

TUGAS AKHIR

**STUDI KOMPARASI METODA *VERTICAL SAND DRAIN*
DENGAN *PREFABRICATED VERTICAL DRAIN* PADA
PENURUNAN TANAH LEMPUNG**



Disusun Oleh :

NARJUDDIN

93 310 191

930051013114120188

TONDI MG NASUTION

93 310 259

930051013114120256

**JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
1998**

TUGAS AKHIR

**STUDI KOMPARASI METODA *VERTICAL SAND DRAIN*
DENGAN *PREFABRICATED VERTICAL DRAIN* PADA
PENURUNAN TANAH LEMPUNG**

**Diajukan kepada Universitas Islam Indonesia
untuk memenuhi sebagian persyaratan memperoleh
derajat Sarjana Teknik Sipil**

Disusun Oleh :

NARJUDDIN

93 310 191

930051013114120188

TONDI MG NASUTION

93 310 259

930051013114120256

**JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERANCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
1998**

HALAMAN PENGESAHAN

TUGAS AKHIR
STUDI KOMPARASI METODA *VERTICAL SAND DRAIN*
DENGAN *PREFABRICATED VERTICAL DRAIN* PADA
PENURUNAN TANAH LEMPUNG

Disusun oleh :

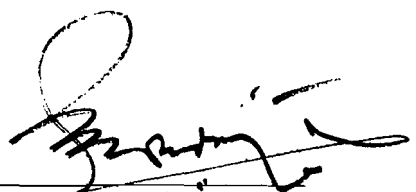
NARJUDDIN
93 310 191
930051013114120188

TONDI MG NASUTION
93 310 259
930051013114120256

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

IR. IBNU SUDARMADJI, MS.
Dosen Pembimbing

Tanggal :


4/1/99

IR. A. HALIM HASMAR, MT.
Dosen Pembimbing

Tanggal :


4-1-99

KATA PENGANTAR

Assalamua'laikum Wr. Wb.

Segala puji dan syukur penyusun panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya, serta salawat dan salam kepada nabi Muhammad SAW beserta keluarga, sehingga penyusun dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir tepat pada waktunya. Laporan Tugas akhir ini dilaksanakan sebagai prasyarat untuk mencapai derajat sarjana jenjang strata satu (S1) pada Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia Yogyakarta.

Penelitian laboratorium berjudul “Studi Komparasi Metoda *Vertical Sand Drain* dengan *Prefabricated Vertical Drain* pada Penurunan Tanah Lempung” dilaksanakan di Laboratorium Mekanika Tanah Universitas Islam Indonesia. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari perilaku sifat-sifat fisik dan mekanik tanah khususnya tanah lempung, serta menggunakan sifat-sifat tersebut untuk menganalisis penurunan (*settlement*) dan waktu penurunan.

Selama pelaksanaan penelitian di laboratorium dan penyusunan laporan Tugas Akhir, tentunya penyusun tidak terlepas dari hambatan-hambatan. Namun demikian, berkat bimbingan, bantuan dan dorongan dari berbagai pihak akhirnya penyusun dapat mengatasi hambatan-hambatan tersebut. Untuk itu pada kesempatan ini penyusun menyampaikan rasa terimakasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Ir. Widodo, MSCE, Ph.D, selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.
2. Bapak Ir. Tadjuddin BMA, MS, selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.
3. Bapak Ir. Ibnu Sudarmadji, MS, selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir dan Kepala Laboratorium Mekanika Tanah Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.
4. Bapak Ir. H. A. Halim Hasmar, MT, selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir.
5. Bapak Ir. A. Marzuko, MT, selaku Dosen Penguji.
6. Saudara Yudi Falal dan Sugiyono, selaku laboran Laboratorium Mekanika Tanah Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.
7. Yang tercinta Ayah, Ibu, serta kakak dan adik-adik saya yang telah memberikan dorongan dan do'a sehingga terwujudnya laporan Tugas Akhir.
8. Rekan-rekan se-almamater yang telah ikut membantu dan memberikan masukan dalam penyelesaian laporan ini.

Akhirnya, besar harapan penyusun semoga laporan ini tidak hanya menjadi arsip yang tertumpuk dan terlupakan, tetapi lebih dari itu dapat memberikan manfaat khususnya bagi penyusun dan umumnya bagi semua pihak yang membutuhkan.

