



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**PENGUJIAN KONSOLIDASI DENGAN *VERTICAL DRAIN*  
PADA TANAH KAOLIN**

**SKRIPSI**

**RAHMALIA MESRIANA  
06 06 04 1592**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL**

**DEPOK  
2009**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**PENGUJIAN KONSOLIDASI DENGAN *VERTICAL DRAIN*  
PADA TANAH KAOLIN**

**SKRIPSI**

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

**RAHMALIA MESRIANA  
06 06 04 1592**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL**

**DEPOK  
2009**

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

**Nama : Rahmalia Mesriana**

**NPM : 0606041592**

**Tanda Tangan :** 

**Tanggal : July 10<sup>th</sup>, 2009**

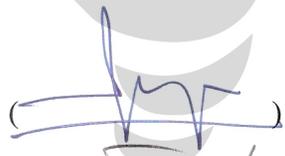
## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh

Nama : Rahmalia Mesriana  
NPM : 0606041592  
Program Studi : Teknik Sipil  
Judul Skripsi : Pengujian Konsolidasi dengan *Vertical Drain* pada Tanah Kaolin

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

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

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

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 10 Juli 2009

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat dan berkat-Nya, penulis dapat menyelesaikan tugas penulisan seminar skripsi dengan tema “Pengujian Konsolidasi dengan *Vertical Drain* pada Tanah Kaolin”.

Penulis menyadari bahwa penulisan skripsi ini tidak akan selesai tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Tuhan YME, yang telah memberikan kasih dan berkat-Nya.
2. Orangtua, Habibie dan Gustian yang telah memberikan dukungan doa, moral dan materil tanpa ada balas jasa.
3. Bapak Prof. Dr. Irwan Katili, selaku Ketua Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.
4. Bapak Widjojo Adi Prakoso, selaku dosen pembimbing.
5. Bapak Tommy Ilyas, selaku dosen penguji.
6. Ibu Wiwik Rahayu, selaku dosen penguji.
7. Bapak dan Ibu dosen Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, yang telah memberikan ilmu dan pengalamannya.
8. Seluruh Staf Laboratorium Tanah yang sudah membantu terutama Pak Narto, Pak Wardoyo, Mas Anto, Pak Achong.
9. Seluruh Staf Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, yang telah memberikan bantuan dan kemudahan akademik.
10. ”Genk Kaolin” Mas Cipto, Taufik, Mamed, atas semua support yang diberikan.
11. Teman-teman ekstensi Angkatan 2006 yang tidak bisa disebutkan satu persatu

Penyusun menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam penyusunan skripsi ini, untuk itu kritik dan saran membangun selalu diharapkan.

Akhirnya, dengan selesainya skripsi ini, penyusun berharap semoga dapat bermanfaat bagi penyusun khususnya dan bagi pembaca pada umumnya. Semoga Allah SWT selalu meridhai kita semua. Amin.

Depok, Juli 2009

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

---

---

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

Nama : Rahmalia Mesriana  
NPM : 0606041592  
Program Studi : Teknik Sipil  
Departemen : Teknik Sipil  
Fakultas : Teknik  
Jenis karya : Skripsi

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

**PENGUJIAN KONSOLIDASI DENGAN *VERTICAL DRAIN* PADA  
TANAH KAOLIN**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/format-kan, 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 : 10 Juli 2009

Yang menyatakan  
( Rahmalia Mesriana )

## ABSTRAK

Nama : Rahmalia Mesriana

Program Studi : Teknik Sipil

Judul : Pengujian Konsolidasi dengan *Vertical Drain* pada Tanah Kaolin

Penurunan konsolidasi pada tanah lempung membutuhkan waktu yang lama untuk terkonsolidasi dengan sempurna akibat dari permeabilitas yang rendah. Salah satu solusi dari permasalahan ini adalah penggunaan *vertical drain* dengan *sand drain*. Tujuan dari pemasangan *vertical drain* adalah untuk mempercepat proses konsolidasi dengan memperpendek lintasan pengaliran air pori. Penelitian ini membandingkan proses konsolidasi dengan dan tanpa *sand drain* pada tanah kaolin. Pengujian konsolidasi dengan *vertical drain* (*sand drain*) menggunakan alat *Rowe Cell* yang telah dimodifikasi menggunakan tabung CBR  $\varnothing$  15 cm, dengan pemberian beban secara bertahap 50 kPa, 100 kPa, dan 200 kPa. Hasil penelitian dari kedua benda uji menunjukkan bahwa penggunaan *sand drain* tidak begitu berpengaruh terhadap proses konsolidasi, sehingga tujuan awal dari penelitian ini tidak tercapai sepenuhnya. Hal ini disebabkan kesalahan-kesalahan pada pemasangan alat uji dan pemasangan pipa *sand drain* dengan cara ditusuk dapat menyebabkan efek smear pada dinding *sand drain*, serta ketebalan benda uji dan jarak drainasi dengan perbandingan 1:1.5 sehingga membuat aliran vertikal lebih besar dibandingkan aliran horizontal.

Kata kunci :

Konsolidasi, *Vertical Drain*, Kaolin

## ABSTRACT

Name : Rahmalia Mesriana

Study Program : Civil Engineering

Title : Consolidation Test with Vertical Drain for Kaoline Clay

Because of its low permeability, the consolidation settlement of soft clays takes a long time to complete. one of solution for this problem by using vertical drain with sand drain. To shorten the consolidation time, vertical drains are installed for create drainage paths in horizontal and vertical direction for pore water. This research is to compare consolidation test with and without sand drain for kaoline clay. Consolidation test with vertical drain (sand drain) is using modification Rowe Cell with CBR tube  $\varnothing$  15 cm, by giving loading at 50 kPa, 100 kPa, and 200 kPa in phases. The result for both object test shows that by using sand drain is does not have an effect in consolidation test, so the intention of this research not full reached. This matter is caused by some mistake at installation of appliance test and installation of pipe of sand drain by penetrated can cause smear effect on sand drain wall, thick the object test and distance of drain with comparison 1:1.5. so that make the vertical flow is bigger than horizontal.

Key words :

Consolidation test, *Vertical Drain*, Kaoline

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS .....	ii
HALAMAN PENGESAHAN .....	iii
KATA PENGANTAR .....	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS .....	v
ABSTRAK .....	vi
DAFTAR ISI .....	viii
DAFTAR LAMPIRAN .....	xi
<b>1. PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Deskripsi Masalah .....	2
1.3 Tujuan Penelitian .....	2
1.4 Pembatasan Masalah .....	2
1.5 Sistematika Penulisan .....	3
<b>2. TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>4</b>
2.1 Pendahuluan .....	4
2.2 Karakteristik Tanah Lempung .....	4
2.2.1 Mineral Lempung .....	4
2.3 Teori Konsolidasi .....	6
2.3.1 Dasar – dasar konsolidasi .....	7
2.3.2 Uji konsolidasi satu dimensi .....	8
2.3.3 Grafik angka pori - tekanan .....	9
2.3.4 Kecepatan konsolidasi .....	11
2.3.5 Persen konsolidasi .....	13
2.3.6 Menentukan koefisien konsolidasi .....	15
2.3.6.1 Metode Logaritma Waktu .....	16
2.3.6.2 Metode Penggambaran Akar Waktu .....	17
2.4 Konsolidasi dengan Drainasi Vertikal .....	18
2.4.1 Pengertian Umum .....	18
2.4.2 Teori Drainasi Vertikal .....	19
2.4.3 Zona Pengaruh Drainasi .....	21
2.4.4 Derajat Konsolidasi .....	22
2.4.5 Pola Pemasangan Drainasi Pasir Vertikal .....	23
2.5 Studi literatur .....	24
<b>3. METODE PENELITIAN .....</b>	<b>25</b>
3.1 Tahap Kegiatan Penelitian .....	25
3.2 Pengujian Sifat-Sifat Fisik Tanah .....	25
3.2.1 Kadar Air.....	27

3.2.2	<i>Atterberg Limit</i> .....	27
3.2.3	<i>Specific Gravity</i> .....	28
3.2.4	<i>Hydrometer Analysis</i> .....	29
3.3	Pembuatan Benda.....	29
3.3.1	Material Pembuatan Contoh Tanah.....	29
3.3.2	Prosedur Pembuatan Contoh Tanah Kaolin .....	29
3.4	Pengujian Konsolidasi .....	32
3.4.1	Pembuatan Sampel Konsolidasi tanpa Sand Drain .....	32
3.4.2	Pembuatan Sampel Konsolidasi dengan Sand Drain .....	33
<b>4.</b>	<b>HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....	<b>36</b>
4.1	Pendahuluan .....	36
4.2	Hasil dan Pembahasan Pengujian Sifat-Sifat Fisik Tanah ( <i>Index Properties</i> ) .....	36
4.2.1	Kadar Air Asli .....	36
4.2.2	<i>Atterberg Limit</i> .....	37
4.2.3	<i>Specific Gravity (Gs)</i> .....	38
4.2.4	Analisa hidrometer .....	38
4.3	Hasil dan Pembahasan Pengujian Konsolidasi tanpa Sand Drain ....	40
4.3.1	Analisis Hubungan Angka Pori dengan Tekanan .....	40
4.3.2	Analisa Metode Logaritma dan Akar Waktu .....	41
4.3.3	Analisa Koefisien Konsolidasi .....	46
4.4	Hasil dan Pembahasan Pengujian Konsolidasi dengan Sand Drain..	47
4.4.1	Analisis Hubungan Angka Pori dengan Tekanan .....	47
4.4.2	Analisa Metode Logaritma dan Akar Waktu .....	48
4.4.3	Rasio Koefisien Konsolidasi Vertikal ( $c_v$ ) dan Radial ( $c_h$ ) ....	54
4.4.4	Analisa Koefisien Konsolidasi .....	55
4.5.	Hasil dan Pembahasan Pengujian Konsolidasi tanpa Sand Drain dan dengan Sand Drain .....	59
4.5.1	Analisa Koefisien Konsolidasi .....	59
<b>5.</b>	<b>Kesimpulan dan Saran</b> .....	<b>61</b>
5.1	Kesimpulan .....	61
5.2	Saran .....	61

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 LATAR BELAKANG

Pada tahun 1923 Terzaghi memformulasikan teori konsolidasi pada suatu tanah dengan permeabilitas rendah. Konsolidasi adalah proses pengecilan volume secara bertahap pada tanah jenuh sempurna dengan permeabilitas rendah akibat pengaliran sebagian air pori.

Suatu lapisan tanah lempung akan mengalami perubahan volume saat tambahan beban bekerja di atasnya. Akibat bekerjanya beban, maka air pori dan udara yang terkandung di dalam tanah akan mengalir keluar dari lapisan tanah tersebut sehingga terjadi penurunan volume.

Jangka waktu terjadinya penurunan konsolidasi tergantung pada bagaimana cepatnya tekanan pori yang berlebih akibat beban yang bekerja dapat dihilangkan. Karena itu koefisien permeabilitas merupakan faktor penting, disamping penentuan berapa jauh jarak air pori yang harus dikeluarkan dari pori-pori yang ukurannya bertambah kecil untuk dapat meniadakan tekanan yang berlebihan.

Penurunan konsolidasi pada tanah lempung membutuhkan waktu yang lama untuk terkonsolidasi dengan sempurna akibat dari permeabilitas yang rendah. Untuk itu Barron (1948) adalah orang yang pertama kali memperkenalkan solusi dari permasalahan lamanya penurunan konsolidasi ini.

Teori Barron berdasarkan asumsi – asumsi teori konsolidasi satu-dimensi (Terzaghi), yaitu dengan menggunakan *vertical drain* dengan pasir untuk memperpendek lintasan pengaliran sehingga dapat mempercepat waktu proses konsolidasi dengan membuat lubang pada lapisan lempung dan mengisinya kembali dengan pasir yang bergradasi sesuai. *Vertical drain* dapat diklasifikasikan dalam 3 tipe umum, yaitu : *sand drain*, *fabric encased sand drain*, dan *prefabricated sand drain*.

Pada kondisi tanah asli di lapangan terdapat banyak variasi komposisi unsur padatan tanah seperti mineral dan bahan organik pembentuk struktur tanah. Sehingga menjadi sulit untuk mendapatkan keseragaman jenis tanah untuk pengujian konsolidasi ini. Oleh karena itu dibuat sampel tanah artifisial dengan bahan dasar mineral kaolin dengan tujuan untuk memenuhi elemen dasar dari teori konsolidasi Terzaghi serta untuk mendapatkan keseragaman sampel dan dibuat dengan kondisi menyerupai kondisi tanah asli untuk memudahkan pengujian.

## **1.2 DESKRIPSI MASALAH**

Pengujian konsolidasi dengan *vertical drain* merupakan metode pengujian untuk mempercepat pengaliran air pori pada tanah dengan permeabilitas rendah sehingga penurunan konsolidasi menjadi lebih cepat. Untuk mengetahui pengaruh dari *vertical drain* terhadap tanah lempung, dilakukan pengujian laboratorium dengan membuat benda uji dengan tanah mineral lempung kaolin.

## **1.3 TUJUAN PENELITIAN**

Tujuan dari penulisan tugas akhir ini adalah untuk mengetahui pengaruh pemasangan *vertical drain* yang dikombinasikan dengan pembebanan untuk mempercepat konsolidasi yang dibandingkan dengan hasil pengujian konsolidasi tanpa *vertical drain*, pada tanah mineral lempung kaolin.

## **1.4 PEMBATAHAN MASALAH**

Pada Penelitian ini mencoba menganalisa pemanfaatan dari konsolidasi dengan *vertical drain*, untuk mempercepat waktu konsolidasi. Pengujian ini menggunakan sampel mineral tanah lempung dimana pengujian terhadap indeks properties dan berat jenis tanah terhadap benda uji telah dilakukan.

Sampel tanah yang digunakan merupakan sample buatan dengan bahan dasar kaolin murni hasil fabrikasi PT. Asia Kaolin dengan ukuran butir lolos saringan 325 mesh.

Penelitian ini dibatasi dengan :

- a. Sampel tanah yang digunakan dicetak dengan memberikan tekanan pra-konsolidasi sebesar 100 kPa atau 1 kN/cm<sup>2</sup>, menggunakan alat *rowe cell* yang dimodifikasi dengan mold CBR Ø 15 cm.
- b. Pada penelitian ini sample dicetak dengan kadar air 100%
- c. Sampel diuji konsolidasi vertikal drain dengan alat *rowe cell*

## 1.5 SISTEMATIKA PENULISAN

Pada penulisan seminar skripsi ini, penulis berusaha menyajikan dalam bentuk yang sederhana, sehingga mudah memahami maksud dari tugas akhir ini.

Sistematika penulisan tugas akhir secara garis besar meliputi :

### ***BAB I PENDAHULUAN***

Meliputi: Latar Belakang, Deskripsi Masalah, Maksud Dan Tujuan, Batasan Masalah, dan Sistematika Penulisan.

### ***BAB II TINJAUAN PUSTAKA***

Meliputi: Pendahuluan, Karakteristik Tanah Lempung, Konsolidasi, *vertical drain*.

### ***BAB III METODE PENELITIAN***

Meliputi: Standar Metode Penelitian, Dokumen Referensi, Prosedur Pengujian Awal, Prosedur Pengujian Konsolidasi, Prosedur Vertikal Drain.

### ***BAB IV ANALISIS PERCOBAAN***

Meliputi: Pendahuluan, Analisa Hasil Pengujian Karakteristik Tanah Kaolin, Analisa Hasil Pengujian Konsolidasi tanpa dan dengan *vertical drain*.

### ***BAB V PENUTUP***

Meliputi : Kesimpulan dan Saran

## **BAB 2**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Pendahuluan**

Pada bab ini akan di uraikan dasar teori mengenai tanah dan konsolidasi pada tanah lempung serta mempercepat konsolidasi dengan *vertical drain* yang berhubungan dengan penelitian yang akan dilakukan.

#### **2.2 Karakteristik Tanah Lempung**

Tanah lempung merupakan partikel mineral yang berukuran lebih kecil dari 0,002 mm. Partikel-partikel ini merupakan sumber utama dari kohesi di dalam tanah yang kohesif (Joseph E. Bowles, 1995) Tanah lempung merupakan tanah yang berukuran mikroskopis sampai dengan sub mikroskopis yang berasal dari pelapukan unsur-unsur kimiawi penyusun batuan, tanah lempung sangat keras dalam keadaan kering dan bersifat plastis pada kadar air sedang. Pada kadar air lebih tinggi lempung bersifat lengket (kohesif) dan sangat lunak (Braja M. Das, 1995).

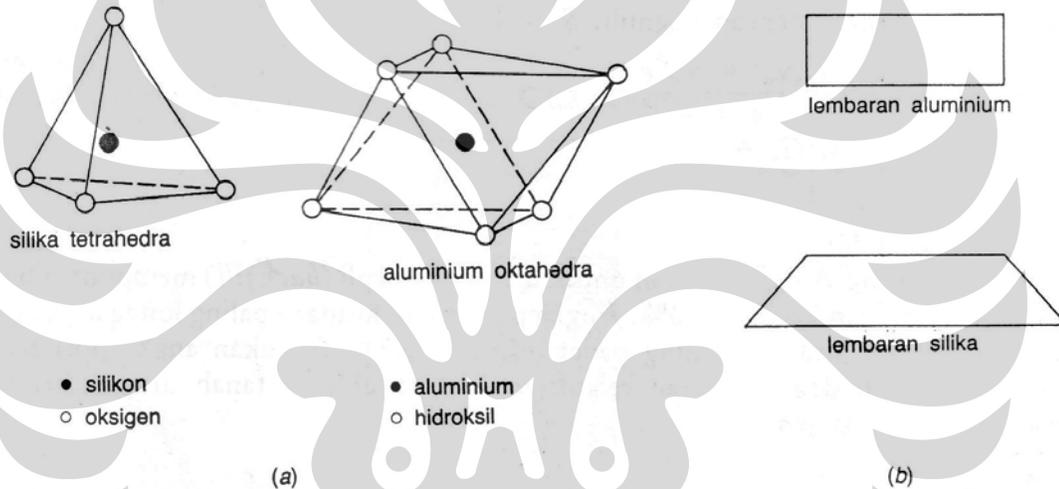
Tanah butiran halus khususnya tanah lempung akan banyak dipengaruhi oleh air. Sifat pengembangan tanah lempung yang dipadatkan akan lebih besar pada lempung yang dipadatkan pada kering optimum dari pada yang dipadatkan pada basah optimum. Lempung yang dipadatkan pada kering optimum relatif kekurangan air oleh karena itu lempung ini mempunyai kecenderungan yang lebih besar untuk meresap air sebagai hasilnya adalah sifat mudah mengembang.

##### **2.2.1 Mineral Lempung**

Mineral lempung merupakan pelapukan akibat reaksi kimia yang menghasilkan susunan kelompok partikel berukuran koloid dengan diameter butiran lebih kecil dari 0,002 mm. Partikel lempung dapat berbentuk seperti lembaran yang mempunyai permukaan khusus. Karena itu, tanah lempung mempunyai sifat sangat dipengaruhi oleh gaya-gaya permukaan. Secara umum terdapat kira-kira 15 macam mineral yang diklasifikasikan sebagai mineral lempung (Kerr, 1959). Di antaranya terdiri dari kelompok-kelompok: *montmorillonite*, *illite*, *kaolinite*, dan *polygorskite*.

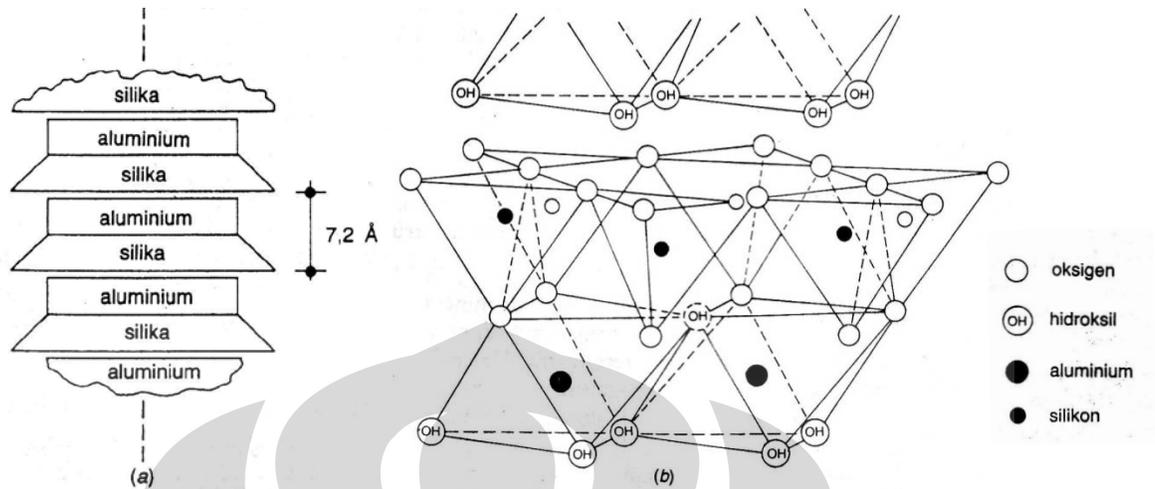
Kelompok yang lain, yang perlu diketahui adalah: *chlorite*, *vermiculite*, dan *halloysite*.

Susunan pada kebanyakan tanah lempung terdiri dari silika tetrahedra dan aluminium oktahedra (Gambar 2.1a). Silika dan aluminium secara parsial dapat digantikan oleh elemen yang lain dalam kesatuannya, keadaan ini dikenal sebagai substitusi isomorf. Kombinasi dari susunan kesatuan dalam bentuk susunan lempeng disajikan dalam simbol, dapat dilihat pada Gambar 2.1b. Berbagai macam lempung terbentuk oleh kombinasi tumpukan dari susunan lempeng dasarnya dengan bentuk yang berbeda-beda.



Gambar 2.1 Mineral-mineral lempung (Hary C.H, 1992).

*Kaolinite* merupakan mineral dari kelompok kaolin, terdiri dari susunan satu lembaran silika tetrahedra dengan satu lembaran aluminium oktahedra, dengan satuan susunan setebal  $7,2 \text{ \AA}$  ( $1 \text{ angstrom} = 10^{-10} \text{ m}$ ) (Gambar 2.2a). Kedua lembaran terikat bersama-sama, sedemikian rupa sehingga ujung dari lembaran silika dan satu dari lapisan lembaran oktahedra membentuk sebuah lapisan tunggal. Dalam kombinasi lembaran silika dan aluminium, keduanya terikat oleh ikatan hidrogen (Gambar 2.2b). Pada keadaan tertentu, partikel *kaolinite* mungkin lebih dari seratus tumpukan yang sukar dipisahkan. Karena itu, mineral ini stabil dan air tidak dapat masuk di antara lempengannya untuk menghasilkan pengembangan atau penyusutan pada sel satuannya (Hary C.H, 1992).



Gambar 2.2 (a) Diagram skematik struktur *kaolinite* (Lambe, 1953).  
 (b) Struktur atom *kaolinite* (Grim, 1959)  
 (Hary C.H, 1992).

### 2.3 Teori Konsolidasi

Penambahan beban di atas suatu permukaan tanah dapat menyebabkan lapisan tanah dibawahnya mengalami pemampatan. Pemampatan tersebut disebabkan oleh adanya deformasi tanah, relokasi partikel, keluarnya air atau udara dari dalam pori dan lain-lain.

Bila tanah kohesif (lanau/lempung) yang jenuh air menerima beban penurunan yang terjadi dapat disederhanakan menjadi tiga bagian, yaitu:

1. Penurunan segera (penurunan elastis),  $S_i$ ; terjadi pada saat beban diberikan, beban pertama kali diterima oleh air pori sehingga timbul tegangan air pori. Pada tanah yang berpermeabilitas rendah untuk sementara tak ada air pori yang terdisipasikan dan tanah tersebut dalam keadaan undrained. Tanah akan berdeformasi tanpa mengalami perubahan volume sedemikian sehingga deformasi vertikal (penurunan) yang dialaminya diikuti dengan pengembangan ke arah lateral.
2. Penurunan Konsolidasi (penurunan primer),  $S_c$ ; terjadi bersamaan dengan keluarnya air pori, akibatnya penurunan yang terjadi disertai dengan perubahan volume. Tegangan air pori dipindahkan ke partikel tanah

menjadi tegangan efektif tanah. Kecepatan terjadinya konsolidasi bergantung kepada kecepatan keluarnya air pori.

3. Penurunan Sekunder,  $S_s$ ; yaitu penurunan jangka panjang yang terjadi setelah seluruh tegangan air pori terdisipasi dan tegangan tanah efektif telah konstan. Deformasi ini terjadi akibat efek rangkai yang disebut *drained creep*.

Besar ketiga macam penurunan ini sangat bergantung kepada tipe tanah, sifat-sifat kompresibilitas, sejarah tegangan, besar dan kecepatan pembebanan dan berkaitan juga dengan perbandingan luas bidang pembebanan terhadap ketebalan tanah kompresif tersebut. Tanah anorganik umumnya mengalami penurunan segera dan penurunan sekunder yang relatif jauh lebih kecil dibandingkan dengan penurunan konsolidasi. Karena itu penurunan konsolidasi disebut penurunan primer.

### **2.3.1 Dasar – Dasar Konsolidasi**

Jika suatu lapisan tanah jenuh air diberi penambahan beban, maka angka tekanan air pori akan naik secara mendadak. Pada tanah berpasir yang sangat tembus air (permeable), air mengalir dengan cepat sehingga pengaliran air pori keluar akibat dari penambahan tekanan air pori dapat selesai dengan cepat. Keluarnya air pori dari dalam tanah selalu disertai dengan berkurangnya volume tanah dan akan menyebabkan penurunan pada lapisan tanah tersebut. Karena air pori dalam tanah berpasir berpasir dapat mengalir dengan cepat, maka penurunan segera dan penurunan konsolidasi terjadi bersamaan.

Berbeda dengan tanah lempung jenuh air yang mampumampat (compressible) jika diberikan penambahan beban, maka penurunan (settlement) akan terjadi dengan segera. Sedangkan perubahan volume yang disebabkan oleh keluarnya air dalam pori (konsolidasi) terjadi sesudah penurunan segera. Hal ini disebabkan oleh koefisien rembesan lempung sangat kecil dibandingkan dengan pasir sehingga penambahan tekanan air pori yang disebabkan oleh pembebanan akan berkurang secara lambat dalam waktu yang sangat lama. Penurunan konsolidasi biasanya jauh lebih besar dan lebih lambat dibandingkan dengan penurunan segera.

### 2.3.2 Uji Konsolidasi Satu Dimensi

Prosedur untuk melakukan uji konsolidasi satu-dimensi pertama kali diperkenalkan oleh Terzaghi. Uji tersebut dilakukan di dalam konsolidometer (oedometer).

Berdasarkan teori Terzaghi apabila penekanan suatu lapisan tanah tergantung pada waktu, pengaruhnya disebut *penurunan konsolidasi* atau lebih biasa disebut *konsolidasi* saja. Teori umum yang mencakup tekan pori dan tegangan efektif adalah salah satu hal yang dikembangkan pada awalnya oleh Terzaghi selama tahun 1920 – 1924 (Joseph E. Bowles, 1995).

Teori konsolidasi Terzaghi membuat asumsi – asumsi berikut (Craig, R.F 1989) :

1. Tanah adalah homogen
2. Tanah adalah jenuh sempurna
3. Partikel padat tanah dan partikel air tidak kompresibel
4. Kompresi dan aliran adalah satu dimensi (vertikal)
5. Regangan kecil
6. Hukum Darcy berlaku untuk semua gradient hidrolis
7. Koefisien permeabilitas dan koefisien kompresibilitas volume tetap konstan selama proses berlangsung
8. Terdapat hubungan khusus (unik), tidak tergantung waktu, antara angka pori dengan tegangan efektif.

Dengan asumsi 6, terdapat bukti adanya penyimpangan dari hukum Darcy pada gradient hidrolis rendah. Pada asumsi 7, koefisien permeabilitas akan menurun selama konsolidasi, karena hubungan  $e-\sigma'$  tidak linear

Pembatasan yang paling utama dari teori Terzaghi adalah asumsi 8. Hasil pengujian memperlihatkan bahwa hubungan antara angka pori dan tegangan efektif tergantung terhadap waktu.

Teori ini berhubungan dengan besaran-besaran dibawah ini :

1. Tekanan air pori berlebihan ( $u$ )
2. Kedalaman ( $z$ ) dibawah lapisan lempung teratas

3. Waktu (t) dari penggunaan kenaikan tegangan total seketika

Karakteristik – karakteristik konsolidasi (atau parameter) suatu tanah adalah indeks tekanan (*compression index*  $C_c$ ) dan koefisien konsolidasi ( $C_v$ ). Indeks tekanan berhubungan dengan berapa besarnya konsolidasi atau penurunan yang akan terjadi. Koefisien konsolidasi berhubungan dengan berapa lama suatu konsolidasi tertentu akan terjadi.

