



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGARUH PENGGUNAAN KOLOM SEMEN TERHADAP
KEKUATAN GESER TANAH KAOLIN DENGAN UJI
TRIAKSIAL TERKONSOLIDASI TAK TERDRAINASI**

SKRIPSI

Yunita Utami

0606072843

**FAKULTAS TEKNIK
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
DEPOK
DESEMBER 2010**

982/FT.01/SKRIP/01/2011



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGARUH PENGGUNAAN KOLOM SEMEN TERHADAP
KEKUATAN GESER TANAH KAOLIN DENGAN UJI
TRIAKSIAL TERKONSOLIDASI TAK TERDRAINASI**

SKRIPSI

Yunita Utami

0606072843

**FAKULTAS TEKNIK
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
DEPOK
DESEMBER 2010**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Yunita Utami

NPM : 0606072843

Tanda Tangan : 

Tanggal : 30 Desember 2010

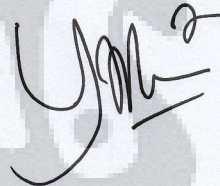
PAGE OF ORIGINALITY PRONOUNCEMENT

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

Name : Yunita Utami

NPM : 0606072843

Signature :



Date : 30 Desember 2010

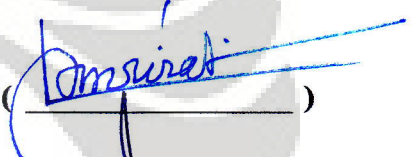
HALAMAN PENGESAHAN

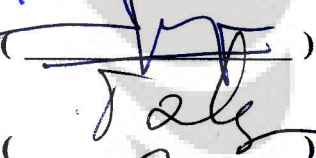
Skripsi ini diajukan oleh :

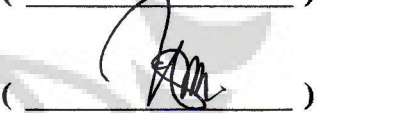
Nama : Yunita Utami
NPM : 0606072843
Program Studi : Teknik Sipil
Judul Skripsi : Pengaruh Penggunaan Kolom Semen Terhadap Kekuatan Geser Tanah Kaolin Dengan Uji Triaxial Terkonsolidasi Tak Terdrainasi

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. Damrizal Damoerin, M.Sc ()

Pembimbing : Ir. Widjojo A. Prakoso, M. Sc, Ph.D ()

Penguji : Prof. Dr. Ir. Tommy Ilyas ()

Penguji : Dr. Ir. Wiwik Rahayu, DEA. ()

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 30 Desember 2010

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas berkat rahmat serta karunia-Nya, akhirnya penulis dapat menyelesaikan tugas penulisan skripsi dengan judul “Pengaruh Penggunaan Cairan Semen Terhadap Kekuatan Geser Tanah Kaolin dengan Uji Triaxial Terkonsolidasi Tak Terdrainasi”. Penulisan skripsi ini tidak akan selesai tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Ayah dan Ibu tercinta, Warsito dan Kusri yang telah memberikan dukungan doa, moral dan materil tanpa henti kepada penulis.
2. Kakak tercinta Dewi Kurniasih, atas bimbingan morilnya kepada penulis.
3. Ir. Damrizal Damoerin, M.Sc, selaku dosen pembimbing dan dosen pengajar.
4. Ir. Widjojo A. Prakoso, Ph.D, selaku dosen pembimbing dan dosen pengajar.
5. Prof. Dr. Ir. Tommy Ilyas, selaku dosen penguji dan dosen pengajar.
6. Dr. Ir. Wiwik Rahayu, selaku dosen penguji dan dosen pengajar.
7. Seluruh dosen dan pengajar di Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, yang telah memberikan ilmu dan pengalamannya yang tak ternilai kepada penulis.
8. Mbah Kakung Darto DW dan keluarga yang turut menyemangati (Lik Hang, Lik Gatri, Om Gun, Lik Budi, Lik Tijah, Lik Anto, Tante Clara, Lik Bayu, Tante Mira, dll).
9. Teman-teman Geoteknik yang telah berbagi semangat dan pengalaman mengenai skripsi masing-masing, serta teman-teman S1 Sipil dan Lingkungan Angkatan 2006.
10. Staf Laboratorium Tanah yang telah membantu penulis melakukan pengujian, Pak Narto, Pak Wardoyo, dan Mas Anto.
11. Seluruh Staf Departemen Teknik Sipil FTUI.

Akhir kata, terima kasih atas segala bantuan yang telah diberikan, semoga Allah SWT berkenan membalas amal baik saudara semua. Semoga penulisan skripsi ini dapat bermanfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan.

Depok,
Desember 2010

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Yunita Utami
NPM : 0606072843
Program Studi : Teknik Sipil
Departemen : Teknik Sipil
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Skripsi

demi pengembangan ilmu pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Non-eksklusif** (*Non-exclusive Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul :

“Pengaruh Penggunaan Kolom Semen Terhadap Kekuatan Geser Tanah Kaolin dengan Uji Triaksial Terkonsolidasi Tak Terdrainasi”

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 30 Desember 2010

Yang menyatakan



(Yunita Utami)

ABSTRAK

Nama : Yunita Utami
Program Studi : Teknik Sipil
Judul Skripsi : Pengaruh Penggunaan Kolom Semen Terhadap Kekuatan Geser Tanah Kaolin Dengan Uji Triaksial Terkonsolidasi Tak Terdrainasi

Kolom semen merupakan salah satu upaya dalam meningkatkan kekuatan geser pada tanah dengan daya dukung rendah, kompresibilitas tinggi, atau kekuatan geser rendah. Untuk mengetahui pengaruh kolom semen pada tanah, dilakukan pengujian di Laboratorium menggunakan alat Triaksial terkonsolidasi tak terdrainasi (Triaksial CU). Contoh tanah yang digunakan adalah tanah kaolin yang telah mengalami tekanan prakonsolidasi 100 kPa. Contoh tanah dilubangi pada bagian tengahnya dengan diameter 5 mm, sedalam 50 mm. Lubang ini kemudian dimasukkan cairan semen dengan $w/c = 0,5$ dan dilakukan pemeraman selama 7, 14, dan 21 hari. Setelah masa pemeraman selesai, dilakukan pengujian Triaksial CU. Hasil pengujian menunjukkan bahwa contoh tanah dengan kolom semen mengalami peningkatan kekuatan geser dibandingkan dengan contoh tanah asli. Lamanya waktu pemeraman kolom semen juga memberikan pengaruh terhadap peningkatan kekuatan geser tanah kaolin.

Kata kunci: Kuat geser, tanah kaolin, kolom semen, Triaksial CU

ABSTRACT

Name : Yunita Utami
Study Program : Civil Engineering
Title : The Effects of Cement Column Reinforcement To Shear Strength Of
Kaoline Clay Under Consolidated Undrained Triaxial Test

Cement column is one effort for improving the shear strength of soil with low bearing capacity, high compressibility, or low shear strength. To determine the effect of cement column in soil, a laboratory test was conducted using Triaxial apparatus under consolidated undrained (Triaxial CU) condition. Soil sample used was kaoline that has pra consolidation pressure 100 kPa. Soil samples were hole at its center with a diameter of 5 mm, 50 mm deep. The hole is then inserted cement with $w / c = 0.5$ and curing for 7, 14, and 21 days. After the curing is done, the Triaxial CU testing can be impelmented. The test results showed that soil samples with cement column has an increased shear strength compared with the soil samples without cement column. The length of curing time of cement columns also give an effect to the increased in shear strength of kaoline soil.

Key words: Shear strength, kaoline, cement column, Triaxial CU

DAFTAR ISI

Halaman Judul	i
Lembar Pengesahan	ii
Kata Pengantar.....	iii
Lembar Persetujuan Publikasi Karya Ilmiah.....	iv
Abstrak	v
Daftar Isi.....	vii
Daftar Gambar	x
Daftar Tabel.....	xii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tujuan Penulisan	3
1.3 Pembatasan Masalah.....	3
1.4 Sistematika Penulisan	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Tanah.....	5
2.1.1 Karakteristik dan Sifat Tanah.....	5
2.1.2 Tanah Lempung dan Mineralnya.....	6
2.2 Kuat Geser Tanah	9
2.2.1 Konsep Kuat Geser.....	9
2.2.2 Kohesi dan sudut geser.....	10
2.2.3 Kriteria Keruntuhan Mohr Coulomb.....	12
2.2.4 Lintasan Tegangan	14
2.2.5 Pengujian Kekuatan Geser Melalui Uji Triaksial.....	17
2.3 Stabilisasi Tanah Menggunakan Semen.....	20
2.3.1 Penjelasan Umum.....	20
2.3.2 Material Semen	21
2.3.3 Metode Stabilisasi Tanah-Semen.....	23
2.3.4 Reaksi Kimia pada Semen.....	26

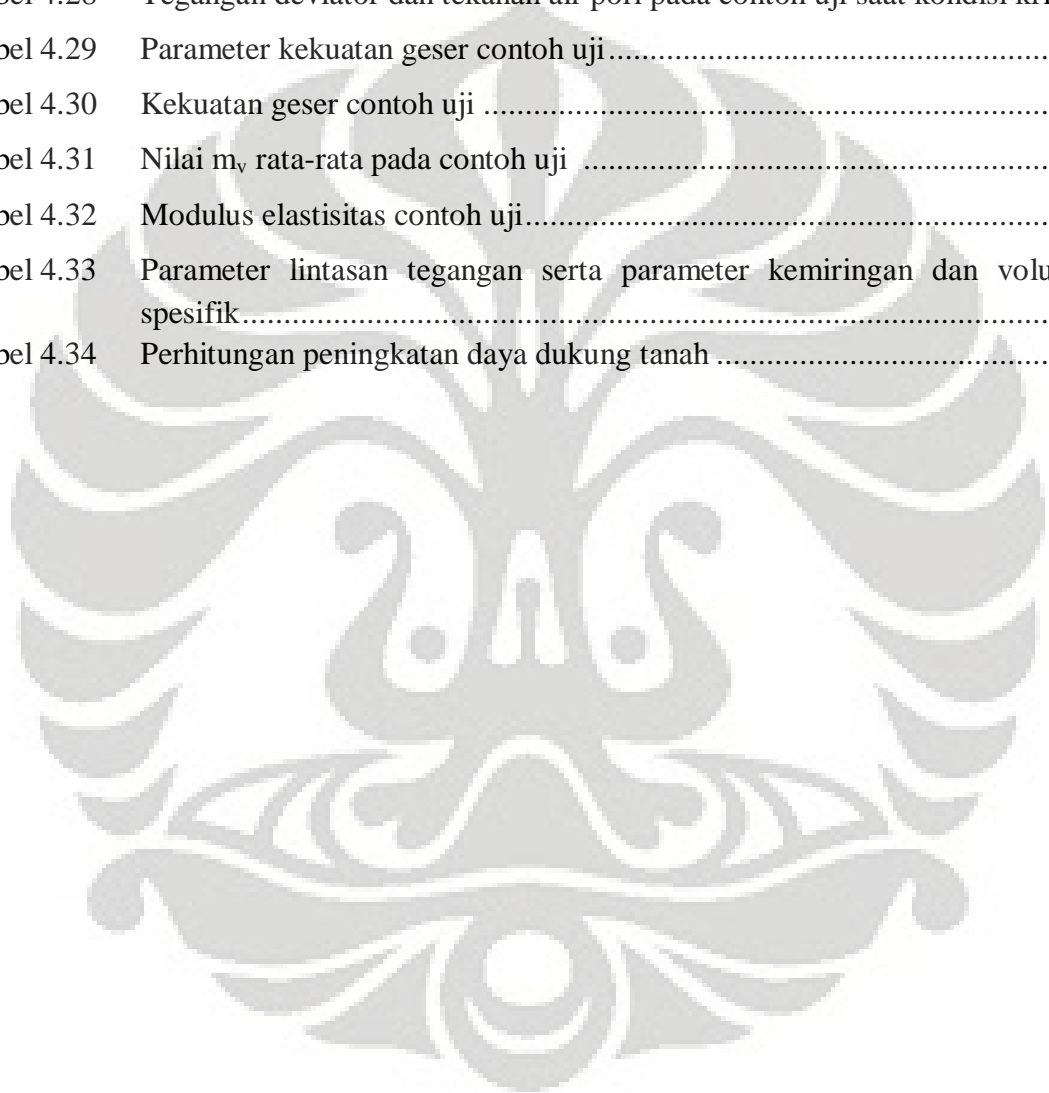
	2.3.5 Studi Kuat Geser Pada Tanah Pasir yang Telah Diberikan <i>Chemical Grouting</i> (Bell, 1993)	27
BAB 3	METODE PENELITIAN	28
	3.1 Kegiatan Penelitian	28
	3.2 Pengujian Sifat Fisik Tanah	29
	3.3 Pembuatan Contoh Tanah Pengujian	29
	3.3.1 Material Pengujian	29
	3.3.2 Prosedur Pembuatan Contoh Tanah Untuk Pengujian	29
	3.4 Pengujian Konsolidasi dengan Alat Oedometer	31
	3.5 Pengujian dengan Alat Triaksial Terkonsolidasi Tak Terdrainasi	32
	3.5.1 Persiapan Sampel Pengujian Triaksial	32
	3.5.1.1 Pencetakan contoh uji	32
	3.5.1.2 Proses memasukkan semen ke dalam contoh uji	33
	3.5.2 Prosedur Pengujian dengan alat Triaksial	35
BAB 4	HASIL DAN ANALISIS HASIL PENGUJIAN	37
	4.1 Hasil dan Analisis Pengujian Sifat Fisik Tanah	37
	4.1.1 Kadar Air	37
	4.1.2 Batas- batas Atterberg	37
	4.1.3 Berat Jenis Tanah (Gs)	38
	4.1.4 Analisis Ukuran Butiran	38
	4.2 Hasil dan Analisis Pengujian Kuat Tekan Pasta Semen	39
	4.3 Hasil dan Analisis Pembuatan Contoh Tanah Pengujian	40
	4.4 Hasil dan Analisis Pengujian Konsolidasi dengan Oedometer Sebagai Korelasi dengan Tekanan Prakonsolidasi Pembuatan Contoh Tanah	43
	4.5 Hasil dan Analisis Pengujian Triaksial Terkonsolidasi Tak Terdrainasi ...	43
	4.5.1 Contoh asli	44
	4.5.2 Contoh 7 hari	51
	4.5.3 Contoh 14 hari	56
	4.5.4 Contoh 21 hari	61
	4.6 Analisis Pengaruh Kolom Semen dan Lama Pemeraman pada Contoh Uji Triaksial CU	66

4.6.1	Analisis pengaruh kolom semen dan lama pemeraman terhadap kadar air contoh uji.....	66
4.6.2	Analisis pengaruh kolom semen dan lama pemeraman terhadap peningkatan tegangan deviator dan tekanan air pori saat kondisi kritis	67
4.6.3	Analisis pengaruh kolom semen dan lamanya waktu pemeraman terhadap parameter kekuatan geser tanah kaolin	69
4.6.4	Analisis pengaruh kolom semen dan lamanya waktu pemeraman terhadap kompresibilitas volume tanah	72
4.6.5	Analisis pengaruh kolom semen dan lamanya waktu pemeraman terhadap modulus elastisitas tanah	74
4.7	Analisis Hasil Uji Gabungan.....	76
4.8	Aplikasi dalam Desain	77
BAB 5	KESIMPULAN DAN SARAN	78
5.1	Kesimpulan	78
5.2	Saran.....	79
DAFTAR PUSTAKA		
LAMPIRAN		
1	Diagram alir pengujian	
2	Data pengujian sifat fisik tanah kaolin	
3	Data pencetakan tanah dengan Rowe cell	
4	Data konsolidasi dengan oedometer	
5	Data pengujian triaksial CU	
6	Foto-foto dokumentasi	

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	<i>Specific Gravity</i> mineral lempung.....	8
Tabel 2.2	<i>Atterberg Limit</i> mineral lempung.....	8
Tabel 2.3	Sifat fisik Tanah kaolin hasil penelitian skripsi Taufik Hidayat.....	8
Tabel 2.4	<i>Chemical propeties</i> semen abu-abu.....	22
Tabel 4.1	Hasil Pengujian <i>Atterberg Limit</i> pada tanah kaolin	38
Tabel 4.2	Kuat tekan pasta semen PCC Tiga Roda	40
Tabel 4.3	Lama waktu saturasi dan nilai B pada contoh asli	45
Tabel 4.4	Total perubahan volume pada contoh asli	46
Tabel 4.5	Parameter p' dan q' saat kondisi kritis untuk contoh asli.....	48
Tabel 4.6	Parameter kekuatan geser untuk contoh asli.....	48
Tabel 4.7	Nilai regangan, tegangan deviator dan perubahan tekanan air pori saat kondisi kritis pada contoh asli.....	49
Tabel 4.8	Parameter kemiringan dan volume spesifik contoh asli	50
Tabel 4.9	Lama waktu saturasi dan nilai B pada contoh 7 hari.....	51
Tabel 4.10	Total perubahan volume pada contoh 7 hari.....	52
Tabel 4.11	Parameter p' dan q' saat kondisi kritis untuk contoh 8 hari	54
Tabel 4.12	Parameter kekuatan geser untuk contoh 7 hari	54
Tabel 4.13	Nilai regangan, tegangan deviator dan perubahan tekanan air pori saat kondisi kritis pada contoh 7 hari.....	54
Tabel 4.14	Parameter kemiringan dan volume spesifik contoh 7 hari	55
Tabel 4.15	Lama waktu saturasi dan nilai B pada contoh 14 hari.....	56
Tabel 4.16	Total perubahan volume pada contoh 14 hari.....	56
Tabel 4.17	Parameter p' dan q' saat kondisi kritis untuk contoh 14 hari	59
Tabel 4.18	Parameter kekuatan geser untuk contoh 14 hari	59
Tabel 4.19	Nilai regangan, tegangan deviator dan perubahan tekanan air pori saat kondisi kritis pada contoh 14 hari	60
Tabel 4.20	Parameter kemiringan dan volume spesifik contoh 14 hari.....	60
Tabel 4.21	Lama waktu saturasi dan nilai B pada contoh 21 hari.....	61
Tabel 4.22	Total perubahan volume pada contoh 21 hari.....	62

Tabel 4.23	Parameter p' dan q' saat kondisi kritis untuk contoh 21 hari	64
Tabel 4.24	Parameter kekuatan geser untuk contoh 21 hari	64
Tabel 4.25	Nilai regangan, tegangan deviator dan perubahan tekanan air pori saat kondisi kritis pada contoh 21 hari	65
Tabel 4.26	Parameter kemiringan dan volume spesifik contoh 21 hari.....	65
Tabel 4.27	Pengukuran kadar air sebelum dan setelah pengujian Triaksial CU.....	67
Tabel 4.28	Tegangan deviator dan tekanan air pori pada contoh uji saat kondisi kritis...	68
Tabel 4.29	Parameter kekuatan geser contoh uji.....	69
Tabel 4.30	Kekuatan geser contoh uji	72
Tabel 4.31	Nilai m_v rata-rata pada contoh uji	73
Tabel 4.32	Modulus elastisitas contoh uji.....	74
Tabel 4.33	Parameter lintasan tegangan serta parameter kemiringan dan volume spesifik.....	76
Tabel 4.34	Perhitungan peningkatan daya dukung tanah	77



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Fase tanah	5
Gambar 2.2	Mineral-mineral lempung: satuan-satuan dasar	6
Gambar 2.3	Mineral lempung	7
Gambar 2.4	Interpretasi tegangan efektif	10
Gambar 2.5	Kondisi tegangan pada saat mengalami keruntuhan	12
Gambar 2.6	Konsep Tegangan Kritis untuk lempung terkonsolidasi normal dan terkonsolidasi berlebihan.....	15
Gambar 2.7	Grafik hubungan $v - \ln p'$	16
Gambar 2.8	Alat Triaksial	17
Gambar 2.9	Teknik stabilisasi dangkal menggunakan cairan semen yang membentuk tiang	23
Gambar 2.10	Beberapa aplikasi penggunaan kolom semen	23
Gambar 2.11	Mekanisme teknik stabilisasi cairan semen yang membentuk tiang	24
Gambar 3.1	Diagram alir penelitian secara umum.....	28
Gambar 3.2	Skema alat rowe cell yang telah dimodifikasi	30
Gambar 3.3	Alat oedometer	32
Gambar 3.4	Susunan cetakan triaksial saat mencetak contoh uji menggunakan ekstuder manual	33
Gambar 3.5	Proses memasukkan cairan semen dalam contoh uji	34
Gambar 4.1	Grafik plastisitas index tanah kaolin	38
Gambar 4.2	Grafik hasil pengujian ukuran butiran pada contoh H#1.....	39
Gambar 4.3	Rowe cell yang telah dimodifikasi dengan mold CBR	41
Gambar 4.4	Grafik pembacaan penurunan tinggi vs waktu pada alat Rowe cell untuk contoh tanah R#1 dan R#2.....	42
Gambar 4.5	Kurva kompresi $P_c = 106,6$ kPa.....	43
Gambar 4.6	Grafik perubahan volume terhadap waktu pada contoh asli.....	45
Gambar 4.7	Grafik (a) Lintasan tegangan, (b) tegangan deviator vs regangan, (c) volume spesifik vs p' , dan (d) perubahan tekanan air pori vs regangan pada contoh asli.....	47
Gambar 4.8	Pola keruntuhan pada contoh asli setelah terkompresi.....	50

Gambar 4.9	Grafik perubahan volume terhadap waktu pada contoh 7 hari	51
Gambar 4.10	Grafik (a) Lintasan tegangan, (b) tegangan deviator vs regangan, (c) volume spesifik vs p' , dan (d) perubahan tekanan air pori vs regangan pada contoh 7 hari	53
Gambar 4.11	Pola keruntuhan pada contoh 7 hari setelah terkompresi	55
Gambar 4.12	Grafik perubahan volume terhadap waktu pada contoh 14 hari	56
Gambar 4.13	Grafik (a) Lintasan tegangan, (b) tegangan deviator vs regangan, (c) volume spesifik vs p' , dan (d) perubahan tekanan air pori vs regangan pada contoh 14 hari	58
Gambar 4.14	Pola keruntuhan pada contoh 14 hari setelah terkompresi	61
Gambar 4.15	Grafik perubahan volume terhadap waktu pada contoh 21 hari	62
Gambar 4.16	Grafik (a) Lintasan tegangan, (b) tegangan deviator vs regangan, (c) volume spesifik vs p' , dan (d) perubahan tekanan air pori vs regangan pada contoh 21 hari	63
Gambar 4.17	Pola keruntuhan pada contoh 21 hari setelah terkompresi	66
Gambar 4.18	Perubahan kadar air aibat adanya kolom semen dalam contoh uji	68
Gambar 4.19	Grafik peningkatan tegangan deviator maksimal pada contoh uji	68
Gambar 4.20	Grafik peningkatan perubahan tekanan air pori pada contoh uji	69
Gambar 4.21	Grafik peningkatan nilai kohesi efektif (c') pada contoh uji.....	70
Gambar 4.22	Grafik penurunan nilai sudut geser efektif (ϕ') pada contoh uji	71
Gambar 4.23	Kompresibilitas volume contoh uji	73
Gambar 4.24	Kenaikan modulus elastisitas pada contoh uji	75

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Tanah merupakan bagian yang tidak dapat dipisahkan dari suatu bangunan konstruksi, terutama yang berkaitan dengan struktur bawahnya. Tanah merupakan suatu elemen yang patut diperhatikan dalam proses pembangunan dan tidak dapat diabaikan begitu saja pengaruhnya. Pada setiap pekerjaan Teknik Sipil, tanah selalu memiliki peranannya sendiri. Namun, harus diketahui bahwa tiap lokasi memiliki jenis tanah yang berbeda, dimana setiap jenis tanah yang berbeda, memerlukan penanganan yang berbeda pula.

Tanah harus memiliki kemampuan dalam menahan beban di atasnya. Perbaikan tanah sangat diperlukan agar tanah pada lokasi yang akan dibangun memiliki daya dukung yang lebih baik. Perbaikan tersebut terutama dilakukan pada tanah yang memiliki daya dukung rendah, plastisitas yang tinggi, atau memiliki sifat kompresibilitas tinggi.

Perbaikan tanah merupakan usaha untuk menambah kestabilan tanah, daya dukung tanah, dan permeabilitasnya. Bell (1993) menjelaskan bahwa salah satu prinsip utama dalam meningkatkan kekuatan tanah adalah dengan pengikatan antara partikel tanah dengan agregat ataupun dengan bahan kimia.

Bahan yang dapat digunakan untuk mengikat partikel tanah dalam usaha perbaikan tanah juga sangat beragam. Beberapa material dan bahan kimia yang dapat digunakan dalam usaha perbaikan tanah diantaranya adalah kapur, cerucuk, atau semen. Semen sebagai bahan kimia yang sering digunakan dalam perbaikan tanah, memiliki berbagai aplikasi penggunaan. Salah satunya adalah dengan menggunakan cairan semen yang dimasukkan dalam tanah membentuk suatu kolom semen, sebagai salah satu usaha menambah kekuatan geser pada tanah.

Stabilisasi tanah menggunakan semen Portland telah digunakan sejak lama dalam memperbaiki tanah dengan kondisi khusus, dimana Semen Portland yang digunakan pada stabilisasi tanah tersebut pada umumnya adalah semen Portland Type I (Dunn, 1992).

Usaha stabilisasi tanah menggunakan semen pertama kali dilakukan di Amerika Serikat pada tahun 1935 pada pondasi bangunan untuk rumah dan bangunan pabrik di Amerika dan Afrika Selatan hingga tahun 1949 yang didirikan diatas tanah dengan kondisinya kurang baik, banyak menggunakan cara-cara stabilisasi dangkal memakai semen. Pasca Perang Dunia ke-2, khususnya pada lingkungan perkebunan di Amerika, telah dilakukan stabilisasi tanah dengan menggunakan semen cair atau biasa disebut dengan stabilisasi semen plastis yang berupa mortar (Puslitbang Prasarana Transportasi, 2005).

Di Asia Tenggara, penggunaan semen lebih digunakan dalam perbaikan tanah dibandingkan dengan bahan kimia lain, seperti kapur. Hal ini dikarenakan harga semen yang lebih murah dibandingkan kapur, timbulnya kesulitan dalam menggunakan kapur pada daerah dengan suhu panas, dan alasan lainnya karena semen memiliki kekuatan yang lebih tinggi dibandingkan dengan kapur (Bergado, dkk, 1996).

Salah satu metode yang dapat digunakan dalam stabilisasi tanah lunak yaitu dengan menerapkan metode *permeation grouting*. *Permeation grouting* dilakukan dengan melakukan pengeboran terhadap tanah sehingga terbentuk lubang dengan diameter tertentu. Lubang ini kemudian dapat disuntik menggunakan bahan grouting seperti pasta semen (Bell, 1993).

Cairan semen yang dimasukkan ke dalam tanah lempung lunak dan membentuk tiang disebut sebagai granular pile. Stabilisasi tanah yang menggunakan granular pile ini sering disebut sebagai *composite ground* (Bergado, dkk, 1996).

Dalam laporan skripsi ini akan membahas mengenai pengaruh kolom semen yang dapat digunakan dalam usaha perbaikan tanah. Penggunaan kolom semen ini diharapkan dapat meningkatkan kekuatan geser tanah lunak. Selain itu, juga dapat mencegah timbulnya longsor dan penurunan yang kerap terjadi pada tanah lunak. Parameter kuat geser tanah didapatkan melalui percobaan yang dilakukan di laboratorium menggunakan alat uji Triaksial dalam kondisi Terkonsolidasi Tak Terdrainasi (CU/*consolidated undrained*). Jenis tanah yang digunakan dalam pengujian ini adalah tanah kaolin, yang merupakan salah satu jenis dari mineral tanah lempung.

1.2 Tujuan Penulisan

Adapun tujuan dari penulisan seminar skripsi ini adalah untuk :

1. Menganalisis kekuatan geser pada tanah kaolin hasil pengujian dengan alat Triaxial dalam kondisi terkonsolidasi tak terdrainasi (CU) antara contoh uji asli dan contoh uji dengan kolom semen.
2. Menganalisis pengaruh lamanya waktu pemeraman semen terhadap parameter kekuatan geser tanah kaolin yang telah didapatkan melalui uji Triaksial dalam kondisi terkonsolidasi tak terdrainasi (CU).

1.3 Pembatasan Masalah

Masalah dan pengujian yang akan dibahas dalam laporan seminar skripsi ini dibatasi sebagai berikut:

1. Material tanah yang digunakan dalam pengujian merupakan kaolin murni hasil pabrikasi. Contoh uji didapatkan dengan mencetak tanah menggunakan *rowecell* yang telah dimodifikasi dengan mold CBR berdiameter 15 cm dengan tekanan prakonsolidasi 100 kPa.
2. Pengujian kuat geser tanah dilakukan menggunakan alat Triaxial dalam kondisi Terkonsolidasi Tak Terdrainasi (*Consolidated Undrained/CU*) yang kemudian dianalisis kekuatan geser tanahnya terhadap pengaruh penambahan perkuatan berupa penggunaan cairan semen yang membentuk tiang dengan variasi umur semen.

1.4 Sistematika Penulisan

Pada penulisan laporan seminar skripsi ini, sistematika penulisan yang digunakan adalah sebagai berikut:

BAB 1 PENDAHULUAN

Bab ini merupakan pengantar dari masalah yang ada, berisikan latar belakang, tujuan, pembatasan masalah, serta sistematika penulisan.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini akan dijabarkan dasar-dasar teori Mekanika Tanah, seperti karakteristik tanah kaolin, kekuatan geser, stabilisasi tanah dengan semen, dan metode pengujian.

BAB 3 METODE PENELITIAN

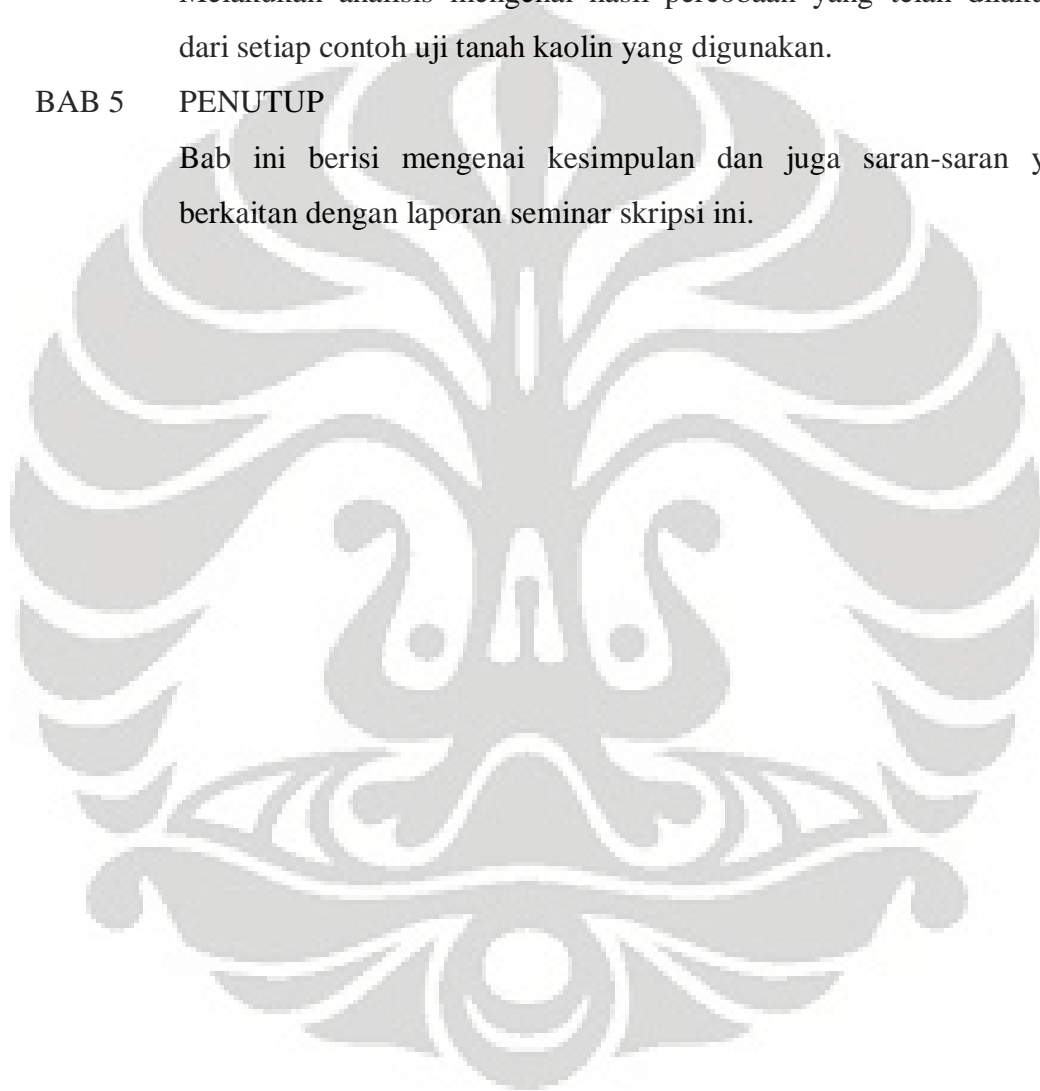
Penjelasan mengenai metode penelitian, mulai dari rangkaian kegiatan penelitian yang dilakukan, prosedur pembuatan contoh uji, hingga pengujian kekuatan geser melalui pengujian triaxial terkonsolidasi tak terdrainasi.

BAB 4 ANALISIS HASIL PENGUJIAN

Melakukan analisis mengenai hasil percobaan yang telah dilakukan dari setiap contoh uji tanah kaolin yang digunakan.

BAB 5 PENUTUP

Bab ini berisi mengenai kesimpulan dan juga saran-saran yang berkaitan dengan laporan seminar skripsi ini.



BAB 2

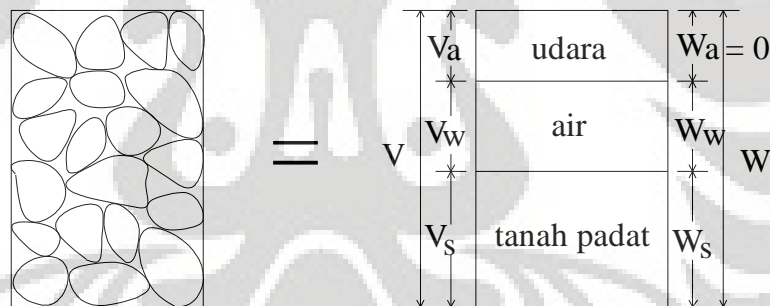
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tanah

2.1.1 Karakteristik dan Sifat Tanah

Tanah merupakan lapisan dari bumi, yang memiliki fungsi vital dalam menyokong kehidupan di bumi. Tanah merupakan material yang heterogen, dimana pada lokasi peninjauan tanah yang berbeda, maka karakteristiknya dapat berbeda-beda pula, yaitu pada sifat fisik maupun kimianya. Keragaman sifat tanah inilah yang menjadikan tanah sebagai material yang unik.

Tanah adalah akumulasi dari partikel mineral yang memiliki suatu ikatan yang lemah antar partikelnya, dimana diantara partikelnya memiliki ruang kosong atau pori-pori yang biasa disebut void. Pori-pori ini biasanya diisi oleh air, udara atau gabungan dari keduanya.



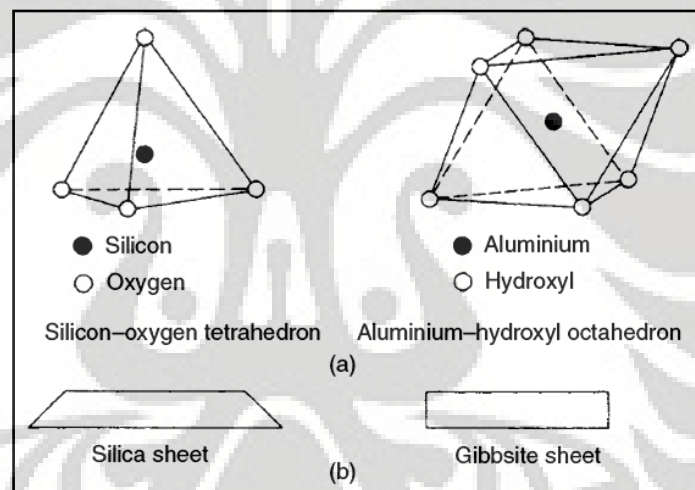
Gambar 2.1. Fase tanah

Craig (1991) menjelaskan bahwa proses pembentukan tanah dapat terjadi akibat proses penghancuran dari suatu material, yang sering disebut sebagai pelapukan, yang dapat terjadi karena dua proses yaitu secara kimiawi ataupun fisis. Proses fisis adalah proses pembentukan tanah dari penghancuran bebatuan berupa erosi dari tiupan angin, gleyser, pengikisan air, atau pembekuan dan pencairan es di dalam material batuan. Sedangkan proses penghancuran secara kimiawi dapat terjadi karena adanya perubahan pada susunan mineral dari batuan asalnya. Proses kimiawi yang terjadi pada tanah menyebabkan timbulnya

perubahan pada susunan mineral batuan asalnya. Dari hasil pelapukan kimiawi ini, selanjutnya terbentuk kelompok-kelompok partikel kristal yang berukuran koloid (butiran berukuran kurang dari 0,002 mm) yang dikenal sebagai mineral lempung (*clay mineral*). Tanah merupakan material yang terletak di atas *bed rock* (batuan asli). Sedangkan *rock* atau batuan adalah *material cohesive* yang sangat kuat sekali yaitu ikatan molekul antara butir-butir yang ada sangat kuat.

2.1.2 Tanah Lempung dan Mineralnya

Tanah lempung merupakan tanah yang bersifat plastis dan kohesif. Lempung merupakan salah satu jenis tanah dengan hampir semua mineralnya berbentuk lempengan. Akibatnya, sifat-sifat partikel tanah ini sangat dipengaruhi oleh gaya-gaya antara permukaannya yang lempeng.

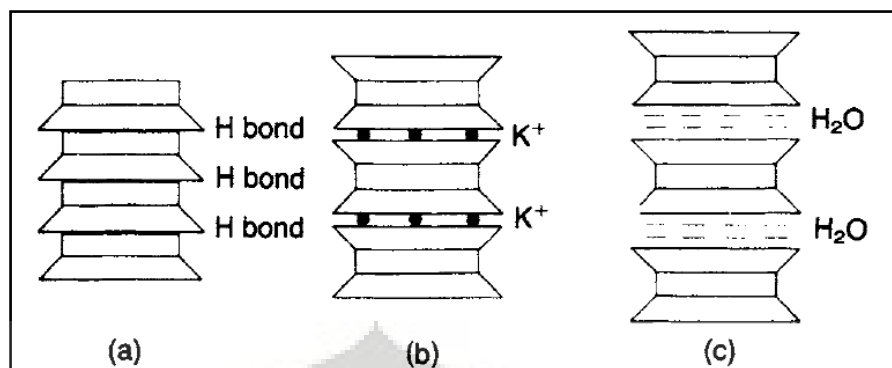


Gambar 2.2 Mineral-mineral lempung: satuan-satuan dasar

Sumber: Craig, 1991

Struktur dasar dari mineral lempung terdiri atas lembaran silica tetrahedron dan alumina octahedron, yang ditunjukkan oleh Gambar 2.2a. Satuan-satuan itu kemudian bergabung membentuk sebuah struktur lembaran yang secara simbolis ditunjukkan pada Gambar 2.2b.

Mineral lempung merupakan partikel yang aktif secara elektrokimiawi yang hanya dapat dilihat menggunakan mikroskop elektron. Beberapa jenis mineral lempung diantaranya illite, montmorilonite, kaolinite, dan masih banyak lagi mineral lempung lainnya.



Gambar 2.3 Mineral lempung: (a) kaolinite, (b) illite, (c) montmorilonite

Sumber: Craig, 1991

Illite adalah memiliki susunan dasar yang terdiri atas lembaran aluminium oktahedra yang terikat di antara dua lembaran silika tetrahedral. Pada bagian oktahedral terjadi substitusi sebagian aluminium oleh magnesium dan besi, sedangkan pada bagian tetrahedral terjadi substitusi sebagian silikon oleh aluminium. Kombinasi lembaran tersebut berikatan satu sama lain dengan ikatan yang lemah akibat adanya ion potassium yang terdapat diantara lembaran-lembarannya (Craig, 1991)

Montmorillonite atau disebut juga *smectite*, merupakan jenis mineral yang aktif yang dibentuk oleh dua lembaran silika dan satu lembaran aluminium. Kekuatan ikatan antar kombinasi-kombinasi lembaran ini sangat lemah. Kemampuannya dalam menyerap air dan mengembang (*swelling*), membuat material ini biasa digunakan sebagai lumpur dalam kegiatan pengeboran.

Kaolinite, atau biasa disebut kaolin. Nama kaolin itu sendiri merupakan modifikasi dari “kauling” yang berarti suatu punggung tinggi dari suatu bukit di Cina, di mana suatu lempung kaolinit putih didapatkan beberapa abad yang lalu. Istilah kaolin sebenarnya menerangkan beberapa mineral lempung tertentu yang berkegiatan rendah (Bowles, 1986).

Struktur kaolinit terdiri satu lembaran tetrahedral silika dan satu lembaran oktahedral alumina (gibsit), yang terikat oleh ikatan hydrogen. Mineral ini memiliki satuan susunan setebal 7,2 Å (1 angstrom = 10⁻¹⁰ m). Mineral kaolinite stabil dan air tidak dapat masuk diantara lempengannya, sehingga tidak terjadi penyusutan atau pengembangan pada sel satuannya.

Kaolinite terbentuk diakibatkan pelapukan dari beberapa mineral lempung yang lebih aktif atau dapat juga terbentuk langsung akibat pelapukan batuan. Berikut adalah nilai *specific gravity* dan batas atterberg dari beberapa mineral tanah lempung, seperti kaolinite, illite, dan montmorilonite:

Tabel 2.1. Specific Gravity mineral lempung

Specific Gravity	
Kaolinite	2.61
Illite	2.84
Montmorilonite	2.74

Sumber: Lambe dan Whitman, 1969

Tabel 2.2 Batas Atterberg mineral lempung

	Batas cair	Batas Plastis	Batas Susut
Kaolinite (%)	34-73	26-38	24,5-29,2
Illite (%)	59-120	35-60	15,3-17,5
Montmorilonite (%)	108-710	51-98	9,3-14,7

Sumber: Lambe dan Whitman, 1969

Beberapa hasil pengujian sifat fisik tanah kaolin yang telah dilakukan oleh penelitian sebelumnya juga ditampilkan agar dapat dipergunakan sebagai bahan literatur:

Tabel 2.3 Sifat fisik tanah kaolin hasil penelitian

Specific gravity	2,598		
Batas Atterberg	Batas Liquid	(%)	78,90
	Batas Plastis	(%)	38,40

Sumber: Hidayat, 2008

Dalam skripsi Hidayat (2008) melalui pengujian Hidrometer, diketahui bahwa tanah kaolin terdiri atas 53% *silt* dan 47% *clay*, sehingga termasuk tanah *clayley silt* (lanau berlempung) dengan deskripsi visual tanah berwarna putih.

Lempung kaolin banyak dipakai pembuatan keramik dikarenakan di dalam kaolin tidak terdapat besi, yang dapat menyebabkan perubahan warna apabila dibakar pada suhu yang sangat tinggi. Potensi dan cadangan kaolin yang besar di Indonesia terdapat di Kalimantan Barat, Kalimantan Selatan, atau Pulau Bangka.

2.2 Kuat Geser Tanah

2.2.1 Konsep Kuat Geser

Kekuatan tanah adalah tahanan yang terbentuk dari kombinasi suatu partikel yang tergelincir, dan dapat hancur atau remuk akibat setiap tekanan pori berlebih yang terjadi selama pergerakan partikel. Ketahanan terhadap deformasi inilah yang disebut sebagai kekuatan geser tanah yang menahan semua perubahan tertekan dan renggang dari gaya luar (Bowles, 1986).

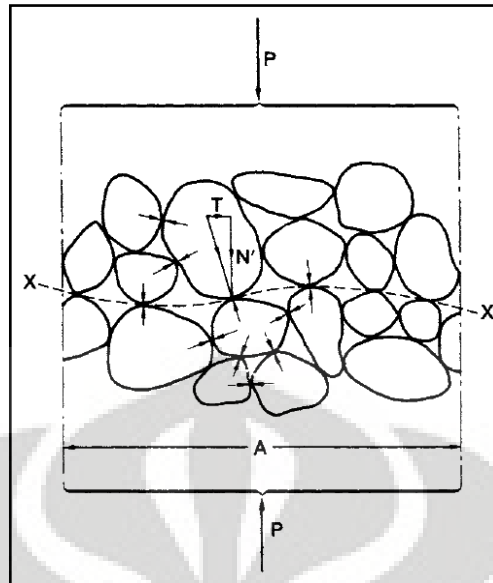
Craig (1991) menjelaskan bahwa kekuatan geser suatu tanah sangat dipengaruhi oleh tegangan dari partikel tanah tersebut. Tegangan geser yang diterima oleh tanah, dapat ditahan oleh kerangka partikel padat tanah dengan memanfaatkan gaya-gaya yang timbul akibat persinggungan antar partikel. Terzaghi pada tahun 1923 mengemukakan prinsip mengenai tegangan efektif yang berlaku untuk tanah dalam keadaan jenuh sempurna. Tegangan yang berhubungan dalam prinsip tersebut adalah:

1. **Tegangan normal total (σ)**, yaitu gaya persatuan luas yang ditransmisikan pada arah normal bidang, dengan menganggap bahwa tanah adalah material padat saja (fase tunggal);
2. **Tekanan air pori (u)**, adalah tekanan air pengisi pori-pori diantara partikel-partikel padat; dan
3. **Tegangan normal efektif (σ')**, merupakan tegangan yang bekerja pada bidang hanya melalui kerangka tanah saja.

Dari ketiga komponen tegangan tersebut, dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\sigma = \sigma' + u \quad (2.1)$$

Pada Gambar 2.4 di bawah ditunjukkan model fisis dari persamaan (2.1). Sebuah gaya P yang bekerja pada bidang A sebagian ditahan oleh gaya-gaya antar partikel, dan sebagian oleh tekanan pada air pori.



Gambar 2.4 Interpretasi tegangan efektif

Sumber: Craig, 1991

2.2.2 Kohesi dan Sudut Geser

Kohesi dan sudut geser merupakan dua komponen penting yang turut mempengaruhi nilai kekuatan geser dari suatu tanah. Pada tanah kohesif seperti lempung, kekuatan geser yang ada merupakan kekuatan akibat adanya kohesi atau lekatan antara butiran tanah. Sedangkan pada tanah non-kohesif seperti pasir, kekuatan geser terjadi akibat adanya gesekan diantara butiran tanah, atau sering disebut sebagai sudut gesek dalam (ϕ).