Wabillahiitaufik Walhidayah

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Yogyakarta, Nopember 1998

Penyusun

DAFTAR ISI

	halaman
HALAMAN PENGESAHAN	i
KATA PENGANTAR	ii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR NOTASI	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
INTISARI	xvii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Manfaat Penelitian.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Tanah.....	4
2.1.1 Mineral Lempung.....	5
2.1.2 Ukuran Partikel Tanah.....	7
2.2 Sistem Klasifikasi Tanah.....	8
2.2.1 Sistem Klasifikasi AASHTO.....	9
2.2.2 Sistem Klasifikasi Unified.....	11
2.3 Sifat-sifat Rekayasa Mineral Lempung.....	15

DAFTAR TABEL

	halaman
Tabel 2.1 Batasan-batasan Ukuran Golongan Tanah.....	8
Tabel 2.2 Klasifikasi Tanah Sistem AASHTO	10
Tabel 2.3 Klasifikasi Tanah Sistem Unified.....	13
Tabel 3.1 Berat spesifik mineral-mineral penting	37
Tabel 3.2 Nilai indeks plastis dan macam tanah	39
Tabel 3.3 Variasi Faktor Waktu terhadap Derajat Konsolidasi.....	65
Tabel 5.1 Hasil pengujian kadar air.....	95
Tabel 5.2 Hasil pengujian berat volume tanah	96
Tabel 5.3 Hasil pengujian berat jenis tanah.....	96
Tabel 5.4 Hasil pengujian batas-batas konsistensi.....	97
Tabel 5.5 Distribusi butiran dari Analisis Saringan dan Analisis Hidrometer	97
Tabel 5.6 Hasil pengujian kuat tekan bebas	100
Tabel 5.7 Pembacaan dial untuk \sqrt{t} tertentu	104
Tabel 5.8 Nilai-nilai C_c , C_v dan \sqrt{t}_{90} tanah lempung Kasongan.....	106
Tabel 5.9 Rata-rata nilai C_c dan C_v tanah lempung Kasongan.....	108
Tabel 6.1 Data tanah asli pada lokasi daerah Kasongan.....	110
Tabel 6.2 Spesifikasi <i>Colbondrain CX-1000</i>	110
Tabel 7.1 Distribusi tegangan akibat $H = 2$ m.....	113
Tabel 7.2 Pemampatan akibat timbunan setinggi 2,0 m.....	113
Tabel 7.3 Pemampatan akibat timbunan setinggi 3,164 m.....	114
Tabel 7.4 Pemampatan akibat timbunan setinggi 3,601 m.....	115
Tabel 7.5 Tinggi timbunan akibat beban <i>surchage</i>	116
Tabel 7.6 Tinggi timbunan awal.....	117
Tabel 8.1 Derajat konsolidasi rata-rata untuk $a = 0,1$ m, $b = 0,0053$ m, $s = 1,5$ m dan $H = 10$ m dengan pola segitiga (<i>PV-drain</i>).....	122
Tabel 8.2 Derajat konsolidasi rata-rata untuk $a = 0,1$ m, $b = 0,0053$ m, $s = 2,0$ m dan $H = 10$ m dengan pola segitiga (<i>PV-drain</i>).....	124
Tabel 8.3 Derajat konsolidasi rata-rata untuk $a = 0,1$ m, $b = 0,0053$ m, $s = 2,5$ m	