### 2.3.3 Grafik Angka Pori – Tekanan

Data yang langsung diperoleh dari suatu uji konsolidasi disajikan dalam bentuk penurunan (pembacaan alat ukur) terhadap waktu. Pembacaan penurunan dikonversikan dengan perhitungan menjadi angka pori dengan menggunakan luas contoh dan pertambahan beban. Penambahan beban pada awalnya menghasilkan keadaan tegangan total dengan air pori yang menahan sebagian besar beban yang bekerja. Sesudah waktu tertentu, tekanan air pori yang berlebihan akan hilang lewat drainase.

Penggambaran angka pori terhadap tekanan telah digunakan setidaknya sejak awal tahun 193-an. Berikut merupakan tahapan dalam perhitungan untuk membuat grafik angka pori – tegangan (Braja M. Das, 1995).

1. Hitung tinggi butiran padat,  $H_s$  pada contoh tanah

$$H_s = \frac{W_s}{AG_s \gamma_w} \quad (2.1)$$

Dimana :

$W_s$  = Berat kering contoh tanah

$A$  = Luas penampang contoh tanah

$G_s$  = Berat spesifik contoh tanah

$\gamma_w$  = Berat volume air

2. Hitung tinggi awal dari ruang pori  $H_v$  :

$$H_v = H - H_s \quad (2.2)$$

Dimana :  $H$  = Tinggi awal contoh tanah

3. Hitung angka pori awal,  $e_0$  dari contoh tanah :

$$e_0 = \frac{V_v}{V_s} = \frac{H_v \cdot A}{H_s \cdot A} = \frac{H_v}{H_s} \quad (2.3)$$

4. Untuk penambahan beban pertama  $p_1$  (beban total / luas penampang contoh tanah) yang menyebabkan penurunan  $\Delta H_1$ , hitung perubahan angka pori  $\Delta e_1$  :

$$\Delta e_1 = \frac{\Delta H_1}{H_s} \quad (2.4)$$

$\Delta H_1$  didapatkan dari pembacaan awal dan akhir pada skala ukur untuk beban sebesar  $p_1$ .

5. Hitung angka pori yang baru,  $e_1$ , setelah konsolidasi yang disebabkan oleh penambahan tekanan  $p_1$  :

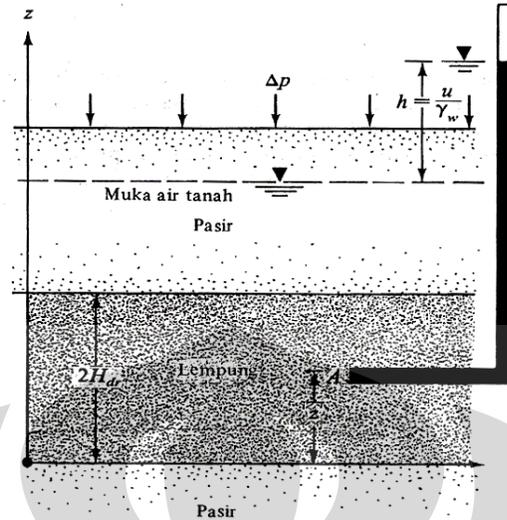
$$e_1 = e_0 - \Delta e_1 \quad (2.5)$$

Dengan melakukan cara yang sama, angka pori pada saat akhir konsolidasi untuk semua penambahan beban dapat diperoleh.

Tekanan total dan angka pori yang bersangkutan pada akhir konsolidasi digambar pada grafik logaritma.

#### 2.3.4 Kecepatan Konsolidasi

Gambar 2.3 menunjukkan suatu lapisan lempung dengan tebal  $2 H_{dr}$  yang terletak antar dua lapisan pasir yang sangat tembus air. Apabila lapisan lempung tersebut diberikan penambahan tekanan, maka tekanan air pori pada lapisan tanah lempung akan naik. Untuk konsolidasi satu dimensi, air pori akan mengalir ke luar dalam arah vertikal, yaitu ke arah lapisan pasir.



Gambar 2.3 Lapisan lempung yang mengalami konsolidasi

Kecepatan air yang mengalir ke luar – kecepatan air yang mengalir masuk = kecepatan perubahan volume (Braja M. Das, 1995).

Jadi :

$$\left( v_z + \frac{\partial v_z}{\partial z} dz \right) d_x \cdot d_y - v_z \cdot d_x \cdot d_y = \frac{\partial V}{\partial t} \quad (2.6)$$

Dimana :

$V$  = Volume elemen tanah

$v_z$  = Kecepatan aliran dalam arah sumbu  $z$

atau :

$$\frac{\partial v_z}{\partial z} d_x \cdot d_y \cdot dz = \frac{\partial V}{\partial t} \quad (2.7)$$

dengan menggunakan hukum darcy :

$$v_z = k \cdot i = - \frac{k}{\gamma_w} \frac{\partial u}{\partial z} \quad (2.8)$$

dimana  $u$  = tekanan air pori yang disebabkan oleh penambahan tegangan dari persamaan – persamaan :

$$- \frac{k}{\gamma_w} \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} = \frac{1}{d_x \cdot d_y \cdot dz} \frac{\partial V}{\partial t} \quad (2.9)$$

selama konsolidasi, kecepatan perubahan volume elemen tanah adalah sama dengan kecepatan perubahan volume pori (void), jadi :

$$\frac{\partial V}{\partial t} = \frac{\partial V_v}{\partial t} = \frac{\partial (V_s + eV_s)}{\partial t} = \frac{\partial V_s}{\partial t} + V_s \frac{\partial e}{\partial t} + e \frac{\partial V_s}{\partial t} \quad (2.10)$$

dimana:

$V_s$  = Volume butiran padat

$V_v$  = Volume pori

Tetapi (dengan menganggap bahwa butiran padat tanah tidak mampumampat),

$$\frac{\partial V_s}{\partial t} = 0$$

Dan

$$V_s = \frac{V}{1 + e_0} = \frac{d_x \cdot d_y \cdot d_z}{1 + e_0}$$

Masukan harga – harga  $\partial V_s / \partial t$  dan  $V_s$  tersebut kedalam persamaan, didapat :

$$\frac{\partial V}{\partial t} = \frac{d_x \cdot d_y \cdot d_z}{1 + e_0} \frac{\partial e}{\partial t} \quad (2.11)$$

Di mana  $e_0$  = angka pori awal

Dengan mengkombinasikan persamaan – persamaan didapat:

$$\frac{k}{\gamma_w} \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} = \frac{1}{1 + e_0} \frac{\partial e}{\partial t} \quad (2.12)$$

Perubahan angka pori terjadi karena penambahan tegangan efektif (yaitu : pengurangan tekanan air pori yang terjadi). Anggaplah bahwa penambahan tegangan efektif adalah sebanding dengan pengurangan tekanan air pori.

$$\partial e = a_v \partial (\Delta p') = -a_v \partial u \quad (2.13)$$

Di mana:

$\partial (\Delta p')$  = Perubahan tekanan efektif

$a_v$  = Koefisien kemampumampatan ( $a_v$  dapat dianggap konstan untuk suatu rentang penambahan tekanan yang sempit)

Kombinasikan persamaan – persamaan (2.12) dan (2.13)

$$-\frac{k}{\gamma_w} \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} = \frac{a_v}{1+e_0} \frac{\partial u}{\partial t} = m_v \frac{\partial u}{\partial t}$$

Dimana  $m_v$  = koefisien kemampumampatan volume =  $a_v / (1 + e_0)$ , atau

$$\frac{\partial u}{\partial t} = c_v \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \quad (2.14)$$

Dimana  $c_v$  = koefisien konsolidasi =  $k / (\gamma_w m_v)$ .

### 2.3.5 Persen Konsolidasi

Persamaan (2.14) adalah persamaan diferensial dari teori konsolidasi oleh Terzaghi dan dapat dipecahkan dengan kondisi – kondisi batas sebagai berikut (Braja M. Das, 1995) :

$$z = 0, u = 0$$

$$z = 2H_{dr}, u = 0$$

$$t = 0, u = u_0$$

Penyelesaian yang didapat :

$$u = \sum_{m=0}^{m=x} \left[ \frac{2u_0}{M} \sin \left( \frac{Mz}{H_{dr}} \right) \right] e^{-M^2 T_v} \quad (2.15)$$

Dimana :

$m$  adalah bilangan bulat

$$M = \frac{\pi}{2} (2m + 1)$$

$u_0$  = tegangan air pori awal

$$T_v = \frac{c_v t}{H_{dr}^2}$$

Karena konsolidasi merupakan proses keluarnya air pori, derajat konsolidasi pada jarak  $z$  pada suatu waktu  $t$  adalah :

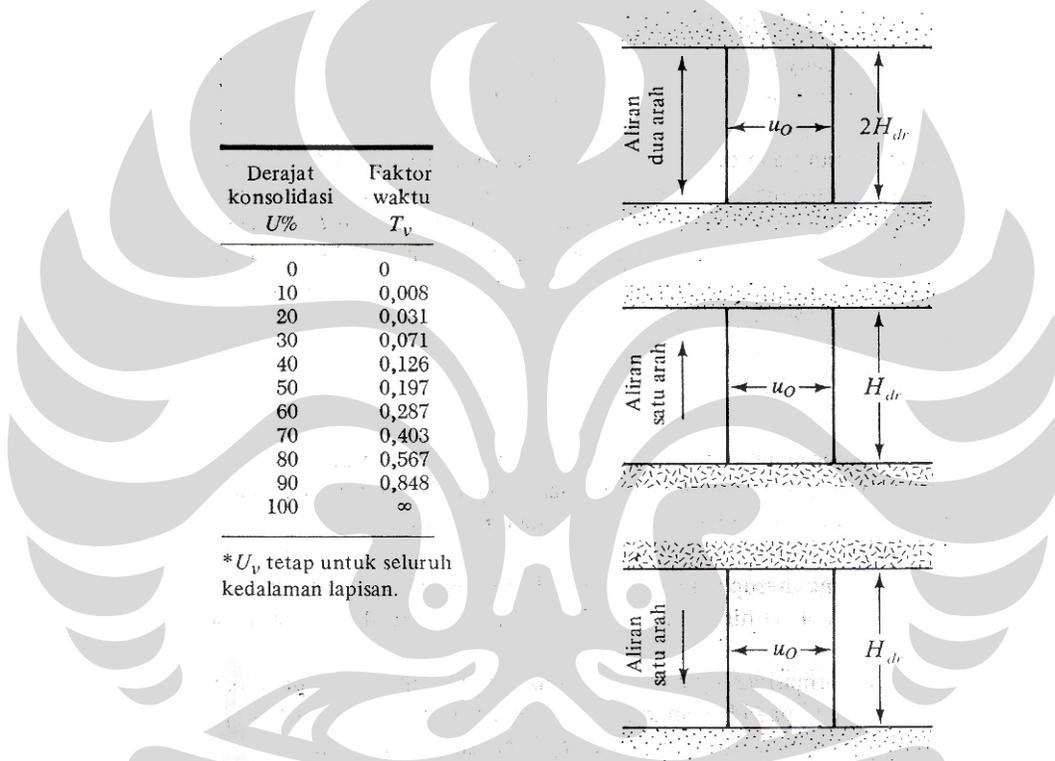
$$U_z = \frac{u_0 - u_z}{u_0} = 1 - \frac{u_z}{u_0} \quad (2.16)$$

Dimana :  $u_z$  = tekanan air pori pada jarak  $z$  pada waktu  $t$

Derajat konsolidasi rata – rata untuk seluruh kedalaman lapisan lempung pada saat  $t$  dengan mengkombinasikan persamaan (2.15) dan (2.16) akan didapat :

$$U = 1 - \sum_{m=0}^{m=\infty} \frac{2}{M^2} e^{-M^2 T_v} \quad (2.17)$$

Variasi derajat konsolidasi rata – rata terhadap faktor waktu yang tak berdimensi,  $T_v$  diberikan pada gambar 2.4, yang berlaku untuk keadaan dimana  $u_0$  adalah sama untuk seluruh lapisan yang mengalami konsolidasi.



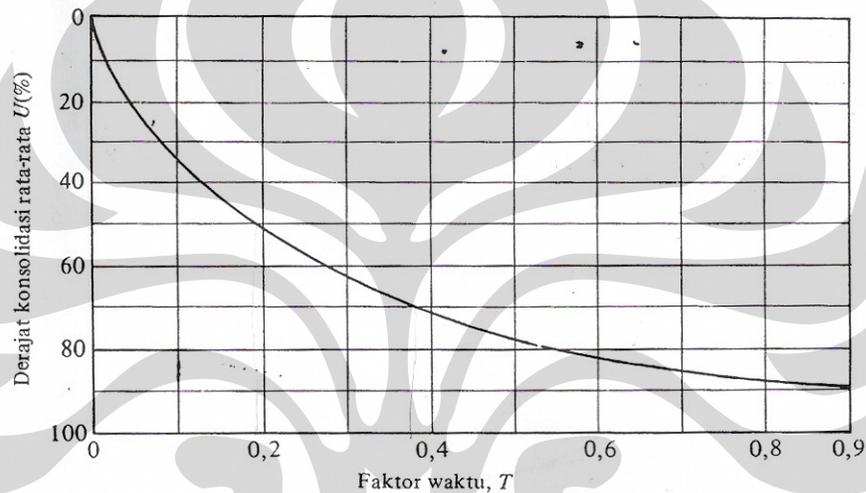
Gambar 2.4 Variasi faktor waktu terhadap derajat konsolidasi dan macam – macam tipe aliran air pori dengan  $U_v$  tetap (Braja M. Das, 1995)

### 2.3.6 Menentukan Koefisien Konsolidasi

Koefisien konsolidasi menyatakan kecepatan waktu terjadinya konsolidasi. Koefisien ini merupakan bagian dari solusi persamaan konsolidasi yang dipengaruhi oleh sifat tanah. Koefisien konsolidasi ditentukan dari hubungan deformasi waktu yang diperoleh pada uji konsolidasi. Rumus umum dalam menentukan nilai  $c_v$  adalah:

$$c_v = \frac{TH^2}{t_i} \quad (2.18)$$

Kurva deformasi terhadap waktu untuk setiap penambahan beban hampir sama bentuknya dengan kurva teoritis  $U - T$ . Berdasarkan hal tersebut di atas, penentuan  $c_v$  dengan "curve-fitting methods" dikemukakan oleh Casagrande dan Taylor. Prosedur pendekatan empiris ini dikembangkan untuk memplot data hasil uji laboratorium sesuai dengan teori konsolidasi Terzaghi.



Gambar 2.5 Variasi derajat konsolidasi rata – rata terhadap faktor waktu,  $T_v$   
 ( $U_v$  tetap untuk seluruh lapisan)  
 (Braja M. Das, 1995)

Beberapa cara untuk menentukan koefisien konsolidasi yang diusulkan antara lain:

### 2.3.6.1 Metode Logaritma Waktu (Menurut Casagrande)

Metoda logaritma waktu didasarkan pada waktu yang diperlukan untuk mencapai 100% konsolidasi primer dimana harga  $C_v$  dihitung berdasarkan waktu untuk derajat konsolidasi 50%.

Berikut ini adalah cara untuk menentukan  $c_v$  yang diperlukan (Braja M. Das, 1995) :

1. Perpanjang bagian kurva yang merupakan garis lurus dari konsolidasi primer dan sekunder hingga berpotongan di titik A. Ordinat A adalah  $d_{100}$  – yaitu deformasi akhir pada konsolidasi primer 100%
2. Bagian awal dari kurva deformasi vs log t adalah hamper menyerupai suatu parabola pada skala biasa. Pilih waktu  $t_1$  dan  $t_2$  pada bagian kurva sehingga  $t_2 = 4 t_1$ . Dan perbedaan deformasi contoh tanah selama waktu  $(t_2 - t_1)$  adalah x.
3. Gambar garis DE sehingga jarak vertical BD sama dengan x. deformasi yang bersesuaian dengan garis DE sama dengan  $d_0$  – yaitu deformasi pada konsolidasi 0%)
4. Ordinat titik F pada kurva konsolidasi merupakan deformasi pada konsolidasi primer 50%, dan absis titik F merupakan waktu yang bersesuaian dengan konsolidasi 50% ( $t_{50}$ )
5. Untuk derajat konsolidasi rata – rata 50%, berdasarkan gambar 2.5 nilai  $T_v = 0.197$ , maka :

$$T_{50} = \frac{c_v t_{50}}{H_{dr}^2}$$

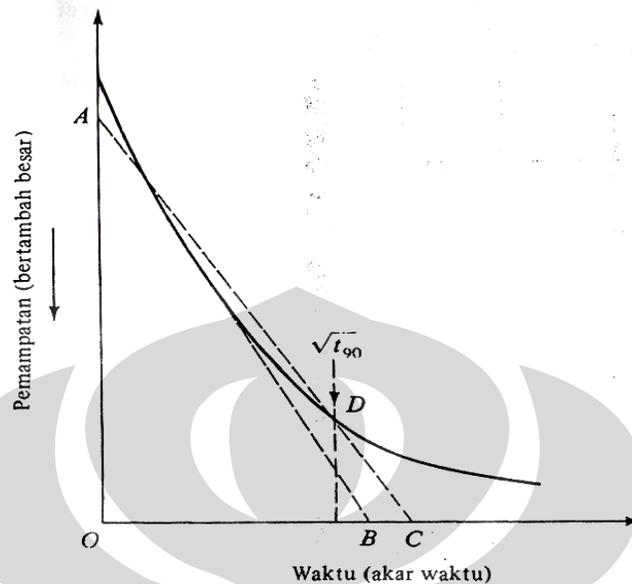
Atau

$$c_v = \frac{0,197 H_{dr}^2}{t_{50}} \quad (2.18)$$

Dimana  $H_{dr}$  = panjang aliran rata – rata yang harus ditempuh oleh air pori selama konsolidasi.

Penelitian yang dilakukan oleh Loenards dan Girault (1961) menunjukkan bahwa Casagrande memberikan pendekatan yang terbaik terhadap pembacaan penurunan dimana kondisi tekanan air pori berlebihan telah mencapai nol, terutama jika rasio penambahan beban besar dan tekanan pra-konsolidasi melampaui penambahan beban yang diberikan.





Gambar 2.7 Metode Akar Waktu (Braja M. Das, 1995)

## 2.4 Konsolidasi dengan *Vertical Drain*

### 2.4.1 Pengertian Umum

Disebabkan permeabilitas yang rendah, penurunan konsolidasi dari tanah lempung memerlukan waktu yang lama untuk selesai. Untuk mempercepat waktu konsolidasi, *vertical drain* dipasang. Untuk itu tujuan dari pemasangan *vertical drain* untuk mengurangi panjang dari drainasi aliran dan, kemudian, mempercepat proses konsolidasi dan membuat lempung menjadi padat dan meningkatkan kekuatan tanah untuk menahan beban baru dengan sendirinya. *Vertical drain* dapat digolongkan ke dalam 3 jenis umum, yaitu: drainasi pasir vertikal (*Vertical sand drain*), *Fabric encased sand drain*, dan *prefabricated sand drain*.

Pada tahun 1930an, pertama kali aplikasi dari *Vertical sand drain* dibuat di California. Di Sweden, pada dekade yang sama, Kjellman memperkenalkan contoh dari *prefabricated vertical drain*, terbuat dari seluruhnya dari karton. Kemudian, beberapa tipe dari *prefabricated vertical drain* berkembang dimana pada dasarnya terdiri dari inti palstik dengan sumbu alur longitudinal yang berfungsi sebagai aliran, dan kertas dengan bahan berserat sebagai filter pelindung dari sumbu (T. Stapelfeldt 1999)

### 2.4.2 Teori Vertical Drain

Dasar teori dari konsolidasi radial sekitar system *vertical drain* adalah tambahan dari teori klasik konsolidasi satu-dimensi.

Laju konsolidasi yang rendah pada lempung jenuh dengan permeabilitas yang rendah, dapat dinaikan dengan menggunakan drainasi vertikal (*vertical drain*) yang memperpendek lintasan pengaliran dalam lempung. Kemudian konsolidasi terutama diperhitungkan akibat pengaliran horizontal radial, yang menyebabkan disipasi kelebihan tekanan air pori yang lebih cepat, pengaliran vertikal kecil pengaruhnya.

Karena tujuannya adalah mengurangi panjang lintasan pengaliran, maka jarak antara drainasi merupakan hal yang terpenting. Drainasi tersebut biasanya diberi jarak dengan pola bujur sangkar atau segitiga. Untuk mendapatkan desain yang baik, koefisien konsolidasi horizontal dan vertikal ( $C_h$  dan  $C_v$ ) yang akurat sangat penting untuk diketahui. Biasanya rasio  $C_h/C_v$  terletak antara 1 dan 2, semakin tinggi rasio ini, pemasangan drainasi semakin bermanfaat. Nilai koefisien untuk lempung di dekat drainasi kemungkinan menjadi berkurang akibat proses peremasan (*remoulding*) selama pemasangan (terutama bila digunakan paksi), pengaruh tersebut dinamakan pelumasan yang sudah direduksi atau dengan menggunakan diameter drainasi yang diperkecil. Pengalaman menunjukkan bahwa *vertical drain* tidak baik untuk tanah yang memiliki rasio kompresi sekunder yang tinggi, seperti lempung yang sangat plastis dan gambut (*peat*), karena laju konsolidasi sekunder tidak dapat dikontrol oleh drainasi vertikal (Craig, R.F, 1989).

Dalam koordinat polar, bentuk tiga-dimensi dari persamaan konsolidasi, dengan sifat tanah yang berbeda dalam arah horisontal dan vertikal adalah

$$\frac{\partial u}{\partial t} = c_h \left( \frac{\partial^2 u}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial u}{\partial r} \right) + c_v \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \quad (2.20)$$

Blok-blok prismatis vertikal dari tanah yang mengelilingi drainasi diganti oleh blok-blok silinder dengan jari-jari  $R$ , dengan luas penampang melintang yang sama (gambar) penyelesaian persamaan 2.6 dapat ditulis dalam dua bagian (Braja M. Das, 1995) :

1. Tingkat konsolidasi rata – rata untuk pengaliran horizontal (radial)

Teori konsolidasi untuk pengaliran horizontal saja dikembangkan oleh Barron (1948). Teori ini berdasarkan asumsi bahwa tidak pengaliran arah vertikal.

Menurut teori ini :

$$U_h = 1 - \exp\left(\frac{-8T_h}{m}\right) \quad (2.21)$$

Dimana :

$U_h$  = Derajat konsolidasi rata – rata untuk pengaliran horizontal saja

$$m = \left(\frac{n^2}{n^2 - 1}\right) \ln(n) - \frac{3n^2 - 1}{4n^2}$$

$$n = \frac{d_e}{2r_w}$$

$$T_h = \frac{c_h t_2}{d_e^2}$$

$c_h$  = koefisien konsolidasi untuk pengaliran horizontal

2. Tingkat konsolidasi rata – rata untuk pengaliran vertikal saja

$$T_v = \frac{\pi}{4} \left[ \frac{U_v \%}{100} \right] \quad \text{untuk } U_v = 0\% - 60\% \quad (2.22)$$

Dan

$$T_v = 1.781 - 0.933 \log(100 - U_v \%) \quad \text{untuk } U_v > 60\% \quad (2.23)$$

Dimana :

$U_v$  = Derajat konsolidasi rata – rata untuk pengaliran vertikal saja

$$T_v = \frac{c_v t_2}{H_{dr}^2} \quad (2.24)$$

$c_v$  = koefisien konsolidasi drainasi vertikal

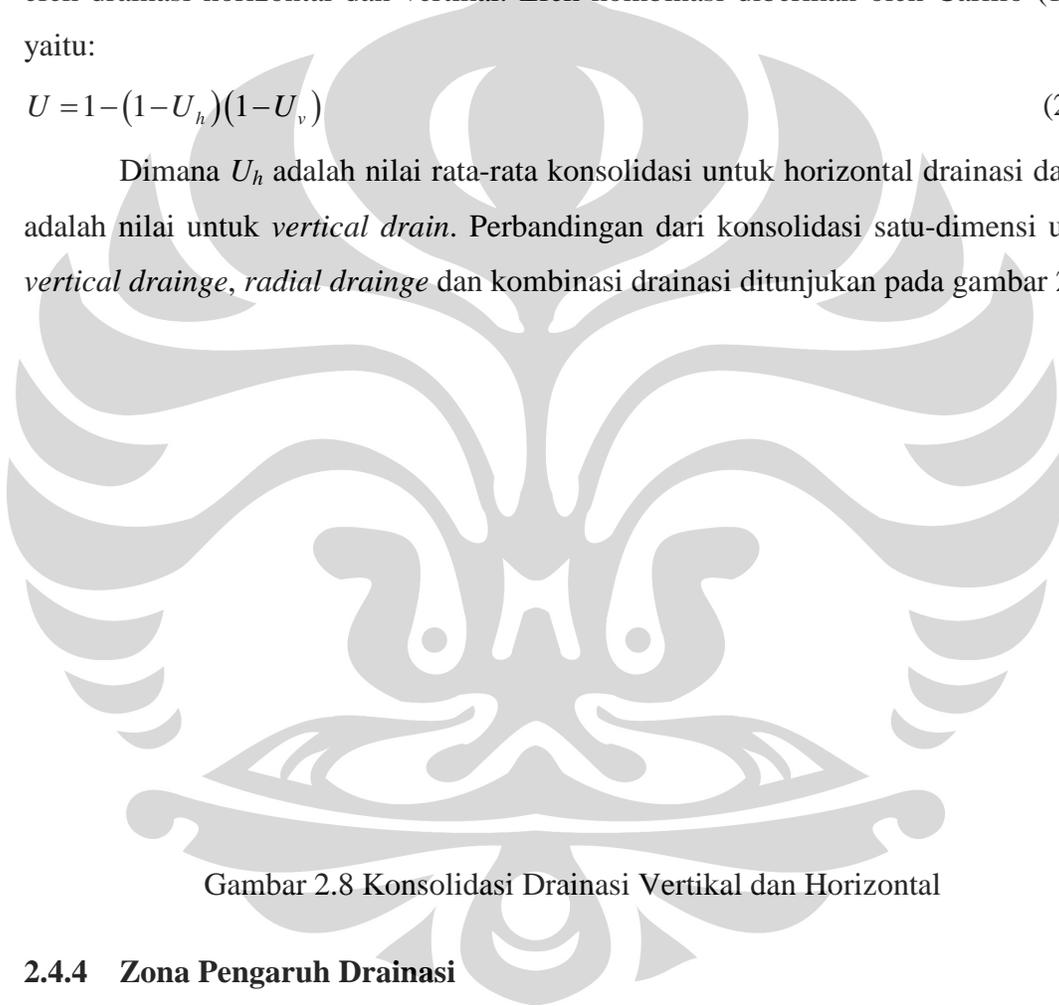
Dalam teori, besarnya penurunan konsolidasi akhir adalah sama, hanya laju penurunannya yang terpengaruh.

