{---}} m_{int} \dots\dots\dots 2.9$$

dimana :

N = banyaknya frekuensi yang diggunakan

V2 = kecepatan gelombang pada flexible plate

V1 = kecepatan gelombang pada rigid foot

### 2.7.2 Kalibrasi

Untuk menjaga keakuratan data hasil pengukuran maka setidaknya setiap sebelum melakukan pengujian atau setidaknya setiap 12 bulan GeoGauge harus dikalibrasi. Untuk melakukan kalibrasi pada GeoGauge digunakan alat yang dinamakan Verifier Mass (gambar 2.9). Verifier Mass memiliki berat 10 kg sehingga cukup ringan untuk dibawa ke lokasi proyek. Cara untuk mengkalibrasi GeoGauge yaitu dengan meletakkan Geogauge diatas Verifier Mass lalu lakukan sebanyak 5 kali pengukuran. Setelah itu tentukan  $K_{eff}$ . Nilai  $K_{eff}$  yang didapat harus berada diantara -8.6 sampai -9.8 MN/n. Jika hasilnya di luar kisaran nilai tersebut maka sebaiknya GeoGauge tidak digunakan sebab kemungkinan terjadi kerusakan pada GeoGauge dan hasil pengukurannya tidak akurat. Berikut perhitungan untuk menentukan  $K_{eff}$  :

$$K_{eff} = \frac{\sum \text{---}}{\text{---}} \dots\dots\dots 2.10$$

dimana :

$K_{eff}$  = nilai kekakuan efektif dari Verifier Mass (MN/m)

M = berat Verifier Mass (Kg)

=  $2\pi f$ , dimana f adalah frekuensi (Hz)

n = jumlah pengukuran



Gambar 2.9 Alat Verifier Mass

(Sumber : Humboldt Co,2002)

### 2.7.3 Studi Penelitian Geogauge

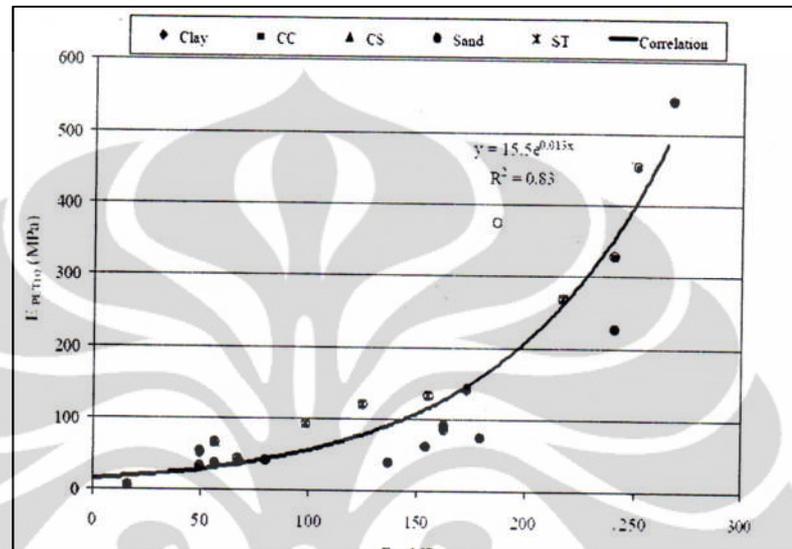
Di beberapa negara, yaitu Amerika Serikat dan negara-negara Eropa sudah mulai menggunakan geoGauge sebagai alat pengontrol kepadatan tanah. Oleh karena itu studi penelitian mengenai GeoGauge telah dilakukan oleh beberapa peneliti di Amerika Serikat dan Negara-negara Eropa, terutama pada jenis tanah lempung dan pasir.

Ekrem Seyman (2001) melakukan penelitian mengenai korelasi antara modulus yang dihasilkan dari plate Loading Test ( $E_{PLT}$ ) dan GeoGauge ( $E_G$ ). Pada penelitian ini Ekrem Seyman menggunakan jenis tanah clay, clayed silt, dan sand yang di dapatkan dengan menggunakan stamper pada bak berukuran 5 ft x 3 ft x 2 ft (panjang x lebar x tinggi). Sampel tanah tersebut dilakukan pengujian compaction terlebih dahulu untuk mencari nilai kadar air optimum dari sampel tanah. Hasil sampel tanah penelitiannya dapat dilihat pada tabel 2.11 dibawah ini:

Tabel 2.11 Sampel tanah penelitian Ekrem Seyman

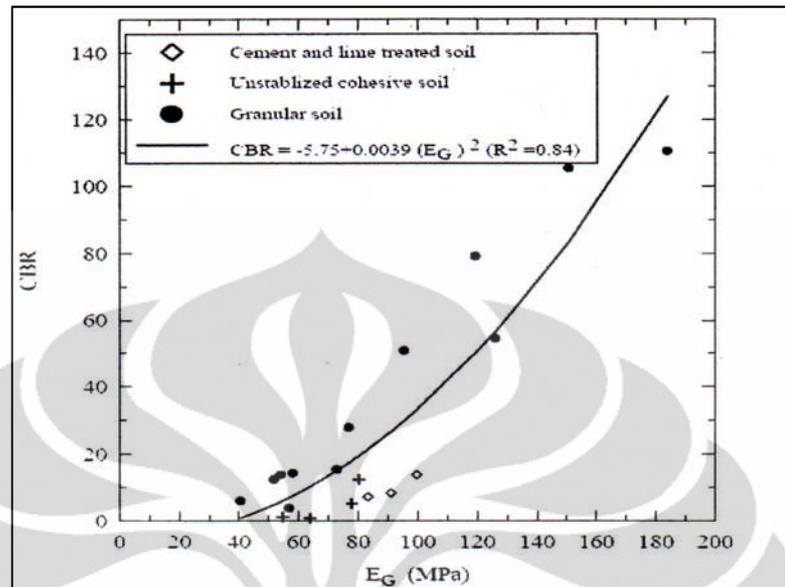
Jenis Tanah	Kadar Air (%)	Dry density ( $t/m^3$ )
Clay	12,5	1,911
Clayey Silt	19	1,644
Sand	2	1,807

Pengujian Plate Loading Test dan GeoGauge dilakukan pada 2 lapisan tanah yaitu pada kedalaman 8 inch dan 16 inch dari dasar bak. Dari penelitian yang dilakukan Ekram Seyman ini, didapatkan kurva hubungan antara Plate Loading Test ( $E_{PLT}$ ) dan GeoGauge ( $E_G$ ) seperti terlihat pada Gambar 2.10.



Gambar 2.10 Kurva Hubungan Antara Plate Loading Loading Test ( $E_{PLT}$ ) dan GeoGauge ( $E_G$ )

Munir D. Nazzal (2002) melakukan penelitiann mengenai korelasi antara modulus Geogauge ( $E_G$ ) dan nilai CBR pada tanah granular (pasir). Pengujian Geogauge dilakukan langsung di lapangan, yaitu saat proses konstruksi jalan raya di Lousina sedang berlangsung. Sementara pengujian CBR dilakukan di laboratorium yaitu menggunakan CBR soaked. Dari penelitian yang dilakukan Nazzal didapat kurva hubungan antara modulus GeoGauge ( $E_G$ ) dengan nilai CBR seperti pada Gambar 2.11.

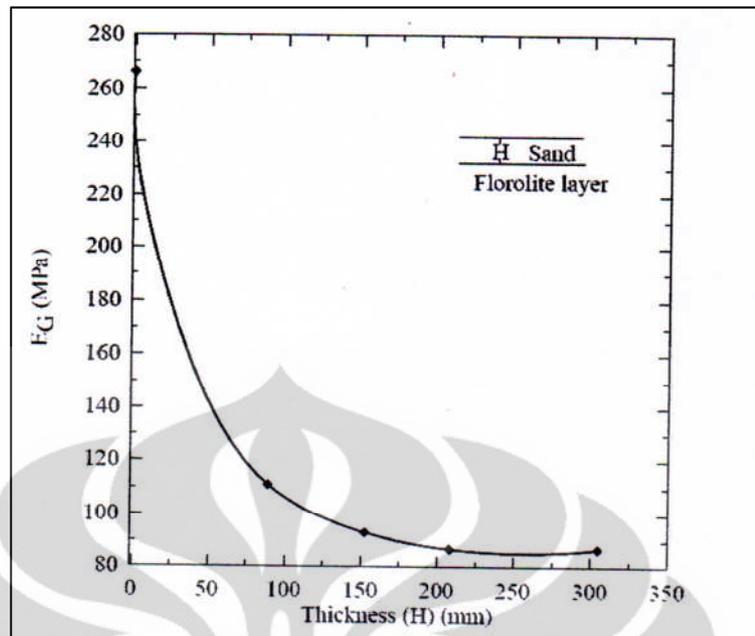


Gambar 2.11 Kurva Hubungan Antara Modulus GeoGauge ( $E_G$ ) dan Nilai CBR

Dari kurva diatas diperoleh kesimpulan mengenai korelasi antara modulus GeoGauge ( $E_G$ ) dengan nilai CBR, yaitu:

$$CBR = 0.00392 (E_G)^2 - 5.75 \text{ dengan } (R^2 = 0,84) \dots\dots\dots 2.11$$

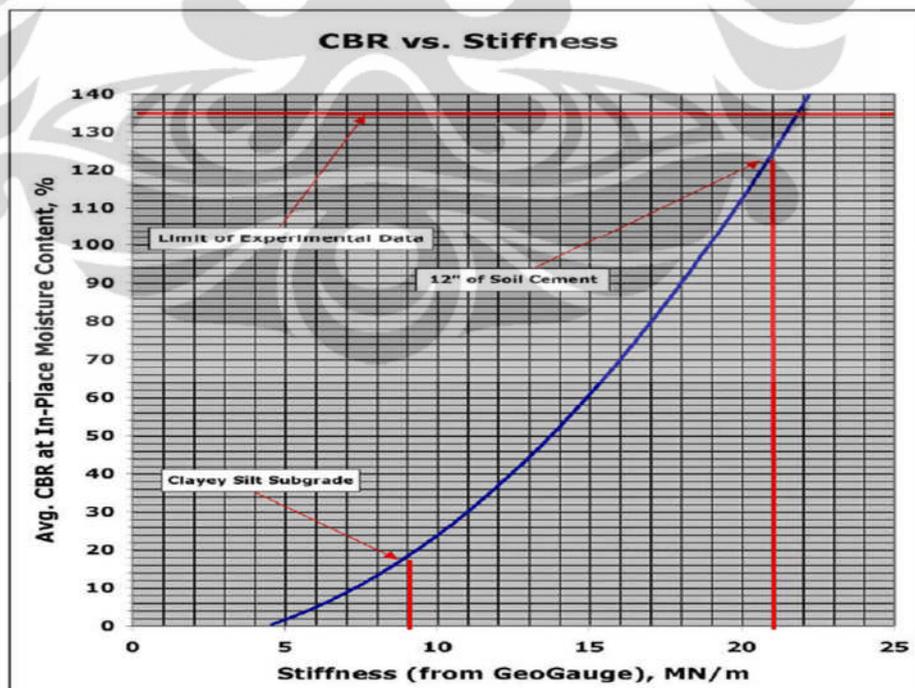
Perhitungan diatas berlaku untuk  $E_G$  diantara 40.8 – 184.11 Mpa. Selain itu Nazzal juga meneliti mengenai kedalaman efektif pengujian GeoGauge. Hasil yang didapatkan yaitu Geogauge melakukan pengujian pada kedalaman efektif 180 mm – 190 mm dari permukaan benda uji, ditunjukkan pada Gambar 2.12



Gambar 2.12 GeoGauge ( $E_G$ ) vs Thickness

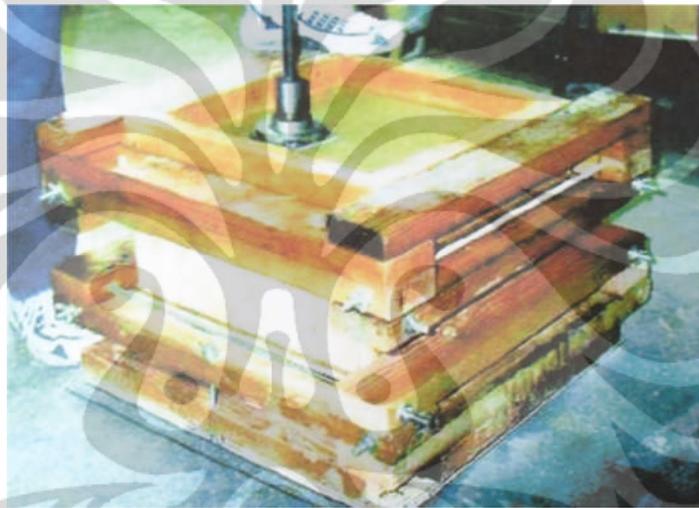
Loisiana Departement of Transportation & Development melakukan penelitian mengenai korelasi antara *GeoGauge stiffness* ( $K_G$ ) dengan nilai CBR unsoaked pada tanah lempung, yaitu:

$$CBR = 0.00392 (8.672K_G)^2 - 5.75 \text{ dengan } (R^2 = 0,84) \dots\dots\dots 2.12$$



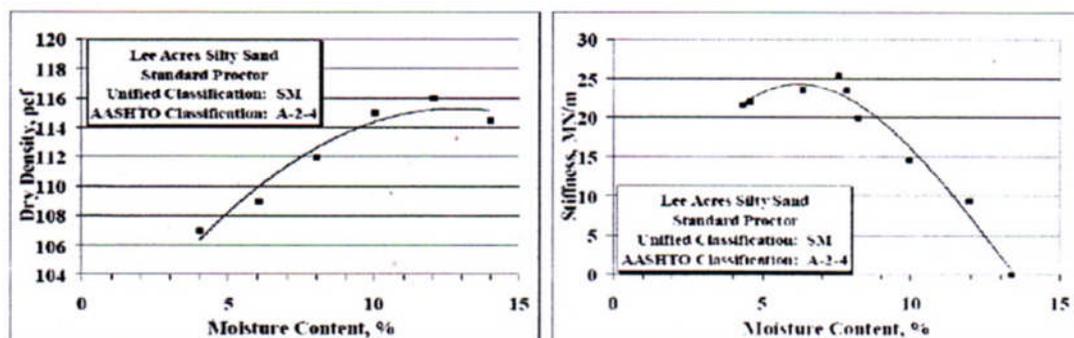
Gambar 2.13 GeoGauge ( $K_G$ ) vs CBR

Lary R. Lenke, R. GordonMcKeen, Matt P. Grush melakukan pengujian GeoGauge pada tanah silt sand. Pada penelitian ini sampel tanah yang dipadatkan pada bak yang terbuat dari kayu berukuran 15 inch x 15 inch x 12 inch (panjang x lebar x tinggi). Proses pemadatan dilakukan pada 6 lapis tanah dengan menggunakan Marshall hammer yang dimodifikasi dengan memasang plat berdimensi 4 inch x 4 inch (Gambar 2.14). Untuk mencapai *Standard proctor Energy* maka *Marshall hammer* dengan berat 10 pound dijatuhkan dari ketinggian 18 inch sebanyak 228 kali per lapisan tanah.



Gambar 2.14 Marshall Hammer dan Bak Kayu

Hasil yang didapatkan yaitu *dry density* berbanding terbalik terhadap *stiffness*. Makin bertambahnya *moisture content* menyebabkan *dry density* makin meningkat disaat yang yersamaan nilai *stiffness* makin turun, dapat dilihat pada Gambar 2.15..



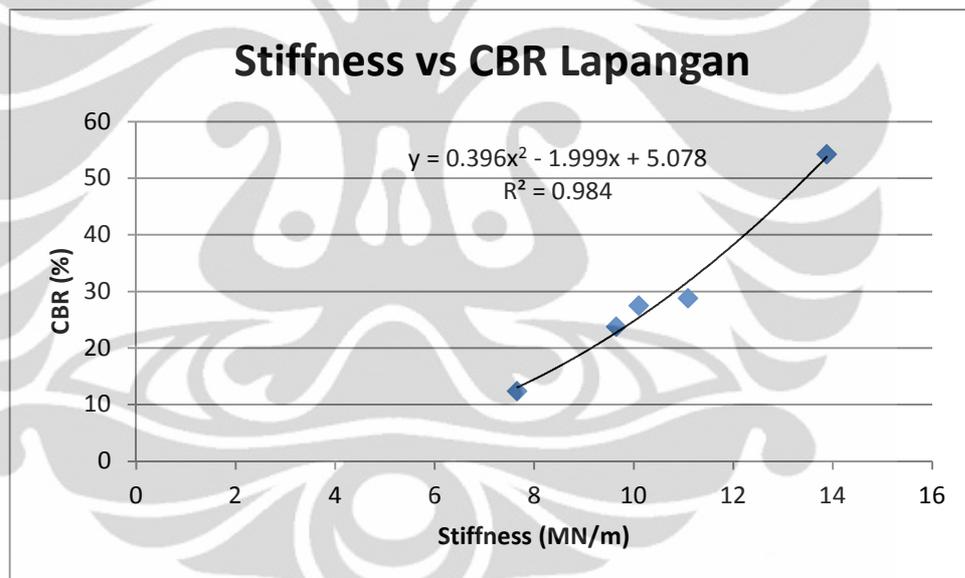
Gambar 2.15 Dry density dan Stiffness vs Moisture Content

Hadre Setia Hardeka (2010), pada skripsinya melakukan penelitian korelasi nilai kekakuan tanah dengan nilai CBR pada percobaan in-situ. Penelitiannya dilakukan di lapangan dengan membuat lubang berbentuk kotak berukuran 60 cm x 60 cm x 30 cm (panjang x lebar x tinggi), dengan menggunakan lima sampel tanah yang memiliki variasi kadar air. Yang dipadatkan dalam lima lapisan setiap ketebalan 6 cm. Dari hasil penelitian didapat bahwa korelasi nilai kekakuan (stiffness) dengan CBR lapangan yaitu:

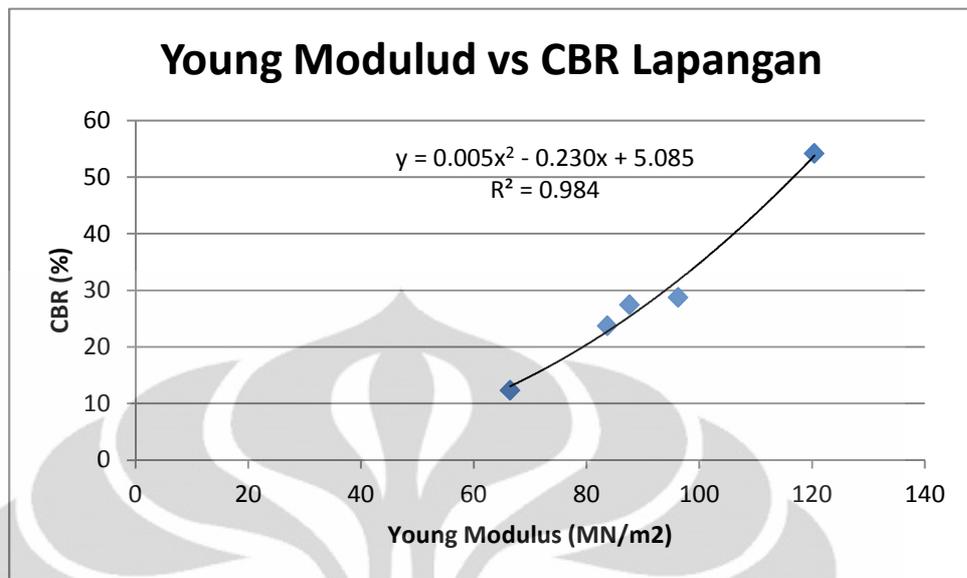
$$\text{CBR} = 0,396 (K_G)^2 - 1,999(K_G) + 5,078 \text{ dengan } (R^2 = 0,984) \dots\dots\dots 2.13$$

Sedangkan korelasi antara nilai Young Modulus dengan CBR lapangan yaitu:

$$\text{CBR} = 0,005 (E_G)^2 - 0,23(E_G) + 5,085 \text{ dengan } (R^2 = 0,984) \dots\dots\dots 2.14$$

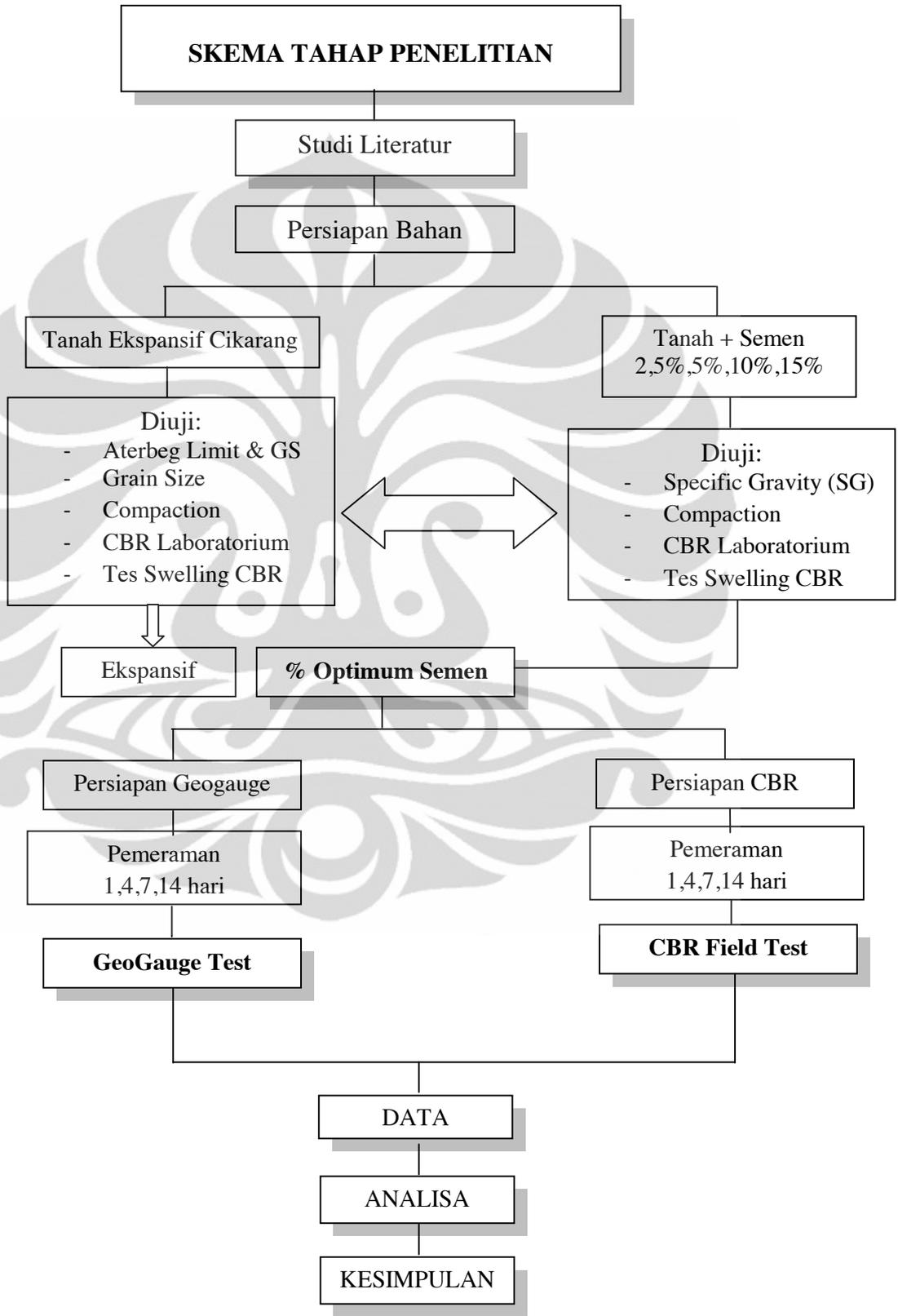


Gambar 2.16 Korelasi nilai Stiffness dan CBR Lapangan Hadre



Gambar 2.17 Korelasi nilai Young Modulus dan CBR Lapangan Hadre

**BAB III**  
**METODOLOGI PENELITIAN**



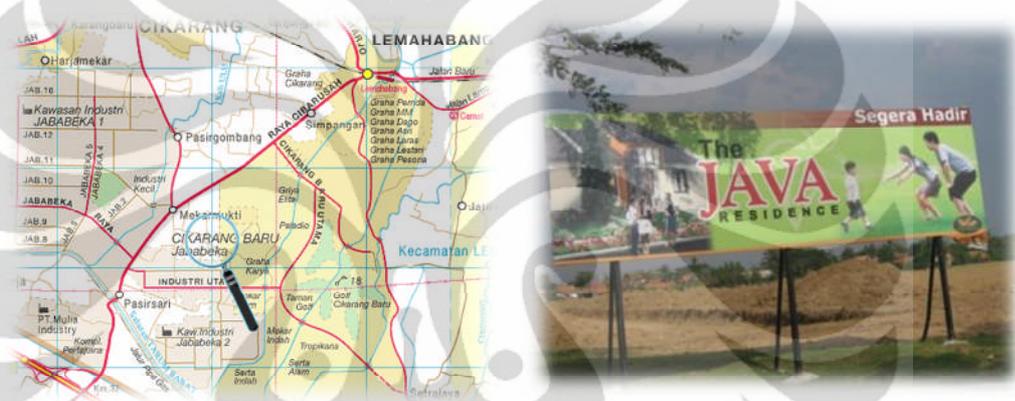
Gambar 3.1 Diagram Alir Pengujian

### 3.1 KEGIATAN PENELITIAN

Kegiatan penelitian untuk melihat evolusi nilai CBR dan nilai kekakuan stabilisasi lempung ekspansif dengan semen (PC) untuk lapisan dasar perkerasan ini pada intinya terdiri dari 2 macam uji yaitu uji sifat fisik tanah (index properties) dan uji sifat teknis (engineering properties). Adapun penjabarannya adalah sebagai berikut:

#### 3.1.1. Kegiatan Persiapan

##### a. Pengambilan Lempung Ekspansif



Gambar 3.2 lokasi pengambilan sampel tanah

Dalam penelitian ini lempung ekspansif dari proyek “Java Resident” Jababeka Cikarang, Jawa Barat, yang berkoordinat  $6^{\circ}16'22.24''S$   $107^{\circ}10'34.60''E$ . Contoh tanah ini berupa contoh tanah yang tidak terganggu, yang diambil menggunakan cangkul. Pengambilan contoh lempung ekspansif ini dilakukan sebagai berikut:

- Permukaan tanah pada proyek ini sudah merupakan tanah galian, sehingga tanah lempung langsung diambil menggunakan cangkul, kemudian dimasukkan kedalam karung kemudian diikat, kemudian dibawa menuju laboratorium mekanika tanah FTUI.