Kohesi adalah komponen dari kekuatan geser tanah yang timbul akibat gaya-gaya internal yang menahan butiran tanah menjadi satu kesatuan dalam satu massa padat. Nilai kohesi ini sangat berkaitan erat dengan nilai sudut geser tanah. Kohesi merupakan sifat tarik-menarik antara partikel tanah yang dipengaruhi oleh kerapatan dan jarak antar partikel tanah.

Hubungan antara kohesi dan sudut geser ditunjukkan dengan persamaan berikut (Craig, 1991):

$$\tau_f = c + \sigma_f \tan \phi \quad (2.2)$$

dimana:

τ_f = kuat geser

σ_f = tegangan normal total

Wilun dan Starzewski (1975) menjelaskan untuk membuat partikel-partikel tanah saling menyatu, yang perlu dilakukan adalah memberikan *external compressive force* (gaya tekan luar); sedangkan untuk memisahkan partikel tersebut satu sama lain yang dibutuhkan adalah *external tensile force* (gaya tarik luar); dan untuk memindahkan partikel tersebut secara tangensial (bersinggungan) yang diperlukan adalah gaya yang dapat mengatasi perlawanan diakibatkan oleh ikatan eksisting antar partikel, yang biasa disebut sebagai kohesi.

Nilai kohesi pada tanah dipengaruhi oleh intensitas kontak antara partikel per unit area pada bidang geser, serta jarak antara partikel tanah. Banyaknya partikel padat per unit volume itu sendiri tergantung oleh kadar air tanah tersebut, dimana makin banyak jumlah partikel padat tanah per unit volume, maka semakin sedikit kadar airnya. Artinya, semakin sedikit kadar air, maka nilai kohesi tanah semakin besar, dan sebaliknya.

Kohesi tanah tergantung pada jenis tanah dan kepadatannya, tetapi tidak tergantung dari tegangan vertical yang bekerja pada bidang gesernya. Bila kohesi terbentuk karena adanya lekatan antar tanah, sudut geser tanah terbentuk dikarenakan adanya gesekan antar butiran tanah, sehingga pada tanah berbutir kasar seperti pasir, maka sudut gesernya bernilai cukup tinggi. Gesekan antara butir-butir tanah yang besarnya berbanding lurus dengan tegangan vertical pada bidang gesernya (Christady, 1992).

Geser pada tanah granular (berbutir halus) terdiri atas friksi akibat gaya *rolling* dan *sliding*, yang terjadi tidak hanya antara bidang luncur namun juga terjadi pada antara butiran tanah. Gaya perlawanan yang kemudian muncul pada gaya friksi *rolling* dan *sliding* ini adalah yang biasa dikenal sebagai *internal frictional resistance* yang terbentuk akibat sifat *interlocking* masing-masing butiran tanah (Wilun dan Starzewski, 1975).

Sudut gesek dalam (ϕ) tidak hanya tergantung dari internal friction yang muncul akibat friksi antara partikel dan butiran, namun juga dapat terjadi akibat void ratio asli atau kepadatan dari tanah tersebut. Besarnya sudut gesek dalam ini juga tergantung dari ukuran butiran dan bentuknya: semakin besar ukuran

butirannya, maka akan semakin lebar daerah yang terkena *internal friction*; dan semakin angular bentuknya, maka friction resistance-nya akan semakin besar.

2.2.3 Kriteria Keruntuhan Mohr Coulomb

Berdasarkan konsep tegangan Terzaghi, tegangan geser pada suatu tanah hanya dapat ditahan oleh tegangan partikel-partikel padatnya. Kekuatan geser (τ) pada suatu titik pada suatu bidang tertentu dijelaskan oleh Coulomb sebagai suatu fungsi linear terhadap tegangan normal (σ_f) pada bidang tersebut di titik yang sama, yang dijabarkan pada persamaan (2.2). Kekuatan geser tanah dapat juga dinyatakan sebagai fungsi dari tegangan normal efektif sebagai berikut (Craig, 1991):

$$\tau_f = c' + \sigma_f' \tan \phi' \quad (2.3)$$

dimana:

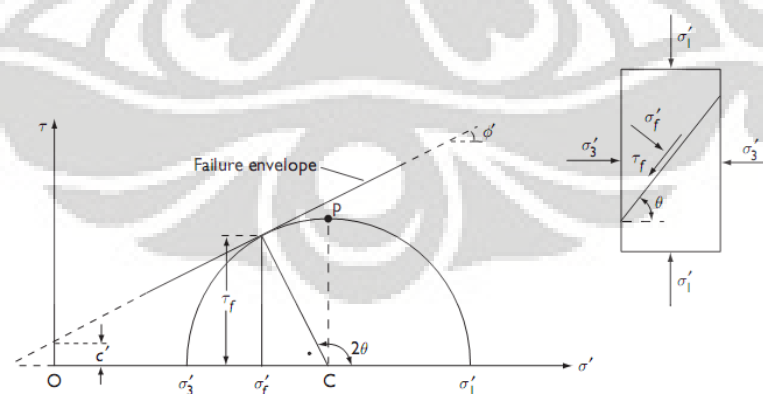
τ_f = kuat geser

σ_f' = tegangan normal efektif

c' = kohesi tanah efektif

ϕ' = sudut gesek efektif

Gambar 2.5 menunjukkan hubungan antara tegangan utama efektif pada keadaan runtuh dan parameter-parameter kekuatan geser.



Gambar 2.5 Kondisi tegangan pada saat mengalami keruntuhan

Sumber: Craig, 1991

Keruntuhan akan terjadi pada titik yang mengalami keadaan kritis yang disebabkan oleh kombinasi antara tegangan geser dan tegangan normal efektif.

Kekuatan geser juga dinyatakan dalam tegangan utama σ'_1 dan tegangan kecil σ'_3 pada keadaan runtuh di titik yang ditinjau. Koordinat titik singgungnya adalah τ_f dan σ'_f , dimana:

$$\tau_f = \frac{1}{2} (\sigma'_1 - \sigma'_3) \sin 2\theta \quad (2.3)$$

$$\sigma'_f = \frac{1}{2} (\sigma'_1 + \sigma'_3) + \frac{1}{2} (\sigma'_1 - \sigma'_3) \cos 2\theta \quad (2.4)$$

dan θ adalah sudut teoritis antara bidang utama besar dan bidang runtuh. Sehingga dapat dituliskan persamaannya sebagai berikut:

$$\theta = 45^\circ + \frac{\phi'}{2} \quad (2.5)$$

sehingga:

$$\sin \phi' = \frac{\frac{1}{2}(\sigma'_1 - \sigma'_3)}{c' \cot \phi' + \frac{1}{2}(\sigma'_1 + \sigma'_3)} \quad (2.6)$$

menjadi:

$$(\sigma'_1 - \sigma'_3) = (\sigma'_1 + \sigma'_3) \sin \phi' + 2 c' \cos \phi' \quad (2.7a)$$

atau

$$\sigma_1 = \sigma'_1 \tan^2 \left(45^\circ + \frac{\phi'}{2} \right) + 2c' \tan \left(45^\circ + \frac{\phi'}{2} \right) \quad (2.7b)$$

Persamaan 2.7a dan 2.7b merupakan persamaan untuk perhitungan dalam kriteria keruntuhan Mohr-Coulomb. Asumsi yang digunakan dalam kriteria tersebut adalah bila sejumlah keadaan tegangan diketahui, dimana masing-masing tegangan tersebut menunjukkan adanya keruntuhan geser pada tanah, maka dapat digambarkan sebuah garis singgung pada lingkaran Mohr.

Garis singgung yang ditunjukkan pada gambar ini disebut sebagai selubung keruntuhan (failure envelope) untuk tanah. Selubung ini tidak selalu berbentuk garis lurus, namun sebagai asumsi, garis selubung ini digambarkan secara linier.

Besarnya nilai kuat geser pada tanah yang diuji di laboratorium dipengaruhi oleh beberapa hal, yaitu (Christady, 1992):

- 1) Kandungan mineral dari butir tanah,
- 2) Bentuk partikel,
- 3) Angka pori dan kadar air,
- 4) Sejarah tegangan yang pernah dialami,
- 5) Tegangan yang ada di lokasi,

- 6) Perubahan tegangan selama pengambilan contoh tanah,
- 7) Tegangan yang diberikan selama pengujian,
- 8) Jenis pengujian yang dilakukan,
- 9) Kecepatan pembebanan, serta
- 10) Kondisi drainase yang dipilih (*drained/undrained*).

Poin 1 s/d 5 berhubungan dengan kondisi asli dari contoh uji, sedangkan poin 6 tergantung oleh kualitas dan penanganan benda uji untuk persiapan pengujian, dan poin 7 s/d 12 tergantung jenis pengujian yang dipilih.

2.2.4 Lintasan Tegangan (*Critical State*)

Lintasan tegangan dijelaskan sebagai sebuah garis yang menghubungkan titik-titik tegangan puncak pada tanah tertentu. Nilai tegangan tersebut dapat ditemukan pada lingkaran Mohr dan dengan menggunakan persamaan Mohr-Coulomb.

Metode ringkas dalam menentukan lintasan tegangan adalah menggunakan parameter p dan q dalam penggambaran grafik lingkaran Mohr, dimana nilai ini adalah koordinat untuk tegangan efektif dalam simetri aksial, dengan:

$$p = \frac{1}{2} (\sigma_1 + \sigma_3) \quad (2.8)$$

$$q = \frac{1}{2} (\sigma_1 - \sigma_3) \quad (2.9)$$

Nilai p digunakan untuk sumbu tegangan normal, dan q untuk tegangan geser maksimum. Selain ditampilkan dalam bentuk bidang, lintasan tegangan juga dapat ditampilkan dalam bentuk ruang seperti Gambar 2.6. Tanah yang mengalami *shearing* baik pada kondisi terdrainase (*drained*) maupun tak terdrainase (*undrained*) akan memiliki nilai tegangan efektif dan volume spesifik yang saling bersesuaian. Dimana karakteristik tanah seperti kekuatan geser dan deformasinya (*strain*) dapat disatukan.

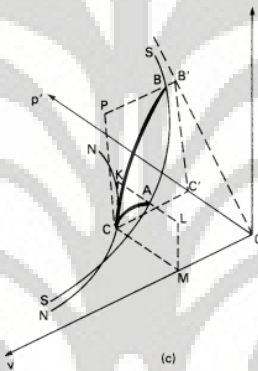
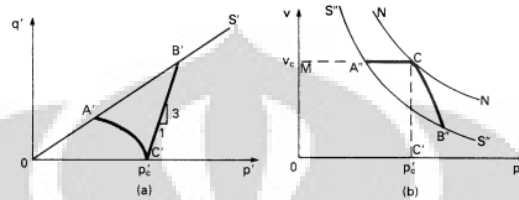
Besarnya tegangan-tegangan dalam grafik pada Gambar 2.6 merupakan fungsi dari tegangan utama yang tidak tergantung pada orientasi sumbu-sumbu koordinat, sehingga tegangan semacam itu disebut sebagai invariant tegangan, dimana:

$$p = \frac{1}{3} (\sigma_1 + 2\sigma_3) \quad (2.10)$$

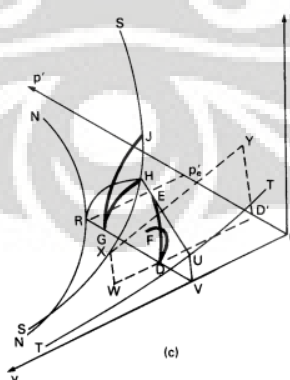
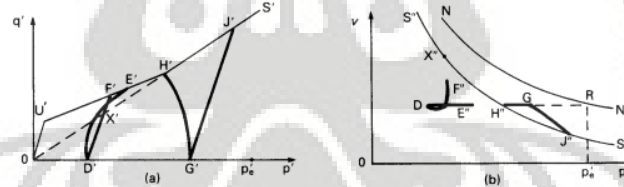
$$p' = \frac{1}{3} (\sigma_1 + 2\sigma_3) - \Delta u \quad (2.11)$$

$$q = q' = (\sigma_1 - \sigma_3) \quad (2.12)$$

Pada dasarnya, lintasan tegangan dapat digambarkan dengan menggunakan tegangan total maupun efektif, dimana selisih jarak horizontal antara tegangan total dan efektif merupakan tekanan air pori tanah.



1. Konsep lintasan tegangan untuk lempung terkonsolidasi normal



2. Konsep lintasan tegangan untuk lempung terkonsolidasi berlebihan

Gambar 2.6 Konsep Tegangan Kritis untuk (1) lempung terkonsolidasi normal dan (2) lempung terkonsolidasi berlebihan

Sumber: Craig, 1991

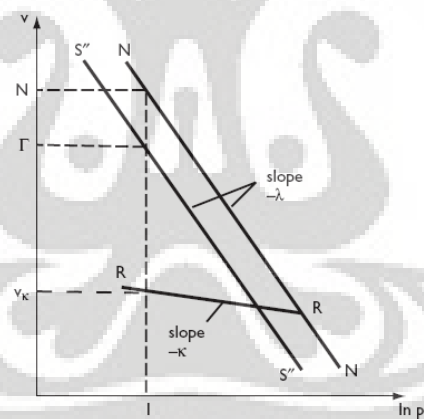
Gambar 2.6a dan 2.6b menggambarkan grafik lintasan tegangan ruang yang merupakan proyeksi bidang dari grafik pada Gambar 2.6c. Pada lintasan tegangan ruang, terdapat sumbu-sumbu koordinat tidak hanya p' dan q melainkan juga sumbu v yang merupakan keadaan volume selama pemberian selisih tegangan utama saat uji konsolidasi tak terdrainase.

Lintasan tegangan tersebut memiliki garis proyeksi yang dibentuk dengan persamaan $q' = M.p'$. Dimana M merupakan kemiringan garis. Dari nilai M dan Q_0 yang didapatkan selanjutnya dapat dicari nilai c' dan ϕ' , melalui persamaan (Atkinson et al., 1982):

$$c' = \left(\frac{3 - \sin \phi'}{6 - \sin \phi'} \right) Q_0 \quad (2.13)$$

$$\phi' = \arcsin \left(\frac{3M}{6+M} \right) \quad (2.14)$$

Jika proyeksi garis kondisi kritis pada bidang v dan p' pada Gambar 2.6b diplot kembali dalam bidang $v - \ln p'$ seperti pada Gambar 2.7, maka proyeksi tersebut akan berbentuk garis lurus yang sejajar dengan garis konsolidasi normal.



Gambar 2.7. Grafik hubungan $v - \ln p'$

Sumber: Craig, 1991

Persamaan garis kondisi kritisnya dituliskan sebagai:

$$V = \Gamma - \lambda \ln p' \quad (2.15)$$

dimana Γ adalah nilai v pada garis kondisi kritis saat $p' = 1 \text{ KN/m}^2$.

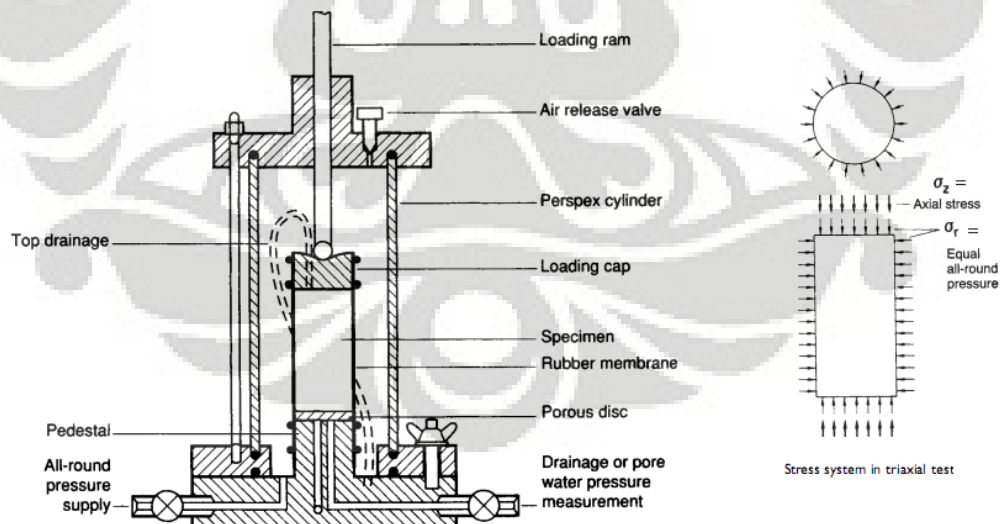
Hubungan antara tegangan efektif dan volume spesifik yang saling berkaitan ($v = 1+e$) dari tanah jenis lempung ketika mengalami pergeseran

(shearing) pada saat tanah berada pada kondisi terdrainase dan tak terdrainase adalah gabungan dari karakteristik kekuatan tanah dan deformasi tanah.

2.2.5 Pengujian Kekuatan Geser Melalui Uji Triaksial

Beberapa percobaan yang biasa dilakukan dalam mengetahui parameter-parameter kekuatan geser tanah, diantaranya UCT (Unconfined Compression Test), Direct Shear, Vane shear test, atau Triaksial. Masing-masing percobaan tersebut memiliki karakteristik, kelebihan dan kekurangan.

Jenis pengujian yang sering digunakan dalam kekuatan geser adalah pengujian Triaksial. Selain dikarenakan pengujian ini cocok untuk semua jenis tanah, pada pengujian ini kondisi pengaliran juga dapat dikontrol, tekanan air pori dapat diukur, dan apabila terdapat tanah jenuh dengan permeabilitas rendah, maka dapat dibuat keadaan terkonsolidasinya. Dua hal penting yang harus diperhatikan dalam memanfaatkan pengujian triaksial, diantaranya adalah peralatan yang lebih rumit dibandingkan alat pengujian kuat geser lainnya, serta pengujian dengan kondisi drainase untuk partikel tanah yang halus harus dilakukan dengan kecepatan rendah.



Gambar 2.8 Skema alat triaksial

Sumber: Craig, 1991

Dalam pengujian Triaksial, contoh uji yang digunakan merupakan contoh tanah yang telah dicetak dalam silinder dengan perbandingan tinggi dan diameternya adalah 2:1. Prinsip dari pengujian ini adalah memberikan tekanan dan menambah beban aksial pada contoh uji. Contoh uji dibungkus dengan membran fleksibel sehingga apabila diberikan tegangan, maka tegangan tersebut akan terdistribusi merata pada contoh uji. Contoh uji dimasukkan dalam tabung yang kemudian diisi air, sehingga air ini akan berperan sebagai tekanan sel (σ_3).

Umumnya, contoh tanah yang diuji dengan alat Triaksial akan mengalami kompresi, dimana setelah proses kompresi tersebut contoh uji akan memperlihatkan pola-pola keruntuhan, seperti timbulnya bidang geser atau pengembangan, dan pola keruntuhan lainnya yang mungkin terjadi. Terdapat tiga jenis kondisi yang dapat digunakan dalam pengujian Triaksial diantaranya:

- **Triaksial Tak Terkonsolidasi Tak Terdrainase (UU)**

Percobaan Triaksial UU memiliki ketentuan bahwa air dari contoh tanah tidak boleh mengalir, dan tegangan air pori tidak diukur pada percobaan ini, sehingga kekuatan geser yang dapat diketahui adalah kekuatan geser undrained.

Pada praktek lapangan keadaan ini menggambarkan keadaan akhir dari suatu konstruksi pondasi pada tanggul, atau pondasi tiang dan telapak pada tanah dengan kondisi terkonsolidasi normal. Kondisi desain setelah adanya muatan menyebabkan tekanan pori meningkat, namun konsolidasi belum terjadi. Setelah konsolidasi mulai terjadi, *void ratio* dan isi air berkurang, sedangkan tekanan bertambah. Proses kompresi pada Triaksial UU terjadi dengan cepat.

- **Triaksial Terkonsolidasi Tak Terdrainase (CU)**

Contoh tanah diberikan tegangan normal dan pengaliran air dari contoh uji diperbolehkan. Tegangan normal pada contoh tanah bekerja hingga konsolidasi selesai, atau sampai tidak terjadi lagi perubahan pada isi contoh tanah. Setelah proses konsolidasi selesai, pengaliran air dari contoh tanah dihentikan, dan tegangan geser diberikan secara *undrained* (tertutup). Pada percobaan ini tegangan normal masih tetap bekerja, dan

dilakukan pengukuran terhadap tegangan air pori selama tegangan geser diberikan. Pengujian dengan kondisi CU ini dapat menghasilkan tegangan-tegangan tidak hanya untuk tegangan total, namun juga untuk tegangan efektif-nya.

Percobaan ini dapat dilakukan untuk berbagai nilai OCR (over consolidated ratio). Permodelan yang sesuai adalah saat pembangunan bangunan yang dilakukan dengan cepat, sehingga terjadi kenaikan air pori sampai terjadi keruntuhan pada contoh uji. Dapat juga terjadi pada bendungan tanah yang dikosongkan secara tiba-tiba, kemudian diisi kembali dengan air hingga penuh sehingga badan bendungan mengalami pembebanan dari air.

- **Triaksial Terkonsolidasi Terdrainase (CD)**

Pada percobaan ini, pengaliran pada contoh tanah diperbolehkan di bawah tekanan tertentu sampai konsolidasi selesai. Tekanan yang diberikan pada contoh uji merupakan tegangan normal. Kemudian, selama pengaliran terjadi, diberikan tegangan geser secara drained (terbuka). Untuk menjaga agar tekanan air pori stabil, gunakan kecepatan sedang untuk membuat kelebihan tekanan air pori tetap nol. Namun hal ini dipengaruhi oleh permeabilitas tanah yang digunakan sebagai contoh uji. Kondisi terkonsolidasi terdrainase ini cocok bila digunakan untuk pengujian pada tanah dengan permeabilitas tinggi, contohnya pasir. Kekuatan geser dalam keadaan terdrainase dinyatakan dalam parameter-parameter tegangan efektif (c' dan ϕ'). Kondisi yang diciptakan pada saat percobaan Triaksial CD adalah pada peristiwa penimbunan selapis demi selapis pada tanah gambut.

Pada pengujian Triaksial, terdapat tiga jenis keruntuhan dari tanah uji, yaitu:

1. *General Shear Failure*

Penambahan beban pada pondasi diikuti oleh penurunan pondasi tersebut. Pada pembebanan mencapai q_u maka terjadi keruntuhan tiba-tiba yang diikuti oleh perluasan keruntuhan permukaan sampai ke bawah permukaan.

2. *Local Shear Failure*

Pada keadaan lain jika pondasi masih dapat memikul beban setelah tercapai q_u , walaupun terjadi penurunan permukaan tiba-tiba. Pada grafik hubungan q vs settlement tidak terlihat puncak yang jelas.

3. *Punching Shear Failure*

Pada pondasi yang didukung oleh tanah yang agak lepas setelah tercapainya q_u , maka grafik hubungan q vs settlement bisa digambarkan mendekati linear.

2.3 Stabilisasi Tanah Menggunakan Semen

2.3.1 Penjelasan umum

Aplikasi penggunaan bahan kimia pada tanah telah banyak digunakan dalam usaha menambah kekuatan dari tanah, sehingga diharapkan daya dukung tanah tersebut juga meningkat. Salah satu bahan kimia yang kerap digunakan dalam perbaikan tanah tersebut adalah semen.

Metode campuran semen ini telah lama dipakai dalam memperbaiki sifat-sifat dari tanah. Amerika Serikat merupakan negara pertama yang menggunakan semen sebagai stabilisasi tanah pada tahun 1935. Penggunaan semen sebagai bahan stabilisasi tanah berkembang pesat hingga sekarang. Pondasi bangunan untuk rumah dan bangunan pabrik di Amerika dan Afrika Selatan hingga tahun 1949 yang didirikan diatas tanah dengan kondisinya kurang baik, banyak menggunakan cara-cara stabilisasi dangkal memakai semen. Pasca-Perang Dunia II stabilisasi tanah pada lingkungan perkebunan di Amerika telah menggunakan semen cair atau biasa disebut dengan stabilisasi semen plastis yang berupa mortar.

Pada tahun 1970-an, proses ini lalu dikembangkan oleh Swedia dan Jepang. Di Asia Tenggara sendiri, penggunaan semen lebih banyak dipilih dalam perbaikan tanah dibandingkan dengan bahan kimia lain, seperti kapur. Hal ini dikarenakan beberapa hal diantaranya harga semen lebih murah dibandingkan kapur, timbulnya kesulitan dalam menggunakan kapur pada daerah dengan suhu panas, dan alasan lainnya karena semen memiliki kekuatan yang lebih tinggi dibandingkan dengan kapur.

2.3.2 Material Semen

Semen adalah material halus, non-logam, anorganik bubuk yang bila dicampur dengan air akan membentuk pasta yang lambat laun mengeras. Pengerasan hidrolis ini terutama disebabkan terjadinya pembentukan kalsium silikat hydrates sebagai hasil dari reaksi antara pencampuran air dan konstituen dari semen. Ukuran butiran semen sekitar mm.

Semen merupakan hasil industri dari paduan bahan baku batu kapur (gamping) sebagai bahan utama dan lempung (tanah liat) sebagai bahan pengganti lainnya dengan hasil akhir berupa padatan berbentuk bubuk. Mutu semen di Indonesia diatur melalui SNI 15-7064-2004.

Semen adalah bahan dasar untuk membangun dan sebagai konstruksi dalam teknik sipil. Pada dunia industri, terdapat dua jenis semen yaitu semen putih (*white cement*) dan semen abu-abu (*grey cement*). Dalam pekerjaan konstruksi, semen putih umumnya dipakai pada pekerjaan finishing bangunan atau lebih kepada bagian pelengkap tampilan bangunan. Sementara semen abu-abu sendiri dibagi menjadi dua jenis yaitu *Portland Composite Cement (PCC)* dan *Original Portland Cement (OPC)*, yang digunakan dalam membentuk struktur bangunan.

Semen yang digunakan dalam pengujian merupakan semen hasil produksi Tiga Roda yaitu jenis PCC (*Portland Composite Cement*) yang sering digunakan untuk bangunan-bangunan pada umumnya, dimana kuat tekannya sama dengan Semen Portland (OPC) Jenis I. Semen jenis ini juga mudah untuk didapatkan di pasaran. Keunggulan yang dimiliki PCC antara lain:

- Suhu adukan rendah sehingga hasilnya tidak mudah retak, hal ini dikarenakan PCC mempunyai panas hidrasi yang lebih rendah selama proses pendinginan dibandingkan dengan OPC Jenis I.
- Menghasilkan permukaan plesteran dan beton yang rapat dan halus, karena pengerjaannya yang mudah akibat suhu adukan yang rendah.
- Mempunyai kuat tekan yang tinggi dan tahan terhadap serangan sulfat, sehingga bangunan/konstruksi menjadi tahan lama.

Semen yang biasa digunakan dalam perbaikan tanah adalah semen Portland yang merupakan zat kimia dengan partikel heterogen, dengan kandungan *tricalcium silicate (C₃S)*, *dicalcium silicate (C₂S)*, *tricalcium aluminate (C₃A)*,

dan larutan padat *tetracalcium alumino ferite* (C₄A). Komposisi dan campuran kimia dalam semen PCC produksi Tiga Roda ditunjukkan pada Tabel 2.4:

Tabel 2. 4 Properties kimiawi dari semen PCC Tiga Roda

Chemical Properties	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	SO ₃ (%)	C ₃ S (%)	C ₂ S (%)	C ₃ A (%)	C ₄ AF (%)
White Cement	22.11	3.59	0.21	66.02	2.92	2.07	64.14	15.0	9.16	0.64
PCC	22.50	6.00	3.50	60.00	2.25	1.90	-	-	-	-
OPC	19.42	4.51	3.24	63.87	2.65	1.78	59.5	14.5	9	10

Sumber: Brosur Indocement

Pada dasarnya semen Portland memiliki banyak tipe (tipe I sampai tipe V) yang memiliki perbedaan karakteristik kegunaan. Pada pekerjaan stabilisasi tanah, tipe yang umumnya digunakan adalah tipe I, dimana tipe ini adalah tipe semen yang dapat dipakai dalam berbagai kegiatan konstruksi umum yang tidak memerlukan persyaratan khusus terhadap panas hidrasi dan kekuatan tekan awal.

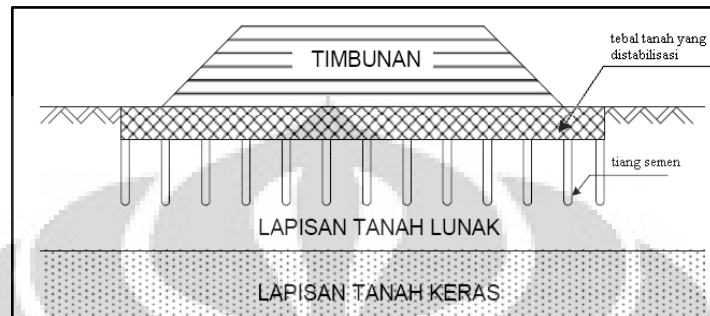
2.3.3 Metode Stabilisasi Tanah-Semen

Stabilisasi tanah menggunakan semen Portland telah digunakan sejak lama dalam memperbaiki tanah dengan kondisi khusus. Perbaikan tanah menggunakan semen biasanya digunakan pada pembangunan jalan, rel kereta, atau pembangunan lapangan terbang dalam meningkatkan daya dukung tanah pada lokasi pembangunan tersebut (Bergado et al., 1996).

Tanah dengan kompresibilitas tinggi seperti pada tanah lunak, tidak dapat menahan beban di atasnya dengan baik. Peristiwa yang sering terjadi adalah timbulnya longsor atau penurunan pada permukaan tanah. Teknik stabilisasi menggunakan semen pada tanah lunak adalah dengan menggunakan campuran semen-air dengan persentase tertentu yang dimasukkan ke dalam tanah membentuk tiang. Stabilisasi ini diharapkan dapat meningkatkan kekuatan geser tanah, sehingga dapat mengurangi penurunan tanah, mencegah kelongsoran, serta meningkatkan struktur bawah (pondasi).

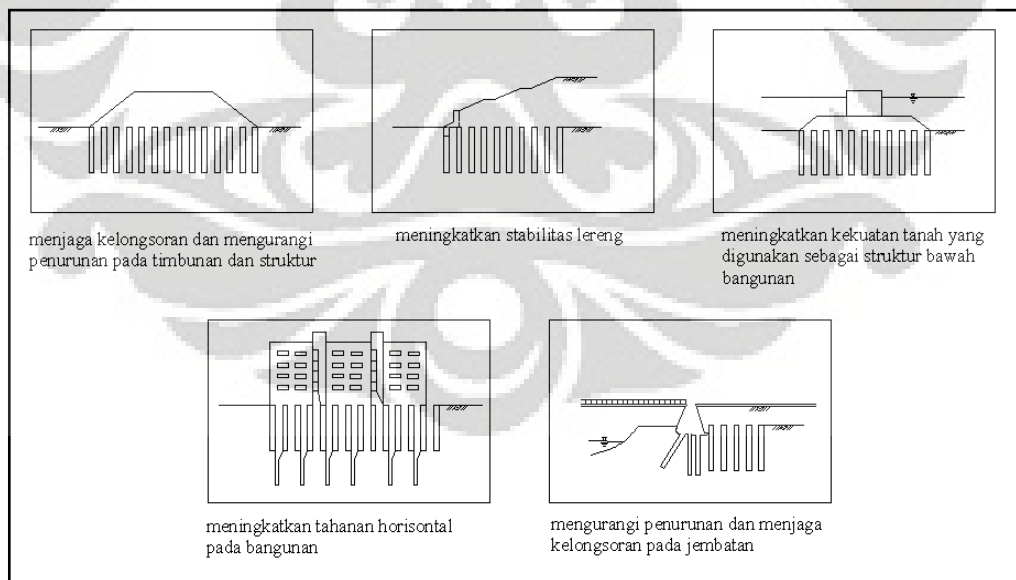
Stabilisasi tanah menggunakan kolom semen pada Gambar 2.9 dilakukan untuk mengubah sifat-sifat tanah dasar (*sub grade*) atau lapis fondasi bawah

(*subbase*) agar dapat memenuhi standar persyaratan teknik. Stabilisasi dangkal yang digunakan pada lapisan bawah permukaan ini bertujuan untuk meningkatkan daya dukung tanah yang rendah dan mengurangi sifat kompresibel serta mengurangi besarnya penurunan timbunan badan jalan.



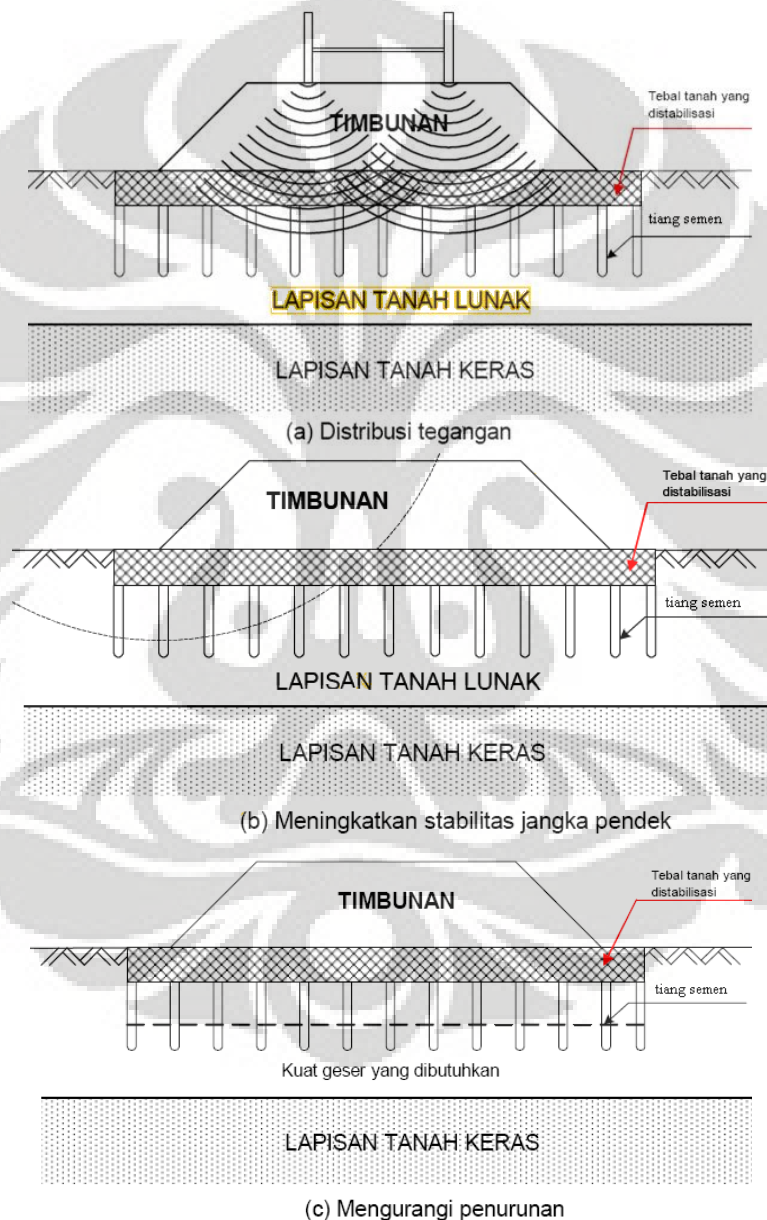
Gambar 2.9 Teknik stabilisasi dangkal menggunakan kolom semen
Sumber: Puslitbang Prasarana Transportasi, 2005 (telah diolah kembali)

Penggunaan semen sendiri dalam usaha perbaikan tanah telah telah mengalami perkembangan yang cukup pesat. Dalam prakteknya, semen dapat didalam meningkatkan kestabilan tanah dapat diterapkan pada lereng, parit, atau galian yang dalam. Pada Gambar 2.10 ditunjukkan beberapa contoh aplikasi kolom semen yang dapat digunakan di lapangan.



Gambar 2.10 Beberapa aplikasi penggunaan kolom semen
Sumber: Bergado et al., 1996 (telah diolah kembali)

Cairan semen yang dimasukkan ke dalam contoh uji tanah yang bersifat tanah lempung lunak membentuk tiang yang disebut granular pile, dimana stabilisasi tanah yang menggunakan granular pile ini sering disebut sebagai *composite ground* (Bergado et al., 1996). Teknik stabilisasi dengan metode ini dapat mengurangi penurunan total dan meminimalisasi perbedaan penurunan serta membantu meningkatkan stabilitas fondasi sehingga didapat timbunan yang lebih tinggi dalam waktu yang lebih cepat.



Gambar 2.11 Mekanisme teknik stabilisasi kolom semen

Sumber: Puslitbang Prasarana Transportasi, 2005 (telah diolah kembali)

Metode stabilisasi ini mempunyai prinsip memanfaatkan distribusi tegangan di bawah beban, yaitu meningkatkan kekuatan lapisan tanah guna mendapatkan daya dukung yang lebih baik. Sistem stabilisasi dengan metode seperti ini akan memperkecil penurunan dengan cara menyalurkan tegangan ke lapisan tanah yang lebih dalam. Mekanisme kerja stabilisasi ditunjukkan oleh Gambar 2.11.

Jenis perbaikan pada tanah dengan menggunakan prinsip kolom semen diantaranya, yaitu:

- **Metode *Deep Soil Mixing (DSM)***, yaitu mencampurkan semen dengan tanah yang umumnya dilakukan pada jenis tanah lunak. Mekanismenya adalah dengan memasukkan alat pemutar atau pengaduk ke dalam tanah sehingga tersisa ruang untuk menyuntikan semen ke dalam tanah. Ukuran diameter kolom berbeda-beda pada masing-masing wilayah, seperti Swedia yang menetapkan ukuran dengan diameter 50 cm dan kedalaman 10 meter, atau di Jepang dengan diameter hingga 2 meter dan kedalaman hingga 60 meter.
- ***Cement Grouting*** yaitu dengan menyuntikkan pasta semen ke dalam tanah yang telah dilubangi sebagai upaya mengisi rongga udara atau pori-pori pada tanah dan sebagai salah satu perkuatan tanah (*Permeation Grouting*). Perbandingan air dan semen yang digunakan tergantung dari kedalaman dan besarnya pori-pori yang harus diisi oleh grouting. Mencampurkan semen dengan air yang sedikit akan menghasilkan pasta yang lebih kental sehingga akan cocok untuk pori-pori yang besar dengan kedalaman yang rendah (Karol, 2003). Rasio water/cement yang digunakan untuk grouting ini adalah 0,5:1 hingga 10:1 dimana pada tanah dengan ukuran pori-pori yang semakin besar maka cairan semen yang digunakan bisa semakin kental. Namun, grouting dengan hanya memakai semen dan air saja menyebabkan masuknya cairan semen akan semakin sulit pada lubang grout yang dengan kedalaman yang cukup tinggi. Selain itu, kualitas penyebaran dari partikel semen pada pori-pori tanah akan berkurang dengan cairan semen yang semakin kental (w/c yang kecil). Setting time

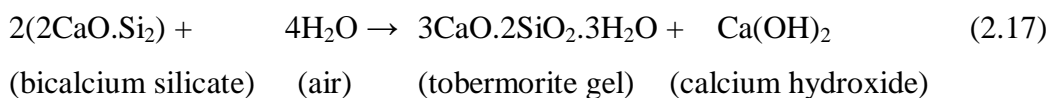
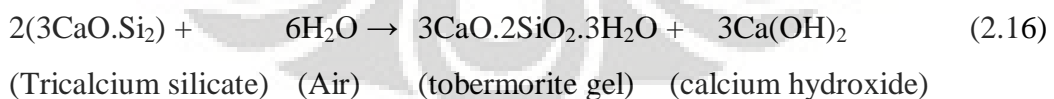
pada grout semen akan lebih cepat seiring dengan meningkatnya rasio w/c (Bell, 1993)

- **Micropiles/minipiles**, yaitu perkuatan tanah dengan membuat tiang mini dengan diameter hingga 15 cm yang digunakan dalam menambah kekuatan atau daya dukung tanah di lokasi yang diinginkan. Tiang mini ini dapat diinstalasikan seperti tiang pancang, atau dapat pula dibuat dengan melubangi tanah lalu memasukkan pasta semen ke dalam lubang tersebut. Terkadang ditambahkan pula agregat lain seperti pasir ke dalam pasta semen untuk mengurangi biaya proyek.

2.3.4 Reaksi Kimia pada Semen

Ketika kandungan air dalam tanah mengikat semen, semen akan terhidrasi dengan cepat dan akan membentuk partikel hasil hidrasi (primary cementitious), yaitu hydrated calcium silicates (C_2SH_x , $C_3S_2H_x$), hydrated calcium aluminates (C_3AH_x , C_4AH_x), dan hydrated lime $Ca(OH)_2$. Dimana partikel-partikel semen tersebut bersifat mengikat.

Hasil dari hidrasi akibat sementasi dan hidrasi kapur menimbulkan bagian padat yang mengkristal. Hidrasi pada semen juga mempengaruhi pH pada air, yang menyebabkan kenaikan nilai pH akibat penguraian akibat hidrasi kapur. Penguraian silica dan alumina dari mineral lempung terjadi akibat reaksi antara asam yang lemah dan dasar yang kuat. Perubahan kimia pada susunan dalam semen Portland saat terikat dengan air, dijabarkan sebagai berikut (Bergado et al., 1996):



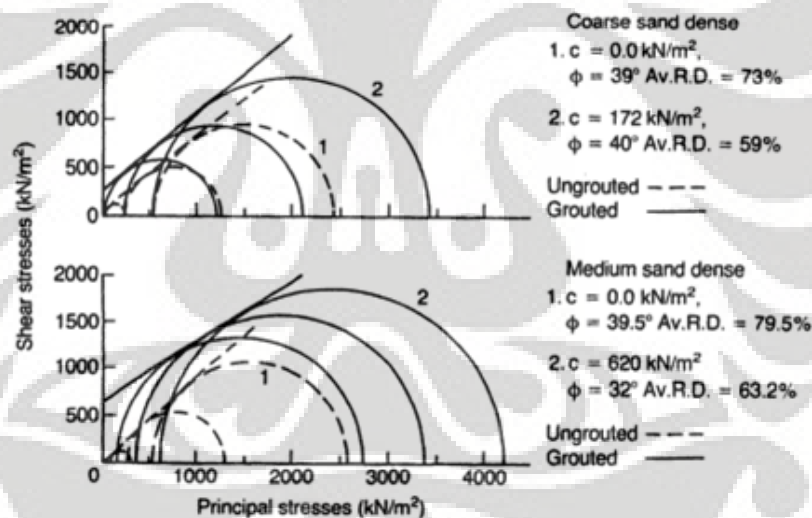
Persamaan 2.16 dan 2.17 yang memiliki kandungan material semen portland sebesar 75%, menunjukkan bahwa hidrasi dari dua jenis calcium silicate

yang menghasilkan dua campuran kapur dan tobermorite gel, yang sangat berpengaruh dalam kekuatan campuran semen.

2.3.5 Studi Kuat Geser Pada Tanah Granular yang Telah Diberikan *Chemical Grouting* (Bell, 1993)

Jenis pengujian kuat geser yang dilakukan adalah uji Triaksial terkonsolidasi terdrainasi (CD). Pengujian dilakukan terhadap dua jenis tanah granular yaitu pasir berbutir kasar dan pasir berbutir medium. Grouting yang dilakukan menggunakan silika. Hasil pengujian ditampilkan pada Gambar 2.12.

Chemical grouting menggunakan silika yang diberikan pada tanah granular seperti pasir ternyata dapat meningkatkan nilai kohesi. Sedangkan sudut geser dalamnya ternyata tidak mengalami perubahan yang signifikan, bahkan nilai sudut geser dalam dapat berkurang.



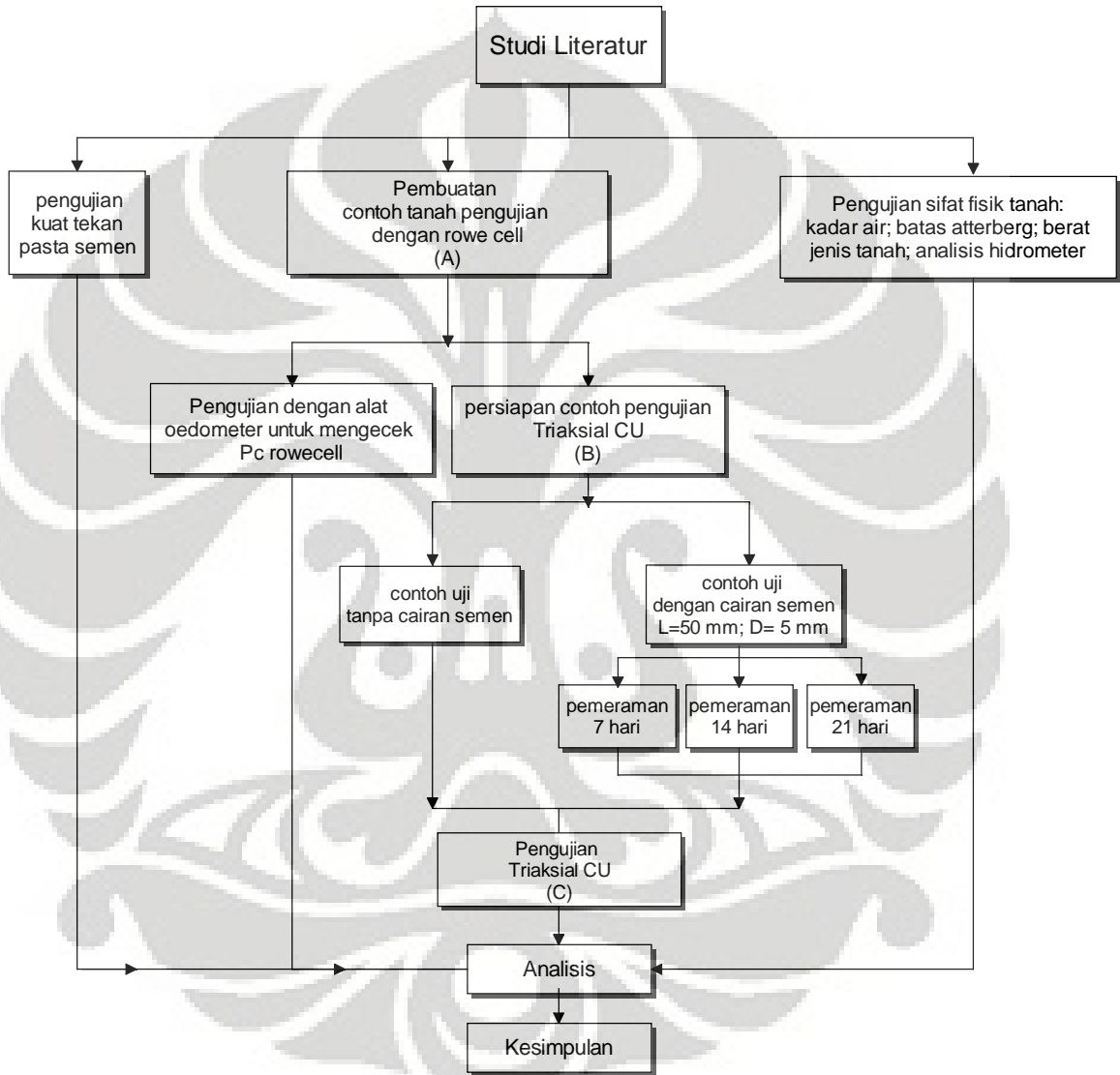
Gambar 2.12 Hasil pengujian Triaksial CD untuk grouting silika pada coarse dan medium sand oleh Skipp dan Renner

Sumber: Bell, 1993

Chemical grouts yang dimasukkan dalam tanah biasanya membentuk suatu padatan lemah. Bila grouting berwujud cairan diinjeksikan kedalam tanah berpori cukup besar, maka grouting tersebut akan menekan dinding tanah dan masuk ke pori-pori tanah tersebut.