### 2.4.3 Derajat Konsolidasi

Objek terpenting dari konsolidasi dengan vertikal drain adalah untuk mencapai derajat konsolidasi yang diinginkan dengan periode waktu tertentu. Dengan *vertical drain*, derajat konsolidasi keseluruhan  $U$ , merupakan hasil kombinasi dari efek drainasi horizontal dan vertikal. Efek kombinasi diberikan oleh Carillo (1942) yaitu:

$$U = 1 - (1 - U_h)(1 - U_v) \quad (2.24)$$

Dimana  $U_h$  adalah nilai rata-rata konsolidasi untuk horizontal drainasi dan  $U_v$  adalah nilai untuk *vertical drain*. Perbandingan dari konsolidasi satu-dimensi untuk *vertical drainage*, *radial drainage* dan kombinasi drainasi ditunjukkan pada gambar 2.9



Gambar 2.8 Konsolidasi Drainasi Vertikal dan Horizontal

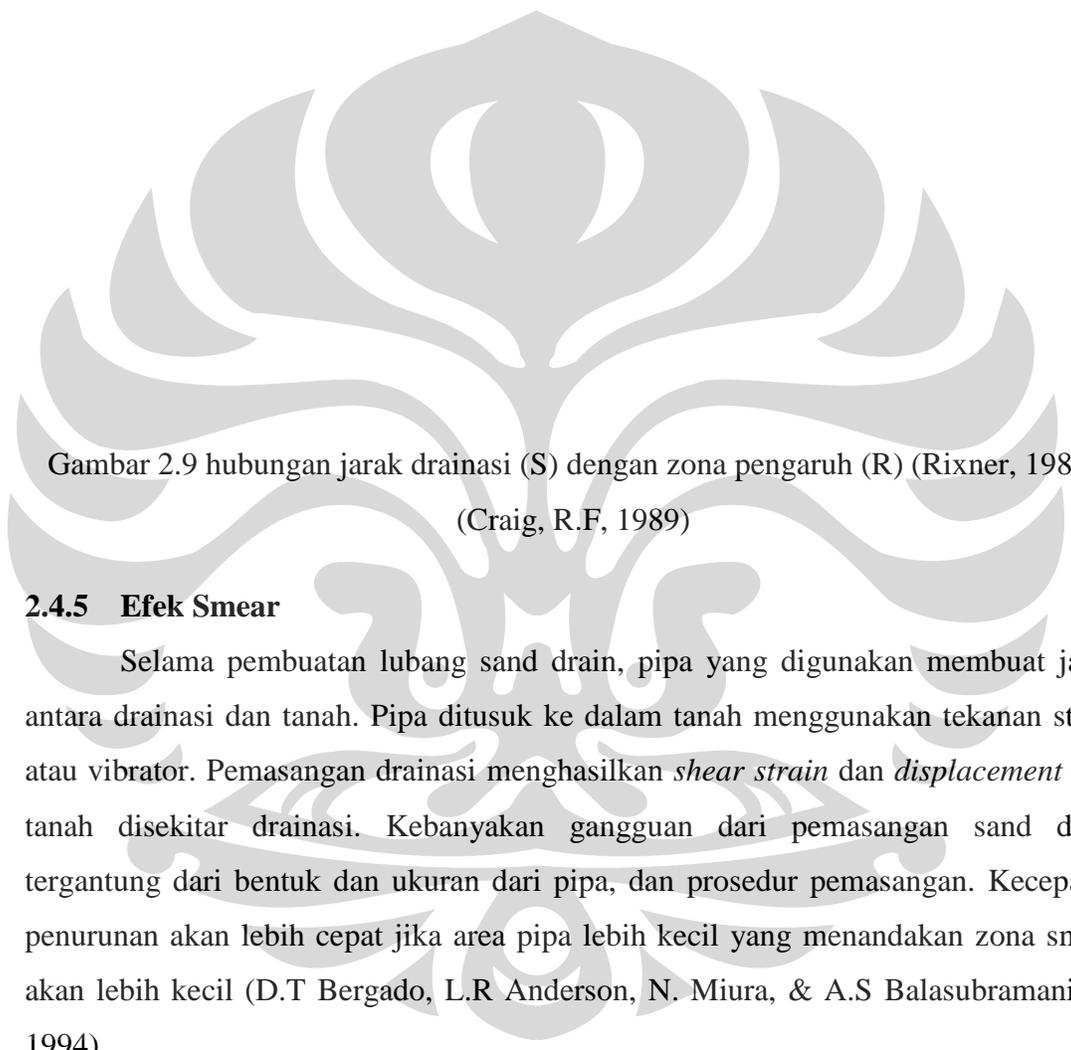
### 2.4.4 Zona Pengaruh Drainasi

Waktu untuk mencapai persen konsolidasi tertentu adalah fungsi kuadrat dari diameter ekuivalen silinder tanah,  $R$ . Variabel ini dapat dikontrol karena pengaturan jarak dari drainasi dan polanya. Drainasi vertikal pada umumnya di pasang pada pola segitiga atau segi empat (gambar 2.8). pengaturan jarak antar drainasi  $R$  melalui hubungan berikut (Craig, R.F, 1989):

$$R = 0,564 S \quad (\text{pola segiempat}) \quad (2.25.a)$$

$$R = 0,525 S \quad (\text{pola segitiga}) \quad (2.25.b)$$

Pola segiempat memiliki kelebihan untuk kemudahan dalam pemasangan dan kontrol. Umumnya pola segiempat lebih banyak digunakan. Bagaimanapun pola segitiga memiliki keseragaman konsolidasi antara drainasi.



Gambar 2.9 hubungan jarak drainasi (S) dengan zona pengaruh (R) (Rixner, 1986)  
(Craig, R.F, 1989)

#### 2.4.5 Efek Smear

Selama pembuatan lubang sand drain, pipa yang digunakan membuat jarak antara drainasi dan tanah. Pipa ditusuk ke dalam tanah menggunakan tekanan statik atau vibrator. Pemasangan drainasi menghasilkan *shear strain* dan *displacement* dari tanah disekitar drainasi. Kebanyakan gangguan dari pemasangan sand drain tergantung dari bentuk dan ukuran dari pipa, dan prosedur pemasangan. Kecepatan penurunan akan lebih cepat jika area pipa lebih kecil yang menandakan zona smear akan lebih kecil (D.T Bergado, L.R Anderson, N. Miura, & A.S Balasubramaniam, 1994)

#### 2.4.6 Pola Pemasangan Drainasi Pasir Vertikal

Terdapat 3 pola pemasangan vertikal drain yang umum dilakukan yaitu :

- pola bujur sangkar
- pola segi tiga

- pola segi enam

Masing-masing pola pemasangan mempunyai dasar pengaruh yang berbeda, sehingga waktu konsolidasi yang diperlukan ataupun terjadi akan berbeda.

Dalam bahasan pada proyek ini dipilih pola bujur sangkar, tetapi dengan alasan bahwa pelaksanaan dalam jumlah besar dan areal yang luas type ini paling tepat untuk pelaksanaan, karena berhubung dengan manuver alat – alat. Diameter efektif adalah diameter dari daerah fiktif yang berbentuk silinder yang dipengaruhi oleh satu drains. Nilai ini diperoleh dengan memindahkan bentuk penampang daerah yang mempengaruhi, kedalam bentuk penampang lingkaran dari silinder fiktif tersebut.

## **2.5 Tinjauan Penelitian**

Pada tinjauan penelitian ini, penulis meninjau penelitian yang dilakukan oleh Muhammad dengan judul “Uji Konsolidasi Constant Rate of Strain Untuk Tanah Kaolin”

Penelitian tersebut bertujuan untuk menyelidiki perbandingan antara metode konsolidasi konvensional dan metode konsolidasi CRS. Metode konsolidasi CRS ini bertujuan untuk mengurangi waktu yang dibutuhkan untuk suatu tanah berkonsolidasi. Kriteria penerimaan pengujian CRS ini didasari dengan perbandingan kurva rasio angka pori ( $e$ ) dengan tegangan efektif ( $\sigma'$ ), koefisien konsolidasi ( $v_c$ ), dan indeks kompresi ( $c_c$ ).

Hasil pengujian kedua metode menunjukkan hasil tegangan yang relative sama (1,8 – 2,2 kg/cm<sup>2</sup> atau 180 – 220 kPa) dan lama waktu pengujian metode CRS jauh lebih singkat ± 1,5 jam dibandingkan dengan metode konvensional ± 12 hari.

## **BAB 3 METODE PENELITIAN**

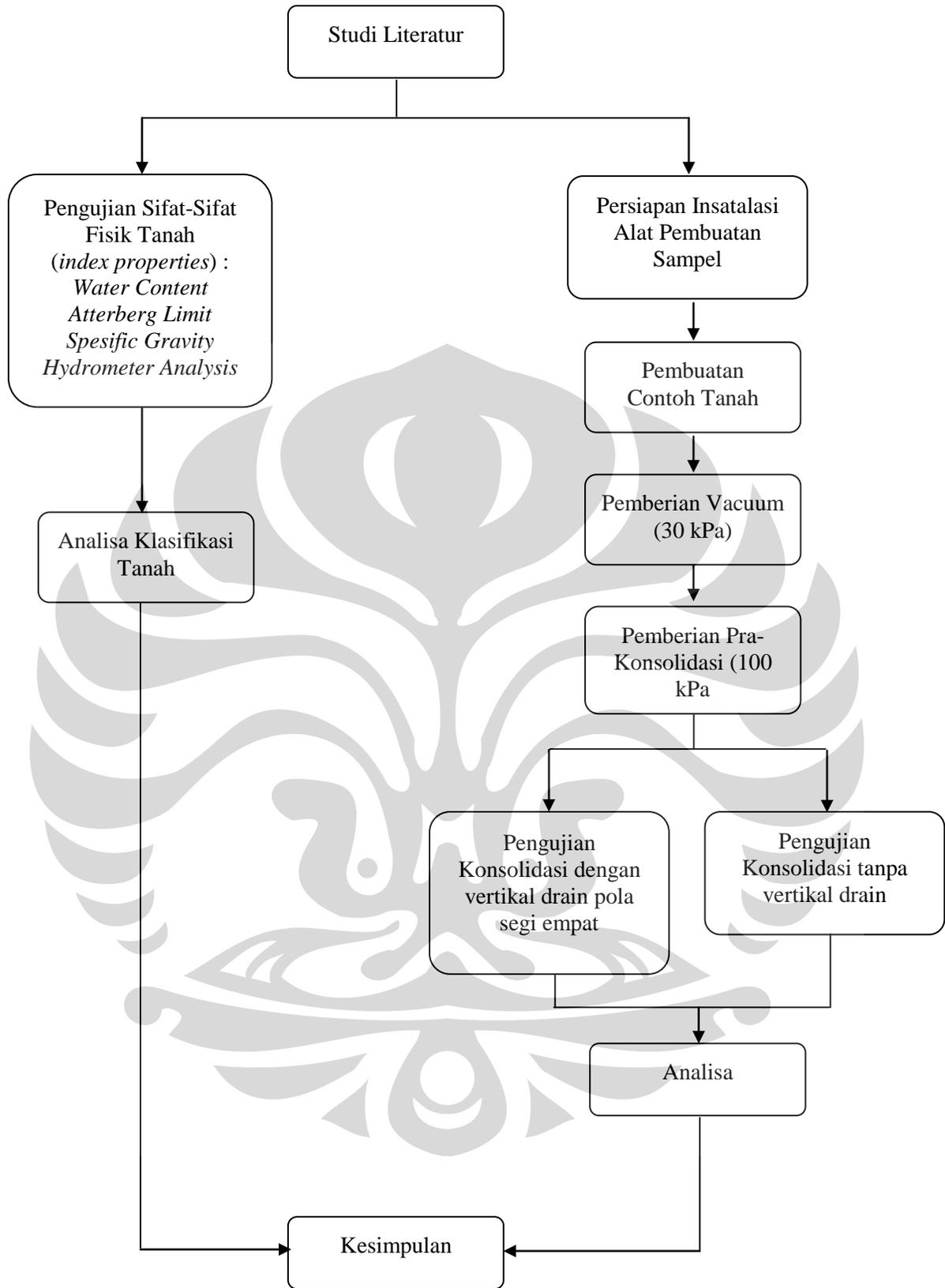
### **3.1 Tahap Kegiatan Penelitian**

Pada bab ini akan diuraikan mengenai langkah-langkah yang akan dilakukan dalam pelaksanaan pengujian di laboratorium. Pengujian yang dilakukan akan mengalami beberapa modifikasi disesuaikan dengan kebutuhan data yang diinginkan. Ada 3 kegiatan utama dalam penelitian ini, yaitu :

1. Pembuatan benda uji, Sampel/ contoh tanah yang digunakan pada penelitian ini adalah tanah jenis lempung kaolin. merupakan tanah yang dibuat atau dibentuk (*remoulded*), yang dalam proses pematatannya diberikan beban prakonsolidasi sebesar 100 kPa selama jangka waktu tertentu.
2. Pengujian konsolidasi dengan vertikal drain (sand drain) menggunakan alat *Rowe Cell* dengan pemberian beban secara bertahap 50 kPa, 100 kPa, dan 200 kPa. Pemberian beban yang ditambahkan setiap selang waktu 24 jam.
3. Kegiatan Analisa dan Kesimpulan dari hasil pengujian contoh tanah di laboratorium

### **3.2 Pengujian Sifat-Sifat Fisik Tanah**

Dalam penelitian ini, pengujian sifat-sifat fisik tanah (*Index Properties*) yang dilakukan adalah pengujian kadar air, *Atterberg Limit* (batas cair, batas plastis dan indeks plastisitas), *specific gravity*, dan *hydrometer analysis*. Data – data penelitian ini diambil dari pengujian sebelumnya. Adapun gambaran dan langkah prosedur secara garis besar dari pengujian-pengujian ini akan diuraikan pada sub bagian di bawah ini.



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian.

### 3.2.1 Kadar Air

Kadar air merupakan perbandingan antara massa air yang terkandung dalam tanah dengan massa partikel padatnya. Prosedur yang dilakukan yaitu dengan memasukkan contoh tanah ke dalam oven selama kurang lebih 1 hari. Sebelum dimasukkan ke dalam oven, tanah tersebut ditimbang terlebih dahulu untuk mendapatkan berat basah tanah ( $w_{wet}$ ). Setelah dimasukkan ke dalam oven selama kurang lebih 1 hari, contoh tanah dikeluarkan dari oven dan didiamkan beberapa saat. Selanjutnya contoh tanah ditimbang untuk mendapatkan berat kering tanah ( $w_{dry}$ ). Kadar air tanah diperoleh dengan menggunakan perhitungan:

$$\% \text{ kadar air} = \frac{w_{wet} - w_{dry}}{w_{dry}} \times 100\% \quad (3.1)$$

### 3.2.2 Atterberg Limit

*Atterberg limit* terdiri dari *Plastic Limit* dan *Liquid Limit*.

#### A. Batas Cair (*Liquid Limit*)

Batas cair didefinisikan sebagai kadar air tanah pada batas antara keadaan cair dan keadaan plastis, yaitu dimana contoh tanah yang telah dimasukkan pada alat *casagranda*, dibuat celah dengan *standard grooving tool* dan alat *casagranda* diputar engkolnya dengan kecepatan 2 ketukan per detik dan tinggi jatuh 10 mm, pada ketukan ke 25 contoh tanah yang digores dengan *grooving tool* merapat sepanjang 0,5 inchi. Dalam penelitian ini, pengujian batas cair (*liquid limit*) dilakukan berdasarkan ASTM D 4318-84 prosedur A dengan menggunakan contoh tanah basah. Contoh tanah yang digunakan merupakan tanah lolos saringan No. 40. Pengujian dilakukan dengan menggunakan alat *Casagrande*. Pengujian dilakukan sampai mendapatkan jumlah ketukan yang diinginkan. Apabila ketukan melebihi dari jumlah ketukan yang diinginkan maka tanah tersebut perlu ditambahkan air. Dan sebaliknya jika jumlah ketukan kurang dari jumlah ketukan yang diinginkan, maka tanah tersebut perlu dikeringkan terlebih dahulu atau ditambahkan tanah pada campuran.

## B. Batas Plastis (*Plastic Limit*)

Batas plastis didefinisikan sebagai kadar air pada kedudukan antara daerah plastis dan semi padat, yaitu dimana contoh tanah digulung pada pelat kaca hingga mencapai diameter kurang lebih 1/8 inchi (3,2 mm) dan tanah tersebut tepat retak-retak halus. Dari penelitian ini dapat ditentukan *Plastic Index (PI)* atau indeks plastisitas dimana :

$$PI = LL - PL \quad (3.2)$$

dimana :  $LL$  = batas cair (*liquid limit*)

$PL$  = batas plastis (*plastic limit*)

Pengujian batas plastis (*plastic limit*) dilakukan berdasarkan ASTM D 4318-84. Sama dengan pengujian batas cair, tanah yang digunakan pada penelitian batas plastis menggunakan tanah lolos saringan No. 40. Contoh tanah tersebut kemudian dipilin/digulung hingga memiliki diameter 3,18 mm dan terdapat retak-retak rambut (halus). Apabila retakan yang terjadi cukup besar maka perlu penambahan air pada sampel tanah. Namun apabila tidak terjadi retakan halus pada tanah yang dipilin, maka perlu penambahan tanah pada campuran.

### 3.2.3 *Specific Gravity*

*Specific Gravity* atau berat spesifik tanah adalah perbandingan antara berat isi tanah dengan berat isi air pada suhu 4° C. Pengujian *specific gravity* yang dilakukan berdasarkan ASTM D 854 - 83. Contoh tanah yang digunakan adalah tanah lolos saringan No. 40. dengan kondisi kering oven. Pada pengujian air yang digunakan merupakan air suling. Nilai *specific gravity* diperoleh dengan rumus :

$$G_s = \gamma_s / \gamma_w \quad (3.3)$$

dimana  $\gamma_w$  = berat jenis air pada suhu 4°C. Untuk penelitian pada T°C, maka harga tersebut harus dikoreksi dengan harga  $\alpha$ . Karena volume air yang dipindahkan sama dengan volume solid tanah, maka :

$$G_s = \alpha (w_s / w_w) \quad (3.4)$$

dimana :  $w_s$  = berat tanah kering

$w_w$  = berat air (berat air yang volumenya = volume tanah)

$\alpha$  = faktor koreksi suhu yang berhubungan dengan T°C pada saat penelitian.

### 3.2.4 Hydrometer Analysis

*Hydrometer* digunakan untuk menentukan distribusi dari butiran tanah yang memiliki diameter lebih kecil dari 0,074 mm (lolos saringan No.200 ASTM) yang dilakukan dengan cara pengendapan. Penelitian ini didasarkan pada hubungan antara kecepatan jatuh dari suatu butiran dalam suatu larutan, diameter butiran, berat jenis butiran, berat jenis larutan, dan kepekatan larutan tersebut. Hubungan ini dijabarkan oleh Hukum Stokes sebagai :

$$v = \frac{2\gamma_s - \gamma_w}{9\eta} \cdot [D/2]^2 \quad (3.5)$$

$$D = \sqrt{\frac{18 \cdot \eta \cdot v}{\gamma_s - \gamma_w}} \quad (3.6)$$

dimana :  $v$  = kecepatan jatuh dari butiran (cm/s)

$\gamma_s$  = berat jenis butiran (gram/cm<sup>3</sup>)

$\gamma_w$  = berat jenis larutan (gram/cm<sup>3</sup>)

$\eta$  = kepekatan larutan (dyne s/cm<sup>2</sup>)

$D$  = diameter butiran (cm)

## 3.3 Pembuatan Benda Uji

### 3.3.1 Material Pembuatan Contoh Tanah

Contoh tanah yang digunakan pada percobaan ini merupakan material kaolin murni dalam bentuk bubuk (*powder*) hasil fabrikasi dengan gradasi butiran lolos saringan 0,1 mm. Bahan / material kaolin ini memiliki nama dagang "kaolin filler super 325 mesh" yang diproduksi oleh PT. Asia Kaolin Raya. Tampilan umum secara visual dari material kaolin ini adalah berwarna putih dan berbentuk bubuk halus (*powder*) seperti tepung.

### 3.3.2 Prosedur Pembuatan Contoh Tanah Kaolin

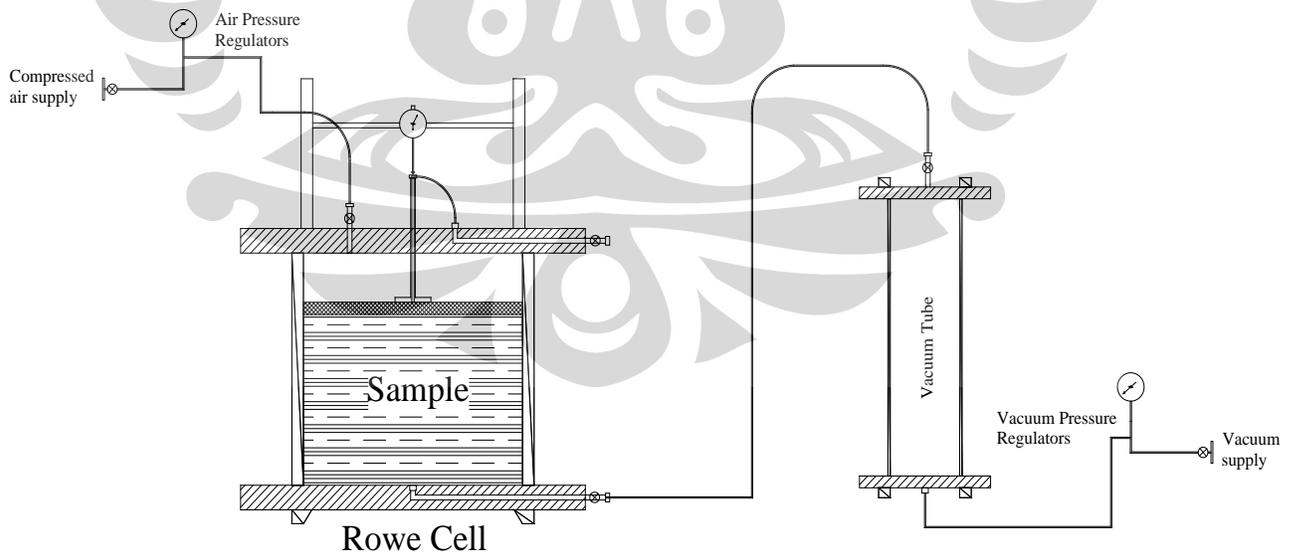
Contoh tanah yang digunakan pada percobaan ini adalah kaolin murni yang dalam keadaan awalnya masih dalam bentuk bubuk (*powder*). Untuk bisa membuat benda uji, maka material kaolin tersebut perlu dibuat / dicetak (*remoulded*) terlebih dahulu. Proses pemadatan / pembebanan dilakukan dengan menggunakan alat *rowe*

*cell* yang telah dimodifikasi / diganti tabungnya dengan menggunakan tabung cetak CBR. Adapun prosedur pembuatan contoh tanah untuk uji adalah sebagai berikut :

uji adalah sebagai berikut :

1. Bubuk kaolin dicampur dengan air suling sampai homogen dan berbentuk pasta dengan bantuan *mixer* selama  $\pm 20 - 30$  menit. Kadar air yang diperlukan agar sampel berbentuk slurry untuk awalnya ditentukan berdasarkan tampilan visual dan coba-coba (*trial and error*), kira-kira  $\pm 10\% - 25\%$  di atas batas cairnya. pada pengujian ini kadar air rencana adalah 100%.
2. Siapkan sebuah tabung untuk mencetak slurry menjadi tanah yang padat dan jenuh. Pada bagian dalam tabung diolesi dengan vaselin atau pelumas untuk mengurangi gesekan antara piston pembeban (karet penekan udara *rowe cell*) dengan dinding tabung dan agar tanah tidak melekat pada dinding tabung.
3. Lalu pada dasar tabung diletakkan berturut-turut plat berpori, batu pori, dan kertas filter.
4. Kemudian slurry dimasukkan ke dalam tabung secara bertahap sambil melakukan pemadatan ringan menggunakan spatula, agar tidak ada gelembung udara yang terperangkap. Pengisian sampel dilakukan hingga ketinggian 3-4 cm dari batas atas mold.
5. Setelah tabung hampir penuh, ratakan permukaan slurry, lalu di atasnya diletakkan lagi berturut-turut kertas filter, batu pori, dan plat berpori / plat penekan *rowe cell*.
6. Kemudian tabung ditutup dengan penutup *rowe cell* dan kencangkan baut-bautnya. Kemudian pasang dial pengukur penurunan pada batang penurunan untuk dapat memonitor penurunan contoh tanah selama proses pembebanan / pemadatan.
7. Sebelum diberikan tekanan, terlebih dahulu sampel di vacuum dengan tujuan agar sampel yang dibuat menjadi lebih homogen dan gelembung udara yg mungkin masih ada di dalam sampel dapat keluar melalui vacuum. Tekanan yang diberikan sekitar 20-30 kPa selama  $\pm 2$  jam.

8. Berikan tekanan ke dalam tabung sesuai dengan tekanan yang diinginkan dengan alat pengatur tekanan. Tekanan ini konstan selama contoh tanah dalam proses pemadatan / pembebanan, dari awal hingga akhir proses ini. Besarnya tekanan yang diberikan disesuaikan dengan beban pra konsolidasi yang diinginkan pada contoh tanah. Pada penelitian ini diberikan tekanan sebesar 100 kPa.
9. Catat penurunan dan kecepatan penurunan dari contoh tanah selama proses pemadatan ini. Pencatatan bacaan dial pengukur penurunan pada hari pertama dilakukan tiap jam sejak dimulainya pemberian tekanan, dan pada hari-hari selanjutnya dilakukan sekali per hari.
10. Setelah mencapai penurunan sampel yang sangat kecil dan sampel dinyatakan relatif stabil, tekanan dalam tabung dihentikan, buka baut dan penutup *rowe cell*.
11. Setelah pemberian tegangan kompresi selesai, data-data umum seperti kadar air sampel dan ketinggian sampel pada bacaan dial di ukur kembali untuk mengetahui besarnya penurunan akibat pemberian tekanan awal, serta untuk mendapatkan pola penurunan sampel dari setiap sampel yang dibuat.



Gambar 3.2 Skematik Pembuatan Benda Uji

### 3.3.3 Pengujian Konsolidasi

Dalam penelitian ini, uji konsolidasi dilakukan dengan menggunakan Sel Rowe yang berukuran diameter 150 mm. Penggunaan Sel Rowe dalam uji konsolidasi memungkinkan pengujian dengan contoh tanah berdiameter besar, sehingga dapat diperoleh data yang lebih bisa diandalkan untuk suatu analisa penurunan (*settlement*). Penggunaan diameter contoh yang lebih besar akan memberikan hasil yang lebih mendekati kenyataan di lapangan dibandingkan dengan hasil yang diperoleh dengan diameter contoh yang lebih kecil (Rowe, 1966).

Beberapa keunggulan sel konsolidasi Rowe dibandingkan dengan sistem pengujian konvensional Oedometer, antara lain :

#### a. Sistem Pembebanan hidrolis

- Contoh tanah tidak mudah terpengaruh oleh getaran, seperti pada uji konvensional dengan oedometer.
- Tekanan sampai 1000 kPa dapat diberikan dengan mudah, sekalipun terhadap contoh tanah berukuran besar.
- Pengaturan pemberian tekanan dapat dilakukan dengan mudah dan pembebanan dapat dilakukan secara serentak pada beberapa contoh tanah cukup dengan menggunakan satu sistem tekanan konstan.
- Pembebanan dapat disimulasikan berupa pembebanan lentur yang menyebabkan tekanan merata (*free strain*) atau pembebanan kaku yang mengakibatkan penurunan merata (*equal strain*)

#### Pembuatan Sampel Konsolidasi tanpa Sand Drain

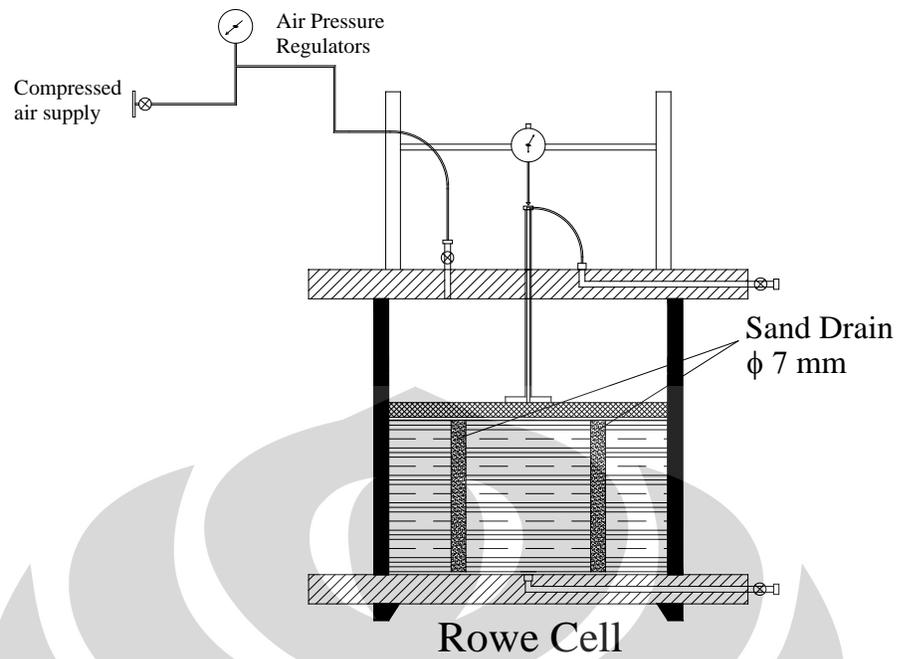
1. Sampel yang telah dibentuk pada alat *rowe cell*, diukur tinggi sampelnya untuk mendapatkan kadar air awal pengujian konsolidasi ini.
2. Kemudian tabung ditutup dengan penutup *rowe cell* dan kencangkan baut-bautnya. Kemudian pasang dial pengukur penurunan pada batang penurunan untuk dapat memonitor penurunan contoh tanah selama proses pembebanan.
3. Benda uji yang telah siap di uji dibebankan dan dicatat bacaan dialnya secara konstan sebesar 50 kPa dengan interval waktu 6"; 15"; 30"; 1'; 2'; 4'; 8'; 15";

30'; 1 jam; 2 jam; 4 jam; 6 jam dan 24 jam. Percobaan diulangi untuk pembebanan 100 kPa, dan 200 kPa dengan interval waktu konstan 24 jam.