##### b. Pengeringan Lempung Ekspansif

Lempung ekspansif yang telah dimasukkan kedalam karung tadi dikeringkan dengan cara menghamparkannya diatas wadah yang terkena sinar matahari. Setelah kering bongkahan-bongkahan lempung

dihancurkan hingga halus hingga lolos saringan no.4 BS. Selanjutnya dimasukkan kedalam kantung-kantong plastik ukuran 5 kg.



Gambar 3.3 penyimpanan sampel tanah

#### c. Semen Portland

Semen Portland merupakan *stabilizing agents* yang baik sekali, mengingat bahwa kemampuannya mengeras dan mengikat butir-butir agregat sangat bermanfaat untuk mendapatkan suatu massa tanah yang kokoh dan kuat terhadap deformasi. Keuntungan stabilisasi dengan semen Portland adalah kestabilan massa tanah tidak tergantung dari gradasi butir ataupun kohesi antar butir, melainkan sepenuhnya disebabkan oleh pengerasan semen dan daya ikatnya (hidrasi semen portland).

Menurut Standard Industrial Indonesia SII-0013-81, semen Portland dihasilkan dengan menggiling batu bata (*clinker*) yang dicampur sepenuhnya oleh *calcium silicates* hidrolis dengan material lainnya, termasuk *gypsum*.

Bahan dasar campuran yang digunakan untuk pembuatan semen Portland terdiri dari 4-5% kalsium karbonat yang dicampur dan bereaksi dengan oksida lainnya dilepaskan melalui udara bebas. Senyawa-senyawa yang dihaasilkan adalah silica, alumina dan oksida besi yang bereaksi dengan kalsium oksida untuk menghasilkan 4 bahan dasar dari semen portland yaitu :  $3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$  (*tricalcium silicate*),  $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$  (*dicalcium silicate*),  $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$  (*tricalcium aluminate*), dan  $4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$  (*tetracalcium aluminoferrite*). Rumus-rumus kimianya disingkat menjadi C3S, C2S, C3A dan C4AF.

Hasil terpenting kalsium karbonat berasal dari batu kapur (line stone). Silika, alumina dan besi oksida sebagian besar diperoleh dari lempung atau batu tulis (*shale*).

Komposisi dasar semen portlan adalah kapur (CaO), silika (SiO<sub>2</sub>), alumina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), dan besi oksida (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Ke-empat senyawa oksida tersebut menghasilkan 90% berat semen sehingga disebut sebagai *major oxides*. Sedangkan 10% lagi terdiri dari magnesia (MgO), alkali oksida (Na<sub>2</sub>O dan K<sub>2</sub>O), titania (TiO<sub>2</sub>), phosphor pentaoksida (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) dan gypsum, sehingga disebut senyawa minor.

Berdasarkan karekteristiknya semen Portland dibagi menjadi 5 jenis, yaitu:

1. Tipe I adalah semen untuk penggunaan normal tanpa persyaratan khusus, mengandung C3S = 48-52%, C3A = 1-15%.
2. Tipe II adalah semen yang digunakan tahan sulfat dan panas hidrasi sedang.
3. Tipe III adalah semen yang memerlukan kekuatan awal yang tinggi. Panas hidrasinya tinggi dan cepat mengeras karena membentuk C3S lebih besar dan lebih halus disbanding type II.
4. Tipe IV adalah untuk penggunaan dengan panas hidrasi yang rendah, menghasilkan C3S dan C3A yang rendah.
5. Tipe V adalah semen yang digunakan tahan sulfat tinggi disyaratkan.

Semen yang digunakan pada penelitian ini adalah semen portland Tipe I, produksi PT. Indocement Tungal Perkasa. Adapun alasan menggunakan jenis semen ini adalah:

- Merupakan jenis yang umum
- Mudah didapatkan
- Tersedia bebas dipasaran dalam jumlah yang banyak
- Lebih murah bila dibandingkan dengan semen tipe khusus

Besarnya prosentasi unsure kimia pada semen Portland tipe 1 yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

Tabel. 3.1 Kandungan Kimia Semen Portland Tipe 1  
(Sumber : Brosur Semen Tiga Roda Produksi PT.Indocement)

Unsur Kimia	Kandungan (%)
SiO <sub>2</sub>	19.0 - 21.0
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.0 - 6.0
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.5 - 3.5
CaO	62.0 - 67.0
MgO	1.0 - 3.5
SO <sub>3</sub>	1.8 - 2.5
C <sub>3</sub> S	55.0 - 64.0
C <sub>2</sub> S	9.0 - 20.0
C <sub>3</sub> A	7.0 - 11.0
C <sub>4</sub> F	9.0 - 11.0
Loss on Ignition	1.5 - 3.5
Insoluble Residue	0.30 - 2.5
Free Lime	0.30 - 1.5
Total Alkali	0.30 - 0.60
Chloride	0.01 - 0.02

d. Air

Untuk stabilisasi dengan bahan kimia seperti semen, mutu air tidak dispesifikasikan dengan ketat. Hanya perlu diperhatikan jika air didapatkan mengandung asam arang contohnya air hujan, maka harus diusahakan agar hasil pencampuran dipadatkan secepat mungkin sebelum terjadi karbonisasi dari CaOH-nya. Air yang banyak mengandung zat-zat organik (air mentah) ataupun mempunyai konsentrasi sulfat yang tinggi juga tidak dapat dipergunakan.

Pada penelitian dilaboratorium dipakai air dari kran yang ada, mengingat air tersebut banyak dikonsumsi untuk banyak kepentingan. Sedangkan air

suling dipakai pada pengujian yang distandarkan pada pengujian-pengujian tertentu.

e. Persiapan Alat

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

a. Alat untuk menguji sifat fisik tanah (index properties) yaitu:

- Seperangkat alat uji kadar air, atterbeg limit, analisa butiran, dan uji specific gravity meliputi *cassagrande*, pycnometer, thermometer, kompor listrik, can kecil, timbangan, saringan dan oven.

b. Alat untuk menguji sifat teknis tanah (Engineering properties) yaitu:

- Seperangkat alat uji pemadatan (Compaction).
- Seperangkat alat uji CBR (*California Bearing Ratio*).
- Seperangkat alat uji kekakuan (*GeoGauge*).

f. Pengkalibrasian Alat

- Alat uji CBR (*California Bearing Ratio*).
- Alat uji kekakuan (*GeoGauge*).

### 3.1.2. Pengujian Kadar Air

Kadar air (w) merupakan perbandingan antara massa air dengan massa partikel padat tanah. Proses Penentuan kadar air untuk tanah ekspansif di tentukan berdasarkan ASTM D 2974-87. Sampel tanah dikeringkan didalam oven dengan suhu 105-110 °C selama 24 jam.

Selanjutnya kadar air tanah ekspansif ditentukan dengan menggunakan rumus :

$$\% \text{ kadar air} = \frac{(\quad)}{\quad} \times 100\% \dots\dots\dots 3.1$$

Dimana:

A = massa tanah basah (gr)

B = massa tanah kering (gr)

### 3.1.3. Pengujian Aterberg Limit

Uji batas atterberg (ASTM D 423-424) pertama kali akan digunakan untuk mengetahui batas susut, plastis, dan cair dari contoh tanah uji. Kemudian akan diperoleh indeks plastisitas yang berfungsi untuk mengidentifikasi tanah ekspansif itu sendiri.. Pengujian AL yang dilakukan meliputi :

#### LIQUID LIMIT (LL)

Percobaan liquid limit ini dilakukan dengan tujuan untuk mencari kadar air pada liquid limit (batas cair) dari sampel tanah. Di dalam laboratorium, liquid limit didefinisikan sebagai kadar air dimana contoh tanah yang telah dimasukkan pada alat cassagrande, dibuat celah di tengahnya dengan standard grooving tool lalu alat cassagrande diputar dengan kecepatan 2 ketukan per-detik dan tinggi jatuh 10 mm, sehingga pada ketukan ke-25 contoh tanah yang digores dengan grooving tool merapat sepanjang 0,5.



Gambar 3.4. Diagram Atterberg Limits

Semakin ke kanan diagram di atas, kadar airnya semakin sedikit. Batas cair ini ditentukan dengan percobaan memakai alat liquid limit. Alat ini dikembangkan oleh cassagrande dan besarnya batas cair ditentukan pada ketukan ke-25.

Jalannya percobaan :

1. Memasukkan contoh tanah ke dalam mangkuk porselin dan kemudian mencampurnya dengan air suling dan diaduk dengan spatula hingga homogen.
2. Memasukkan contoh tanah ke dalam mangkuk casagrande selapis demi selapis dan diusahakan tidak ada udara di antara setiap lapisan. Tebal tanah yang dimasukkan kurang lebih setebal 0.5 inch pada bagian tengahnya.

3. Membuat celah di tengah-tengah tanah dalam mangkuk cassagrande dengan menggunakan grooving tool dalam arah tegak lurus mangkuk, dilakukan dengan hati-hati agar tidak terjadi retak pada bagian bawahnya.
4. Menjalankan alat cassagrande dengan kecepatan konstan 2 putaran per-detik dan tinggi jatuh 1 cm, dilakukan hingga tanah tepat merapat sepanjang 0.5 inch – pada saat itu alat cassagrande dihentikan dan jumlah ketukan dicatat.
5. Menimbang can terlebih dahulu, lalu mengambil sebagian tanah dalam mangkuk cassagrande dan memasukkannya ke dalam can dan ditimbang berat can + tanah, terakhir can + tanah dimasukkan ke dalam oven.
6. Mengulangi seluruh langkah di atas untuk lima sampel dan dengan nilai ketukan antara 10 hingga 50 ketukan, hal ini dibantu dengan cara menambahkan air suling atau menambahkan tanah
7. Setelah kurang lebih 18 jam dalam oven, contoh tanah dikeluarkan dan ditimbang kembali

#### **PLASTIC LIMIT (PL)**

Percobaan Plastic Limit dilakukan dengan tujuan untuk mencari kadar air pada batas plastis (plastis limit) dari sebuah sampel tanah. Di dalam laboratorium, plastic limit didefinisikan sebagai kadar air pada batas dimana contoh tanah digulung pada pelat kaca hingga mencapai diameter kurang lebih  $\frac{1}{8}$  inch (3.2 mm) dan tanah tersebut tepat retak–retak halus. Dari percobaan ini dapat ditentukan Plastic Index (IP), dimana:

$$I_p = LL - PL$$

Kadar air tanah dalam keadaan aslinya biasanya terletak antara batas plastis dan batas cair.

Jalannya percobaan :

1. Memasukkan contoh tanah ke dalam mangkuk porselin dan kemudian mencampurnya dengan air suling dan diaduk dengan spatula hingga homogen.
2. Mengambil contoh tanah tersebut sedikit lalu menggulungnya di atas pelat kaca sampai berdiameter  $\frac{1}{8}$  inch. Bila kadar air berlebih, pada waktu contoh tanah mencapai diameter  $\frac{1}{8}$  inch tidak terjadi retak-retak, maka percobaan ini harus diulang kembali dengan menambahkan contoh tanah. Sedangkan bila kadar air kurang, contoh tanah akan retak-retak sebelum mencapai diameter  $\frac{1}{8}$  inch. Percobaan ini harus diulang kembali dengan menambahkan air sehingga contoh tanah tepat retak-retak pada waktu mencapai diameter  $\frac{1}{8}$  inch.
3. Contoh tanah yang mulai retak-retak halus pada diameter  $\frac{1}{8}$  inch dimasukkan ke dalam dua container yang sudah ditimbang beratnya. Berat container + tanah minimum adalah 15 gram.
4. Container harus secepatnya ditutup agar kadar air tidak berkurang karena penguapan. Container yang telah berisi tanah tersebut kemudian ditimbang.
5. Memasukkan container dalam keadaan terbuka ke dalam oven berisi tanah yang telah ditimbang selama kurang lebih 18 jam.
6. Setelah kurang lebih 18 jam dalam oven, container berisi tanah dikeluarkan untuk ditimbang guna mencari kadar airnya. Pada saat menghitung kadar air ini jangan lupa untuk menambahkan berat penutup container agar berat total container seperti pada saat menimbang berat tanah basah sebelumnya.

#### 3.1.4. Specific Gravity

Tujuan adalah untuk mendapatkan harga berat spesifik dari butiran tanah, yaitu perbandingan berat isi tanah dan berat isi air pada suhu 40°C.

$$G_s = \alpha \text{ —}$$

dengan :

$W_s$  = berat tanah

$W_w$  = berat air

$\alpha$  = factor koreksi suhu  $T^{\circ}\text{C}$  yang berhubungan dengan temperature ruangan pada saat percobaan.

Berikut adalah prosedur uji specific gravity :

1. Pycnometer diisi dengan air suling sebanyak 500 ml dan ditimbang beratnya (wbw)
2. Mencatat suhu air dalam pycnometer
3. Air dalam pycnometer dikembalikan ke dalam wadah awalnya, kemudian pycnometer dibersihkan dan dikeringkan kembali
4. Sampel tanah masing-masing sebanyak 100 gram dimasukkan ke dalam empat pycnometer secara hati-hati (diusahakan tidak ada butiran tanah yang menempel pada dinding leher pycnometer karena akan mengurangi volume tanah)
5. Pycnometer diisi kembali dengan air suling hingga  $\pm 3/4$  bagian volumenya.
6. Udara yang terperangkap dalam tanah pada pycnometer dihilangkan dengan cara dididihkan  $\pm 15$  menit (gunakan kompor listrik)
7. Pycnometer disimpan selama  $\pm 15$  jam agar suhu air akhir diharapkan sama dengan suhu air awal, kemudian pycnometer berisi air dan tanah tersebut ditimbang kembali (wbws)



Gambar 3.5 Alat pycnometer uji specific gravity

### 3.1.5. Uji Analisa Butiran (Grain Size)

Uji analisa butiran dibagi dua tahap yaitu uji grain size dan uji hydrometer. Uji grain size bertujuan untuk menentukan pembagian ukuran butir suatu contoh tanah. Sedangkan uji hydrometer bertujuan untuk menentukan pembagian ukuran butir tanah yang lewat saringan No.200.

### 3.1.6. Pemadatan Tanah

Tujuan dari pengujian pemadatan adalah untuk mendapatkan kadar air optimum (*optimum water content*), dimana pada kadar air tersebut tanah mempunyai berat isi kering yang maksimum (*maximum dry density*).

Pemadatan tanah adalah suatu proses dimana pori-pori tanah dikurangi, dan udara dikeluarkan secara mekanis, pemadatan tanah juga merupakan suatu usaha yang dilakukan pada massa tanah, dan besarnya energy yang dibutuhkan untuk suatu usaha pemadatan adalah

$$CE = \frac{W}{V} \left( \frac{H}{L} \right)^2 \left( \frac{B}{V} \right)$$

dimana:

CE = energi yang dibutuhkan (*compactive effort*, (KJ/m<sup>3</sup>))

W = berat penumbuk

H = tinggi jatuh

L = jumlah lapisan

B = jumlah pukulan tiap lapisan

V = volume cetakan, (m<sup>3</sup>)

Pengujian pemadatan yang dilakukan pada skripsi ini adalah jenis proctor standar (*standart proctor*) sesuai dengan ASTM D698-78. Tanah dicampur dengan kadar air yang berbeda-beda dan kemudian dipadatkan dengan menggunakan penumbuk khusus. Pemadatan tersebut dilakukan dalam tiga lapisan dan banyaknya tumbukan tiap lapisannya adalah 25 kali. Berat penumbuk adalah 5,5 lb (massa 2,52 kg) dan tinggi jatuh sebesar 12 inchi (30,48 cm). Sedangkan besarnya energi pemadatan adalah 592,5 KJ/m<sup>3</sup>

Untuk setiap pengujian, berat isi dari tanah yang dipadatkan dapat dihitung dengan rumus-rumus sebagai berikut:

$$\gamma_{\text{wet}} = \frac{W_s}{V}$$

$$W = \frac{W_s}{\gamma_{\text{wet}}}$$

dimana:

$\gamma_{\text{wet}}$  = berat isi basah, ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )

$\gamma_{\text{dry}}$  = berat isi kering, ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )

$W_s$  = berat tanah, (gr)

$w$  = kadar air, (%)

Untuk kadar air tertentu, berat isi kering maksimum secara teoritis didapat apabila pada pori-pori tanah sudah tidak ada udaranya lagi, yaitu pada saat dimana derajat kejenuhan tanah sama dengan 100%. Jadi berat isi kering maksimum teoritis pada kadar air tertentu dengan kondisi *zero air voids* (pori-pori tanah tidak mengandung udara sama sekali) dapat ditulis :

$$\gamma_{\text{zav}} = \frac{G_s \gamma_w}{1 + e}$$

dimana:

$\gamma_{\text{zav}}$  = berat isi pada kondisi zero air voids

$G_s$  = berat spesifik buturan padat tanah

$\gamma_w$  = berat isi air

$e$  = angka pori

Untuk keadaan tanah jenuh 100%,  $e = w \times G_s$

Jadi:

$$\gamma_{\text{zav}} = \frac{G_s \gamma_w}{1 + e} = \frac{G_s \gamma_w}{1 + w \times G_s}$$

Berikut adalah prosedur uji pemadatan :

1. Mould, collar, dan base plate disiapkan
2. Mould ditimbang dan diukur dimensinya untuk mengetahui volume tanah hasil pemadatan
3. Tanah dimasukkan ke dalam mold, perkiraan jumlahnya sedemikian rupa sehingga setelah dipadatkan tingginya mencapai 1/3 tinggi mold (karena total lapisan pemadatan sebanyak 3 lapis)
4. Setiap lapisan ditumbuk 56 kali merata dengan hammer seberat 5.5 lb dan tinggi jatuh 12 inch(Standard AASHTO)
5. Setelah pemadatan lapis ketiga selesai, collar dibuka – kelebihan tanah pada mould diratakan dengan pelat pemotong
6. Tanah beserta mould ditimbang
7. Contoh tanah dikeluarkan dari mould dengan bantuan extruder
8. Ambil bagian atas, tengah, bawah dari contoh tanah tersebut untuk diperiksa kadar airnya – dengan demikian akan diperoleh kadar air rata-rata dari contoh tanah setelah dipadatkan.



Gambar 3.6 Alat uji pemadatan

Konversi jumlah tumbukkan pada proses pemadatan untuk Sample GeoGauge dilakukan dengan menggunakan hukum energi pemadatan. Perhitungannya ialah:

**Cetakan CBR**

D	Diameter	10.16	cm	T = 12	cm
V	Volume	940.8276114	cm <sup>3</sup>		
W	Berat penumbuk	2.5	kg		
H	Tinggi Jatuh	30.48	cm		

**Cetakan GeoGauge**

D	Diameter	34	cm	T = 23.4	cm
V	Volume	21253.88571	cm <sup>3</sup>		
W	Berat penumbuk	16	kg		
H	Tinggi Jatuh	50	m		

Dengan Rumus  $CE = \frac{W}{V \cdot H}$

		<b>Pemadatan</b>	
	Satuan	<b>CBR</b>	<b>GeoGauge</b>
CE	kg/cm	6.07443907	6.07443907
W	kg	2.5	16
H	cm	30.4800	50
L	Lapis	3	3
<b>B</b>	<b>Tumbukan</b>	<b>25</b>	<b>53.794</b>
V	cm <sup>3</sup>	940.8276	21253.8857

Dari perhitungan diatas didapatkan jumlah tumbukan pemadatan untuk sampel GeoGauge sebanyak 53 kali tumbukan per lapis.



Gambar 3.7 Hammer dan Pematatan Sampel Geogauge

### 3.1.7. Pengujian CBR Laboratorium dan Swelling

*California Bearing Ratio* (CBR) adalah harga yang menggambarkan kondisi suatu tanah pada kepadatan dan kadar air tertentu dibandingkan dengan kekuatan batu pecah bergradasi standar material yang nilainya adalah 100.

Pengujian CBR berpedoman pada prosedur standar ASTM D1883-87. Berat penumbuk, tinggi jatuh dan dimensi lainnya disesuaikan dengan pengujian pematatan proctor. Pada skripsi ini digunakan pematatan dari jenis proctor standar, contoh tanah dipadatkan dalam 3 lapisan. Mold yang dipakai berukuran besar (diameter sekitar 6 inchi) dan banyaknya tumbukan yang diberikan adalah 56 kali tiap lapisannya.

Pengujian CBR dilakukan pada contoh tanah dalam keadaan tidak terndam (*unsoaked*) dan terendam (*soaked*), baik untuk tanah lempung asli maupun tanah yang dicampur dengan bahan stabilisasi.

Selain itu juga dilakukan pengujian pengembangan (*swelling*) untuk mengetahui besarnya pengembangan yang terjadi. Penimbangan contoh tanah dilakukan sebelum dan setelah perendaman, untuk mengetahui besarnya air yang terserap. Penimbangan juga dilakukan sebelum pemeraman dan sebelum pengujian CBR dilakukan.

Prinsip kerja CBR yaitu tanah diberi beban lalu dilakukan pembacaan pada penetrasi 0.0125", 0.025", 0.05", 0.075", 0.1", 0.15", 0.2". Nilai CBR yang

dicari adalah nilai CBR pada penetrasi 0.1: dan 0.2". Untuk mencari nilai CBR digunakan rumus:

$$\% \text{ CBR} = \frac{x}{x} \times 100\%$$

Dimana:

M = pembacaan dial

LRC = factor kalibrasi alat (lbf/div)

A = luas piston (in<sup>2</sup>)

BS = Standard Unit Load

Pengujian pengembangan (*swelling*) dilakukan dengan cara merendam contoh tanah yang telah dilakukan pengujian CBR-*unsoaked* selama 4 hari, dimana pembacaan dilakukan pada jam ke 1,2,24,48,72 dan 96. Besarnya pengembangan yang terjadi akibat perendaman dibandingkan dengan tinggi dari contoh mula-mula, hal tersebut dapat menunjukkan potensi pengembangan dari suatu tanah.

Berikut adalah prosedur uji CBR :

1. Siapkan satu plastik tanah lolos saringan No.4 ASTM seberat 5 kg
2. Masing-masing kantong direncanakan kadar air yang diinginkan. Kadar air ini divariasikan -2% dari kadar air optimum pada percobaan compaction, pada kadar air optimum, dan +2% dari kadar air optimum. Untuk membuat kadar air yang diinginkan, perlu diketahui terlebih dahulu kadar air awal. Kemudian ditambahkan air dengan volum tertentu (V) untuk mencapai kadar air yang diinginkan seperti berikut:

$$V_{add} = \frac{W}{\rho} \times W = \dots \text{ ml}$$

3. Memadatkan sampel tanah seperti pada percobaan Compaction
4. Penetrasi sampel pada kondisi Unsoaked
  - a. Mold dan tanah ditimbang, kemudian diletakan pada mesin CBR dan diberikan beban ring di atas permukaan sampel tanah. Piston diletakkan di tengah-tengah beban ring sehingga menyentuh permukaan tanah.

- b. Coading dan dial diperiksa dan diset nol
- c. Penetrasi dilakukan dengan penurunan konstan 0.05"/menit
- d. Catat pembacaan dial pada penetrasi sebagai berikut : 0.025", 0.050", 0.075", 0.100", 0.125", 0.150", 0.175", 0.200", 0.250"



Gambar 3.8 Uji CBR

#### 5. Penetrasi pada Kondisi Soaked

- a. Setelah percobaan pada kondisi unsoaked, contoh tanah tadi direndam  $\pm 96$  jam untuk mengetahui pada kondisi swelling.
- b. Pencatatan swelling dilakukan pada jam pertama dan jam kedua sejak mulai dimasukkan ke dalam bak air. Selanjutnya dicatat pada jam ke-24, 48, 72, dan 96 jam.
- c. Setelah  $\pm 96$  jam, mould dan tanah diangkat, kemudian dilakukan penetrasi seperti pada percobaan unsoaked namun permukaan yang digunakan adalah yang sebaliknya
- d. Setelah selesai, sampel tanah dikeluarkan dan kemudian diambil sebagian di lapisan atas, sebagian di lapisan tengah, dan sebagian lagi pada lapisan bawah untuk dihitung kadar airnya.