BAB 3 METODE PENELITIAN

3.1 Kegiatan Penelitian



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian secara umum

Kegiatan penelitian yang dilakukan terbagi menjadi dua jenis pengujian, yaitu pengujian persiapan dan pengujian utama. Pengujian persiapan terdiri atas pengujian sifat fisik tanah kaolin, pengujian kuat tekan pasta semen, pembuatan

contoh tanah pengujian, dan pengujian konsolidasi dengan oedometer. Pengujian utama merupakan pengujian menggunakan alat uji Triaksial dalam kondisi terkonsolidasi tak terdrainasi (*Consolidated Undrained-CU*).

3.2 Pengujian Sifat Fisik Tanah

Prosedur pengujian sifat fisik tanah yang dilakukan mengikuti modul praktikum mekanika tanah FTUI. Pengujian sifat fisik tanah yang dilakukan diantaranya:

1. Kadar air
2. Batas-batas Atterberg
 - Batas Cair (Liquid Limit)
 - Batas Plastis (Plastic Limit)
3. Berat Jenis Tanah (Gs)
4. Analisis Ukuran Butiran (Hidrometer)

3.3 Pembuatan Contoh Tanah Pengujian

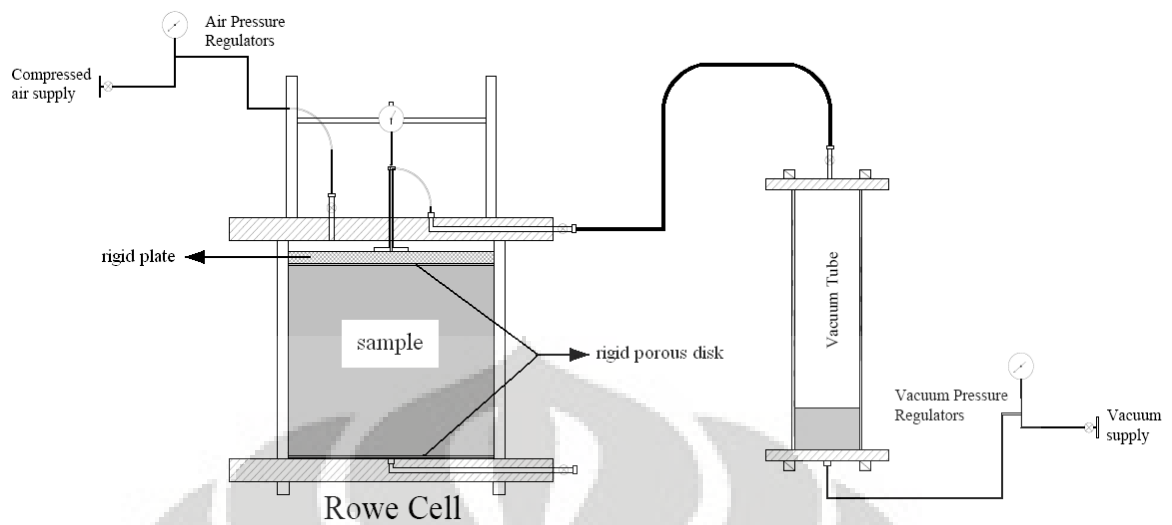
3.3.1 Material Pengujian

Material yang digunakan dalam pengujian merupakan tanah kaolin berupa bubuk yang berwarna putih hasil dari pabrikasi. Tanah kaolin ini diproduksi oleh PT. Asia Kaolin Raya dengan dagang “kaolin filler super 325 mesh”. Material tanah kaolin ini memiliki gradasi butiran lolos saringan 0,1 mm.

3.3.2 Prosedur Pembuatan Contoh Tanah Pengujian

Material yang digunakan dalam pengujian awalnya masih berupa bubuk (powder) sehingga perlu dilakukan pencetakan atau pembuatan contoh tanah terlebih dahulu agar dapat digunakan untuk pengujian Triaksial. Pembuatan contoh untuk pengujian Triaksial menggunakan alat *Rowe cell* yang tabungnya telah diganti menggunakan mold CBR dengan diameter 15 cm dan tinggi 17 cm.

Tanah kaolin diberikan sejumlah tekanan prakonsolidasi menggunakan Rowe cell sehingga akan terbentuk contoh tanah yang lebih mudah digunakan untuk pengujian selanjutnya. Pembuatan contoh tanah juga bertujuan agar tanah yang digunakan dalam pengujian lebih mendekati permodelan tanah lunak.



Gambar 3.14 Skema alat rowe cell yang telah dimodifikasi

Sumber: Mesriana, 2009

Berikut merupakan prosedur pembuatan contoh tanah menggunakan alat Rowe cell:

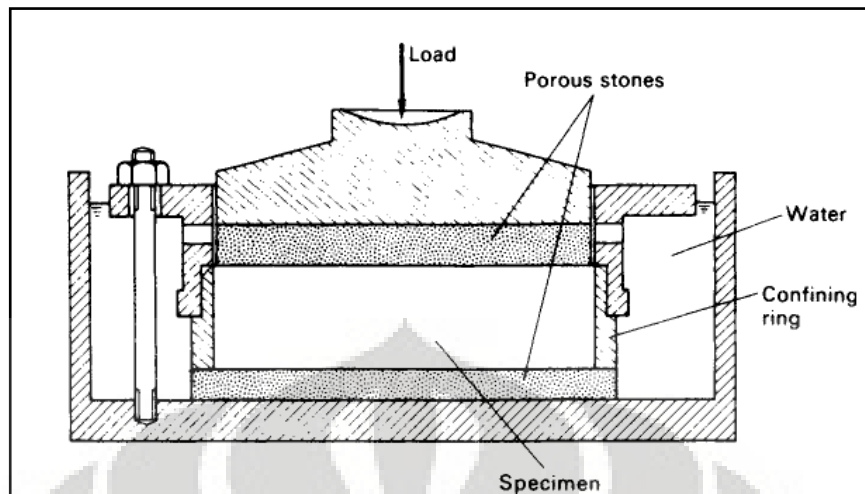
1. Material tanah kaolin yang berupa bubuk dicampurkan dengan air suling hingga homogen dengan menggunakan mixer selama 10 menit. Kadar air yang dicampurkan pada bubuk kaolin berada 20% diatas batas cair tanah kaolin (LL kaolin = +/-80%), yaitu kurang lebih 100% dari berat tanah kaolin.
2. Mempersiapkan alat rowe cell yang akan digunakan. Mold dibersihkan dan diberikan vaselin pada bagian dalamnya untuk mengurangi gesekan antara tanah dengan mold saat pembebanan diberikan. Tuas untuk pembacaan penurunan tinggi tanah juga diberikan vaselin untuk mengurangi faktor kesalahan dalam pembacaan penurunan ketinggian contoh tanah.
3. Tanah kaolin yang sudah menyerupai pasta dimasukkan kedalam tabung CBR pada alat *Rowe cell* yang pada dasar tabungnya telah terdapat kertas filter. Tanah dimasukkan selapis demi selapis agar tidak ada udara yang terperangkap. Tabung diisi hingga kurang lebih 2 cm di bawah mulut tabung. Setelah itu, permukaan tanah kaolin diratakan serta diletakkan kembali secara berturut-turut kertas filter, batu berpori yang telah direbus, dan plat penekan Rowe cell.

4. Tanah uji yang telah berada dalam tabung Rowe cell selanjutnya divacuum terlebih dahulu (+6 jam) hingga tidak ada udara yang keluar dari dalam pasta kaolin. Proses vacuum bertujuan agar contoh uji bersifat lebih homogen dan juga untuk mengeluarkan udara yang terperangkap di dalam contoh uji.
5. Setelah proses vacuum selesai, tekanan konstan yang diinginkan dapat diberikan pada contoh tanah dengan menggunakan alat pengatur tekanan. Tekanan prakonsolidasi yang diberikan yaitu sebesar 100 kPa (1 bar).
6. Membaca penurunan untuk tanah uji yang terdapat dalam Rowe cell setiap 30 menit selama 2 jam untuk hari pertama, dan untuk hari selanjutnya pembacaan hanya dilakukan satu kali per hari.
7. Apabila penurunan pada tanah uji di dalam tabung Rowe cell sudah sangat kecil dan perubahan penurunan relatif stabil, tekanan konstan dihentikan. Pada umumnya penurunan sudah konstan pada hari ke-6-7 pembebanan. Setelah itu contoh tanah dalam alat uji Rowe cell dapat diambil dan dapat dilakukan pencetakan untuk pengujian selanjutnya yaitu pengujian konsolidasi dengan oedometer dan pengujian Triaksial CU.

3.4 Pengujian Konsolidasi dengan Alat Oedometer

Konsolidasi adalah peristiwa penyusutan volume secara perlahan-lahan pada tanah jenuh sempurna dengan permeabilitas rendah akibat pengaliran sebagian air pori. Proses tersebut berlangsung terus sampai kelebihan tekanan air pori yang disebabkan oleh kenaikan tegangan total telah benar-benar hilang. Pengujian ini dilakukan sebagai upaya mengetahui tegangan yang telah dialami tanah setelah terkonsolidasi melalui Rowe cell.

Setelah contoh tanah selesai dibuat menggunakan Rowe Cell, contoh tanah dikeluarkan dari dalam mold dengan ekstruder. Contoh tanah kemudian dicetak dengan menggunakan cetakan konsolidasi untuk kemudian dilakukan pengujian konsolidasi menggunakan oedometer. Tegangan yang didapatkan dari pengujian konsolidasi ini kemudian dikorelasikan dengan tegangan yang diberikan saat pencetakan contoh tanah dengan Rowe cell.



Gambar 3.15 Alat oedometer

Sumber: Craig, 1991

3.5 Pengujian dengan Alat Triaksial Terkonsolidasi Tak Terdrainasi

3.5.1 Persiapan Contoh Tanah Pengujian

Contoh tanah yang akan digunakan untuk pengujian Triaksial terdiri atas 4 seri, yang terdiri atas dua penanganan berbeda yaitu:

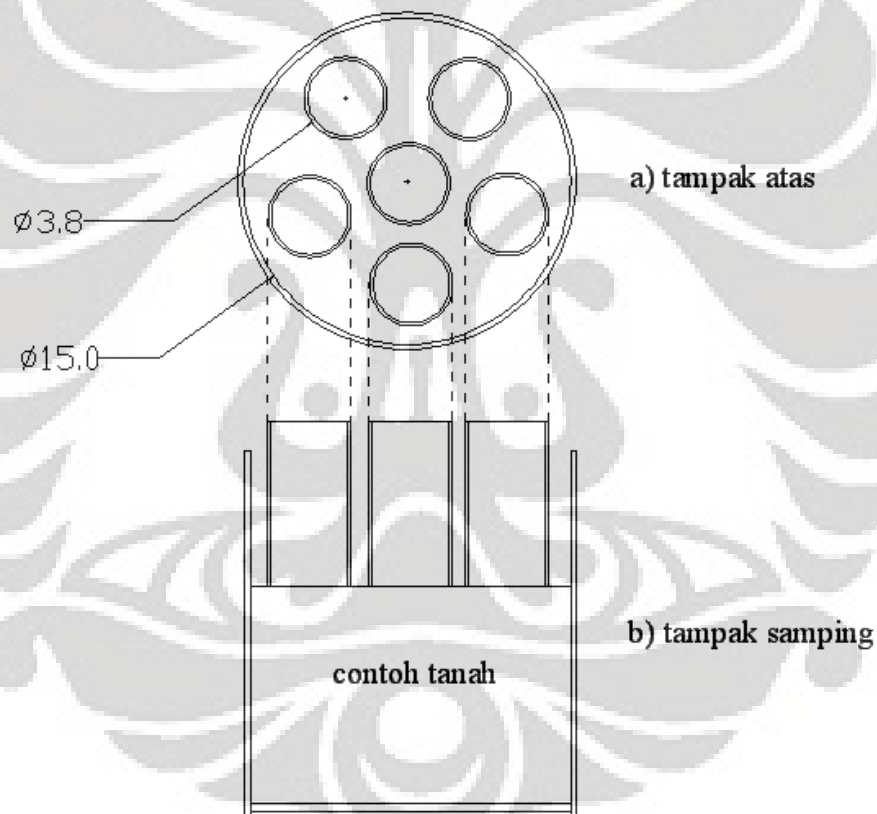
- Contoh uji asli, dimana masih berupa contoh tanah kaolin asli hasil pencetakan dengan alat Rowe cell, serta
- Contoh uji dengan kolom semen, yaitu contoh tanah kaolin hasil pencetakan dari Rowe cell yang telah dimasukkan cairan semen lalu dilakukan pemeraman dengan waktu yang bervariasi yaitu selama 7, 14, dan 21 hari. Cairan semen yang digunakan merupakan cairan yang terdiri atas semen dan air dengan w/c 0,5.

Proses persiapan contoh tanah untuk pengujian Triaksial terdiri dari dua bagian, yaitu pencetakan contoh uji untuk pengujian dan proses memasukkan semen ke dalam contoh uji tanah.

3.5.1.1 Pencetakan contoh uji

Contoh tanah yang telah dibentuk menggunakan *Rowe cell* dan masih berada dalam mold dipasang ke alat ekstruder manual. Cetakan untuk uji Triaksial

CU (diameter 38 mm; tinggi 76 mm) diletakkan di atas contoh tanah. Contoh tanah dikeluarkan dari dalam mold dengan menggunakan ekstruder manual. Ekstruder manual dijalankan perlahan-lahan hingga contoh tanah keluar dari dalam mold dan masuk ke dalam cetakan triaksial. Contoh tanah yang telah masuk dalam cetakan dirapikan dengan hati-hati sehingga kondisi tanah diupayakan sebagai kondisi tanah lempung lunak dalam kondisi *undisturbed*. Sisa tanah hasil pencetakan digunakan untuk perhitungan kadar air tanah setelah proses pencetakan dari alat Rowe cell. Gambar 3.4 merupakan skema letak cetakan triaksial di atas contoh tanah yang akan dikeluarkan dengan ekstruder. Satu kali pencetakan dapat menghasilkan 6 buah contoh uji untuk pengujian Triaksial CU.



Gambar 3.16 Susunan cetakan triaksial saat mencetak contoh uji menggunakan ekstruder manual

3.5.1.2 Proses memasukkan cairan semen ke dalam contoh uji

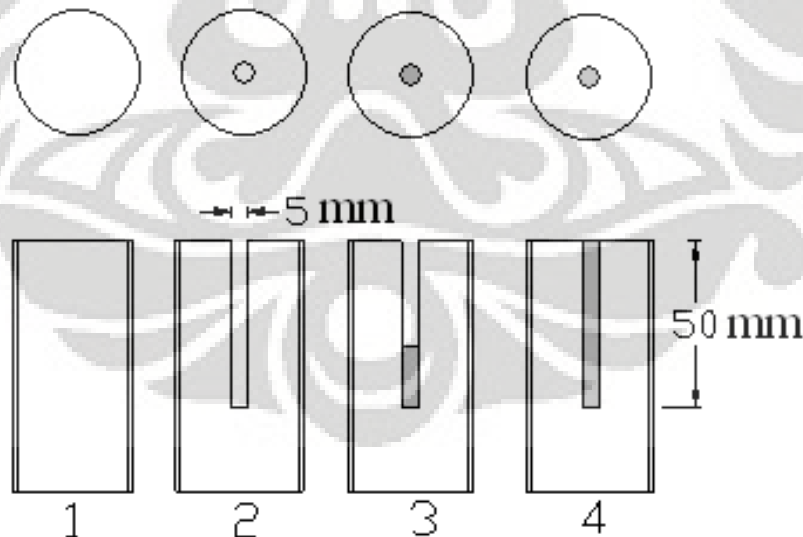
Seperti yang dijelaskan sebelumnya mengenai jenis contoh uji, yang terdiri atas contoh uji asli (tanpa kolom semen) dan contoh uji dengan kolom semen.

Contoh uji asli dapat langsung diuji menggunakan Triaksial CU, sedangkan contoh uji dengan kolom semen memerlukan proses persiapan selanjutnya yaitu proses memasukkan cairan semen ke dalam contoh uji.

Berikut merupakan urutan dalam proses memasukkan cairan semen ke dalam contoh uji:

1. Contoh uji yang telah berada dalam cetakan triaksial dilubangi pada bagian tengahnya. Proses pelubangan adalah proses mengambil sejumlah tanah dari bagian tengah contoh uji sehingga diupayakan membentuk lubang dengan diameter 5 mm, dan kedalaman lubang 50 mm.
2. Lubang yang telah terbentuk selanjutnya dimasukkan cairan semen dengan $w/c = 0,5$. Proses memasukkan cairan semen harus dilakukan dengan perlahan-lahan agar tidak ada udara yang terperangkap.
3. Setelah lubang tersebut terisi dengan cairan semen, selanjutnya dilakukan proses pemeraman sesuai dengan variasi hari yang diinginkan (7 hari, 14 hari, dan 21 hari).

Secara visual, urutan pada proses memasukkan semen ke dalam contoh uji dapat dilihat pada Gambar 3.5.



Gambar 3.17 Proses memasukkan cairan semen dalam contoh uji

- Keterangan:
1. contoh uji dalam cetakan triaksial CU,
 2. membuat lubang ($D= 5\text{mm}$; $L=50\text{ mm}$),,
 3. memasukkan cairan semen $W/C = 0,5$
 4. melakukan pemeraman contoh uji dengan cairan semen

3.5.2 Prosedur Pengujian dengan alat Triaksial

Pengujian menggunakan alat uji Triaksial merupakan pengujian yang sering digunakan dalam pengujian kuat geser tanah, terutama untuk tanah jenis lempung atau lanau. pada pengujian menggunakan alat Triaksial yang berada dalam kondisi terkonsolidasi tak terdrainasi, terdapat 3 tahap pengujian yaitu saturasi, konsolidasi, dan kompresi.

1. Tahap Saturasi

Tahap ini merupakan tahap yang dilakukan agar contoh uji mengalami kondisi jenuh akibat pemberian tekanan sel dan tekanan balik. Kondisi jenuh pada tanah dimaksudkan agar contoh uji sudah tidak lagi mengandung udara, sehingga tegangan yang akan diberikan pada tanah dapat diterima dengan baik. Selain itu, contoh uji yang jenuh sempurna juga dapat lebih menirukan kondisi tekanan air pori di lapangan. Prosedur yang dilakukan yaitu:

- Tekanan sel yang pertama kali diberikan pada contoh uji adalah sebesar 50 kPa. Tekanan sel diberikan hingga didapatkan tekanan air pori pada contoh uji saat indikator air raksa sudah stabil (tidak naik-turun). Data yang didapatkan adalah data mengenai besarnya volume sel sebelum dan setelah pemberian tekanan sel, serta mendapatkan nilai saturasi (*B value*) awal. Nilai saturasi diketahui dengan membagi perubahan tekanan air pori dengan kenaikan nilai tekanan sel.
- Memberikan tekanan balik sebesar 40 kPa, dengan tetap memberikan tekanan sel 50 kPa pada contoh uji. Adanya tekanan sel dan tekanan balik akan menimbulkan perbedaan antara tekanan sel dan tekanan balik sebesar 10 kPa. Tekanan balik diberikan hingga indikator air raksa sudah stabil kembali. Volume tekanan balik dicatat sebelum dan setelah pemberian tekanan.
- Pemberian tekanan sel kembali dilakukan untuk kelipatan 50 kPa (100 kPa, 150 kPa, dst), begitu pula pemberian tekanan balik diberikan dengan selisih 10 kPa dari tekanan sel (90 kPa, 140 kPa, dst).
- Tahap ini dinyatakan telah selesai apabila contoh uji telah mengalami keadaan tersaturasi sempurna ($B \geq 0.95$)

2. Tahap Konsolidasi

Tahap konsolidasi merupakan tahap diberikannya sejumlah tegangan pada contoh uji, dimana tegangan efektif yang diberikan sebesar 100 kPa, 140 kPa, dan 180 kPa. Pemberian tegangan konsolidasi dilakukan hingga volume pada tekanan balik sudah stabil atau sudah tidak terdapat lagi perubahan volume ($\Delta V = 0$). Contoh uji kemudian dibiarkan semalam, untuk keesokan harinya dapat dilakukan tahap kompresi. Pembacaan yang dilakukan pada tahap ini adalah pembacaan nilai tekanan air pori dan perubahan volume tekanan balik.

3. Tahap Kompresi

Tahap kompresi merupakan tahap diberikannya deformasi aksial setiap 0,025 cm pada contoh uji. Pada tahap ini, tanah diberikan kecepatan kompresi sebesar 0.05 mm/menit. Percatatan yang dilakukan adalah pengukuran tekanan air pori dan nilai deviator stress setiap penurunan 0,025 cm pada contoh uji. Tahap ini dinyatakan selesai apabila contoh uji telah mengalami keruntuhan. Keruntuhan pada contoh uji ditandai dengan adanya penurunan tekanan air pori dan nilai beban yang mulai konstan atau mengalami penurunan.

BAB 4

HASIL DAN ANALISIS UJI LABORATORIUM

Rangkaian kegiatan pengujian yang dilakukan yaitu pengujian sifat fisik tanah, pengujian kuat tekan pasta semen, pembuatan contoh tanah pengujian dengan Rowe cell, pengujian dengan oedometer untuk mengecek tegangan prakonsolidasi tanah, serta pengujian Triaksial CU untuk mendapatkan parameter kekuatan geser tanah. Hasil yang telah diperoleh dari pengujian yang dilakukan di laboratorium kemudian diolah sedemikian rupa sehingga dapat dianalisis kekuatan geser tanahnya akibat pengaruh adanya kolom semen dan lamanya waktu pemeraman. Pada bab ini, hasil pengujian disajikan secara singkat. Hasil olahan data secara lengkap terdapat pada bagian lampiran laporan.

4.1 Hasil Dan Analisis Pengujian Sifat Fisik Tanah

Sifat fisik tanah didapatkan dari beberapa rangkaian percobaan seperti pengukuran kadar air, pengujian batas-batas atterberg (batas cair dan batas plastis), specific gravity, dan analisis ukuran butiran.

4.1.1 Kadar Air

Pengujian kadar air asli pada kaolin dilakukan dengan menggunakan 2 (dua) buah contoh uji yang diambil langsung dari tanah kaolin hasil pabrikasi. Kadar air asli rata-rata dari tanah kaolin yang didapatkan dari pengujian adalah 1,58%. Dari nilai kadar air ini dapat diketahui bahwa fisik tanah kaolin secara umum adalah kering.

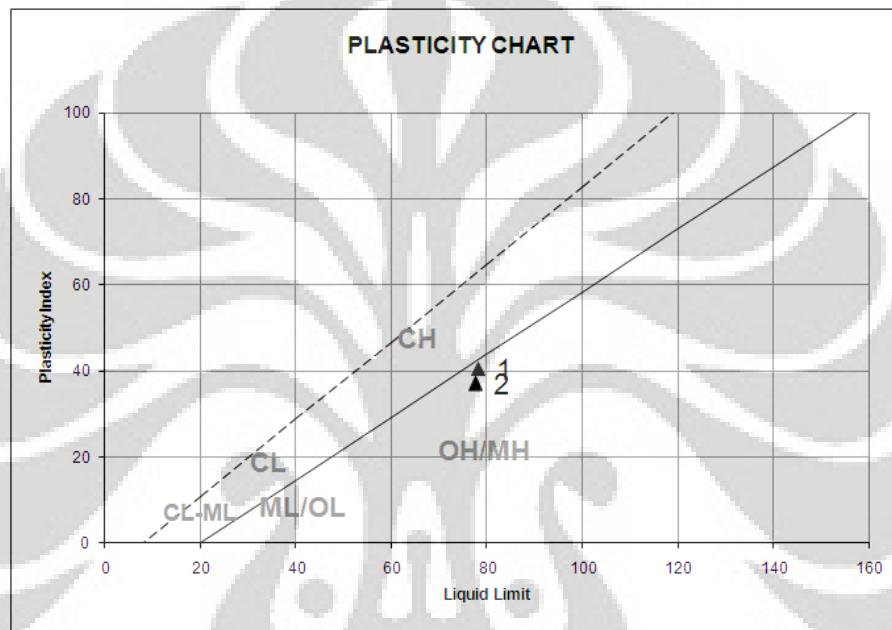
4.1.2 Batas-batas Atterberg

Pengujian Batas-batas Atterberg yang dilakukan adalah pengujian batas cair dan batas plastisnya. Dari pengujian ini selanjutnya dapat diketahui nilai dari Index Plastisitas (PI) serta klasifikasi dari tanah kaolin. Pengujian dilakukan sebanyak 2 (dua) kali, dimana setiap pengujian yang dilakukan menggunakan 4 (empat) buah contoh uji untuk pengujian Batas Liquid (LL) dan 2 (dua) buah

contoh uji untuk Batas Plastis (PL). Hasil pengujian Batas-batas Atterberg secara ditunjukkan oleh Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Hasil pengujian Batas-batas Atterberg pada tanah kaolin

No. Tes	LL (%)	PL (%)	PI (%)	Klasifikasi (Unified system)
1	78,22	37,64	40,58	OH/MH
2	77,64	40,56	37,08	OH/MH



Gambar 4.1. Grafik plastisitas index tanah kaolin

Gambar 4.1 menunjukkan bahwa klasifikasi tanah kaolin adalah MH, yaitu lanau elastis dengan plastisitas sedang sampai tinggi.

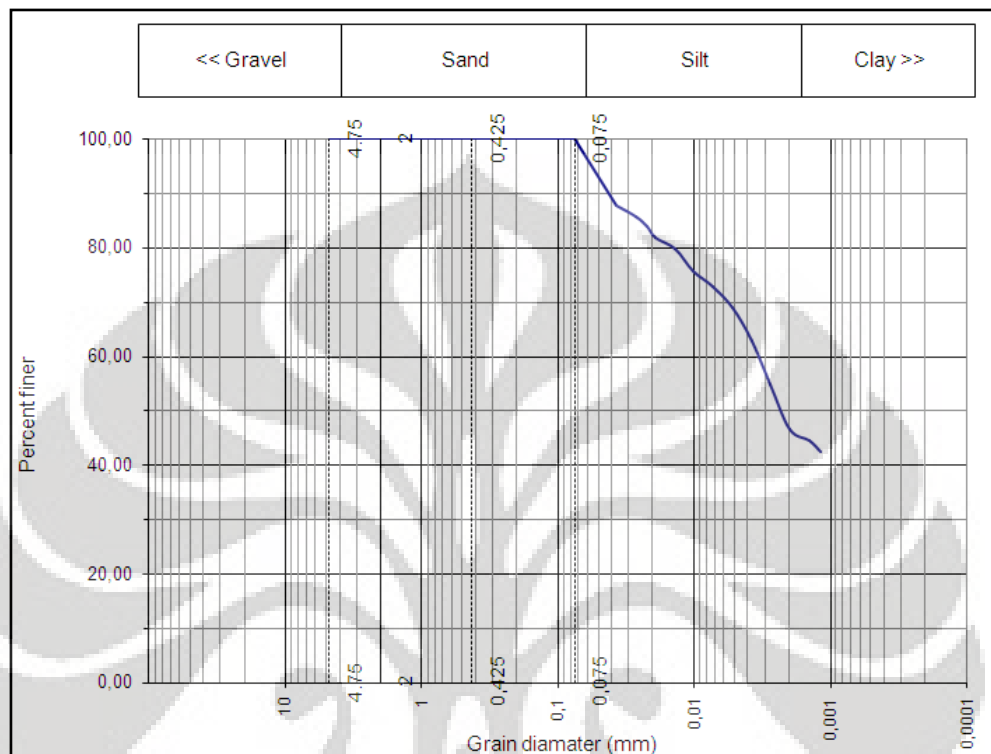
4.1.3 Berat Jenis Tanah (Gs)

Pengujian Berat Jenis Tanah (Gs) melibatkan 3 (tiga) buah contoh uji, dimana nilai Gs rata-rata yang didapatkan adalah sebesar 2,59.

4.1.4 Analisis Ukuran Butiran

Pengujian analisis ukuran butiran dilakukan selain untuk mengetahui distribusi butiran tanah yang memiliki diameter yang lebih kecil dari 0,074 mm juga untuk menentukan klasifikasi visual dari tanah pengujian. Pengujian analisis

ukuran butiran yang dilakukan terdiri atas 2 buah contoh uji (contoh uji H#1 dan H#2). Gambar 4.2 memperlihatkan salah satu hasil pengujian analisis ukuran butiran.



Gambar 4.2 Grafik hasil pengujian ukuran butiran pada contoh H#1

Dari pengujian analisis ukuran butiran dapat diketahui bahwa butiran tanah kaolin terdiri dari: 0% pasir; 46-48% lempung; dan 52-54% lanau. Sehingga dapat disimpulkan bahwa klasifikasi tanah kaolin adalah lanau berlempung, dengan deskripsi tanah secara visual berwarna putih.

4.2 Hasil dan Analisis Pengujian Kuat Tekan Pasta Semen

Cairan semen atau biasa disebut sebagai pasta semen yang digunakan di lapangan memiliki rentang perbandingan semen dengan air yaitu antara 0,4 hingga 0,5. Pasta semen merupakan campuran antara semen dan air saja, tanpa menambahkan agregat seperti pasir atau kerikil pada campuran beton pada umumnya.

Pengujian kuat tekan pasta semen dilakukan di Laboratorium Mekanika Struktur Teknik Sipil FTUI. Pasta semen dibuat dengan mencampurkan semen

dengan air suling hingga terbentuk rasio air dengan semen sebesar 1:2 ($w/c = 0,5$). Prosedur pengujian kuat tekan pasta tidak jauh berbeda dengan pengujian pada kuat tekan beton. Perbedaan hanya terletak pada bentuk benda uji yang digunakan. Benda uji yang digunakan berbentuk kubus dengan ukuran sisi 5 cm. Benda uji dilakukan *curing* dengan perendaman dalam air selama 7, 14, 21, dan 28 hari. Setiap pengujian menggunakan 3 buah benda uji, sehingga total benda uji yang digunakan adalah 12 buah.

Pasta semen dengan w/c sebesar 0,5 memiliki nilai kuat tekan yang berbeda-beda sesuai dengan waktu pemeramannya. Hasil pengujian kuat tekan menunjukkan bahwa kuat tekan pasta semen meningkat seiring dengan lamanya waktu pemeraman. Tabel 4.2 menunjukkan hasil pengujian dari kuat tekan pasta semen. Data lengkap terdapat di lampiran.

Tabel 4.2 Kuat tekan pasta semen PCC Tiga Roda

Umur (hari)	7	14	21	28
Kuat Tekan (kg/cm^2)	290	317	434	439

4.3 Hasil dan Analisis Pembuatan Contoh Tanah Pengujian

Material tanah yang digunakan dalam pengujian adalah tanah kaolin hasil pabrikasi yang masih berupa bubuk. Permodelan tanah pada pengujian adalah tanah lempung lunak yang memiliki daya dukung rendah sehingga perlu dilakukan stabilisasi. Jenis tanah ini bisa dibuat dengan menggunakan bantuan alat Rowe cell yang telah dimodifikasi menggunakan mold CBR dengan diameter 15 cm dan tinggi 17 cm. Gambar 4.3 menunjukkan alat rowe cell yang telah dimodifikasi.

Pembuatan contoh tanah menggunakan alat rowe cell dilakukan dengan memberikan beban prakonsolidasi pada tanah kaolin yang berbentuk pasta. Pada awalnya tekanan prakonsolidasi yang diberikan adalah sebesar 200 kPa. Tetapi dengan tekanan sebesar ini, contoh tanah yang dihasilkan ternyata sudah cukup padat. Kondisi ini tentunya tidak sesuai dengan permodelan tanah lunak yang direncanakan. Tekanan prakonsolidasi kemudian diturunkan menjadi 100 kPa. Dengan $P_c = 100$ kPa, contoh tanah yang dihasilkan nyatanya lebih mendekati

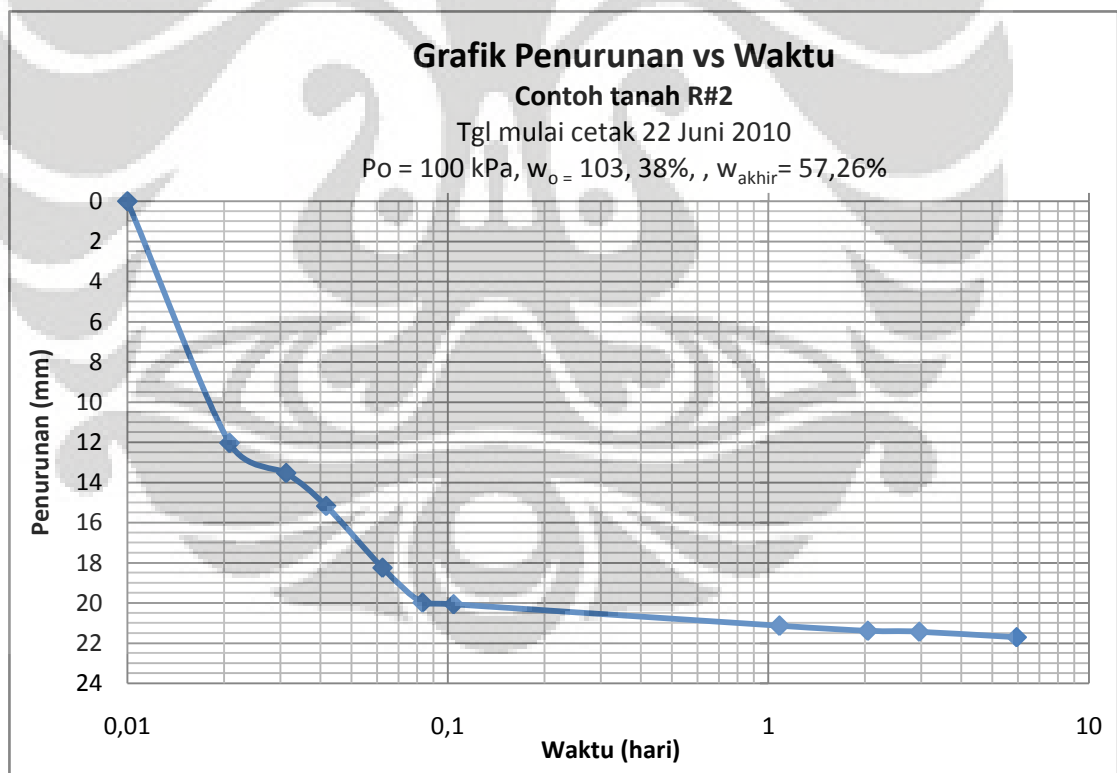
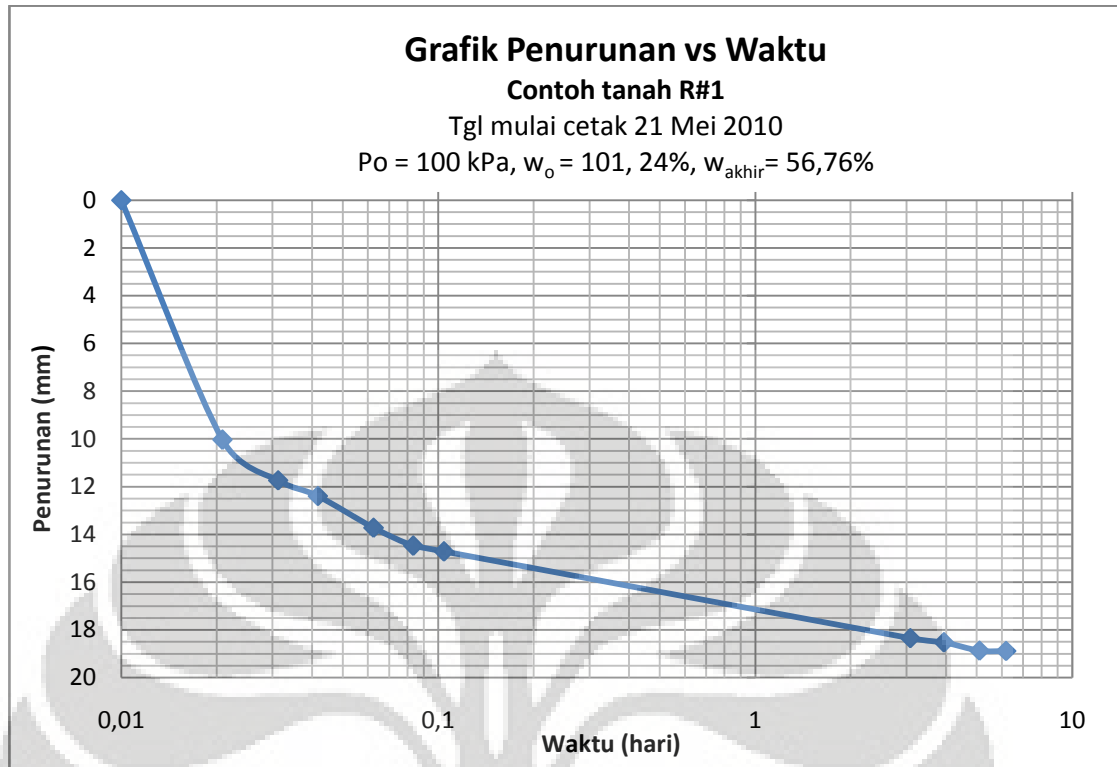
permodelan tanah lunak. Sehingga, tekanan prakonsolidasi yang digunakan dalam pembuatan contoh tanah adalah sebesar 100 kPa.



Gambar 4.3 Rowe cell yang telah dimodifikasi dengan mold CBR

Satu kali pencetakan contoh tanah dengan Rowe cell dapat menghasilkan 6 buah contoh uji untuk Triaksial CU. Sehingga dengan dua kali pencetakan dengan alat Rowe cell didapatkan total contoh uji sebanyak 12 buah untuk Triaksial CU. Pembuatan contoh tanah menggunakan alat rowe cell dilakukan sebanyak dua kali pencetakan yang diberi label R#1 dan R#2. Pencetakan contoh tanah dikatakan sudah selesai dibuat apabila penurunan tinggi tanah sudah konstan.

Gambar 4.4 menggambarkan grafik penurunan dengan waktu untuk contoh tanah R#1 dan R#2. Pada grafik dapat diketahui bahwa rata-rata proses pencetakan telah dinyatakan selesai pada hari ke-6 pencetakan. Pada pencetakan ini, berkurangnya tinggi contoh tanah dalam mold dikarenakan adanya air dan udara yang keluar akibat proses vakum dan proses pembebanan yang dilakukan.

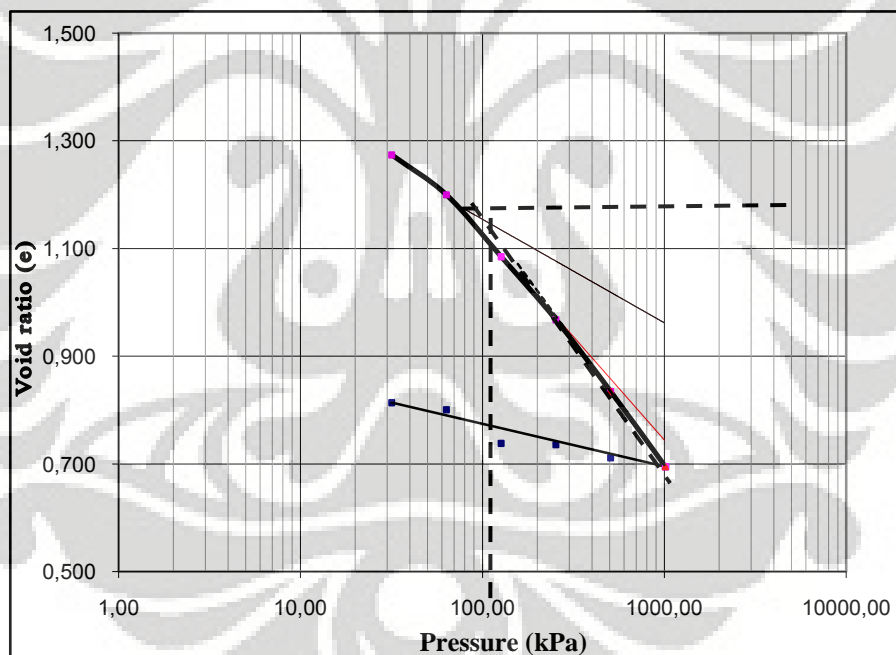


Gambar 4.4 Grafik pembacaan penurunan tinggi vs waktu pada alat Rowe cell untuk contoh tanah R#1 dan R#2

4.4 Hasil Pengujian Konsolidasi dengan Oedometer Sebagai Korelasi dengan Tekanan Prakonsolidasi Pembuatan Contoh Tanah

Pengujian ini dilakukan sebagai upaya mengetahui secara pasti apakah tegangan yang dialami contoh tanah sesuai dengan tegangan yang diberikan saat pembuatan contoh tanah menggunakan rowe cell. Tegangan yang didapatkan dari pengujian konsolidasi ini kemudian dikorelasikan dengan tegangan yang diberikan saat pembuatan contoh tanah dengan Rowe cell.

Pengujian dengan alat oedometer menggunakan 2 (dua) buah contoh tanah kaolin yang telah dibuat menggunakan Rowe cell. Dari pengujian dengan oedometer didapatkan tegangan prakonsolidasi tanah adalah sebesar 106,6 kPa dan 105,4 kPa. Tegangan prakonsolidasi ini tidak jauh berbeda dengan tekanan yang diberikan saat pencetakan menggunakan Rowe cell yaitu sebesar 100 kPa. Grafik pada Gambar 4.5 menunjukkan kurva kompresi untuk $P_c = 106,6$ kPa.



Gambar 4.5 Kurva kompresi $P_c = 106,6$ kPa

4.5 Hasil dan Analisis Pengujian Triaksial Terkonsolidasi Tak Terdrainasi

Hasil pengujian yang didapatkan dari pengujian Triaksial terkonsolidasi tak terdrainasi (Triaksial CU) adalah parameter-parameter kekuatan geser pada tanah kaolin. Tanah kaolin yang sebelumnya telah dibuat menggunakan alat rowe cell dengan tekanan prakonsolidasi sebesar 100 kPa, kemudian diuji dengan Triaksial

CU. Pengujian Triaksial CU terdiri atas 3 tahap yaitu saturasi, konsolidasi, dan kompresi. Tahap saturasi adalah tahap dilakukannya penjenjuran pada contoh uji hingga nilai B (perubahan tekanan air pori dibagi kenaikan nilai tekanan sel) sudah mencapai lebih dari 0,95. Pada tahap konsolidasi, contoh uji diberikan 3 jenis tegangan konsolidasi efektif (σ'_3) yang berbeda (100, 140, dan 180 kPa) agar nantinya dapat digambarkan lintasan tegangan yang sempurna. Tahap kompresi adalah tahap dimana contoh uji diberikan sejumlah gaya aksial. Pembacaan yang dilakukan adalah pembacaan tegangan deviator dan tekanan air pori akibat gaya aksial yang diberikan. Tahap kompresi dinyatakan selesai apabila contoh uji sudah mengalami keruntuhan.

Jumlah seri pengujian menggunakan Triaksial CU yang dilakukan adalah 4 seri, dimana jumlah contoh uji yang dibutuhkan untuk setiap seri pengujian adalah 3 buah. Sehingga jumlah total contoh uji yang digunakan adalah 12 buah. Contoh uji yang digunakan berukuran diameter 3,8 cm dan tinggi 7,6 cm.

Pada dasarnya jenis contoh uji yang digunakan dalam pengujian Triaksial CU ini terdapat dua jenis, yaitu contoh asli dan contoh dengan kolom semen. Contoh dengan kolom semen merupakan contoh uji yang bagian tengahnya telah dibuat lubang dengan diameter 5 mm dan kedalaman 50 mm lalu dimasukkan cairan semen (rasio air dengan semen $w/c = 0,5$). Contoh dengan kolom semen lalu dilakukan pemeraman selama 7, 14, dan 21 hari. Sehingga jenis seri pengujian Triaksial yang dilakukan terdiri atas contoh asli, contoh 7 hari, contoh 14 hari, dan contoh 21 hari.

Cairan semen yang dimasukkan ke dalam contoh uji tanah yang bersifat tanah lempung lunak membentuk tiang/kolom semen yang disebut granular pile, dimana stabilisasi tanah yang menggunakan granular pile ini sering disebut sebagai *composite ground* (Bergado et. al, 1996).

4.5.1 Contoh Asli

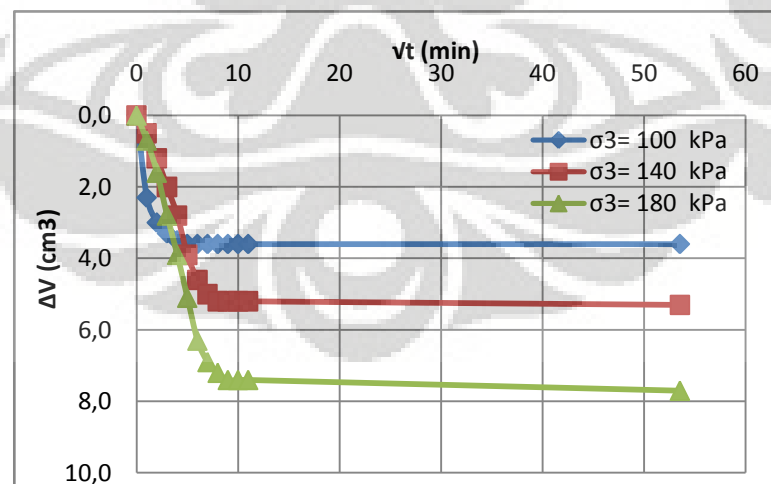
Contoh asli merupakan contoh uji yang digunakan untuk memodelkan kondisi tanah lunak asli, sehingga dapat dianalisis peningkatan kekuatan geser pada tanah yang telah diberikan kolom semen.

Pengujian Triaksial pada contoh uji dimulai dengan tahap saturasi. Pembacaan yang dilakukan pada tahap saturasi adalah pembacaan tekanan pori dan perubahan volume pada tekanan sel dan tekanan balik. Pada Tabel 4.3, diketahui bahwa derajat kejenuhan pada contoh uji mencapai saturasi sempurna yaitu $B = 1$. Besarnya nilai B yang dihasilkan telah memenuhi kriteria nilai B yang ditetapkan ($B > 0,95$), sehingga contoh uji sudah dapat dikatakan jenuh, dan dapat dilanjutkan ke tahap selanjutnya yaitu tahap konsolidasi. Waktu bagi contoh asli untuk mencapai nilai $B > 0,95$ adalah sekitar 1 hari.