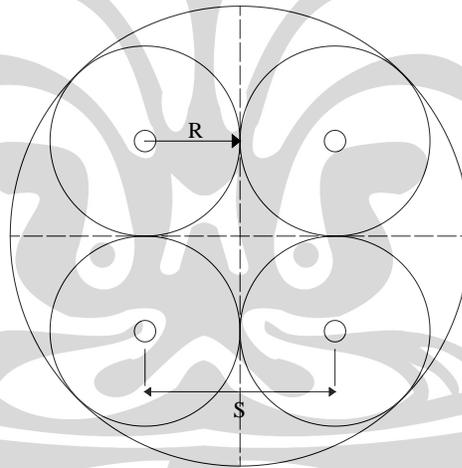
4. Catat penurunan dan kecepatan penurunan dari contoh tanah selama proses pemadatan ini.
5. Setelah proses konsolidasi selesai. Tinggi sampel di ukur kembali untuk mendapatkan kadar air akhir pengujian.

#### Pembuatan Sampel dengan Sand Drain

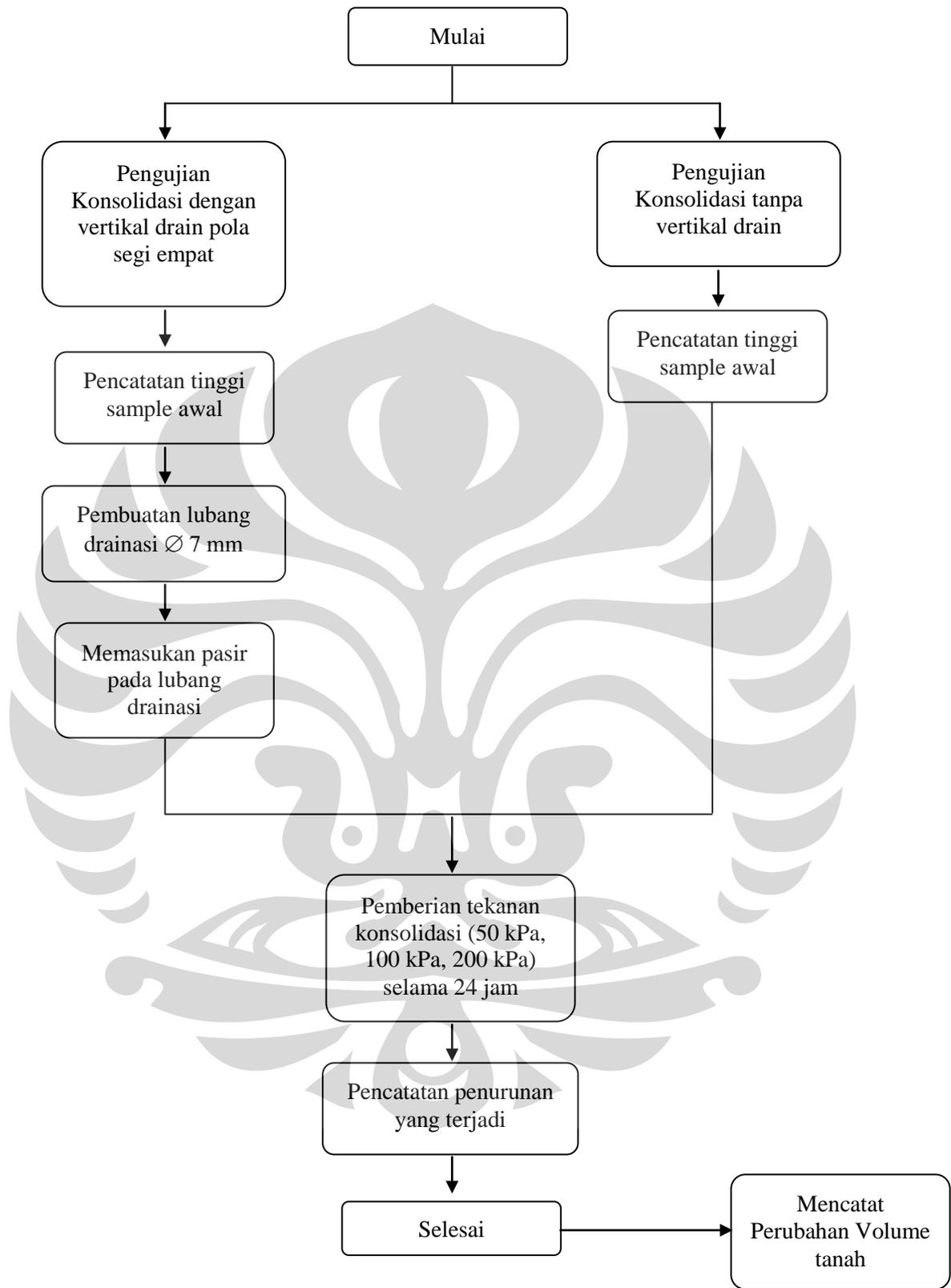
1. Sampel yang telah dibentuk pada alat *rowe cell*, diukur tinggi sampelnya untuk mendapatkan kadar air awal pengujian konsolidasi ini.
2. Membuat lubang menggunakan pipa dengan ujung diruncingkan pada sampel tanah dengan diameter 8 mm dengan pola segi empat.
3. Memasukan pasir lolos saringan no.100 dan tertahan di no.200
4. Kemudian tabung ditutup dengan penutup *rowe cell* dan kencangkan baut-bautnya. Kemudian pasang dial pengukur penurunan pada batang penurunan untuk dapat memonitor penurunan contoh tanah selama proses pembebanan.
5. Benda uji yang telah siap di uji dibebankan dan dicatat bacaan dialnya secara konstan sebesar 50 kPa dengan interval waktu 6"; 15"; 30"; 1'; 2'; 4'; 8'; 15'; 30'; 1 jam; 2 jam; 4 jam; 6 jam dan 24 jam. Percobaan diulangi untuk pembebanan 100 kPa, dan 200 kPa dengan interval waktu konstan 24 jam.
6. Catat penurunan dan kecepatan penurunan dari contoh tanah selama proses pemadatan ini.
7. Setelah proses konsolidasi selesai. Tinggi sampel di ukur kembali untuk mendapatkan kadar air akhir pengujian.



Gambar 3.3 Letak Sand Drain Pada Rowe Cell



Gambar 3.4 Tampak Atas Sand Drain dengan Pola Segi Empat



Gambar 3.3 Diagram alir pengujian konsolidasi

## BAB 4

### ANALISA HASIL PENELITIAN

#### 4.1 Pendahuluan

Pada bab ini akan membahas hasil dan data yang diperoleh dari pengujian konsolidasi dengan dan tanpa sand drain di laboratorium yang diolah dan dianalisis untuk mendapatkan kesimpulan sesuai dengan tujuan penelitian yang telah dibuat.

Pengujian sifat fisik tanah kaolin telah dilakukan pada penelitian terdahulu, sehingga pada skripsi ini penulis hanya mengambil data-data yang terdapat pada penelitian terdahulu.

#### 4.2 Hasil dan Pembahasan Pengujian Sifat-Sifat Fisik Tanah

Pada bagian ini akan dipaparkan mengenai properti indeks dari material tanah kaolin yang dijadikan bahan dasar pembuatan benda uji konsolidasi, dimana nilai-nilainya tersebut diperoleh dari masing-masing jenis pengujian properti indeks tersebut.

##### 4.2.1 Kadar Air Asli

Berikut adalah hasil pengujian kadar air asli dari material kaolin yang dijadikan sebagai material dasar dalam pembuatan sampel untuk benda uji triaksial. Sampel ini diambil langsung dari karung yang digunakan untuk menyimpan material tersebut.

Tabel 4.1 Hasil pengujian kadar air asli pada kaolin.

No. can		#C1	#D	#2A	#D2
Berat can	( $w_1$ )	8,76	9,1	8,64	8,72
Berat tanah basah + can	( $w_2$ )	19,63	21,74	22,65	23,79
Berat tanah kering + can	( $w_3$ )	19,5	21,58	22,46	23,58
Berat air	( $w_4=w_2-w_3$ )	0,13	0,16	0,19	0,21
Berat tanah kering	( $w_5=w_3-w_1$ )	10,74	12,48	13,82	14,86
Kadar air asli ( $w_o$ )	( $w_4/w_5 \times 100\%$ )	1,21%	1,28%	1,37%	1,41%
<b>Kadar air asli rata-rata (<math>w_o</math>)</b>		<b>1,32%</b>			

Dari hasil pengujian ini dapat dilihat bahwa material kaolin yang berada dalam karung tersebut dapat dikatakan relatif kering. Dengan demikian kadar air asli rata-rata sebesar 1,32% tersebut dapat dijadikan acuan dasar dalam proses pembuatan sampel untuk benda uji konsolidasi.

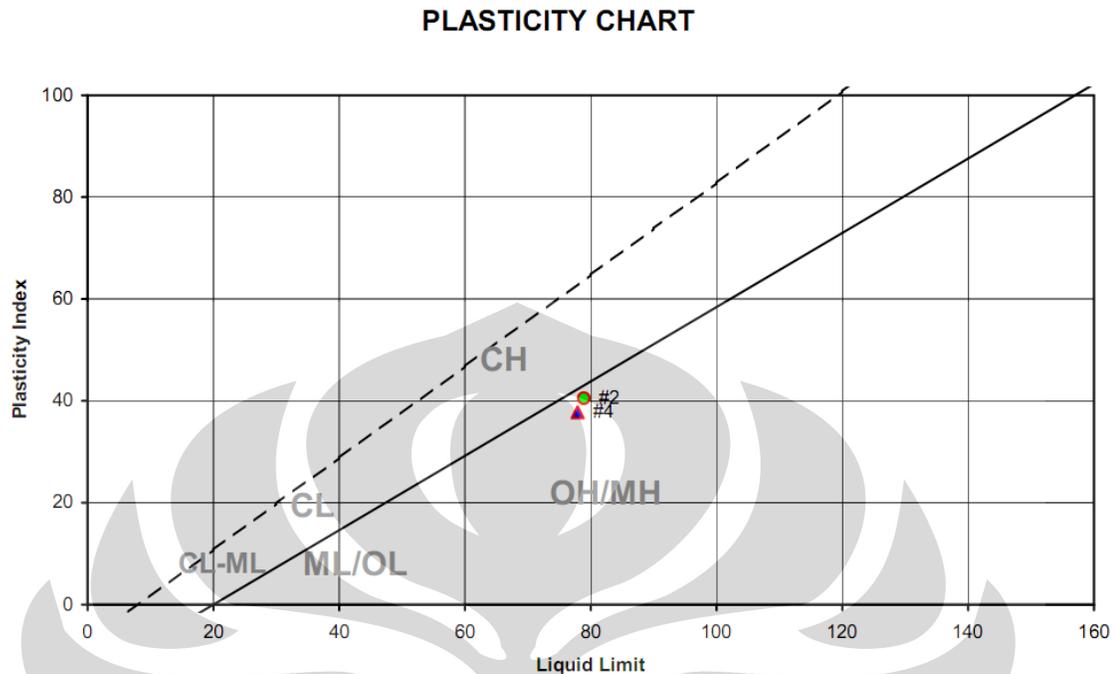
#### 4.2.2 Atterberg Limit

Pada proses pengujian ini, material kaolin yang digunakan untuk pembuatan sampel akan dilihat nilai dari *property Atterberg Limit* yang meliputi Batas Cair (*Liquid Limit / LL*), Batas Plastis (*Plastic Limit / PL*), dan Indeks Plastisitas (*PI*). Dari pengujian yang telah dilakukan, nilai-nilai *property Atterberg Limit* yang diperoleh adalah sebagai berikut :

Tabel 4.2 Ringkasan hasil pengujian *Atterberg Limit* pada kaolin.

	<i>LL</i>	<i>PL</i>	<i>PI</i>	Klasifikasi ( <i>Unified system</i> )
Tes no.1	76,80	-	-	-
Tes no.2	78,90	38,40	40,50	MH
Tes no.3	77,10	-	-	-
Tes no.4	77,90	40,17	37,73	MH
<b>Rata-rata</b>	<b>77,68</b>	<b>39,29</b>	<b>39,11</b>	<b>MH</b>

Adapun rentang nilai *Atterberg Limit* untuk lempung *kaolinite* yaitu *LL* antara 30 – 110 dan *PL* antara 25 – 40. Dari hasil pengujian ini dapat dilihat bahwa nilai *LL* dan *PL* yang diperoleh masih berada dalam rentang nilai tanah lempung kaolin, dan berdasarkan sistem klasifikasi *unified* tergolong jenis lanau elastis (MH). Untuk data selengkapnya dapat dilihat pada lampiran.



Gambar 4.1 Grafik *Plasticity Chart* hasil pengujian *Atterberg Limit* pada kaolin.

#### 4.2.3 *Specific Gravity (Gs)*

Dalam pengujian ini, didapatkan bahwa material kaolin yang akan digunakan untuk pembuatan sampel benda uji triaksial memiliki nilai *Specific Gravity (Gs)* rata-rata sebesar 2,60. Nilai *Gs* ini berada dalam rentang 2,60 – 2,63 yang merupakan kisaran nilai *Gs* untuk tanah jenis lempung *kaolinite*. Hasil perhitungan nilai *Gs* ini untuk lengkapnya dapat dilihat pada lampiran.

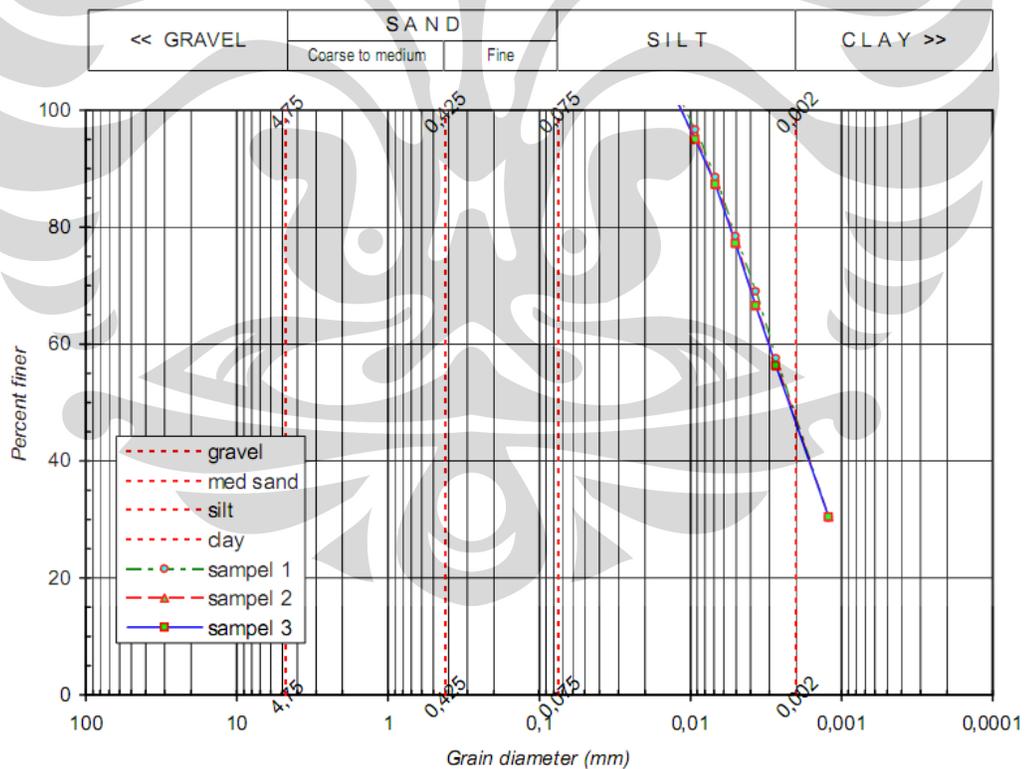
#### 4.2.4 Analisa Hidrometer

Material kaolin yang digunakan untuk membuat sampel benda uji triaksial ini memiliki butiran yang keseluruhannya lolos dari saringan no.200 (0,075 mm), sehingga untuk menganalisa komposisi ukuran butiran material halus ini digunakan analisa hidrometer. Berikut ini adalah ringkasan hasil pengujian hidrometer yang telah dilakukan.

Tabel 4.3 Ringkasan hasil pengujian hidrometer pada kaolin.

Komposisi	Tes no.1	Tes no.2	Tes no.3	Rata-Rata
Pasir ( <i>sand</i> )	0%	0%	0%	<b>0%</b>
Lanau ( <i>silt</i> )	53%	52%	53%	<b>52,7%</b>
Lempung ( <i>clay</i> )	47%	48%	47%	<b>47,3%</b>
Klasifikasi	<i>Silty clay</i>	<i>Silty clay</i>	<i>Silty clay</i>	<b><i>Silty clay</i></b>

Dari hasil analisa hidrometer ini dapat dilihat bahwa rata-rata kandungan dari material kaolin ini terdiri dari material ukuran butiran lanau (*silt*) sebesar 52,7% dan lempung (*clay*) sebesar 47,3%. Dengan demikian material kaolin ini tergolong tanah jenis lempung kelanauan (*silty clay*). Untuk data selengkapnya dari pengujian ini dapat dilihat pada lampiran.



Gambar 4.2 Grafik *grain size distribution* pada kaolin

### 4.3 Hasil dan Pembahasan Pengujian Konsolidasi tanpa Sand Drain

Pengujian konsolidasi satu dimensi ini dilakukan dengan dua benda uji, yaitu benda uji kiri dan kanan. Dari pengujian awal didapatkan data yang ditampilkan pada tabel 4.4

Tabel 4.4 Data awal sampel

Benda Uji	Tanpa Sand Drain	
	Kiri	Kanan
Diameter	15.15 cm	15.2 cm
Tinggi	9.4 cm	9.75 cm
Kadar Air	59.5940 %	66.5173 %
Angka Pori	1.5640	1.7706

Dari pengamatan data pada tabel 4.4, didapatkan bahwa kedua benda uji memiliki kadar air yang berbeda berbeda begitu juga dengan tinggi benda ujinya oleh karena itupun angka pori yang didapat juga berbeda.

#### 4.3.1 Analisis Hubungan Angka Pori dengan Tekanan

Hubungan antara angka pori dan tekanan bila digambarkan dalam grafik akan membentuk kurva yang akan bergerak turun seiring bertambahnya waktu pada pada saat loading. Kelengkungan itu terjadi sesuai pergerakan keluarnya air yang dapat menggambarkan derajat konsolidasi dari sampel.

Tabel 4.5 Nilai Perubahan Angka Pori

Beban kPa	Benda Uji Kiri			Benda Uji Kanan		
	$\Delta H$ cm	$\Delta e = \Delta H/H_s$	e	$\Delta H$ cm	$\Delta e = \Delta H/H_s$	e
0	0	0	1.5640	0	0	1.7706
50	0.167	0.0456	1.5184	0.212	0.0602	1.7104
100	0.121	0.0330	1.4854	0.243	0.0691	1.6413
200	0.321	0.0876	1.4109	0.213	0.0605	1.5808

Pada tabel 4.5 menunjukkan bahwa pada benda uji kiri dan pada tekanan 200 kPa, nilai angka pori berubah lebih besar dibanding pada tekanan 50 kPa dan 100

kPa. Sedangkan Pada benda uji kanan, pada tekanan 100 kPa justru merupakan perubahan nilai angka pori terbesar dibanding dengan tekanan 50 kPa dan 200 kPa.

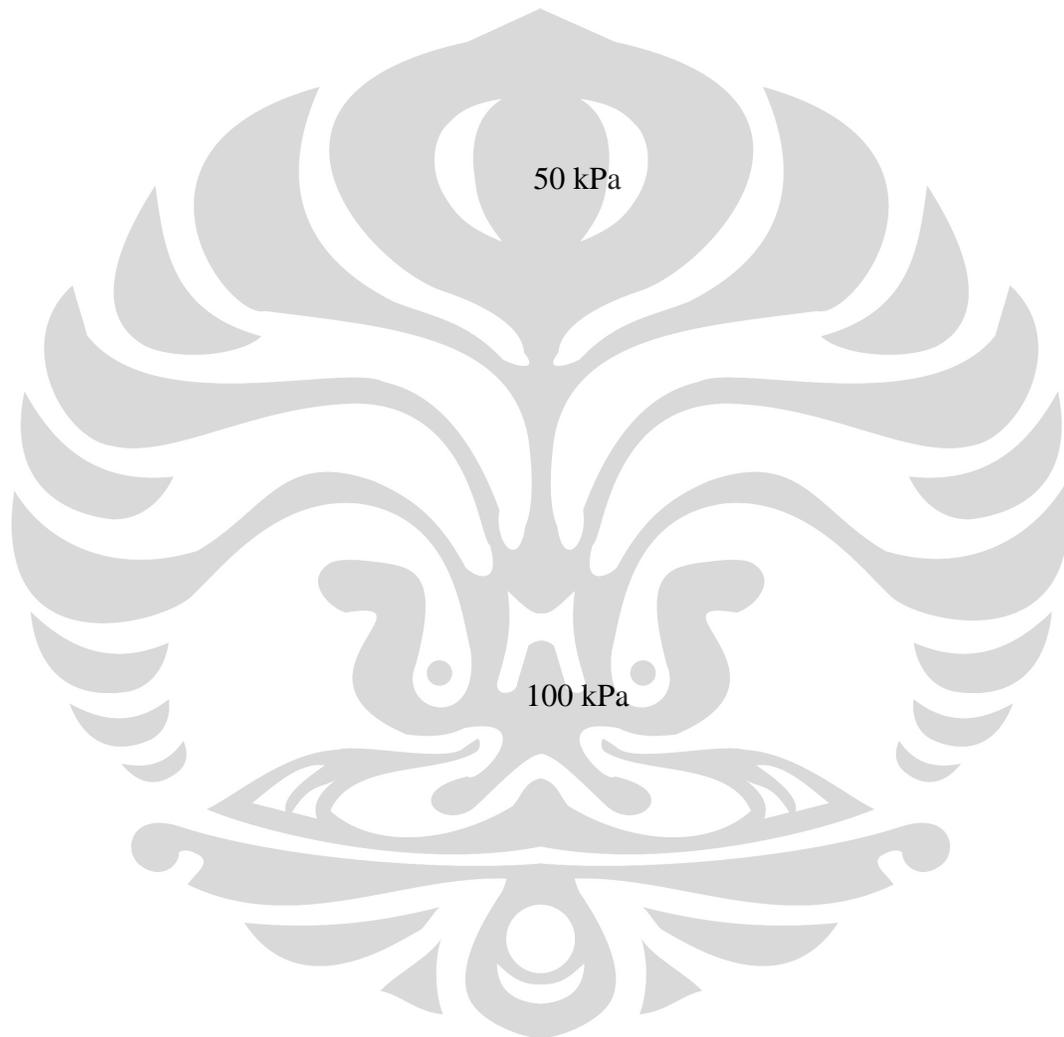
#### 4.3.2 Analisa Metode Logaritma dan Akar Waktu

Metode logaritma-waktu (Casagrande) dan akar-waktu (Taylor) digunakan untuk mendapatkan nilai  $t_{50}$  dan  $t_{90}$ , dimana nilai ini nantinya untuk menentukan nilai  $c_v$ . Pada gambar 4.3 dan 4.4 menunjukkan grafik angka pori - log waktu, dari grafik tersebut dapat ditentukan nilai  $t_{50}$  dan  $t_{90}$ . Menggunakan metode logaritma-waktu untuk menentukan nilai  $t_{50}$  dan metode akar-waktu untuk menentukan nilai  $t_{90}$ . Pada tabel 4.6 menunjukkan nilai  $t_{50}$  dan  $t_{90}$  yang didapatkan dari kedua metode untuk setiap tekanan yang diberikan.

Tabel 4.6 Nilai  $t_{50}$  dan  $t_{90}$

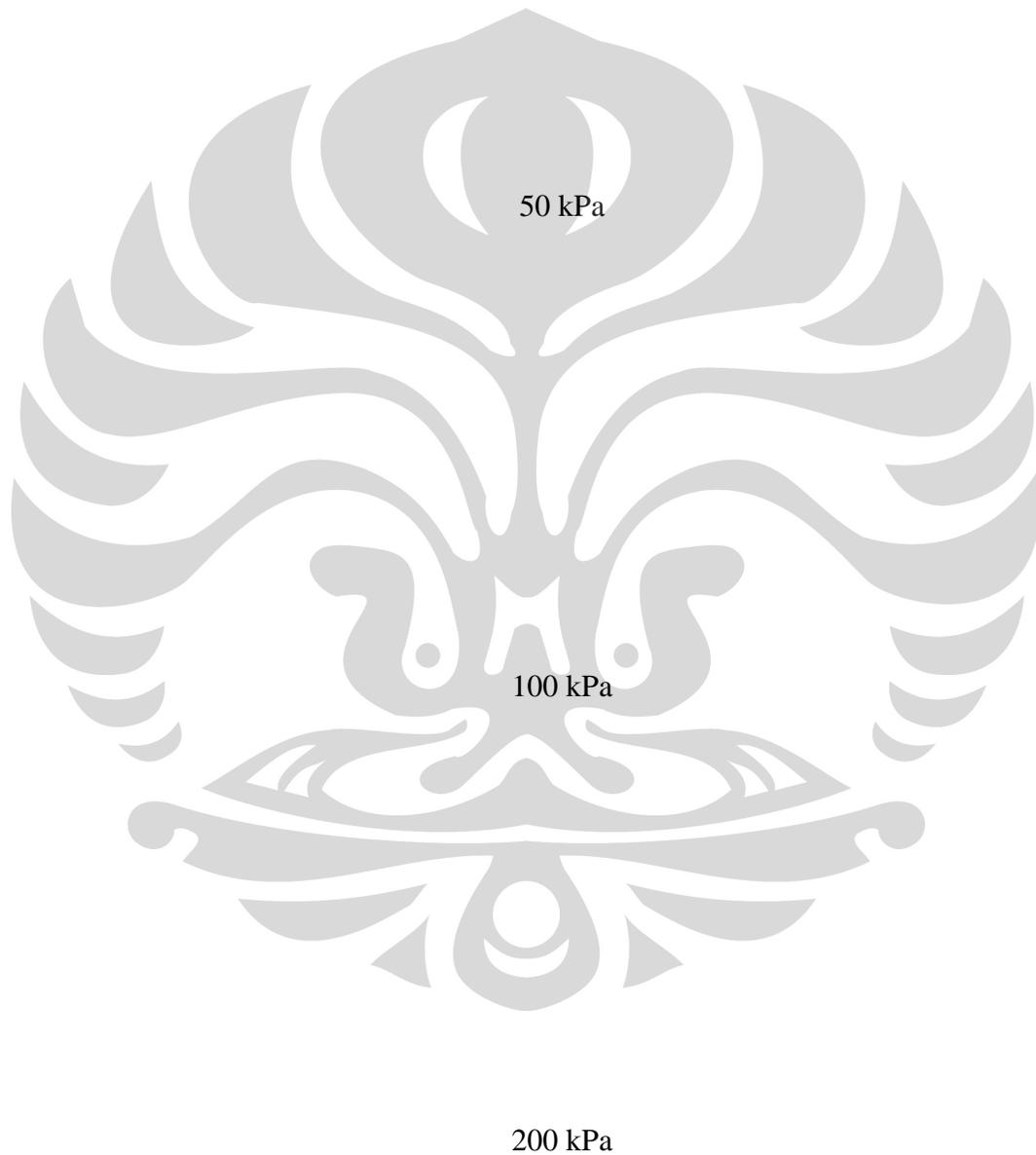
Beban	Kiri				Kanan			
	$\Delta H$	H	$t_{50}$	$t_{90}$	$\Delta H$	H	$t_{50}$	$t_{90}$
kPa	cm	cm	menit	menit	cm	cm	menit	menit
0	0	9.4000	0	0	0	9.7500	0	0
50	0.167	9.2330	8	5.2	0.214	9.5360	6.6	4.8
100	0.121	9.1120	5.2	4.4	0.243	9.2930	5.9	5.1
200	0.321	8.7910	6.5	4.3	0.213	9.0800	5.5	4

Dari table 4.6 terlihat bahwa nilai  $t_{50}$  dengan metode angka pori – log waktu (Casagrande) untuk kedua benda uji menghasilkan nilai lebih besar dibandingkan dengan nilai  $t_{90}$  dengan metode angka pori – akar waktu (Taylor) untuk setiap tekanan baik benda uji kiri maupun kanan.