Gambar 3.9 Uji Swelling CBR

### 3.1.8. Pengujian Geogauge

Pengujian GeoGauge dilakukan setelah pemadatan tanah. Pemadatan pengujian ini menggunakan jenis pemadatan standart, yaitu 3 lapis, maka berdasarkan pada besarnya energi yang dibutuhkan untuk suatu usaha pemadatan, yaitu

$$CE = \frac{\text{—————}}{\text{—————}}$$

didapatkan jumlah tumbukan sebesar 53 tumbukan per lapis

Proses pencampuran tanah + 5% semen sampel adalah sebagai berikut:

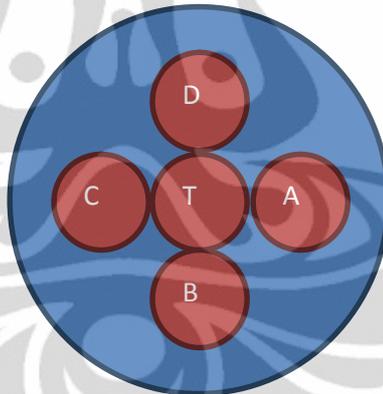
1. Menyiapkan tanah kedalam kantung plastik 5 kg, berat tanah disesuaikan dengan volume cetakan geogauge.
2. Mencampur tanah dengan % optimum semen sampai rata
3. Menambahkan air sesuai perhitungan menggunakan kadar air optimum berdasarkan uji compaction, aduk hingga rata dan homogen. Masukkan kembali kedalam kantung plastic.
4. Mendinginkan campuran tanah tadi maksimal 2 jam, supaya tanah homogeny, kemudian siap untuk pemadatan.

Pada pengujian kekakuan tanah digunakan alat GeoGauge yang diproduksi oleh Humboldt Mfg.Co. Berikut prosedur pengujiannya:

1. Cek keadaan GeoGauge, bersihkan bagian rigid foot dari GeoGauge
2. Tekan tombol ON pada GeoGauge

3. Lakukan kalibrasi dengan menggunakan Verifier Mass
4. Ratakan permukaan tanah, bila permukaan tanah terlalu keras maka letakkan pasir yang tidak terlalu basah pada permukaan tanah sebagaidudukan GeoGauge
5. Letakkan GeoGauge pada permukaan tanah yang telah dipadatkan
6. Tekan tombol MEAS
7. Setelah selesai melakukan pengujian, pindahkan GeoGauge dari benda uji
8. Simpan data dengan menggunakan tombol SAVE
9. Matikan GeoGauge dengan menggunakan tombol OFF
10. Pindahkan data hasil pengukuran dengan mentransfer data ke komputer.

Karena keterbatasan mencetak sample, maka hanya digunakan 1 buah sample benda uji. Penulis membagi titik-titik pembacaan stiffnes pada sample ini, seperti Gambar 3.10.



Gambar 3.10 Pola Pembacaan Stiffnes dengan GeoGauge



Gambar 3.11 Uji Kekakuan dengan GeoGauge

### 3.1.9. Pengujian CBR Lapangan

CBR lapangan adalah perbandingan antara beban penetrasi suatu lapisan/bahan tanah atau perkerasan terhadap bahan standar dengan kedalaman dan kecepatan penetrasi yang sama. Nilai CBR lapangan pada umumnya digunakan untuk perencanaan lapis tambahan (overlay).

Peralatan yang digunakan dalam pengujian ini antara lain :

1. Cetakan CBR,
2. dongkrak mekanis yang dipasang dibawah truk atau
3. portal besi yang diangker
4. alat penggali
5. waterpass
6. Stopwatch

Pengujian CBR dapat dilakukan langsung di tempat dengan cara menempatkan truk di atas lobang pemeriksaan dan memasang dongkrak CBR mekanis dan alat-alat lainnya. Atur pembebanan sehingga kecepatan penetrasinya mendekati kecepatan tetap. Catat pembacaan beban.



Gambar 3.12 Uji CBR Lapangan

## 3.2. Analisa dan Penulisan Laporan

### 3.2.1 Tahap analisa data antara lain:

Analisa uji sifat fisik tanah asli & tanah yang di stabilisasi berupa :

1. Uji Aterbeg Limit (Material Properties tanah asli)
2. Uji Analisa Butiran (Material Properties tanah asli)
3. Uji Specific Gravity
4. Uji Swelling

Analisa uji sifat teknis tanah asli & tanah + % Optimun semen berupa :

1. Uji Pemadatan
2. Uji nilai CBR laboratorium
3. Uji nilai kekauan dengan GeoGauge & CBR lapangan

### **3.2.2 Tahap Penulisan Laporan**

Seluruh kegiatan penelitian disusun menjadi sebuah laporan lengkap, malakah/jurnal dan bentuk presentasi.

## **BAB IV**

### **ANALISIS DATA PENGUJIAN**

#### **4.1 PENDAHULUAN**

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai hasil dan analisa data pengujian indeks properties tanah asli, pemadatan, swelling dan CBR laboratorium soaked dan unsoaked dari berbagai macam variasi sampel tanah asli dan tanah campuran. Dari pengujian ini penulis menentukan persentase optimum semen yang digunakan pada proses stabilisasi tanah lempung ekspansif. Persentase optimum semen itu kemudian diuji kembali dengan menggunakan GeoGauge berupa nilai kekakuan tanah dan CBR lapangan berupa nilai CBR yang telah dilakukan sesuai dengan metodologi penelitian.

#### **4.2 DATA HASIL PENGUJIAN**

##### **4.2.1. Hasil Pengujian Tanah Lempung Ekspansif Asli**

Uji laboratorium yang dilakukan di awal adalah pengujian indeks properties tanah asli meliputi uji atterberg limit (ASTM D 423-424), uji specific gravity (ASTM D 422-63), dan uji analisa butiran (ASTM C-136-46). Ketiga uji diatas berguna untuk mengetahui properti tanah yang akan digunakan untuk mengidentifikasi sampel tanah apakah memang merupakan jenis tanah ekspansif.

Uji indeks properties dilakukan pada tanah asli. Setelah dilakukan sederet uji tersebut didapat sifat fisik tanah uji rata-rata sebagai berikut:

##### **4.2.1.1 Atterberg Limit dan Specific Gravity**

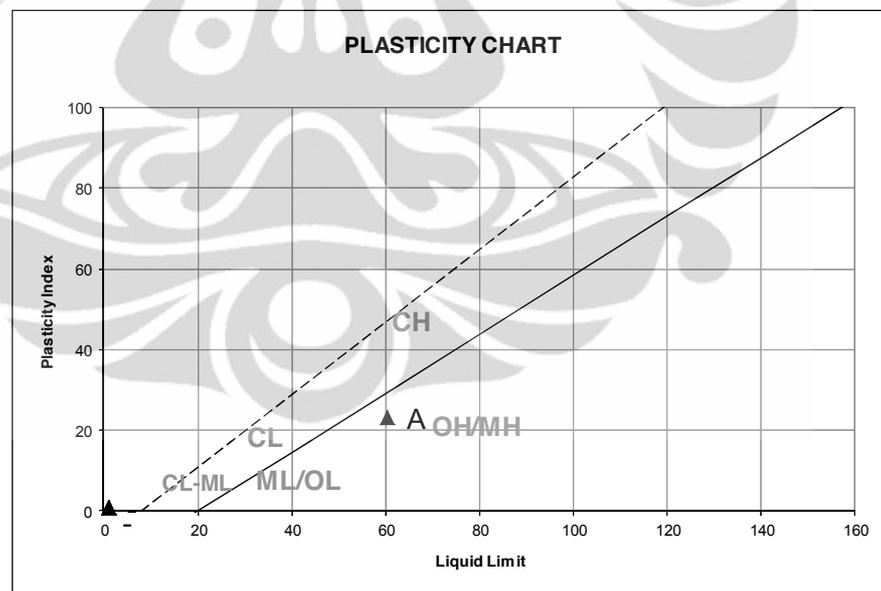
Uji atterberg limit dilakukan untuk mencari nilai liquid limit, plastic limit, dan indeks plastisitas dari sampel tanah asli. Kemudian uji specific gravity

dilakukan untuk mendapatkan nilai specific gravity dari butiran tanah, yaitu perbandingan berat isi tanah dan berat isi air pada suhu 40° C.

Tabel 4.1 Hasil Rata-Rata Uji Atterberg Limit dan Specific Gravity pada

Tanah Asli

Parameter	Tanah Asli
Gs	2,66
Liquid Limit	60.51%
Plastic limit	37.33%
Indeks Plasticity	23.19%



Gambar 4.1 Grafik Plasticity chart

Universitas Indonesia

Dari data-data yang ada pada tabel di atas, dapat disimpulkan bahwa sifat-sifat fisik dari sampel tanah yang digunakan pada penelitian ini berdasarkan sistem klasifikasi tanah unified yang dikembangkan di amerika serikat adalah:

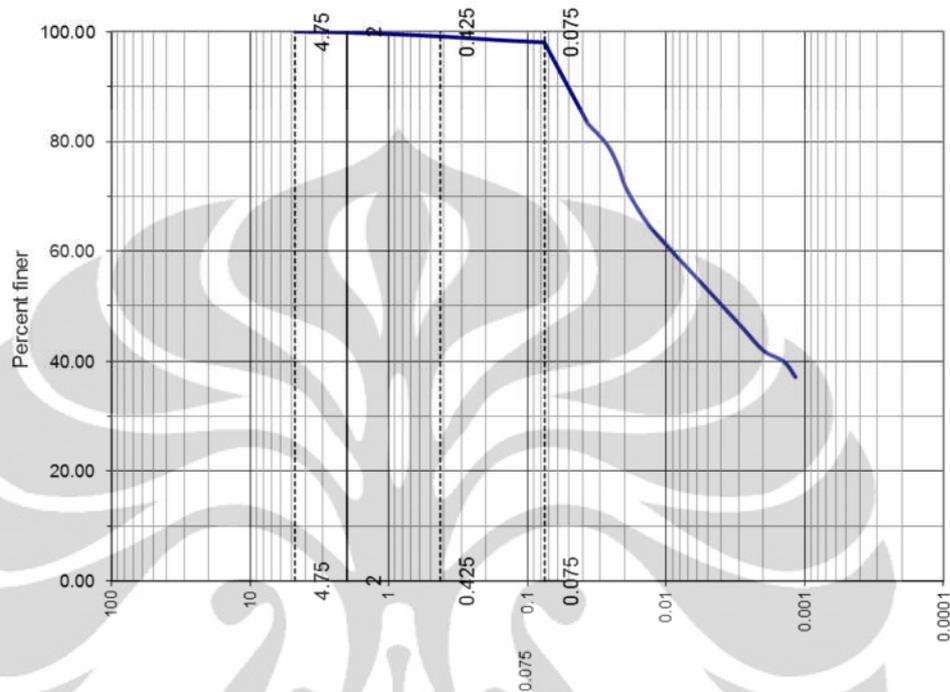
- Tanah lempung cikarang termasuk ke dalam tanah lanau anorganik plasrisitas tinggi (MH) atau lempung organik Plastisitas tinggi (OH).

Penentuan klasifikasi tanah diatas adalah dengan menggunakan grafik plastisitas sistem unified dan juga dengan melihat batas cair dari sampel tanah yang mempunyai nilai  $LL= 60.51$ ,  $L>50$ , yang berarti tergolong pada tanah plastisitas tinggi. Metode Holtz & Gibbs (1956). Berdasarkan metode ini dapat pula dilihat dari indeks plastisitas yang didapat (23.19%) bahwa tanah ini termasuk tanah yang mempunyai tingkat pengembangan yang tinggi, yaitu  $IP>22\%$ . Sedangkan berdasarkan metode Chen(1988), tanah ini merupakan tanah yang mempunyai potensi pengembangan tinggi, yaitu  $IP >22\%$ .

#### **4.2.1.2. Uji Analisa butiran**

Pada uji analisa butiran terbagi menjadi dua percobaan yang dilakukan yaitu sieve analysis dan hydrometer. Sieve analysis digunakan untuk mengetahui distribusi ukuran butiran tanah yang berdiameter 4,76 mm sampai 0,074 mm atau lolos saringan no.4 dan tertahan saringan no. 200. Sedangkan hydrometer bertujuan untuk menentukan distribusi butiran tanah yang memiliki diameter lebih kecil dari 0,074 mm atau lolos saringan no. 200 dengan cara pengendapan. Berdasarkan uji yang dilakukan maka hasil yang didapat adalah sebagai berikut:

<< Gravel	Sand	Silt	Clay >>
-----------	------	------	---------



Gambar 4.2 Grain size distribution tanah asli

Tabel 4.2 Hasil Rata-Rata Uji Analisa Butiran (Sieve Analysis dan Hydrometer) Tanah Asli

Grain Size Distribution	
Clay(%)	41.91
Silt(%)	56.11
Sand(%)	1.98

Berdasarkan hasil yang didapat persentase butiran terbesar justru berada pada silt hal ini mungkin terjadi karena tanah yang diambil tercampur dengan tanah urugan yang memiliki kandungan silt yang lebih besar.

Beberapa pengukuran sifat fisis dan sifat mekanis disajikan dalam tabel 4.3 dibawah ini :

Tabel 4.3 Hasil Pengujian Tanah Asli

Parameter	Tanah Ekspansif Asli
Gs	2.714
IP	23,19
$\gamma$ .dry max (kN/m <sup>3</sup> )	15.53
W.opt (%)	23.8
CBR Unsoaked (%)	12.05
CBR Soaked (%)	0.94
Swelling CBR (%)	6.2

#### 4.2.2. Hasil Pengujian Tanah Lempung Ekspansif + Variasi % Semen

Pengaruh penambahan berbagai prosentase semen terhadap tanah asli dapat dilihat pada table 4.4

Tabel 4.4 Hasil Pengujian Tanah + Variasi % Semen

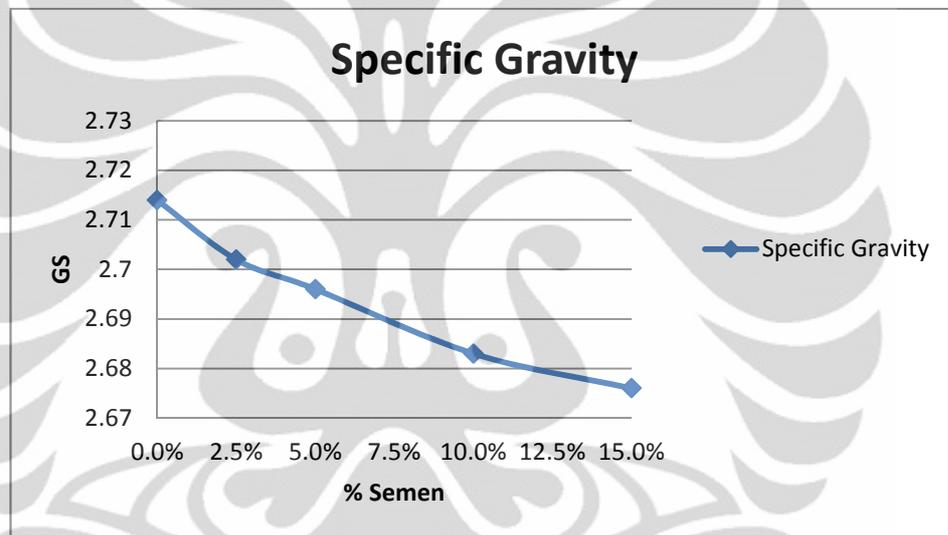
Parameter	Tanah Ekspansif Asli	+2,5 % Semen	+5% Semen	+10% Semen	+15% Semen
Gs	2.714	2.702	2.696	2.683	2.676
$\gamma$ .dry max (kN/m <sup>3</sup> )	15.35	15.38	15.41	15.56	15.68
W.opt (%)	23.8	23.23	22.05	21.03	20.85
CBR Unsoaked (%)	12.05	13.54	17.38	21.76	22.78
CBR Soaked (%)	0.94	4.93	11.04	31.78	49.08
Swelling CBR (%)	6.2	3.94	3.6	3.06	2.63

### 4.3 Analisa Data Sifat Fisis

Hasil pengujian sifat fisis, berat fisik (specific gravity) adalah sebagai berikut:

Tabel 4.5 Hasil Pengujian Specific Gravity

Parameter	Tanah Ekspansif Asli	+2,5 % Semen	+5% Semen	+10% Semen	+15% Semen
Gs (Berat Spesifik)	2.714	2.702	2.696	2.683	2.676



Gambar 4.3 Pengaruh Bahan Stabilisasi Terhadap Nilai Berat Spesifik

Pada Gambar 4.3 nilai berat spesifik akan terus mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya presentase kadar semen yang di gunakan.

### 4.4 Analisa Data Terhadap Daya Dukung

Hasil pengujian sifat-sifat mekanis meliputi pemadatan (compaction) dan CBR.

#### 4.4.1 Pemadatan (compaction)

Hasil pengujian pemadatan (compaction) dengan metode standart proctor dapat dilihat pada tabel 4.6 dibawah ini:

Tabel 4.6 Hasil Compaction Test pada Tanah Asli dan Tanah Campuran

Tanah Asli

<b>Water content, w%</b>	17.18	20.76	23.7	27.09	29.67
<b>Dry density, KN/m<sup>3</sup></b>	14.595	15.131	15.347	15.071	14.657

Tanah + 2.5% Semen

<b>Water content, w%</b>	16.75	20.35	23.85	26.52	29.82
<b>Dry density, KN/m<sup>3</sup></b>	14.421	15.041	15.371	14.812	13.887

Tanah + 5% Semen

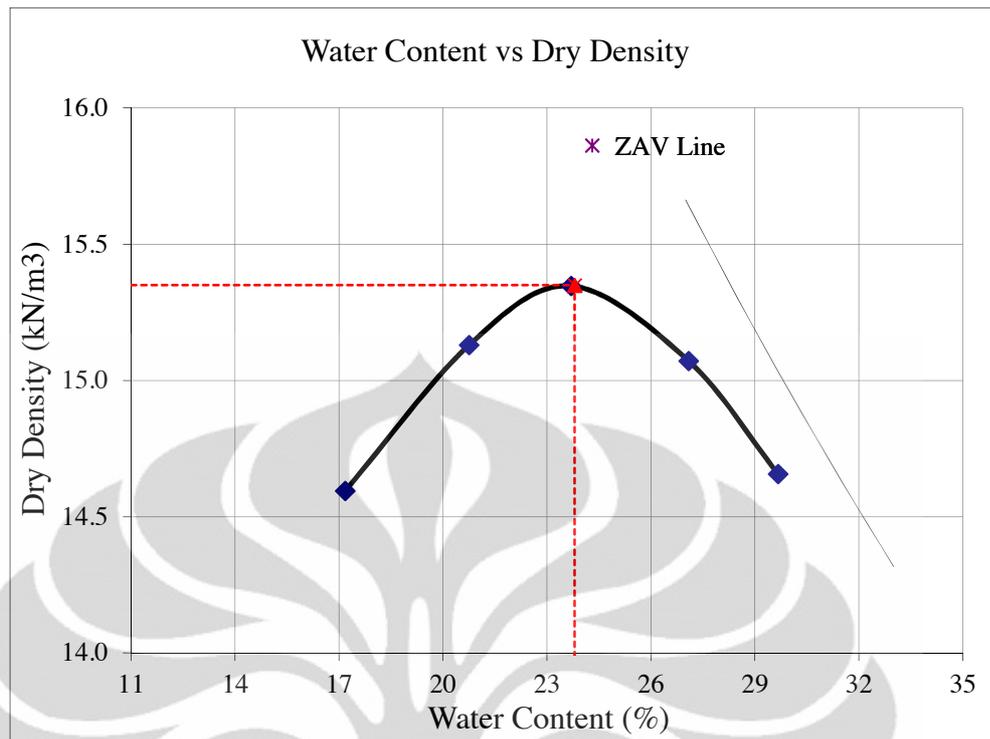
<b>Water content, w%</b>	15.5	19.87	22.86	25.4	28.72
<b>Dry density, KN/m<sup>3</sup></b>	13.933	15.172	15.383	14.783	13.576

Tanah + 10% Semen

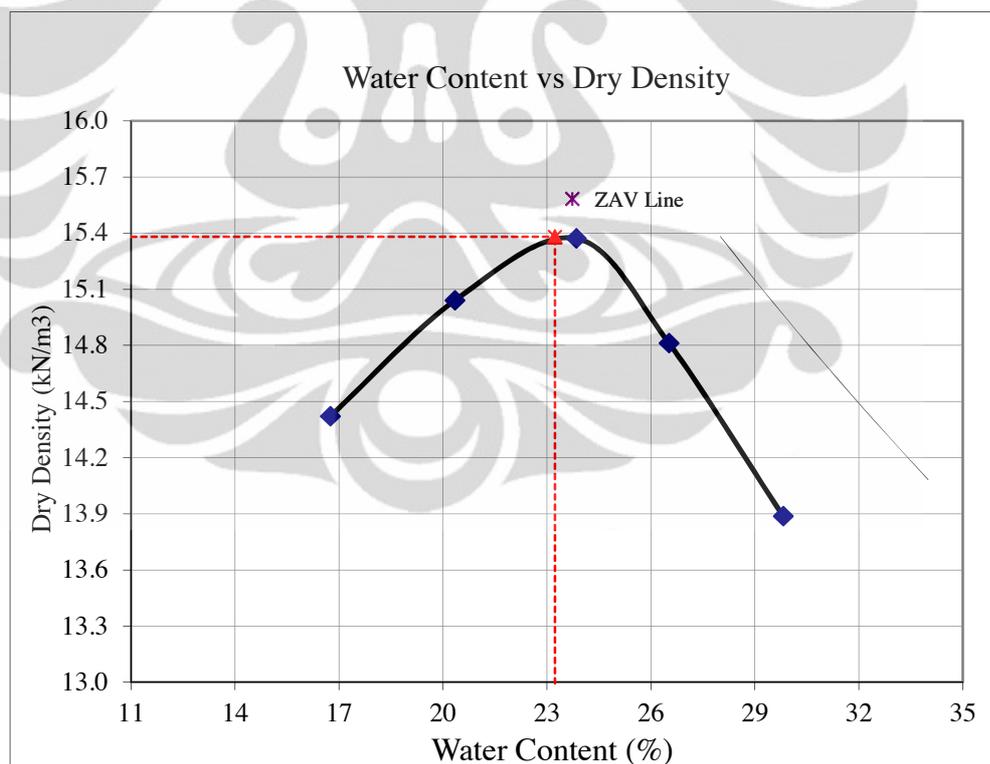
<b>Water content, w%</b>	15.5	18.06	20.99	24.08	28.84
<b>Dry density, KN/m<sup>3</sup></b>	13.657	14.802	15.550	14.829	13.101

Tanah + 15% Semen

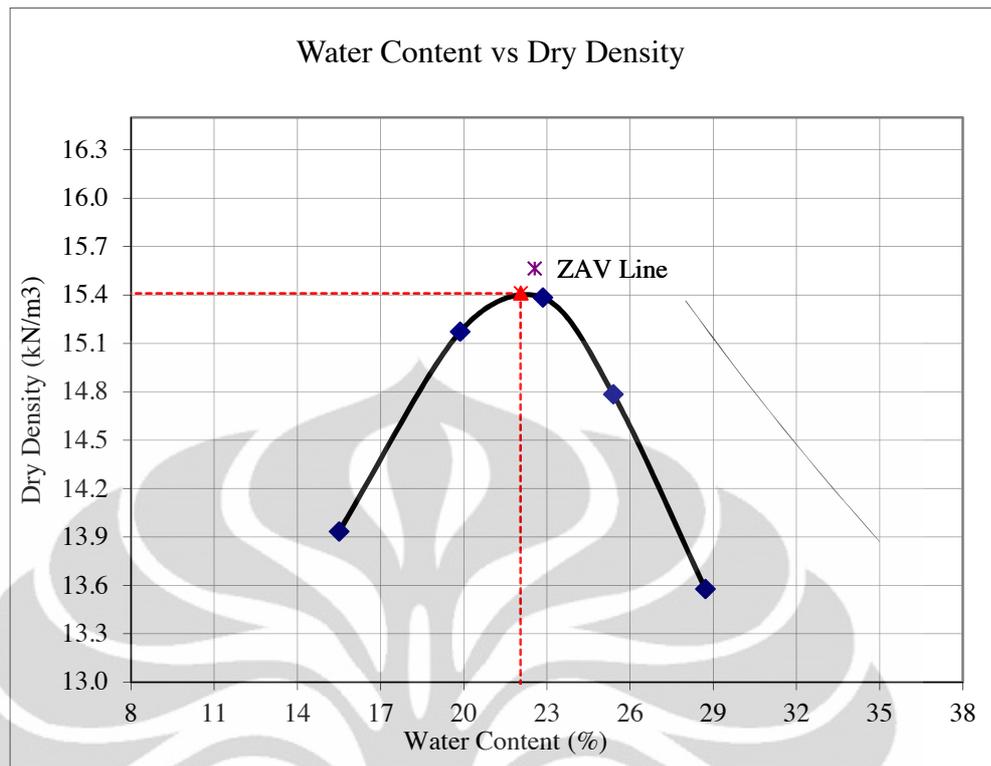
<b>Water content, w%</b>	15.5	18.35	21.48	24.94	27.89
<b>Dry density, KN/m<sup>3</sup></b>	13.887	15.196	15.662	14.684	13.448