Tabel 4.3 Lama waktu saturasi dan nilai B pada contoh asli

σ'_3 (kPa)	Lama waktu saturasi (hari)	Nilai B
100	1	1,00
140	1	1,00
180	1	1,00

Pada tahap konsolidasi, pembacaan yang dilakukan adalah pembacaan perubahan volume tekanan balik dan pembacaan tekanan air pori yang dilakukan hingga perubahan volume pada contoh uji mendekati konstan, selanjutnya konsolidasi dibiarkan berlanjut hingga satu malam penuh. Gambar 4.6 menunjukkan grafik pembacaan perubahan volume pada contoh asli terhadap waktu.



Gambar 4.6 Grafik perubahan volume terhadap waktu pada contoh asli

Perubahan volume pertama kali bergerak cukup drastis, untuk kemudian konstan. Perilaku ini bisa disebabkan oleh adanya pengaliran sebagian air pori

yang keluar dari contoh uji, akibat kelebihan tekanan air pori. Kelebihan tekanan air pori itu sendiri dapat terjadi akibat adanya tegangan berlebih yang diterima oleh contoh uji. Ketika kelebihan tekanan air pori itu telah benar-benar hilang (dapat terlihat dari nilai perubahan volume yang kembali konstan dan sudah tidak ada perubahan tekanan air pori) maka proses konsolidasi dapat dikatakan selesai.

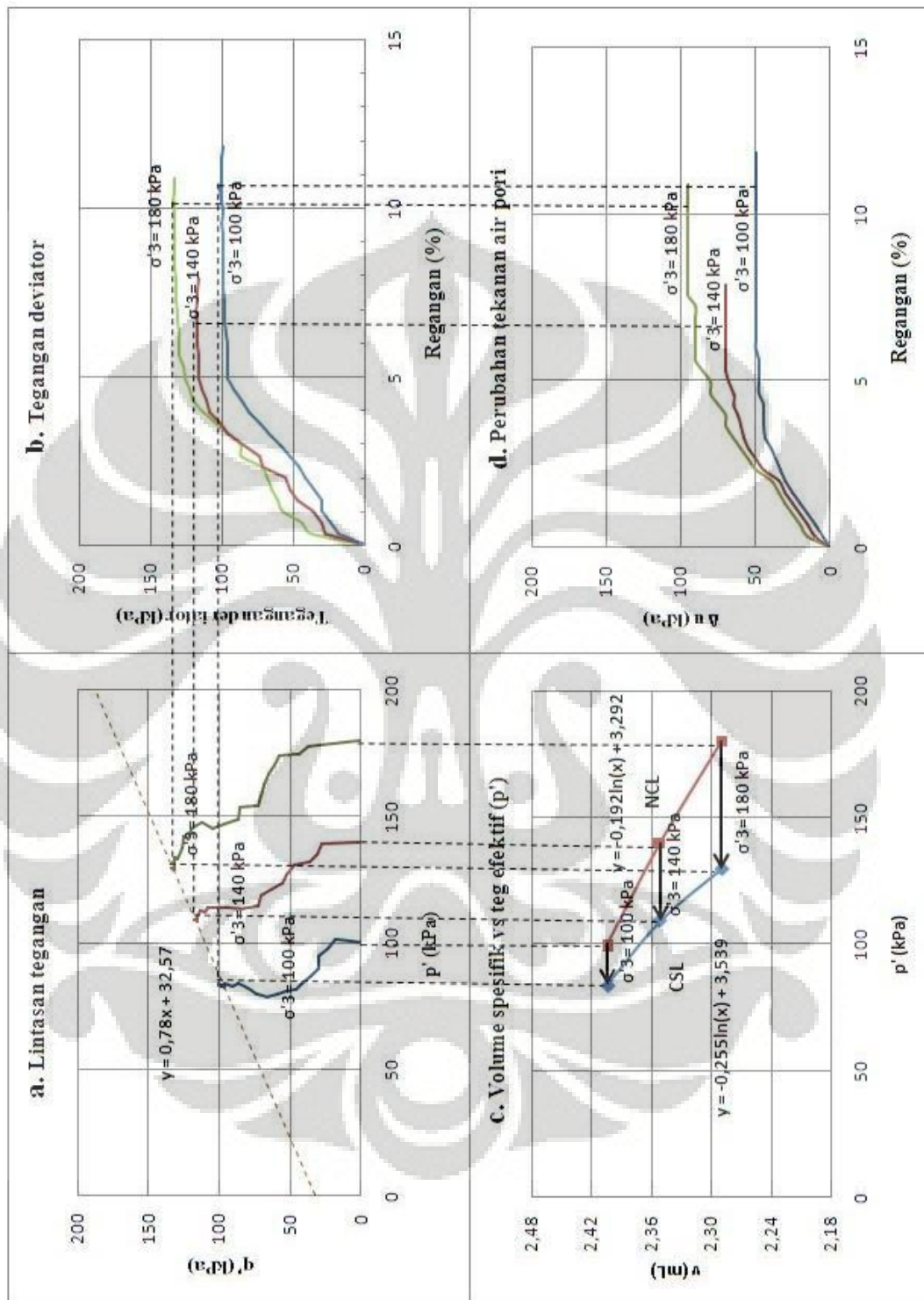
Total perubahan volume disajikan pada Tabel 4.4. Total perubahan volume yang terjadi pada contoh asli berkisar antara 3,6 – 8,7 cm³. Total perubahan volume mengalami peningkatan untuk setiap nilai σ'_3 yang juga meningkat. Hal ini dapat terjadi akibat contoh uji yang mengalami kelebihan tekanan yang lebih besar, akan mendapatkan perubahan volume yang semakin besar pula.

Tabel 4.4 Total perubahan volume pada contoh asli

σ'_3 (kPa)	ΔV (cm ³)
100	3,6
140	5,3
180	8,7

Tahap selanjutnya adalah tahap kompresi, dimana contoh uji diberikan sejumlah gaya aksial. Pembacaan yang dilakukan adalah pembacaan tegangan deviator dan tekanan air pori.

Gambar 4.7 menunjukkan perilaku tegangan deviator dan tekanan air pori saat pengujian disertai lintasan tegangan yang merupakan hasil pengolahan dari data tegangan deviator. Lintasan tegangan (*critical state*) merupakan salah satu cara dalam menampilkan garis-garis yang menghubungkan tegangan pada kondisi kritis pada tanah, sehingga akhirnya dapat pula dicari parameter-parameter kekuatan geser tanah lainnya.



Gambar 4.7 Grafik (a) Lintasan tegangan, (b) tegangan deviator vs regangan, (c) volume spesifik vs p' , dan (d) perubahan tekanan air pori vs regangan pada contoh asli

Gambar 4.7a menunjukkan grafik lintasan antara tegangan p' dengan tegangan q' . Tegangan-tegangan p' dan q' yang telah digambarkan dalam grafik kemudian dibuat sebuah garis yang menghubungkan tegangan-tegangan maksimal. Grafik lintasan tegangan dibentuk oleh tegangan p' pada sumbu x dan tegangan q' pada sumbu y, dimana tegangan p' dan q' dapat dicari dengan menggunakan persamaan (2.11) dan (2.12) yaitu:

$$p' = \frac{1}{3} (\sigma_1 + 2\sigma_3) - \Delta u \quad (2.11)$$

$$q = q' = (\sigma_1 - \sigma_3) \quad (2.12)$$

Lintasan tegangan menunjukkan bahwa contoh uji mengalami perubahan tekanan air pori positif. Hal ini terlihat dari lintasan tegangan p' ke arah kiri, yang menggambarkan bahwa tegangan p' semakin berkurang seiring dengan peningkatan tegangan q' akibat meningkatnya tekanan air pori. Nilai p' dan q' saat kondisi kritis (Tabel 4.5) meningkat seiring dengan meningkatnya nilai tegangan σ'_3 yang diberikan saat konsolidasi.

Tabel 4.5 Parameter p' dan q' saat kondisi kritis untuk contoh asli

σ'_3 (kPa)	p' (kPa)	q' (kPa)
100	83,71	101,14
140	109,30	117,90
180	129,57	133,72

Persamaan garis yang terdapat pada Gambar 4.7a dapat digunakan untuk mendapatkan parameter kekuatan geser efektif yaitu c' dan ϕ' , melalui nilai M yang merupakan nilai kemiringan garis dan q_0 sebagai nilai perkuatan awal tanah. Adanya nilai perkuatan awal pada contoh uji ($q_0 \neq 0$) menandakan bahwa contoh uji adalah lempung terkonsolidasi sedikit berlebihan. Nilai c' dan ϕ' yang terangkum dalam Tabel 4.6 dapat dicari dengan persamaan (Atkinson, dkk, 1982):

$$c' = \left(\frac{3 - \sin \phi'}{6 - \sin \phi'} \right) Q_0 \quad (2.13)$$

$$\phi' = \arcsin \left(\frac{3M}{6+M} \right) \quad (2.14)$$

Tabel 4.6 Parameter kekuatan geser untuk contoh asli

M	q_0 (kPa)	c' (kPa)	ϕ' (°)
0,780	32,57	15,29	20,19

Gambar 4.7b menunjukkan perilaku perubahan tegangan deviator yang semakin meningkat seiring dengan peningkatan regangan yang terjadi. Keruntuhan pada contoh uji ditandai dengan nilai tegangan deviator yang konstan walaupun regangan semakin meningkat. Hal ini dapat terjadi pada contoh uji yang terkonsolidasi normal atau sedikit berlebihan dikarenakan tidak adanya puncak tegangan deviator pada grafik. Kondisi konsolidasi normal atau sedikit berlebihan dapat terjadi dikarenakan tegangan σ'_3 yang digunakan (100 kPa, 140 kPa, 180 kPa) tidak jauh berbeda dengan tegangan prakonsolidasi pembuatan contoh tanah dengan Rowe cell (100 kPa).

Dari Tabel 4.7 diketahui bahwa tidak terdapat korelasi yang jelas antara regangan pada contoh uji terhadap besarnya tegangan σ'_3 yang diberikan. Hal ini terjadi karena pada contoh uji dengan $\sigma'_3 = 140$ kPa, sebelum diberikan tegangan aksial contoh uji mungkin sudah terlebih dahulu tertekan oleh piston beban. Ini menyebabkan pembacaan regangan pada contoh uji menjadi kurang akurat, sehingga saat menarik garis lintasan tegangan contoh dengan $\sigma'_3 = 140$ kPa tidak diikutsertakan. Regangan rata-rata yang terjadi pada contoh asli adalah 9,21 %.

Besarnya nilai σ'_3 yang diberikan berpengaruh terhadap besarnya nilai tegangan deviator yang dihasilkan. Perubahan tegangan deviator berbanding lurus terhadap perubahan tegangan σ'_3 . Contoh uji dengan σ'_3 yang lebih besar, akan lebih mampu menerima gaya aksial yang lebih besar pula, sehingga pembacaan tegangan deviatornya akan lebih tinggi.

Tabel 4.7 Nilai regangan, tegangan deviator dan perubahan tekanan air pori saat kondisi kritis pada contoh asli

σ'_3 (kPa)	Regangan (%)	Regangan rata-rata (%)	Tegangan deviator max (kPa)	ΔU (kPa)
100	10,53	9,21	101,14	50
140	6,91		117,90	70
180	10,20		133,72	95

Data lain yang didapatkan dari tahap kompresi adalah pembacaan tekanan air pori terhadap regangan yang ditunjukkan pada Gambar 4.7d. Perubahan tekanan air pori yang terjadi bernilai positif untuk contoh asli. Perilaku perubahan tekanan air pori yang positif mendukung pernyataan sebelumnya, yaitu contoh

uji mengalami kondisi terkonsolidasi normal atau terkonsolidasi sedikit berlebihan. Pada mulanya tekanan air pori akan mengalami peningkatan, hingga akhirnya nilai tekanan air pori menjadi konstan. Tekanan air pori yang sudah konstan dapat menjadi indikasi bahwa contoh uji telah mengalami keruntuhan.

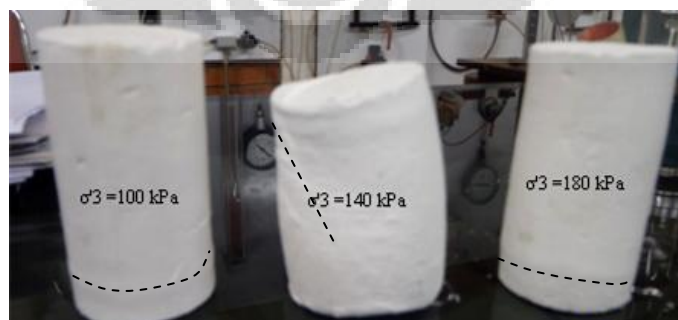
Tabel 4.7 menunjukkan bahwa nilai tekanan air pori yang terjadi akan semakin meningkat seiring dengan terjadinya peningkatan tegangan σ'_3 yang diberikan pada contoh uji. Hal ini dapat terjadi karena pengujian menggunakan drainasi tertutup (Triaksial CU) dimana dengan σ'_3 yang lebih besar, tegangan deviator akan lebih besar sehingga tekanan air pori juga turut meningkat.

Parameter lain yang bisa didapatkan melalui tegangan efektif adalah parameter N , Γ , dan λ . Parameter ini didapatkan dari garis grafik hubungan volume spesifik (v) dengan tegangan efektif (p') pada Gambar 4.7c. Letak garis CSL yang berada di sebelah kiri garis NCL menandakan bahwa terjadi perubahan tekanan air pori positif, sehingga pergerakan tegangan p' lebih condong ke arah sumbu x negatif. Parameter kemiringan dan volume spesifik disajikan oleh Tabel 4.8.

Tabel 4.8 Parameter kemiringan dan volume spesifik contoh asli

λ_{NCL}	N	λ_{CSL}	Γ
-0,192	3,292	-0,255	3,539

Gambar 4.8 menunjukkan pola keruntuhan yang terdapat pada contoh asli, dimana pada contoh uji mengalami pengembangan pada bagian bawah akibat proses kompresi. Pada contoh untuk $\sigma'_3 = 140$ kPa terlihat lebih runtuh dibandingkan dengan contoh yang lain akibat adanya kemungkinan tertekan piston saat pengujian Triaksial CU.



Gambar 4.8 Pola keruntuhan pada contoh asli setelah terkompresi

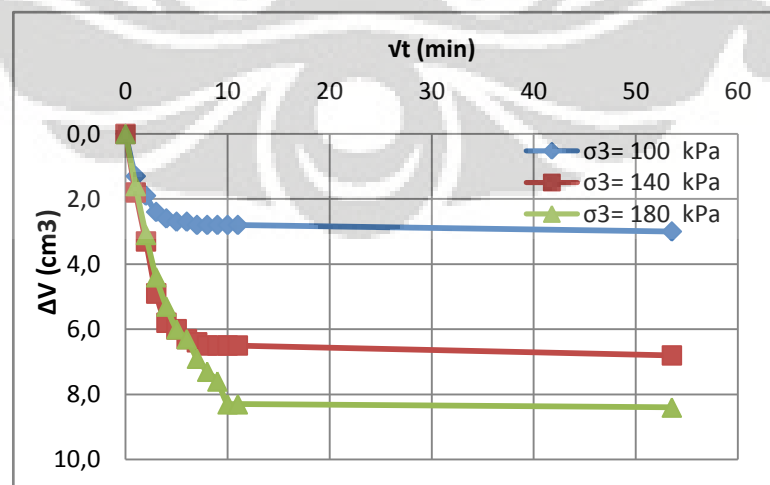
4.5.2 Contoh 7 Hari

Contoh 7 hari merupakan contoh uji dengan kolom semen dan mengalami pemeraman selama 7 hari. Dari data yang terdapat pada Tabel 4.9, diketahui bahwa contoh uji mencapai telah nilai saturasi $B > 0,95$. Pada contoh asli, waktu penjenuhan memerlukan waktu sekitar 1 hari, sedangkan contoh 7 hari membutuhkan waktu 2-3 hari. Hal ini dapat terjadi akibat adanya pengaruh kolom semen di dalam contoh 7 hari yang turut menyerap air, sehingga waktu penjenuhan menjadi lebih lama.

Tabel 4.9 Lama waktu saturasi dan nilai B pada contoh 7 hari

σ'_3 (kPa)	Lama waktu saturasi (hari)	Nilai B
100	2	0,96
140	3	1,00
180	3	1,00

Tahap selanjutnya yaitu konsolidasi dimana dilakukan pembacaan perubahan volume pada contoh uji akibat diberikannya tegangan efektif. Gambar 4.9 menunjukkan perubahan volume pertama kali bergerak cukup drastis, untuk kemudian bergerak konstan yang menandakan bahwa kelebihan tekanan air pori akibat tegangan berlebihan yang diberikan pada contoh uji telah hilang sehingga sudah tidak terjadi lagi pengaliran air pori yang keluar dari contoh uji. Nilai perubahan total volume pada contoh 7 hari disajikan pada Tabel 4.10. Total perubahan volume yang terjadi berkisar antara $3,0 - 8,4 \text{ cm}^3$.



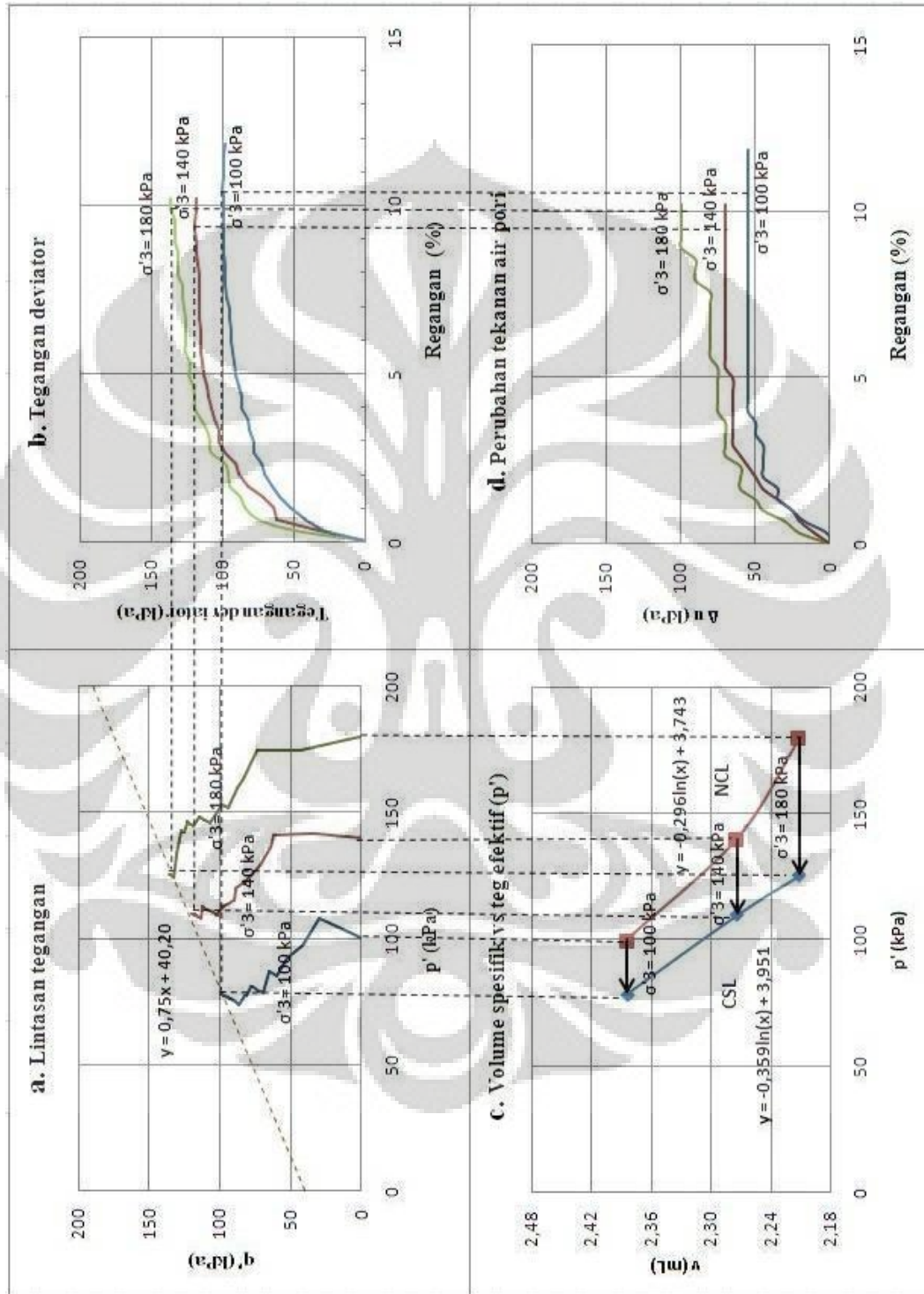
Gambar 4.9 Grafik perubahan volume terhadap waktu pada contoh 7 hari

Tabel 4.10 Total perubahan volume pada contoh 7 hari

σ'_3 (kPa)	ΔV (cm ³)
100	3,0
140	6,8
180	8,4

Tahap terakhir yaitu kompresi yang merupakan tahap dimana contoh uji diberikan sejumlah gaya aksial. Gambar 4.10 menunjukkan perilaku tegangan deviator dan tekanan air pori saat pengujian disertai lintasan tegangan.





Gambar 4.10 Grafik (a) Lintasan tegangan, (b) tegangan deviator vs regangan, (c) volume spesifik vs p' , dan (d) perubahan tekanan air pori vs regangan pada contoh 7 hari

Lintasan tegangan p' dengan q' pada Gambar 4.10a menunjukkan bahwa contoh uji mengalami perubahan tekanan air pori positif, yang menyebabkan tegangan p' bergerak ke arah kiri. Nilai p' dan q' pada saat kondisi kritis disajikan pada Tabel 4.11.

Tabel 4.11 Parameter p' dan q' saat kondisi kritis untuk contoh 7 hari

σ'_3 (kPa)	p' (kPa)	q' (kPa)
100	78,34	100,03
140	109,87	119,61
180	125,48	136,45

Persamaan garis yang terdapat pada Gambar 4.9a dapat digunakan untuk mendapatkan parameter kekuatan geser efektif yaitu c' dan ϕ' . Parameter kekuatan geser pada contoh 7 hari yang disajikan pada Tabel 4.12 menunjukkan bahwa parameter kekuatan geser pada contoh uji masih belum begitu baik terlihat dari nilai kohesi dan sudut geser yang tidak begitu besar. Adanya perkuatan awal ($q_0 \neq 0$) pada contoh uji menunjukkan bahwa contoh adalah tanah terkonsolidasi sedikit berlebihan.

Tabel 4.12 Parameter kekuatan geser untuk contoh 7 hari

M	q_0 (kPa)	c' (kPa)	ϕ' ($^\circ$)
0,750	40,20	18,92	19,47

Dari grafik tegangan deviator terhadap regangan pada Gambar 4.10b, diketahui bahwa contoh uji terkonsolidasi normal atau sedikit berlebihan, dikarenakan tidak adanya puncak pada tegangan deviator saat contoh mulai mengalami keruntuhan. Tabel 4.13 menunjukkan besarnya regangan rata-rata yang terjadi saat kondisi kritis pada contoh 7 hari yaitu sebesar 9,98%.

Tabel 4.13 Nilai regangan, tegangan deviator dan perubahan tekanan air pori saat kondisi kritis pada contoh 7 hari

σ'_3 (kPa)	Regangan (%)	Regangan rata-rata (%)	Tegangan deviator max (kPa)	ΔU (kPa)
100	10,53	9,98	100,03	55
140	9,54		119,61	70
180	9,87		136,45	100

Selanjutnya adalah mengenai pembacaan tekanan air pori saat contoh uji terkompresi. Grafik perubahan tekanan air pori dengan regangan untuk contoh 7

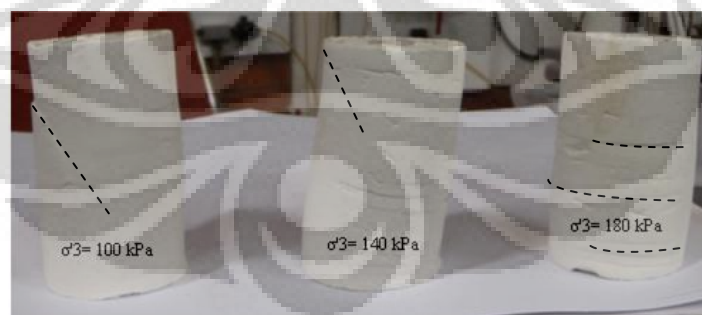
hari ditunjukkan pada Gambar 4.10d. Tekanan air pori cenderung bernilai konstan pada saat contoh uji mengalami keruntuhan. Hal ini dikarenakan contoh uji tidak sanggup lagi menahan tegangan yang bekerja sehingga akan timbul retakan pada tanah yang menyebabkan air dapat masuk ke dalam pori-pori tanah sehingga perubahan tekanan air pori menjadi konstan.

Pada Tabel 4.13, diketahui bahwa perubahan tekanan air pori akan semakin meningkat seiring dengan meningkatnya tegangan σ'_3 yang diberikan pada contoh uji. Perubahan tekanan air pori yang terjadi pada contoh 7 hari bernilai positif hingga contoh uji mengalami keruntuhan. Perubahan tekanan air pori yang positif menandakan contoh uji adalah tanah terkonsolidasi normal atau sedikit berlebihan.

Gambar 4.10c merupakan grafik volume spesifik vs tegangan efektif yang menunjukkan bahwa contoh uji mengalami perubahan tekanan pori positif akibat letak garis CSL yang berada disebelah kiri garis NCL. Parameter kemiringan dan volume spesifik pada Tabel 4.14 menunjukkan bahwa perbedaan kemiringan antara NCL dan CSL yang tidak terlalu berbeda jauh, terlihat dari rentang nilai λ antara NCL ($\lambda_{NCL}=-0,296$) dan CSL ($\lambda_{CSL}=-0,359$) yaitu sebesar 0,063.

Tabel 4.14 Parameter kemiringan dan volume spesifik contoh 7 hari

λ_{NCL}	N	λ_{CSL}	Γ
-0,296	3,743	-0,359	3,951



Gambar 4.11 Pola keruntuhan pada contoh 7 hari setelah terkompresi

Gambar 4.11 adalah pola keruntuhan yang terjadi pada contoh uji, dimana pola yang terjadi adalah pengembangan dan geser.

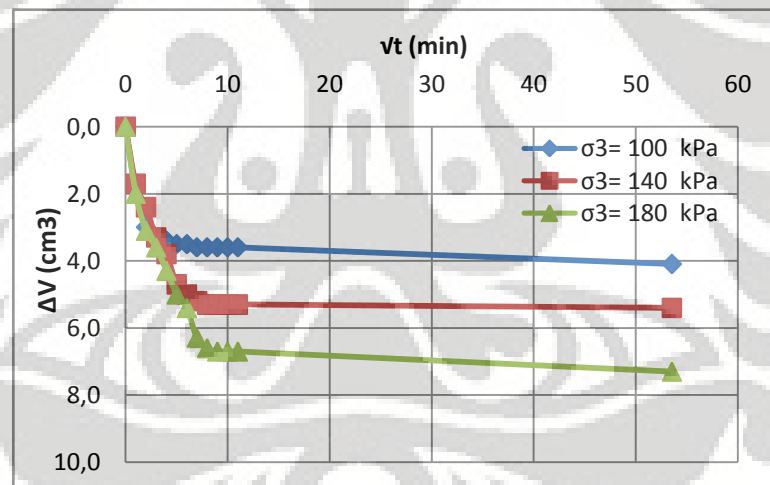
4.5.3 Contoh 14 Hari

Contoh 14 hari adalah contoh uji yang telah diberikan kolom semen dan dilakukan pemeraman selama 14 hari. Nilai B pada Tabel 4.15 menunjukkan bahwa contoh 14 hari telah mencapai saturasi sempurna ($B=1,00$) untuk setiap nilai σ'_3 , sehingga dapat dilanjutkan ke tahap selanjutnya, yaitu tahap konsolidasi.

Tabel 4.15 Lama waktu saturasi dan nilai B pada contoh 14 hari

σ'_3 (kPa)	Lama waktu saturasi (hari)	Nilai B
100	2	1,00
140	2	1,00
180	2	1,00

Gambar 4.12 menunjukkan perubahan volume pada contoh uji pada tahap konsolidasi. Perubahan volume pada awalnya bergerak drastis, untuk kemudian bergerak konstan terhadap waktu, yang menandakan bahwa sudah tidak terjadi lagi pengaliran air pori pada contoh uji.



Gambar 4.12 Grafik perubahan volume terhadap waktu pada contoh 14 hari

Tabel 4.16 Total perubahan volume pada contoh 14 hari

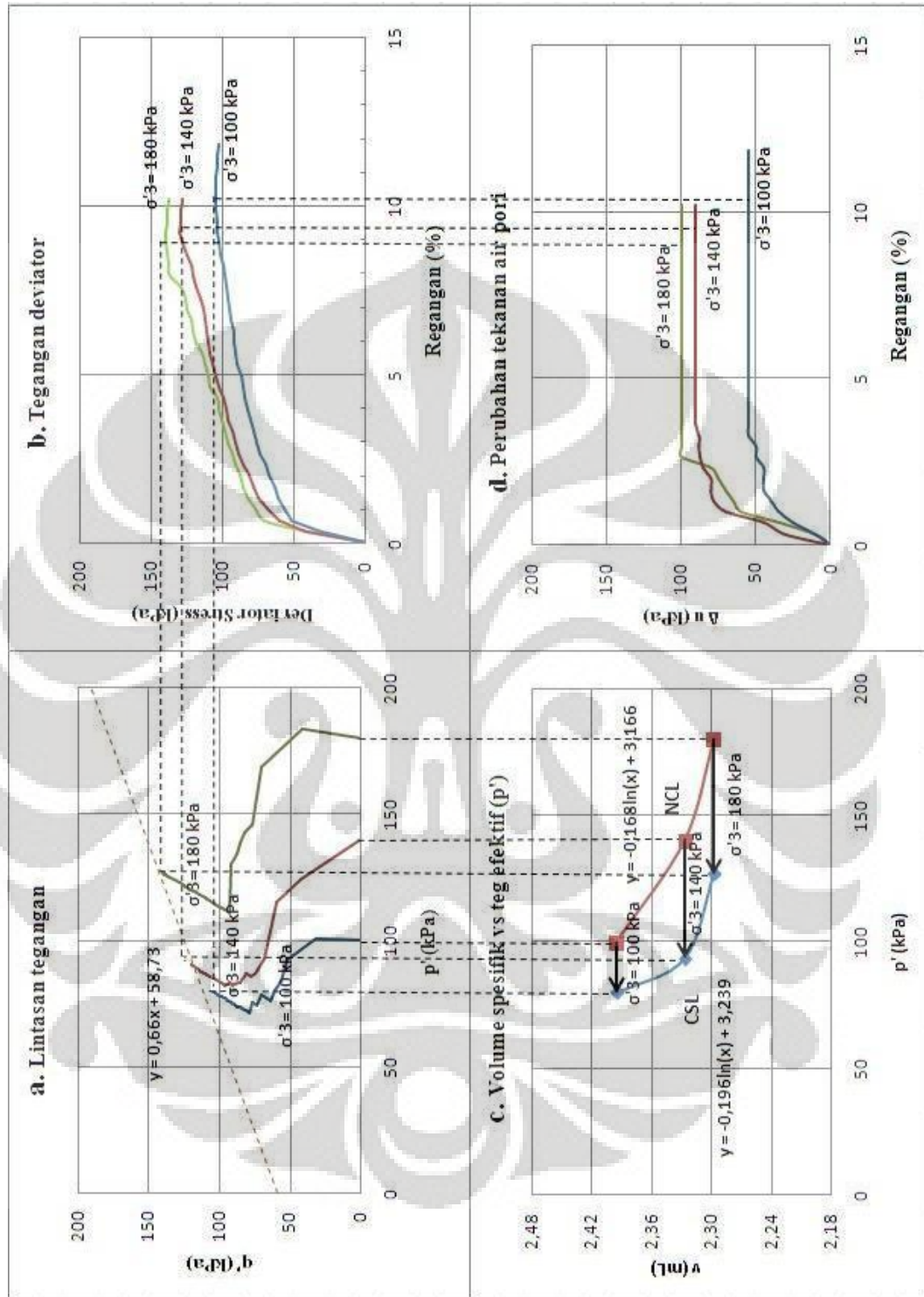
σ'_3 (kPa)	ΔV (cm ³)
100	4,1
140	5,4
180	7,3

Tabel 4.16 menunjukkan total perubahan volume pada contoh 14 hari. Total perubahan volume yang terjadi pada contoh 14 hari berkisar antara 4,1 – 7,3

cm³. Besarnya perubahan volume dipengaruhi oleh besarnya nilai σ'_3 yang diberikan, dimana dengan tegangan yang lebih besar maka contoh uji akan terkompresi lebih kuat lagi sehingga perubahan volume yang terjadi akan lebih besar.

Grafik mengenai lintasan tegangan, tegangan deviator, tekanan air pori, serta volume spesifik ditunjukkan pada Gambar 4.13.





Gambar 4.13 Grafik (a) Lintasan tegangan, (b) tegangan deviator vs regangan, (c) volume spesifik vs p' , dan (d) perubahan tekanan air pori vs regangan pada contoh 14 hari

Grafik lintasan yang menunjukkan hubungan tegangan p' dengan q' ditunjukkan pada Gambar 4.13a. Lintasan tegangan bergerak mengarah ke sumbu- x negatif, lalu bergerak ke arah sumbu- x positif hingga terjadi keruntuhan. Hal ini menunjukkan bahwa pada saat tegangan masih diberikan, tegangan efektif akan semakin berkurang kemudian akan semakin bertambah ketika mendekati keruntuhan. Lintasan tegangan yang bergerak ke sumbu- x negatif menandakan bahwa contoh uji terkonsolidasi normal atau sedikit berlebihan.

Nilai-nilai p' dan q' pada saat kondisi kritis disajikan pada Tabel 4.17. Nilai p' dan q' pada contoh uji akan meningkat seiring dengan meningkatnya nilai tegangan σ'_3 yang diberikan.

Tabel 4.17 Parameter p' dan q' saat kondisi kritis untuk contoh 14 hari

σ'_3 (kPa)	p' (kPa)	q' (kPa)
100	79,95	104,84
140	93,19	129,56
180	126,54	139,62

Parameter kekuatan geser dari contoh 14 hari didapatkan dengan menggunakan persamaan pada Gambar 4.11a. Parameter kekuatan geser disajikan pada Tabel 4.18. Nilai kohesi pada contoh uji sudah cukup baik yaitu 27,83 kPa; walaupun nilai sudut geser tanah hanya sebesar 17,30°. Nilai perkuatan awal ($q_0 \neq 0$) pada contoh 14 hari menandakan bahwa contoh uji merupakan tanah yang terkonsolidasi sedikit berlebihan.

Tabel 4.18 Parameter kekuatan geser untuk contoh 14 hari

M	q_0 (kPa)	c' (kPa)	θ' (°)
0,660	58,73	27,83	17,30

Grafik tegangan deviator dengan regangan ditunjukkan oleh Gambar 4.13b. Contoh 14 hari adalah tanah yang mengalami konsolidasi normal atau sedikit berlebihan. Hal ini terlihat dengan tegangan deviator yang bergerak cenderung konstan terhadap regangan pada saat terjadinya keruntuhan (kondisi kritis) pada contoh uji. Tabel 4.19 menunjukkan bahwa pada contoh uji dengan σ'_3 yang lebih besar maka regangan yang terjadi akan semakin kecil, diakibatkan contoh uji sudah lebih teguh menerima tegangan sehingga keruntuhan yang terjadi akan lebih cepat. Regangan rata-rata saat kondisi kritis pada contoh 14 hari adalah

9,43%. Regangan ini lebih besar dari contoh 7 hari yaitu 9,98%. Ini mengindikasikan bahwa contoh 14 hari lebih teguh dibandingkan dengan contoh 7 hari. Peningkatan pada tegangan deviator maksimal terjadi seiring dengan meningkatnya tegangan σ'_3 .

Tabel 4.19 Nilai regangan, tegangan deviator dan perubahan tekanan air pori saat kondisi kritis pada contoh 14 hari

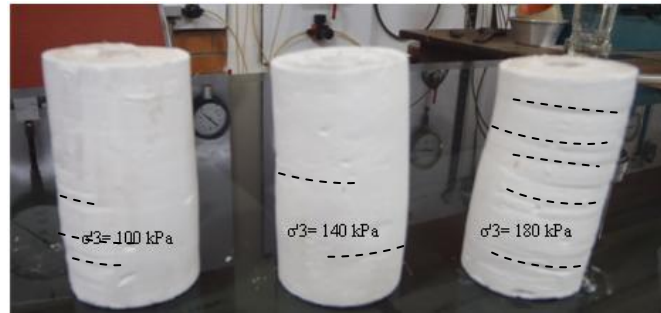
σ'_3 (kPa)	Regangan (%)	Regangan rata-rata (%)	Tegangan deviator max (kPa)	ΔU (kPa)
100	10,2	9,43	104,84	55
140	9,21		129,56	90
180	8,88		139,62	100

Grafik perubahan tekanan air pori dengan regangan ditunjukkan pada Gambar 4.13d. Perubahan tekanan air pori yang terjadi selalu positif tanpa disertai adanya penurunan tekanan air pori. Menjelang keruntuhan pada contoh uji, perubahan tekanan pori akan konstan akibat adanya sebagian air pori yang mulai masuk ke dalam retakan contoh uji. Besarnya perubahan tekanan pori saat kondisi kritis dapat dilihat pada Tabel 4.19. Rentang perubahan tekanan air pori yang terjadi berkisar antara 55-100 kPa. Perubahan tekanan air pori yang positif menandakan bahwa contoh uji adalah tanah terkonsolidasi normal atau terkonsolidasi sedikit berlebihan.

Gambar 4.13c menunjukkan bahwa letak garis CSL berada disebelah kiri garis NCL. Kondisi ini dapat terjadi pada contoh uji mengalami perubahan tekanan pori positif. Tabel 4.20 menyajikan nilai parameter kemiringan dan volume spesifik contoh 14 hari. Perbedaan kemiringan antara NCL dan CSL adalah sebesar 0,028; dengan $\lambda_{NCL}=-0,168$ dan $\lambda_{CSL}=-0,196$.

Tabel 4.20 Parameter kemiringan dan volume spesifik contoh 14 hari

λ_{NCL}	N	λ_{CSL}	Γ
-0,168	3,165	-0,196	3,238



Gambar 4.14 Pola keruntuhan pada contoh 14 hari setelah terkompresi

Gambar 4.14 menunjukkan pola keruntuhan pada contoh 14 hari, dimana pola yang terjadi adalah gembung dan geser yang tidak begitu jelas.

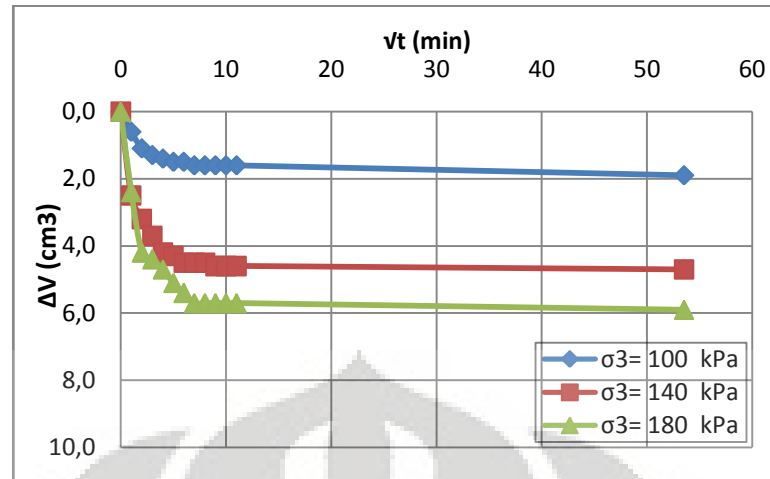
4.5.4 Contoh 21 Hari

Contoh 21 hari merupakan contoh uji yang telah diberikan kolom semen dan dilakukan pemeraman selama 21 hari. Pada Tabel 4.21, diketahui bahwa derajat kejenuhan pada contoh uji telah memenuhi kriteria nilai B yang ditetapkan ($B > 0,95$), sehingga contoh uji sudah dapat dikatakan jenuh. Waktu bagi contoh 21 hari untuk mencapai nilai $B > 0,95$ adalah sekitar 2 hingga 3 hari, lebih lama dibandingkan contoh lainnya. Hal ini dapat diakibatkan oleh pengaruh lama pemeraman kolom semen, dimana semakin lama semen diperam maka air yang terserap akan lebih banyak sehingga proses penjenuhan akan membutuhkan waktu yang lebih lama.

Tabel 4.21 Lama waktu saturasi dan nilai B pada contoh 21 hari

σ'_3 (kPa)	Lama waktu saturasi (hari)	Nilai B
100	3	1,00
140	3	1,00
180	2	0,96

Gambar 4.15 menunjukkan bahwa perubahan volume pertama kali bergerak cukup drastis, untuk kemudian bergerak konstan yang berarti sudah tidak terdapat lagi kelebihan tekanan air pori. Kelebihan tekanan air pori terjadi akibat adanya tegangan berlebih yang diterima oleh contoh uji.



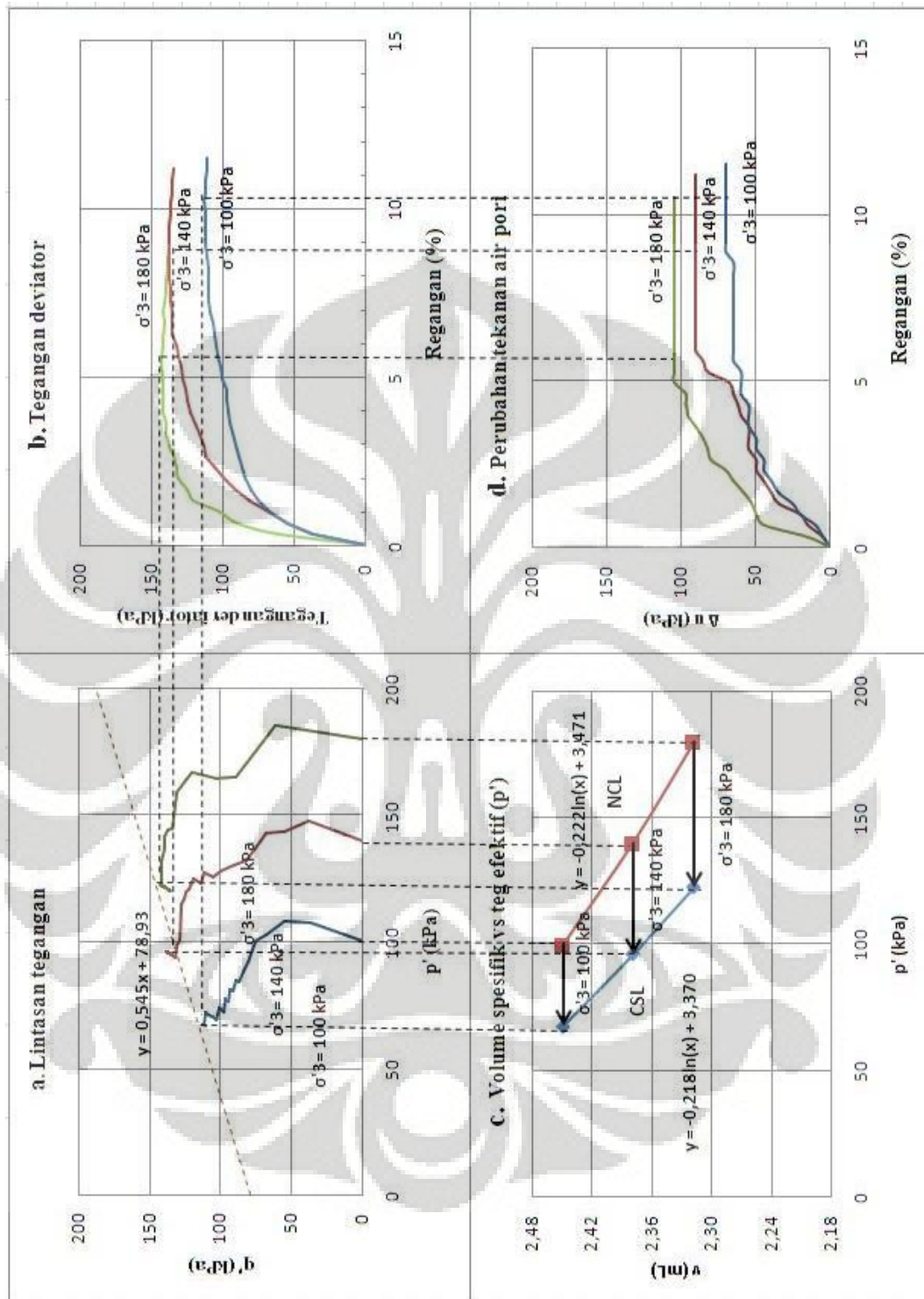
Gambar 4.15 Grafik perubahan volume terhadap waktu pada contoh 21 hari

Tabel 4.22 Total perubahan volume pada contoh 21 hari

σ'_3 (kPa)	ΔV (cm ³)
100	1,9
140	4,7
180	5,9

Tabel 4.22 menunjukkan bahwa total perubahan volume pada contoh 21 hari mengalami peningkatan untuk setiap nilai σ'_3 yang juga meningkat. Hal ini dapat terjadi akibat contoh uji yang mengalami kelebihan tekanan yang lebih besar, akan mendapatkan perubahan volume yang semakin besar pula. Perubahan volume yang terjadi pada contoh 21 hari berkisar antara 1,9-5,9 cm³.

Lintasan tegangan pada contoh 21 hari, beserta grafik tegangan deviator dan tekanan air pori terhadap regangan, serta volume spesifik ditampilkan pada Gambar 4.16.



Gambar 4.16 Grafik (a) Lintasan tegangan, (b) tegangan deviator vs regangan, (c) volume spesifik vs p' , dan (d) perubahan tekanan air pori vs regangan pada contoh 21 hari

Gambar 4.16a menunjukkan bahwa lintasan tegangan bergerak ke arah sumbu-x positif, lalu bergerak ke arah sumbu-x negatif, sampai akhirnya contoh uji mengalami keruntuhan. Hal ini menunjukkan bahwa saat diberikan tegangan, tegangan efektif tanah mulanya akan meningkat untuk kemudian berangsur-angsur berkurang yang menandakan bahwa contoh uji mulai mengalami keruntuhan. Nilai p' dan q' pada saat kondisi kritis disajikan pada Tabel 4.23. Nilai p' dan q' pada contoh uji meningkat seiring dengan meningkatnya nilai tegangan σ'_3 yang diberikan saat konsolidasi.