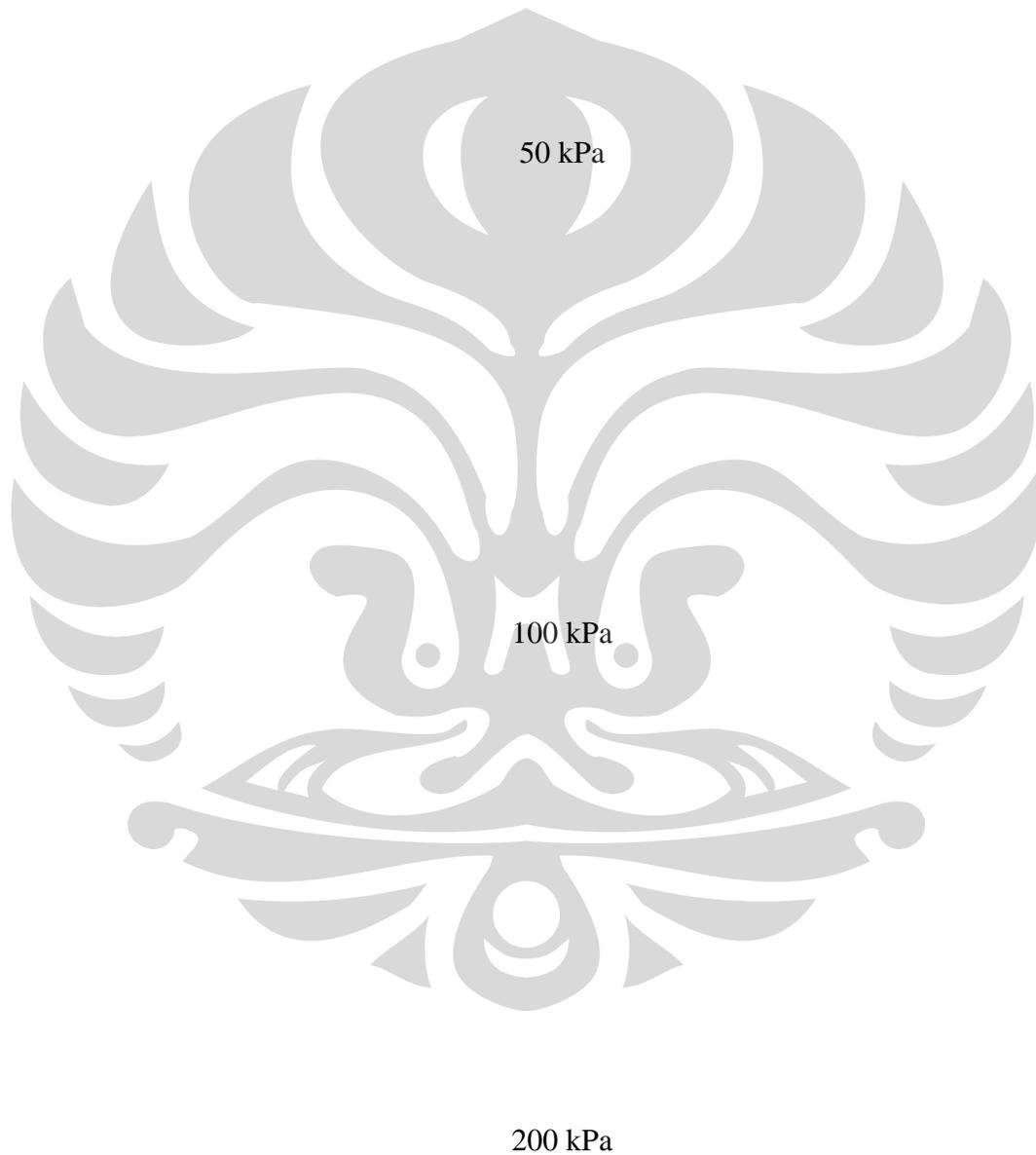


200 kPa

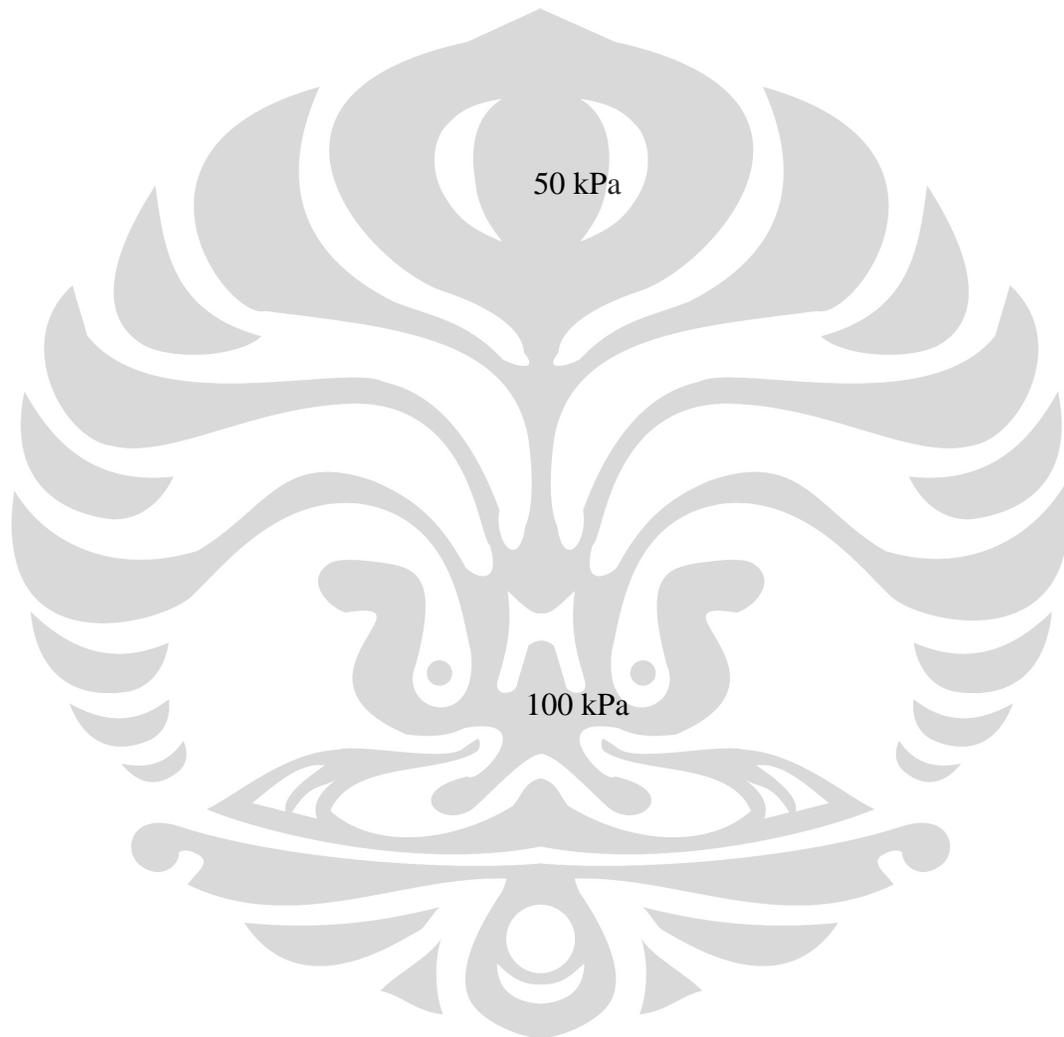
Gambar 4.3a Grafik nilai  $t_{50}$  metode angka pori – log waktu (Casagrande) untuk benda uji kiri



Gambar 4.3b Grafik nilai  $t_{50}$  metode angka pori – log waktu (Casagrande) untuk benda uji kanan



Gambar 4.4a Grafik nilai  $t_{90}$  metode angka pori – akar waktu (Taylor) untuk benda uji kiri



200 kPa

Gambar 4.4b Grafik nilai  $t_{90}$  metode angka pori – akar waktu (Taylor) untuk benda uji kanan

### 4.3.3 Analisis Koefisien Konsolidasi tanpa Sand Drain

Nilai  $t_{50}$  dan  $t_{90}$  yang di dapat dari grafik pada gambar 4.3 dan 4.4 digunakan untuk menentukan nilai  $c_v$ . Nilai  $c_v$  dipengaruhi juga oleh tebal contoh tanah rata-rata, dimana dalam pengujian ini dianggap aliran air pori merupakan aliran dua arah sehingga tebal contoh tanah dibagi 2.

Setelah memasukan nilai  $t_{50}$  dan  $t_{90}$  kedalam persamaan 2.18 dan 2.19 didapatkan nilai  $c_v$  untuk deformasi 50% dan 90%. Pada tabel 4.7 merupakan nilai  $c_v$  yang didapat untuk setiap tekanan baik benda uji kiri maupun kanan.

Tabel 4.7 Nilai  $c_v$

Beban kPa	Kiri				Kanan			
	$t_{50}$ menit	$c_v(t_{50})$ cm2/menit	$t_{90}$ menit	$c_v(t_{90})$ cm2/menit	$t_{50}$ menit	$c_v(t_{50})$ cm2/menit	$t_{90}$ menit	$c_v(t_{90})$ cm2/menit
0	0	0	0	0	0	0	0	0
50	8	0.5343	5.2	3.5387	6.6	0.6940	4.8	4.1078
100	5.2	0.7535	4.4	4.1279	5.9	0.7569	5.1	3.7694
200	6.5	0.6268	4.3	4.0787	5.5	0.7939	4	4.6990

Berdasarkan pengamatan pada tabel 4.7 diatas dapat disimpulkan bahwa nilai  $c_v$  untuk deformasi 90% lebih besar dibandingkan dengan nilai  $c_v$  untuk deformasi 50%. Dan untuk tekanan 50 kPa dan 200 kPa nilai  $c_v$  yang didapat lebih besar dari nilai  $c_v$  pada tekanan 100 kPa.

Semakin besar nilai  $c_v$ , maka semakin cepat pula proses konsolidasi akibat disipasi air dari sampel yang diuji. Pada kedua benda uji nilai  $c_v$  benda uji kanan lebih besar dibanding dengan nilai  $c_v$  yang diperoleh benda uji kiri, hal ini dapat disebabkan benda uji kanan dan kiri memiliki kadar air berbeda, kadar air benda uji kanan lebih besar dibandingkan benda uji kiri.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Muhmmad (2009) sebelumnya, nilai  $c_v$  yang di dapat dari pengujian konsolidasi menggunakan alat oedometer lebih kecil dari nilai  $c_v$  yang diperoleh menggunakan pengujian alat modifikasi rowe cell ini. Tabel 4.8 menunjukkan nilai yang diperoleh dengan alat oedometer dan modifikasi rowe cell.

Tabel 4.8 Perbandingan Nilai  $c_v$  Modifikasi Rowe Cell dengan Oedometer

Beban	Modifikasi Rowe Cell				Beban	Oedometer	
	Kiri		Kanan			Benda Uji 1	Benda Uji 2
	$c_v(t_{50})$	$c_v(t_{90})$	$c_v(t_{50})$	$c_v(t_{90})$		$c_v(t_{90})$	$c_v(t_{90})$
kPa	cm <sup>2</sup> /menit	cm <sup>2</sup> /menit	cm <sup>2</sup> /menit	cm <sup>2</sup> /menit	kPa	cm <sup>2</sup> /menit	cm <sup>2</sup> /menit
0	0	0	0	0	0	0	0
50	0.5343	3.5387	0.6940	4.1078	50.522	0.2365	0.1555
100	0.7535	4.1279	0.7569	3.7694	101.044	0.2089	0.1371
200	0.6268	4.0787	0.7939	3.7592			

Pada penelitian ini pengujian menggunakan contoh tanah berukuran besar (sel rowe) memberikan nilai  $c_v$  yang lebih besar. Hal ini diakibat karena kecilnya pengaruh viskositas struktur pada contoh tanah berukuran besar.

#### 4.4 Hasil dan Pembahasan Pengujian Konsolidasi Dengan Sand Drain

Pengujian konsolidasi dengan sand drain dilakukan pada dua benda uji, yaitu benda uji kiri dan kanan. Dari pengujian awal didapatkan data yang ditampilkan pada tabel 4.9.

Tabel 4.9 Perbandingan Data Awal Pengujian

Benda Uji	Sand Drain	
	Kiri	Kanan
Diameter	15.15 cm	15.2 cm
Tinggi	9.7 cm	10.4 cm
Kadar Air	57.6718 %	64.4122 %
Angka Pori	1.4855	1.9553

Berdasarkan pengamatan tabel 4.9 diatas, bahwa benda uji kiri dan kana memiliki kadar air yang berbeda begitu juga dengan tinggi benda ujinya oleh karena itupun angka pori yang didapat juga berbeda.

#### 4.4.1 Analisis Hubungan Angka Pori dengan Tekanan

Perubahan angka pori terhadap tekanan untuk pengujian konsolidasi dengan sand drain akan memberikan nilai angka pori yang lebih besar untuk setiap tekanan yang diberikan. Karena adanya sand drain dapat mempercepat proses konsolidasi sehingga air yang keluar akan lebih banyak.

Tabel 4.10 Nilai Perubahan Angka Pori

Beban kPa	Benda Uji Kiri			Benda Uji Kanan		
	$\Delta H$ cm	$\Delta e = \Delta H/H_s$	e	$\Delta H$ cm	$\Delta e = \Delta H/H_s$	e
0	0	0.0000	1.5711	0	0	1.7567
50	0.0910	0.0241	1.5469	0.5250	0.1392	1.6175
100	0.0740	0.0196	1.5273	0.1300	0.0345	1.5830
200	0.1420	0.0376	1.4897	0.3140	0.0832	1.4998

Berdasarkan tabel 4.10 diatas dapat dilihat perubahan terbesar untuk nilai angka pori pada saat diberi tekanan 200 kPa untuk kedua benda uji. Sedangkan penurunan terkecil untuk kedua benda uji terjadi pada tekanan 100 kPa. Perubahan angka pori yang besar diakibatkan pemasangan sand drain yang memang fungsinya untuk mempercepat proses konsolidasi.

#### 4.4.2 Analisa Metode Logaritma dan Akar Waktu

Metode logaritma-waktu (Casagrande) dan akar-waktu (Taylor) digunakan untuk mendapatkan nilai  $t_{50}$  dan  $t_{90}$ , dimana nilai ini nantinya untuk menentukan nilai  $c_v$ . Grafik kurva yang didapat pada gambar 4.5 dan 4.6 pada pengujian ini berupa grafik angka pori terhadap log waktu dan grafik angka pori terhadap akar waktu. Pada kedua metode ini akan didapatkan nilai yang akan di peroleh pada analisa ini adalah  $t_{50}$ ,  $t_{90}$ , yang berarti deformasi yang terjadi pada 50% dan 90% pada proses konsolidasi tersebut.

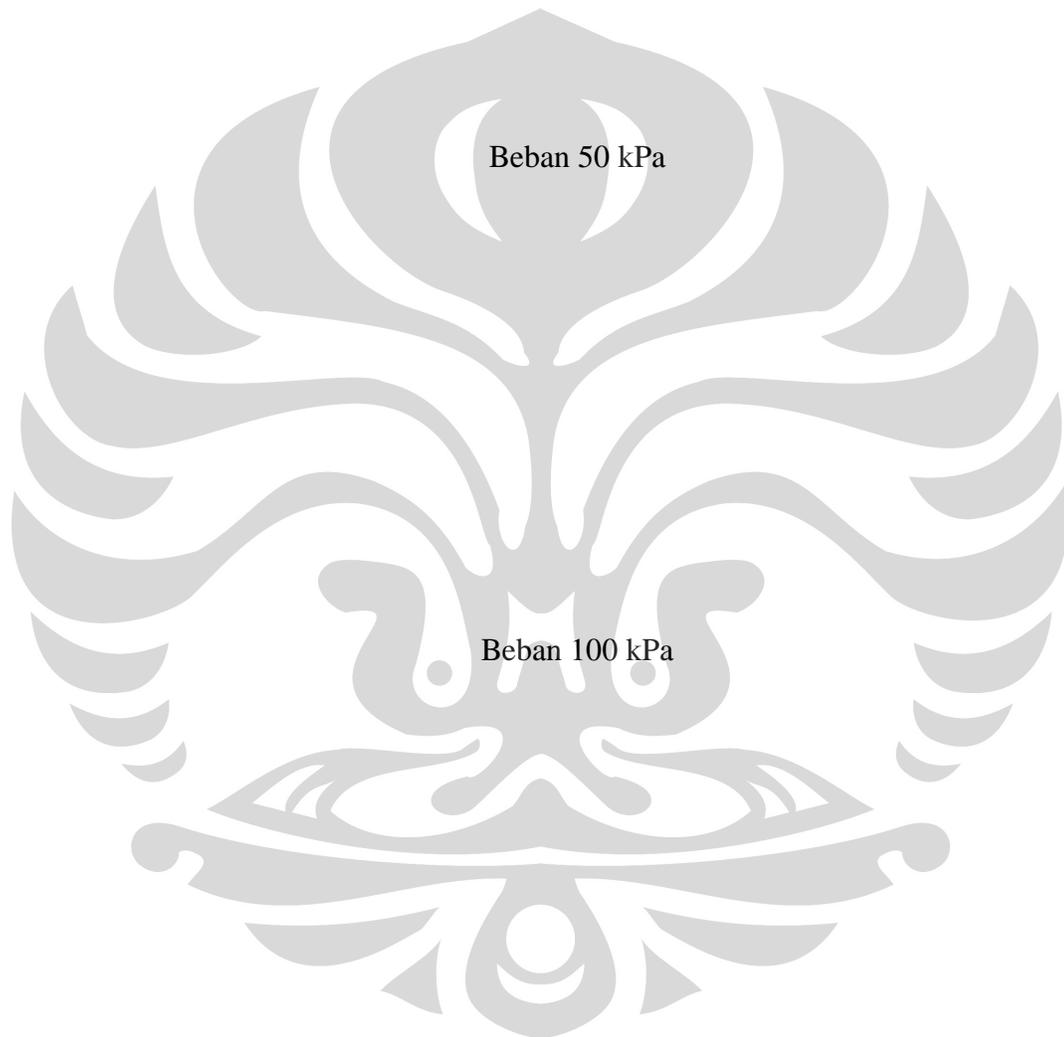
Dikarenakan adanya vertikal drain, aliran air pori dalam tanah lempung menjadi 2 arah yaitu arah vertikal dan horizontal. Untuk itu nilai  $t_{50}$  dan  $t_{90}$  yang didapat dari kedua metode ini adalah nilai gabungan untuk arah vertikal dan

horizontal. Pada tabel 4.11 menunjukkan nilai yang diperoleh dari kedua metode untuk setiap tekanan pada kedua benda uji

Tabel 4.11 Nilai  $t_{50}$  dan  $t_{90}$

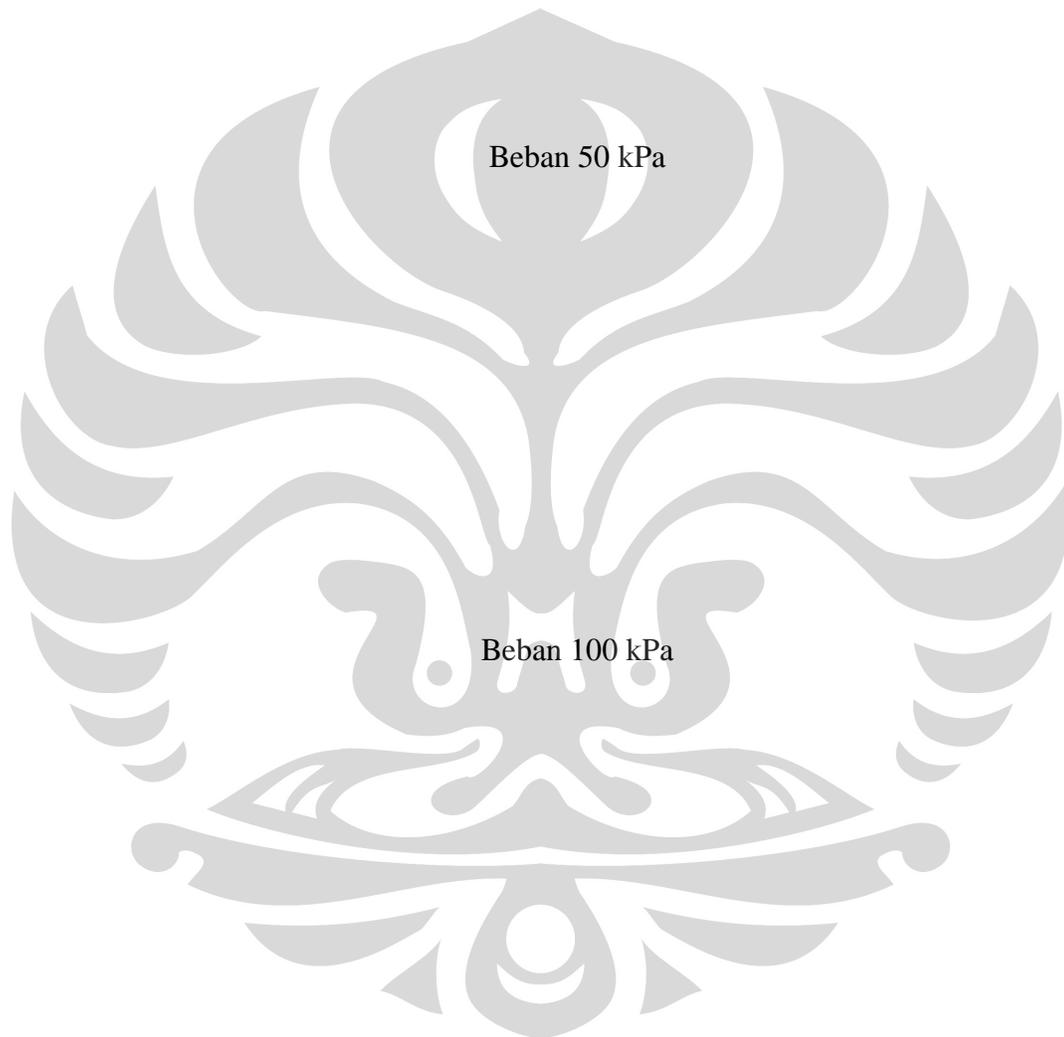
Beban kPa	Benda Uji Kiri				Benda Uji Kanan			
	$\Delta H$ cm	H cm	$t_{50}$ menit	$t_{90}$ menit	$\Delta H$ cm	H cm	$t_{50}$ menit	$t_{90}$ menit
0	0	9.7	0	0	0	10.4	0	0
50	0.091	9.6545	1.2	3.3	0.525	10.1375	4.8	4.3
100	0.074	9.6175	0.82	2.4	0.13	10.0725	19	7
200	0.142	9.5465	12	6	0.314	9.9155	20	8.5

Dari table 4.11 diatas terlihat ada perbedaan nilai t untuk kedua benda uji. Pada benda uji kiri nilai  $t_{50}$  dengan metode angka pori – log waktu (Casagrande) menghasilkan nilai lebih kecil dibandingkan nilai  $t_{90}$  dengan metode angka pori – akar waktu (Taylor). Sedangkan untuk benda uij kanan justru nilai  $t_{50}$  lebih besar dibandingkan dengan nilai  $t_{90}$ . Hal ini terjadi dapat dikarenakan pemasangan sand drain, kemungkinan cara pemadatan sand drain yang digunakan.

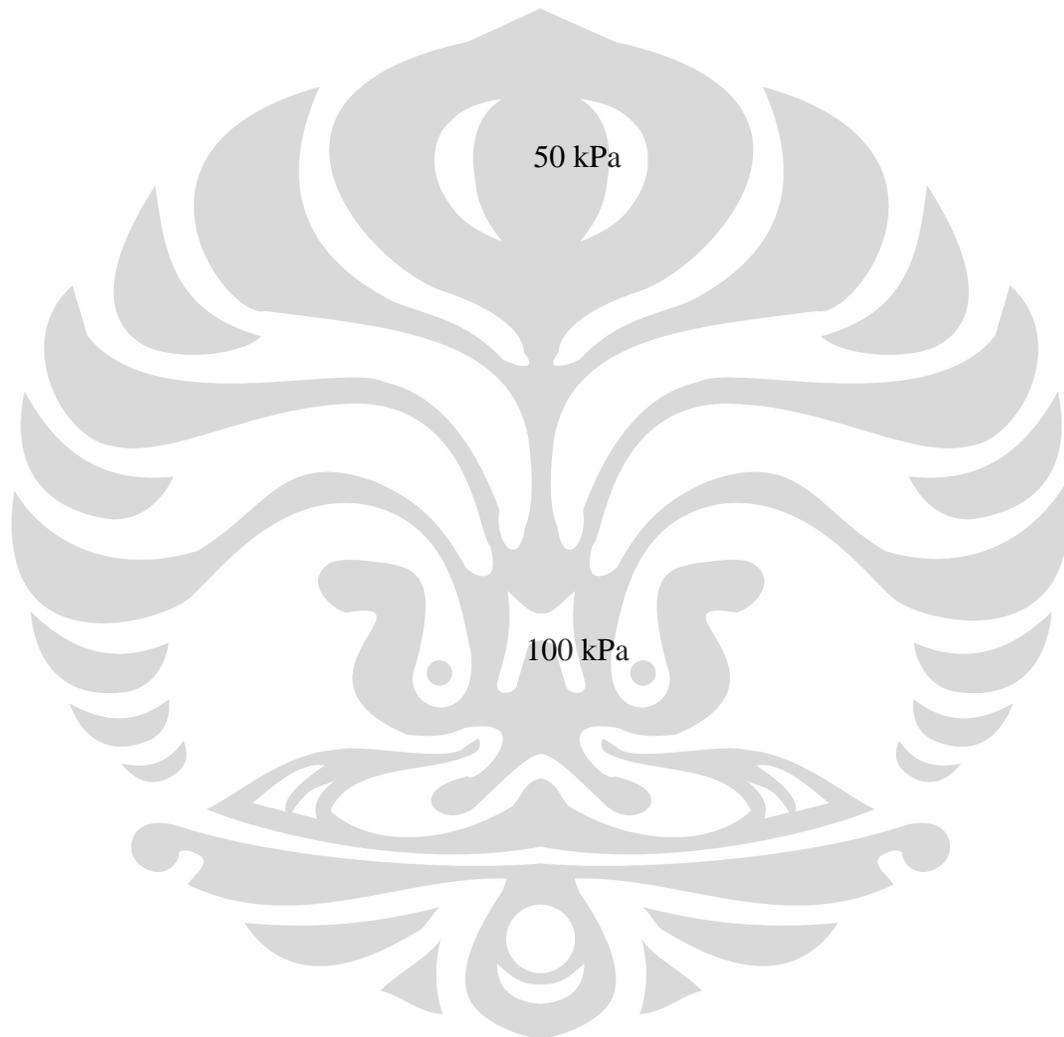


Beban 200 kPa

Gambar 4.5a Grafik nilai  $t_{50}$  metode angka pori – log waktu (Casagrande) untuk benda uji kiri

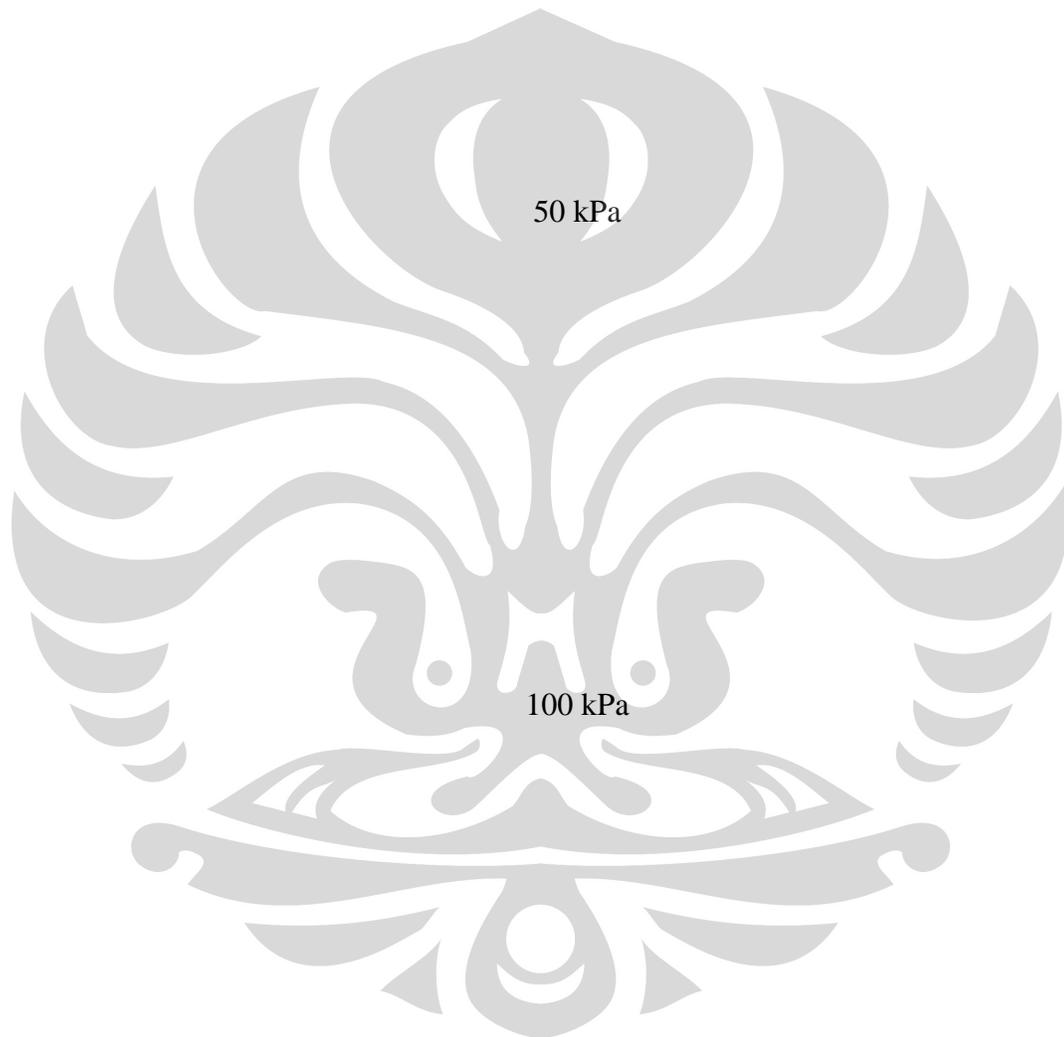


Gambar 4.5b Grafik nilai  $t_{50}$  metode angka pori – log waktu (Casagrande) untuk benda uji kanan



200 kPa

Gambar 4.6a Grafik nilai  $t_{90}$  metode angka pori – akar waktu (Taylor) untuk benda uji kiri



200 kPa

Gambar 4.6b Grafik nilai  $t_{90}$  metode angka pori – akar waktu (Taylor) untuk benda uji kanan

#### 4.4.3 Rasio Koefisien Konsolidasi Vertikal ( $c_v$ ) dan Radial ( $c_h$ )

Dengan adanya vertikal drain arah pengaliran air pori dalam tanah mengalir dalam arah vertikal dan horizontal. Maka dalam menentukan nilai  $c_v$  dan  $c_h$  pada pengujian ini mengacu pada persamaan derajat konsolidasi ( $U$ ) untuk konsolidasi sand drain dengan persamaan 2.24.