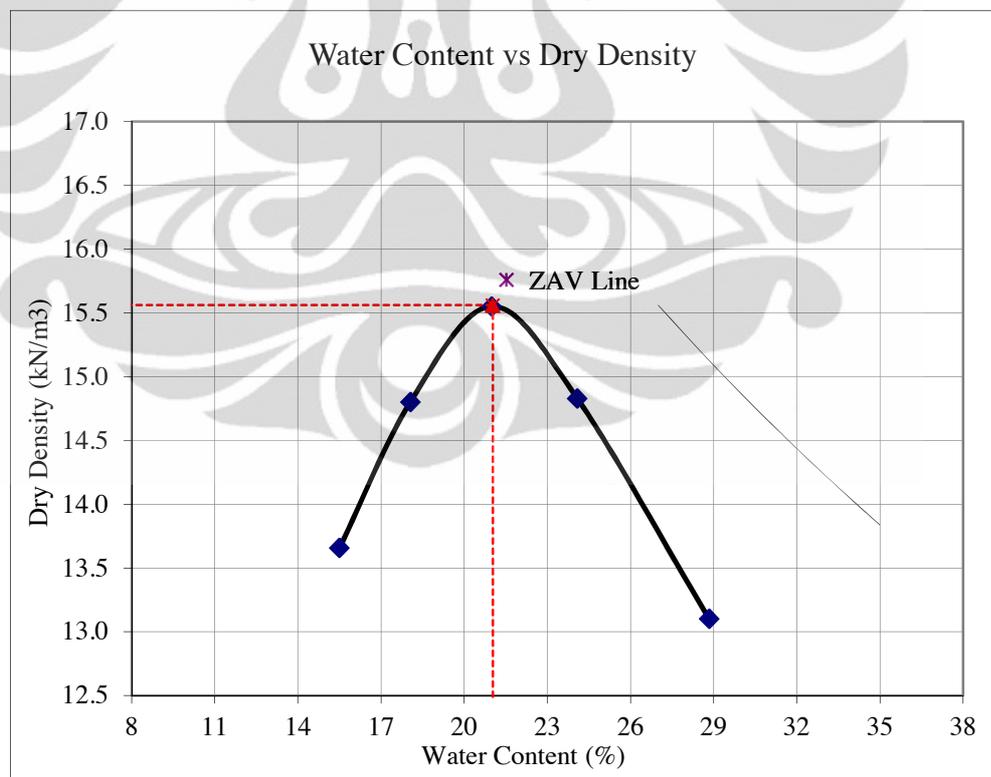
Gambar 4.4 Grafik Kadar Air Optimum Tanah Asli



Gambar 4.5 Grafik Kadar Air Optimum Tanah + 2,5% Semen

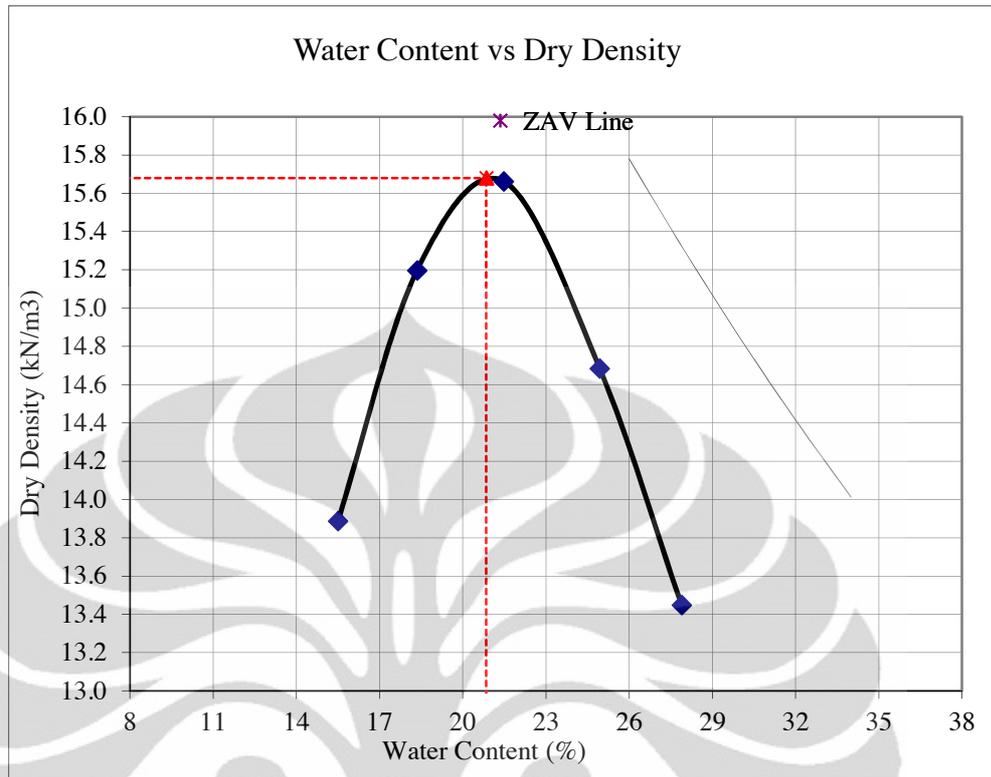


Gambar 4.6 Grafik Kadar Air Optimum Tanah + 5% Semen



Gambar 4.7 Grafik Kadar Air Optimum Tanah + 10 % Semen

Universitas Indonesia

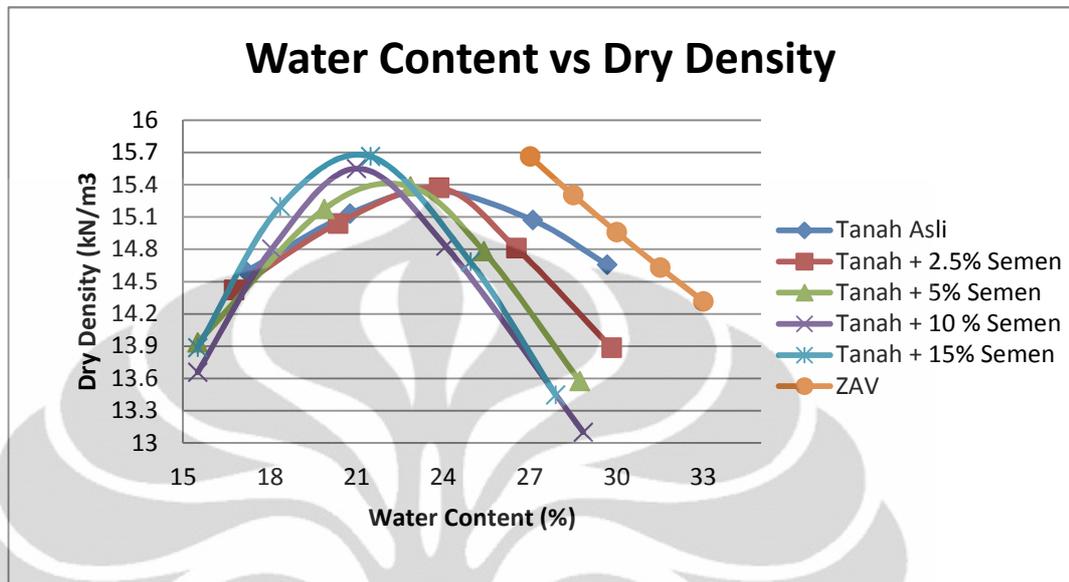


Gambar 4.8 Grafik Kadar Air Optimum Tanah + 15% Semen

Pada Gambar 4.4 sampai Gambar 4.8, dapat dilihat bahwa ZAV line tidak memotong kurva. Hal ini dikarenakan walaupun maksud dari compaction adalah mengurangi kadar air udara dalam sampel tanah, tetapi tidak mungkin kandungan udara dalam tanah dapat ditekan hingga sama dengan nol.

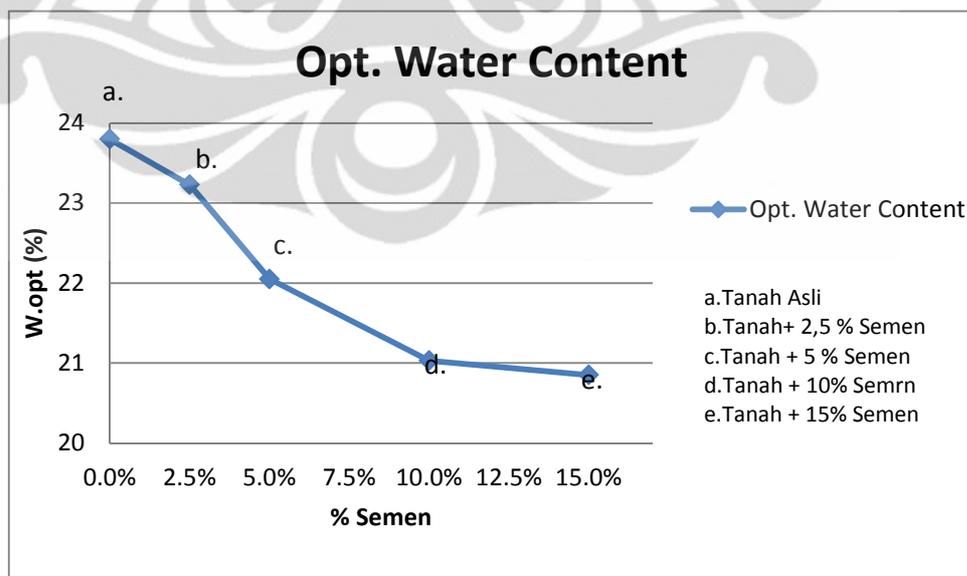
Tabel 4.7 Hasil Pengujian Compaction

Bahan	Dry Density (Kn/m <sup>3</sup> )	Kadar Air (%)
Tanah Ekspansif Asli	15.35	23.8
Tanah + 2,5% Semen	15.38	23.23
Tanah + 5 % Semen	15.41	22.05
Tanah + 10 % Semen	15.56	21.03
Tanah + 15 % Semen	15.68	20.85



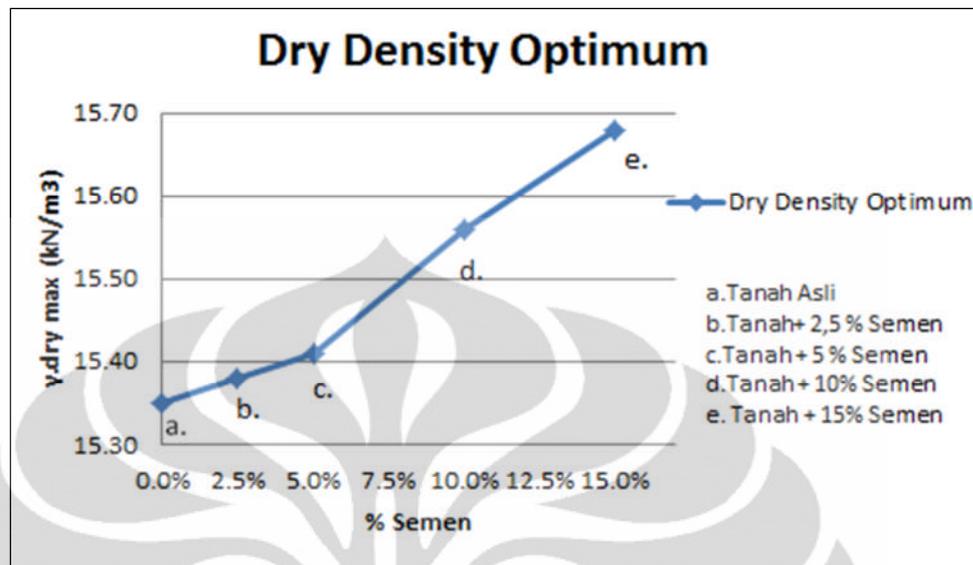
Gambar 4.9 Grafik gabungan kadar air vs berat jenis kering

Perubahan nilai-nilai kepadatan kering (dry density) yang semakin naik berbeda dengan nilai dari kadar air yang semakin rendah sejalan dengan penambahan prosentase semen yang ditambahkan, yang menyebabkan butiran lempung mengeras (Gambar 4.10 dan Gambar 4.11)



Gambar 4.10 Grafik gabungan kadar air pada kondisi optimum

Universitas Indonesia



Gambar 4.11 Grafik gabungan berat jenis kering maksimum pada kondisi optimum

Dari Gambar 4.10 dapat dilihat bahwa penambahan semen berpengaruh pada kadar air optimum di tiap campuran tanah. Hasil yang diperoleh adalah kadar air menurun seiring dengan semakin banyaknya jumlah semen yang ditambahkan. Hal ini disebabkan oleh penggantian ion dan perubahan susunan (ion exchange dan flocculation). Dengan pencampuran semen pada tanah yang lembab dan kohesif setelah dibiarkan beberapa waktu akan terjadi suatu reaksi yaitu calcium cation dari semen menggeser ion dari sodium dan hidrogen yang lemah dari permukaan butir-butir clay atau dengan kata lain membuat kadar air menjadi berkurang dan menarik partikel-partikel clay menjadi kelompok butir-butir yang lebih besar.

Uniknya, ruang antar pori yang seharusnya semakin besar dan nilai kepadatan kering maksimum menjadi turun ketika air dalam tanah digunakan oleh kalsium untuk berhidrasi dalam percobaan ini menghasilkan nilai yang sebaliknya kadar air optimum menjadi lebih kecil dan nilai kepadatan kering menjadi naik.

Sedangkan dari grafik 4.11 menunjukkan perubahan berat jenis kering optimum meningkat seiring dengan penambahan semen. Ini menunjukkan bahwa penambahan semen membuat tanah menjadi semakin padat dan keras. Hal seperti ini disebabkan karena proses sementasi yaitu kalsium dan mineral seperti aluminium dan silika yang berada dalam tanah itu bercampur dengan semen.

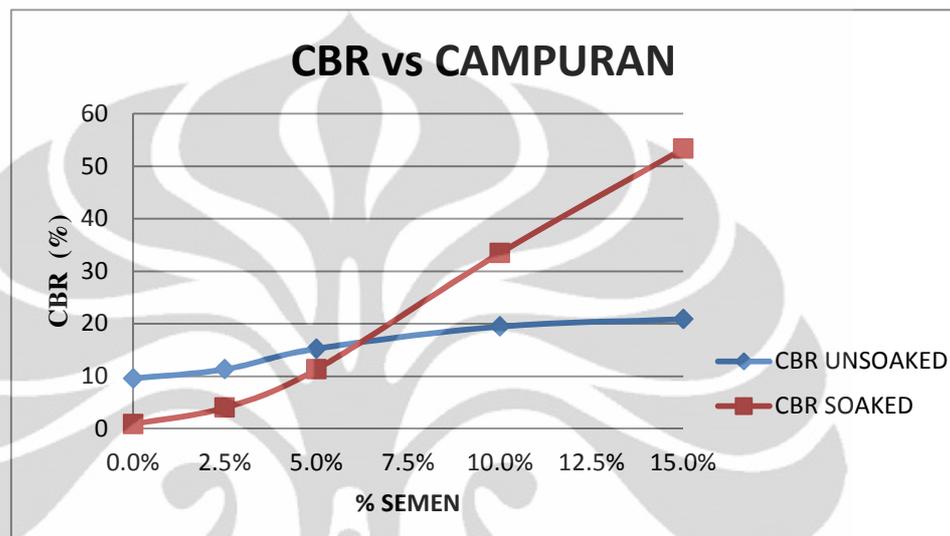
#### 4.4.2 CBR (Unsoaked dan Soaked)

Dari hasil pengujian CBR (unsoaked dan soaked) pada campuran, hampir pada semua parameter terjadi perubahan yang semakin meningkat sebanding dengan kenaikan prosentase jumlah semen yang digunakan (tabel 4.8). Hal ini terjadi substitusi isomorf silika dan aluminium pada lempung dengan ion-ion  $Al^{3+}$  dan  $Ca^{2+}$  yang membuat ikatan mineral tersebut menjadi lebih stabil dan kuat, sehingga lempung terflokulasi dan akibat dilakukannya proses pemadatan maka kepadatan lempung bertambah karena rongga antar butiran semakin kecil dan pada akhirnya meningkatkan nilai CBR dari lempung tersebut.

Tabel 4.8 Hasil Pengujian CBR Unsoaked dan Soaked

Parameter (%)	Tanah Ekspansif Asli	+2,5 % Semen	+5% Semen	+10% Semen	+15% Semen
CBR Unsoaked	9.65	11.32	15.24	19.46	20.87
CBR Soaked	0.89	4.02	11.32	33.45	53.33

Persentase semen yang optimum ditambahkan sebagai bahan stabilisasi adalah pada prosentase semen 5%. Sebab untuk CBR soaked sudah masuk dalam persyaratan nilai minimum CBR untuk subgrade sebesar minimum 5%.



Gambar 4.12 Grafik perubahan nilai CBR tiap campuran

Dari Gambar 4.12 dapat dilihat bahwa penambahan % semen berpengaruh pada naiknya nilai CBR, baik CBR unsoaked maupun CBR soaked.

Hal unik terjadi pada campuran tanah + % semen 10% dan 15%, dimana nilai CBR soaked naik drastis, melebihi nilai CBR unsoaked. Hal ini disebabkan karena besarnya % semen yang digunakan dan waktu pengujian CBR soaked 4 hari setelah rendaman, sehingga terjadi reaksi kimia yang membuat tanah semakin mengeras dan menaikkan nilai CBRnya.

#### 4.4.3 Swelling dari CBR soaked

Hasil Swelling dari CBR Soaked menunjukkan tanah asli mengalami perubahan penurunan ekstrim pada campuran tanah + 2,5% semen, dengan lama pemeraman empat hari. Namun jika dilihat dari

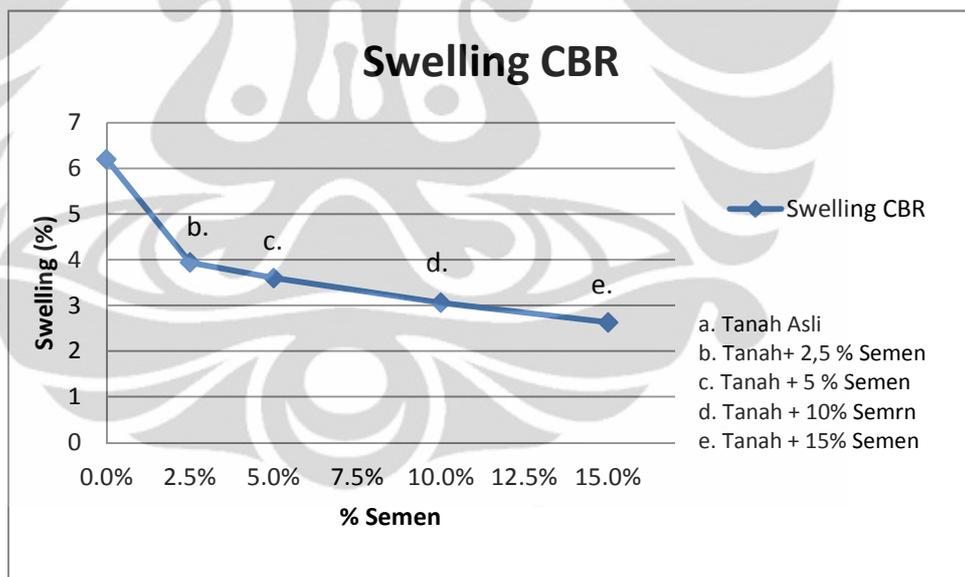
**Universitas Indonesia**

sisi perbandingan campuran, maka campuran tanah + 5% semen lah yang paling optimum. Hal ini terjadi karena proses hidrasi dari kedua bahan tersebut semakin meningkat seiring dengan waktu pemeramannya.

Tabel 4.9 Hasil Pengujian Swelling CBR

Parameter (%)	Tanah Ekspansif Asli	+2,5 % Semen	+5% Semen	+10% Semen	+15% Semen
Swelling CBR	6.2	3.94	3.6	3.06	2.63

Berdasarkan hasil pengujian, penurunan nilai swelling dengan campuran semen dapat dilihat pada Gambar 4.13



Gambar 4.13 Grafik perubahan nilai swelling tiap campuran

Dari gambar 4.13 perubahan nilai swelling CBR ekstrim terjadi pada persentasi penambahan semen 2.5 %. Dari grafik swelling CBR diatas penulis membuat nilai  $\Delta$  tiap persen Campuran antara lain:

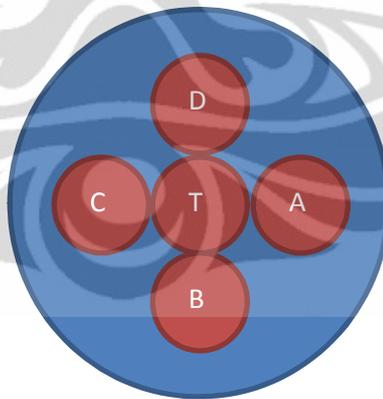
**Universitas Indonesia**

$\Delta ( 0 \% - 2.5 \% )$ semen	= 2.26
$\Delta ( 0 \% - 5 \% )$ semen	= 2.60
$\Delta ( 2.5 \% - 5 \% )$ semen	= 0.34
$\Delta ( 5 \% - 10 \% )$ semen	= 0.54
$\Delta ( 10 \% - 15 \% )$ semen	= 0.43

Dari perubahan nilai  $\Delta$  yang ada, penulis menyimpulkan penambahan % semen yang efektif / optimum adalah tanah asli + 5% semen, sebab memiliki nilai  $\Delta$  terbesar jika dibandingkan dengan penambahan persentase lainnya.

#### 4.4.4 Hasil Uji GeoGauge

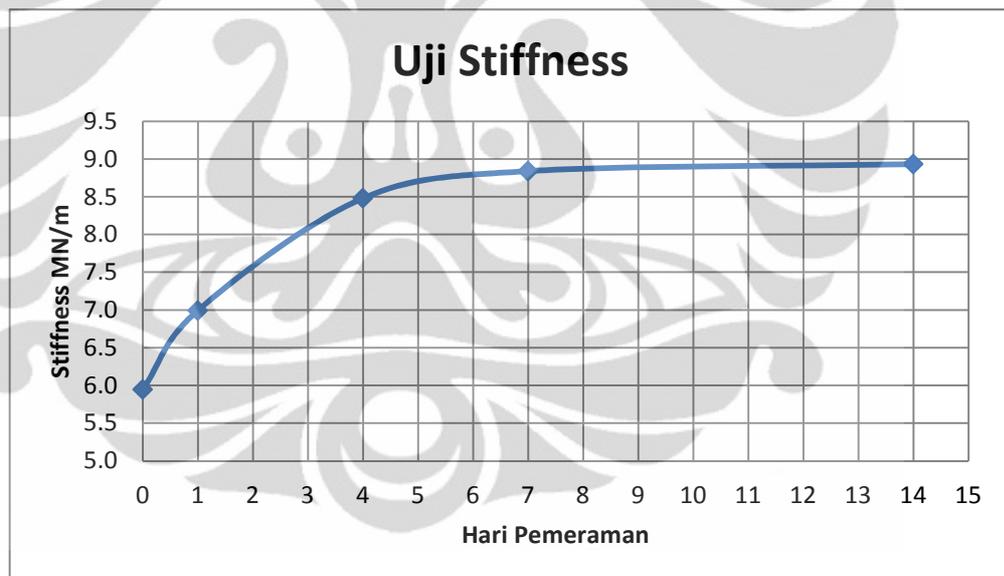
Dari hasil pengujian GeoGauge digunakan prosentase campuran paling optimum, yaitu tanah asli + 5% semen, yang diperam dalam empat waktu berbeda 0 hari, 1 hari, 4 hari, 7 hari dan 14 hari. Hasilnya dapat dilihat pada Tabel 4.10 dan Gambar 4.15.