Tabel 4.23 Parameter p' dan q' saat kondisi kritis untuk contoh 21 hari

σ'_3 (kPa)	p' (kPa)	q' (kPa)
100	67,53	112,59
140	95,97	137,91
180	122,44	142,32

Contoh uji adalah tanah terkonsolidasi sedikit berlebihan, terlihat dengan adanya nilai perkuatan awal (q_0) pada Tabel 4.24. Nilai kohesi pada contoh 21 hari dapat dikatakan baik, dengan nilai sebesar 37,75 kPa; walaupun nilai sudut geser tergolong rendah yaitu sebesar $14,47^\circ$.

Tabel 4.24 Parameter kekuatan geser untuk contoh 21 hari

M	q_0 (kPa)	c' (kPa)	ϕ' ($^\circ$)
0,545	78,93	37,75	14,47

Grafik 4.16b menunjukkan bahwa contoh 21 hari adalah tanah terkonsolidasi normal atau terkonsolidasi sedikit berlebihan, dikarenakan tidak adanya puncak pada tegangan deviator maksimal saat kondisi kritis. Besarnya tegangan deviator maksimal terhadap regangan pada contoh uji ditunjukkan pada Tabel 4.25. Nilai tegangan deviator untuk $\sigma'_3=180$ kPa tidak jauh berbeda dengan nilai tegangan deviator untuk $\sigma'_3=140$ kPa sehingga tidak diikutsertakan dalam menarik garis lintasan tegangan maksimal.

Regangan rata-rata yang terjadi saat kondisi kritis adalah 8,22%. Nilai regangan pada contoh 21 hari ini lebih kecil bila dibandingkan dengan regangan rata-rata untuk contoh 14 hari (9,43%), dengan tegangan deviator maksimal yang lebih besar dari contoh 14 hari. Hal ini menunjukkan bahwa contoh 21 hari mengalami peningkatan keteguhan dibandingkan dengan contoh 14 hari, sehingga

keruntuhan akan terjadi lebih cepat. Contoh uji dengan tegangan σ'_3 yang lebih besar, akan mengalami nilai tegangan deviator yang lebih besar. Hal ini disebabkan pada contoh uji yang lebih teguh, tegangan yang dapat diterima akan menjadi lebih besar. Tegangan deviator maksimal yang terjadi berkisar antara 112,59-142,32 kPa.

Tabel 4.25 Nilai regangan, tegangan deviator dan perubahan tekanan air pori saat kondisi kritis pada contoh 21 hari

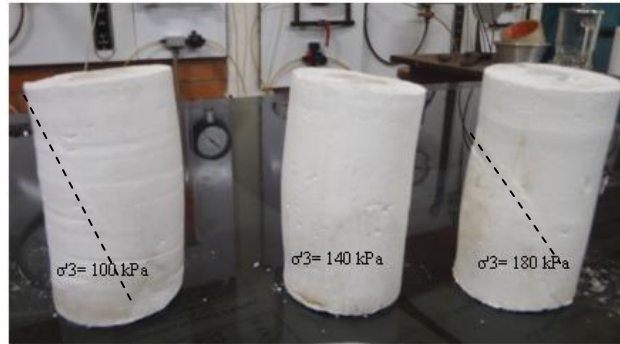
σ'_3 (kPa)	Regangan (%)	Regangan rata-rata (%)	Tegangan deviator max (kPa)	ΔU (kPa)
100	10,2	8,22	112,59	50
140	8,88		137,91	70
180	5,59		142,32	95

Grafik perubahan tekanan air pori dengan regangan pada contoh uji ditunjukkan pada Gambar 4.16d. Tekanan air pori bergerak naik seiring peningkatan regangan yang terjadi, untuk kemudian menjadi konstan pada saat contoh uji mengalami keruntuhan. Pada kondisi drainasi tidak diijinkan, air pori tidak diperbolehkan mengalir keluar sehingga tegangan yang diterima tanah akan ikut dipikul oleh air pori. Hal ini dapat terlihat dari Gambar 4.13d dimana pergerakan air pori semakin bergerak naik lalu konstan hingga keruntuhan terjadi. Nilai perubahan tekanan air pori saat kondisi kritis terdapat pada Tabel 4.25. Perubahan tekanan air pori yang terjadi bernilai positif. Perubahan tekanan air pori yang positif menandakan contoh uji adalah tanah terkonsolidasi normal atau sedikit berlebihan.

Pada Gambar 4.16c, dapat terlihat bahwa letak garis CSL berada disebelah kiri garis NCL. Hal ini menandakan bahwa perubahan tekanan air pori bernilai positif. Perubahan tekanan air pori positif dapat terjadi pada contoh uji yang terkonsolidasi normal atau sedikit berlebihan. Parameter kemiringan dan volume spesifik disajikan pada Tabel 4.26, dimana kemiringan antara garis CSL (-0,205) dan NCL (-0,221) memiliki perbedaan sebesar 0,016.

Tabel 4.26 Parameter kemiringan dan volume spesifik contoh 21 hari

λ_{NCL}	N	λ_{CSL}	Γ
-0,221	3,470	-0,205	3,316

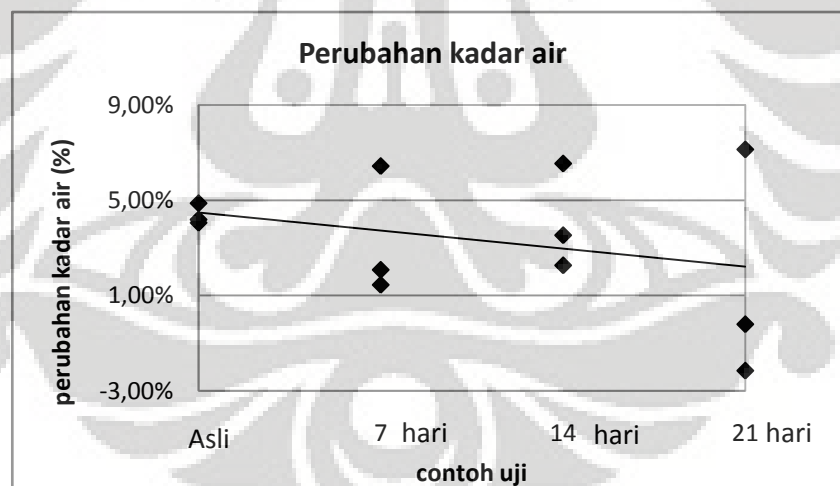


Gambar 4.17 Pola keruntuhan pada contoh 21 hari setelah terkompresi

Gambar 4.17 menunjukkan pola keruntuhan pada contoh 21 hari, dimana pola yang terjadi adalah gembung dan geser pada bagian bawah dan samping contoh uji.

4.6 Analisis Pengaruh Kolom Semen dan Lama Pemeraman Pada Contoh Uji Triaksial CU

4.6.1 Analisis pengaruh kolom semen dan lama pemeraman terhadap kadar air contoh uji



Gambar 4.18 Perubahan kadar air akibat adanya kolom semen dalam contoh uji

Pengukuran kadar air dilakukan untuk menganalisis mengenai adanya kemungkinan terserapnya sebagian air pada contoh uji dengan kolom semen terutama pada saat proses pengujian Triaksial. Gambar 4.18 menunjukkan grafik perubahan nilai kadar air pada saat sebelum dan setelah pengujian Triaksial. Nilai kadar air secara lengkap disajikan pada Tabel 4.27.

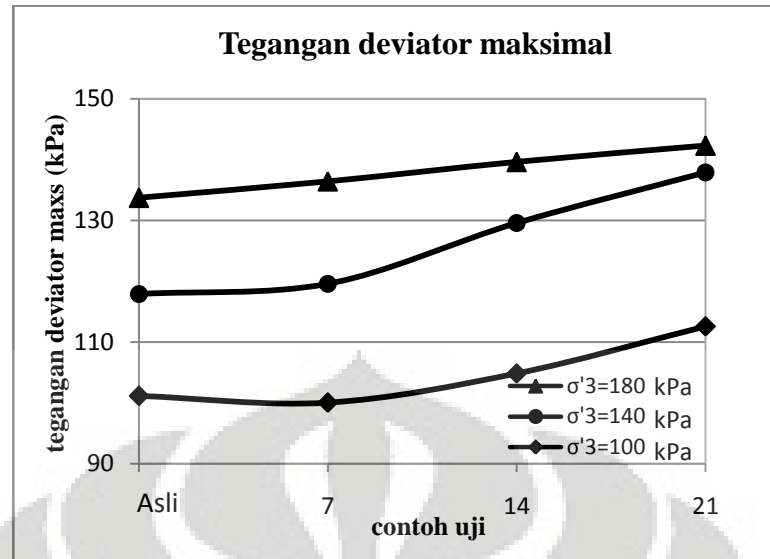
Tabel 4.27 Pengukuran kadar air sebelum dan setelah pengujian Triaksial CU
 Nilai positif (+) menandakan terjadinya penurunan kadar air
 Nilai minus (-) menandakan terjadinya kenaikan kadar air

contoh	σ_3 (Kpa)	kadar air		% perubahan kadar air
		sebelum	setelah	
asli	100	56,83%	52,64%	4,19%
	140	56,52%	51,64%	4,88%
	180	56,24%	52,18%	4,06%
7 hari	100	54,97%	53,51%	1,46%
	140	57,08%	54,99%	2,09%
	180	56,50%	50,06%	6,44%
14 hari	100	57,28%	53,74%	3,54%
	140	55,31%	53,04%	2,27%
	180	57,40%	50,85%	6,55%
21 hari	100	54,61%	54,81%	-0,20%
	140	55,62%	48,49%	7,13%
	180	53,74%	55,89%	-2,15%

4.6.2 Analisis pengaruh kolom semen dan lama pemeraman terhadap tegangan deviator dan tekanan air pori saat kondisi kritis

Peningkatan nilai tegangan deviator menunjukkan bahwa terjadi peningkatan tegangan maksimum yang mampu diterima oleh contoh uji dengan kolom semen dibandingkan dengan contoh asli. Semakin lama waktu pemeraman dilakukan, maka tegangan deviator maksimal akan semakin meningkat.

Nilai perubahan tegangan deviator secara lengkap ditampilkan pada Tabel 4.28 yang menunjukkan bahwa terjadi peningkatan tegangan deviator pada contoh uji dengan kolom semen terhadap contoh asli, walaupun peningkatan yang terjadi tidak terlalu signifikan. Peningkatan terbesar terdapat pada contoh 21 hari. Gambar 4.19 menunjukkan perubahan tegangan deviator pada contoh uji.



Gambar 4.19 Grafik peningkatan tegangan deviator maksimal pada contoh uji

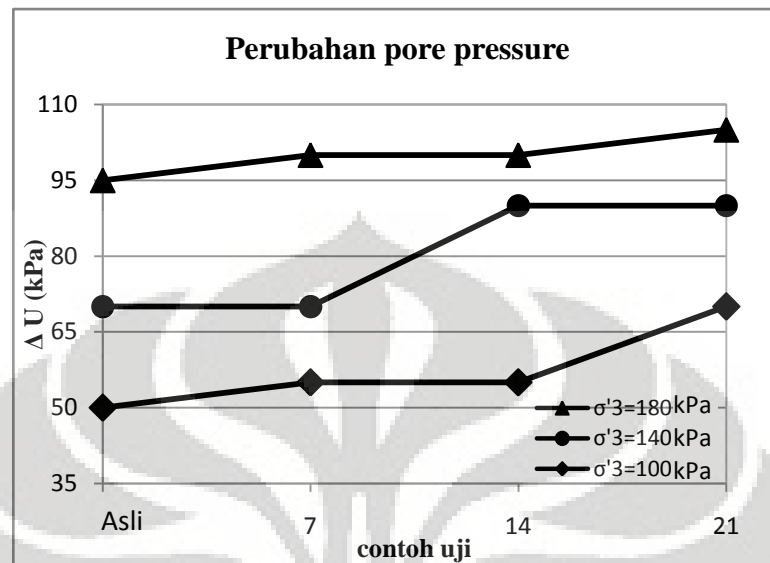
Tabel 4.28 Tegangan deviator dan tekanan air pori pada contoh uji saat kondisi kritis

contoh	σ'_3 (kPa)	ϵ (%)	q' (kPa)	q' rata-rata (kPa)	ΔU (kPa)	ΔU rata-rata (kPa)
asli	100,0	10,53	101,140	117,59	50	71,67
	140,0	6,91	119,605		70	
	180,0	10,20	139,622		95	
7	100,0	10,53	117,896	118,69	55	75,00
	140,0	9,54	136,449		70	
	180,0	9,87	112,592		100	
14	100,0	10,20	133,725	124,68	55	81,67
	140,0	9,21	104,844		90	
	180,0	8,88	137,906		100	
21	100,0	10,20	100,030	130,94	70	88,33
	140,0	8,88	129,563		90	
	180,0	5,59	142,315		105	

Perubahan tekanan air pori (ΔU) pada contoh uji saat kondisi kritis semakin meningkat dengan diberikannya kolom semen pada contoh uji. Tabel 4.28 menunjukkan bahwa peningkatan ΔU juga dapat terjadi pada contoh dengan kolom semen dengan waktu pemeraman yang lebih lama.

Pada pengujian Triaksial yang menggunakan drainasi tertutup (Triaksial CU), apabila kemampuan tanah dalam menahan tegangan lebih besar, maka tekanan air pori yang terjadi juga turut meningkat. Perubahan tekanan air pori terkecil hingga terbesar terhadap contoh asli terjadi pada contoh 7 hari, diikuti

contoh 14 hari, lalu contoh 21 hari. Grafik pada Gambar 4.20 menunjukkan bahwa kenaikan ΔU yang terjadi antara contoh uji untuk setiap tegangan σ'_3 .



Gambar 4.20 Peningkatan perubahan tekanan air pori pada contoh uji

4.6.3 Analisis pengaruh kolom semen dan lamanya waktu pemeraman terhadap parameter kekuatan geser tanah kaolin

Pengaruh adanya cairan semen yang membentuk kolom dalam contoh uji dan lamanya pemeraman terhadap parameter kekuatan geser dirangkum pada Tabel 4.29. Nilai M mengalami penurunan dan nilai q_0 mengalami kenaikan. Penurunan nilai M mempengaruhi besarnya nilai sudut geser yang dihasilkan, dimana dengan nilai yang semakin menurun maka garis yang terjadi akan semakin landai sehingga sudut geser semakin menurun.

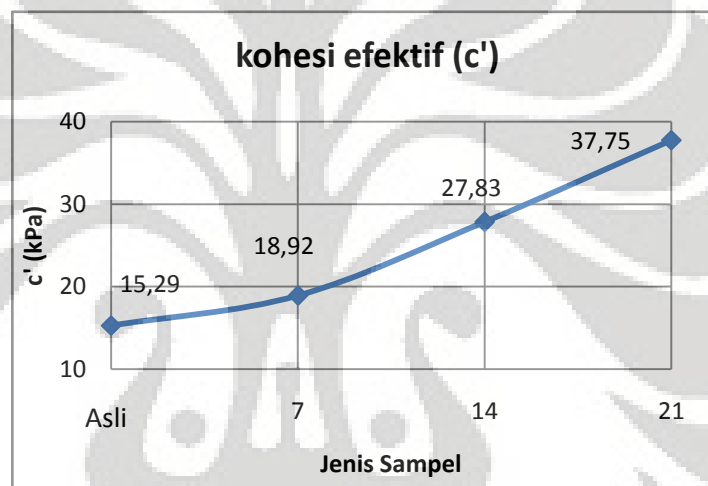
Tabel 4.29 Parameter kekuatan geser contoh uji

Contoh	M	q_0 (kPa)	c' (kPa)	ϕ' ($^\circ$)
Asli	0,78	32,57	15,29	20,19
7	0,75	40,2	18,92	19,47
14	0,66	58,73	27,83	17,30
21	0,545	78,93	37,75	14,47

Parameter c (kohesi) dan ϕ (sudut geser) merupakan parameter yang biasa digunakan untuk menunjukkan kekuatan geser tanah. Gambar 4.21 menunjukkan bahwa nilai kohesi efektif mengalami peningkatan pada contoh uji dengan kolom

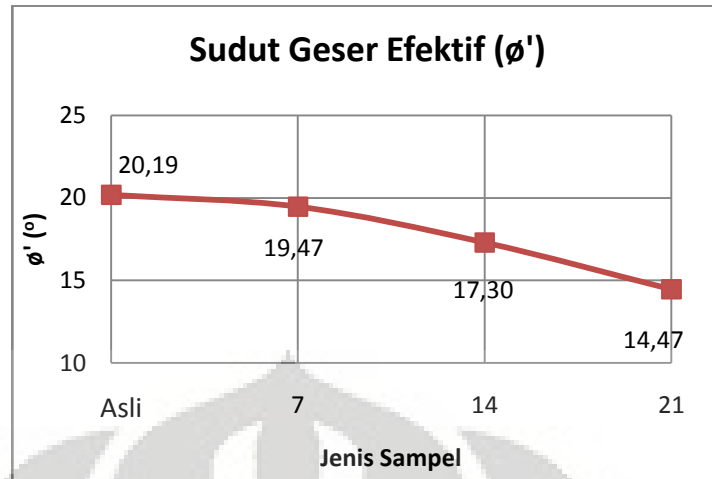
semen dibandingkan dengan contoh asli. Waktu pemeraman semen yang lebih lama ternyata juga berperan meningkatkan nilai kohesi pada contoh uji.

Kohesi merupakan sifat tarik-menarik antara partikel tanah yang dipengaruhi oleh kerapatan dan jarak antar partikel tanah. Peningkatan nilai kohesi dapat terjadi akibat semakin lama waktu pemeraman kolom semen pada contoh uji, maka akan didapatkan semen yang semakin keras dan padat sehingga akan terkondisikan seperti meningkatnya lekatan antar butiran. Urutan contoh uji dengan nilai kohesi terendah hingga tertinggi yaitu pada contoh asli (15,29 kPa); contoh 7 hari (18,92 kPa); contoh 14 hari (27,83 kPa); dan nilai kohesi terbesar terdapat pada contoh 21 hari (37,75 kPa).



Gambar 4.21 Grafik peningkatan nilai kohesi efektif (c') pada contoh uji

Pengaruh kolom semen dan lama pemeraman terhadap perubahan nilai kohesi pada contoh uji ternyata berbanding terbalik dengan perubahan nilai sudut geser efektifnya, seperti pada Gambar 4.22. Sudut geser tanah terbentuk dikarenakan adanya gesekan antar butiran tanah. Menurunnya nilai sudut geser dapat terjadi akibat diberikannya kolom semen pada contoh uji yang menyebabkan contoh uji lebih kaku dibandingkan contoh asli. Meningkatnya kekakuan dapat mengurangi pergerakan butiran tanah saat diberikan tegangan aksial, sehingga timbulnya gesekan antar butiran menjadi berkurang.



Gambar 4.22 Grafik penurunan nilai sudut geser efektif (ϕ') pada contoh uji

Nilai sudut geser pada contoh uji ternyata mengalami penurunan pada contoh uji dengan kolom semen. Semakin lama waktu pemeraman, nilai sudut geser juga akan semakin menurun dibandingkan dengan contoh asli. Contoh uji dengan nilai sudut geser terbesar terdapat pada contoh asli ($20,19^\circ$) diikuti contoh 7 hari ($19,47^\circ$); contoh 14 hari ($17,3^\circ$); dan contoh 21 hari ($14,47^\circ$).

Meningkatnya nilai kohesi dan turunnya nilai sudut geser menimbulkan pertanyaan baru, mengenai seberapa besarnya peningkatan kekuatan geser (τ) dari contoh dengan kolom semen dibandingkan dengan contoh asli. Karena telah dijelaskan sebelumnya, bahwa kekuatan geser dipengaruhi tidak hanya oleh kohesi namun juga oleh sudut geser. Untuk itu, perlu diperhitungkan pula kekuatan geser dari masing-masing contoh uji dimana nilai kohesi dan sudut geser berperan didalamnya. Perhitungan kekuatan geser menggunakan persamaan (2.3):

$$\tau_f = c' + \sigma_f' \tan \phi' \quad (2.3)$$

Tabel 4.30 menunjukkan bahwa kekuatan geser meningkat pada contoh dengan kolom semen dengan waktu pemeraman yang lebih lama. Kekuatan geser tertinggi berada pada contoh 21 hari, dimana peningkatan yang terjadi adalah 6,93% terhadap contoh asli. Peningkatan kekuatan geser yang tidak terlalu tinggi terhadap contoh asli dapat disebabkan oleh penurunan sudut geser yang cukup besar terhadap contoh asli.

Tabel 4.30 Kekuatan geser contoh uji

contoh	σ'_3 (kPa)	c' (kPa)	ϕ' ($^\circ$)	σ'_f (kPa)	τ'_f (kPa)	τ'_f rata-rata (kPa)	Peningkatan τ'_f rata-rata
Asli	100	15,29	20,19	133,12	64,24	80,93	-
	140			178,60	80,97		
	180			223,79	97,58		
7 hari	100	18,92	19,47	133,34	66,06	82,40	1,8 %
	140			179,87	82,51		
	180			225,48	98,64		
14 hari	100	27,83	17,30	136,84	70,44	85,07	5,12 %
	140			185,52	85,60		
	180			229,06	99,16		
21 hari	100	37,75	14,47	142,23	74,44	86,54	6,93 %
	140			191,73	87,21		
	180			233,38	97,96		

4.6.4 Analisis pengaruh kolom semen dan lamanya waktu pemeraman terhadap kompresibilitas volume tanah

Penggunaan kolom semen pada contoh uji tidak hanya ditinjau dari segi kekuatan gesernya, namun juga dari segi kompresibilitasnya. Nilai kompresibilitas contoh uji dikaji untuk mengetahui kelebihan lain dari kolom semen sebagai stabilisasi tanah, selain meningkatkan nilai kekuatan geser. Kompresibilitas volume tanah dihitung untuk mengetahui pengaruh kolom semen pada contoh uji terhadap penurunan tanah yang terjadi. Tabel 4.31 menunjukkan nilai kompresibilitas volume tanah (m_v) pada contoh uji yang dihitung menggunakan persamaan:

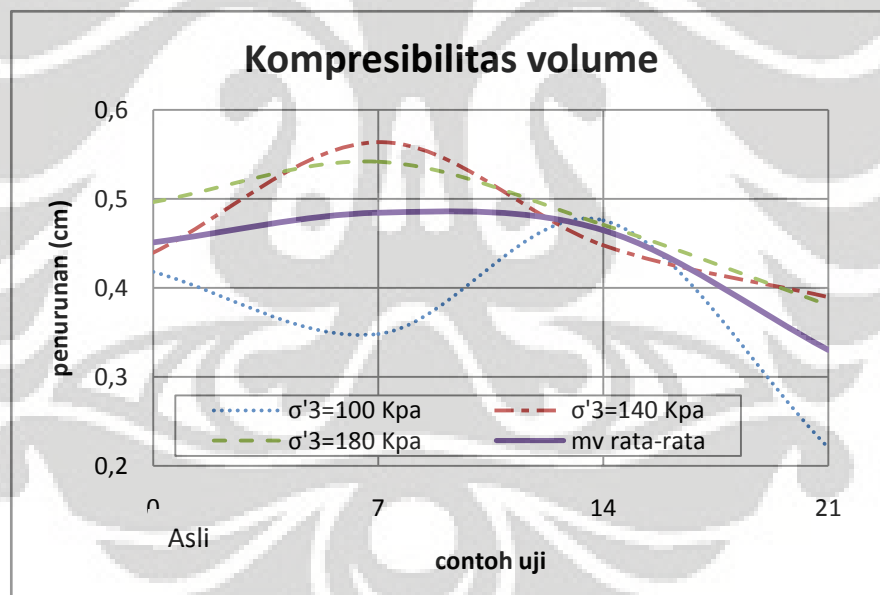
$$m_v = \frac{1}{1+e_0} \left(\frac{e_0 - e_1}{\sigma'_3} \right) \quad (4.1)$$

Nilai kompresibilitas pada contoh uji ternyata mengalami peningkatan pada contoh 7 hari terhadap contoh asli. Seiring bertambahnya waktu pemeraman kolom semen, nilai kompresibilitas kemudian akan menurun. Perubahan kompresibilitas volume pada contoh uji berbanding lurus terhadap perubahan volume saat diberikannya tegangan konsolidasi. Gambar 4.23 menunjukkan nilai perubahan kompresibilitas volume pada contoh uji terhadap contoh asli dengan meningkatnya umur kolom semen. Garis putus-putus merupakan nilai kompresibilitas volume untuk setiap σ'_3 yang berbeda-beda (100, 140, dan 180

kPa), sedangkan garis yang nyata menunjukkan nilai kompresibilitas volume rata-rata.

Tabel 4.31 Nilai m_v rata-rata pada contoh uji

contoh uji	σ'_3 (kPa)	e_0	e_1	m_v m ² /MN	m_v rata-rata m ² /MN
asli	100	1,509	1,404	0,418	0,451
	140	1,506	1,352	0,439	
	180	1,515	1,290	0,497	
7 hari	100	1,470	1,384	0,348	0,485
	140	1,469	1,274	0,564	
	180	1,450	1,212	0,542	
14 hari	100	1,515	1,395	0,476	0,465
	140	1,483	1,327	0,448	
	180	1,510	1,297	0,471	
21 hari	100	1,504	1,449	0,221	0,330
	140	1,517	1,379	0,390	
	180	1,489	1,318	0,380	



Gambar 4.23 Kompresibilitas volume contoh uji

Peningkatan nilai kompresibilitas menandakan bahwa contoh uji memiliki kemampuan mampat yang lebih besar menyerupai sifat tanah yang lebih lunak. Hal ini dapat terjadi akibat belum kuatnya kekuatan kolom semen untuk menahan tegangan konsolidasi yang diberikan secara aksial, sehingga perubahan volume yang terjadi menjadi lebih besar. Peningkatan nilai kompresibilitas terjadi pada contoh 7 hari, dimana dengan umur 7 hari kolom semen belum memiliki kekuatan

tekan yang cukup untuk menahan tegangan atau dapat pula terjadi akibat ukuran diameter tiang semen yang kurang lebar. Nilai kompresibilitas akan menurun seiring dengan meningkatnya umur semen, seperti yang terjadi pada contoh 14 hari dan contoh 21 hari. Berkurangnya nilai kompresibilitas tanah dapat terjadi diakibatkan sudah meningkatnya kekuatan kolom semen pada contoh uji yang menyebabkan keteguhan yang dimiliki menjadi lebih besar. Cairan semen yang berbentuk kolom akan membantu menahan kelebihan tegangan konsolidasi yang diberikan, sehingga perubahan volume pada contoh uji semakin berkurang.

4.6.5 Analisis pengaruh kolom semen dan lamanya waktu pemeraman terhadap modulus elastisitas tanah

Modulus elastisitas (E) menunjukkan kekakuan suatu bahan. Perhitungan modulus elastisitas dilakukan untuk mengetahui perubahan kekakuan tanah akibat pengaruh kolom semen, dimana dengan semakin lamanya umur semen diharapkan kekakuan tanah dapat semakin meningkat. Modulus elastisitas pada kondisi initial (E_i) pada Tabel 4.32 dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$E_i = \frac{\sigma_i}{\varepsilon_i} \quad (4.2)$$

Dimana: σ_i = tegangan deviator initial (kPa)

ε_i = regangan initial

Tabel 4.32. Modulus elastisitas contoh uji

contoh	σ'_3 (kPa)	Tegangan deviator (kPa)	ε (%)	E (10^3 kPa)	E rata-rata (10^3 kPa)	peningkatan E (%)
asli	100	18,47	0,33	5,614	8,546	0
	140	28,32	0,33	8,609		
	180	37,57	0,33	11,417		
7 hari	100	30,17	0,33	9,169	10,856	35,772%
	140	33,87	0,33	10,295		
	180	43,11	0,33	13,102		
14 hari	100	31,40	0,33	9,544	11,603	35,77%
	140	41,87	0,33	12,727		
	180	41,26	0,33	12,539		
21 hari	100	36,94	0,33	11,226	13,723	60,56%
	140	37,56	0,33	11,416		
	180	60,96	0,33	18,527		

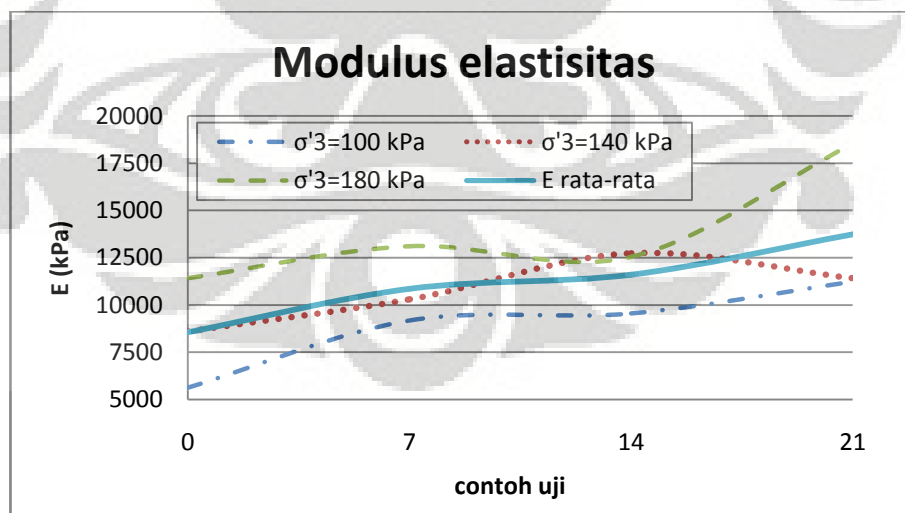
Contoh uji dengan kolom semen memiliki kekakuan yang lebih besar dibandingkan dengan contoh asli. Peningkatan kekakuan terbesar terjadi pada contoh dengan kolom semen dengan waktu pemeraman paling lama. Kekakuan yang semakin tinggi dapat mengurangi kemampuan tanah untuk terkompresi sehingga penurunan tanah yang terjadi dapat semakin berkurang.

Modulus elastisitas pada contoh uji berkisar antara 8,55-13,72 MPa, dimana dengan nilai sebesar ini menurut Bowles (1996), contoh uji masuk dalam kategori tanah dengan kekakuan lunak. Pada contoh 7 hari, kekakuan meningkat tidak terlalu besar. Peningkatan kekakuan terbesar terdapat pada contoh 21 hari, yaitu sebesar 60,56% terhadap contoh asli. Gambar 4.24 menunjukkan peningkatan kekakuan pada contoh uji dengan kolom semen dan dilakukan pemeraman.

Nilai untuk static stress-strain modulus elastisitas tanah
(Nilai dilapangan dipengaruhi sejarah tegangan, kandungan air, dan umur terdeposit)

Soil	E (MPa)
Clay	
Very soft	2-15
Soft	5-25
Medium	15-50
Hard	50-100
Sandy	25-250

Sumber: Bowles, 1996



Gambar 4.24 Kenaikan modulus elastisitas pada contoh uji

4.7 Analisis Hasil Uji Gabungan

Melalui pengujian Triaksial CU yang telah dilakukan, diketahui bahwa pengaruh adanya kolom semen dalam contoh uji menyebabkan terjadinya penurunan pada nilai M dan kenaikan pada nilai q_0 seiring dengan bertambahnya umur semen (Tabel 4.33). Hal ini berpengaruh terhadap perhitungan parameter kekuatan geser (c' dan ϕ'), yaitu dengan meningkatnya nilai kohesi dan menurunnya sudut geser pada contoh uji. Pada parameter kemiringan NCL dan CSL (λ , N , dan Γ) tidak ditemukan pola kenaikan dan penurunan yang begitu jelas. Ini dipengaruhi oleh rentang keruntuhan pada masing-masing contoh uji.

Tabel 4.33 Parameter lintasan tegangan serta parameter kemiringan dan volume spesifik

Parameter	Contoh Uji		Asli	7 hari	14 hari	21 hari
	Parameter					
Lintasan tegangan	persamaan garis	M	0,78	0,75	0,66	0,545
		q_0 (kPa)	32,57	40,2	58,73	78,93
	kuat geser	c' (kPa)	15,29	18,92	27,83	37,75
		ϕ' ($^\circ$)	20,19	19,47	17,30	14,47
Parameter kemiringan dan volume spesifik	NCL	λ_{NCL}	-0,192	-0,296	-0,168	-0,222
		N	3,292	3,743	3,166	3,471
	CSL	λ_{CSL}	-0,255	-0,359	-0,196	-0,218
		Γ	3,539	3,951	3,239	3,370
Kompresibilitas volume	m_v (m^2/MN)		0,451	0,485	0,465	0,330
Modulus elastisitas	E (Mpa)		8,547	11,604	11,604	13,723

Pada Tabel 4.33 diketahui bahwa nilai kompresibilitas volume (m_v) mengalami peningkatan pada contoh 7 hari, kemudian mulai mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya umur semen. Modulus elastisitas (E) pada contoh uji meningkat pada contoh yang diberikan kolom semen dan seiring dengan bertambahnya umur dari semen tersebut.

4.8 Aplikasi dalam Desain

Metode cairan semen yang dibentuk seperti tiang dalam tanah diharapkan dapat meningkatkan kekuatan pada tanah lunak. Pendekatan desain yang dapat digunakan menggunakan metode ini adalah dalam perhitungan daya dukung tanah.

Perhitungan dilakukan pada contoh kasus diberikannya timbunan dengan lebar 1 meter pada tanah uji. Perhitungan dilakukan untuk mengetahui besarnya peningkatan daya dukung akibat pengaruh kolom semen pada tanah pengujian. Persamaan yang digunakan untuk menghitung daya dukung timbunan adalah persamaan untuk perhitungan pondasi lajur yaitu (Craig, 1991):

$$Q_u = cN_c + \gamma DN_q + 0.5\gamma BN_\gamma \quad (4.2)$$

dimana:

Q_u = daya dukung tanah (kPa)

c = kohesi tanah (kPa)

γ = berat isi tanah = 16 kN/m³

D = kedalaman tanah yang ditinjau = 1 m

N_c, N_q, N_γ = faktor kapasitas daya dukung tanah

B = lebar timbunan = 1 m

Tabel 4.34 Perhitungan peningkatan daya dukung tanah

contoh	c' (kPa)	ϕ' (°)	N_q	N_c	N_γ	Q_u (kPa)	peningkatan
asli	15,29	20,19	6,50	14,96	3,64	370,1484	0
7 hari	18,92	19,47	6,00	14,14	3,18	396,5828	7,14%
14 hari	27,83	17,30	4,60	11,57	2,02	417,157	12,70%
21 hari	37,75	14,47	3,80	10,85	1,30	485,3658	31,13%

Tabel 4.34 menunjukkan bahwa peningkatan daya dukung terbesar terjadi pada contoh 21 hari yaitu sebesar 31,13% terhadap contoh asli. Hasil perhitungan ini mengindikasikan bahwa untuk mendapatkan nilai daya dukung tanah yang maksimal, lama pemeraman kolom semen harus mencapai setidaknya 21 hari.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan dari pengujian-pengujian yang telah dilakukan, yaitu:

1. Hasil pengujian Triaksial CU menunjukkan bahwa kolom semen dan lamanya waktu pemeraman mampu meningkatkan tegangan deviator. Peningkatan terbesar pada tegangan deviator yang terjadi terhadap contoh asli yaitu contoh 7 hari, diikuti contoh 14 hari, dan contoh 21 hari.
2. Perubahan tekanan air pori pada yang terjadi pada pengujian Triaksial CU semakin meningkat dengan diberikannya kolom semen. Semakin lama waktu pemeraman dilakukan maka perubahan tekanan pori yang terjadi akan semakin tinggi. Perubahan tekanan air pori terbesar terhadap contoh asli terjadi pada contoh 21 hari.
3. Nilai kohesi mengalami peningkatan pada contoh dengan kolom semen dibandingkan dengan contoh asli. Lamanya waktu pemeraman kolom semen yang lebih lama ternyata juga berperan meningkatkan nilai kohesi pada contoh uji. Peningkatan nilai kohesi terbesar terhadap contoh asli terjadi pada contoh 21 hari.
4. Nilai sudut geser pada contoh uji mengalami penurunan pada contoh uji dengan kolom semen. Semakin lama waktu pemeraman, nilai sudut geser akan semakin menurun dibandingkan dengan contoh asli. Penurunan nilai sudut geser terbesar terhadap contoh asli terjadi pada contoh 21 hari.
5. Terjadi perubahan terhadap nilai kompresibilitas volume (m_v) rata-rata pada contoh dengan kolom semen terhadap contoh asli. Pada awalnya nilai m_v meningkat pada contoh 7 hari, lalu akan semakin mengecil nilainya seiring bertambahnya umur semen, yaitu pada contoh 14 dan 21 hari. Penurunan nilai m_v mengindikasikan bahwa penurunan tanah yang terjadi menjadi berkurang dibandingkan contoh asli.

6. Modulus elastisitas tanah (E) pada contoh dengan kolom semen terhadap contoh asli mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya umur cairan semen. Peningkatan modulus elastisitas (E) terbesar terhadap contoh asli terdapat pada contoh 21 hari.

5.1 Saran

Pengujian harus dilakukan dengan hati-hati, baik pada saat persiapan yaitu saat membuat lubang pada contoh uji, harus dijaga agar lubang tidak runtuh, dengan menggunakan casing. Juga saat memasukkan cairan semen ke dalam lubang, harus dapat dipastikan lubang telah terisi sempurna dengan cairan semen, dan tidak ada udara yang terperangkap. Upayakan pula agar perlakuan setiap contoh uji saat tahap persiapan memiliki kondisi yang tidak jauh berbeda. Seperti saat pembuatan contoh tanah menggunakan rowecell, ukuran cetakan contoh uji untuk pengujian Triaksial CU, dll untuk meminimalisasi kesalahan dan agar masing-masing contoh uji dapat dibandingkan secara akurat.

Pengujian menggunakan alat Triaksial CU harus diperhatikan terutama saat memulai pengujian, lakukan pengecekan alat terlebih dahulu untuk meminimalisir kesalahan. Hal-hal yang harus dilakukan diantaranya membersihkan tabung cell, memastikan tidak ada udara yang terperangkap dalam selang pore pressure dan back pressure, memastikan kondisi air raksa pada pore pressure, membersihkan baru pori, serta mengecek piston pembeban.

DAFTAR PUSTAKA

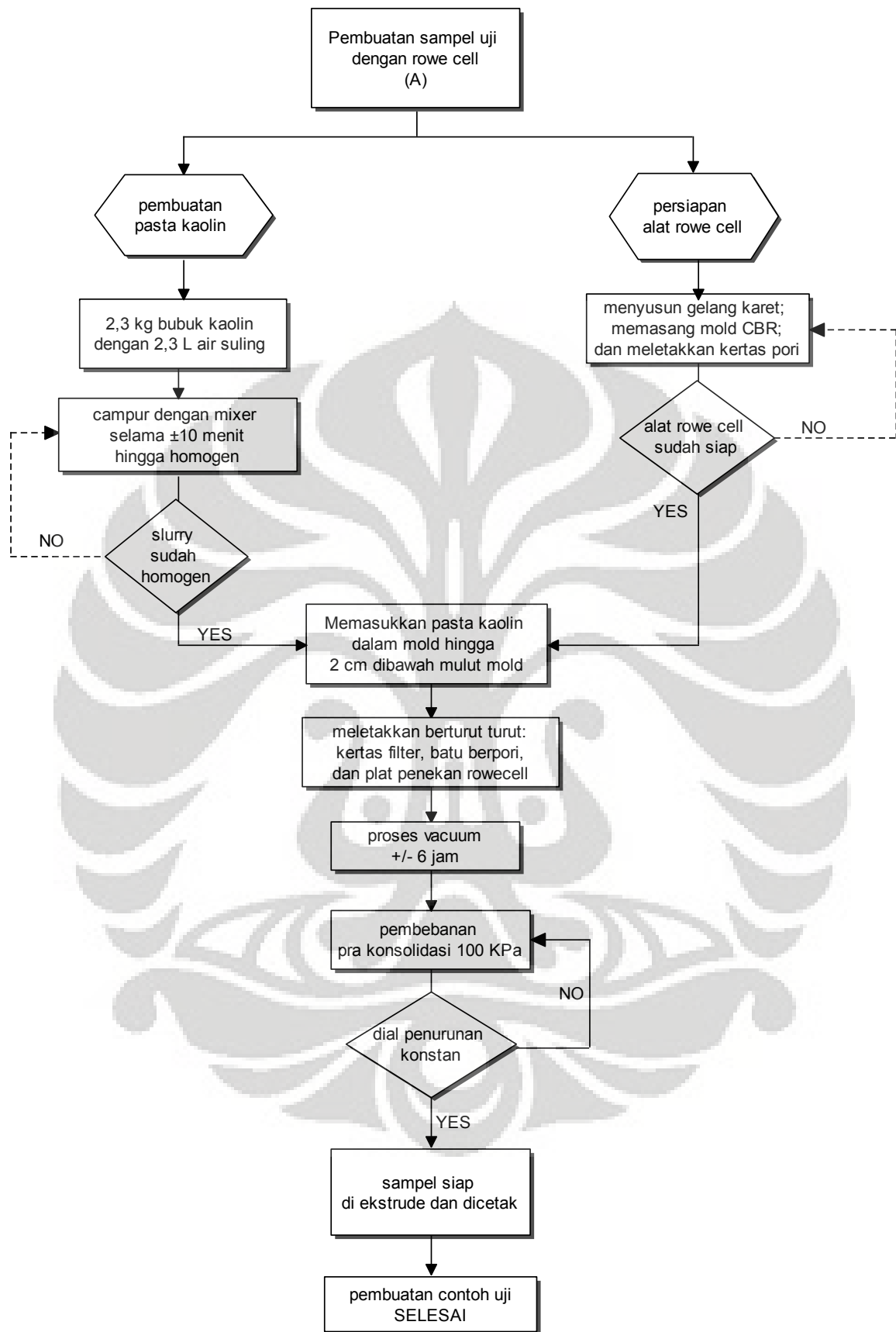
- Atkinson, J.H., & Bransby, P.L. (1982). *The Mechanics of Soil*. Amerika: McGraw Hill
- Bergado, D.T., et al. (1996). *Soft Ground Improvement*. Amerika: American society of civil engineers (ASCE)
- Bell, F.G. (1993). *Engineering Treatment of Soil*. London: E & FN Spon
- Bowles, J. E. (1986). *Sifat-sifat Fisis dan Geoteknis Tanah (Mekanika Tanah)*. Jakarta: Erlangga
- Bowles, J. E. (1996). *Foundation analysis and design (5th Ed)*. Amerika: McGraw Hill
- Christady, H. H. (1992). *Mekanika Tanah 1*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama
- Craig, R. F. (1991). *Mekanika Tanah*. Ed. Budi Susilo S. Jakarta: Erlangga
- Dunn, I.S., et al. (1992). *Fundamental of Geotechnical Analysis*. Amerika: John Willey & sons
- Hidayat, T. (2008). *Pengujian Kuat Geser Tanah Kaolin Dengan Metode Vane Shear Test Laboratorium*. Depok: Skripsi FTUI.
- Karol, R. H. (2003). *Chemical Grouting and Soil Stabilization (3rd Ed.)*. Amerika: Rutgers University
- Lambe, T. W., & Whitman R. V. (1969). *Soil Mechanics*. Amerika: John Willey & sons
- Mesriana, R. (2009). *Pengujian Konsolidasi dengan Vertical Drain pada Tanah Kaolin*. Depok: Skripsi FTUI.
- Puslitbang Prasarana Transportasi. (2003). *Stabilisasi Dangkal Tanah Lunak Untuk Konstruksi Timbunan Jalan Dengan Semen dan Cerucuk*. Jakarta: Author
- Wilun, Z., & Starzewski. (1975). *Soil Mechanics in foundation engineering (2nd ed.)*. London: Surrey University Press

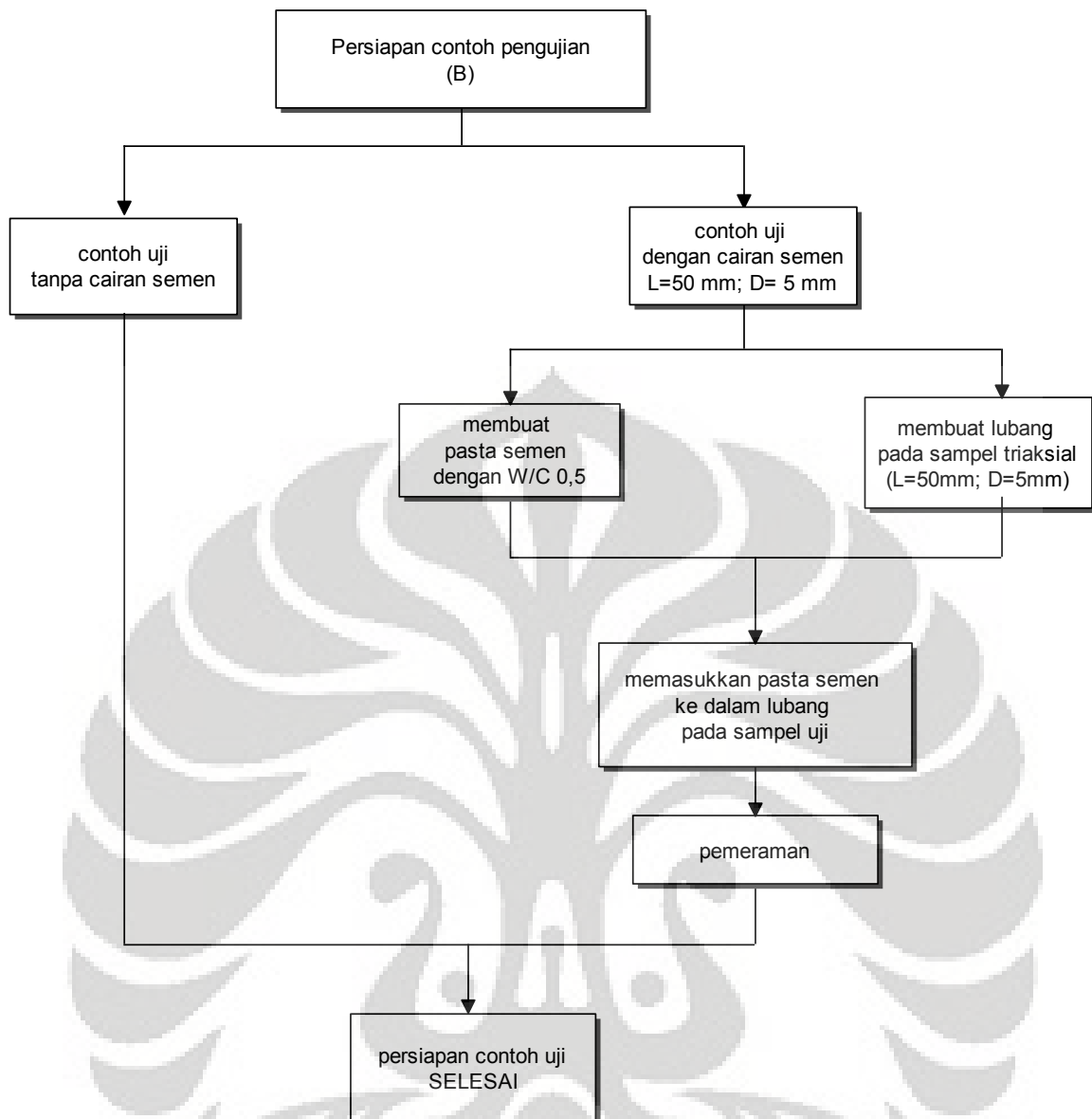


LAMPIRAN 1

DIAGRAM ALIR PENGUJIAN







Pengujian Triaksial
Terkonsolidasi tak terdrainasi
(Triaksial CU)
(C)

Saturasi

NO
B \geq 0,95
YES

Konsolidasi

NO
pore pressure dan
perubahan volume
konstan
YES

Kompresi

NO
nilai deviator stress
turun/konstan
YES

Pengujian Triaksial CU
SELESAI



**PENGUJIAN SIFAT FISIK TANAH
KAOLIN**

Batas-batas Atterberg
Berat Jenis Tanah (Gs)
Analisis Hydrometer

Pengujian Sifat Fisik Tanah

Prosedur pengujian sifat fisik tanah dilakukan mengikuti modul praktikum mekanika tanah FTUI, yang meliputi:

1) Kadar air

Kadar air merupakan perbandingan antara massa air yang terkandung di dalam tanah dengan massa partikel padatnya. Kadar air ditentukan dengan menimbang contoh tanah kemudian mengeringkannya pada oven dengan suhu 105° - 110° C kemudian ditimbang kembali.