dan $H = 10$ m dengan pola segitiga (<i>PV-drain</i>).....	126
Tabel 8.4 Derajat konsolidasi rata-rata untuk $a = 0,1$ m, $b = 0,0053$ m, $s = 1,5$ m dan $H = 10$ m dengan pola segiempat (<i>PV-drain</i>).....	129
Tabel 8.5 Derajat konsolidasi rata-rata untuk $a = 0,1$ m, $b = 0,0053$ m, $s = 2,0$ m dan $H = 10$ m dengan pola segiempat (<i>PV-drain</i>).....	131
Tabel 8.6 Derajat konsolidasi rata-rata untuk $a = 0,1$ m, $b = 0,0053$ m, $s = 2,5$ m dan $H = 10$ m dengan pola segiempat (<i>PV-drain</i>).....	133
Tabel 8.7 Derajat konsolidasi rata-rata untuk $dr = 0,25$ m, $s = 1,5$ m dan $H = 10$ m dengan pola segitiga (<i>Vertical Sand Drain</i>).....	136
Tabel 8.8 Derajat konsolidasi rata-rata untuk $dr = 0,25$ m, $s = 2,0$ m dan $H = 10$ m dengan pola segitiga (<i>Vertical Sand Drain</i>).....	138
Tabel 8.9 Derajat konsolidasi rata-rata untuk $dr = 0,25$ m, $s = 2,5$ m dan $H = 10$ m dengan pola segitiga (<i>Vertical Sand Drain</i>).....	140
Tabel 8.10 Derajat konsolidasi rata-rata untuk $dr = 0,25$ m, $s = 1,5$ m dan $H = 10$ m dengan pola segiempat (<i>Vertical Sand Drain</i>).....	143
Tabel 8.11 Derajat konsolidasi rata-rata untuk $dr = 0,25$ m, $s = 2,0$ m dan $H = 10$ m dengan pola segiempat (<i>Vertical Sand Drain</i>).....	145
Tabel 8.12 Derajat konsolidasi rata-rata untuk $dr = 0,25$ m, $s = 2,5$ m dan $H = 10$ m dengan pola segiempat (<i>Vertical Sand Drain</i>).....	147
Tabel 9.1 Tinggi timbunan awal dan penurunan	150
Tabel 9.2 Waktu konsolidasi tanpa drainasi vertikal.....	150
Tabel 9.3 Persentase derajat konsolidasi metoda <i>PV-drain</i> dan <i>VS-drain</i>	155
Tabel 9.4 Persentase derajat konsolidasi susunan Δ dan \square (<i>PV-drain</i>).....	156
Tabel 9.5 Persentase derajat konsolidasi susunan Δ dan \square (<i>VS-drain</i>).....	157
Tabel 9.6 Persentase derajat konsolidasi jarak tertentu (<i>PV-drain</i>).....	158
Tabel 9.7 Persentase derajat konsolidasi jarak tertentu (<i>VS-drain</i>).....	158

DAFTAR GAMBAR

	halaman
Gambar 2.1 Gambar struktur: (a) <i>kaolinite</i> ; (b) <i>illite</i> ; (c) <i>montmorillonite</i>	6
Gambar 2.2 Rentang dari batas cair (<i>LL</i>) dan indeks plastisitas (<i>IP</i>)	11
Gambar 2.3 Grafik hubungan penurunan dan waktu pada tanah pasir dan lempung.....	20
Gambar 2.4 Grafik waktu-penurunan selama konsolidasi	22
Gambar 2.5 Proses konsolidasi tanpa <i>vertical drain</i>	25
Gambar 2.6 Proses konsolidasi dengan <i>vertical drain</i>	25
Gambar 3.1 Skema pengujian tekan bebas	43
Gambar 3.2 Bentuk grafik <i>e</i> versus $\log P$	48
Gambar 3.3 Metode akar-waktu	49
Gambar 3.4 Karakteristik kondisi lempung yang terkonsolidasi secara normal	53
Gambar 3.5 Karakteristik kondisi lempung yang terlalu terkonsolidasi.....	54
Gambar 3.6 Kurva untuk menentukan harga l_z untuk beban <i>embankment</i> dengan panjang tak terhingga.....	57
Gambar 3.7 Kurva hubungan antara tebal timbunan dengan <i>intensitas load</i> yang bersesuaian dengan beban <i>traffic</i>	60
Gambar 3.8 Kurva hubungan antara $U_{rata-rata}$ dengan faktor waktu T_v	61
Gambar 3.9 Kurva hubungan antara beban dan penurunan untuk waktu penurunan yang berbeda-beda.....	62
Gambar 3.10 Dua pola susunan pemasangan <i>vertical drain</i>	68
Gambar 3.11 <i>Equivalen diameter PV-drain</i>	69
Gambar 4.1 Diagram alir penelitian	94
Gambar 5.1 Kurva Distribusi Ukuran Butiran (Sampel I).....	98
Gambar 5.2 Grafik Tegangan-Regangan uji kuat tekan (benda uji kesatu).....	100
Gambar 5.3 Grafik penurunan vs \sqrt{t} untuk beban $0,25 \text{ kg/cm}^2$	105
Gambar 5.4 Grafik hubungan <i>e</i> vs $\log P$ (pengujian sampel kesatu).....	107
Gambar 7.1 Profil timbunan untuk $H = 2 \text{ m}$	112
Gambar 8.1 Grafik variasi derajat konsolidasi rata-rata (<i>U</i>) terhadap waktu (<i>t</i>)	