Gambar 4.14 Pola Pembacaan GeoGauge

Tabel 4.10 Hasil Pengujian Stiffness dengan alat GeoGauge

Umur Peraman (hr)	0	1	4	7	14
<b>GeoGauge MN/m</b>					
Tengah T	6.18	7.4	8.44	8.96	9.16
Pinggir A	6.02	6.7	8.3	8.77	9.07
Pinggir B	5.74	6.42	8.41	8.6	8.75
Pinggir C	5.84	7.0	8.65	8.85	8.44
Pinggir D	5.95	7.45	8.6	9.02	9.24
<b>Rata2x</b>	<b>5.9</b>	<b>6.99</b>	<b>8.48</b>	<b>8.84</b>	<b>8.93</b>



Gambar 4.15 Grafik Uji Stiffnes dengan GeoGauge

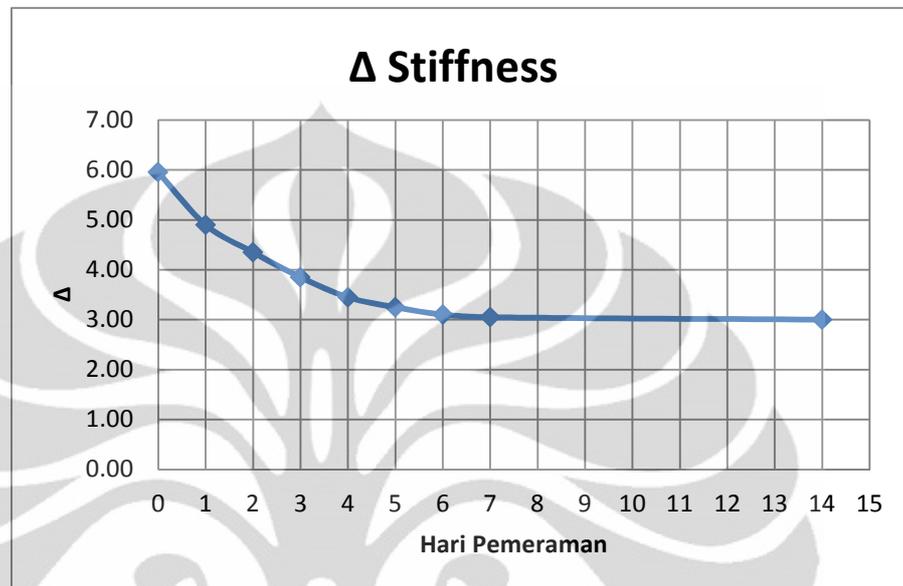
Dari grafik diatas kita dapat melihat  $\Delta$  perubahan nilai stiffness terhadap waktu pemeraman.

$$\Delta (0-1) \text{ hari} = 1,05, \Delta (1-2) \text{ hari} = 0,55$$

$$\Delta (2-3) \text{ hari} = 0.50, \Delta (3-4) \text{ hari} = 0,40$$

**Universitas Indonesia**

$$\begin{aligned} \Delta (4-5) \text{ hari} &= 0.20, \Delta (5-6) \text{ hari} = 0.15 \\ \Delta (6-7) \text{ hari} &= 0.05, \Delta (7-14) \text{ hari} = 0,05 \end{aligned}$$



Gambar 4.16 Grafik  $\Delta$  Stiffnes

Dengan melihat perubahan nilai stiffness per waktu pembacaanya ( $\Delta$ ), penulis menyimpulkan, bahwa waktu pemeraman yang efektif adalah pada 4 hari, sebab sudah mewakili nilai dari kekauan tanah tersebut. Karena di pemeraman 7 hari dan 14 hari perubahan nilai stiffness naik tidak terlalu signifikan dari pemeraman 4 hari.

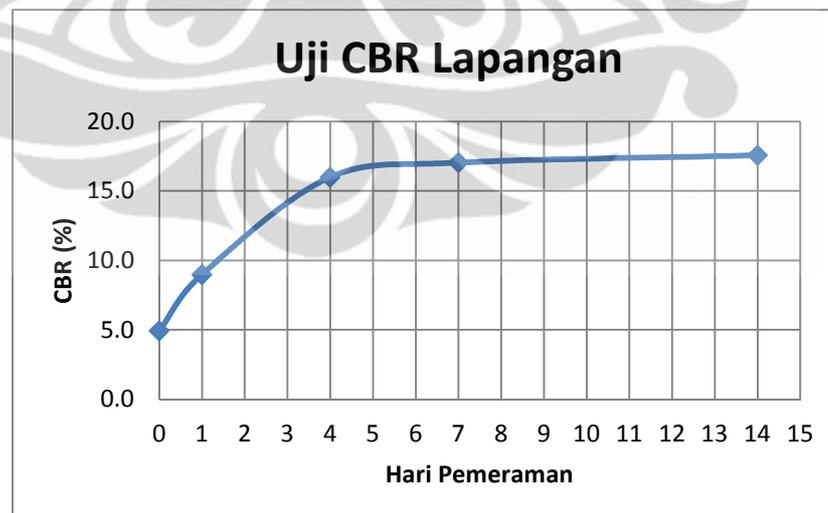
#### 4.4.5 Hasil Uji CBR Lapangan

Untuk uji CBR lapangan digunakan benda uji yang sama dengan uji GeoGauge dengan prosentase campuran optimum, yaitu tanah asli + 5% semen, yang diperam dalam lima waktu berbeda 0 hari, 1 hari, 4 hari, 7 hari dan 14 hari.

Tabel 4.11 Hasil Pengujian CBR Lapangan

Umur Peraman (hr)	0	1	4	7	14
<b>CBR Lapangan %</b>					
Tengah T	6.78	10.38	15.14	17.69	18.98
Pinggir A	4.89	7.46	14.50	16.52	18.45
Pinggir B	4.72	6.40	15.21	15.87	16.84
Pinggir C	4.32	9.37	16.91	17.20	15.26
Pinggir D	3.96	11.30	18.20	17.92	18.30
<b>Rata2x</b>	<b>4.9</b>	<b>8.98</b>	<b>15.99</b>	<b>17.04</b>	<b>17.57</b>

Dari Gambar 4.16 waktu pemeraman yang efektif adalah pada 4 hari, sebab sudah mewakili nilai CBR tanah tersebut. Karena di pemeraman 7 hari dan 14 hari perubahan CBR relatif naik tidak terlalu signifikan dari pemeraman 4 hari.



Gambar 4.17 Grafik Uji CBR Lapangan

#### 4.4.6 Hubungan Stiffness dengan CBR

Hasil seluruh pengujian stiffness dengan Geogauge dan CBR Lapangan secara lengkap dapat dilihat pada tabel 4.12 di bawah ini:

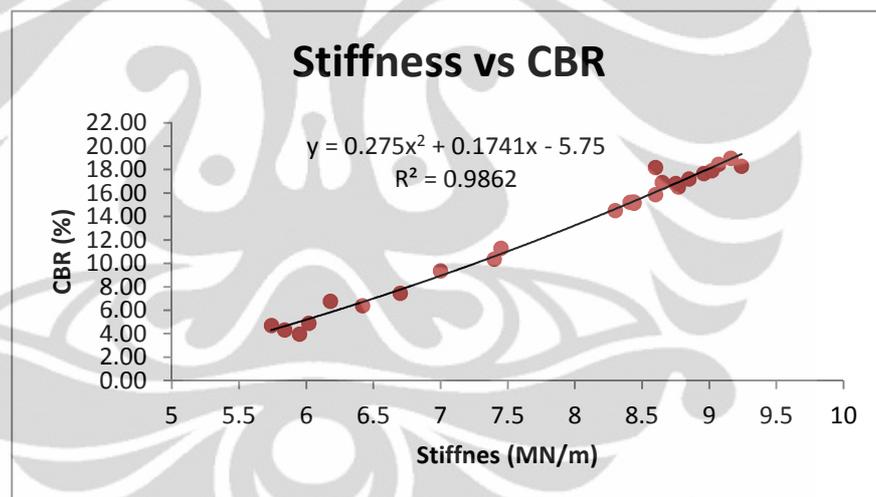
Tabel 4.12 Hasil Pengujian Stiffness GeoGauge dan CBR Lapangan

<b>Posisi &amp; Umur</b>	<b>Stiffness (MN/m)</b>	<b>CBR (%)</b>
Tengah T (0 hr)	6.18	6.78
Pinggir A (0 hr)	6.02	4.89
Pinggir B (0 hr)	5.74	4.72
Pinggir C (0 hr)	5.84	4.32
Pinggir D (0 hr)	5.95	3.96
Tengah T (1 hr)	7.40	10.38
Pinggir A (1 hr)	6.70	7.46
Pinggir B (1 hr)	6.42	6.40
Pinggir C (1 hr)	7.00	9.37
Pinggir D (1 hr)	7.45	11.30
Tengah T (4 hr)	8.44	15.14
Pinggir A (4 hr)	8.30	14.50
Pinggir B (4 hr)	8.41	15.21
Pinggir C (4 hr)	8.65	16.91
Pinggir D (4 hr)	8.60	18.20
Tengah T (7 hr)	8.96	17.69
Pinggir A (7 hr)	8.77	16.52
Pinggir B (7 hr)	8.60	15.87
Pinggir C (7 hr)	8.85	17.20
Pinggir D (0 hr)	9.02	17.92
Tengah T (14 hr)	9.16	18.98
Pinggir A (14 hr)	9.07	18.45

Universitas Indonesia

Pinggir B (14 hr)	8.75	16.84
Pinggir C (14 hr)	8.44	15.26
Pinggir D (14 hr)	9.24	18.30

Dari data nilai kekakuan dan CBR lapangan diatas, peneliti membuat suatu hubungan antara kedua nilai tersebut. Korelasi ini dibuat dengan cara memplotkan nilai kekakuan dan CBR lapangan di dalam satu grafik, kemudian peneliti mencari persamaan yang mewakili grafik tersebut. Grafik hubungan antara nilai kekakuan (stiffness) dan CBR lapangan adalah sebagai berikut.



Gambar 4.18 Grafik Hubungan antara Stiffness GeoGauge CBR Lapangan

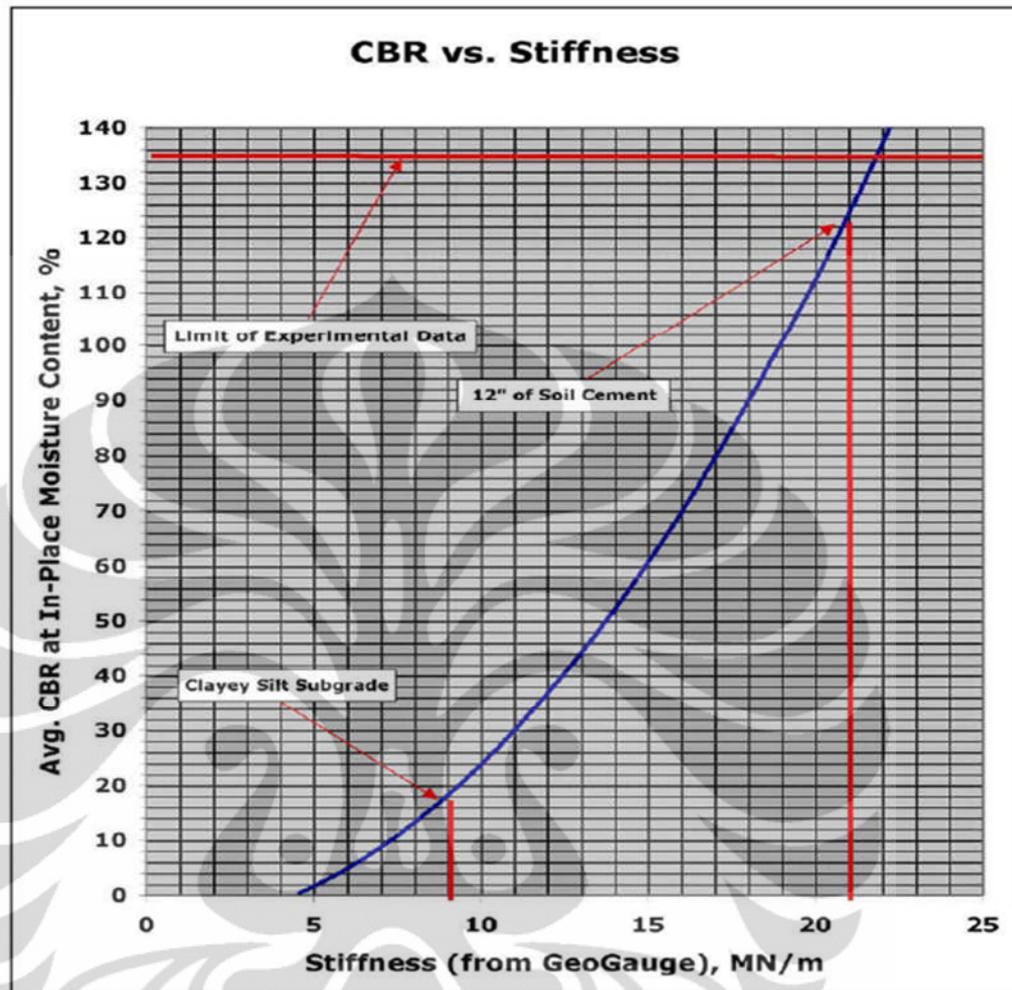
Dari Gambar 4.18 dapat diketahui bahwa hubungan Stiffness dan CBR adalah  $y = 0.275x^2 + 0.1741x - 5.75$ , dengan nilai  $R^2 = 0.9862$ . atau  $CBR = 0.275(K_G)^2 + 0.1741(K_G) - 5.75$ , dengan  $K_G$  adalah nilai Stiffness dengan nilai  $R^2 = 0.9862$ .

#### 4.4.7 Gabungan penelitian mengenai hubungan Stiffness dengan CBR

Dari penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Hadre Setia Hardeka Fakultas Teknik Sipil Universitas Indonesia dan *Loisiana Departement of Transportation & Development*, Mexico penulis mencoba menggabungkan dengan hasil penelitian skripsi ini.

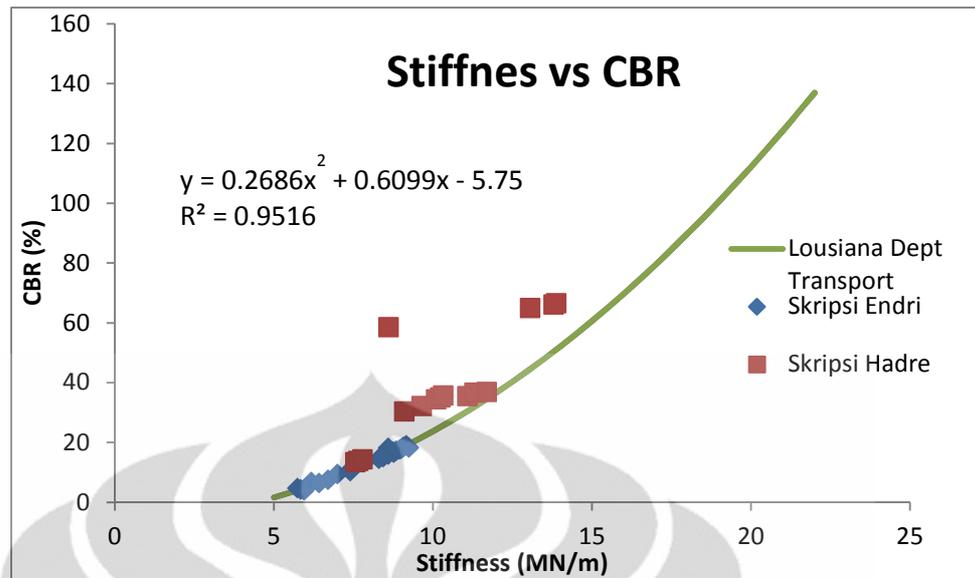
Tabel 4.13 Hasil Pengujian Skripsi Hadre Setia Hardeka

Stiffness	CBR
9.65	32.13
11.09	35.47
13.88	66.49
10.1	34.36
7.66	13.83
8.61	58.56
11.31	36.59
13.06	64.93
10.24	35.03
7.56	13.39
9.1	30.34
11.69	36.81
13.8	66.04
10.33	35.7
7.79	14.28

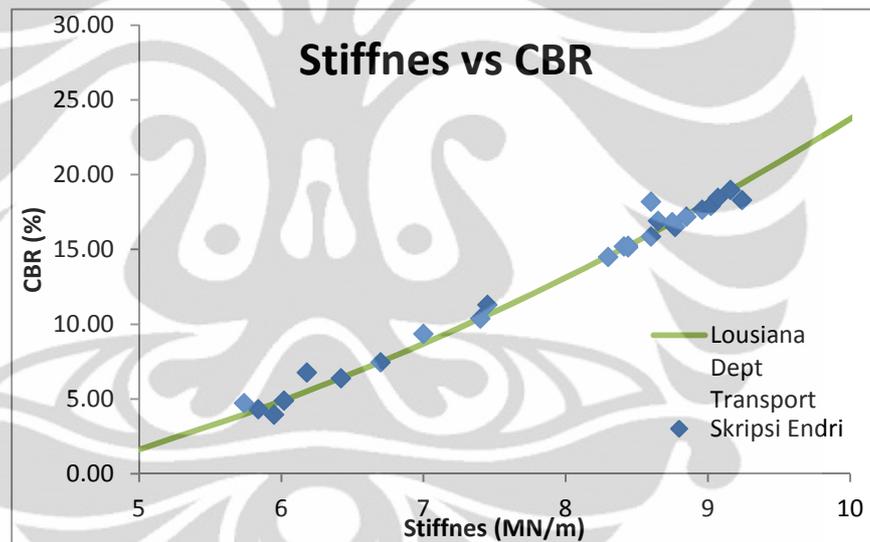


Gambar 4.19 GeoGauge ( $K_G$ ) vs CBR by *Loisiana Departement of Transportation & Development*

Dari ketiga bentuk persamaan diatas, kemudian peneliti menggabungkannya sehingga terbentuk persamaan baru seperti pada Gambar.4.20



Gambar 4.20 GeoGauge ( $K_G$ ) vs CBR Skripsi Endri + Skripsi Hadre + *Loisiana Departement of Transportation & Development*



Gambar 4.21 GeoGauge ( $K_G$ ) vs CBR Skripsi Endri + *Loisiana Departement of Transportation & Development*

Dari Gambar 4.20 dapat di hasilkan persamaan baru hubungan antara nilai kekauan dan nilai CBR, yaitu  $CBR = 0.2686(K_G)^2 + 0.6099(K_G) - 5.75$ , dengan  $K_G$  adalah nilai Stiffness dan nilai  $R^2 = 0.9516$ . Serta penelitian pada skripsi ini masuk kedalam katogeri material clayey silt subgrade.

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

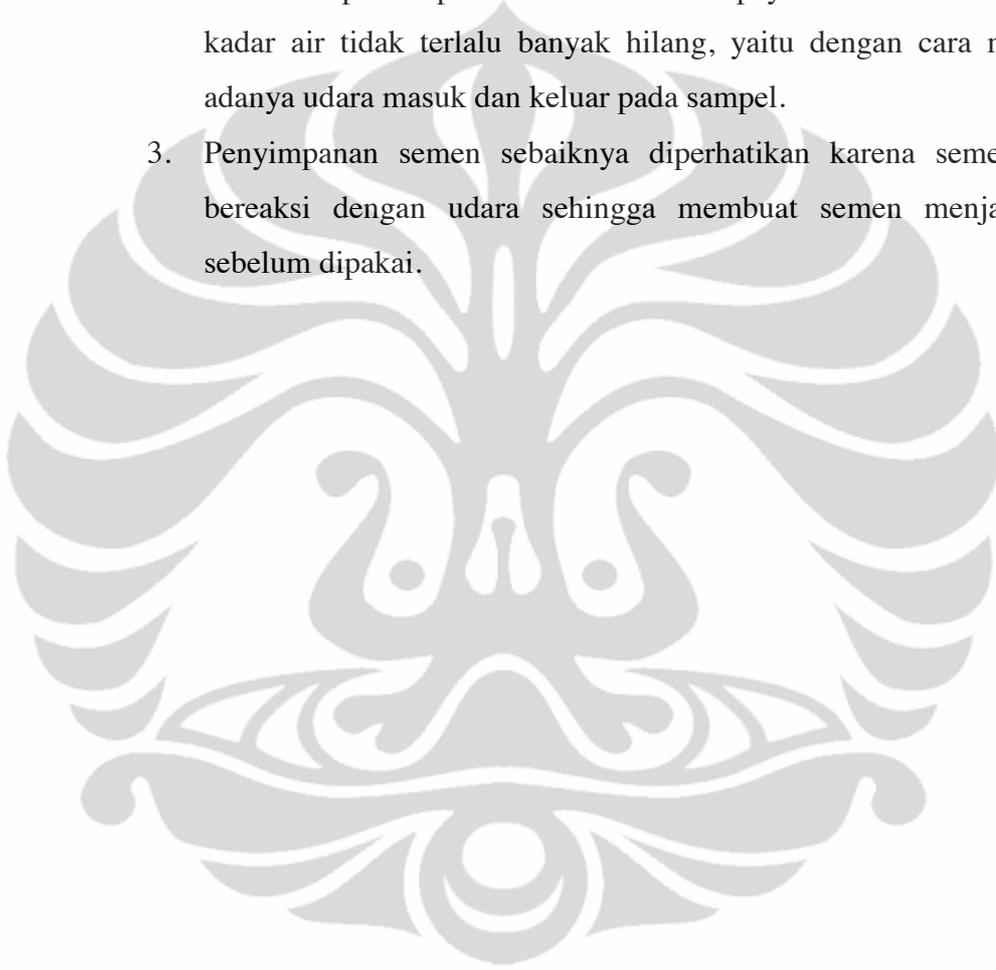
#### 5.1. KESIMPULAN

Dari data dan analisa hasil-hasil pengujian, penulis menarik kesimpulan berkenaan dengan evolusi nilai CBR dan nilai kekauan pada proses stabilisasi tanah ekspansif dengan semen, antara lain:

1. Evolusi nilai kekakuan dan CBR peraman 0,1,4,7,14 hari beturut-turut 5.9,6.99,8.48,8.84,8.93 dalam MN/m dan 4.9,8.98,15.99,17.04,17.57 dalam %.
2. Dengan melihat perubahan nilai stiffness dan CBR lapangan per satuan waktu, penulis menyimpulkan, bahwa lamanya waktu pemeraman yang efektif adalah pada 4 hari, sebab sudah mewakili nilai dari kekauan tanah dan CBR yang distabilisasi tersebut. Sebab di pemeraman 7 hari dan 14 hari perubahan nilai stiffness relatif naik tidak terlalu signifikan dari pemeraman yang 4 hari.
3. Hubungan antara Stiffness dengan CBR penelitian skripsi adalah  $CBR = 0.275(K_G)^2 + 0.1741(K_G) - 5.75$ , dengan  $K_G$  adalah nilai Stiffness dan nilai  $R^2 = 0.9862$ .
4. Persamaan baru hubungan antara nilai kekauan dan nilai CBR antara penelitian skripsi ini dengan penelitian skripsi Hadre Setia Hardeka dan penelitian *Loisiana Departement of Transportation & Development* adalah  $0.2686(K_G)^2 + 0.6099(K_G) - 5.75$ , dengan  $K_G$  adalah nilai Stiffness dan nilai  $R^2 = 0.9516$ . Penelitian pada skripsi ini masuk kedalam katogeri material clayey silt subgrade.

## 5.2. SARAN

1. Untuk sampel yang akan di uji menggunakan Geogauge di upayakan semaksimal mungkin rata permukaannya, supaya menghasilkan pembacaan yang tepat.
2. Pada saat proses pemeraman harus di upayakan seminimal mungkin kadar air tidak terlalu banyak hilang, yaitu dengan cara mencegah adanya udara masuk dan keluar pada sampel.
3. Penyimpanan semen sebaiknya diperhatikan karena semen akan bereaksi dengan udara sehingga membuat semen menjadi keras sebelum dipakai.



## DAFTAR PUSTAKA

- Bowles, Joseph. 1984. *Sifat-sifat Fisis dan Geoteknis Tanah*. Jakarta : Penerbit Erlangga
- Humboldt Co. 2007. *GeoGauge User Guide*. West Agatite Avenue Norridge
- Lary R. Lenke, R. Gordon McKeen, (2000). *Laboratory Evaluation of the GeoGauge* University of Mexico
- Lary r. Lenke, R. Gordon McKeen, & Matt Grush., 2001. *Evaluation of a Mechanical Stiffness Gauge for Compaction Control of Granular Media*. Mexico : University of New Mexico
- Munir D.Nazzal., 2003. *Field Evaluation of In-Situ Test Technology for Qc/Qa During Construction of pavement Layers and Embankment*. Birzeit University
- SNI 03-1738-1989, *Metode Pengujian CBR Lapangan*
- Craig, R.F, *Mekanika Tanah Edisi Keempat*, terjemahan Soepandji B.S. (Jakarta : Erlangga, 1987). Muni Budhu, *Soil Mechanics and Foundation*, (John Wiley and Sons, Inc, 1997).
- Hardiyatmo, H.C., 2006, *Mekanika Tanah 1*, Gajah Mada University Press, Yogyakarta.
- Abadi, Taufan Candra.,2007, *Perbandingan Hasil Stabilisasi Dengan Fly Ash dan Semen Pada Tanah Ekspansif Cikampek*, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Institut Teknologi Nasional, Bandung.
- Shirley, 2009, *Panduan Praktis Geoteknik dan Mekanika Tanah (Penyelidikan Lapangan Dan Laboratorium)*, Nova, Bandung .
- Modul Pratikum Laboratorium Mekanika Tanah Departemen Sipil Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

Hardeka, Hadre Setia., 2010, Korelasi Nilai Kekakuan Tanah Dengan Nilai CBR Pada Percobaan In-Situ. Fakultas Teknik Sipil Universitas Indonesia, Depok.