2) Batas Atterberg

Pengujian Atterberg Limit yang dilakukan meliputi pengujian untuk mendapatkan batas cair dan batas plastis dari tanah kaolin.

- Batas Cair (Liquid Limit)

Batas cair merupakan keadaan kadar air tanah pada batas antara keadaan cair dan keadaan plastis. Batas cair dapat diketahui setelah dibuat grafik antara kadar air dengan jumlah ketukan *cassagrande*, dimana batas cair ditunjukkan pada 25 ketukan.

- Batas Plastis (Plastic Limit)

Batas plastis 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) hingga tanah tersebut mengalami retak-retak halus.

3) Specific Gravity

Pengujian ini digunakan untuk mendapatkan harga *specific gravity* dari butiran tanah, yaitu perbandingan berat isi tanah dan berat isi air pada suhu 40° C. nilai *specific gravity* ini nantinya akan digunakan untuk mendapatkan berat jenis tanah.

4) Analisis Hidrometer

Tujuan dilakukannya percobaan ini adalah untuk menentukan distribusi dari butiran tanah yang memiliki diameter yang lebih kecil dari 0.074 mm (saringan no. 200 ASTM) dengan cara pengendapan.

FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA

LABORATORIUM MEKANIKA TANAH

Kampus UI – Depok 16424 Telp. (021)7270029, 78849102 Fax. 9021)7270028

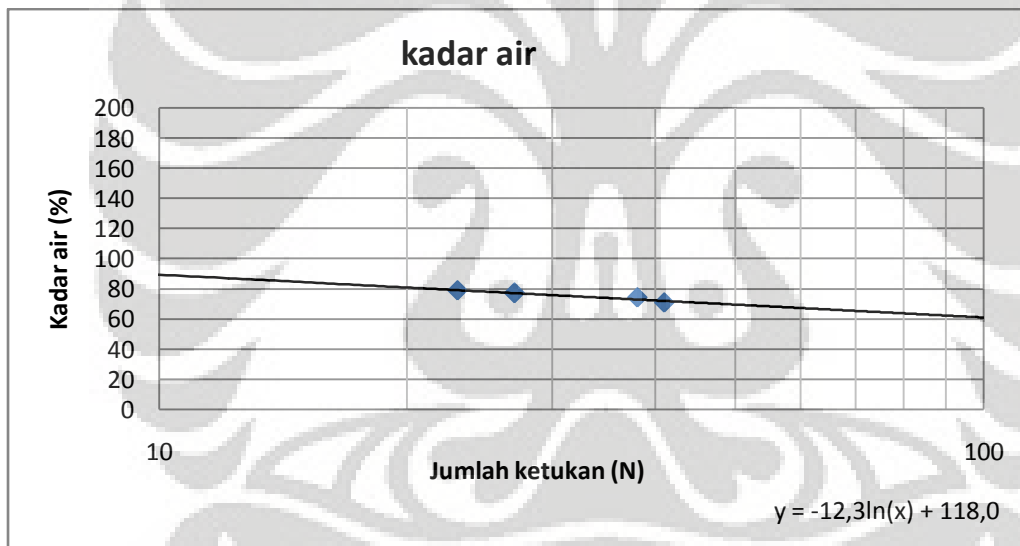
ATTERBERG LIMITS DETERMINATION

Proyek = Kaoline filler super 325 mesh
 Lokasi proyek = Lab. Mektan FTUI
 Deskripsi tanah = kaoline, warna putih
 Diuji oleh = Ucik dan Yunita

No. Sampel = 1
 Tanggal Pengujian = 18 November 2009

Liquid Limit Determination

No. Can	Unit	1	2	3	4
berat tanah basah + can	(gr)	37,64	40,43	35,51	52,38
berat tanah kering+ can	(gr)	25,38	26,59	23,51	32,78
berat can	(gr)	8,13	7,95	7,96	8,02
berat tanah kering	(gr)	17,25	18,64	15,55	24,76
kadar air	(gr)	12,26	13,84	12	19,6
Water content, ω	%	71,07	74,25	77,17	79,16
Jumlah ketukan (N)		41	38	27	23



Flow Index (FI) =	-28.49	(%)
Liquid Limit (LL) =	78.22	(%)
Plastic Limit (PL)=	37.64	(%)
Plasticity Index (PI) =	40.58	(%)

Plastic Limit Determination

No. Can	Unit	1	2
berat tanah basah + can	(gr)	27,19	30,02
berat tanah kering+ can	(gr)	23,64	25,89
berat can	(gr)	15,74	12,28
berat tanah kering	(gr)	7,9	13,61
berat air	(gr)	3,55	4,13
kadar air	(%)	44,94	30,35
kadar air rata-rata	(%)	37,64	

FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA

LABORATORIUM MEKANIKA TANAH

Kampus UI – Depok 16424 Telp. (021)7270029, 78849102 Fax. 9021)7270028

ATTERBERG LIMITS DETERMINATION

Proyek = Kaoline filler super 325 mesh

No. Sampel = 2

Lokasi proyek = Lab. Mektan FTUI

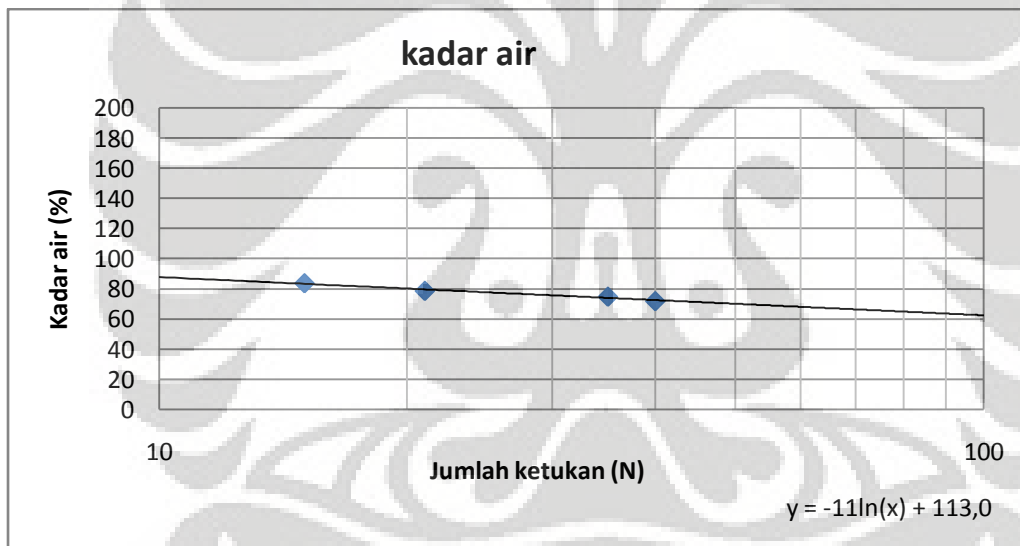
Tanggal Pengujian = 20 November 2009

Deskripsi tanah = kaoline, warna putih

Diuji oleh = Ucik dan Yunita

Liquid Limit Determination

No. Can	Unit	1	2	3	4
berat tanah basah + can	(gr)	39,25	35,67	26,53	42,58
berat tanah kering+ can	(gr)	26,15	23,87	17,82	27,32
berat can	(gr)	7,95	8,12	6,73	9,11
berat tanah kering	(gr)	18,2	15,75	11,09	18,21
kadar air	(gr)	13,1	11,8	8,71	15,26
Water content, ω	%	71,98	74,92	78,54	83,80
Jumlah ketukan (N)	80	40	35	21	15



Flow Index (FI) =	-25.33	(%)
Liquid Limit (LL) =	77.64	(%)
Plastic Limit (PL)=	40.56	(%)
Plasticity Index (PI) =	37.08	(%)

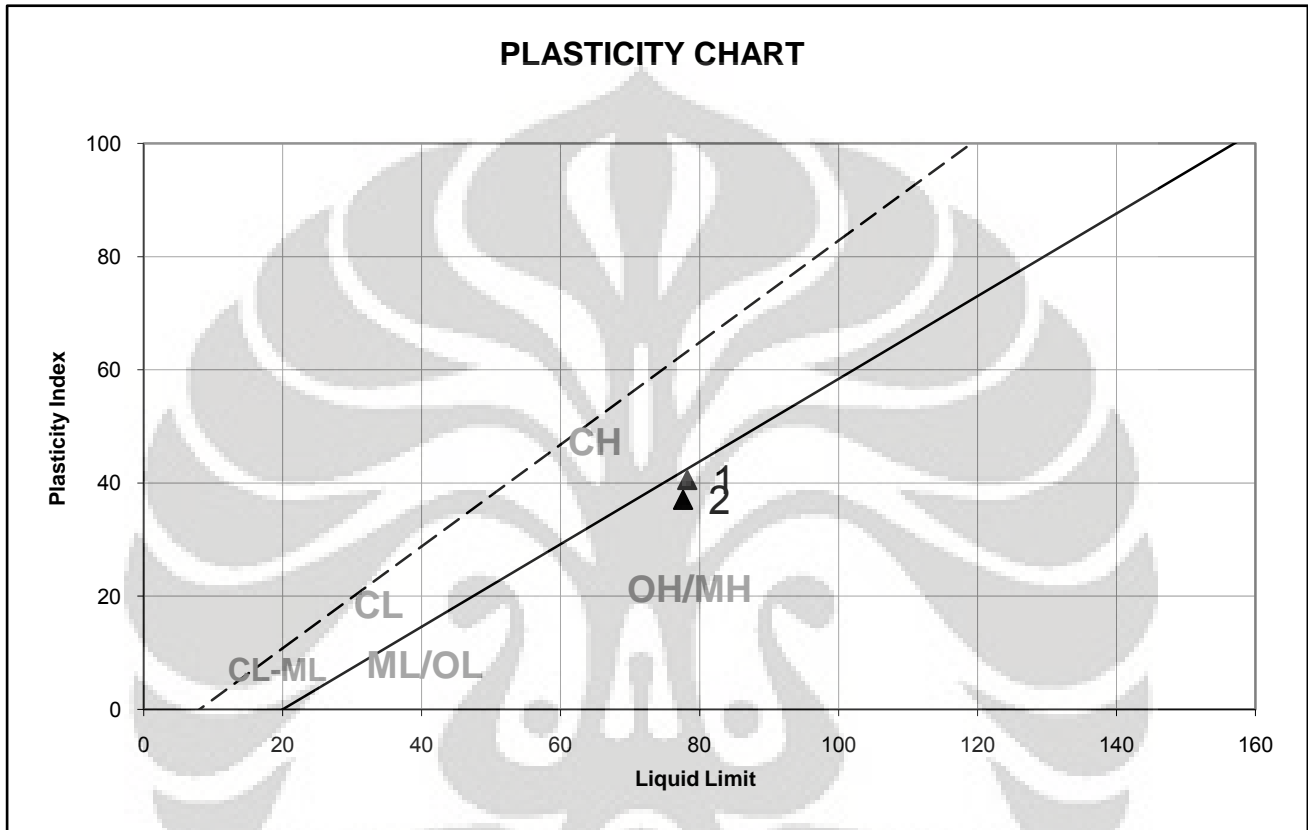
Plastic Limit Determination

No. Can	Unit	1	2
berat tanah basah + can	(gr)	26,89	31,02
berat tanah kering+ can	(gr)	23,64	25,89
berat can	(gr)	15,74	13,06
berat tanah kering	(gr)	7,9	12,83
berat air	(gr)	3,25	5,13
kadar air	(%)	41,14	39,98
kadar air rata-rata	(%)	40,56	



ATTERBERG LIMIT

PROJECT Skripsi Kaolin	DATE OF TESTING 18/11/09 - 21/11/09
LOCATION Lab. Mektan FTUI	TESTED BY Ucik&Yunita



No.	Depth (m)	Symbol	LL (%)	PL (%)	PI (%)	Unified Classification
1	0,00 - 0,00	1	78,22	37,64	40,58	OH/MH
2	0,00 - 0,00	2	77,64	40,56	37,08	OH/MH

FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA**LABORATORIUM MEKANIKA TANAH**

Kampus UI – Depok 16424 Telp. (021)7270029, 78849102 Fax. 9021)7270028

SPECIFIC GRAVITY DARI TANAH SOLID (Gs)

Proyek = Kaoline filler super 325 mesh

No. Test = 1

Lokasi proyek = Lab. Mektan FTUI

Tanggal Pengujian = 18 s/d 19 November 2009

Deskripsi tanah = kaoline, warna putih

Diuji oleh = Ucik dan Yunita

Test no	Unit	1	2	3
Volume piknometer pada 20°C	(mL)	500	500	500
Metode air removal		dididihkan		
Weight flask + water + soil = W_{bws}	(gr)	718	716,58	726,15
Temperature saat pengujian, °C		29	29	29
Wt.flask +water = W_{bw}	(gr)	656,51	655,1	664,48
Evap dish no		1	7	2
Wt.evap.dish+dry soil	(gr)	402,26	418,08	407,92
Wt. of evap dish	(gr)	302,26	318,08	307,92
Wt. of dry soil = W_s	(gr)	100	100	100
$W_u = W_s + W_{bw} - W_{bws}$		38,51	38,52	38,33
Nilai α pada temperatur pengujian		0.99598	0.99598	0.99598
$G_s = \alpha W_s / W_u$		2,586	2,586	2,598
GS rata-rata		2,59		

Keterangan:¹ mengindikasikan pengeluaran udara dengan divakum atau dengan aspirator² W_{bw} adalah berat piknometer yang diisi air yang kuantitasnya sama dengan cairan pendispersi yang telah ditambahkan pada campuran air-tanah dan pada temperature yang sama.

Catatan:

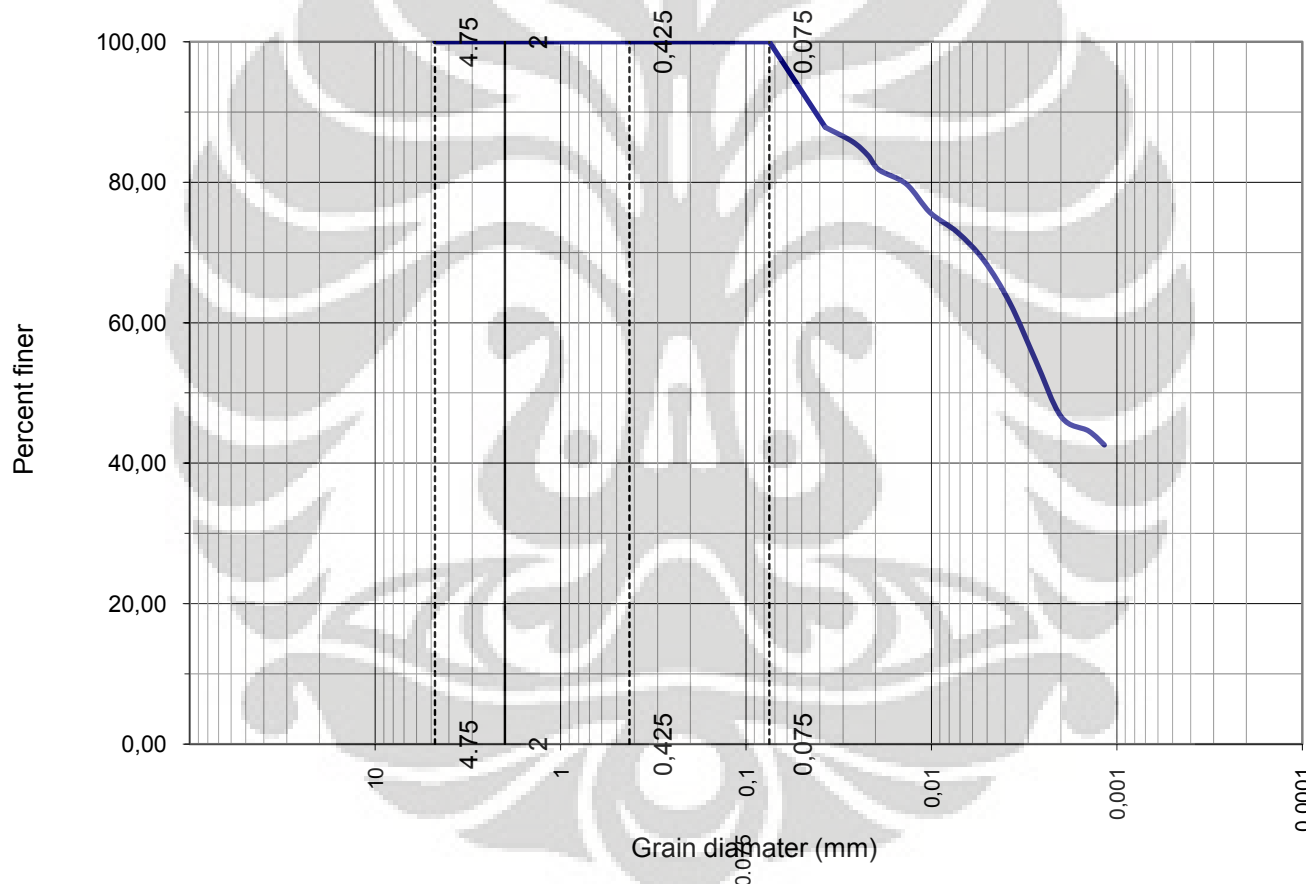
 G_s rata-rata dari tanah solid = 2,59



GRAIN SIZE DISTRIBUTION

PROJECT SKRIPSI		DEPTH OF SAMPLE 0,00 - 0,00 m
LOCATION Lab Mektan FTUI		DATE OF TESTING 2 Januari 2010
BOREHOLE NO. -	SAMPLE NO. 1	TESTED BY Ucic dan Yunita

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



Composition	
Sand	0 %
Silt	54 %
Clay	46 %

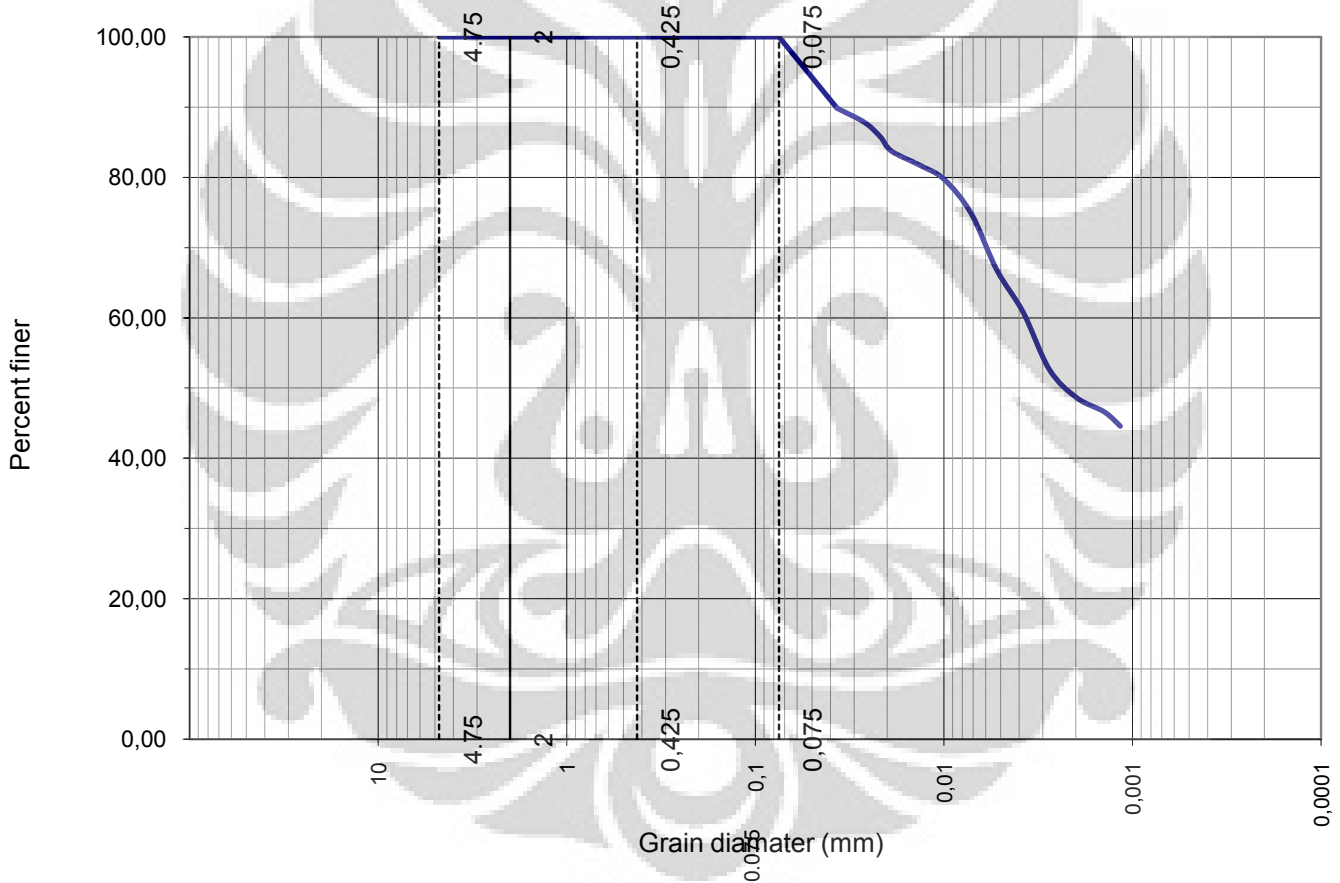
Visual Soil Description	Tanah berwarna putih
Soil Classification	Lanau berlempung



GRAIN SIZE DISTRIBUTION

PROJECT SKRIPSI		DEPTH OF SAMPLE 0,00 - 0,00 m
LOCATION Lab Mektan FTUI		DATE OF TESTING 2 Januari 2010
BOREHOLE NO. -	SAMPLE NO. 2	TESTED BY Ucik dan Yunita

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



Composition	
Sand	0 %
Silt	52 %
Clay	48 %

Visual Soil Description	Tanah berwarna putih
Soil Classification	Lanau berlempung



**DATA PENCETAKAN CONTOH
TANAH DENGAN ALAT
ROWECELL**

MONITORING PEMBUATAN SAMPEL TANAH

Proyek	Skripsi		
Hari/Tanggal	Jumat/21 Mei 2010		
Jenis Tanah	Kaolin (<i>Kaolin Clay</i>)		
Alat Preloading	Rowe Cell		
Tegangan Preloading (Pc)	100 kPa		
Kode Sample	R#1		
Kadar air rencana sbml preloading	100%		
Ukuran cetakan	D	15,2	cm
	H	17,8	cm

Waktu		Waktu Berjalan			Pembacaan Dial		Elevasi (H)	Penurunan (ΔH)		Kec. Penurunan	Ket
Hari/Tgl	Jam	Jam	Hari	1/Hari	(div)	(mm)	(mm)	(div)	(mm)	(mm/hari)	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	13
21-May-10	12:00	0	0	0	563	5,63	178		0		
(Jumat)	12:30	0,5	0,021	48	1567	15,67	167,96	1004	10,04	481,92	
	12:45	0,75	0,031	32	1737	17,37	166,26	1174	11,74	375,68	
	13:00	1	0,042	24	1802	18,02	165,61	1239	12,39	297,36	
	13:30	1,5	0,063	16,00	1935	19,35	164,28	1372	13,72	219,52	
	14:00	2	0,083	12,00	2011	20,11	163,52	1448	14,48	173,76	
	14:30	2,5	0,104	9,60	2035	20,35	163,28	1472	14,72	141,31	
24-May-10	14:00	74	3,083	0,32	2398	23,98	159,65	1835	18,35	5,95	
25-May-10	10:30	94,5	3,938	0,25	2416	24,16	159,47	1853	18,53	4,71	
26-May-10	14:30	122,5	5,104	0,20	2450	24,5	159,13	1887	18,87	3,70	
27-May-10	16:30	148,5	6,188	0,16	2452	24,52	159,11	1889	18,89	3,05	

Keterangan :

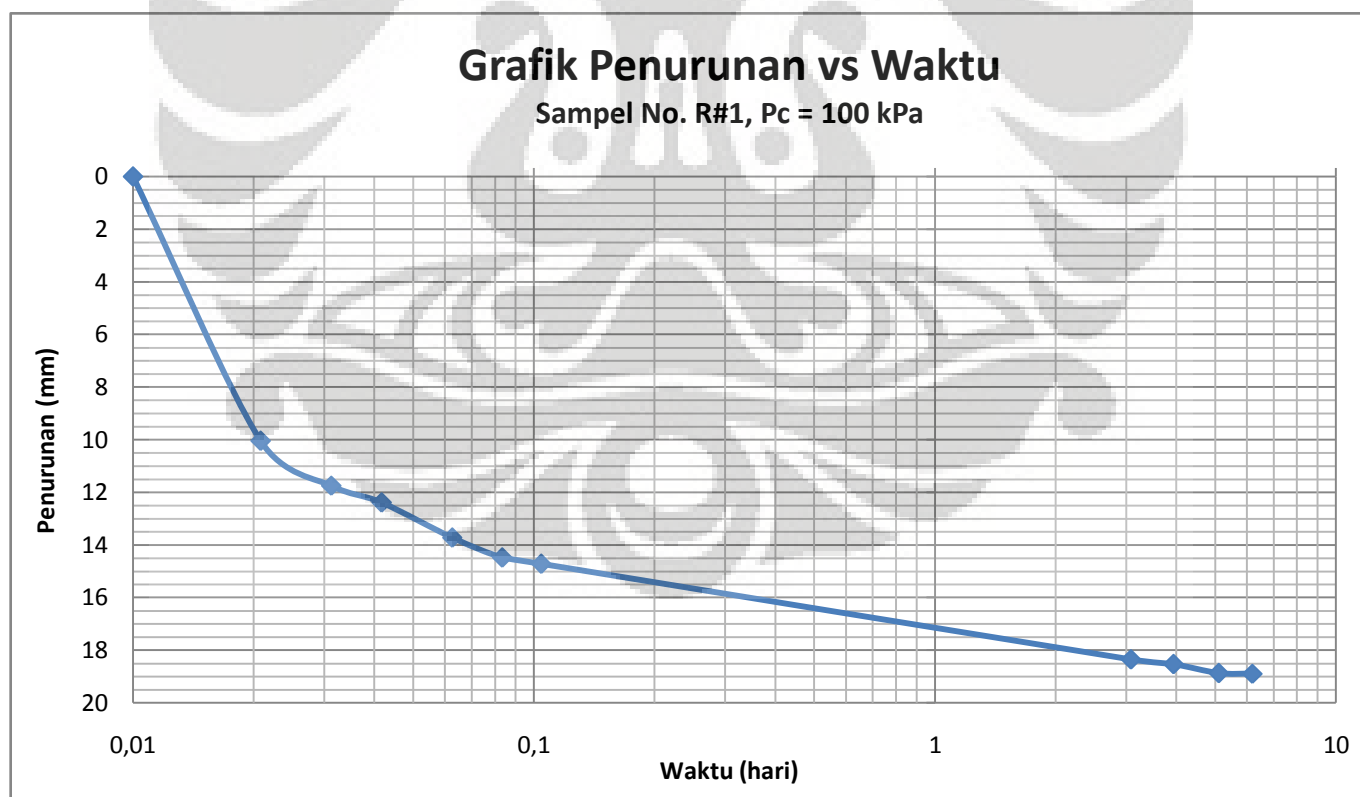
1 div = 0.01 mm
dengan vakum selama 6 jam

Kondisi Sebelum Preloading

Kadar Air Aktual (W_o)	101,24 %
----------------------------	----------

Kondisi Setelah Preloading

Kadar Air (W)	56,76 %
-------------------	---------



KETERANGAN

-

MONITORING PEMBUATAN SAMPEL TANAH

Proyek	Skripsi		
Hari/Tanggal	Selasa/22 Juni 2010		
Jenis Tanah	Kaolin (<i>Kaolin Clay</i>)		
Alat Preloading	Rowe Cell		
Tegangan Preloading (Pc)	100 kPa		
Kode Sample	R#2		
Kadar air rencana sbml preloading	100%		
Ukuran cetakan	D	15,2	cm
	H	17,8	cm

Waktu		Waktu Berjalan			Pembacaan Dial		Elevasi (H)	Penurunan (ΔH)		Kec. Penurunan	Ket
Hari/Tgl	Jam	Jam	Hari	1/Hari	(div)	(mm)	(mm)	(div)	(mm)	(mm/hari)	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	13
22-Jun-10	12:00	0	0	0	2420	24,2	178		0		
(Selasa)	12:30	0,5	0,021	48	3624	36,24	165,96	1204	12,04	577,92	
	12:45	0,75	0,031	32	3773	37,73	164,47	1353	13,53	432,96	
	13:00	1	0,042	24	3937	39,37	162,83	1517	15,17	364,08	
	13:30	1,5	0,063	16,00	4245	42,45	159,75	1825	18,25	292,00	
	14:00	2	0,083	12,00	4418	44,18	158,02	1998	19,98	239,76	
	14:30	2,5	0,104	9,60	4426	44,26	157,94	2006	20,06	192,58	
23-Jun-10	14:00	26	1,083	0,92	4534	45,34	156,86	2114	21,14	19,51	
24-Jun-10	13:00	49	2,042	0,49	4559	45,59	156,61	2139	21,39	10,48	
25-Jun-10	11:00	71	2,958	0,34	4563	45,63	156,57	2143	21,43	7,24	
28-Jun-10	11:00	143	5,958	0,17	4590	45,9	156,3	2170	21,7	3,64	

Keterangan :

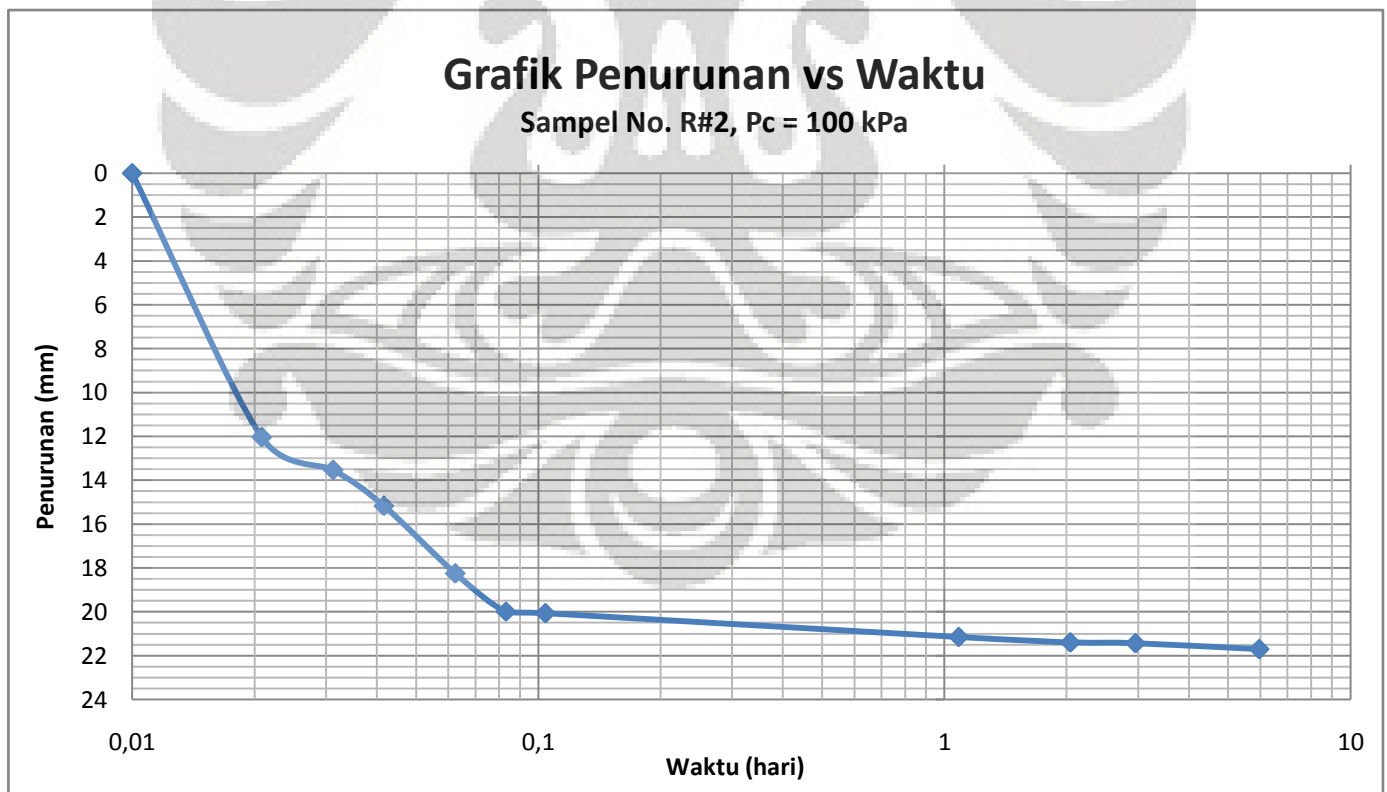
1 div = 0.01 mm
 dengan vakum selama 6 jam

Kondisi Sebelum Preloading

Kadar Air Aktual (W_o)	103,38 %
----------------------------	----------

Kondisi Setelah Preloading

Kadar Air (W)	57,26 %
-------------------	---------



KETERANGAN

-



**DATA KONSOLIDASI DENGAN
OEDOMETER**

CONSOLIDATION TEST

Project : Skripsi
Location : Lab Mektan FTUI **Sample No. :** K#1
Description of Soil : Kaolin Pc = 100 kPa **Date of Testing :** 31/05/2010
Tested By : Yunita Utami

Sampel Data

			Final	
Ring Diameter :	6,34	cm	wt. of ring + wet soil :	157,82 gr
Height :	1,99	cm	wt. of ring + drysoil :	129,54 gr
Wt of ring :	60,24	gr	wt. of soil :	97,58 gr
Initial wt. ring + soil :	157,82	gr	water content, w :	40,81 %

	Date	31-Mei	01-Jun	02-Jun	03-Jun	04-Jun	07-Jun	08-Jun
	Load (kg)	0,33	1	2	4	8	16	32
	kg/cm ²	0,10	0,32	0,63	1,27	2,53	5,07	10,13
Loading	0,00	578	762	1212	1839	2814	3807	4934
	0,10		900	1342	2240	3010	4131	5116
	0,25		944	1385	2320	3121	4243	5226
	0,50		987	1460	2370	3222	4312	5358
	1,00		1035	1530	2430	3358	4457	5534
	2,00		1073	1602	2500	3488	4596	5700
	4,00		1098	1651	2553	3567	4683	5820
	8,00		1116	1684	2591	3611	4732	5879
	15,00		1130	1708	2617	3640	4762	5935
	30,00		1140	1732	2641	3669	4791	5946
	60,00		1151	1752	2663	3697	4818	5974
	end		1212	1839	2814	3807	4934	6118
Unloading			5110	5220	5751	5773	5976	6118

Calculation

Initial height of soils (Hi)	:	2,0 cm
Specific gravity (Gs)	:	2,59
Wt ring + specimen	:	157,82 gr
Wt of ring	:	60,24 gr
Wt wet soil (Wt)	:	97,58 gr
Computed dry wt of soil (Ws')	:	69,30 gr
Oven dry wt of soil (Ws)	:	69,30 gr
Computed Ht of solids (Ho)	:	0,85 cm

Final Test Data

Initial Dial Reading	:	578
Final Dial Reading	:	6118
Change in Sampel Ht	:	0,554 cm

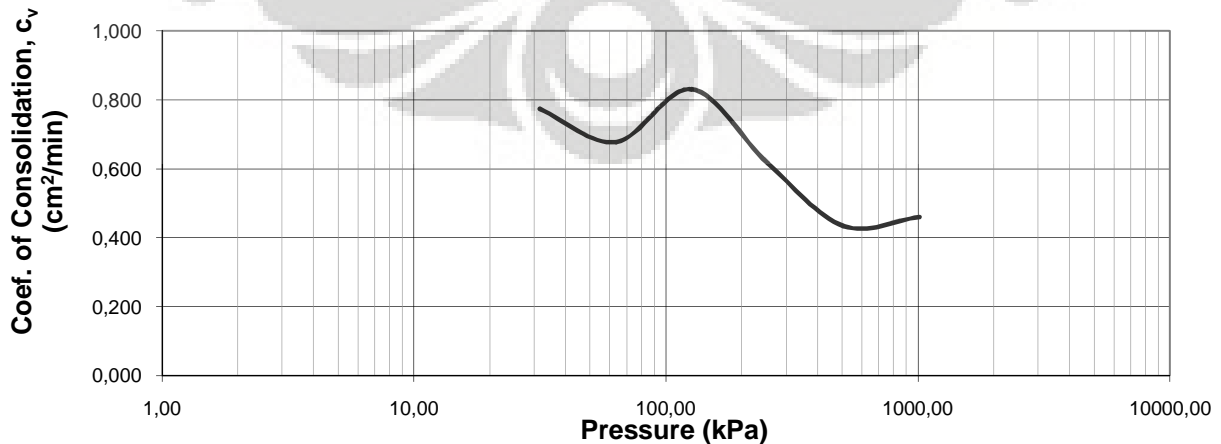
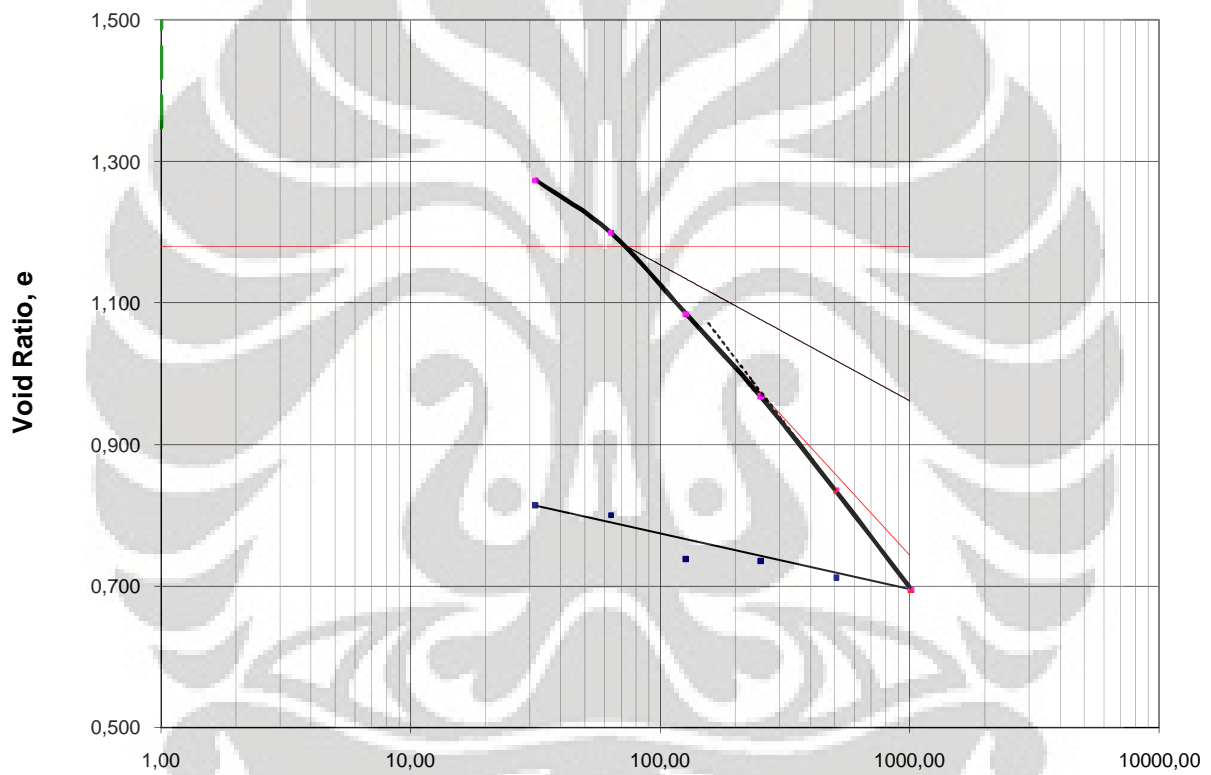


CONSOLIDATION TEST

PROJECT skripsi kaolin	DEPTH OF SAMPLE 0,00 - 1,50 m	TESTED BY Yunita Utami
LOCATION lab mekanika tanah		BOREHOLE NO. 0
DATE OF TESTING 31/05/10 - 11/06/10		DESCRIPTION tanah kaolin $P_c = 100$ kPa
PROJECT NUMBER: K#1		

Data

W : 55,76 % Cr : 0,08 P_c : 106,64 kPa
 Gs : 2,59 e_0 : 1,35 Sr : 0,78



CONSOLIDATION TEST

Project : Skripsi
Location : Lab Mektan FTUI
Description of Soil : Kaolin Pc = 100 kPa
Tested By : Yunita Utami
Sample No. : K#2
Date of Testing : 31/05/2010

Sampel Data

Ring Diameter :	6,34	cm	Final	wt. of ring + wet soil :	149,66	gr
Height :	2,03	cm		wt. of ring + drysoil :	121,38	gr
Wt of ring :	60,24	gr		wt. of soil :	89,42	gr
Initial wt. ring + soil :	149,66	gr		water content, w :	46,25	%

	Date	31-Mei	01-Jun	02-Jun	03-Jun	04-Jun	07-Jun	08-Jun
	Load (kg)	0,33	1	2	4	8	16	32
	kg/cm ²	0,10	0,32	0,63	1,27	2,53	5,07	10,13
Loading	0,00	580	242	692	1319	2294	3287	4414
	0,10		380	822	1720	2490	3611	4596
	0,25		424	865	1800	2601	3723	4706
	0,50		467	940	1850	2702	3792	4838
	1,00		515	1010	1910	2838	3937	5014
	2,00		553	1082	1980	2968	4076	5220
	4,00		578	1131	2033	3047	4163	5300
	8,00		596	1164	2071	3091	4212	5359
	15,00		610	1188	2097	3120	4242	5415
	30,00		620	1212	2121	3149	4271	5426
	60,00		631	1232	2143	3177	4298	5454
end		692	1319	2294	3287	4414	5598	
Unloading			4738	4887	5111	5307	5487	5598

Calculation

Initial height of soils (Hi)	:	2,0	cm
Specific gravity (Gs)	:	2,59	
Wt ring + specimen	:	149,66	gr
Wt of ring	:	60,24	gr
Wt wet soil (Wt)	:	89,42	gr
Computed dry wt of soil (Ws')	:	61,14	gr
Oven dry wt of soil (Ws)	:	61,14	gr
Computed Ht of solids (Ho)	:	0,75	cm

Final Test Data

Initial Dial Reading	:	580	
Final Dial Reading	:	5598	
Change in Sampel Ht	:	0,502	cm

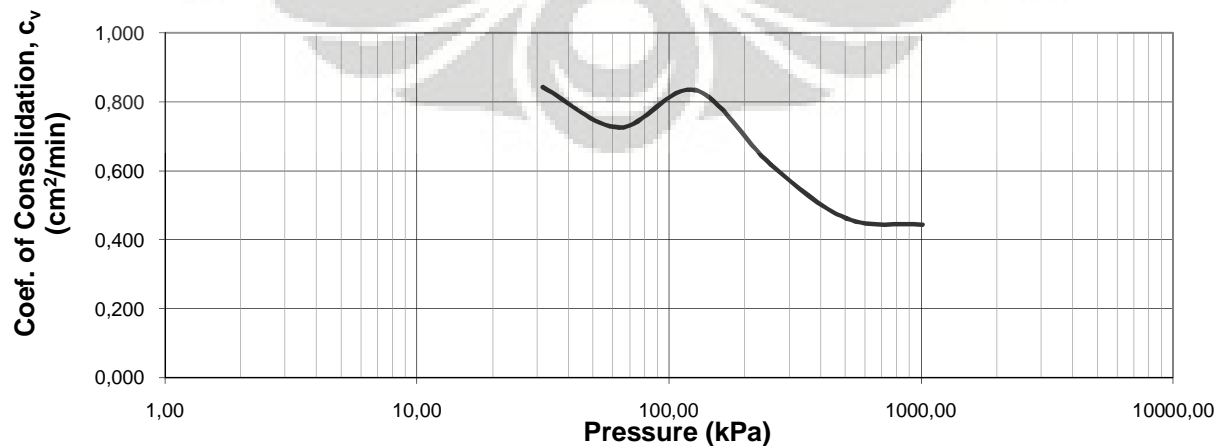
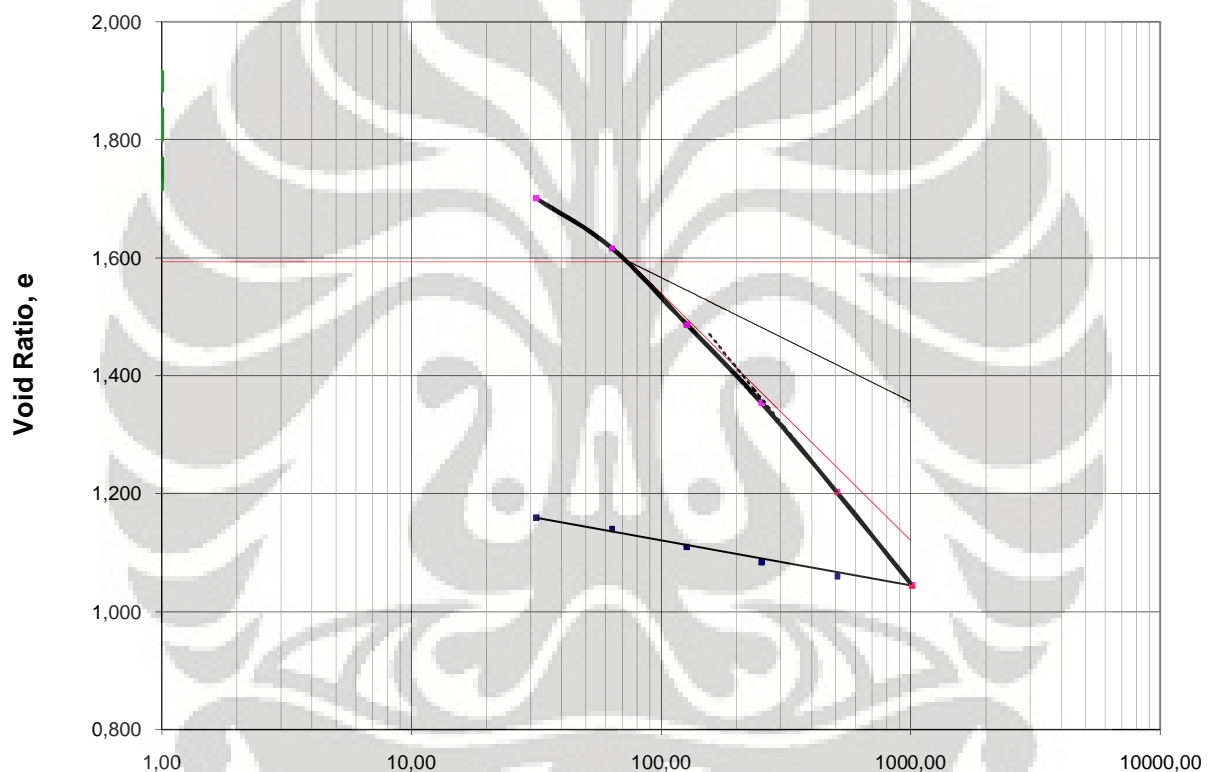