	untuk pola segitiga metoda <i>PV-drain</i>	126
Gambar 8.2	Grafik variasi derajat konsolidasi rata-rata (U) terhadap waktu (t) untuk pola segiempat metoda <i>PV-drain</i>	133
Gambar 8.3	Grafik variasi derajat konsolidasi rata-rata (U) terhadap waktu (t) untuk pola segitiga metoda <i>Vertical Sand Drain</i>	140
Gambar 8.4	Grafik variasi derajat konsolidasi rata-rata (U) terhadap waktu (t) untuk pola segiempat metoda <i>Vertical Sand Drain</i>	147
Gambar 9.1	Grafik hubungan U dan t dengan pola susunan <i>PV-drain</i> yang berbeda dan $s = 1,5$ m	151
Gambar 9.2	Grafik hubungan U dan t dengan pola susunan <i>Vertical Sand Drain</i> yang berbeda dan $s = 1,5$ m.....	152
Gambar 9.3	Grafik hubungan U dan t susunan segitiga <i>PV-drain</i> dengan $s = 1,5$ m, $2,0$ m dan $2,5$ m.....	153
Gambar 9.4	Grafik hubungan U dan t susunan segitiga <i>Vertical Sand Drain</i> dengan $s = 1,5$ m, $2,0$ m dan $2,5$ m	153
Gambar 9.5	Grafik hubungan metoda <i>vertical drain</i> dan waktu konsolidasi	154

DAFTAR NOTASI

- A = luas penampang sampel tanah (cm^2)
- C_c = indek pemampatan
- C_s = indek pengembangan
- C_v = koefisien konsolidasi arah vertikal (cm^2/dt)
- C_h = koefisien konsolidasi arah horisontal (cm^2/dt)
- C_u = koefisien keseragaman
- C_e = koefisien gradasi
- c = kohesi tanah (kg/cm^2)
- D = diameter *equivalen* dari lingkaran tanah yang merupakan pengaruh dari *vertical drain* (cm)
- dw = diameter *equivalen* dari *PV-drain* terhadap bentuk lingkaran (cm)
- dr = diameter *sand drain* (cm)
- d = panjang aliran yang ditempuh oleh air pori (m)
- e_0 = angka pori awal
- $F(n)$ = faktor hambatan yang disebabkan jarak antara *PV-drain*
- F_s = faktor hambatan tanah yang terganggu
- F_r = faktor hambatan akibat gangguan pada *PV-drain* sendiri
- G_s = berat jenis tanah
- H_s = tinggi butiran padat (cm)
- H = tebal tanah lunak yang mampu mampat (m)
- H_0 = tebal lapisan tanah mula-mula (m)

- H = tinggi *embankment* (m)
 IP = indek plastisitas (%)
 LL = batas cair (%)
 l_z = faktor pengaruh merupakan fungsi dari kedalaman z
 P = beban maksimum (kg)
 PL = batas plastis (%)
 q_0 = beban *embankment* (kg/cm²)
 q_u = kuat tekan bebas (kg/cm²)
 S = Penurunan total
 S_i = Penurunan segera
 S_c = Penurunan akibat konsolidasi primer
 S_s = Penurunan akibat konsolidasi sekunder
 SL = batas susut (%)
 Sc = besarnya pemampatan yang terjadi (m)
 s = jarak antara titik pusat *vertical drain* (m)
 T_v = faktor waktu konsolidasi arah vertikal (detik)
 t = lama waktu yang dibutuhkan pemampatan konsolidasi (bulan)
 t_{90} = waktu untuk tercapainya konsolidasi 90% (bulan)
 U = derajat konsolidasi rata-rata (%)
 U_v = derajat konsolidasi tanah arah vertikal (%)
 U_h = drajat konsolidasi tanah arah horisontal (%)
 V = volume tanah total (cm³)
 V_s = volume butiran tanah (cm³)