**LAMPIRAN 1**

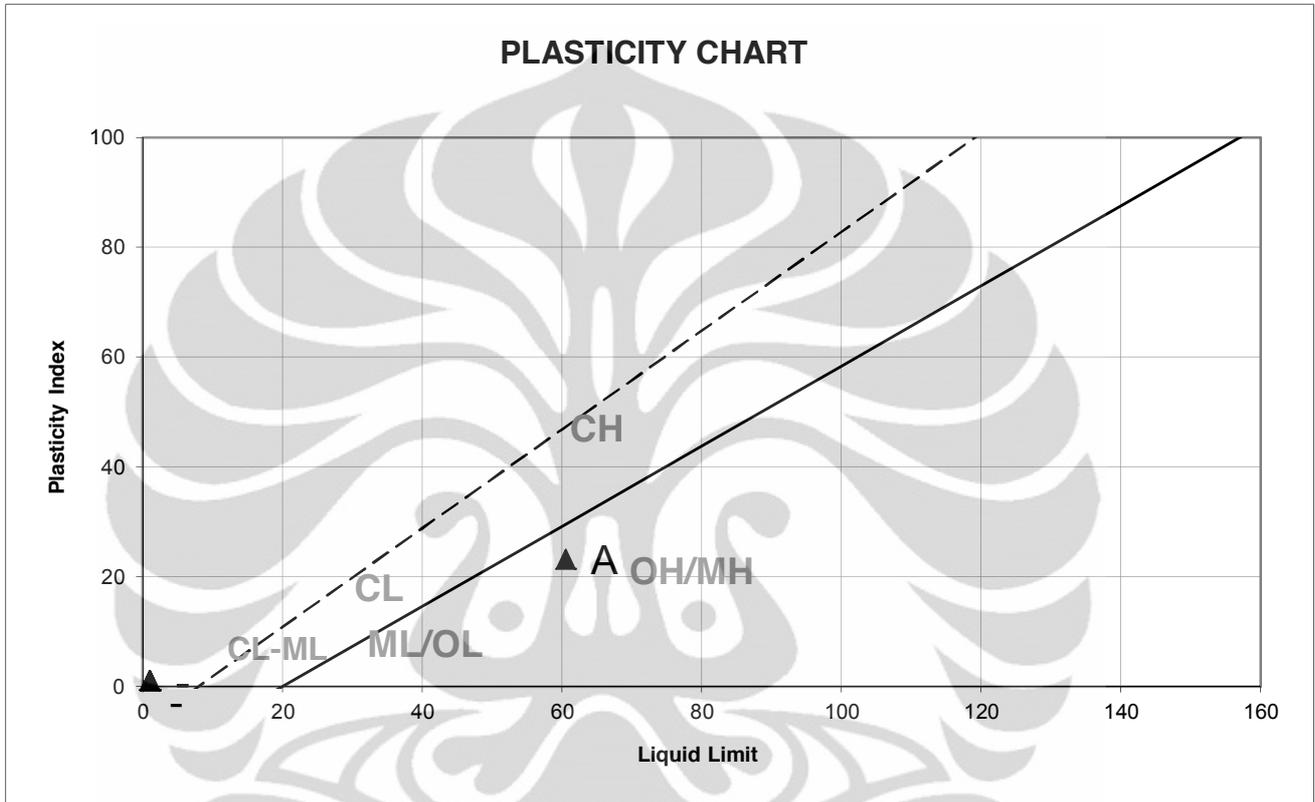
**PENGUJIAN AL, GRAINSIZE, SG, COMPACTION, CBR**

**LAB, CBR FIELD**



## ATTERBERG LIMIT

<b>PROJECT</b> Skripsi	<b>DATE OF TESTING</b> 06/01/11 - 07/01/10
<b>LOCATION</b> Cikarang	<b>TESTED BY</b> Endri



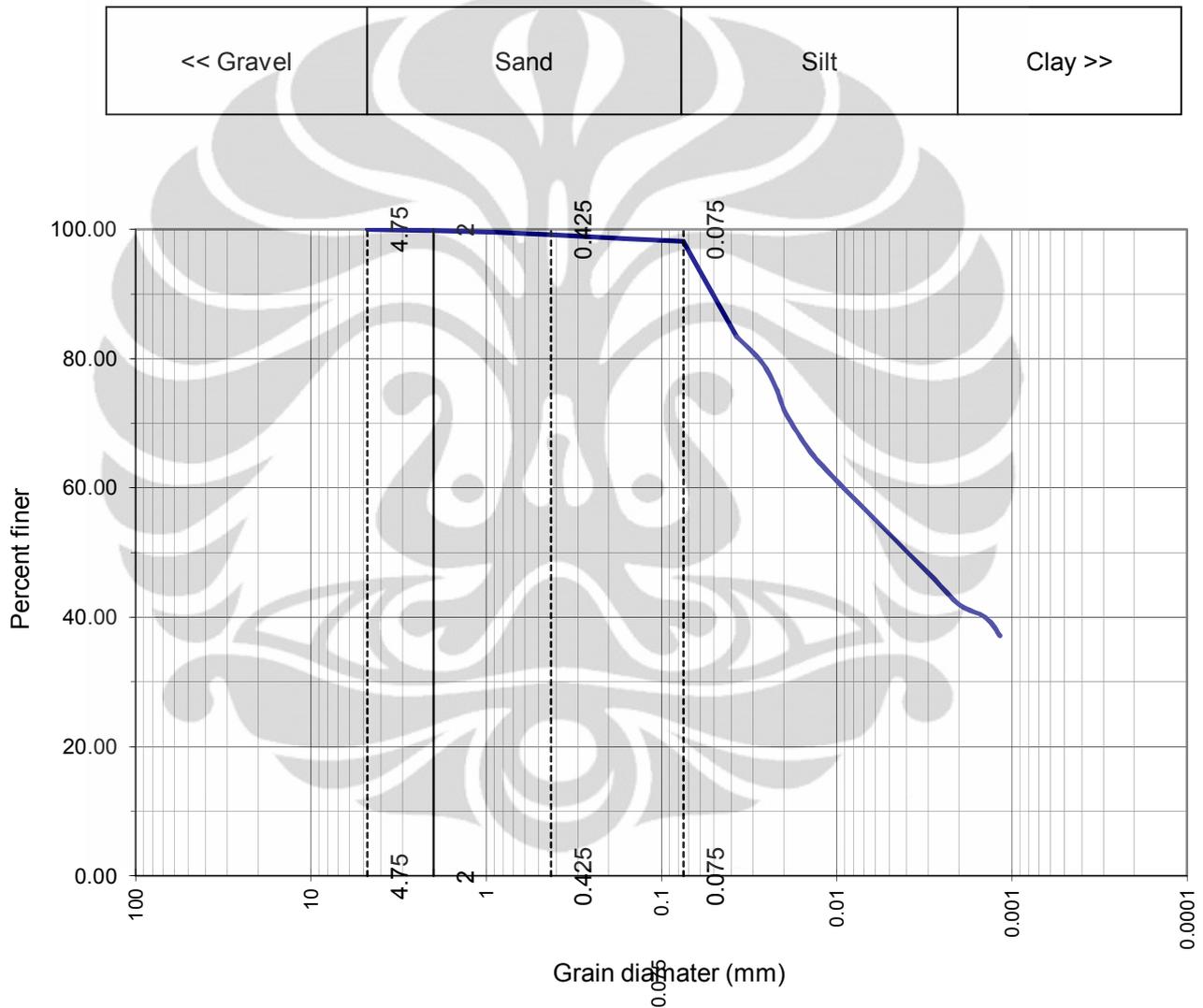
Borehole No.	Depth (m)	Symbol	LL (%)	PL (%)	PI (%)	Unified Classification
Tanah Asli	Ekspansif	A	60.51	37.33	23.19	MH
-	- - -	-	-	-	-	-
-	- - -	-	-	-	-	-
-	- - -	-	-	-	-	-
-	- - -	-	-	-	-	-



## GRAIN SIZE DISTRIBUTION

<b>PROJECT</b> Skripsi		<b>DEPTH OF SAMPLE</b> 0.00 - 0.00 m
<b>LOCATION</b> Cikarang		<b>DATE OF TESTING</b> 10/01/11
<b>BOREHOLE NO.</b> 0	<b>SAMPLE NO.</b> 1	<b>TESTED BY</b> Endri

PROJECT NUMBER:



Composition	
Sand	1.98 %
Silt	56.11 %
Clay	41.91 %

Visual Soil Description	CLAYEY
Soil Classification	UNIFIED SOIL CLASSIFICATION



### SPECIFIC GRAVITY TEST

<b>Kegiatan</b> PENELITIAN TANAH EKSPANSIF	<b>Tgl Pengujian</b> 28/10/2010
<b>Tempat Pengujian</b> LAB. MEKTAN	<b>Penguji</b> ENDRI. S

	Soil Samples			
	A	B	C	D
Bor No.	TANAH	TANAH		
Sample No.	ASLI	ASLI		
Depth of Sample (m)	-	-	-	-
Wt. flask + water + soil = $W_{bus}$ (gram)	730.66	732.9		
Temperature ( $^{\circ}$ C)	28	28		
Wt. flask + water = $W_{bu}$ (gram)	667.37	669.6		
Evap. Dish No.	A	B		
Wt. evap. Dish + dry soil (gram)	430.82	423.73		
Wt. of evap. Dish (gram)	330.82	323.72		
Wt. of dry soil = $W_s$ (gram)	100	100.01		
$W_u = W_s + W_{bu} - W_{bus}$ (gram)	36.71	36.71		
$\alpha$	0.996	0.996		
$G_s = \alpha W_s / W_u$	2.714	2.714		

<b>Average Specific Gravity of Soil Solids</b>	<b>(Gs)</b>	<b>2.714</b>
--	-------------	--------------



### SPECIFIC GRAVITY TEST

<b>Kegiatan</b> PENELITIAN TANAH EKSPANSIF	<b>Tgl Pengujian</b> 1/11/2010
<b>Tempat pengujian</b> LAB. MEKTAN	<b>Penguji</b> ENDRI. S

	Soil Samples			
	A	B	C	D
Bor No.	TANAH ASLI +	TANAH ASLI +		
Sample No.	SEMEN 2,5%	SEMEN 2,5%		
Depth of Sample (m)	-	-	-	-
Wt. flask + water + soil = $W_{bus}$ (gram)	730.61	732.64		
Temperature ( $^{\circ}$ C)	28	28		
Wt. flask + water = $W_{bu}$ (gram)	667.37	669.6		
Evap. Dish No.	A	B		
Wt. evap. Dish + dry soil (gram)	454.37	450.76		
Wt. of evap. Dish (gram)	354.36	350.74		
Wt. of dry soil = $W_s$ (gram)	100.01	100.02		
$W_u = W_s + W_{bu} - W_{bus}$ (gram)	36.77	36.98		
$\alpha$	0.996	0.996		
$G_s = \alpha W_s / W_u$	2.710	2.695		

<b>Average Specific Gravity of Soil Soilds</b>	<b>(Gs)</b>	<b>2.702</b>
--	-------------	--------------



### SPECIFIC GRAVITY TEST

**Kegiatan**  
PENELITIAN TANAH EKSPANSIF EX.CIKARANG

**Tgl. Pengujian**  
1/11/2010

**Tempat pengujian**  
LAB. MEKTAN

**Penguji**  
ENDRI. S

	Soil Samples			
	A	B	C	D
Bor No.	TANAH ASLI +	TANAH ASLI +		
Sample No.	SEMEN 5%	SEMEN 5%		
Depth of Sample (m)	-	-	-	-
Wt. flask + water + soil = $W_{bus}$ (gram)	730.52	732.56		
Temperature ( $^{\circ}$ C)	28	28		
Wt. flask + water = $W_{bu}$ (gram)	667.37	669.6		
Evap. Dish No.	A	B		
Wt. evap. Dish + dry soil (gram)	460.96	455.31		
Wt. of evap. Dish (gram)	360.95	355.31		
Wt. of dry soil = $W_s$ (gram)	100.01	100		
$W_u = W_s + W_{bu} - W_{bus}$ (gram)	36.86	37.04		
$\alpha$	0.996	0.996		
$G_s = \alpha W_s / W_u$	2.703	2.690		

<b>Average Specific Gravity of Soil Soilds</b>	<b>(Gs)</b>	<b>2.696</b>
--	-------------	--------------



### SPECIFIC GRAVITY TEST

<b>Kegiatan</b> PENELITIAN TANAH EKSPANSIF EX.CIKARANG	<b>Tgl. Pengujian</b> 3/11/2010
<b>Tempat pengujian</b> LAB. MEKTAN	<b>Penguji</b> ENDRI. S

	Soil Samples			
	A	B	C	D
Bor No.	TANAH ASLI +	TANAH ASLI +		
Sample No.	SEMEN 10 %	SEMEN 10 %		
Depth of Sample (m)	-	-	-	-
Wt. flask + water + soil = $W_{bus}$ (gram)	730.18	732.54		
Temperature ( $^{\circ}$ C)	28	28		
Wt. flask + water = $W_{bu}$ (gram)	667.37	669.6		
Evap. Dish No.	A	B		
Wt. evap. Dish + dry soil (gram)	466.83	438.74		
Wt. of evap. Dish (gram)	366.83	338.73		
Wt. of dry soil = $W_s$ (gram)	100	100.01		
$W_u = W_s + W_{bu} - W_{bus}$ (gram)	37.19	37.07		
$\alpha$	0.996	0.996		
$G_s = \alpha W_s / W_u$	2.679	2.688		

<b>Average Specific Gravity of Soil Soilds</b>	<b>(Gs)</b>	<b>2.683</b>
--	-------------	--------------



### SPECIFIC GRAVITY TEST

<b>Kegiatan</b> PENELITIAN TANAH EKSPANSIF EX.CIKARANG	<b>Tgl.Pebgujian</b> 3/11/2010
<b>Tempat Pengujian</b> LAB. MEKTAN	<b>Penguji</b> ENDRI. S

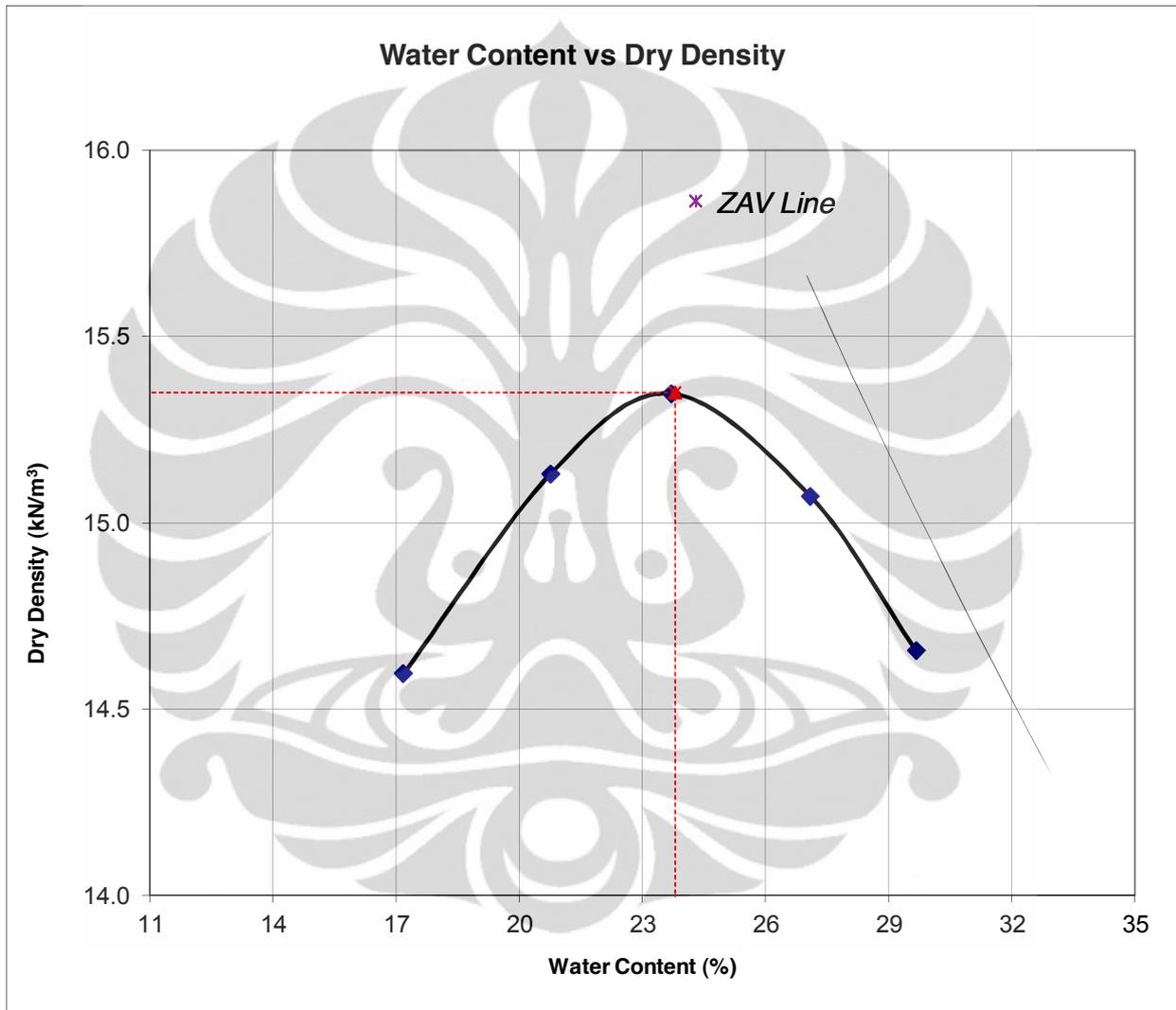
	Soil Samples			
	A	B	C	D
Bor No.	TANAH ASLI +	TANAH ASLI +		
Sample No.	SEMEN 15 %	SEMEN 15 %		
Depth of Sample (m)	-	-	-	-
Wt. flask + water + soil = $W_{bus}$ (gram)	730.18	732.36		
Temperature ( $^{\circ}$ C)	28	28		
Wt. flask + water = $W_{bu}$ (gram)	667.37	669.6		
Evap. Dish No.	A	B		
Wt. evap. Dish + dry soil (gram)	461.1	465.51		
Wt. of evap. Dish (gram)	361.09	365.49		
Wt. of dry soil = $W_s$ (gram)	100.01	100.02		
$W_u = W_s + W_{bu} - W_{bus}$ (gram)	37.2	37.26		
$\alpha$	0.996	0.996		
$G_s = \alpha W_s / W_u$	2.678	2.674		

<b>Average Specific Gravity of Soil Soilds</b>	<b>(Gs)</b>	<b>2.676</b>
--	-------------	--------------



## STANDARD COMPACTION TEST

Kegiatan PENELITIAN TANAH ASLI ( EKSPANSIF )	Tgl.Pengujian 21/10/10	
Tempat Pengujian LAB. MEKTAN FTUI	SAMPLE TANAH EKSPANSIF Ex. CIKARANG	Penguji ENDRI.S

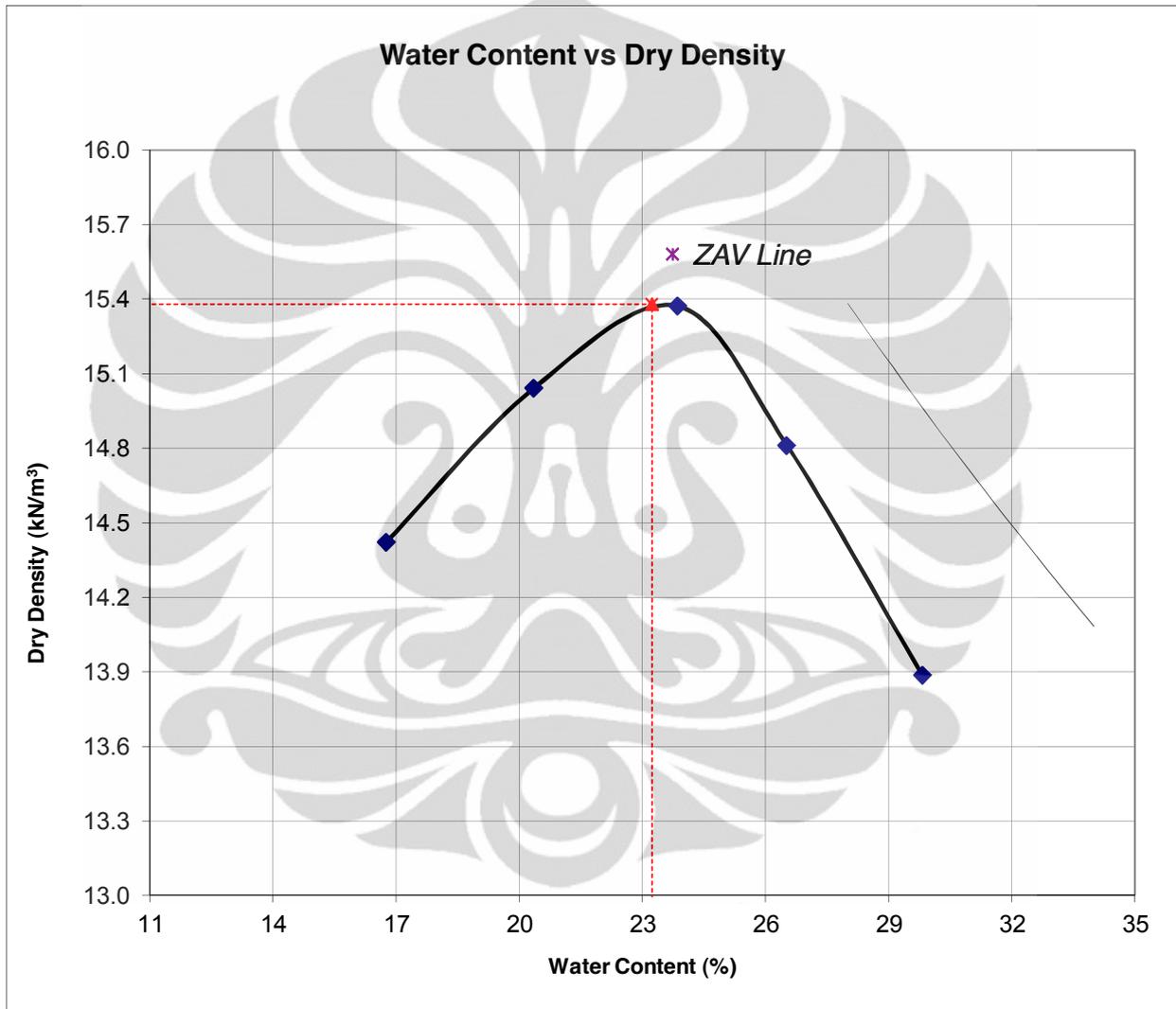


<b>MAXIMUM DRY DENSITY (<math>\gamma_{dry\ max}</math>)</b>	<b>15.35 kN/m<sup>3</sup></b>
<b>OPTIMUM WATER CONTENT (<math>w_{opt}</math>)</b>	<b>23.8 %</b>
<b>SPECIFIC GRAVITY (<math>G_s</math>)</b>	<b>2.714</b>



## STANDARD COMPACTION TEST

<b>Kegiatan</b> PENELITIAN TANAH EKSPANSIF + SEMEN 2,5 %	<b>Tgl.Pengujian</b> 21/10/10	
<b>Tempat Pengujian</b> LAB. MEKTAN FTUI	<b>SAMPLE</b> TANAH EKSPANSIF Ex. CIKARANG	<b>Penguji</b> ENDRI.S

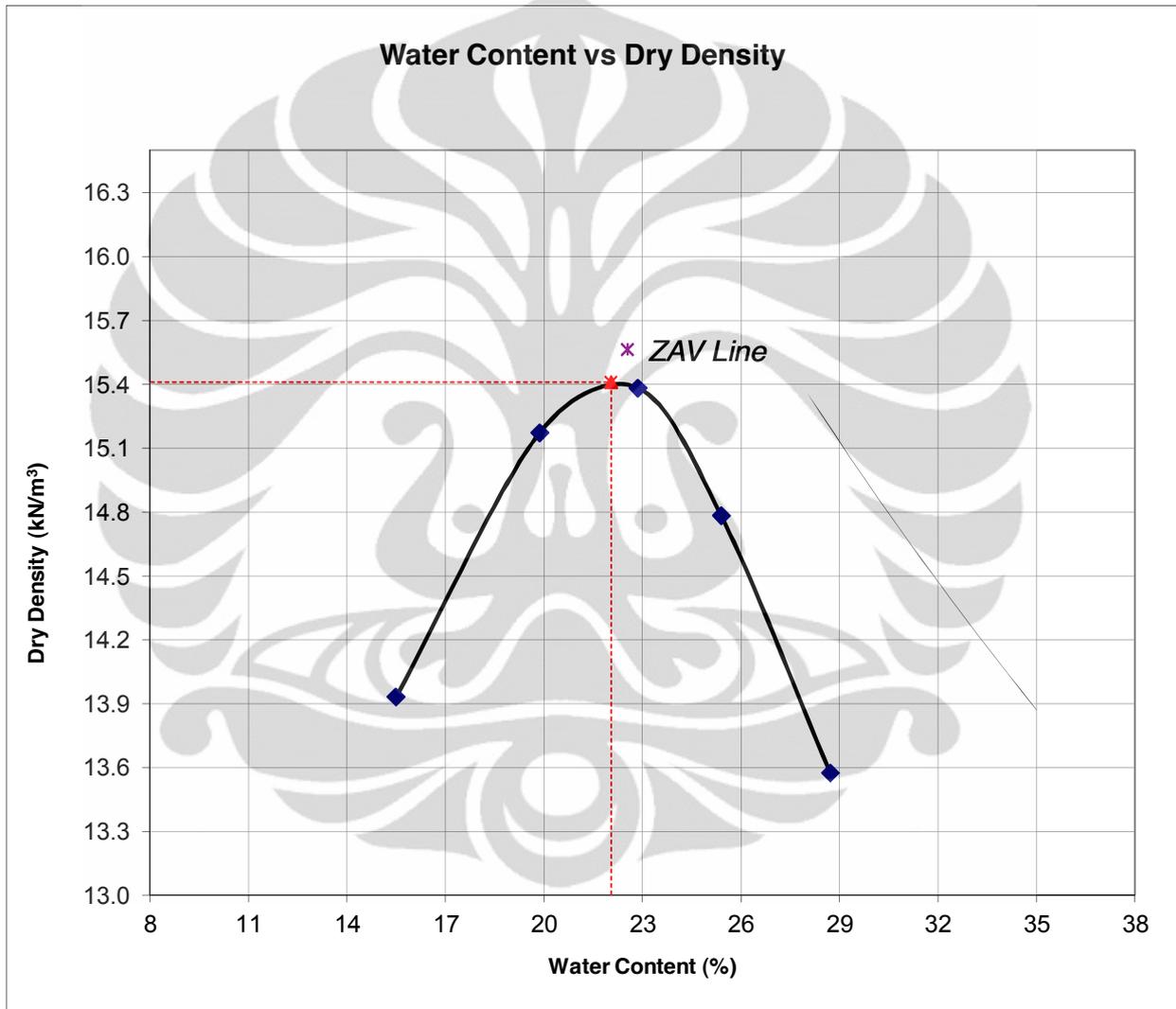


<b>MAXIMUM DRY DENSITY (<math>\gamma_{dry\ max}</math>)</b>	<b>15.38 kN/m<sup>3</sup></b>
<b>OPTIMUM WATER CONTENT (<math>w_{opt}</math>)</b>	<b>23.23 %</b>
<b>SPECIFIC GRAVITY (Gs)</b>	<b>2.702</b>