CONSOLIDATION TEST

PROJECT skripsi kaolin	DEPTH OF SAMPLE 0,00 - 1,50 m	TESTED BY Yunita Utami
LOCATION lab mekanika tanah		BOREHOLE NO. 0
DATE OF TESTING 31/05/10 - 10/06/10		DESCRIPTION tanah kaolin $P_c = 100$ kPa

Data

W : 55,76 % Cr : 0,08 P_c : 105,38 kPa
 Gs : 2,59 e_0 : 1,72 Sr : 0,70





**PENGUJIAN DENGAN ALAT
TRIAKSIAL TERKONSOLIDASI
TAK TERDRAINASI
(TRIAXIAL CONSOLIDATED
UNDRAINED/CU)**

KETERANGAN

Project = Skripsi Yunita
Type of Soil = Tanah Kaolin
Type of Test = Triaksial CU
Date of Test = 14 Juni s/d 02 Agustus 2010

Specimen no. = contoh asli

Tegangan σ_3	100 kPa	140 kPa	180 kPa
Maximum deviator stress ($\Delta\sigma = \sigma_1 - \sigma_3$)	101,14	117,90	133,72
Strain at max. deviator stress (ϵ)	10,53	6,91	10,20
Pore pressure at max. deviator stress (Δu)	50	70	95
Effective stress max p'	83,71	109,30	129,57
Effective stress max q	101,14	117,90	133,72

Specimen no. = contoh 7 hari

Tegangan σ_3	100 kPa	140 kPa	180 kPa
Maximum deviator stress ($\Delta\sigma = \sigma_1 - \sigma_3$)	100,03	119,61	136,45
Strain at max. deviator stress (ϵ)	10,53	9,54	9,87
Pore pressure at max. deviator stress (Δu)	55	70	100
Effective stress max p'	78,34	109,87	125,48
Effective stress max q	100,03	119,61	136,45

Specimen no. = contoh 14 hari

Tegangan σ_3	100 kPa	140 kPa	180 kPa
Maximum deviator stress ($\Delta\sigma = \sigma_1 - \sigma_3$)	104,84	129,56	139,62
Strain at max. deviator stress (ϵ)	10,20	9,21	8,88
Pore pressure at max. deviator stress (Δu)	55	90	100
Effective stress max p'	79,95	93,19	126,54
Effective stress max q	104,84	129,56	139,62

Specimen no. = contoh 21 hari

Tegangan σ_3	100 kPa	140 kPa	180 kPa
Maximum deviator stress ($\Delta\sigma = \sigma_1 - \sigma_3$)	112,59	137,91	142,32
Strain at max. deviator stress (ϵ)	10,20	8,88	5,59
Pore pressure at max. deviator stress (Δu)	70	90	105
Effective critical state max p'	67,53	95,97	122,44
Effective critical state max q'	112,59	137,91	142,32

TRIAXIAL SATURATION

Project	Skripsi Kaolin	Type of Test	CU	Specimen Type	Asli
Location	Lab. Mektan FTUI	Tested By	Yunita Utami	Diameter	3,80 cm
Sampel No.	R#2	With / Without	side drains	Height	7,60 cm

$\sigma'_3 = 100 \text{ kPa}$

Date of Test: 29/07/2010

Cell Pressure (kPa)	Back Pressure (kPa)	Pore Pressure (kPa)	PWP diff. (kPa)	B Value	Back Pressure Volume Change			Cell Volume Change LHS/RHS		
					before	after	diff	before	after	diff
0	0	0	-	-						
50	-	20	20	0,4	-	-	-	24,2	25,1	0,9
50	40	35	-	-	20,6	21,1	0,5	-	-	-
100	-	85	50	1,0	-	-	-	25,8	26,6	0,8
100	90	90	-	-	21,8	22,6	0,8	-	-	-

$\sigma'_3 = 140 \text{ kPa}$

Date of Test: 29/07/2010

Cell Pressure (kPa)	Back Pressure (kPa)	Pore Pressure (kPa)	PWP diff. (kPa)	B Value	Back Pressure Volume Change			Cell Volume Change LHS/RHS		
					before	after	diff	before	after	diff
0	0	0	-	-						
50	-	25	25	0,5	-	-	-	15,8	16,7	0,9
50	40	35	-	-	12,2	12,9	0,7	-	-	-
100	-	85	50	1,0	-	-	-	17,0	17,8	0,8
100	90	85	-	-	12,9	13,4	0,5	-	-	-

$\sigma'_3 = 180 \text{ kPa}$

Date of Test: 29/07/2010

Cell Pressure (kPa)	Back Pressure (kPa)	Pore Pressure (kPa)	PWP diff. (kPa)	B value	Back Pressure Volume Change			Cell Volume Change LHS/RHS		
					before	after	diff	before	after	diff
0	0	0	-	-						
50	-	15	15	0,3	-	-	-	9,8	10,9	1,1
50	40	35	-	-	15,4	16,2	0,8	-	-	-
100	-	85	50	1,0	-	-	-	13,3	15,1	1,8
100	90	90	-	-	17,0	18,2	1,2	-	-	-

TRIAxIAL CONSOLIDATION

Project	Skripsi Kaolin	Type of Test	CU	Specimen Type	Asli
Location	Lab. Mektan FTUI	Tested By	Yunita Utami	Diameter	3,80 cm
Sampel No.	R#2	With / Without	side drains	Height	7,60 cm

Date of Test:

29/07/2010

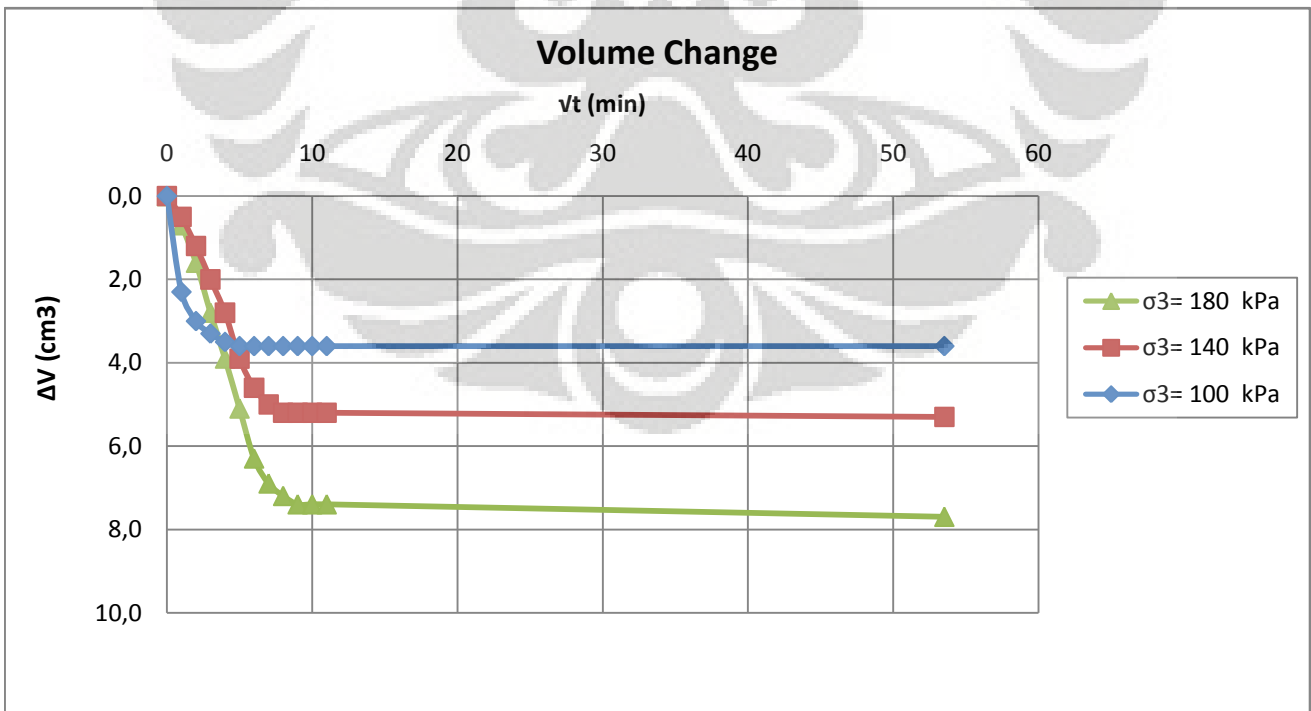
Effective Press. (kPa)	100	
Cell Press. (kPa)	190	
Back Press. (kPa)	90	
\sqrt{t} (min)	Change	
	ΔV (cm ³)	ΔU (kPa)
0	0,0	0
1	2,3	40
2	3,0	25
3	3,3	5
4	3,5	5
5	3,6	2
6	3,6	0
7	3,6	0
8	3,6	0
9	3,6	0
10	3,6	0
11	3,6	0
54	3,6	0

29/07/2010

Effective Press. (kPa)	140	
Cell Press. (kPa)	230	
Back Press. (kPa)	90	
\sqrt{t} (min)	Change	
	ΔV (cm ³)	ΔU (kPa)
0	0,0	0
1	0,5	70
2	1,2	55
3	2,0	50
4	2,8	30
5	3,9	25
6	4,6	10
7	5,0	8
8	5,2	8
9	5,2	5
10	5,2	0
11	5,2	0
54	5,3	0

29/07/2010

Effective Press. (kPa)	180	
Cell Press. (kPa)	270	
Back Press. (kPa)	90	
\sqrt{t} (min)	Change	
	ΔV (cm ³)	ΔU (kPa)
0	0,0	0
1	0,7	140
2	1,6	80
3	2,8	65
4	3,9	40
5	5,1	35
6	6,3	25
7	6,9	30
8	7,2	10
9	7,4	5
10	7,4	0
11	7,4	0
54	7,7	0,0



SAMPEL DIMENSION CHANGE

Project	Skripsi Kaolin	Tested By	Yunita Utami	Type of Test	CU
Location	Lab Mektan FTUI	Specimen Type	Asli	With / Without	side drains

$\sigma'_3 = 100 \text{ kPa}$

Water Content Determination		Initial	Final	Net Volume Change	
Weight of can (gr)		8,94	8,94	Filter Correction	- cm ³
Weight of wet sample + can (gr)		148,94	145,2	Cell Correction	- cm ³
Weight of dry sample + can (gr)		-	98,21	Corrected Vol Change (ΔV_s)	0 cm ³
Water Content (%)		56,83%	52,64%	Consolidation Vol Change (ΔV_c)	3,60 cm ³
Weight of wet sample (gr)		140,00	γ_n (ton/m ³)	1,625	$\Delta V_s + \Delta V_c = \Delta V_t$
Ao	11,335 cm ²	$\epsilon_v = \Delta V_t / V_o \times 100\%$		1/3 ϵ_v	2/3 ϵ_v
Vo	86,149 cm ³	4,18%		1,39%	2,79%
$H_c = H_o (1 - 1/3 \epsilon_v / 100)$		$A_c = A_o (1 - 2/3 \epsilon_v / 100)$		$V_c = V_o - \Delta V_t$	
7,599 cm		11,332 cm ²		82,549 cm ³	

$\sigma'_3 = 140 \text{ kPa}$

Water Content Determination		Initial	Final	Net Volume Change	
Weight of can (gr)		8,49	8,49	Filter Correction	- cm ³
Weight of wet sample + can (gr)		148,86	144,48	Cell Correction	- cm ³
Weight of dry sample + can (gr)		-	98,17	Corrected Vol Change (ΔV_s)	0 cm ³
Water Content (%)		56,52%	51,64%	Consolidation Vol Change (ΔV_c)	5,30 cm ³
Weight of wet sample (gr)		140,37	γ_n (ton/m ³)	1,629	$\Delta V_s + \Delta V_c = \Delta V_t$
Ao	11,335 cm ²	$\epsilon_v = \Delta V_t / V_o \times 100\%$		1/3 ϵ_v	2/3 ϵ_v
Vo	86,149 cm ³	6,15%		2,05%	4,10%
$H_c = H_o (1 - 1/3 \epsilon_v / 100)$		$A_c = A_o (1 - 2/3 \epsilon_v / 100)$		$V_c = V_o - \Delta V_t$	
7,598 cm		11,331 cm ²		80,849 cm ³	

$\sigma'_3 = 180 \text{ kPa}$

Water Content Determination		Initial	Final	Net Volume Change	
Weight of can (gr)		8,08	8,08	Filter Correction	- cm ³
Weight of wet sample + can (gr)		148,09	144,45	Cell Correction	- cm ³
Weight of dry sample + can (gr)		-	97,69	Corrected Vol Change (ΔV_s)	0 cm ³
Water Content (%)		56,24%	52,18%	Consolidation Vol Change (ΔV_c)	7,70 cm ³
Weight of wet sample (gr)		140,01	γ_n (ton/m ³)	1,625	$\Delta V_s + \Delta V_c = \Delta V_t$
Ao	11,335 cm ²	$\epsilon_v = \Delta V_t / V_o \times 100\%$		1/3 ϵ_v	2/3 ϵ_v
Vo	86,149 cm ³	8,94%		2,98%	5,96%
$H_c = H_o (1 - 1/3 \epsilon_v / 100)$		$A_c = A_o (1 - 2/3 \epsilon_v / 100)$		$V_c = V_o - \Delta V_t$	
7,598 cm		11,329 cm ²		78,449 cm ³	

TRIAKSIAL SHEARING

Date of Testing = 02-Agust-10 Length = 7,599 cm Eff. cell pressure = 100 kPa
 Cell no. = 1 Area = 11,332 cm² Cell pressure = 190 kPa
 Spesimen type = Asli Volume = 86,113 cm³ Back pressure = 90 kPa

Strain			Axial load		Pore pressure		Corrected area	deviator stress ($\sigma_1 - \sigma_3$)	Critical State	
Dial		(ϵ)	Dial	Load	(u)	(Δu)			(p')	(q')
1 div =	0,001 cm		1 div =	0,14 kg	(kPa)	(kPa)	(cm ²)	(kPa)	($(\sigma_1' + 2\sigma_3')/3$)	($\sigma_1' - \sigma_3'$)
(div)	(cm)	(%)	(div)	(kg)	(kPa)	(kPa)	(cm ²)	(kPa)	(kPa)	(kPa)
0	0	0	0	0	90	0	11,33	0	100,00	0,00
25	0,025	0,329	15,0	2,1	95	5	11,37	18,47	101,16	18,47
50	0,05	0,658	19,0	2,7	100	10	11,41	23,32	97,77	23,32
75	0,075	0,987	24,5	3,4	105	15	11,45	29,97	94,99	29,97
100	0,1	1,316	24,5	3,4	110	20	11,48	29,87	89,96	29,87
125	0,125	1,645	29,0	4,1	115	25	11,52	35,24	86,75	35,24
150	0,15	1,974	34,5	4,8	120	30	11,56	41,78	83,93	41,78
175	0,175	2,303	38,5	5,4	124	34	11,60	46,47	81,49	46,47
200	0,2	2,632	44,0	6,2	127	37	11,64	52,93	80,64	52,93
225	0,225	2,961	49,0	6,9	130	40	11,68	58,74	79,58	58,74
250	0,25	3,290	56,0	7,8	134	44	11,72	66,91	78,30	66,91
275	0,275	3,619	62,0	8,7	135	45	11,76	73,82	79,61	73,82
300	0,3	3,948	68,0	9,5	135	45	11,80	80,69	81,90	80,69
325	0,325	4,277	73,5	10,3	135	45	11,84	86,92	83,97	86,92
350	0,35	4,606	77,5	10,9	138	48	11,88	91,33	82,44	91,33
375	0,375	4,935	82,0	11,5	138	48	11,92	96,30	84,10	96,30
400	0,4	5,264	82,5	11,6	138	48	11,96	96,56	84,19	96,56
425	0,425	5,593	82,5	11,6	138	48	12,00	96,22	84,07	96,22
450	0,45	5,922	83,0	11,6	140	50	12,05	96,47	82,16	96,47
475	0,475	6,251	84,0	11,8	140	50	12,09	97,29	82,43	97,29
500	0,5	6,580	85,0	11,9	140	50	12,13	98,10	82,70	98,10
525	0,525	6,909	85,5	12,0	140	50	12,17	98,33	82,78	98,33
550	0,55	7,238	85,5	12,0	140	50	12,22	97,98	82,66	97,98
575	0,575	7,567	86,5	12,1	140	50	12,26	98,78	82,93	98,78
600	0,6	7,896	87,0	12,2	140	50	12,30	98,99	83,00	98,99
625	0,625	8,225	87,5	12,3	140	50	12,35	99,21	83,07	99,21
650	0,65	8,554	87,5	12,3	140	50	12,39	98,85	82,95	98,85
675	0,675	8,883	88,0	12,3	140	50	12,44	99,06	83,02	99,06
700	0,7	9,212	88,5	12,4	140	50	12,48	99,26	83,09	99,26
725	0,725	9,541	89,5	12,5	140	50	12,53	100,02	83,34	100,02
750	0,75	9,870	89,5	12,5	140	50	12,57	99,66	83,22	99,66
775	0,775	10,199	90,0	12,6	140	50	12,62	99,85	83,28	99,85
800	0,8	10,528	91,5	12,8	140	50	12,67	101,14	83,71	101,14
825	0,825	10,857	91,5	12,8	140	50	12,71	100,77	83,59	100,77
850	0,85	11,186	91,5	12,8	140	50	12,76	100,40	83,47	100,40
875	0,875	11,515	91,5	12,8	140	50	12,81	100,02	83,34	100,02
900	0,9	11,844	91,5	12,8	140	50	12,85	99,65	83,22	99,65

Calculation:

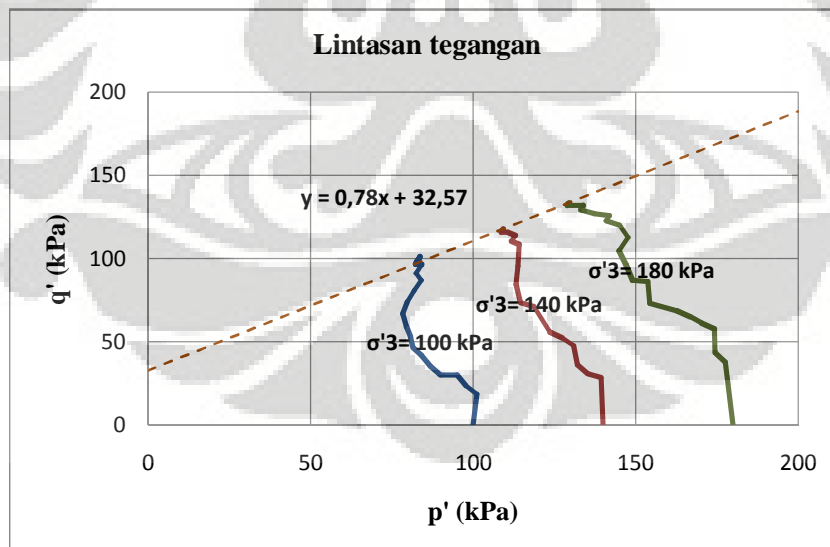
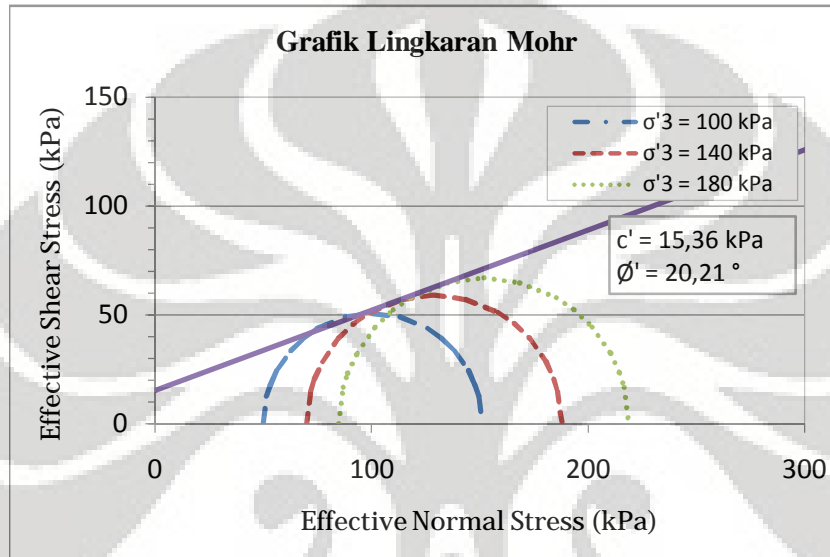
Maximum deviator stress ($\Delta\sigma = \sigma_1 - \sigma_3$) = 101,14 (kPa)
 Pore pressure at max. deviator stress (Δu) = 50 (kPa)
 Strain at max. deviator stress (ϵ) = 10,528 (%)

Critical state

Effective stress max p' = 83,71 (kPa)
 Effective stress max q' = 101,14 (kPa)

CONTOH ASLI

Parameter kekuatan geser	c' (kPa)	ϕ' (°)
Berdasarkan Diagram Mohr	15,36	20,21
Berdasarkan Lintasan Tegangan	15,29	20,19



TRIAxIAL SATURATION

Project	Skripsi Kaolin	Type of Test	CU	Specimen Type	7 Hari
Location	Lab. Mektan FTUI	Tested By	Yunita Utami	Diameter	3,80 cm
Sampel No.	R#1	With / Without	side drains	Height	7,60 cm

$\sigma'_3 = 100 \text{ kPa}$

Date of Test: 14/06/2010

Cell Pressure (kPa)	Back Pressure (kPa)	Pore Pressure (kPa)	PWP diff. (kPa)	B Value	Back Pressure Volume Change			Cell Volume Change LHS/RHS		
					before	after	diff	before	after	diff
0	0	0	-	-						
50	-	15	15	0,3	-	-	-	24,6	27,3	2,7
50	40	35	-	-	17,5	20,2	2,7	-	-	-
100	-	83	48	1	-	-	-	28,6	30,8	2,2
100	90	85	-	-	20,2	21,5	1,3	-	-	-

$\sigma'_3 = 140 \text{ kPa}$

Date of Test: 28/06/2010

Cell Pressure (kPa)	Back Pressure (kPa)	Pore Pressure (kPa)	PWP diff. (kPa)	B Value	Back Pressure Volume Change			Cell Volume Change LHS/RHS		
					before	after	diff	before	after	diff
0	0	0	-	-						
50	-	15	15	0,3	-	-	-	6,7	8,1	1,4
50	40	30	-	-	7,1	8,6	1,5	-	-	-
100	-	60	30	0,6	-	-	-	9,2	13,4	4,2
100	90	70	-	-	8,6	9,4	0,8	-	-	-
150	-	120	50	1	-	-	-	14,2	18,3	4,1
150	140	140	-	-	9,5	10,2	0,7	-	-	-

$\sigma'_3 = 180 \text{ kPa}$

Date of Test: 28/06/2010

Cell Pressure (kPa)	Back Pressure (kPa)	Pore Pressure (kPa)	PWP diff. (kPa)	B value	Back Pressure Volume Change			Cell Volume Change LHS/RHS		
					before	after	diff	before	after	diff
0	0	0	-	-						
50	-	25	25	0,5	-	-	-	13,5	15,8	2,3
50	40	30	-	-	14	14,5	0,5	-	-	-
100	-	65	35	0,7	-	-	-	17,3	23,1	5,8
100	90	85	-	-	14,8	17,9	3,1	-	-	-
150	-	135	50	1,0	-	-	-	24	29	5
150	140	140	-	-	18,3	19,1	0,8	-	-	-

TRIAXIAL CONSOLIDATION

Project	Skripsi Kaolin	Type of Test	CU	Specimen Type	7 Hari
Location	Lab. Mektan FTUI	Tested By	Yunita Utami	Diameter	3,80 cm
Sampel No.	R#1	With / Without	side drains	Height	7,60 cm

Date of Test:

15/06/2010

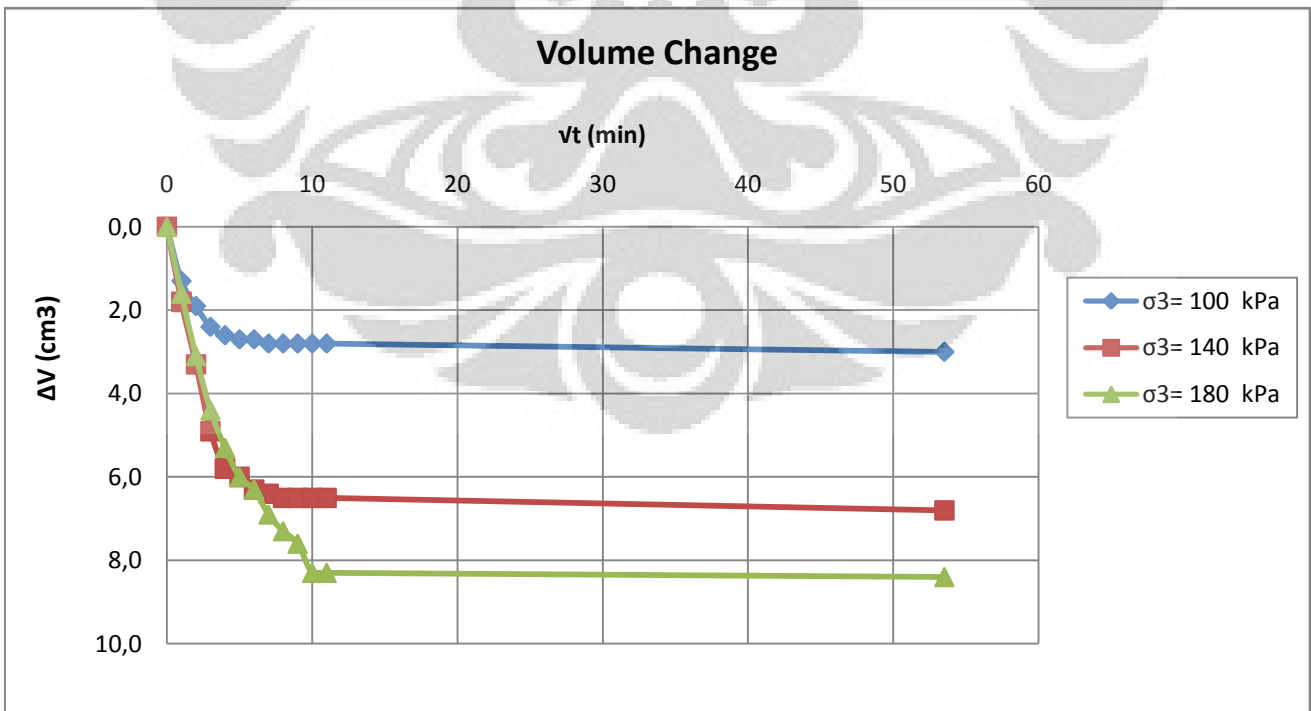
Effective Press. (kPa)	100	
Cell Press. (kPa)	190	
Back Press. (kPa)	90	
\sqrt{t} (min)	Change	
	ΔV (cm ³)	ΔU (kPa)
0	0,0	0
1	1,3	35
2	1,9	10
3	2,4	7
4	2,6	5
5	2,7	4
6	2,7	3
7	2,8	3
8	2,8	2
9	2,8	2
10	2,8	2
11	2,8	0
54	3,0	0

30/06/2010

Effective Press. (kPa)	140	
Cell Press. (kPa)	280	
Back Press. (kPa)	140	
\sqrt{t} (min)	Change	
	ΔV (cm ³)	ΔU (kPa)
0	0,0	0
1	1,8	60
2	3,3	50
3	4,9	40
4	5,8	30
5	6,0	30
6	6,3	30
7	6,4	20
8	6,5	15
9	6,5	10
10	6,5	0
11	6,5	0
54	6,8	0

30/06/2010

Effective Press. (kPa)	180	
Cell Press. (kPa)	320	
Back Press. (kPa)	140	
\sqrt{t} (min)	Change	
	ΔV (cm ³)	ΔU (kPa)
0	0,0	0
1	1,6	120
2	3,1	100
3	4,4	60
4	5,3	45
5	6,0	30
6	6,3	35
7	6,9	20
8	7,3	15
9	7,6	10
10	8,3	10
11	8,3	10
54	8,4	0,0



SAMPEL DIMENSION CHANGE

Project	Skripsi Kaolin	Tested By	Yunita Utami	Type of Test	CU
Location	Lab Mektan FTUI	Specimen Type	7 Hari	With / Without	side drains

$\sigma'_3 = 100 \text{ kPa}$

Water Content Determination		Initial	Final	Net Volume Change	
Weight of can (gr)		8,01	8,01	Filter Correction	- cm ³
Weight of wet sample + can (gr)		148,52	147,2	Cell Correction	- cm ³
Weight of dry sample + can (gr)		-	98,68	Corrected Vol Change (ΔV_s)	0 cm ³
Water Content (%)		54,97%	53,51%	Consolidation Vol Change (ΔV_c)	3,00 cm ³
Weight of wet sample (gr)		140,51	v_n (ton/m ³)	1,631	$\Delta V_s + \Delta V_c = \Delta V_t$
Ao	11,335 cm ²	$\epsilon_v = \Delta V_t / V_o \times 100\%$		1/3 ϵ_v	2/3 ϵ_v
Vo	86,149 cm ³	3,48%		1,16%	2,32%
$H_c = H_o (1 - 1/3 \epsilon_v / 100)$		$A_c = A_o (1 - 2/3 \epsilon_v / 100)$		$V_c = V_o - \Delta V_t$	
7,599 cm		11,333 cm ²		83,149 cm ³	

$\sigma'_3 = 140 \text{ kPa}$

Water Content Determination		Initial	Final	Net Volume Change	
Weight of can (gr)		9,74	9,74	Filter Correction	- cm ³
Weight of wet sample + can (gr)		150,5	148,63	Cell Correction	- cm ³
Weight of dry sample + can (gr)		-	99,35	Corrected Vol Change (ΔV_s)	0 cm ³
Water Content (%)		57,08%	54,99%	Consolidation Vol Change (ΔV_c)	6,80 cm ³
Weight of wet sample (gr)		140,76	v_n (ton/m ³)	1,634	$\Delta V_s + \Delta V_c = \Delta V_t$
Ao	11,335 cm ²	$\epsilon_v = \Delta V_t / V_o \times 100\%$		1/3 ϵ_v	2/3 ϵ_v
Vo	86,149 cm ³	7,89%		2,63%	5,26%
$H_c = H_o (1 - 1/3 \epsilon_v / 100)$		$A_c = A_o (1 - 2/3 \epsilon_v / 100)$		$V_c = V_o - \Delta V_t$	
7,598 cm		11,329 cm ²		79,349 cm ³	

$\sigma'_3 = 180 \text{ kPa}$

Water Content Determination		Initial	Final	Net Volume Change	
Weight of can (gr)		9,74	9,74	Filter Correction	- cm ³
Weight of wet sample + can (gr)		151,06	145,24	Cell Correction	- cm ³
Weight of dry sample + can (gr)		-	100,04	Corrected Vol Change (ΔV_s)	0 cm ³
Water Content (%)		56,50%	50,06%	Consolidation Vol Change (ΔV_c)	8,40 cm ³
Weight of wet sample (gr)		141,32	v_n (ton/m ³)	1,640	$\Delta V_s + \Delta V_c = \Delta V_t$
Ao	11,335 cm ²	$\epsilon_v = \Delta V_t / V_o \times 100\%$		1/3 ϵ_v	2/3 ϵ_v
Vo	86,149 cm ³	9,75%		3,25%	6,50%
$H_c = H_o (1 - 1/3 \epsilon_v / 100)$		$A_c = A_o (1 - 2/3 \epsilon_v / 100)$		$V_c = V_o - \Delta V_t$	
7,598 cm		11,328 cm ²		77,749 cm ³	

TRIAXIAL SHEARING

Project	Skripsi Kaolin	Tested By	Yunita Utami	Type of Test	CU
Location	Lab Mektan FTUI	Specimen Type	7 Hari	With / Without	side drains

Date of Test :
17-Jun-10

Date of Test :
02-Jul-10

Date of Test :
02-Jul-10

SPECIMEN 1

SPECIMEN 2

SPECIMEN 3

Ring Calibration		kg/div		Ring Calibration		kg/div		Ring Calibration		kg/div	
Deformation		Dial	U	Deformation		Dial	U	Deformation		Dial	U
Dial (div)	Δh	Reading	(kPa)	Dial (div)	Δh	Reading	(kPa)	Dial (div)	Δh	Reading	(kPa)
0	0	0,0	85	0	0	0,0	125	0	0	0,0	140
25	0,025	24,5	87	25	0,025	27,5	135	25	0,025	35,0	160
50	0,05	34,5	102	50	0,05	50,5	145	50	0,05	60,5	170
75	0,075	43,0	110	75	0,075	52,5	150	75	0,075	68,5	185
100	0,1	49,5	120	100	0,1	58,5	160	100	0,1	72,0	190
125	0,125	53,5	120	125	0,125	68,0	170	125	0,125	78,0	200
150	0,15	58,0	130	150	0,15	73,5	175	150	0,15	79,5	200
175	0,175	60,0	130	175	0,175	75,0	180	175	0,175	81,5	200
200	0,2	64,5	130	200	0,2	81,5	185	200	0,2	89,5	210
225	0,225	65,0	130	225	0,225	85,5	190	225	0,225	91,0	210
250	0,25	68,0	135	250	0,25	85,5	190	250	0,25	93,0	210
275	0,275	69,0	135	275	0,275	88,5	190	275	0,275	96,5	210
300	0,3	73,0	140	300	0,3	90,5	190	300	0,3	100,5	215
325	0,325	73,5	140	325	0,325	93,0	190	325	0,325	101,0	215
350	0,35	75,5	140	350	0,35	94,5	190	350	0,35	102,5	215
375	0,375	77,5	140	375	0,375	96,0	190	375	0,375	105,0	215
400	0,4	78,0	140	400	0,4	97,5	195	400	0,4	105,0	215
425	0,425	79,5	140	425	0,425	98,5	195	425	0,425	108,0	220
450	0,45	80,5	140	450	0,45	99,0	195	450	0,45	108,0	220
475	0,475	81,5	140	475	0,475	99,5	195	475	0,475	108,5	220
500	0,5	82,0	140	500	0,5	100,5	195	500	0,5	109,0	220
525	0,525	82,5	140	525	0,525	101,0	195	525	0,525	110,0	220
550	0,55	85,0	140	550	0,55	101,5	195	550	0,55	111,5	220
575	0,575	86,0	140	575	0,575	102,0	195	575	0,575	112,0	220
600	0,6	86,5	140	600	0,6	102,5	195	600	0,6	115,0	230
625	0,625	87,0	140	625	0,625	103,5	195	625	0,625	115,5	230
650	0,65	87,5	140	650	0,65	104,5	195	650	0,65	116,0	230
675	0,675	88,0	140	675	0,675	105,0	195	675	0,675	118,0	240
700	0,7	88,0	140	700	0,7	106,0	195	700	0,7	118,5	240
725	0,725	88,5	140	725	0,725	107,0	195	725	0,725	119,5	240
750	0,75	89,0	140	750	0,75	106,5	195	750	0,75	122,5	240
775	0,775	89,5	140	775	0,775	106,5	195	775	0,775	122,5	240
800	0,8	90,5	140	800	0,8	106,5	195	800	0,8	122,5	240
825	0,825	90,5	140	825	0,825	106,5	195	825	0,825	122,5	240
850	0,85	90,5	140					850	0,85	122,5	240
875	0,875	90,5	140								
900	0,9	90,5	140								

TRIAKSIAL SHEARING

Date of Testing = 17-Jun-10 Length = 7,599 cm Eff. cell pressure = 100 kPa
 Cell no. = 1 Area = 11,333 cm² Cell pressure = 190 kPa
 Spesimen type = 7 Hari Volume = 86,119 cm³ Back pressure = 90 kPa

Strain			Axial load		Pore pressure		Corrected area	deviator stress ($\sigma_1 - \sigma_3$)	Critical State	
Dial		(ϵ)	Dial	Load	(u)	(Δu)			(p')	(q')
1 div =	0,001 cm	(%)	1 div =	0,14 kg	(kPa)	(kPa)	(cm ²)	($\sigma_1 - \sigma_3$)	($\sigma_1' + 2\sigma_3'$)/3	($\sigma_1' - \sigma_3'$)
(div)	(cm)	(%)	(div)	(kg)	(kPa)	(kPa)	(cm ²)	(kPa)	(kPa)	(kPa)
0	0	0	0	0	85	0	11,33	0	100,00	0,00
25	0,025	0,329	24,5	3,4	87	2	11,37	30,17	108,06	30,17
50	0,05	0,658	34,5	4,8	102	17	11,41	42,34	97,11	42,34
75	0,075	0,987	43,0	6,0	110	25	11,45	52,60	92,53	52,60
100	0,1	1,316	49,5	6,9	120	35	11,48	60,35	85,12	60,35
125	0,125	1,645	53,5	7,5	120	35	11,52	65,00	86,67	65,00
150	0,15	1,974	58,0	8,1	130	45	11,56	70,24	78,41	70,24
175	0,175	2,303	60,0	8,4	130	45	11,60	72,41	79,14	72,41
200	0,2	2,632	64,5	9,0	130	45	11,64	77,58	80,86	77,58
225	0,225	2,961	65,0	9,1	130	45	11,68	77,92	80,97	77,92
250	0,25	3,290	68,0	9,5	135	50	11,72	81,24	77,08	81,24
275	0,275	3,619	69,0	9,7	135	50	11,76	82,15	77,38	82,15
300	0,3	3,948	73,0	10,2	140	55	11,80	86,62	73,87	86,62
325	0,325	4,277	73,5	10,3	140	55	11,84	86,92	73,97	86,92
350	0,35	4,606	75,5	10,6	140	55	11,88	88,97	74,66	88,97
375	0,375	4,935	77,5	10,9	140	55	11,92	91,02	75,34	91,02
400	0,4	5,264	78,0	10,9	140	55	11,96	91,29	75,43	91,29
425	0,425	5,593	79,5	11,1	140	55	12,00	92,72	75,91	92,72
450	0,45	5,922	80,5	11,3	140	55	12,05	93,56	76,19	93,56
475	0,475	6,251	81,5	11,4	140	55	12,09	94,39	76,46	94,39
500	0,5	6,580	82,0	11,5	140	55	12,13	94,63	76,54	94,63
525	0,525	6,909	82,5	11,6	140	55	12,17	94,88	76,63	94,88
550	0,55	7,238	85,0	11,9	140	55	12,22	97,41	77,47	97,41
575	0,575	7,567	86,0	12,0	140	55	12,26	98,20	77,73	98,20
600	0,6	7,896	86,5	12,1	140	55	12,30	98,42	77,81	98,42
625	0,625	8,225	87,0	12,2	140	55	12,35	98,64	77,88	98,64
650	0,65	8,554	87,5	12,3	140	55	12,39	98,85	77,95	98,85
675	0,675	8,883	88,0	12,3	140	55	12,44	99,05	78,02	99,05
700	0,7	9,212	88,0	12,3	140	55	12,48	98,70	77,90	98,70
725	0,725	9,541	88,5	12,4	140	55	12,53	98,90	77,97	98,90
750	0,75	9,870	89,0	12,5	140	55	12,57	99,10	78,03	99,10
775	0,775	10,199	89,5	12,5	140	55	12,62	99,29	78,10	99,29
800	0,8	10,528	90,5	12,7	140	55	12,67	100,03	78,34	100,03
825	0,825	10,857	90,5	12,7	140	55	12,71	99,66	78,22	99,66
850	0,85	11,186	90,5	12,7	140	55	12,76	99,29	78,10	99,29
875	0,875	11,514	90,5	12,7	140	55	12,81	98,93	77,98	98,93
900	0,9	11,843	90,5	12,7	140	55	12,86	98,56	77,85	98,56

Calculation:

Maximum deviator stress ($\Delta\sigma = \sigma_1 - \sigma_3$) = 100,03 (kPa)
 Pore pressure at max. deviator stress (Δu) = 55 (kPa)
 Strain at max. deviator stress (ϵ) = 10,528 (%)

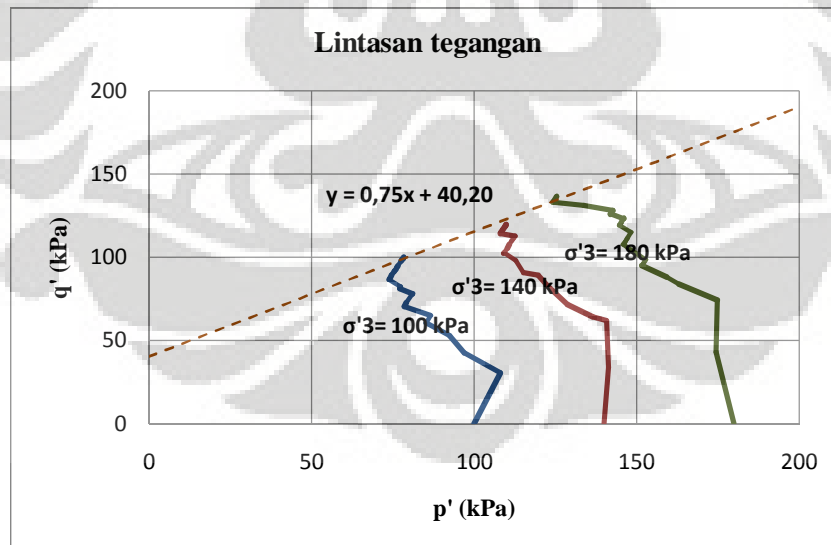
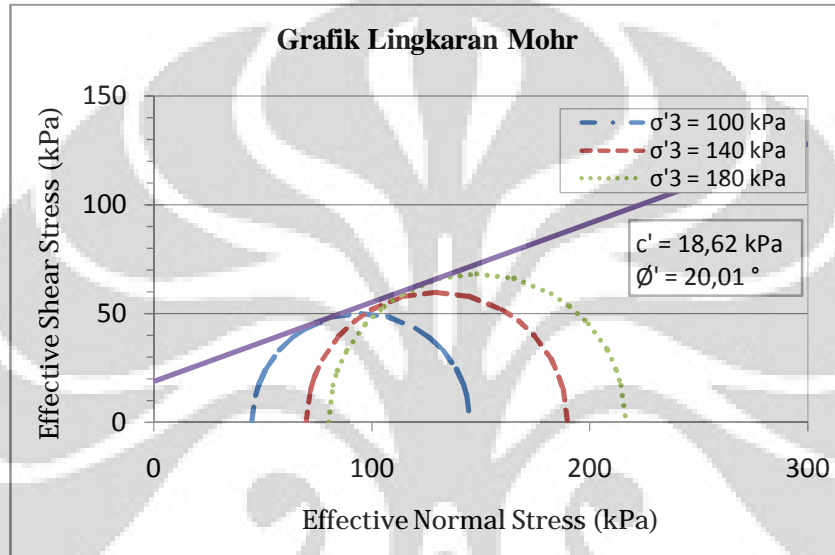
Critical state

Effective stress max p' = 78,34 (kPa)
 Effective stress max q' = 100,03 (kPa)

Ket: pore pressure saat $\epsilon=0$, dianggap sama dengan nilai back pressure

CONTOH 7 HARI

Parameter kekuatan geser	c' (kPa)	ϕ' (°)
Berdasarkan Diagram Mohr	18,62	20,01
Berdasarkan Lintasan Tegangan	18,92	19,47



TRIAXIAL SATURATION

Project	Skripsi Kaolin	Type of Test	CU	Specimen Type	14 Hari
Location	Lab. Mektan FTUI	Tested By	Yunita Utami	Diameter	3,80 cm
Sampel No.	R#1 & R#2	With / Without	side drains	Height	7,60 cm

$\sigma'_3 = 100 \text{ kPa}$

Date of Test: 14/06/2010

Cell Pressure (kPa)	Back Pressure (kPa)	Pore Pressure (kPa)	PWP diff. (kPa)	B Value	Back Pressure Volume Change			Cell Volume Change LHS/RHS		
					before	after	diff	before	after	diff
0	0	0	-	-						
50	-	15	15	0,3	-	-	-	20,3	24,4	4,1
50	40	35	-	-	18,8	22	3,2	-	-	-
100	-	90	55	1	-	-	-	24,5	28,2	3,7
100	90	90	-	-	22,5	22,7	0,2	-	-	-

$\sigma'_3 = 140 \text{ kPa}$

Date of Test: 26/07/2010

Cell Pressure (kPa)	Back Pressure (kPa)	Pore Pressure (kPa)	PWP diff. (kPa)	B Value	Back Pressure Volume Change			Cell Volume Change LHS/RHS		
					before	after	diff	before	after	diff
0	0	0	-	-						
50	-	20	20	0,4	-	-	-	14,4	20,2	5,8
50	40	35	-	-	14,9	17,9	3	-	-	-
100	-	85	50	1	-	-	-	20,3	22,7	2,4
100	90	85	-	-	18,3	19,0	0,7	-	-	-

$\sigma'_3 = 180 \text{ kPa}$

Date of Test: 14/06/2010

Cell Pressure (kPa)	Back Pressure (kPa)	Pore Pressure (kPa)	PWP diff. (kPa)	B value	Back Pressure Volume Change			Cell Volume Change LHS/RHS		
					before	after	diff	before	after	diff
0	0	0	-	-						
50	-	35	35	0,7	-	-	-	7,2	10,4	3,2
50	40	40	-	-	8,6	10,8	2,2	-	-	-
100	-	80	40	0,8	-	-	-	24,7	25,5	0,8
100	90	75	-	-	11,1	12,2	1,1	-	-	-
150	-	125	50	1,0	-	-	-	26,9	29	2,1
150	140	127	-	-	13,5	14,8	1,3	-	-	-