Pada penelitian ini, dilakukan uji dengan cara coba-coba dalam menentukan rasio perbandingan nilai koefisien konsolidasi antara  $c_v$  dan  $c_h$ . Karena pada umumnya akibat adanya  $c_h$  maka waktu konsolidasi semakin bertambah pendek. Umumnya harga  $c_h = 2 c_v - 10 c_v$ . Rasio yang digunakan pada penelitian ini adalah :  $c_h = c_v$ ;  $c_h = 10c_v$ ;  $c_h = 20c_v$ .

Untuk mendapatkan nilai  $c_v$  dan  $c_h$  dengan perbandingan tersebut, terlebih dahulu ditentukan nilai  $U_v$ ,  $T_v$  dan  $U_h$ ,  $T_h$ , berdasarkan persamaan 2.21 Dan 2.24 Nilai  $U_v$ ,  $T_v$  dan  $U_h$ ,  $T_h$  dilampirkan pada tabel 4.12 untuk setiap tekanan dan untuk deformasi 50% dan 90%.

Tabel 4.12a Nilai  $U_v$ ,  $T_v$  dan  $U_h$ ,  $T_h$  untuk  $U = 50\%$

	50 kPa				
	$U_v$	$T_v$	$U_h$	$T_h$	$U$
$c_h = c_v$	0.3500	0.0962	0.2253	0.0463	0.4964
$c_h = 10 c_v$	0.1600	0.0201	0.4133	0.0967	0.5072
$c_h = 20 c_v$	0.1200	0.0113	0.4510	0.1087	0.5169
	100 Kpa				
	$U_v$	$T_v$	$U_h$	$T_h$	$U$
$c_h = c_v$	0.3500	0.0962	0.2212	0.0453	0.4938
$c_h = 10 c_v$	0.1600	0.0201	0.4068	0.0947	0.5017
$c_h = 20 c_v$	0.1200	0.0113	0.4441	0.1064	0.5108
	200 kPa				
	$U_v$	$T_v$	$U_h$	$T_h$	$U$
$c_h = c_v$	0.3600	0.1020	0.2297	0.0473	0.5070
$c_h = 10 c_v$	0.1600	0.0201	0.4020	0.0932	0.4977
$c_h = 20 c_v$	0.1200	0.0113	0.4391	0.1048	0.5064

Tabel 4.12b Nilai  $U_v$ ,  $T_v$  dan  $U_h$ ,  $T_h$  untuk  $U = 90\%$

	50 kPa				
	$U_v$	$T_v$	$U_h$	$T_h$	$U$
$c_h = c_v$	0.7000	0.4030	0.6567	0.1938	0.8970
$c_h = 10 c_v$	0.3000	0.0707	0.8468	0.3400	0.8927
$c_h = 20 c_v$	0.2200	0.0380	0.8669	0.3655	0.8962
	100 Kpa				
	$U_v$	$T_v$	$U_h$	$T_h$	$U$
$c_h = c_v$	0.7100	0.4170	0.6616	0.1964	0.9019
$c_h = 10 c_v$	0.3100	0.0754	0.8590	0.3551	0.9027
$c_h = 20 c_v$	0.2200	0.0415	0.8804	0.3849	0.9079
	200 kPa				
	$U_v$	$T_v$	$U_h$	$T_h$	$U$
$c_h = c_v$	0.7100	0.4170	0.6559	0.1934	0.9002
$c_h = 10 c_v$	0.3100	0.0754	0.8547	0.3497	0.8997
$c_h = 20 c_v$	0.2300	0.0415	0.8804	0.3849	0.9079

#### 4.4.4 Analisa Koefisien Konsolidasi dengan Sand Drain

Pengujian menggunakan sand drain menyebabkan lintasan pengaliran dalam tanah lempung menjadi lebih pendek, hal ini disebabkan aliran terbagi menjadi dua arah, arah vertikal dan horizontal. Nilai  $c_v$  dan  $c_h$  didapatkan dengan memasukan nilai  $T_v$  dan  $T_h$  yang telah didapatkan ke dalam persamaan 2.21 Dan 2.24 Pada tabel 4.13 dan 4.14 menunjukan nilai  $c_v$  dan  $c_h$  untuk setiap perbandingan yang telah ditentukan.

Tabel 4.13a Perbandingan Nilai  $c_h/c_v$  untuk  $U = 50\%$

Beban kPa	Benda Uji Kiri					
	Ch = Cv		Ch = 10Cv		Ch = 20Cv	
	Cv	Ch	Cv	Ch	Cv	Ch
0	0	0	0	0	0	0
50	1.8857	1.8857	0.3940	3.9400	0.2215	4.4301
100	2.7024	2.7024	0.5646	5.6464	0.3174	6.3487
200	0.1928	0.1928	0.0380	0.3799	0.0214	0.4272

Tabel 4.13b Perbandingan Nilai  $c_h/c_v$  untuk  $U = 50\%$

Beban kPa	Benda Uji Kanan					
	Ch = Cv		Ch = 10Cv		Ch = 20Cv	
	Cv	Ch	Cv	Ch	Cv	Ch
0	0	0	0	0	0	0
50	0.5109	0.5109	0.0997	0.9971	0.0535	1.0703
100	0.1232	0.1232	0.0257	0.2574	0.0145	0.2894
200	0.1140	0.1140	0.0238	0.2381	0.0134	0.2677

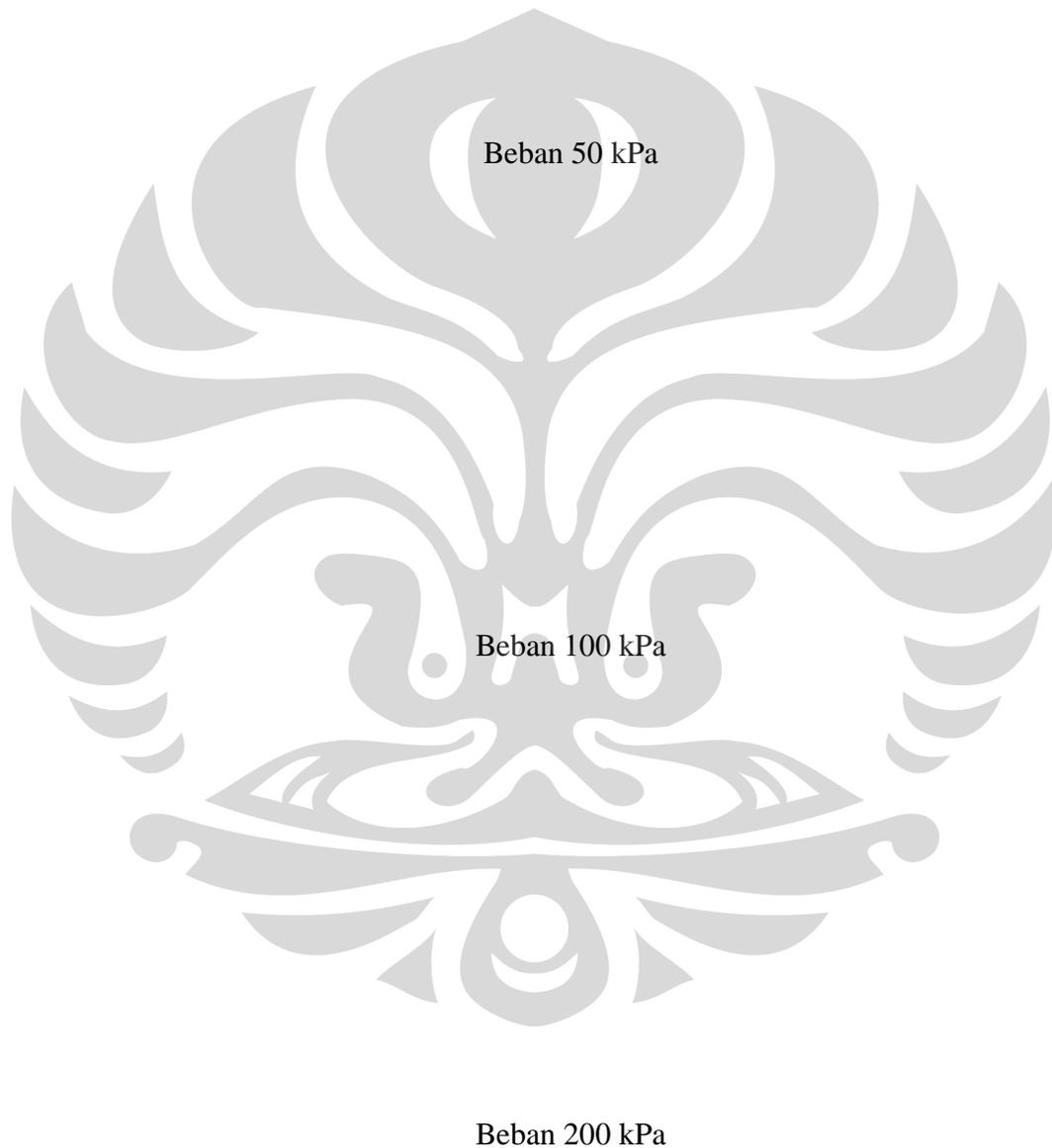
Tabel 4.14a Perbandingan Nilai  $c_h/c_v$  untuk  $U = 90\%$

Beban kPa	Benda Uji Kiri					
	Ch = Cv		Ch = 10Cv		Ch = 20Cv	
	Cv	Ch	Cv	Ch	Cv	Ch
0	0	0	0	0	0	0
50	2.8726	2.8726	0.5040	5.0395	0.2709	5.4173
100	4.0024	4.0024	0.7237	7.2369	0.3647	7.2945
200	1.5764	1.5764	0.2850	2.8503	0.1569	3.1376

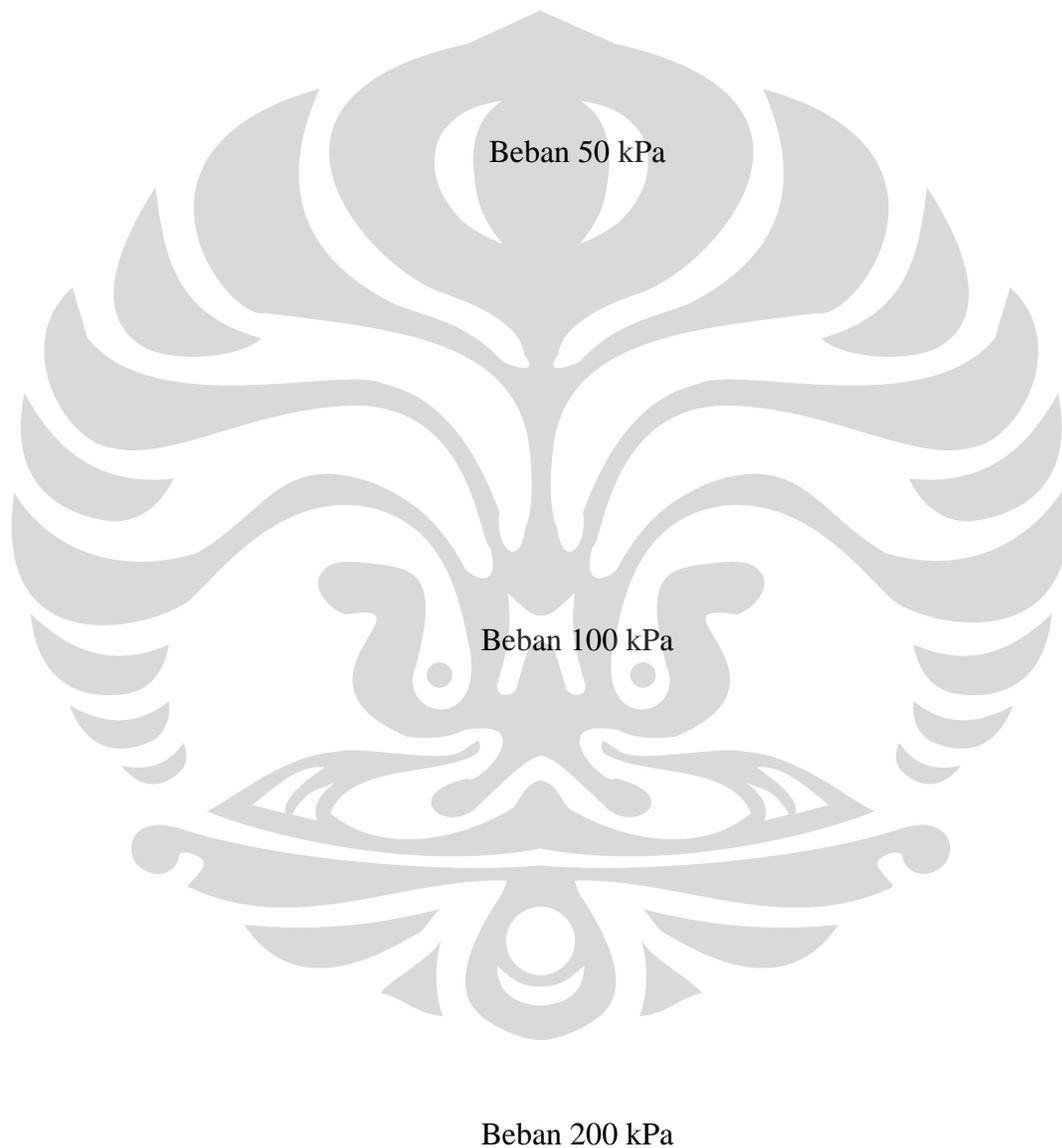
Tabel 4.14a Perbandingan Nilai  $c_h/c_v$  untuk  $U = 90\%$

Beban kPa	Benda Uji Kanan					
	Ch = Cv		Ch = 10Cv		Ch = 20Cv	
	Cv	Ch	Cv	Ch	Cv	Ch
0	0	0	0	0	0	0
50	2.3707	2.3707	0.4150	4.1503	0.2176	4.3516
100	1.4007	1.4007	0.2457	2.4573	0.1321	2.6415
200	1.1233	1.1233	0.1971	1.9707	0.1059	2.1184

Pada gambar 4.7 merupakan grafik hubungan angka pori – log waktu, dimana pada grafik terdapat pula grafik dari perbandingan koefisien konsolidasi  $c_v$  dan  $c_h$ . grafik perbandingan ini dibuat dari nilai  $U_v, T_v$  dan  $U_h, T_h$  yang telah didapatkan untuk deformasi 50%.



Gambar 4.7a Grafik untuk menentukan rasio perbandingan nilai  $c_v$  dan  $c_h$  benda uji kiri



Gambar 4.7b Grafik untuk menentukan rasio perbandingan nilai  $c_v$  dan  $c_h$  benda uji kanan

## 4.5 Hasil dan Pembahasan Pengujian Konsolidasi tanpa Sand Drain dan dengan Sand Drain

### 4.5.1 Analisa Koefisien Konsolidasi

Dalam membandingkan nilai koefisien konsolidasi tanpa sand drain dan dengan sand drain terlebih dahulu menentukan perbandingan nilai  $c_v$  dan  $c_h$  yang akan digunakan. Nilai  $c_v$  pada benda uji dengan sand drain dicari nilai yang mendekati nilai  $c_v$  pada benda uji tanpa sand drain. Untuk itu perbandingan nilai yang digunakan adalah  $c_h = c_v$ . Pada tabel 4.15 menunjukkan nilai  $c_v$  untuk benda uji tanpa dan dengan sand drain untuk kedua benda uji.

Tabel 4.15a Perbandingan Nilai  $c_v$  dan  $c_h$  dengan dan Tanpa Sand Drain benda uji kiri

Beban kPa	Tanpa Sand Drain				Dengan Sand Drain					
	$t_{50}$ menit	$c_v(t_{50})$ cm <sup>2</sup> /menit	$t_{90}$ menit	$c_v(t_{90})$ cm <sup>2</sup> /menit	$t_{50}$ menit	$c_v(t_{50})$ cm <sup>2</sup> /menit	$c_h(t_{50})$ cm <sup>2</sup> /menit	$t_{90}$ menit	$c_v(t_{90})$ cm <sup>2</sup> /menit	$c_h(t_{90})$ cm <sup>2</sup> /menit
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
50	8	0.5343	5.2	3.5387	1.2	1.8857	1.8857	3.3	2.8726	2.8726
100	5.2	0.7535	4.4	4.1279	0.82	2.7024	2.7024	2.4	4.0024	4.0024
200	6.5	0.6268	4.3	4.0787	12	0.1928	0.1928	6	1.5764	1.5764

Tabel 4.15a Perbandingan Nilai  $c_v$  dan  $c_h$  dengan dan Tanpa Sand Drain benda uji kanan

Beban kPa	Tanpa Sand Drain				Dengan Sand Drain					
	$t_{50}$ menit	$c_v(t_{50})$ cm <sup>2</sup> /menit	$t_{90}$ menit	$c_v(t_{90})$ cm <sup>2</sup> /menit	$t_{50}$ menit	$c_v(t_{50})$ cm <sup>2</sup> /menit	$c_h(t_{50})$ cm <sup>2</sup> /menit	$t_{90}$ menit	$c_v(t_{90})$ cm <sup>2</sup> /menit	$c_h(t_{90})$ cm <sup>2</sup> /menit
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
50	6.6	0.6940	4.8	4.1078	4.8	0.5109	0.5109	4.3	2.3707	2.3707
100	5.9	0.7569	5.1	3.7694	19	0.1232	0.1232	7	1.4007	1.4007
200	5.5	0.7939	4	4.6990	20	0.1140	0.1140	8.5	1.1233	1.1233

Berdasarkan pengamatan tabel diatas, pengujian benda uji kiri dan kanan tidak sama. Untuk itu penguji meninjau masing – masing benda uji.

1. Benda Uji Kiri :

- Nilai  $c_v(t_{50})$  pada benda uji tanpa sand drain lebih kecil dibandingkan dengan nilai  $c_v(t_{50})$  pada benda uji dengan sand drain
- Sedangkan untuk nilai  $c_v(t_{90})$  pada benda uji tanpa sand drain lebih besar dibandingkan dengan nilai  $c_v(t_{90})$  pada benda uji dengan sand drain.
- Fungsi sand drain pada konsolidasi adalah untuk mempercepat proses konsolidasi tersebut, jika dilihat pada nilai  $t_{50}$  dan  $t_{90}$  pada benda uji ini sand drain berfungsi dengan baik. Karena nilai  $t_{50}$  dan  $t_{90}$  pada benda uji tanpa sand drain lebih besar dibandingkan dengan benda uji dengan sand drain.

2. Benda Uji Kanan :

- Nilai  $c_v(t_{50})$  pada benda uji tanpa sand drain lebih besar dibandingkan dengan nilai  $c_v(t_{50})$  pada benda uji dengan sand drain
- Sedangkan untuk nilai  $c_v(t_{90})$  pada benda uji tanpa sand drain lebih besar dibandingkan dengan nilai  $c_v(t_{90})$  pada benda uji dengan sand drain.
- Fungsi sand drain pada konsolidasi adalah untuk mempercepat proses konsolidasi tersebut, jika dilihat pada nilai  $t_{50}$  dan  $t_{90}$  pada benda uji ini untuk tekanan 50 kPa sand drain berfungsi dengan baik karena nilai  $t_{50}$  dan  $t_{90}$  lebih kecil dibanding dengan tanpa sand drain. Sedangkan untuk tekanan 100 kPa dan 200 kPa sand drain tersebut tidak berfungsi, karena nilai  $t_{50}$  dan  $t_{90}$  lebih besar dibandingkan dengan benda uji tanpa sand drain.

Jika dilihat dari pembahasan diatas ada beberapa kemungkinan faktor yang menyebabkan perbedaan dari tujuan pengujian :

1. Perbedaan nilai pada kedua benda uji terjadi disebabkan alat pengujian tidak berfungsi sesuai standar karena kedua alat tersebut merupakan alat modifikasi. Dikarenakan alat pengujian merupakan alat modifikasi, maka terjadi adanya kebocoran – kebocoran kecil di sebuah joint penghubung antara alat Rowe Cell dengan tabung CBR.

2. Dilihat dari nilai yang  $U_v > U_h$  menunjukkan bahwa aliran vertikal lebih dominan dibandingkan dengan aliran horizontal yang disebabkan oleh efek geometri pada benda uji dengan perbandingan jarak antar sand drain dan tinggi benda uji berkisar 1 : 1.5. faktor ini yang dapat menyebabkan sand drain tidak dapat berfungsi efektif dalam mempercepat disipasi tekanan air pori berlebih.
3. Pemasangan sand drain menggunakan pipa dapat menyebabkan smear efek yang dapat memperlambat aliran horizontal menuju sand drain.



## BAB 5

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perbandingan penggunaan sand drain pada konsolidasi tanah lempung kaolin. Dikarenakan nilai benda uji kiri tidak sama dengan benda uji kanan, maka untuk:

- Benda uji kiri :

1. Berdasarkan analisis nilai  $c_v$ , perbandingan yang digunakan dalam menentukan nilai  $c_v$  dan  $c_h$  adalah  $c_h = c_v$
2. Waktu penurunan konsolidasi tanpa sand drain, untuk derajat konsolidasi 90% membutuhkan waktu lebih lama dari konsolidasi menggunakan sand drain.
3. Prosentasi waktu penurunan konsolidasi lebih cepat sekitar 70% s/d 90% pada konsolidasi dengan sand drain dibandingkan tanpa sand drain.
4. Penggunaan sand drain untuk mempercepat konsolidasi lebih efektif digunakan.

- Benda uji kanan :

1. Berdasarkan analisis nilai  $c_v$ , perbandingan yang digunakan dalam menentukan nilai  $c_v$  dan  $c_h$  adalah  $c_h = c_v$
2. Waktu penurunan konsolidasi tanpa sand drain lebih cepat dibandingkan dengan benda uji dengan sand drain.
3. Penggunaan sand drain tidak tercapai dalam mempercepat konsolidasi.

Perbedaan diatas dapat disebabkan oleh :

1. Perbedaan nilai pada kedua benda uji terjadi disebabkan alat pengujian tidak berfungsi sesuai standar karena kedua alat tersebut merupakan alat modifikasi. Dikarenakan alat pengujian merupakan alat modifikasi, maka terjadi adanya kebocoran – kebocoran kecil di sebuah joint penghubung antara alat Rowe Cell dengan tabung CBR.
2. Dilihat dari nilai yang  $U_v > U_h$  menunjukkan bahwa aliran vertikal lebih dominan dibandingkan dengan aliran horizontal yang disebabkan oleh efek geometri pada

benda uji dengan perbandingan jarak antar sand drain dan tinggi benda uji berkisar 1 : 1.5. faktor ini yang dapat menyebabkan sand drain tidak dapat berfungsi efektif dalam mempercepat disipasi tekanan air pori berlebih.

3. Pemasangan sand drain menggunakan pipa dapat menyebabkan smear efek yang dapat memperlambat aliran horizontal menuju sand drain.

Untuk itu dapat disimpulkan bahwa pengujian yang dilakukan pada skripsi ini kurang dapat mencapai tujuan awal yaitu penggunaan sand drain untuk mempercepat proses konsolidasi. Faktor terbesar yang menyebabkan penelitian ini tidak berhasil adalah human error dan alat benda uji yang tidak berfungsi dengan baik.

## **5.2 Saran**

Penggunaan alat modifikasi Rowe Cell membuat alat yang digunakan kurang efisien.

Maka saran penulis adalah sebagai berikut :

1. Sebelum pengujian seluruh alat pengujian diperiksa apakah alat tersebut berjalan sesuai dengan fungsinya.
2. Membuat lubang sand drain dengan cara lain seperti dengan melakukan pengeboran, untuk mengurangi efek smear efek.
3. Melakukan pengujian dengan pola sand drain segitiga dan segi enam, agar dapat dilihat pola mana yang lebih efektif.
4. Membuat variasi diameter dan jarak sand drain untuk menunjukkan seberapa besar pengaruh diameter sand drain terhadap kecepatan penurunan konsolidasi.
5. Melakukan pengujian dengan benda uji yang lebih tebal / tinggi. Agar pengaruh dari vertikal drain dapat terlihat dengan jelas.

## DAFTAR PUSTAKA

- Bowles, Joseph E., *Sifat-sifat Fisis dan Geoteknis Tanah (Mekanika Tanah)*,  
*terjemahan Johan K. Hainim* (Jakarta : Erlangga, 1989).
- Craig, R. F., *Mekanika Tanah, terjemahan Budi Susilo S.* (Jakarta : Erlangga,  
1991).
- Das, Braja M., *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknik) Jilid 1&2,*  
*terjemahan Noor Endah dan Indrasurya B.M.* (Jakarta : Erlangga, 1995).
- Hardiyatmo, Hary Christady., *Mekanika Tanah 1* (Jakarta : Gramedia, 1992).
- Head, K. H., *Manual of Soil Laboratory Testing, Vol : 3* (New York : John Wiley  
& Sons, 1986).
- L.H., Shirley, *Penuntun Praktis Geoteknik dan Mekanika Tanah (Penyelidikan  
Lapangan & Laboratorium* (Bandung : Nova, 1994).
- T. Stapelfeldt, *Preloading and vertical drains* (Helsinki University of Teknologi)

## LAMPIRAN 1

### 1. Analisa Data Atterberg Limit

**FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA  
LABORATORIUM MEKANIKATANAH**

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

**ATTERBERG LIMITS DETERMINATION**

Proyek = Kaoline filler super 325 mesh

No. Pekerjaan = ---

Lokasi proyek = Lab. Mektan FT-UI

No. Boring = --- No. Sampel = 1

Deskripsi tanah = kaoline, warna putih

Kedalaman = ---

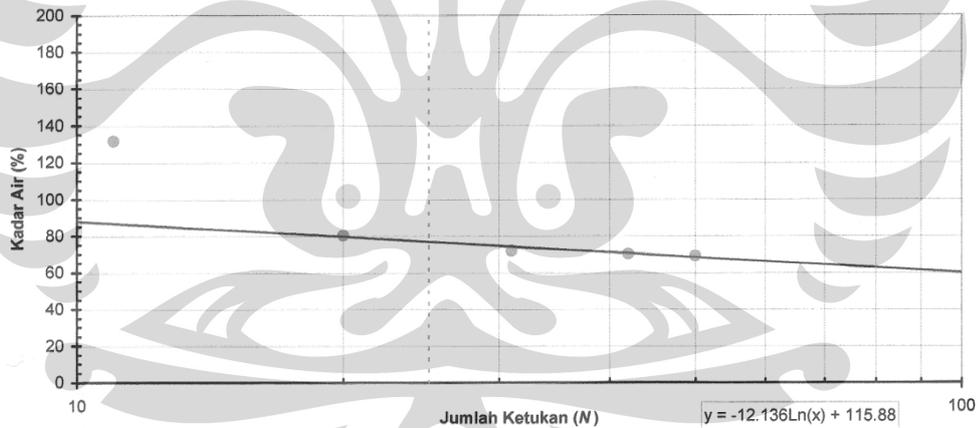
Diuji oleh = Tim skripsi kaoline

Tanggal Pengujian = 21 Juli 2008

Liquid Limit Determination

No. Can	Unit	1	2	3	4	5
Berat can	(gr)	6.34	8.13	7.87	7.94	8.15
Berat tanah basah + can	(gr)	26.13	27.74	27.22	25.11	36.57
Berat tanah kering + can	(gr)	14.87	18.99	19.11	18.00	24.94
Berat air	(gr)	11.26	8.75	8.11	7.11	11.63
Berat tanah kering	(gr)	8.53	10.86	11.24	10.06	16.79
Kadar air (w)	(%)	132.00	80.57	72.15	70.68	69.27
Jumlah ketukan (N)		11	20	31	42	50

Catatan : data no.1 pada LL diabaikan dalam grafik, karena menyimpang terlalu jauh.