## STANDARD COMPACTION TEST

<b>Kegiatan</b> PENELITIAN TANAH EKSPANSIF + SEMEN 5 %	<b>Tgl. Pengujian</b> 26/10/2010	
<b>Tempat Pengujian</b> LAB. MEKTAN FTUI	<b>SAMPLE</b> TANAH EKSPANSIF Ex. CIKARANG	<b>Penguji</b> ENDRI.S

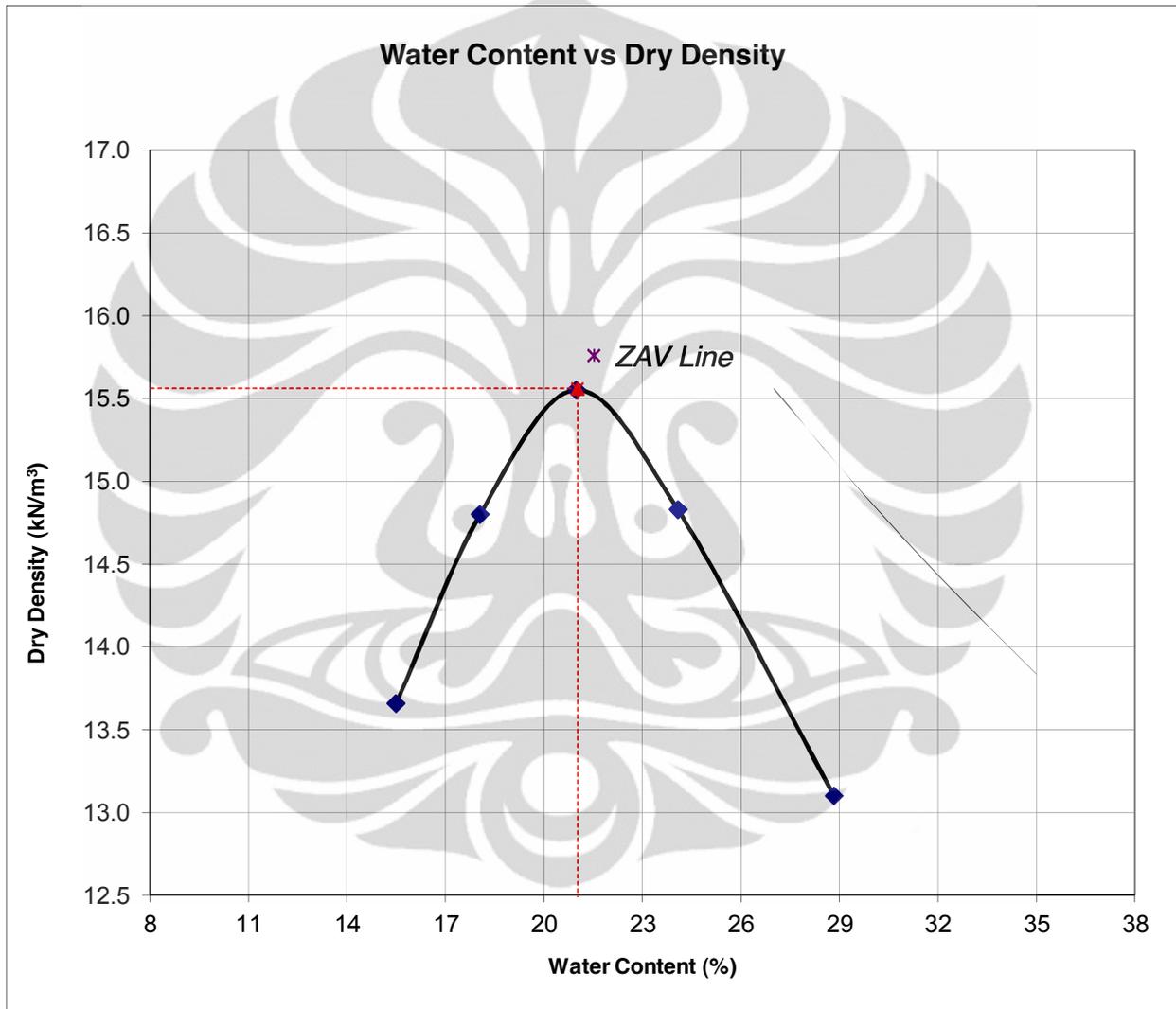


<b>MAXIMUM DRY DENSITY (<math>\gamma_{dry\ max}</math>)</b>	<b>15.41 kN/m<sup>3</sup></b>
<b>OPTIMUM WATER CONTENT (<math>w_{opt}</math>)</b>	<b>22.05 %</b>
<b>SPECIFIC GRAVITY (<math>G_s</math>)</b>	<b>2.696</b>



## STANDARD COMPACTION TEST

<b>Kegiatan</b> PENELITIAN TANAH EKSPANSIF + SEMEN 10 %	<b>Tgl.Pengujian</b> 28/10/2010	
<b>Tempat Pengujian</b> LAB. MEKTAN FTUI	<b>SAMPLE</b> TANAH EKSPANSIF Ex. CIKARANG	<b>Penguji</b> ENDRI.S

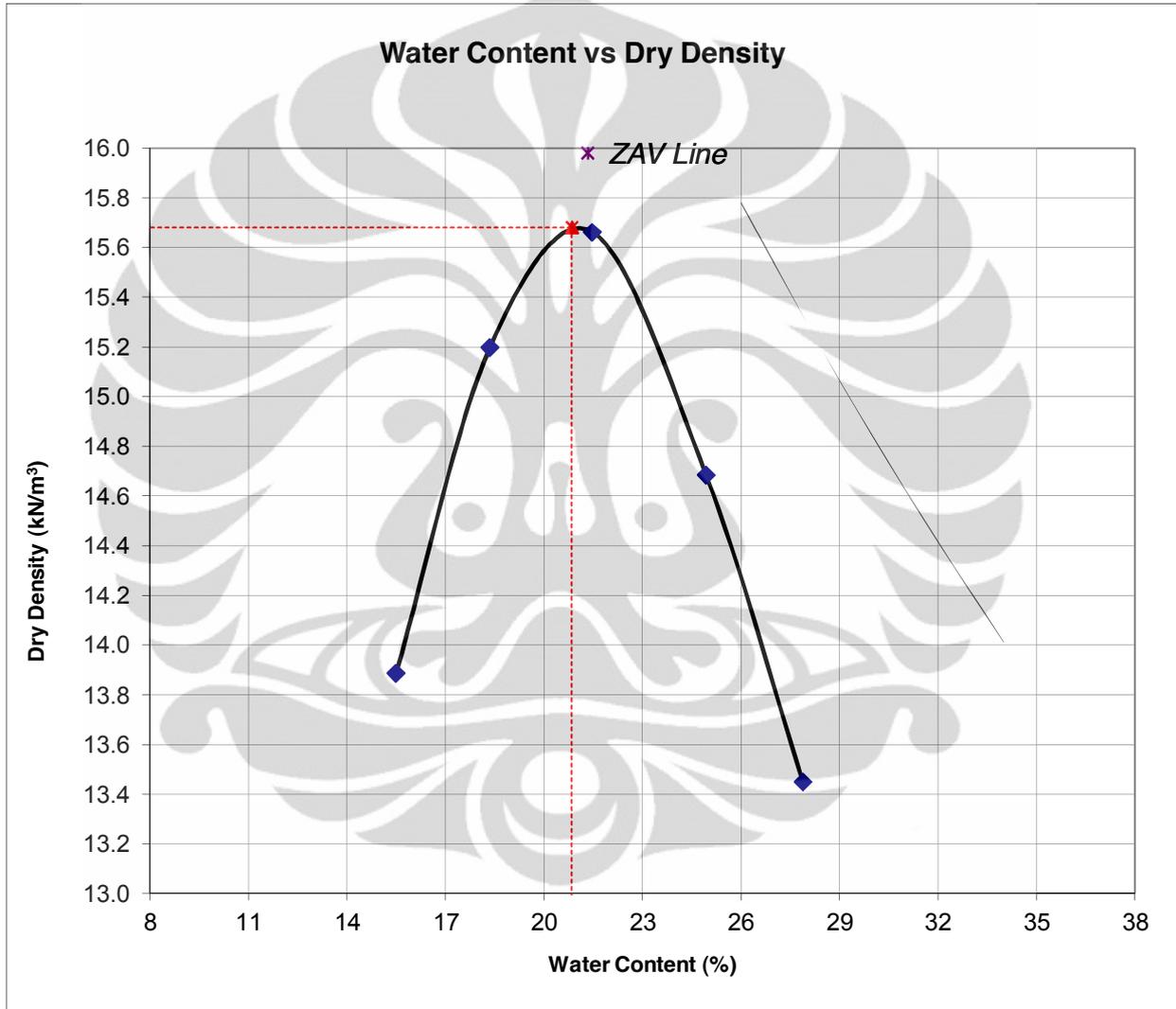


<b>MAXIMUM DRY DENSITY (<math>\gamma_{dry\ max}</math>)</b>	<b>15.56 kN/m<sup>3</sup></b>
<b>OPTIMUM WATER CONTENT (<math>w_{opt}</math>)</b>	<b>21.03 %</b>
<b>SPECIFIC GRAVITY (<math>G_s</math>)</b>	<b>2.683</b>



## STANDARD COMPACTION TEST

<b>Kegiatan</b> PENELITIAN TANAH EKSPANSIF + SEMEN 15 %	<b>Tgl.Pengujian</b> 03/11/10	
<b>Tempat Pengujian</b> LAB. MEKTAN FTUI	<b>SAMPLE</b> TANAH EKSPANSIF Ex. CIKARANG	<b>Penguji</b> ENDRI.S



<b>MAXIMUM DRY DENSITY (<math>\gamma_{dry\ max}</math>)</b>	<b>15.68 kN/m<sup>3</sup></b>
<b>OPTIMUM WATER CONTENT (<math>w_{opt}</math>)</b>	<b>20.85 %</b>
<b>SPECIFIC GRAVITY (Gs)</b>	<b>2.676</b>



## LABORATORY CBR TEST

<b>Kegiatan</b> PENELITIAN TANAH ASLI (EKSPANSIF)	<b>Tgl. Pengujian</b> 14-18/10/2010
<b>Tempat Pengujian</b> Lab. Mektan FTUI	<b>SAMPLE</b> TANAH EKSPANSIF (Ex.CIKARANG)
	<b>Penguji</b> ENDRI. S

Penetration (inch)	Dial Reading		Stress (psi)	
	unsoaked	soaked	unsoaked	soaked
0.000	0.0	0.0	0.0	0.0
0.025	10.3	0.3	80.6	2.3
0.050	13.3	0.7	104.1	5.5
0.075	14.5	1.0	113.5	7.8
0.100	15.4	1.2	120.5	9.4
0.125	16.3	1.4	127.6	11.0
0.150	17.0	1.5	133.1	11.7
0.175	17.8	1.6	139.3	12.5
0.200	18.5	1.7	144.8	13.3
0.225	19.2	1.8	150.3	14.1
0.250	19.8	1.9	155.0	14.9

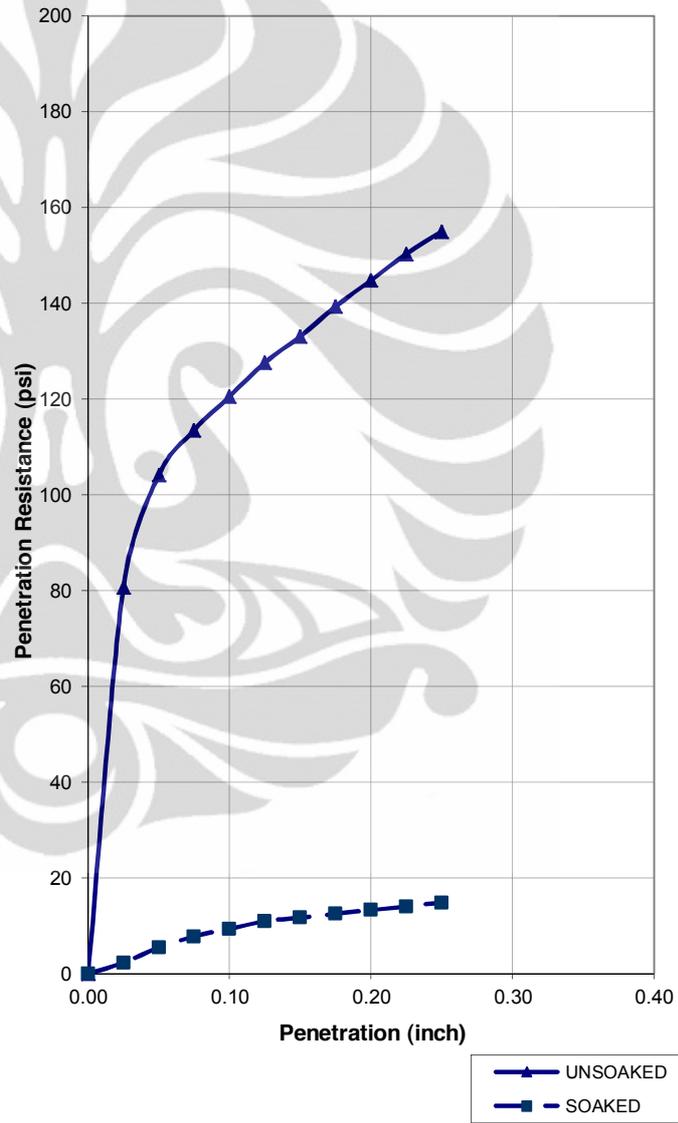
Penetration (inch)	CBR (%)	
	unsoaked	soaked
0.1	12.05	0.94
0.2	9.65	0.89

Dry Density (gr/cm <sup>3</sup> )	
Unsoaked	1.531
Soaked	1.447

Water content (%)	
Unsoaked	23.92
Soaked	38.32

Swelling (%)	6.2
--------------	-----

**Penetration vs Resistance**



**Remarks**

Proving Ring : no. 4824  
 Brand : Leonard F. -England  
 LRC : 23.481 lbf/div



## LABORATORY CBR TEST

<b>Kegiatan</b> PENELITIAN TANAH EKSPANSIF + SEMEN 2,5 %	<b>Tgl.Pengujian</b> 18 - 22/11/2010
<b>Tempat Pengujian</b> Lab. Mektan FTUI	<b>SAMPLE</b> TANAH EKSPANSIF (Ex. CIKARANG)
	<b>Penguji</b> ENDRI. S

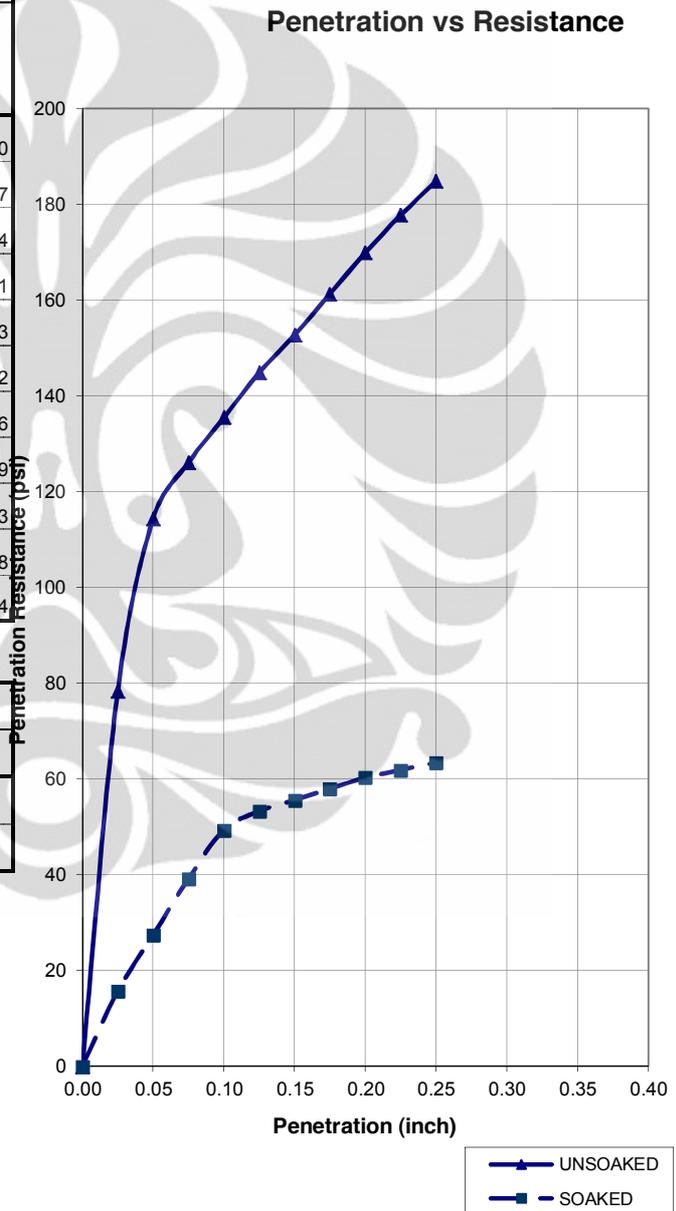
Penetration (inch)	Dial Reading		Stress (psi)	
	unsoaked	soaked	unsoaked	soaked
0.000	0.0	0.0	0.0	0.0
0.025	10.0	2.0	78.3	15.7
0.050	14.6	3.5	114.3	27.4
0.075	16.1	5.0	126.0	39.1
0.100	17.3	6.3	135.4	49.3
0.125	18.5	6.8	144.8	53.2
0.150	19.5	7.1	152.6	55.6
0.175	20.6	7.4	161.2	57.9
0.200	21.7	7.7	169.8	60.3
0.225	22.7	7.9	177.7	61.8
0.250	23.6	8.1	184.7	63.4

Penetration (inch)	CBR (%)	
	unsoaked	soaked
0.1	13.54	4.93
0.2	11.32	4.02

Dry Density (gr/cm <sup>3</sup> )	
Unsoaked	1.462
Soaked	1.443

Water content (%)	
Unsoaked	23.03
Soaked	31.11

Swelling (%)	3.94
--------------	------



**Remarks**

Proving Ring	:	no. 4824
Brand	:	Leonard F. -England
LRC	:	23.481 lbf/div



## LABORATORY CBR TEST

**Kegiatan**  
PENELITIAN TANAH EKSPANSIF + SEMEN 5 %

**Tgl. Pengujian**  
18 - 22/11/2010

**Tempat Pengujian**  
Lab. Mektan FTUI

**SAMPLE**  
TANAH EKSPANSIF (Ex. CIKARANG)

**Penguji**  
ENDRI. S

PROJECT NUMBER: SKRIPSI

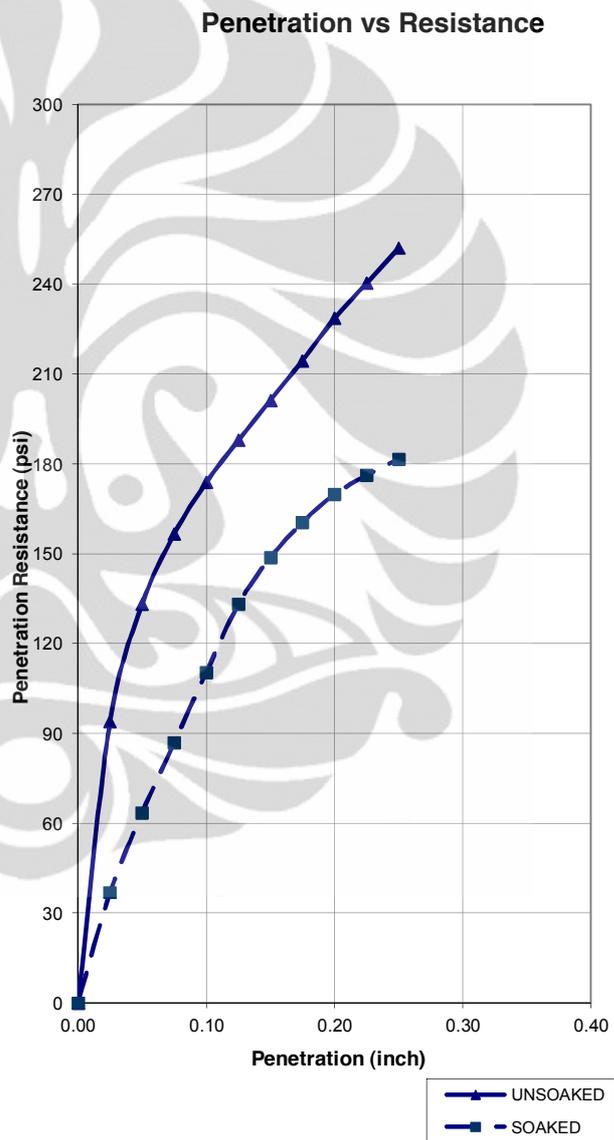
Penetration (inch)	Dial Reading		Stress (psi)	
	unsoaked	soaked	unsoaked	soaked
0.000	0.0	0.0	0.0	0.0
0.025	12.0	4.7	93.9	36.8
0.050	17.0	8.1	133.1	63.4
0.075	20.0	11.1	156.5	86.9
0.100	22.2	14.1	173.8	110.4
0.125	24.0	17.0	187.8	133.1
0.150	25.7	19.0	201.2	148.7
0.175	27.4	20.5	214.5	160.5
0.200	29.2	21.7	228.5	169.8
0.225	30.7	22.5	240.3	176.1
0.250	32.2	23.2	252.0	181.6

Penetration (inch)	CBR (%)	
	unsoaked	soaked
0.1	17.38	11.04
0.2	15.24	11.32

Dry Density (gr/cm <sup>3</sup> )	
Unsoaked	1.392
Soaked	1.391

Water content (%)	
Unsoaked	21.93
Soaked	31.39

Swelling (%)	3.6
--------------	-----



**Remarks**

Proving Ring : no. 4824  
 Brand : Leonard F. -England  
 LRC : 23.481 lbf/div



### LABORATORY CBR TEST

<b>Kegiatan</b> PENELITIAN TANAH EKSPANSIF + SEMEN 10 %	<b>Tgl.Pengujian</b> 18 - 22/11/2010
<b>Tempat Pengujian</b> Lab.Mektan FTUI	<b>SAMPLE</b> TANAH EKSPANSIF (Ex. CIKARANG)
<b>Penguji</b> ENDRI. S	