- W = berat tanah total (gr)
 W_w = berat air (gr)
 W_s = berat tanah kering (gr)
 w = kadar air (%)
 z = kedalaman titik yang ditinjau terhadap permukaan tanah (m)
 α = sudut pecah sampel tanah ($^\circ$)
 ϕ = sudut gesek dalam tanah ($^\circ$)
 γ_b = berat volume tanah basah (gr/cm^3)
 γ_w = berat volume air (gr/cm^3)
 γ_{timbunan} = berat volume tanah timbunan (gr/cm^3)
 σ_0' = tegangan overburden efektif (kg/cm^2)
 σ_c' = tegangan prakonsolidasi (kg/cm^2)
 Δe = perubahan angka pori
 $\Delta \sigma$ = penambahan beban vertikal

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN HASIL PENELITIAN LABORATORIUM

- A-1 Hasil Pengujian Kadar Air Tanah
- A-2 Hasil Pengujian Berat Jenis Tanah
- A-3 Hasil Pengujian Berat Volume Tanah
- A-4 Hasil Pengujian Batas Cair Tanah
- A-5 Hasil Pengujian Batas Plastis Tanah
- A-6 Hasil Pengujian Analisis Granular Tanah
- A-7 Hasil Pengujian Kuat Tekan Bebas
- A-8 Hasil Pengujian Konsolidasi Tanah

INTISARI

Penelitian laboratorium pada tanah lempung Kasongan memperoleh hasil kadar air (w) sebesar 53,523 %, berat volume tanah (γ) 1,711 gr/cm^3 , berat jenis tanah (G_s) 2,51, batas plastis (PL) 40,13%, batas cair (LL) 86%, sudut pecah (α) $50,33^\circ$, kohesi (c) 0,166 kg/cm^2 , sudut gesek dalam tanah (ϕ) $10,67^\circ$, kuat tekan bebas (qu) 0,402 kg/cm^2 , indeks pemampatan (Cc) sebesar 0,3913 serta koefisien konsolidasi (C_v) sebesar $2,244 \times 10^{-3}$.

Analisis drainasi vertikal berdasarkan metoda *Vertical Sand Drain* dan *Prefabricated Vertical Drain* menggunakan pola susunan segitiga samasisi dan pola susunan segiempat dengan jarak antara *vertical drain* (s) adalah 1,5 m, 2,0 m, 2,5 m. Dengan perbandingan kondisi tersebut akan diperoleh hubungan antara susunan yang dipilih dengan jarak, yang akan ditentukan dengan hasil berupa waktu konsolidasi dari penggunaan masing-masing metoda pada tanah kohesif atau lempung.

Penggunaan metoda *Prefabricated Vertical Drain* memberikan hasil waktu 2,5 bulan pada derajat konsolidasi 90% (susunan segitiga samasisi, $s=1.5$ m) sedangkan *Vertical Sand Drain* memberikan hasil waktu 1 bulan. Hal ini disebabkan oleh ekivalensi dari faktor dimensi dari bahan kedua metode tersebut yang berbeda.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Tanah lempung merupakan jenis tanah yang mempunyai sifat kurang menguntungkan bagi ilmu teknik sipil karena daya dukung tanah lempung yang rendah dan kemampumampatannya yang tinggi. Karena sifat-sifat tersebut maka orang selalu berusaha untuk tidak membangun suatu konstruksi bangunan diatas jenis tanah lempung. Tetapi saat ini dimana perkembangan pembangunan sudah demikian pesatnya dan area yang kondisi tanahnya baik sudah padat, maka area yang kondisi tanahnya jelek sudah bukan menjadi halangan untuk dikembangkan.

Suatu konstruksi dapat berdiri dengan aman di atas tanah dasar lempung lunak bilamana cara penanganan tanah dasarnya benar atau apabila tipe pondasi yang dipilih sesuai dengan konstruksi yang direncanakan. Pada umumnya, tindakan yang dilakukan untuk perbaikan tanah pada tanah dasar lempung lunak antara lain adalah membuang lapisan tanah yang lunak tersebut dan menggantinya dengan tanah yang bagus, menggunakan pondasi dalam, atau memperbaiki kondisi lapisan tanah lunak yang bersangkutan. Bilamana daerah yang terbebani cukup luas dan bebannya relatif merata maka secara ekonomis alternatif yang dipilih adalah metoda perbaikan tanah guna meningkatkan daya dukungnya.