<b>Flow Index (FI) =</b>	<b>-27.90 (%)</b>
<b>Liquid Limit (LL) =</b>	<b>76.80 (%)</b>
<b>Plastic Limit (PL) =</b>	<b>- (%)</b>
<b>Plasticity Index (PI) =</b>	<b>- (%)</b>

**FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA  
LABORATORIUM MEKANIKATANAH**

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

**ATTERBERG LIMITS DETERMINATION**

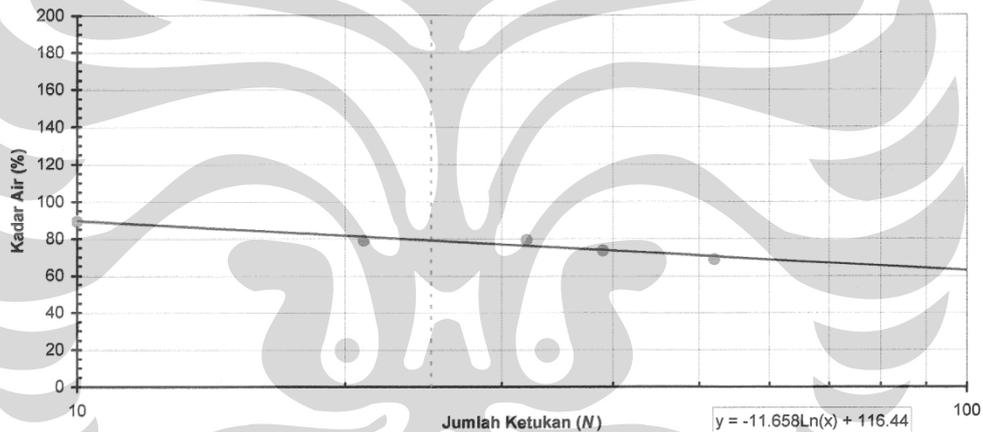
Proyek = Kaoline filler super 325 mesh  
Lokasi proyek = Lab. Mektan FT-UI  
Deskripsi tanah = kaoline, warna putih  
Diuji oleh = Tim skripsi kaoline

No. Pekerjaan = ---  
No. Boring = --- No. Sampel = 2  
Kedalaman = ---  
Tanggal Pengujian = 21 Juli 2008

Liquid Limit Determination

No. Can	Unit	1	2	3	4	5
Berat can	(gr)	8.80	8.63	9.33	8.73	9.11
Berat tanah basah + can	(gr)	19.93	16.53	20.13	22.02	20.81
Berat tanah kering + can	(gr)	14.67	13.04	15.35	16.38	16.04
Berat air	(gr)	5.26	3.49	4.78	5.64	4.77
Berat tanah kering	(gr)	5.87	4.41	6.02	7.65	6.93
Kadar air (w)	(%)	89.61	79.14	79.40	73.73	68.83
Jumlah ketukan (N)		10	21	32	39	52

Catatan :



<b>Flow Index (FI) =</b>	<b>-26.80 (%)</b>
<b>Liquid Limit (LL) =</b>	<b>78.90 (%)</b>
<b>Plastic Limit (PL) =</b>	<b>38.40 (%)</b>
<b>Plasticity Index (PI) =</b>	<b>40.50 (%)</b>

Plastic Limit Determination

No. Can	Unit	1	2
Berat can	(gr)	21.49	12.82
Berat tanah basah + can	(gr)	39.65	29.76
Berat tanah kering + can	(gr)	34.60	25.07
Berat air	(gr)	5.05	4.69
Berat tanah kering	(gr)	13.11	12.25
Kadar air (w)	(%)	38.52	38.29

Catatan :

**FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA  
LABORATORIUM MEKANIKATANAH**

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

**ATTEBERG LIMITS DETERMINATION**

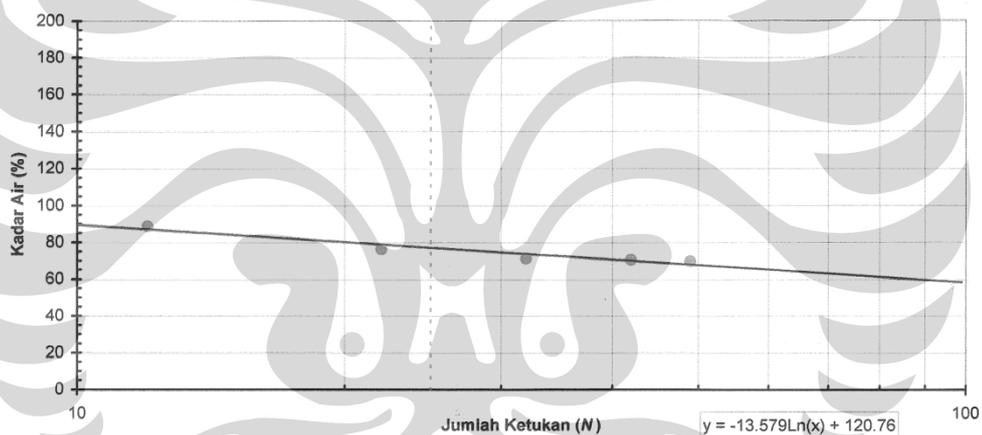
Proyek = Kaoline filler super 325 mesh  
Lokasi proyek = Lab. Mektan FT-UI  
Deskripsi tanah = kaoline, warna putih  
Diuji oleh = Tim skripsi kaoline

No. Pekerjaan = ---  
No. Boring = --- No. Sampel = 3  
Kedalaman = ---  
Tanggal Pengujian = 21 Juli 2008

**Liquid Limit Determination**

No. Can	Unit	1	2	3	4	5
Berat can	(gr)	9.14	8.00	8.00	8.47	8.04
Berat tanah basah + can	(gr)	26.43	18.39	19.73	23.53	26.55
Berat tanah kering + can	(gr)	18.29	13.89	14.84	17.29	18.94
Berat air	(gr)	8.14	4.50	4.89	6.24	7.61
Berat tanah kering	(gr)	9.15	5.89	6.84	8.82	10.90
Kadar air (w)	(%)	88.96	76.40	71.49	70.75	69.82
Jumlah ketukan (N)		12	22	32	42	49

Catatan :



<b>Flow Index (FI) =</b>	<b>-31.30 (%)</b>
<b>Liquid Limit (LL) =</b>	<b>77.10 (%)</b>
<b>Plastic Limit (PL) =</b>	<b>- (%)</b>
<b>Plasticity Index (PI) =</b>	<b>- (%)</b>

**FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA  
LABORATORIUM MEKANIKATANAH**

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

**ATTERBERG LIMITS DETERMINATION**

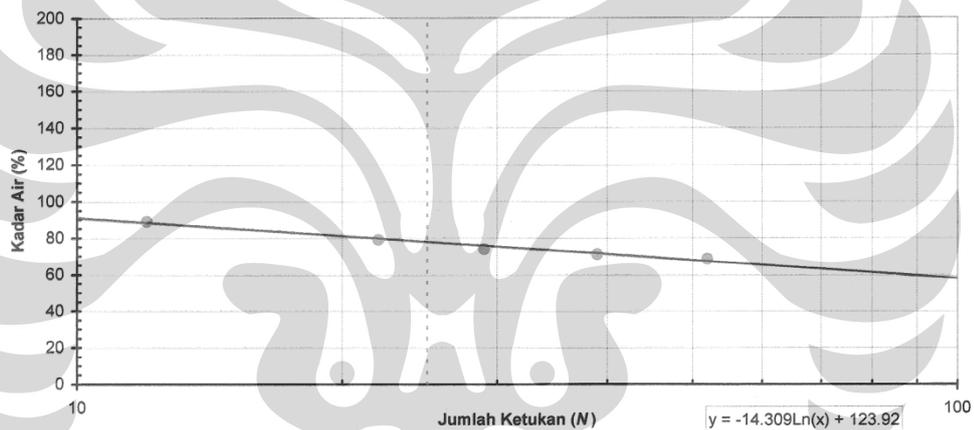
Proyek = Kaoline filler super 325 mesh  
Lokasi proyek = Lab. Mektan FT-UI  
Deskripsi tanah = kaoline, warna putih  
Diuji oleh = Tim skripsi kaoline

No. Pekerjaan = ---  
No. Boring = --- No. Sampel = 4  
Kedalaman = ---  
Tanggal Pengujian = 22 Juli 2008

Liquid Limit Determination

No. Can	Unit	1	2	3	4	5
Berat can	(gr)	9.11	8.72	8.48	8.76	9.31
Berat tanah basah + can	(gr)	17.97	19.56	23.79	23.53	23.73
Berat tanah kering + can	(gr)	13.79	14.77	17.27	17.38	17.86
Berat air	(gr)	4.18	4.79	6.52	6.15	5.87
Berat tanah kering	(gr)	4.68	6.05	8.79	8.62	8.55
Kadar air (w)	(%)	89.32	79.17	74.18	71.35	68.65
Jumlah ketukan (N)		12	22	29	39	52

Catatan :



<b>Flow Index (FI) =</b>	<b>-32.90 (%)</b>
<b>Liquid Limit (LL) =</b>	<b>77.90 (%)</b>
<b>Plastic Limit (PL) =</b>	<b>40.17 (%)</b>
<b>Plasticity Index (PI) =</b>	<b>37.73 (%)</b>

Plastic Limit Determination

No. Can	Unit	1	2
Berat can	(gr)	20.95	13.06
Berat tanah basah + can	(gr)	38.65	30.12
Berat tanah kering + can	(gr)	33.62	25.19
Berat air	(gr)	5.03	4.93
Berat tanah kering	(gr)	12.67	12.13
Kadar air (w)	(%)	39.70	40.64

Catatan :



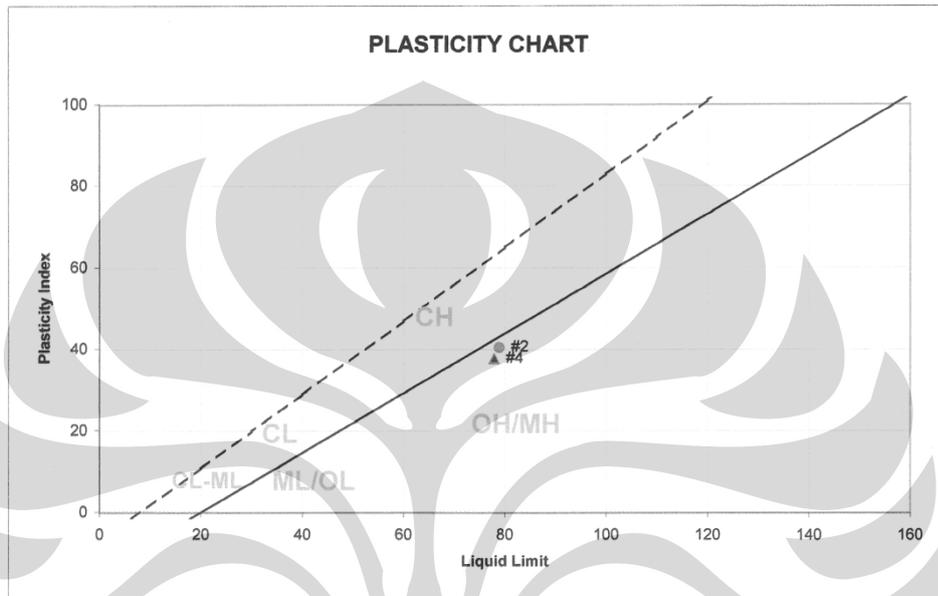
**ATTERBERG LIMIT**

PROYEK  
 Skripsi Kaoline

TANGGAL  
 21-22 Juli 2008

LOKASI  
 Lab. Mektan FT-UI

DIUJI OLEH  
 Tim Kaoline



No. Bor	Kedalaman (m)	Simbol	LL (%)	PL (%)	PI (%)	Unified Classification
		#1	76.80			-
		#2	78.90	38.40	40.50	OH/MH
		#3	77.10			-
		#4	77.90	40.17	37.73	OH/MH

## 2. Analisa Data Specivic Gravity

**FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA  
LABORATORIUM MEKANIKATANAH**

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

**SPECIFIC GRAVITY DARI TANAH SOLID (Gs)**

Proyek = Kaoline filler super 325 mesh

No. Pekerjaan = ---

Lokasi proyek = Lab. Mektan FT-UI

No. Boring = --- No. Sampel = ---

Deskripsi tanah = kaoline, warna putih

Kedalaman = ---

Diuji oleh = Tim skripsi kaoline

Tanggal Pengujian = 23 Juli 2008

NO. TES	Unit	1	2	3	4
Vol. piknometer pada 20°C	(mL)	500	500	500	500
Metode <i>air removal</i> <sup>1</sup>		dididihkan	dididihkan	dididihkan	dididihkan
Berat piknometer + air + tanah = $W_{bws}$	(gr)	718.29	718.15	727.44	726.16
Temperatur pada saat pengujian, °C		29	29	29	29
Berat piknometer + air <sup>2</sup> = $W_{bw}$	(gr)	656.65	656.43	665.75	664.40
No. <i>evaporate dish</i>		1	2	7	8
Berat <i>evaporate dish</i> + tanah kering	(gr)	402.29	407.95	418.23	394.76
Berat <i>evaporate dish</i>	(gr)	302.27	307.92	318.08	294.71
Berat tanah kering = $W_s$	(gr)	100.02	100.03	100.15	100.05
$W_w = W_s + W_{bw} - W_{bws}$	(gr)	38.38	38.31	38.46	38.29
Nilai $\alpha$ pada temperatur pengujian		0.99598	0.99598	0.99598	0.99598
$G_s = \alpha \cdot W_s / W_w$		2.596	2.601	2.594	2.602
<b>Gs Rata-rata</b>		<b>2.598</b>			

Keterangan :

<sup>1</sup> mengindikasikan pengeluaran udara dengan divakum atau dengan aspirator.

<sup>2</sup>  $W_{bw}$  adalah berat piknometer yang diisi air yang kuantitasnya sama dengan cairan pendispersi yang telah ditambahkan pada campuran air-tanah dan pada temperatur yang sama.

Catatan :

**Gs rata-rata dari tanah solid = 2.598**

### 3. Analisa Data Hydrometer

**FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA  
LABORATORIUM MEKANIKATANAH**

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

**GRAIN SIZE ANALYSIS - HIDROMETER METHOD**

Proyek = Kaoline filler super 325 mesh  
Lokasi proyek = Lab. Mektan FT-UI  
Deskripsi tanah = kaoline, warna putih  
Diuji oleh = Tim skripsi kaoline

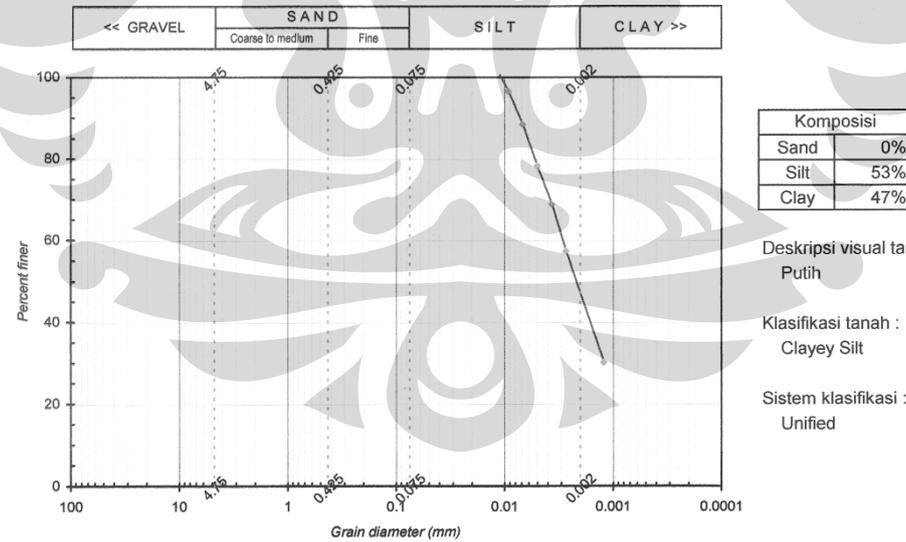
Tanggal Pengujian = 24 - 25 Juli 2008  
No. Pekerjaan = ---  
No. Boring = --- No. Sampel = ---  
Kedalaman = ---

Hidrometer analysis

No. hidrometer = 1 Gs tanah = 2.598 Koreksi nol = 4  
Agen pendispersi = Water glass a = 1.012 Koreksi meniskus = 1  
Berat pendispersi = 40 gr Berat tanah ( $W_s$ ) = 50 gr

Waktu pembacaan		Waktu berjalan (menit)	Temp. °C	$C_T$	Actual Hyd. reading $R_a$	Corr. Hyd. reading $R_c$	% Finer	Hyd. corr. only for meniskus $R$	L	L/t	K	D (mm)
Tanggal	Jam											
24-Jul-08	10:05	1	28.5	2.76	53	51.76	104.8	54	7.4	7.400	0.0126	0.034
	10:06	2	28.5	2.76	53	51.76	104.8	54	7.4	3.700	0.0126	0.024
	10:07	3	28.5	2.76	52.7	51.46	104.2	53.7	7.5	2.500	0.0126	0.020
	10:08	4	28.5	2.76	52.2	50.96	103.2	53.2	7.6	1.900	0.0126	0.017
	10:12	8	28.5	2.76	52	50.76	102.8	53	7.6	0.950	0.0126	0.012
	10:19	15	28.5	2.76	49	47.76	96.7	50	8.1	0.540	0.0126	0.009
	10:34	30	28.5	2.76	45	43.76	88.6	46	8.8	0.293	0.0126	0.007
	11:04	60	28.5	2.76	40	38.76	78.5	41	9.6	0.160	0.0126	0.005
	12:04	120	29	3.08	35	34.08	69.0	36	10.4	0.087	0.0125	0.004
	14:04	240	29.5	3.42	29	28.42	57.5	30	11.4	0.048	0.0125	0.003
	18:04	480										
	2:04	960										
25-Jul-08	10:04	1440	28	2.48	16.5	14.98	30.3	17.5	13.4	0.009	0.0126	0.001

Catatan :  $R_c = R_a - (\text{koreksi nol}) + C_T$  % finer =  $R_c \cdot (a) / W_s$   $D = K \cdot \sqrt{(L/t)}$



**GRAIN SIZE ANALYSIS - HIDROMETER METHOD**

Proyek = Kaoline filler super 325 mesh  
 Lokasi proyek = Lab. Mektan FT-UI  
 Deskripsi tanah = kaoline, warna putih  
 Diuji oleh = Tim skripsi kaoline

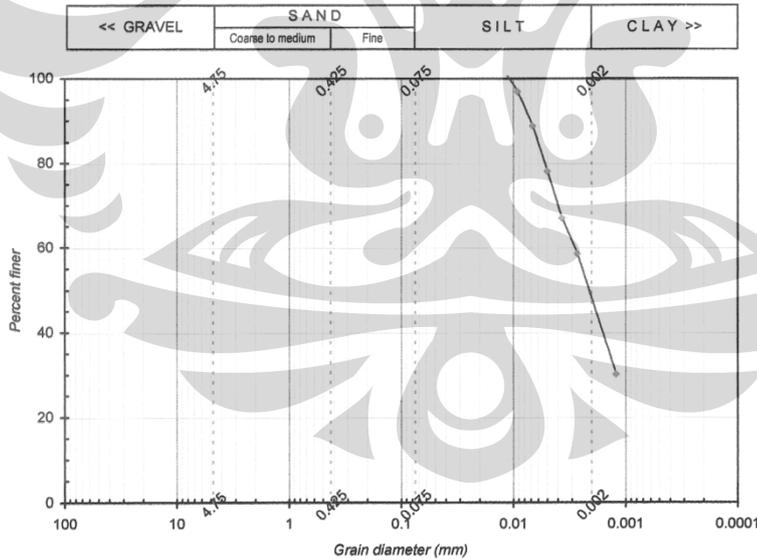
Tanggal Pengujian = 24 - 25 Juli 2008  
 No. Pekerjaan = ---  
 No. Boring = --- No. Sampel = ---  
 Kedalaman = ---

Hidrometer analysis

No. hidrometer = 1 Gs tanah = 2.598 Koreksi nol = 4  
 Agen pendispersi = Water glass a = 1.012 Koreksi meniskus = 1  
 Berat pendispersi = 40 gr Berat tanah (W<sub>s</sub>) = 50 gr

Waktu pembacaan		Waktu berjalan (menit)	Temp. °C	C <sub>T</sub>	Actual Hyd. reading R <sub>a</sub>	Corr. Hyd. reading R <sub>c</sub>	% Finer	Hyd. corr. only for meniskus R	L	L/t	K	D (mm)
Tanggal	Jam											
24-Jul-08	10:20	1	28.5	2.76	54	52.76	106.8	55	7.3	7.300	0.0126	0.034
	10:21	2	28.5	2.76	53.3	52.06	105.4	54.3	7.4	3.700	0.0126	0.024
	10:22	3	28.5	2.76	52.9	51.66	104.6	53.9	7.5	2.500	0.0126	0.020
	10:23	4	28.5	2.76	52.5	51.26	103.8	53.5	7.5	1.875	0.0126	0.017
	10:27	8	28.5	2.76	51.7	50.46	102.2	52.7	7.7	0.963	0.0126	0.012
	10:34	15	28.8	2.95	49	47.95	97.1	50	8.1	0.540	0.0125	0.009
	10:49	30	28.8	2.95	45	43.95	89.0	46	8.8	0.293	0.0125	0.007
	11:19	60	28.8	2.95	39.7	38.65	78.2	40.7	9.6	0.160	0.0125	0.005
	12:19	120	29	3.08	34.1	33.18	67.2	35.1	10.5	0.088	0.0125	0.004
	14:19	240	30	3.80	29.2	29.00	58.7	30.2	11.3	0.047	0.0124	0.003
	18:19	480										
	2:19	960										
25-Jul-08	10:19	1440	28	2.48	16.5	14.98	30.3	17.5	13.4	0.009	0.0126	0.001

Catatan :  $R_c = R_a - (\text{koreksi nol}) + C_T$       % finer =  $R_c \cdot (a) / W_s$        $D = K \cdot \sqrt{(L/t)}$



**GRAIN SIZE ANALYSIS - HIDROMETER METHOD**

Proyek = Kaoline filler super 325 mesh  
 Lokasi proyek = Lab. Mektan FT-UI  
 Deskripsi tanah = kaoline, warna putih  
 Diuji oleh = Tim skripsi kaoline

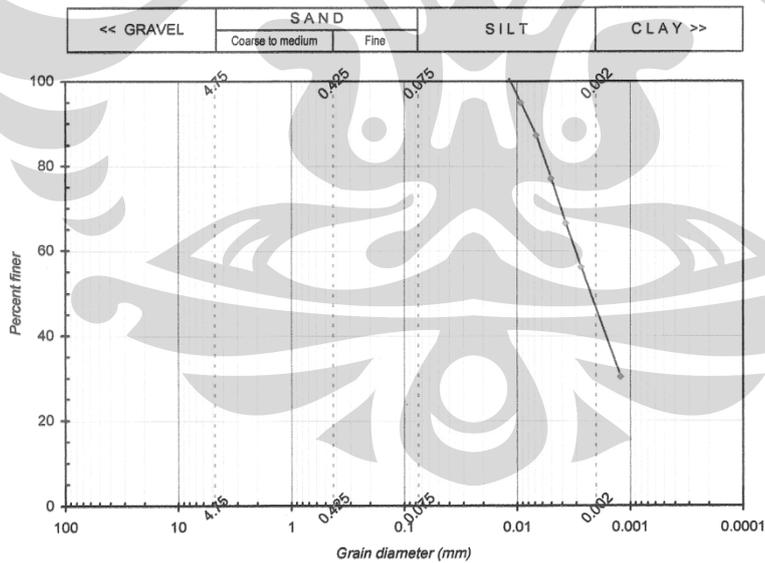
Tanggal Pengujian = 24 - 25 Juli 2008  
 No. Pekerjaan = ---  
 No. Boring = --- No. Sampel = ---  
 Kedalaman = ---

Hidrometer analysis

No. hidrometer = 1 Gs tanah = 2.598 Koreksi nol = 4  
 Agen pendispersi = Water glass a = 1.012 Koreksi meniskus = 1  
 Berat pendispersi = 40 gr Berat tanah (W<sub>s</sub>) = 50 gr

Waktu pembacaan		Waktu berjalan (menit)	Temp. °C	C <sub>T</sub>	Actual Hyd. reading R <sub>a</sub>	Corr. Hyd. reading R <sub>c</sub>	% Finer	Hyd. corr. only for meniskus R	L	L/t	K	D (mm)
Tanggal	Jam											
24-Jul-08	10:45	1	28.8	2.95	54	52.95	107.2	55	7.3	7.300	0.0125	0.034
	10:46	2	28.8	2.95	53	51.95	105.2	54	7.4	3.700	0.0125	0.024
	10:47	3	28.8	2.95	52.8	51.75	104.8	53.8	7.5	2.500	0.0125	0.020
	10:48	4	28.8	2.95	52	50.95	103.2	53	7.6	1.900	0.0125	0.017
	10:52	8	28.8	2.95	51.2	50.15	101.5	52.2	7.7	0.963	0.0125	0.012
	10:59	15	28.8	2.95	48	46.95	95.1	49	8.3	0.553	0.0125	0.009
	11:14	30	28.8	2.95	44.2	43.15	87.4	45.2	8.9	0.297	0.0125	0.007
	11:44	60	28.8	2.95	39.2	38.15	77.2	40.2	9.7	0.162	0.0125	0.005
	12:44	120	29	3.08	33.8	32.88	66.6	34.8	10.6	0.088	0.0125	0.004
	14:44	240	30	3.80	28	27.80	56.3	29	11.5	0.048	0.0124	0.003
	18:44	480										
	2:44	960										
25-Jul-08	10:44	1440	28.1	2.53	16.5	15.03	30.4	17.5	13.4	0.009	0.0126	0.001

Catatan :  $R_c = R_a - (\text{koreksi nol}) + C_T$       % finer =  $R_a \cdot (a) / W_s$        $D = K \cdot \sqrt{(L/t)}$



LAMPIRAN 2

<b>Uji Konsolidasi</b>					
Jenis Benda Uji :				Kiri	
Tipe Drainase :				tanpa drainasi pasir	
<b>Dimensi Contoh Tanah :</b>					
Diameter :				15.15	cm
Tinggi :				9.4	cm
Luas :				180.2665	cm <sup>2</sup>
<b>Pengujian Pra - Loading :</b>					
Tinggi Awal :				10.7	cm
Berat :				2945	gr
Kadar Air :					
can	basah+can	kering+can	basah	kering	% kadar air
14.3	148.44	81.54	134.14	67.24	99.4943
8.58	59.47	34.23	50.89	25.65	98.4016
<b>Pengujian Konsolidasi :</b>					
Tinggi Awal, $H_t$				9.4	cm
Berat Jenis, $G_s$				2.598	
Kadar Air Awal, $W_i$				59.5940	%
Berat Mold + Contoh Tanah				7666	gr
Berat Mold				4900	gr
Berat Tanah Basah, $W_t$				2766	gr
Berat Tanah Kering oven, $W_s$				1717	gr
Tinggi Solid, $H_s$				3.6662	cm
Tinggi Void Awal, $H_v$				5.7338	cm
Derajat saturasi awal, $S_i$				1.0149	
Angka Pori Awal, $e_0$				1.5640	
<b>Data Akhir Pengujian :</b>					
Tinggi Akhir :				8.9	cm
Berat :				2680	gr
Kadar air :					
can	basah+can	kering+can	basah	kering	% kadar air
180	1565	1060	1385	880	57.3864
181	1484	1018	1303	837	55.6750
			2688	1717	56.5307

H awal      9.4      cm  
H<sub>s</sub>         3.6662    cm  
e<sub>0</sub>         1.5640