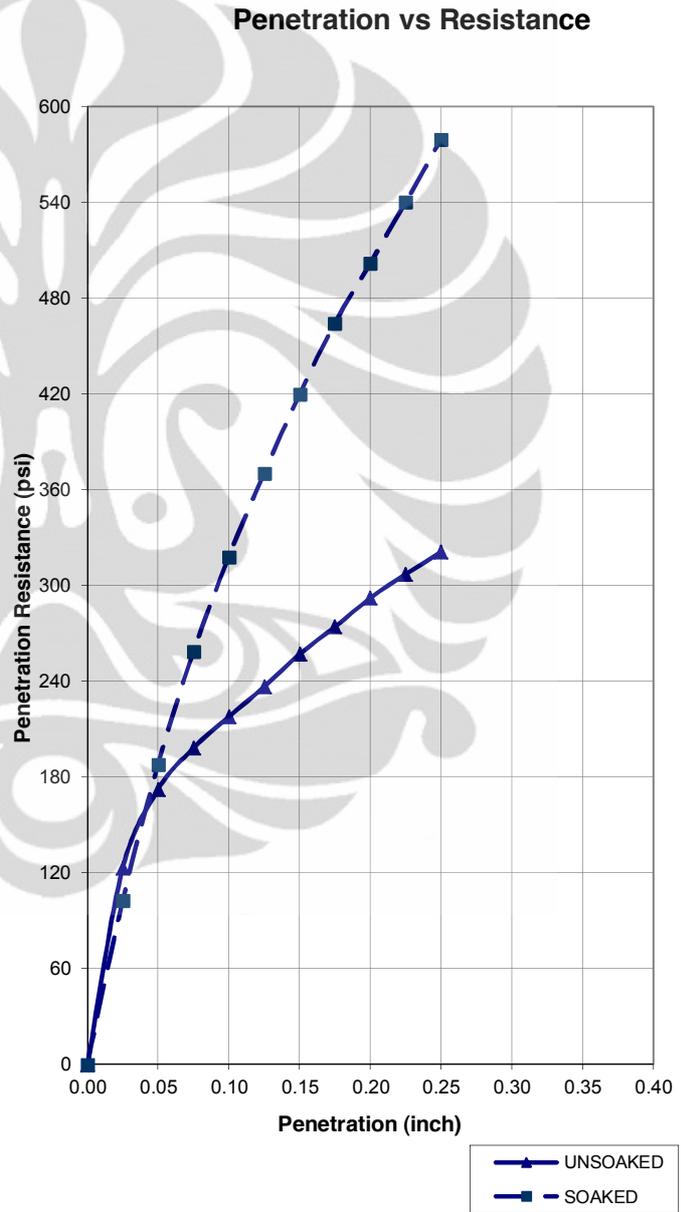
Penetration (inch)	Dial Reading		Stress (psi)	
	unsoaked	soaked	unsoaked	soaked
0.000	0.0	0.0	0.0	0.0
0.025	15.7	13.1	122.9	102.5
0.050	22.0	24.0	172.2	187.8
0.075	25.3	33.0	198.0	258.3
0.100	27.8	40.6	217.6	317.8
0.125	30.2	47.3	236.4	370.2
0.150	32.8	53.6	256.7	419.5
0.175	35.0	59.3	273.9	464.1
0.200	37.3	64.1	291.9	501.7
0.225	39.2	69.0	306.8	540.1
0.250	41.0	74.0	320.9	579.2

Penetration (inch)	CBR (%)	
	unsoaked	soaked
0.1	21.76	31.78
0.2	19.46	33.45

Dry Density (gr/cm <sup>3</sup> )	
Unsoaked	1.42
Soaked	1.418

Water content (%)	
Unsoaked	20.99
Soaked	32.08

Swelling (%)	3.06
--------------	------



**Remarks**

Proving Ring	: no. 4824
Brand	: Leonard F. -England
LRC	: 23.481 lbf/div



### LABORATORY CBR TEST

**Kegiatan**  
PENELITIAN TANAH EKSPANSIF + SEMEN 15 %

**Tgl.Pengujian**  
18 - 22/11/2010

**Tempat Pengujian**  
Lab.Mektan FTUI

**SAMPLE**  
TANAH EKSPANSIF (Ex. CIKARANG)

**Penguji**  
ENDRI. S

Penetration (inch)	Dial Reading		Stress (psi)	
	unsoaked	soaked	unsoaked	soaked
0.000	0.0	0.0	0.0	0.0
0.025	15.5	19.4	121.3	151.8
0.050	21.8	36.5	170.6	285.7
0.075	25.8	50.4	201.9	394.5
0.100	29.1	62.7	227.8	490.8
0.125	32.0	74.0	250.5	579.2
0.150	34.7	84.8	271.6	663.7
0.175	37.2	94.0	291.2	735.7
0.200	40.0	102.2	313.1	799.9
0.225	42.5	110.0	332.6	861.0
0.250	44.7	117.8	349.9	922.0

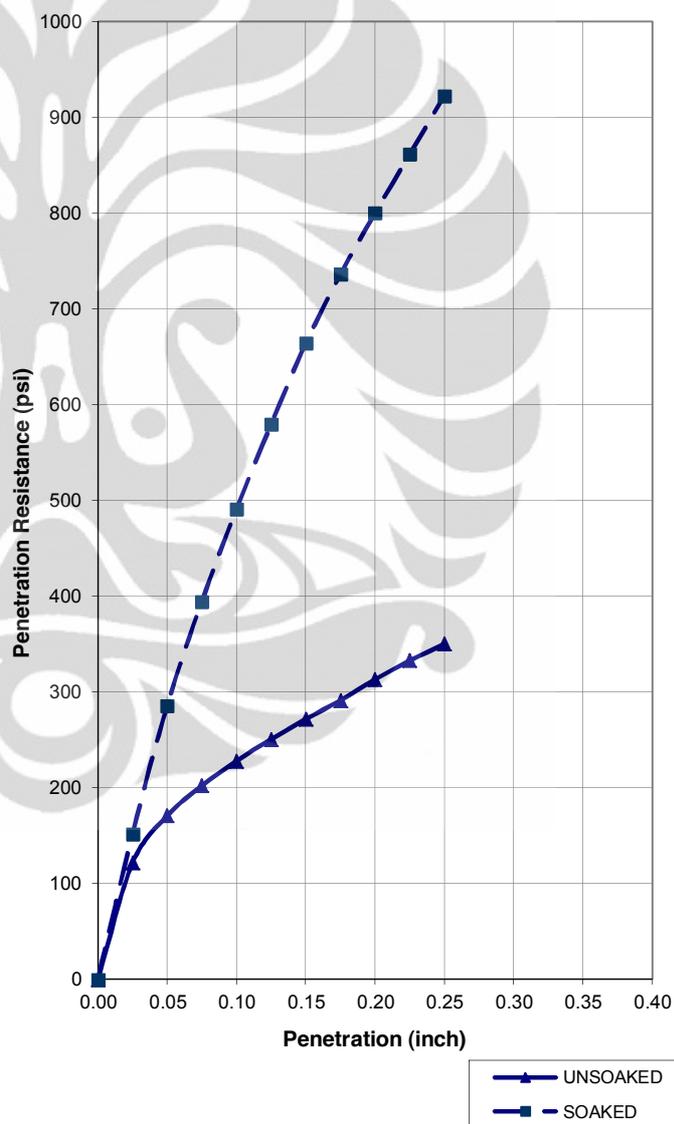
Penetration (inch)	CBR (%)	
	unsoaked	soaked
0.1	22.78	49.08
0.2	20.87	53.33

Dry Density (gr/cm <sup>3</sup> )	
Unsoaked	1.481
Soaked	1.451

Water content (%)	
Unsoaked	19.87
Soaked	30.14

Swelling (%)	2.63
--------------	------

**Penetration vs Resistance**



**Remarks**

Proving Ring : no. 4824  
 Brand : Leonard F. -England  
 LRC : 23.481 lbf/div

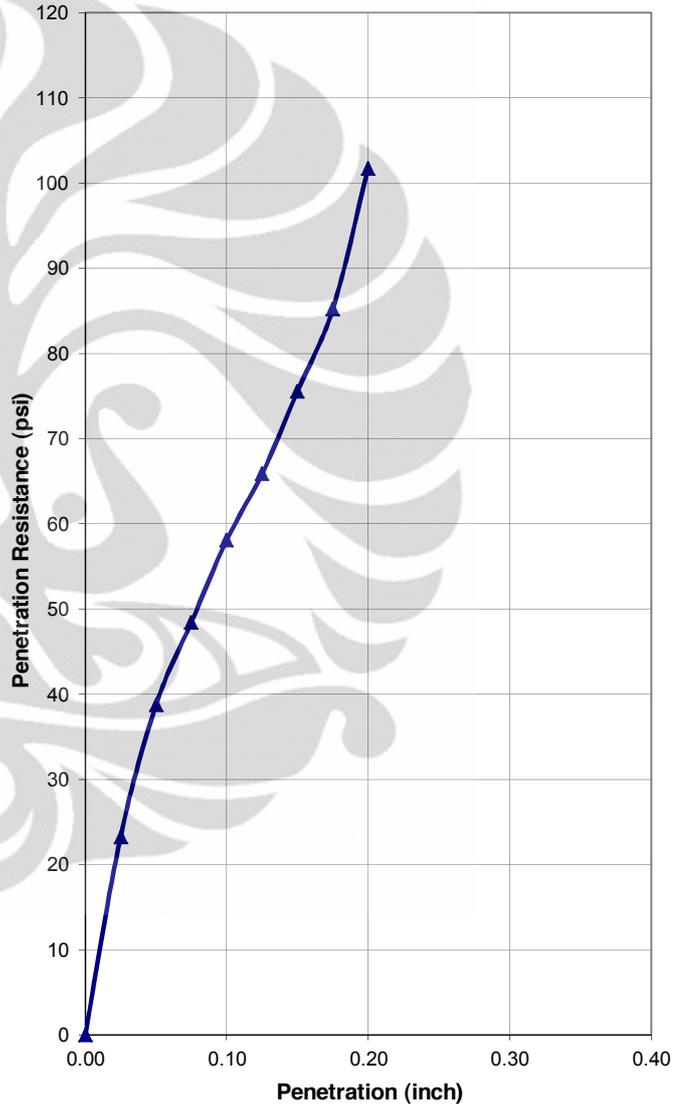


### FIELD CBR TEST

<b>Kegiatan</b> Skripsi Tanah Ekspansif	<b>Tanggal</b> 10/12/10	
<b>LOCATION</b> Samping Lab.Mektan UI	<b>SAMPLE</b> Peraman 0 hr (Tengah T)	<b>Penguji</b> ENDRI

Penetration vs Resistance

Penetration (inch)	Dial Reading	Stress (psi)
0.000	0	0.0
0.025	12	23.2
0.050	20	38.7
0.075	25	48.4
0.100	30	58.1
0.125	34	65.8
0.150	39	75.5
0.175	44	85.2
0.200	53	101.7



Penetration (inch)	CBR (%)
0.1	5.81
0.2	6.78

<b>Water content (%)</b>	22.05
--------------------------	-------

Remarks

Proving Ring : no. 4824  
Brand : Leonard F. -England  
LRC : 5.81 lbf/div

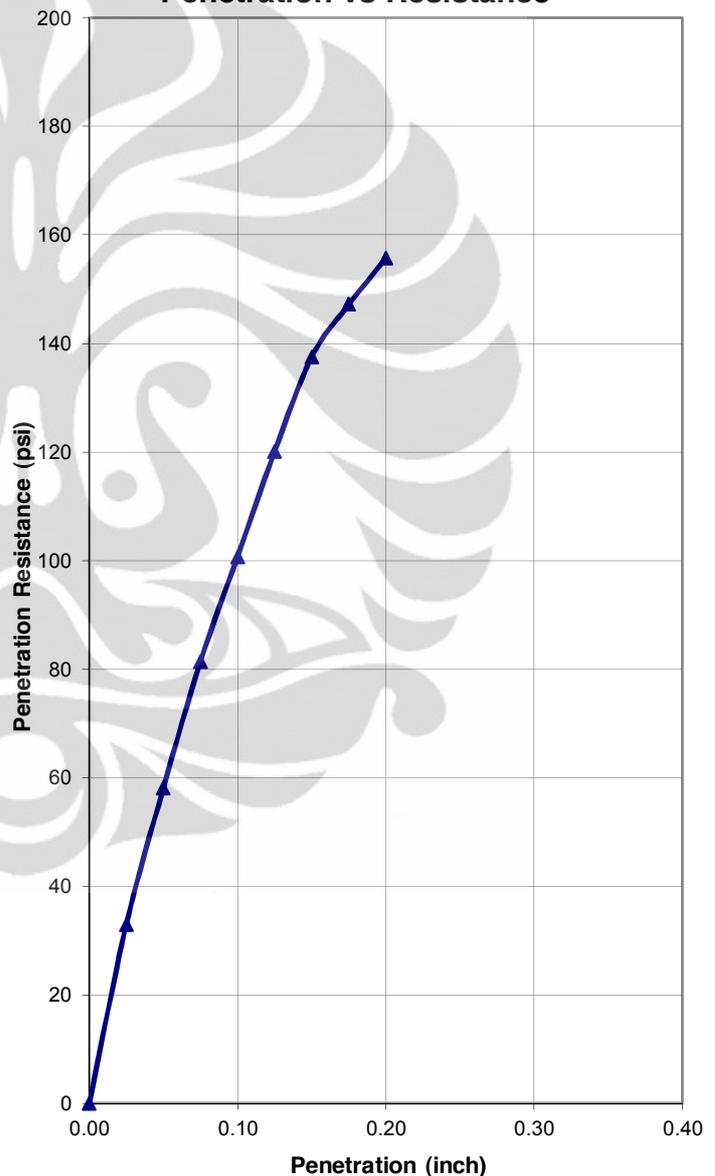


### FIELD CBR TEST

<b>Kegiatan</b> SKRIPSI TANAH EKSPANSIF	<b>Tgl.Pengujian</b> 11/12/10	
<b>Tempat Pengujian</b> Samping Lab.Mektan UI	<b>SAMPLE</b> Peraman 1 hr (Tengah T)	<b>Penguji</b> ENDRI

Penetration vs Resistance

Penetration (inch)	Dial Reading	Stress (psi)
0.000	0.0	0.0
0.025	17.0	32.9
0.050	30.0	58.1
0.075	42.0	81.3
0.100	52.0	100.7
0.125	62.0	120.1
0.150	71.0	137.5
0.175	76.0	147.2
0.200	80.4	155.7



Penetration (inch)	CBR (%)
0.1	10.07
0.2	10.38

<b>Water content (%)</b>	22.05
--------------------------	-------

Remarks

Proving Ring : no. 4824  
Brand : Leonard F. -England  
LRC : 5.81 lbf/div



## FIELD CBR TEST

**Kegiatan**  
SKRIPSI TANAH EKSPANSIF

**Tgl.Pengujian**  
14/12/10

**Tempat Pengujian**  
Samping Lab.mekatan FTUI

**SAMPLE**  
Peraman 4 hr (Tengah T)

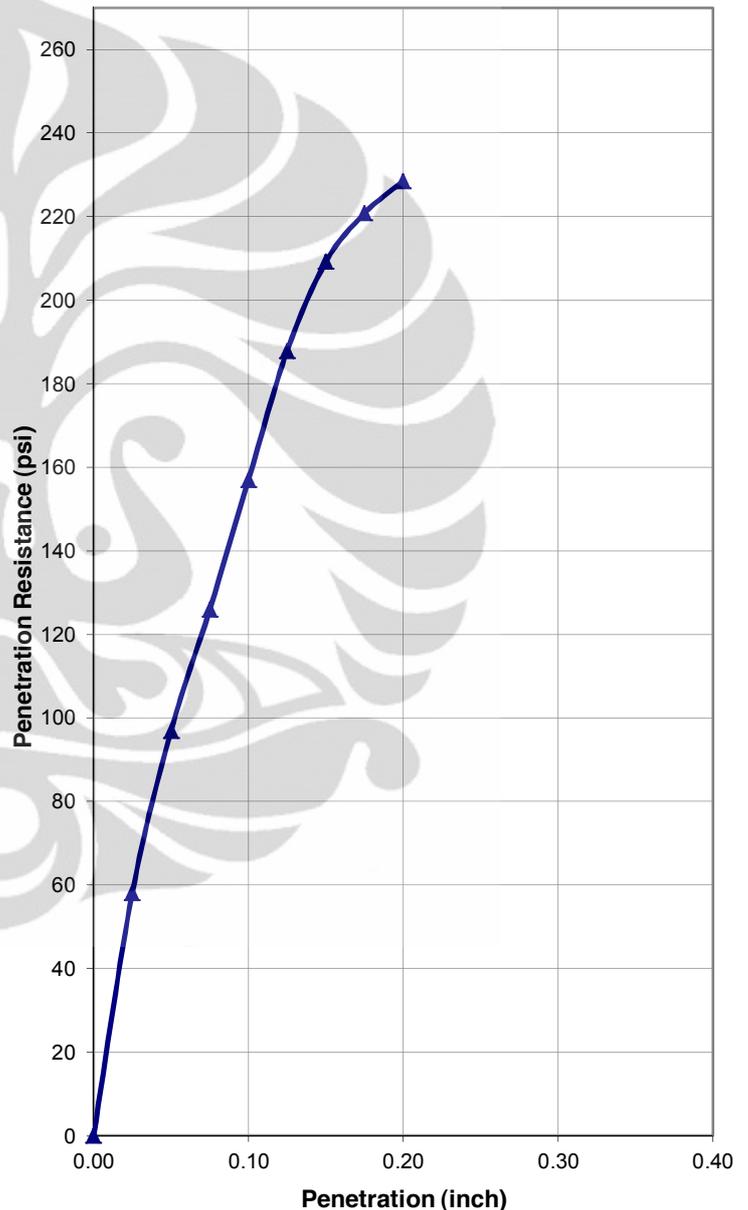
**Penguji**  
ENDRI

**Penetration vs Resistance**

Penetration (inch)	Dial Reading	Stress (psi)
0.000	0.0	0.0
0.025	30.0	58.1
0.050	50.0	96.8
0.075	65.0	125.9
0.100	81.0	156.9
0.125	97.0	187.9
0.150	108.0	209.2
0.175	114.0	220.8
0.200	118.0	228.5

Penetration (inch)	CBR (%)
0.1	15.69
0.2	15.24

<b>Water content (%)</b>	22.05
--------------------------	-------



Remarks

Proving Ring : no. 4824  
Brand : Leonard F. -England  
LRC : 5.81 lbf/div



## FIELD CBR TEST

**Kegiatan**  
SKRIPSI TANAH EKSPANSIF

**Tgl. Pegujian**  
17/12/10

**Tempat Pengujian**  
Samping Lab. Mektan FTUI

**SAMPLE**  
Peraman 7 hr (Tengah T)

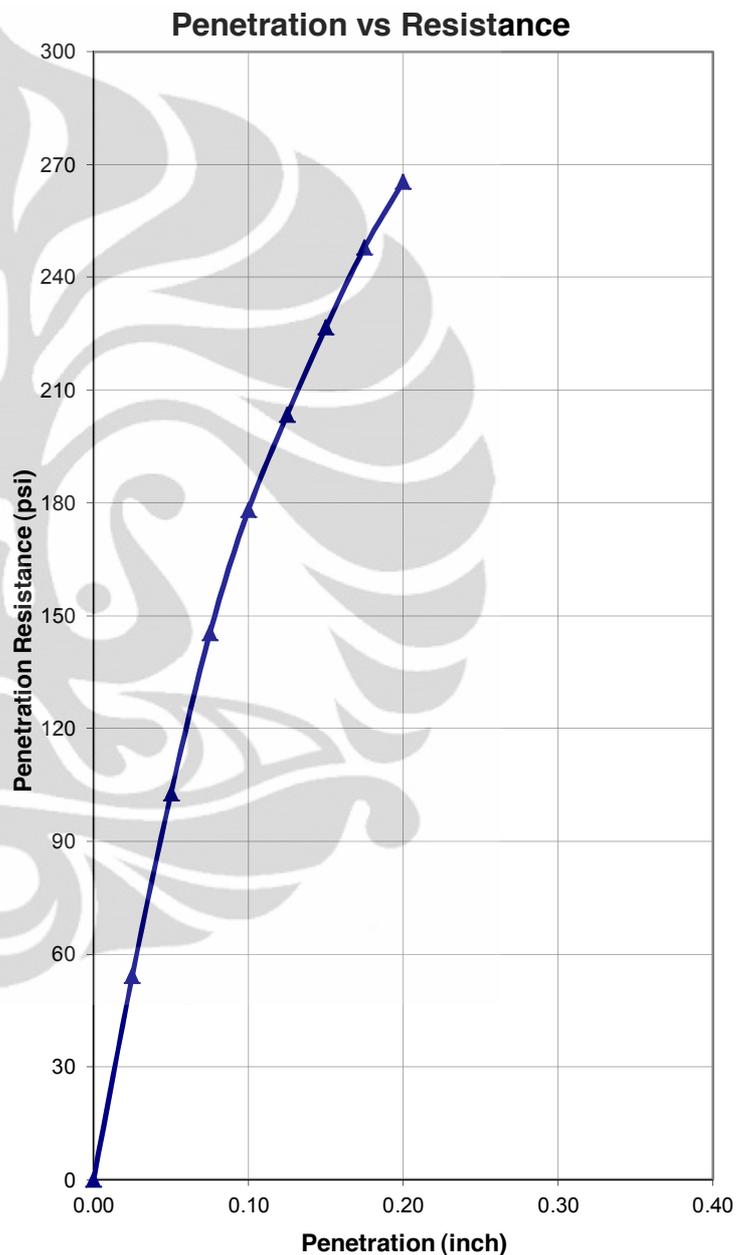
**Penguji**  
ENDRI

PROJECT NUMBER:

Penetration (inch)	Dial Reading	Stress (psi)
0.000	0.0	0.0
0.025	28.0	54.2
0.050	53.0	102.6
0.075	75.0	145.3
0.100	92.0	178.2
0.125	105.0	203.4
0.150	117.0	226.6
0.175	128.0	247.9
0.200	137.0	265.3

Penetration (inch)	CBR (%)
0.1	17.82
0.2	17.69

Water content (%)	22.05
-------------------	-------



Remarks

Proving Ring : no. 4824  
Brand : Leonard F. -England  
LRC : 5.81 lbf/div



## FIELD CBR TEST

**Kegiatan**  
SKRIPSI TANAH EKSPANSIF

**Tgl.Pengujian**  
24/12/10

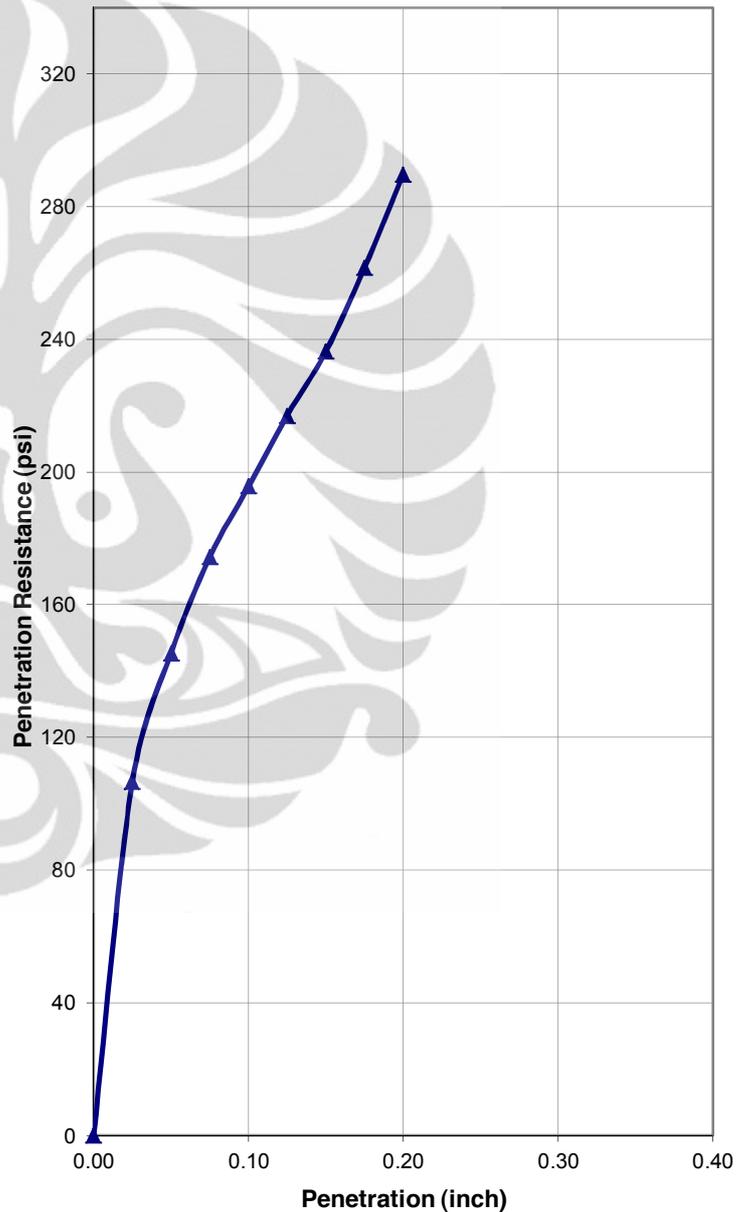
**Tempat Pengujian**  
Samping Lab.Mektan FTUI

**SAMPLE**  
Peraman 14 hr (Pinggir D)

**Penguji**  
ENDRI

**Penetration vs Resistance**

Penetration (inch)	Dial Reading	Stress (psi)
0.000	0.0	0.0
0.025	55.0	106.5
0.050	75.0	145.3
0.075	90.0	174.3
0.100	101.0	195.6
0.125	112.0	216.9
0.150	122.0	236.3
0.175	135.0	261.5
0.200	149.5	289.5



Penetration (inch)	CBR (%)
0.1	19.56
0.2	19.30

<b>Water content (%)</b>	22.05
--------------------------	-------

Remarks

Proving Ring : no. 4824  
Brand : Leonard F. -England  
LRC : 5.81 lbf/div