TRIAxIAL CONSOLIDATION

Project	Skripsi Kaolin	Type of Test	CU	Specimen Type	14 Hari
Location	Lab. Mektan FTUI	Tested By	Yunita Utami	Diameter	3,80 cm
Sampel No.	R#1 & R#2	With / Without	side drains	Height	7,60 cm

Date of Test:

15/06/2010

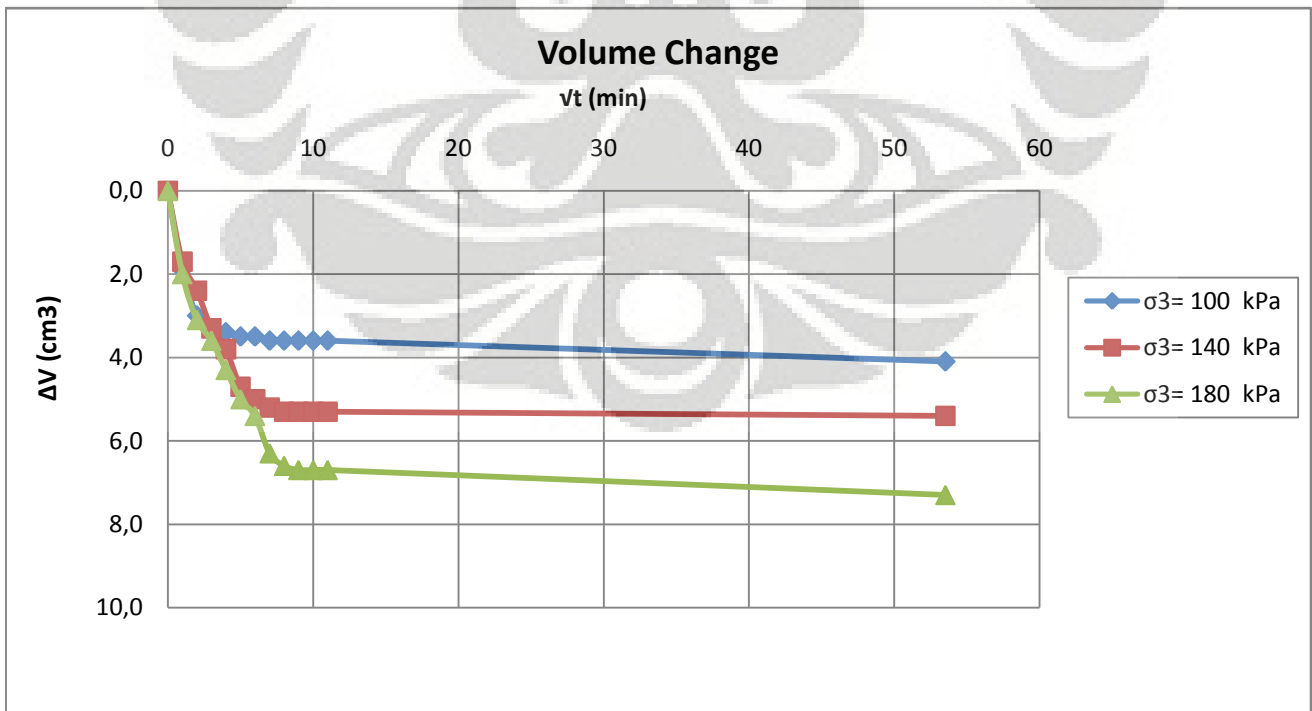
Effective Press. (kPa)	100	
Cell Press. (kPa)	190	
Back Press. (kPa)	90	
\sqrt{t} (min)	Change	
	ΔV (cm ³)	ΔU (kPa)
0	0,0	0
1	1,9	45
2	3,0	20
3	3,4	10
4	3,4	8
5	3,5	7
6	3,5	6
7	3,6	5
8	3,6	5
9	3,6	3
10	3,6	3
11	3,6	3
54	4,1	0

27/07/2010

Effective Press. (kPa)	140	
Cell Press. (kPa)	230	
Back Press. (kPa)	90	
\sqrt{t} (min)	Change	
	ΔV (cm ³)	ΔU (kPa)
0	0	0
1	1,7	85
2	2,4	55
3	3,3	25
4	3,8	20
5	4,7	15
6	5,0	5
7	5,2	5
8	5,3	5
9	5,3	5
10	5,3	0
11	5,3	0
54	5,4	0

15/06/2010

Effective Press. (kPa)	180	
Cell Press. (kPa)	320	
Back Press. (kPa)	140	
\sqrt{t} (min)	Change	
	ΔV (cm ³)	ΔU (kPa)
0	0	0
1	2,0	95
2	3,1	60
3	3,6	35
4	4,3	23
5	5,0	20
6	5,4	13
7	6,3	5
8	6,6	0
9	6,7	0
10	6,7	0
11	6,7	0
54	7,3	0



SAMPEL DIMENSION CHANGE

Project	Skripsi Kaolin	Tested By	Yunita Utami	Type of Test	CU
Location	Lab Mektan FTUI	Specimen Type	14 Hari	With / Without	side drains

$\sigma'_3 = 100 \text{ kPa}$

Water Content Determination		Initial	Final	Net Volume Change	
Weight of can (gr)		7,87	7,87	Filter Correction	- cm ³
Weight of wet sample + can (gr)		147,96	144,81	Cell Correction	- cm ³
Weight of dry sample + can (gr)		-	96,94	Corrected Vol Change (ΔV_s)	0 cm ³
Water Content (%)		57,28%	53,74%	Consolidation Vol Change (ΔV_c)	4,10 cm ³
Weight of wet sample (gr)		140,09	v_n (ton/m ³)	1,626	$\Delta V_s + \Delta V_c = \Delta V_t$
Ao	11,335 cm ²	$\epsilon_v = \Delta V_t / V_o \times 100\%$		1/3 ϵ_v	2/3 ϵ_v
Vo	86,149 cm ³	4,76%		1,59%	3,17%
$H_c = H_o (1 - 1/3 \epsilon_v / 100)$		$A_c = A_o (1 - 2/3 \epsilon_v / 100)$		$V_c = V_o - \Delta V_t$	
7,599 cm		11,332 cm ²		82,049 cm ³	

$\sigma'_3 = 140 \text{ kPa}$

Water Content Determination		Initial	Final	Net Volume Change	
Weight of can (gr)		8,64	8,64	Filter Correction	- cm ³
Weight of wet sample + can (gr)		148	145,38	Cell Correction	- cm ³
Weight of dry sample + can (gr)		-	98,37	Corrected Vol Change (ΔV_s)	0 cm ³
Water Content (%)		55,31%	52,39%	Consolidation Vol Change (ΔV_c)	5,40 cm ³
Weight of wet sample (gr)		139,36	v_n (ton/m ³)	1,618	$\Delta V_s + \Delta V_c = \Delta V_t$
Ao	11,335 cm ²	$\epsilon_v = \Delta V_t / V_o \times 100\%$		1/3 ϵ_v	2/3 ϵ_v
Vo	86,149 cm ³	6,27%		2,09%	4,18%
$H_c = H_o (1 - 1/3 \epsilon_v / 100)$		$A_c = A_o (1 - 2/3 \epsilon_v / 100)$		$V_c = V_o - \Delta V_t$	
7,598 cm		11,331 cm ²		80,749 cm ³	

$\sigma'_3 = 180 \text{ kPa}$

Water Content Determination		Initial	Final	Net Volume Change	
Weight of can (gr)		8,74	8,74	Filter Correction	- cm ³
Weight of wet sample + can (gr)		148,32	142,51	Cell Correction	- cm ³
Weight of dry sample + can (gr)		-	97,42	Corrected Vol Change (ΔV_s)	0 cm ³
Water Content (%)		57,40%	50,85%	Consolidation Vol Change (ΔV_c)	7,30 cm ³
Weight of wet sample (gr)		139,58	v_n (ton/m ³)	1,620	$\Delta V_s + \Delta V_c = \Delta V_t$
Ao	11,335 cm ²	$\epsilon_v = \Delta V_t / V_o \times 100\%$		1/3 ϵ_v	2/3 ϵ_v
Vo	86,149 cm ³	8,47%		2,82%	5,65%
$H_c = H_o (1 - 1/3 \epsilon_v / 100)$		$A_c = A_o (1 - 2/3 \epsilon_v / 100)$		$V_c = V_o - \Delta V_t$	
7,598 cm		11,329 cm ²		78,849 cm ³	

TRIAXIAL SHEARING

Project	Skripsi Kaolin	Tested By	Yunita Utami	Type of Test	CU
Location	Lab Mektan FTUI	Specimen Type	14 Hari	With / Without	side drains

Date of Test :
17-Jun-10

Date of Test :
28-Jul-10

Date of Test :
17-Jun-10

SPECIMEN 1

SPECIMEN 2

SPECIMEN 3

Ring Calibration		kg/div		Ring Calibration		kg/div		Ring Calibration		kg/div	
Deformation		Dial Reading	U (kPa)	Deformation		Dial Reading	U (kPa)	Deformation		Dial Reading	U (kPa)
Dial (div)	Δh			Dial (div)	Δh			Dial (div)	Δh		
0	0	0	90	0	0	0	105	0	0	0	125
25	0,025	25,5	100	25	0,025	34,0	135	25	0,025	33,5	135
50	0,05	42,0	115	50	0,05	48,5	150	50	0,05	57,5	160
75	0,075	46,0	125	75	0,075	55,5	175	75	0,075	63,0	185
100	0,1	50,0	130	100	0,1	61,5	183	100	0,1	67,5	190
125	0,125	52,0	135	125	0,125	64,0	185	125	0,125	70,0	195
150	0,15	55,5	135	150	0,15	67,0	185	150	0,15	72,0	200
175	0,175	58,0	135	175	0,175	71,0	190	175	0,175	75,5	205
200	0,2	61,0	140	200	0,2	74,0	192	200	0,2	77,5	225
225	0,225	63,5	140	225	0,225	75,5	193	225	0,225	80,0	225
250	0,25	65,5	145	250	0,25	78,0	193	250	0,25	82,5	225
275	0,275	67,0	145	275	0,275	80,5	195	275	0,275	84,5	225
300	0,3	69,5	145	300	0,3	82,0	195	300	0,3	86,0	225
325	0,325	71,0	145	325	0,325	84,0	195	325	0,325	87,5	225
350	0,35	72,5	145	350	0,35	87,0	195	350	0,35	92,5	225
375	0,375	74,0	145	375	0,375	89,0	195	375	0,375	93,5	225
400	0,4	76,5	145	400	0,4	91,5	195	400	0,4	96,0	225
425	0,425	77,5	145	425	0,425	93,0	195	425	0,425	97,5	225
450	0,45	79,0	145	450	0,45	94,5	195	450	0,45	101,5	225
475	0,475	79,5	145	475	0,475	95,5	195	475	0,475	104,0	225
500	0,5	81,0	145	500	0,5	97,0	195	500	0,5	105,5	225
525	0,525	82,5	145	525	0,525	98,0	195	525	0,525	108,0	225
550	0,55	84,0	145	550	0,55	100,5	195	550	0,55	109,5	225
575	0,575	85,0	145	575	0,575	104,0	195	575	0,575	112,5	225
600	0,6	86,5	145	600	0,6	106,0	195	600	0,6	120,0	225
625	0,625	87,5	145	625	0,625	107,5	195	625	0,625	121,5	225
650	0,65	89,5	145	650	0,65	110,5	195	650	0,65	122,5	225
675	0,675	91,0	145	675	0,675	113,5	195	675	0,675	124,0	225
700	0,7	92,0	145	700	0,7	115,5	195	700	0,7	124,0	225
725	0,725	93,0	145	725	0,725	115,5	195	725	0,725	124,0	225
750	0,75	93,5	145	750	0,75	115,5	195	750	0,75	124,0	225
775	0,775	94,5	145	775	0,775	115,5	195	775	0,775	124,0	225
800	0,8	94,5	145	800	0,8	115,5	195				
825	0,825	94,5	145								
850	0,85	94,5	145								
875	0,875	94,5	145								
900	0,9	94,5	145								

TRIAKSIAL SHEARING

Date of Testing = 17-Jun-10 Length = 7,599 cm Eff. cell pressure = 100 kPa
 Cell no. = 1 Area = 11,332 cm² Cell pressure = 190 kPa
 Spesimen type = 14 Hari Volume = 86,108 cm³ Back pressure = 90 kPa

Strain			Axial load		Pore pressure		Corrected area	deviator stress ($\sigma_1 - \sigma_3$)	Critical State	
Dial 1 div = (div)	0,001 cm (cm)	(ϵ) (%)	Dial 1 div = (div)	Load 0,14 kg (kg)	(u) (kPa)	(Δu) (kPa)			(p') ($\sigma'_1 + 2\sigma'_3$)/3 (kPa)	(q') ($\sigma'_1 - \sigma'_3$) (kPa)
0	0	0	0	0	90	0	11,33	0	100,00	0,00
25	0,025	0,329	25,5	3,6	100	10	11,37	31,40	100,47	31,40
50	0,05	0,658	42,0	5,9	115	25	11,41	51,55	92,18	51,55
75	0,075	0,987	46,0	6,4	125	35	11,44	56,27	83,76	56,27
100	0,1	1,316	50,0	7,0	130	40	11,48	60,96	80,32	60,96
125	0,125	1,645	52,0	7,3	135	45	11,52	63,19	76,06	63,19
150	0,15	1,974	55,5	7,8	135	45	11,56	67,21	77,40	67,21
175	0,175	2,303	58,0	8,1	135	45	11,60	70,01	78,34	70,01
200	0,2	2,632	61,0	8,5	140	50	11,64	73,38	74,46	73,38
225	0,225	2,961	63,5	8,9	140	50	11,68	76,13	75,38	76,13
250	0,25	3,290	65,5	9,2	145	55	11,72	78,26	71,09	78,26
275	0,275	3,619	67,0	9,4	145	55	11,76	79,78	71,59	79,78
300	0,3	3,948	69,5	9,7	145	55	11,80	82,47	72,49	82,47
325	0,325	4,277	71,0	9,9	145	55	11,84	83,97	72,99	83,97
350	0,35	4,606	72,5	10,2	145	55	11,88	85,45	73,48	85,45
375	0,375	4,935	74,0	10,4	145	55	11,92	86,91	73,97	86,91
400	0,4	5,264	76,5	10,7	145	55	11,96	89,54	74,85	89,54
425	0,425	5,593	77,5	10,9	145	55	12,00	90,39	75,13	90,39
450	0,45	5,922	79,0	11,1	145	55	12,05	91,82	75,61	91,82
475	0,475	6,251	79,5	11,1	145	55	12,09	92,08	75,69	92,08
500	0,5	6,580	81,0	11,3	145	55	12,13	93,49	76,16	93,49
525	0,525	6,909	82,5	11,6	145	55	12,17	94,88	76,63	94,88
550	0,55	7,238	84,0	11,8	145	55	12,22	96,27	77,09	96,27
575	0,575	7,567	85,0	11,9	145	55	12,26	97,07	77,36	97,07
600	0,6	7,896	86,5	12,1	145	55	12,30	98,43	77,81	98,43
625	0,625	8,225	87,5	12,3	145	55	12,35	99,21	78,07	99,21
650	0,65	8,554	89,5	12,5	145	55	12,39	101,12	78,71	101,12
675	0,675	8,883	91,0	12,7	145	55	12,44	102,44	79,15	102,44
700	0,7	9,212	92,0	12,9	145	55	12,48	103,19	79,40	103,19
725	0,725	9,541	93,0	13,0	145	55	12,53	103,94	79,65	103,94
750	0,75	9,870	93,5	13,1	145	55	12,57	104,11	79,70	104,11
775	0,775	10,199	94,5	13,2	145	55	12,62	104,84	79,95	104,84
800	0,8	10,528	94,5	13,2	145	55	12,67	104,46	79,82	104,46
825	0,825	10,857	94,5	13,2	145	55	12,71	104,08	79,69	104,08
850	0,85	11,186	94,5	13,2	145	55	12,76	103,69	79,56	103,69
875	0,875	11,515	94,5	13,2	145	55	12,81	103,31	79,44	103,31
900	0,9	11,844	94,5	13,2	145	55	12,85	102,92	79,31	102,92

Calculation:

Maximum deviator stress ($\Delta\sigma = \sigma_1 - \sigma_3$) = 104,84 (kPa)
 Pore pressure at max. deviator stress (Δu) = 55 (kPa)
 Strain at max. deviator stress (ϵ) = 10,199 (%)

Critical state

Effective stress max p' = 79,95 (kPa)
 Effective stress max q' = 104,84 (kPa)

TRIAKSIAL SHEARING

Date of Testing = 17-Jun-10
 Cell no. = 3
 Spesimen type = 14 Hari

Length = 7,598 cm
 Area = 11,329 cm²
 Volume = 86,076 cm³

Eff. cell pressure = 180 kPa
 Cell pressure = 320 kPa
 Back pressure = 140 kPa

Strain			Axial load		Pore pressure		Corrected area	deviator stress ($\sigma_1 - \sigma_3$)	Critical State	
Dial 1 div = (div)	0,001 cm (cm)	(ϵ) (%)	Dial 1 div = (div)	Load 0,14 kg (kg)	(u) (kPa)	(Δu) (kPa)			(cm ²)	(kPa)
0	0	0	0	0	125	0	11,33	0	180,00	0,00
25	0,025	0,329	33,5	4,7	135	10	11,37	41,26	183,75	41,26
50	0,05	0,658	57,5	8,1	160	35	11,40	70,59	168,53	70,59
75	0,075	0,987	63,0	8,8	185	60	11,44	77,08	145,69	77,08
100	0,1	1,316	67,5	9,5	190	65	11,48	82,32	142,44	82,32
125	0,125	1,645	70,0	9,8	195	70	11,52	85,08	138,36	85,08
150	0,15	1,974	72,0	10,1	200	75	11,56	87,22	134,07	87,22
175	0,175	2,303	75,5	10,6	205	80	11,60	91,15	130,38	91,15
200	0,2	2,632	77,5	10,9	225	100	11,64	93,25	111,08	93,25
225	0,225	2,961	80,0	11,2	225	100	11,67	95,93	111,98	95,93
250	0,25	3,290	82,5	11,6	225	100	11,71	98,60	112,87	98,60
275	0,275	3,619	84,5	11,8	225	100	11,75	100,64	113,55	100,64
300	0,3	3,948	86,0	12,0	225	100	11,79	102,08	114,03	102,08
325	0,325	4,278	87,5	12,3	225	100	11,84	103,50	114,50	103,50
350	0,35	4,607	92,5	13,0	225	100	11,88	109,04	116,35	109,04
375	0,375	4,936	93,5	13,1	225	100	11,92	109,84	116,61	109,84
400	0,4	5,265	96,0	13,4	225	100	11,96	112,39	117,46	112,39
425	0,425	5,594	97,5	13,7	225	100	12,00	113,75	117,92	113,75
450	0,45	5,923	101,5	14,2	225	100	12,04	118,00	119,33	118,00
475	0,475	6,252	104,0	14,6	225	100	12,08	120,49	120,16	120,49
500	0,5	6,581	105,5	14,8	225	100	12,13	121,79	120,60	121,79
525	0,525	6,910	108,0	15,1	225	100	12,17	124,24	121,41	124,24
550	0,55	7,239	109,5	15,3	225	100	12,21	125,52	121,84	125,52
575	0,575	7,568	112,5	15,8	225	100	12,26	128,50	122,83	128,50
600	0,6	7,897	120,0	16,8	225	100	12,30	136,58	125,53	136,58
625	0,625	8,226	121,5	17,0	225	100	12,34	137,79	125,93	137,79
650	0,65	8,555	122,5	17,2	225	100	12,39	138,43	126,14	138,43
675	0,675	8,884	124,0	17,4	225	100	12,43	139,62	126,54	139,62
700	0,7	9,213	124,0	17,4	225	100	12,48	139,12	126,37	139,12
725	0,725	9,542	124,0	17,4	225	100	12,52	138,61	126,20	138,61
750	0,75	9,871	124,0	17,4	225	100	12,57	138,11	126,04	138,11
775	0,775	10,200	124,0	17,4	225	100	12,62	137,60	125,87	137,60

Calculation:

Maximum deviator stress ($\Delta\sigma = \sigma_1 - \sigma_3$) = 139,62 (kPa)
 Pore pressure at max. deviator stress (Δu) = 100 (kPa)
 Strain at max. deviator stress (ϵ) = 8,884 (%)

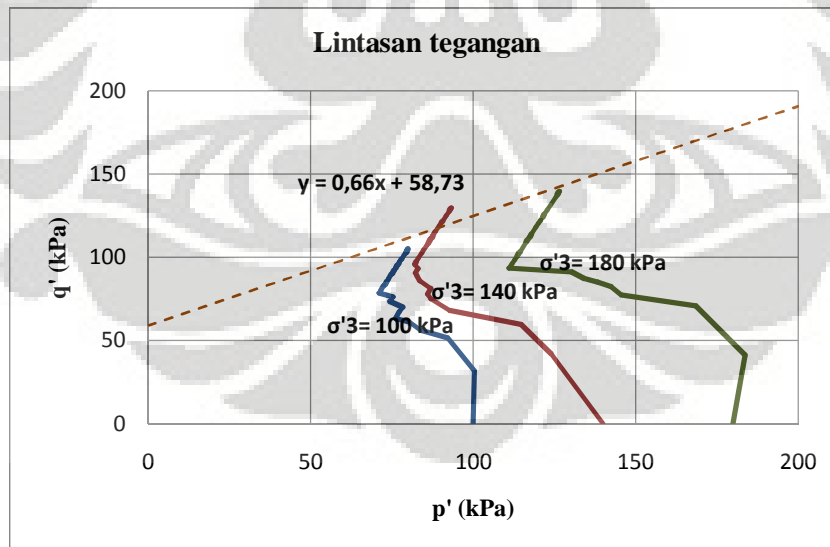
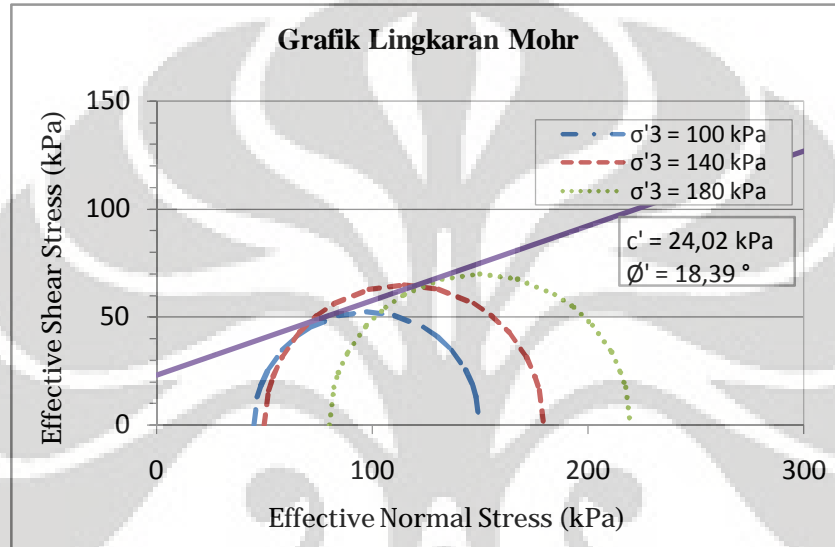
Critical state

Effective stress max p' = 126,54 (kPa)
 Effective stress max q' = 139,62 (kPa)

Ket: pore pressure saat $\epsilon=0$, dianggap sama dengan nilai back pressure

CONTOH 14 HARI

Parameter kekuatan geser	c' (kPa)	ϕ' (°)
Berdasarkan Diagram Mohr	24,02	18,39
Berdasarkan Lintasan Tegangan	27,83	17,30



TRIAXIAL SATURATION

Project	Skripsi Kaolin	Type of Test	CU	Specimen Type	21 Hari
Location	Lab. Mektan FTUI	Tested By	Yunita Utami	Diameter	3,80 cm
Sampel No.	R#1 & R#2	With / Without	side drains	Height	7,60 cm

$\sigma'_3 = 100$ kPa

Date of Test: 28/06/2010

Cell Pressure (kPa)	Back Pressure (kPa)	Pore Pressure (kPa)	PWP diff. (kPa)	B Value	Back Pressure Volume Change			Cell Volume Change LHS/RHS		
					before	after	diff	before	after	diff
0	0	0	-	-						
50	-	15	15	0,3	-	-	-	22,5	28	5,5
50	40	30	-	-	16,4	16,6	0,2	-	-	-
100	-	55	25	1	-	-	-	29,3	32,5	3,2
100	90	75	-	-	16,6	18	1,4	-	-	-
150	-	125	50	1	-	-	-	33,2	34,9	1,7
150	140	135	-	-	18,5	19,8	1,3	-	-	-

$\sigma'_3 = 140$ kPa

Date of Test: 26/07/2010

Cell Pressure (kPa)	Back Pressure (kPa)	Pore Pressure (kPa)	PWP diff. (kPa)	B Value	Back Pressure Volume Change			Cell Volume Change LHS/RHS		
					before	after	diff	before	after	diff
0	0	0	-	-						
50	-	20	20	0,4	-	-	-	24	27	3
50	40	40	-	-	17,8	20,3	2,5	-	-	-
100	-	80	40	0,8	-	-	-	28,5	30	1,5
100	90	80	-	-	20,5	20,7	0,2	-	-	-
150	-	140	60	1,2	-	-	-	31,2	31,6	0,4
150	140	140	-	-	20,8	21,6	0,8	-	-	-

$\sigma'_3 = 180$ kPa

Date of Test: 26/07/2010

Cell Pressure (kPa)	Back Pressure (kPa)	Pore Pressure (kPa)	PWP diff. (kPa)	B value	Back Pressure Volume Change			Cell Volume Change LHS/RHS		
					before	after	diff	before	after	diff
0	0	0	-	-						
50	-	30	30	0,6	-	-	-	6	6,7	0,7
50	40	40	-	-	17	17,5	0,5	-	-	-
100	-	80	40	0,8	-	-	-	8,9	10,8	1,9
100	90	80	-	-	17,6	18	0,4	-	-	-
150	-	128	48	1,0	-	-	-	14	19,5	5,5
150	140	130	-	-	18,0	18,2	0,2			

TRIAXIAL CONSOLIDATION

Project	Skripsi Kaolin	Type of Test	CU	Specimen Type	21 Hari
Location	Lab. Mektan FTUI	Tested By	Yunita Utami	Diameter	3,80 cm
Sampel No.	R#1 & R#2	With / Without	side drains	Height	7,60 cm

Date of Test:

30/06/2010

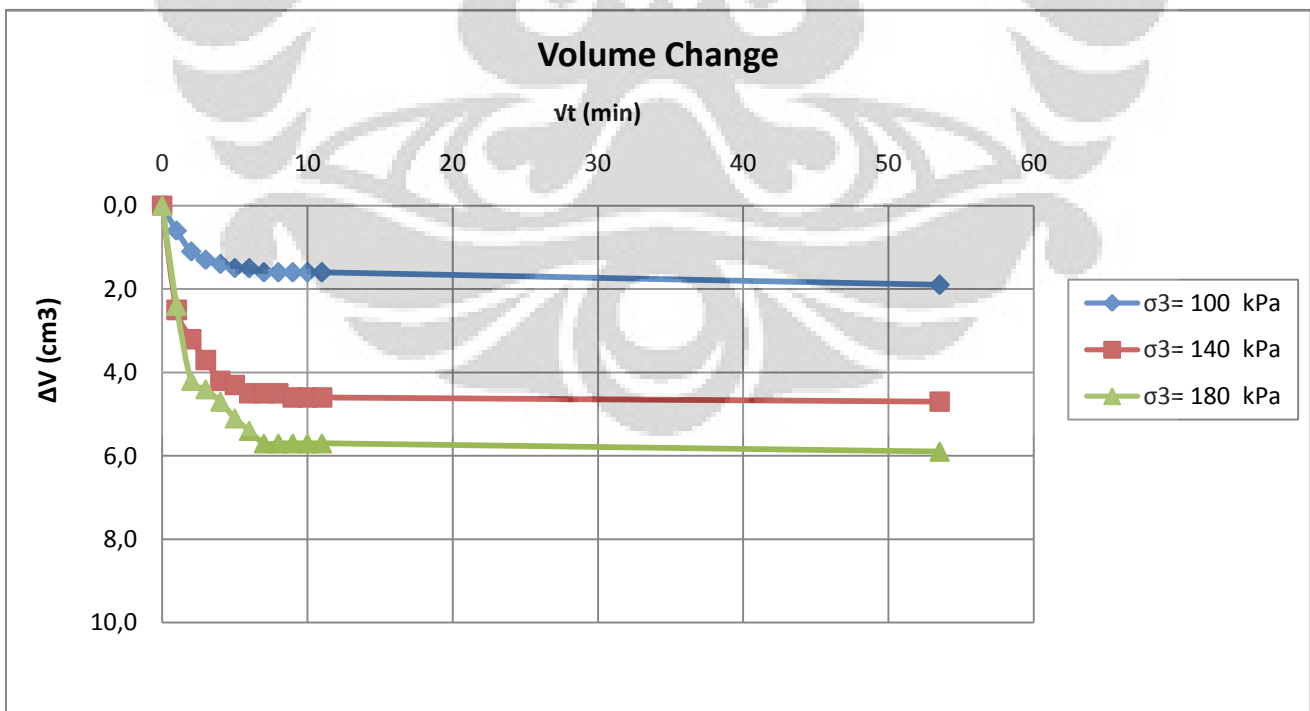
Effective Press. (kPa)	100	
Cell Press. (kPa)	240	
Back Press. (kPa)	140	
\sqrt{t} (min)	Change	
	ΔV (cm ³)	ΔU (Kpa)
0	0,0	0
1	0,6	25
2	1,1	10
3	1,3	5
4	1,4	0
5	1,5	0
6	1,5	0
7	1,6	0
8	1,6	0
9	1,6	0
10	1,6	0
11	1,6	0
54	1,9	0

28/07/2010

Effective Press. (kPa)	140	
Cell Press. (kPa)	280	
Back Press. (kPa)	140	
\sqrt{t} (min)	Change	
	ΔV (cm ³)	ΔU (Kpa)
0	0	0
1	2,5	60
2	3,2	50
3	3,7	40
4	4,2	30
5	4,3	30
6	4,5	30
7	4,5	20
8	4,5	15
9	4,6	15
10	4,6	15
11	4,6	15
54	4,7	10

27/07/2010

Effective Press. (kPa)	180	
Cell Press. (kPa)	320	
Back Press. (kPa)	140	
\sqrt{t} (min)	Change	
	ΔV (cm ³)	ΔU (Kpa)
0	0	0
1	2,4	130
2	4,2	110
3	4,4	70
4	4,7	55
5	5,1	40
6	5,4	45
7	5,7	30
8	5,7	25
9	5,7	20
10	5,7	20
11	5,7	20
54	5,9	10



SAMPEL DIMENSION CHANGE

Project	Skripsi Kaolin	Tested By	Yunita Utami	Type of Test	CU
Location	Lab Mektan FTUI	Specimen Type	21 Hari	With / Without	side drains

$\sigma'_3 = 100 \text{ kPa}$

Water Content Determination		Initial	Final	Net Volume Change	
Weight of can (gr)		8,74	8,74	Filter Correction	- cm ³
Weight of wet sample + can (gr)		147,02	147,2	Cell Correction	- cm ³
Weight of dry sample + can (gr)		-	98,18	Corrected Vol Change (ΔV_s)	0 cm ³
Water Content (%)		54,61%	54,81%	Consolidation Vol Change (ΔV_c)	1,90 cm ³
Weight of wet sample (gr)		138,28	v_n (ton/m ³)	1,605	$\Delta V_s + \Delta V_c = \Delta V_t$
Ao	11,335 cm ²	$\epsilon_v = \Delta V_t / V_o \times 100\%$		1/3 ϵ_v	2/3 ϵ_v
Vo	86,149 cm ³	2,21%		0,74%	1,47%
$H_c = H_o (1 - 1/3 \epsilon_v / 100)$		$A_c = A_o (1 - 2/3 \epsilon_v / 100)$		$V_c = V_o - \Delta V_t$	
7,599 cm		11,334 cm ²		84,249 cm ³	

$\sigma'_3 = 140 \text{ kPa}$

Water Content Determination		Initial	Final	Net Volume Change	
Weight of can (gr)		8,94	8,94	Filter Correction	- cm ³
Weight of wet sample + can (gr)		147,24	140,9	Cell Correction	- cm ³
Weight of dry sample + can (gr)		-	97,81	Corrected Vol Change (ΔV_s)	0 cm ³
Water Content (%)		55,62%	48,49%	Consolidation Vol Change (ΔV_c)	4,70 cm ³
Weight of wet sample (gr)		138,30	v_n (ton/m ³)	1,605	$\Delta V_s + \Delta V_c = \Delta V_t$
Ao	11,335 cm ²	$\epsilon_v = \Delta V_t / V_o \times 100\%$		1/3 ϵ_v	2/3 ϵ_v
Vo	86,149 cm ³	5,46%		1,82%	3,64%
$H_c = H_o (1 - 1/3 \epsilon_v / 100)$		$A_c = A_o (1 - 2/3 \epsilon_v / 100)$		$V_c = V_o - \Delta V_t$	
7,599 cm		11,331 cm ²		81,449 cm ³	

$\sigma'_3 = 180 \text{ kPa}$

Water Content Determination		Initial	Final	Net Volume Change	
Weight of can (gr)		9,09	9,09	Filter Correction	- cm ³
Weight of wet sample + can (gr)		147,1	149,03	Cell Correction	- cm ³
Weight of dry sample + can (gr)		-	98,86	Corrected Vol Change (ΔV_s)	0 cm ³
Water Content (%)		53,74%	55,89%	Consolidation Vol Change (ΔV_c)	5,90 cm ³
Weight of wet sample (gr)		138,01	v_n (ton/m ³)	1,602	$\Delta V_s + \Delta V_c = \Delta V_t$
Ao	11,335 cm ²	$\epsilon_v = \Delta V_t / V_o \times 100\%$		1/3 ϵ_v	2/3 ϵ_v
Vo	86,149 cm ³	6,85%		2,28%	4,57%
$H_c = H_o (1 - 1/3 \epsilon_v / 100)$		$A_c = A_o (1 - 2/3 \epsilon_v / 100)$		$V_c = V_o - \Delta V_t$	
7,598 cm		11,330 cm ²		80,249 cm ³	

TRIAKSIAL SHEARING

Date of Testing = 28-Jul-10 Length = 7,599 cm Eff. cell pressure = 140 kPa
 Cell no. = 2 Area = 11,331 cm² Cell pressure = 280 kPa
 Spesimen type = 21 Hari Volume = 86,102 cm³ Back pressure = 140 kPa

Strain			Axial load		Pore pressure		Corrected area (cm ²)	deviator stress ($\sigma_1 - \sigma_3$) (kPa)	Critical State	
Dial		(ε) (%)	Dial	Load	(u) (kPa)	(Δu) (kPa)			(p') (kPa)	(q') (kPa)
1 div = (div)	0,001 cm (cm)		1 div = (div)	0,14 kg (kg)						
0	0	0	0	0	130	0	11,33	0	140,00	0,00
25	0,025	0,329	30,5	4,3	135	5	11,37	37,56	147,52	37,56
50	0,05	0,658	44,5	6,2	145	15	11,41	54,62	143,21	54,62
75	0,075	0,987	55,5	7,8	150	20	11,44	67,89	142,63	67,89
100	0,1	1,316	67,0	9,4	165	35	11,48	81,69	132,23	81,69
125	0,125	1,645	74,5	10,4	170	40	11,52	90,53	130,18	90,53
150	0,15	1,974	82,0	11,5	175	45	11,56	99,31	128,10	99,31
175	0,175	2,303	87,5	12,3	180	50	11,60	105,62	125,21	105,62
200	0,2	2,632	93,0	13,0	180	50	11,64	111,88	127,29	111,88
225	0,225	2,961	94,5	13,2	185	55	11,68	113,30	122,77	113,30
250	0,25	3,290	97,0	13,6	185	55	11,72	115,90	123,63	115,90
275	0,275	3,619	100,0	14,0	185	55	11,76	119,08	124,69	119,08
300	0,3	3,948	103,0	14,4	190	60	11,80	122,23	120,74	122,23
325	0,325	4,277	105,0	14,7	192	62	11,84	124,18	119,39	124,18
350	0,35	4,606	106,5	14,9	195	65	11,88	125,52	116,84	125,52
375	0,375	4,935	108,5	15,2	198	68	11,92	127,44	114,48	127,44
400	0,4	5,264	110,0	15,4	212	82	11,96	128,75	100,92	128,75
425	0,425	5,593	112,5	15,8	215	85	12,00	131,22	98,74	131,22
450	0,45	5,922	113,5	15,9	220	90	12,04	131,93	93,98	131,93
475	0,475	6,251	116,5	16,3	220	90	12,09	134,94	94,98	134,94
500	0,5	6,580	117,0	16,4	220	90	12,13	135,04	95,01	135,04
525	0,525	6,909	117,5	16,5	220	90	12,17	135,14	95,05	135,14
550	0,55	7,238	119,0	16,7	220	90	12,22	136,38	95,46	136,38
575	0,575	7,567	119,5	16,7	220	90	12,26	136,47	95,49	136,47
600	0,6	7,896	120,5	16,9	220	90	12,30	137,12	95,71	137,12
625	0,625	8,225	121,5	17,0	220	90	12,35	137,77	95,92	137,77
650	0,65	8,554	121,5	17,0	220	90	12,39	137,27	95,76	137,27
675	0,675	8,883	122,5	17,2	220	90	12,44	137,91	95,97	137,91
700	0,7	9,212	122,5	17,2	220	90	12,48	137,41	95,80	137,41
725	0,725	9,541	122,5	17,2	220	90	12,53	136,91	95,64	136,91
750	0,75	9,870	122,5	17,2	220	90	12,57	136,41	95,47	136,41
775	0,775	10,199	122,5	17,2	220	90	12,62	135,91	95,30	135,91
800	0,8	10,528	122,5	17,2	220	90	12,66	135,42	95,14	135,42
825	0,825	10,857	122,5	17,2	220	90	12,71	134,92	94,97	134,92
850	0,85	11,186	122,5	17,2	220	90	12,76	134,42	94,81	134,42

Calculation:

Maximum deviator stress ($\Delta\sigma = \sigma_1 - \sigma_3$) = 137,91 (kPa)
 Pore pressure at max. deviator stress (Δu) = 90 (kPa)
 Strain at max. deviator stress (ϵ) = 8,883 (%)

Critical state

Effective stress max p' = 95,97 (kPa)
 Effective stress max q' = 137,91 (kPa)

Ket: pore pressure saat $\epsilon=0$, dianggap sama dengan nilai back pressure

TRIAKSIAL SHEARING

Date of Testing = 28-Jul-10
 Cell no. = 3
 Spesimen type = 21 Hari

Length = 7,598 cm
 Area = 11,330 cm²
 Volume = 86,090 cm³

Eff. cell pressure = 180 kPa
 Cell pressure = 320 kPa
 Back pressure = 140 kPa

Strain			Axial load		Pore pressure		Corrected area	deviator stress ($\sigma_1 - \sigma_3$)	Critical State	
Dial 1 div = (div)	0,001 cm (cm)	(ϵ) (%)	Dial 1 div = (div)	Load 0,14 kg (kg)	(u) (kPa)	(Δu) (kPa)			(p') ($\sigma_1' + 2\sigma_3'$)/3	(q') ($\sigma_1' - \sigma_3'$)
0	0	0	0	0	130	0	11,33	0	180,00	0,00
25	0,025	0,329	49,5	6,9	145	15	11,37	60,96	185,32	60,96
50	0,05	0,658	73,0	10,2	175	45	11,41	89,61	164,87	89,61
75	0,075	0,987	84,0	11,8	180	50	11,44	102,77	164,26	102,77
100	0,1	1,316	98,5	13,8	183	53	11,48	120,11	167,04	120,11
125	0,125	1,645	102,5	14,4	188	58	11,52	124,57	163,52	124,57
150	0,15	1,974	108,5	15,2	195	65	11,56	131,42	158,81	131,42
175	0,175	2,303	109,5	15,3	200	70	11,60	132,19	154,06	132,19
200	0,2	2,632	111,5	15,6	210	80	11,64	134,15	144,72	134,15
225	0,225	2,961	114,5	16,0	212	82	11,68	137,29	143,76	137,29
250	0,25	3,290	116,5	16,3	215	85	11,72	139,21	141,40	139,21
275	0,275	3,619	117,5	16,5	220	90	11,76	139,93	136,64	139,93
300	0,3	3,948	119,5	16,7	225	95	11,80	141,83	132,28	141,83
325	0,325	4,277	120,0	16,8	227	97	11,84	141,93	130,31	141,93
350	0,35	4,606	120,5	16,9	227	97	11,88	142,04	130,35	142,04
375	0,375	4,935	120,7	16,9	235	105	11,92	141,78	122,26	141,78
400	0,4	5,264	121,5	17,0	235	105	11,96	142,23	122,41	142,23
425	0,425	5,593	122,0	17,1	235	105	12,00	142,32	122,44	142,32
450	0,45	5,922	122,0	17,1	235	105	12,04	141,82	122,27	141,82
475	0,475	6,251	122,0	17,1	235	105	12,09	141,32	122,11	141,32
500	0,5	6,580	122,0	17,1	235	105	12,13	140,83	121,94	140,83
525	0,525	6,909	123,0	17,2	235	105	12,17	141,48	122,16	141,48
550	0,55	7,238	123,0	17,2	235	105	12,21	140,98	121,99	140,98
575	0,575	7,568	122,5	17,2	235	105	12,26	139,91	121,64	139,91
600	0,6	7,897	122,5	17,2	235	105	12,30	139,41	121,47	139,41
625	0,625	8,226	122,5	17,2	235	105	12,35	138,91	121,30	138,91
650	0,65	8,555	122,5	17,2	235	105	12,39	138,42	121,14	138,42
675	0,675	8,884	122,5	17,2	235	105	12,43	137,92	120,97	137,92
700	0,7	9,213	122,5	17,2	235	105	12,48	137,42	120,81	137,42
725	0,725	9,542	122,5	17,2	235	105	12,53	136,92	120,64	136,92
750	0,75	9,871	122,5	17,2	235	105	12,57	136,42	120,47	136,42
775	0,775	10,200	122,5	17,2	235	105	12,62	135,93	120,31	135,93
800	0,8	10,529	122,5	17,2	235	105	12,66	135,43	120,14	135,43

Calculation:

Maximum deviator stress ($\Delta\sigma = \sigma_1 - \sigma_3$) = 142,32 (kPa)
 Pore pressure at max. deviator stress (Δu) = 105 (kPa)
 Strain at max. deviator stress (ϵ) = 5,593 (%)

Critical state

Effective stress max p' = 122,44 (kPa)
 Effective stress max q' = 142,32 (kPa)

Ket: pore pressure saat $\epsilon=0$, dianggap sama dengan nilai back pressure

CONTOH 21 HARI

Parameter kekuatan geser	c' (kPa)	ϕ' (°)
Berdasarkan Diagram Mohr	35,57	14,38
Berdasarkan Lintasan Tegangan	37,75	14,47

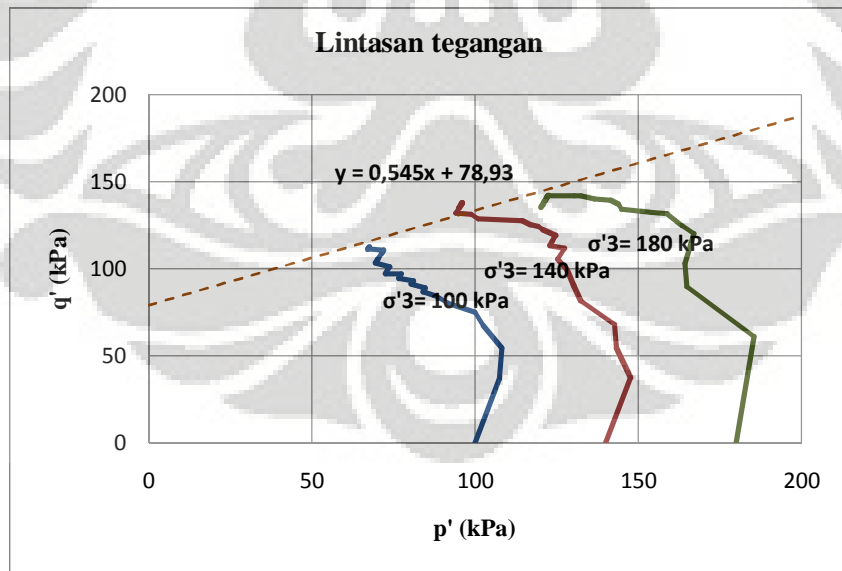
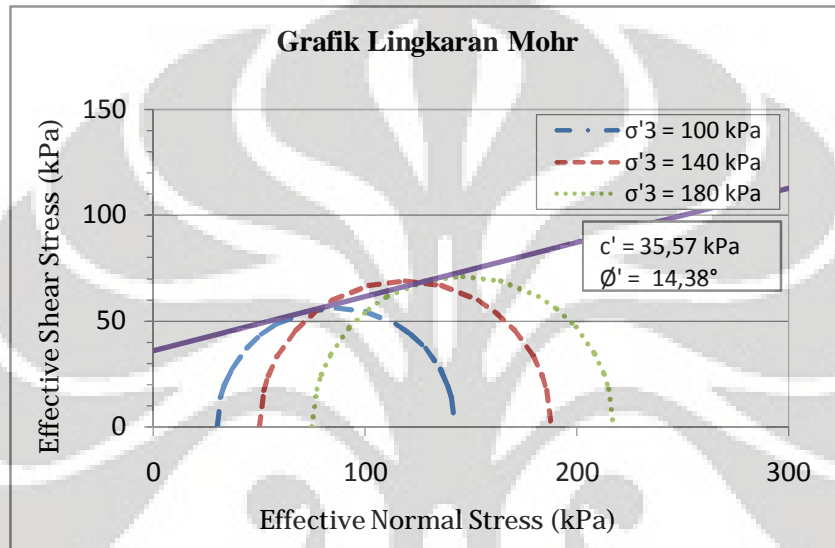




FOTO-FOTO DOKUMENTASI

FOTO-FOTO DOKUMENTASI

Material Tanah Kaolin



Pengujian Sifat Fisik Tanah



Liquid Limit Test



Plastic Limit Test



Specific Gravity Test



Hidrometer Test

Pembuatan Sampel Tanah Dengan Rowecell



Campuran Tanah Kaolin dengan Air



Pencampuran Kaolin dan Air dengan mixer



Memasukkan slurry kaolin ke rowecell



Proses penghilangan udara pada plat pori rowecell



Alat rowe cell yang telah dimodifikasi



Alat vacuum pada rowecell



Tanah kaolin yang telah jadi



Proses ekstrude dan pencetakan untuk uji Triaksial CU

Pengujian Awal: Konsolidasi Dengan Oedometer



Alat Triaksial CU