**50 Kpa**

Waktu		Bacaan Dial (10 <sup>-2</sup> mm)	Bacaan Dial (cm)	Penurunan (cm)	Beda Tinggi ΔH (cm)	Δe	Void Ratio e <sub>i</sub>	Regangan %	t50 menit	t90 menit
Menit	Öwaktu									
0	0.00	0	0.0000	9.4000	0.0000	0.0000	1.5640	0		
0.1	0.32	7	0.0070	9.3930	0.0070	0.0019	1.5621	4.1916		
0.25	0.50	11	0.0110	9.3890	0.0040	0.0011	1.5610	6.5868		
0.5	0.71	16	0.0160	9.3840	0.0050	0.0014	1.5596	9.5808		
1	1.00	24	0.0240	9.3760	0.0080	0.0022	1.5574	14.3713		
2	1.41	34	0.0340	9.3660	0.0100	0.0027	1.5547	20.3593		
4	2.00	48	0.0480	9.3520	0.0140	0.0038	1.5509	28.7425		
8	2.83	74	0.0740	9.3260	0.0260	0.0071	1.5438	44.3114		
15	3.87	100	0.1000	9.3000	0.0260	0.0071	1.5367	59.8802	8	5.2
30	5.48	123	0.1230	9.2770	0.0230	0.0063	1.5304	73.6527		
60	7.75	140	0.1400	9.2600	0.0170	0.0046	1.5258	83.8323		
120	10.95	152	0.1520	9.2480	0.0120	0.0033	1.5225	91.0180		
240	15.49	159	0.1590	9.2410	0.0070	0.0019	1.5206	95.2096		
360	18.97	162	0.1620	9.2380	0.0030	0.0008	1.5198	97.0060		
480	21.91	164	0.1640	9.2360	0.0020	0.0005	1.5192	98.2036		
1393	37.32	166	0.1660	9.2340	0.0020	0.0005	1.5187	99.4012		
1475	38.41	167	0.1670	9.2330	0.0010	0.0003	1.5184	100.0000		

H awal      9.233    cm  
H<sub>s</sub>         3.6662    cm  
e<sub>0</sub>         1.5184

**100 kPa**

Waktu		Bacaan Dial (10 <sup>-2</sup> mm)	Bacaan Dial (cm)	Penurunan (cm)	Beda Tinggi ΔH (cm)	Δe	Void Ratio e <sub>i</sub>	Regangan %	t50 menit	t90 menit
Menit	√waktu									
0	0.00	0	0.0000	9.2330	0.0000	0.0000	1.5184	0		
0.1	0.32	10	0.0100	9.2230	0.0100	0.0027	1.5157	8.2645		
0.25	0.50	13	0.0130	9.2200	0.0030	0.0008	1.5149	10.7438		
0.5	0.71	17	0.0170	9.2160	0.0040	0.0011	1.5138	14.0496		
1	1.00	21	0.0210	9.2120	0.0040	0.0011	1.5127	17.3554		
2	1.41	27	0.0270	9.2060	0.0060	0.0016	1.5110	22.3140		
4	2.00	37	0.0370	9.1960	0.0100	0.0027	1.5083	30.5785		
8	2.83	55	0.0550	9.1780	0.0180	0.0049	1.5034	45.4545		
15	3.87	73	0.0730	9.1600	0.0180	0.0049	1.4985	60.3306	5.6	4.4
30	5.48	83	0.0830	9.1500	0.0100	0.0027	1.4958	68.5950		
60	7.75	89	0.0890	9.1440	0.0060	0.0016	1.4941	73.5537		
120	10.95	93	0.0930	9.1400	0.0040	0.0011	1.4930	76.8595		
246	15.68	97	0.0970	9.1360	0.0040	0.0011	1.4920	80.1653		
306	17.49	99	0.0990	9.1340	0.0020	0.0005	1.4914	81.8182		
360	18.97	100	0.1000	9.1330	0.0010	0.0003	1.4911	82.6446		
390	19.75	101	0.1010	9.1320	0.0010	0.0003	1.4909	83.4711		
4200	64.81	121	0.1210	9.1120	0.0200	0.0055	1.4854	100.0000		

H awal        9.132 cm  
H<sub>s</sub>            3.6662 cm  
e<sub>0</sub>            1.4909

**200 kPa**

Waktu		Bacaan Dial (10 <sup>-2</sup> mm)	Bacaan Dial (cm)	Penurunan (cm)	Beda Tinggi ΔH (cm)	Δe	Void Ratio e <sub>i</sub>	Regangan %	t50 menit	t90 menit
Menit	√waktu									
0	0.00	20	0.0200	9.1320	0.0000	0.0000	1.4909	0		
0.1	0.32	23	0.0230	9.1090	0.0030	0.0008	1.4900	0.9346		
0.25	0.50	32	0.0320	9.1000	0.0090	0.0025	1.4876	3.7383		
0.5	0.71	42	0.0420	9.0900	0.0100	0.0027	1.4849	6.8536		
1	1.00	53	0.0530	9.0790	0.0110	0.0030	1.4819	10.2804		
2	1.41	69	0.0690	9.0630	0.0160	0.0044	1.4775	15.2648		
4	2.00	98	0.0980	9.0340	0.0290	0.0079	1.4696	24.2991		
8	2.83	154	0.1540	8.9780	0.0560	0.0153	1.4543	41.7445		
15	3.87	208	0.2080	8.9240	0.0540	0.0147	1.4396	58.5670		
30	5.48	252	0.2520	8.8800	0.0440	0.0120	1.4276	72.2741	6.5	4.3
60	7.75	275	0.2750	8.8570	0.0230	0.0063	1.4213	79.4393		
120	10.95	289	0.2890	8.8430	0.0140	0.0038	1.4175	83.8006		
180	13.42	297	0.2970	8.8350	0.0080	0.0022	1.4153	86.2928		
240	15.49	302	0.3020	8.8300	0.0050	0.0014	1.4139	87.8505		
300	17.32	307	0.3070	8.8250	0.0050	0.0014	1.4126	89.4081		
372	19.29	311	0.3110	8.8210	0.0040	0.0011	1.4115	90.6542		
420	20.49	313	0.3130	8.8190	0.0020	0.0005	1.4109	91.2773		
1293	35.96	339	0.3390	8.7930	0.0260	0.0071	1.4039	99.3769		
1440	37.95	341	0.3410	8.7910	0.0020	0.0005	1.4033	100.0000		

<b>Uji Konsolidasi</b>					
Jenis Benda Uji Tipe Drainase			Kanan tanpa drainasi pasir		
<b>Dimensi Contoh Tanah :</b>					
Diameter			15.2	cm	
Tinggi			9.75	cm	
Luas			181.45839	cm <sup>2</sup>	
<b>Pengujian Pra - Loading :</b>					
Tinggi Awal :			9.75	cm	
Berat :			2819	gr	
Kadar air :					
can	basah+can	kering+can	basah	kering	% kadar air
9.27	118.7	63.84	109.43	54.57	100.5314
8.64	56.7	32.67	48.06	24.03	100.0000
<b>Pengujian Konsolidasi :</b>					
Tinggi Awal, $H_t$			9.75	cm	
Berat Jenis, $G_s$			2.598		
Kadar Air Awal, $W_i$			66.5173	%	
Berat Mold + Contoh Tanah			7365	gr	
Berat Mold			4546	gr	
Berat Tanah Basah, $W_t$			2819	gr	
Berat Tanah Kering oven, $W_s$			1659	gr	
Tinggi Solid, $H_s$			3.5191	cm	
Tinggi Void Awal, $H_v$			6.2309	cm	
Derajat saturasi awal, $S_i$			1.0260		
Angka Pori Awal, $e_0$			1.7706		
<b>Data Akhir Pengujian :</b>					
Tinggi Akhir :			9.3	cm	
Berat :			2662	gr	
Kadar Air :					
can	basah+can	kering+can	basah	kering	% kadar air
197	2635	1723	2438	1526	59.7641
14	227	147	213	133	60.1504
			2651	1659	59.9572

H awal            9.75 cm  
 H<sub>s</sub>                3.5191 cm  
 e<sub>0</sub>                1.7706

**50 kPa**

Waktu		Bacaan Dial (10 <sup>-2</sup> mm)	Bacaan Dial (cm)	Penurunan (cm)	Beda Tinggi ΔH (cm)	Δe	Void Ratio e <sub>i</sub>	Regangan %	t50 menit	t90 menit
Menit	Öwaktu									
0	0.00	27	0.0270	9.7500	0.0000	0.0000	1.7706	0		
0.1	0.32	30	0.0300	9.7200	0.0030	0.0009	1.7698	1.4151		
0.25	0.50	36	0.0360	9.7140	0.0060	0.0017	1.7680	4.2453		
0.5	0.71	43	0.0430	9.7070	0.0070	0.0020	1.7661	7.5472		
1	1.00	53	0.0530	9.6970	0.0100	0.0028	1.7632	12.2642		
2	1.41	67	0.0670	9.6830	0.0140	0.0040	1.7592	18.8679		
4	2.00	88	0.0880	9.6620	0.0210	0.0060	1.7533	28.7736		
8	2.83	125	0.1250	9.6250	0.0370	0.0105	1.7428	46.2264		
15	3.87	156	0.1560	9.5940	0.0310	0.0088	1.7339	60.8491	6.6	4.8
30	5.48	183	0.1830	9.5670	0.0270	0.0077	1.7263	73.5849		
60	7.75	207	0.2070	9.5430	0.0240	0.0068	1.7195	84.9057		
120	10.95	219	0.2190	9.5310	0.0120	0.0034	1.7160	90.5660		
244	13.42	225	0.2250	9.5250	0.0060	0.0017	1.7143	93.3962		
300	15.62	228	0.2280	9.5220	0.0030	0.0009	1.7135	94.8113		
360	18.97	232	0.2320	9.5180	0.0040	0.0011	1.7124	96.6981		
480	35.75	239	0.2390	9.5110	0.0070	0.0020	1.7104	100.0000		
4202	36.80	239	0.2390	9.5110	0.0000	0.0000	1.7104	100.0000		

H awal        9.511 cm  
H<sub>s</sub>            3.5191 cm  
e<sub>0</sub>            1.7104

**100 kPa**

Waktu		Bacaan Dial (10 <sup>-2</sup> mm)	Bacaan Dial (cm)	Penurunan (cm)	Beda Tinggi ΔH (cm)	Δe	Void Ratio e <sub>i</sub>	Regangan %	t50 menit	t90 menit
Menit	√waktu									
0	0.00	8	0.0080	9.5110	0.0000	0.0000	1.7104	0	5.9	5.1
0.1	0.32	13	0.0130	9.4980	0.0050	0.0014	1.7089	2.0576		
0.25	0.50	19	0.0190	9.4920	0.0060	0.0017	1.7072	4.5267		
0.5	0.71	25	0.0250	9.4860	0.0060	0.0017	1.7055	6.9959		
1	1.00	37	0.0370	9.4740	0.0120	0.0034	1.7021	11.9342		
2	1.41	51	0.0510	9.4600	0.0140	0.0040	1.6981	17.6955		
4	2.00	69	0.0690	9.4420	0.0180	0.0051	1.6930	25.1029		
8	2.83	98	0.0980	9.4130	0.0290	0.0082	1.6848	37.0370		
15	3.87	129	0.1290	9.3820	0.0310	0.0088	1.6760	49.7942		
30	5.48	154	0.1540	9.3570	0.0250	0.0071	1.6689	60.0823		
60	7.75	168	0.1680	9.3430	0.0140	0.0040	1.6649	65.8436		
120	10.95	175	0.1750	9.3360	0.0070	0.0020	1.6629	68.7243		
244	15.62	181	0.1810	9.3300	0.0060	0.0017	1.6612	71.1934		
300	17.32	185	0.1850	9.3260	0.0040	0.0011	1.6601	72.8395		
360	18.97	188	0.1880	9.3230	0.0030	0.0009	1.6592	74.0741		
4202	64.82	251	0.2510	9.2600	0.0630	0.0179	1.6413	100.0000		

H awal        9.26 cm  
H<sub>s</sub>            3.5191 cm  
e<sub>0</sub>            1.6413

**200 kPa**

Waktu		Bacaan Dial (10 <sup>-2</sup> mm)	Bacaan Dial (cm)	Penurunan (cm)	Beda Tinggi ΔH (cm)	Δe	Void Ratio e <sub>i</sub>	Regangan %	t50 menit	t90 menit
Menit	√waktu									
0	0.00	0	0.0000	9.2600	0.0000	0.0000	1.6413	0		
0.1	0.32	7	0.0070	9.2530	0.0070	0.0020	1.6393	3.2864		
0.25	0.50	12	0.0120	9.2480	0.0050	0.0014	1.6379	5.6338		
0.5	0.71	16	0.0160	9.2440	0.0040	0.0011	1.6368	7.5117		
1	1.00	23	0.0230	9.2370	0.0070	0.0020	1.6348	10.7981		
2	1.41	40	0.0400	9.2200	0.0170	0.0048	1.6299	18.7793		
4	2.00	72	0.0720	9.1880	0.0320	0.0091	1.6208	33.8028		
8	2.83	128	0.1280	9.1320	0.0560	0.0159	1.6049	60.0939		
15	3.87	160	0.1600	9.1000	0.0320	0.0091	1.5958	75.1174	5.5	4
30	5.48	188	0.1880	9.0720	0.0280	0.0080	1.5879	88.2629		
60	7.75	200	0.2000	9.0600	0.0120	0.0034	1.5845	93.8967		
120	10.95	206	0.2060	9.0540	0.0060	0.0017	1.5828	96.7136		
180	13.42	208	0.2080	9.0520	0.0020	0.0006	1.5822	97.6526		
240	15.49	210	0.2100	9.0500	0.0020	0.0006	1.5816	98.5915		
300	17.32	211	0.2110	9.0490	0.0010	0.0003	1.5814	99.0610		
368	19.18	212	0.2120	9.0480	0.0010	0.0003	1.5811	99.5305		
1435	37.88	213	0.2130	9.0470	0.0010	0.0003	1.5808	100.0000		

LAMPIRAN 3

<b>Uji Konsolidasi</b>					
Jenis Benda Uji Tipe Drainase			Kiri dengan drainasi pasir		
<b>Dimensi Contoh Tanah :</b>					
Diameter			15.15 cm		
Tinggi			9.7 cm		
Luas			180.26655 cm <sup>2</sup>		
<b>Pengujian Pra - Loading :</b>					
Tinggi Awal :			10.7 cm		
Berat :			2745 gr		
Kadar air :					
can	basah+can	kering+can	basah	kering	% kadar air
9.27	119.87	64.2	110.6	54.93	101.3472
8.72	59.74	34.06	51.02	25.34	101.3418
8.58	62.06	35.18	53.48	26.6	101.0526
<b>Pengujian Konsolidasi :</b>					
Tinggi Awal, $H_t$			9.7 cm		
Berat Jenis, $G_s$			2.598		
Kadar Air Awal, $W_i$			57.3809 %		
Berat Mold + Contoh Tanah			7465 gr		
Berat Mold			4900 gr		
Berat Tanah Basah, $W_t$			2565 gr		
Berat Tanah Kering oven, $W_s$			1766.91 gr		
Tinggi Solid, $H_s$			3.7728 cm		
Tinggi Void Awal, $H_v$			5.9272 cm		
Derajat saturasi awal, $S_i$			0.7469		
Angka Pori Awal, $e_0$			1.5711		
<b>Data Akhir Pengujian :</b>					
Tinggi Akhir :			9.4 cm		
Berat :			2825 gr		
Kadar Air :					
can	basah+can	kering+can	basah	kering	% kadar air
174.21	1552.19	1079.17	1377.98	904.96	52.2697
199.15	1610.64	1061.1	1411.49	861.95	63.7554
			2789.47	1766.91	58.0126

H awal            9.7 cm  
H<sub>s</sub>                3.7728 cm  
e<sub>0</sub>                1.5711

**50 kPa**

Waktu		Bacaan Dial (10 <sup>-2</sup> mm)	Bacaan Dial (cm)	Penurunan (cm)	Beda Tinggi ΔH (cm)	Δe	Void Ratio e <sub>i</sub>	Regangan %	t50 menit	t90 menit
Menit	√waktu									
0	0.00	10	0.0100	9.7000	0.0000	0.0000	1.5711	0	1.2	3.3
0.1	0.32	11	0.0110	9.6890	0.0010	0.0003	1.5708	1.0989		
0.25	0.50	15	0.0150	9.6850	0.0040	0.0011	1.5697	5.4945		
0.5	0.71	23	0.0230	9.6770	0.0080	0.0021	1.5676	14.2857		
1	1.00	37	0.0370	9.6630	0.0140	0.0037	1.5639	29.6703		
2	1.41	54	0.0540	9.6460	0.0170	0.0045	1.5594	48.3516		
4	2.00	68	0.0680	9.6320	0.0140	0.0037	1.5557	63.7363		
8	2.83	75	0.0750	9.6250	0.0070	0.0019	1.5538	71.4286		
15	3.87	80	0.0800	9.6200	0.0050	0.0013	1.5525	76.9231		
30	5.48	84	0.0840	9.6160	0.0040	0.0011	1.5514	81.3187		
60	7.75	88	0.0880	9.6120	0.0040	0.0011	1.5504	85.7143		
120	10.95	93	0.0930	9.6070	0.0050	0.0013	1.5491	91.2088		
180	13.42	95	0.0950	9.6050	0.0020	0.0005	1.5485	93.4066		
240	15.49	96	0.0960	9.6040	0.0010	0.0003	1.5483	94.5055		
1333	36.51	100	0.1000	9.6000	0.0040	0.0011	1.5472	98.9011		
1440	37.95	101	0.1010	9.5990	0.0010	0.0003	1.5469	100.0000		

H awal        9.599 cm  
H<sub>s</sub>            3.7728 cm  
e<sub>0</sub>            1.5469

**100 kPa**

Waktu		Bacaan Dial (10 <sup>-2</sup> mm)	Bacaan Dial (cm)	Penurunan (cm)	Beda Tinggi ΔH (cm)	Δe	Void Ratio e <sub>i</sub>	Regangan %	t50 menit	t90 menit
Menit	√waktu									
0	0.00	0	0.0000	9.5990	0.0000	0.0000	1.5469	0	0.82	2.4
0.1	0.32	4	0.0040	9.5950	0.0040	0.0011	1.5459	5.4054		
0.25	0.50	9	0.0090	9.5900	0.0050	0.0013	1.5446	12.1622		
0.5	0.71	16	0.0160	9.5830	0.0070	0.0019	1.5427	21.6216		
1	1.00	28	0.0280	9.5710	0.0120	0.0032	1.5395	37.8378		
2	1.41	40	0.0400	9.5590	0.0120	0.0032	1.5363	54.0541		
4	2.00	50	0.0500	9.5490	0.0100	0.0027	1.5337	67.5676		
8	2.83	54	0.0540	9.5450	0.0040	0.0011	1.5326	72.9730		
15	3.87	56	0.0560	9.5430	0.0020	0.0005	1.5321	75.6757		
30	5.48	59	0.0590	9.5400	0.0030	0.0008	1.5313	79.7297		
60	7.75	62	0.0620	9.5370	0.0030	0.0008	1.5305	83.7838		
120	10.95	64	0.0640	9.5350	0.0020	0.0005	1.5300	86.4865		
180	13.42	66	0.0660	9.5330	0.0020	0.0005	1.5294	89.1892		
240	15.49	67	0.0670	9.5320	0.0010	0.0003	1.5292	90.5405		
300	17.32	68	0.0680	9.5310	0.0010	0.0003	1.5289	91.8919		
1440	37.95	74	0.0740	9.5250	0.0060	0.0016	1.5273	100.0000		

H awal        9.525 cm  
H<sub>s</sub>            3.7728 cm  
e<sub>0</sub>            1.5273

**200 kPa**

Waktu		Bacaan Dial (10 <sup>-2</sup> mm)	Bacaan Dial (cm)	Penurunan (cm)	Beda Tinggi ΔH (cm)	Δe	Void Ratio e <sub>i</sub>	Regangan %	t50 menit	t90 menit
Menit	√waktu									
0	0.00	0	0.0000	9.5250	0.0000	0.0000	1.5273	0	12	6
0.1	0.32	3	0.0030	9.5220	0.0030	0.0008	1.5265	2.1127		
0.25	0.50	4	0.0040	9.5210	0.0010	0.0003	1.5263	2.8169		
0.5	0.71	8	0.0080	9.5170	0.0040	0.0011	1.5252	5.6338		
1	1.00	11	0.0110	9.5140	0.0030	0.0008	1.5244	7.7465		
2	1.41	18	0.0180	9.5070	0.0070	0.0019	1.5226	12.6761		
4	2.00	30	0.0300	9.4950	0.0120	0.0032	1.5194	21.1268		
8	2.83	44	0.0440	9.4810	0.0140	0.0037	1.5157	30.9859		
15	3.87	61	0.0610	9.4640	0.0170	0.0045	1.5112	42.9577		
30	5.48	80	0.0800	9.4450	0.0190	0.0050	1.5061	56.3380		
60	7.75	96	0.0960	9.4290	0.0160	0.0042	1.5019	67.6056		
124	11.14	109	0.1090	9.4160	0.0130	0.0034	1.4984	76.7606		
225	15.00	119	0.1190	9.4060	0.0100	0.0027	1.4958	83.8028		
1440	37.95	142	0.1420	9.3830	0.0230	0.0061	1.4897	100.0000		

<b>Uji Konsolidasi</b>					
Jenis Benda Uji Tipe Drainase			Kanan Dengan drainasi pasir		
<b>Dimensi Contoh Tanah :</b>					
Diameter			15.2	cm	
Tinggi			10.4	cm	
Luas			181.45839	cm <sup>2</sup>	
<b>Pengujian Pra - Loading :</b>					
Tinggi Awal :			9.5	cm	
Berat :			3099	gr	
Kadar air :					
can	basah+can	kering+can	basah	kering	% kadar air
14.29	149.58	82.21	135.29	67.92	99.1902
8.73	52	30.5	43.27	21.77	98.7598
8.07	52.26	30.28	44.19	22.21	98.9644
<b>Pengujian Konsolidasi :</b>					
Tinggi Awal, $H_t$			10.4	cm	
Berat Jenis, $G_s$			2.598		
Kadar Air Awal, $W_i$			64.5809	%	
Berat Mold + Contoh Tanah			7506	gr	
Berat Mold			4546	gr	
Berat Tanah Basah, $W_t$			2960	gr	
Berat Tanah Kering oven, $W_s$			1778.55	gr	
Tinggi Solid, $H_s$			3.7727	cm	
Tinggi Void Awal, $H_v$			6.6273	cm	
Derajat saturasi awal, $S_i$			0.9824		
Angka Pori Awal, $e_0$			1.7567		
<b>Data Akhir Pengujian :</b>					
Tinggi Akhir :			4.9	cm	
Berat :			2662	gr	
Kadar Air :					
can	basah+can	kering+can	basah	kering	% kadar air
181.82	1591.28	1079.17	1409.46	897.35	57.0691
179.9	1565.39	1061.1	1385.49	881.2	57.2276
			2794.95	1778.55	57.1484

H awal            10.4 cm  
 H<sub>s</sub>                3.7727 cm  
 e<sub>0</sub>                1.7567

**50 kPa**

Waktu		Bacaan Dial (10 <sup>-2</sup> mm)	Bacaan Dial (cm)	Penurunan (cm)	Beda Tinggi ΔH (cm)	Δe	Void Ratio e <sub>i</sub>	Regangan %	t50 menit	t90 menit
Menit	√waktu									
0	0.00	10	0.0100	10.4000	0.0000	0.0000	1.7567	0	4.8	4.3
0.1	0.32	12	0.0120	10.3880	0.0020	0.0005	1.7561	0.3810		
0.25	0.50	36	0.0360	10.3640	0.0240	0.0064	1.7498	4.9524		
0.5	0.71	60	0.0600	10.3400	0.0240	0.0064	1.7434	9.5238		
1	1.00	100	0.1000	10.3000	0.0400	0.0106	1.7328	17.1429		
2	1.41	152	0.1520	10.2480	0.0520	0.0138	1.7190	27.0476		
4	2.00	230	0.2300	10.1700	0.0780	0.0207	1.6983	41.9048		
8	2.83	313	0.3130	10.0870	0.0830	0.0220	1.6763	57.7143		
15	3.87	390	0.3900	10.0100	0.0770	0.0204	1.6559	72.3810		
30	5.48	458	0.4580	9.9420	0.0680	0.0180	1.6379	85.3333		
60	7.75	495	0.4950	9.9050	0.0370	0.0098	1.6281	92.3810		
120	10.95	513	0.5130	9.8870	0.0180	0.0048	1.6233	95.8095		
193	13.89	519	0.5190	9.8810	0.0060	0.0016	1.6217	96.9524		
259	16.09	524	0.5240	9.8760	0.0050	0.0013	1.6204	97.9048		
300	17.32	526	0.5260	9.8740	0.0020	0.0005	1.6199	98.2857		
1440	37.95	535	0.5350	9.8650	0.0090	0.0024	1.6175	100.0000		

H awal        9.865 cm  
 H<sub>s</sub>         3.7727 cm  
 e<sub>0</sub>         1.6175

**100 kPa**

Waktu		Bacaan Dial (10 <sup>-2</sup> mm)	Bacaan Dial (cm)	Penurunan (cm)	Beda Tinggi ΔH (cm)	Δe	Void Ratio e <sub>i</sub>	Regangan %	t50 menit	t90 menit
Menit	√waktu									
0	0.00	0	0.0000	9.8650	0.0000	0.0000	1.6175	0		
0.1	0.32	3	0.0030	9.8620	0.0030	0.0008	1.6167	2.3077		
0.25	0.50	6	0.0060	9.8590	0.0030	0.0008	1.6159	4.6154		
0.5	0.71	9	0.0090	9.8560	0.0030	0.0008	1.6151	6.9231		
1	1.00	13	0.0130	9.8520	0.0040	0.0011	1.6141	10.0000		
2	1.41	19	0.0190	9.8460	0.0060	0.0016	1.6125	14.6154		
4	2.00	27	0.0270	9.8380	0.0080	0.0021	1.6103	20.7692		
8	2.83	36	0.0360	9.8290	0.0090	0.0024	1.6080	27.6923		
15	3.87	49	0.0490	9.8160	0.0130	0.0034	1.6045	37.6923	19	7
30	5.48	63	0.0630	9.8020	0.0140	0.0037	1.6008	48.4615		
60	7.75	78	0.0780	9.7870	0.0150	0.0040	1.5968	60.0000		
120	10.95	94	0.0940	9.7710	0.0160	0.0042	1.5926	72.3077		
180	13.42	102	0.1020	9.7630	0.0080	0.0021	1.5905	78.4615		
240	15.49	108	0.1080	9.7570	0.0060	0.0016	1.5889	83.0769		
300	17.32	112	0.1120	9.7530	0.0040	0.0011	1.5878	86.1538		
1388	37.26	129	0.1290	9.7360	0.0170	0.0045	1.5833	99.2308		
1488	38.57	130	0.1300	9.7350	0.0180	0.0048	1.5830	100.0000		

$H_{awal}$  9.735 cm  
 $H_s$  3.7727 cm  
 $e_0$  1.5830

200 kPa

Waktu		Bacaan Dial ( $10^{-2}$ mm)	Bacaan Dial (cm)	Penurunan (cm)	Beda Tinggi $\Delta H$ (cm)	$\Delta e$	Void Ratio $e_i$	Regangan %	t50 menit	t90 menit
Menit	$\sqrt{\text{waktu}}$									
0	0.00	0	0.0000	9.7350	0.0000	0.0000	1.5830	0		
0.1	0.32	4	0.0040	9.7310	0.0040	0.0011	1.5820	1.2739		
0.25	0.50	7	0.0070	9.7280	0.0030	0.0008	1.5812	2.2293		
0.5	0.71	10	0.0100	9.7250	0.0030	0.0008	1.5804	3.1847		
1	1.00	16	0.0160	9.7190	0.0060	0.0016	1.5788	5.0955		
2	1.41	26	0.0260	9.7090	0.0100	0.0027	1.5762	8.2803		
4	2.00	39	0.0390	9.6960	0.0130	0.0034	1.5727	12.4204		
8	2.83	61	0.0610	9.6740	0.0220	0.0058	1.5669	19.4268	20	8.5
15	3.87	110	0.1100	9.6250	0.0490	0.0130	1.5539	35.0318		
30	5.48	184	0.1840	9.5510	0.0740	0.0196	1.5343	58.5987		
60	7.75	250	0.2500	9.4850	0.0660	0.0175	1.5168	79.6178		
120	10.95	280	0.2800	9.4550	0.0300	0.0080	1.5088	89.1720		
240	15.49	293	0.2930	9.4420	0.0130	0.0034	1.5054	93.3121		
1320	36.33	312	0.3120	9.4230	0.0190	0.0050	1.5003	99.3631		
1440	37.95	314	0.3140	9.4210	0.0020	0.0005	1.4998	100.0000		