Salah satu metoda perbaikan tanah lunak yang umum dipakai di Indonesia adalah metoda *preloading* dan *vertical drain*. Dengan cara *preloading* (pemberian beban awal), tanah dasar yang lunak akan termampatkan sebelum konstruksi yang direncanakan didirikan. Hal ini menyebabkan daya dukung pada lapisan tanah dasar yang lunak meningkat dan pemampatan yang terjadi pada saat konstruksi didirikan menjadi lebih kecil atau hilang sama sekali. Untuk mempercepat proses pemampatan pada tanah lunak tersebut, maka digunakan metoda *vertical drain*.

Untuk mengatasi masalah diatas, ^{penyusunan} penulis mencoba membandingkan dua metoda *vertical drain* yang umum dikenal, yaitu metoda *Vertical Sand Drain* dengan *Prefabricated Vertical Drain* untuk mendapatkan waktu yang tercepat dalam hal proses pemampatan pada penurunan tanah lempung.

1.2 Manfaat Penelitian

Permasalahan umum pada tanah lunak adalah terjadinya penurunan (*settlement*) jika tanah diberi beban. Terjadinya penurunan adalah akibat proses keluarnya air pori dalam tanah akibat diberi tekanan. Dengan menggunakan *vertical drain* berarti memberikan jalan untuk keluarnya air pori tanah, sehingga penurunan terjadi dalam waktu jauh lebih singkat. Ditambah lagi dengan beban tambahan (*preloading*) maka proses penurunan menjadi semakin cepat.

Manfaat dari penelitian yang dilaksanakan antara lain adalah:

1. Memberikan gambaran waktu konsolidasi yang lebih cepat antara metoda konvensional dan *vertical drain* untuk menyelesaikan penurunan pada tanah lempung.

2. Memberikan alternatif pilihan metoda *vertical drain* yang tepat.
3. Korelasi antara metoda konvensional dengan metoda *vertical drain*.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penulisan tugas akhir ini adalah:

1. Analisis dengan metoda *Vertical Sand Drain*.
2. Analisis dengan metoda *Prefabricated Vertical Drain*.
3. Membandingkan hasil analisis *Vertical Sand Drain* dengan *Prefabricated Vertical Drain*.

1.4 Batasan Masalah

Dalam Tugas Akhir ini batasan masalah meliputi:

1. Data tanah yang dianalisis untuk perhitungan adalah data tanah lempung Kasongan.
2. Konsolidasi sekunder tidak diperhitungkan.
3. Pola pemasangan untuk masing-masing *vertical drain*, yaitu:
 - a. Segitiga (*triangular pattern*)
 - b. Segiempat (*square pattern*)
4. Analisis dilakukan untuk konstruksi badan jalan.
5. Tinggi timbunan tanah rencana untuk *preloading* (badan jalan) dilakukan untuk beberapa variasi tinggi timbunan yaitu 2 m, 3 m, 4m, 5m dan 6m.
6. Analisis hanya pada tanah *normally consolidated*.
7. Biaya konstruksi tidak dianalisis.
8. Pengaruh *swelling* untuk analisis penurunan tidak diperhitungkan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tanah

Tanah didalam rekayasa sipil merupakan material yang terdiri dari butiran mineral-mineral padat yang tidak tersementasi (terikat secara kimia) satu sama lain dan dari bahan-bahan organik yang telah melapuk. Diantara butiran-butiran tanah terdapat ruang kosong yang disebut pori-pori (*void space*) yang berisi air dan udara. Secara umum tanah terbentuk karena pelapukan dari batuan.

Proses penghancuran dalam pembentukan tanah dari batuan terjadi secara fisis atau kimiawi. Proses fisis antara lain berupa erosi akibat tiupan angin, pengikisan oleh air dan gletsyer. Tanah yang terjadi akibat penghancuran tersebut di atas tetap mempunyai komposisi yang sama dengan batuan asalnya. Proses kimiawi menghasilkan perubahan pada susunan mineral batuan asalnya. Salah satu penyebabnya adalah air yang mengandung asam atau alkali, oksigen dan karbondioksida. Pelapukan kimiawi menghasilkan pembentukan kelompok-kelompok partikel kristal berukuran koloid ($< 0,002$ mm) yang dikenal sebagai mineral lempung (*clay mineral*).

Butiran-butiran mineral yang membentuk bagian padat dari tanah merupakan hasil pelapukan dari batuan. Ukuran setiap butiran padat tersebut sangat bervariasi dan sifat-sifat fisik dari tanah banyak tergantung dari faktor-faktor ukuran, bentuk dan komposisi kimia dari butiran.

2.1.1 Mineral Lempung

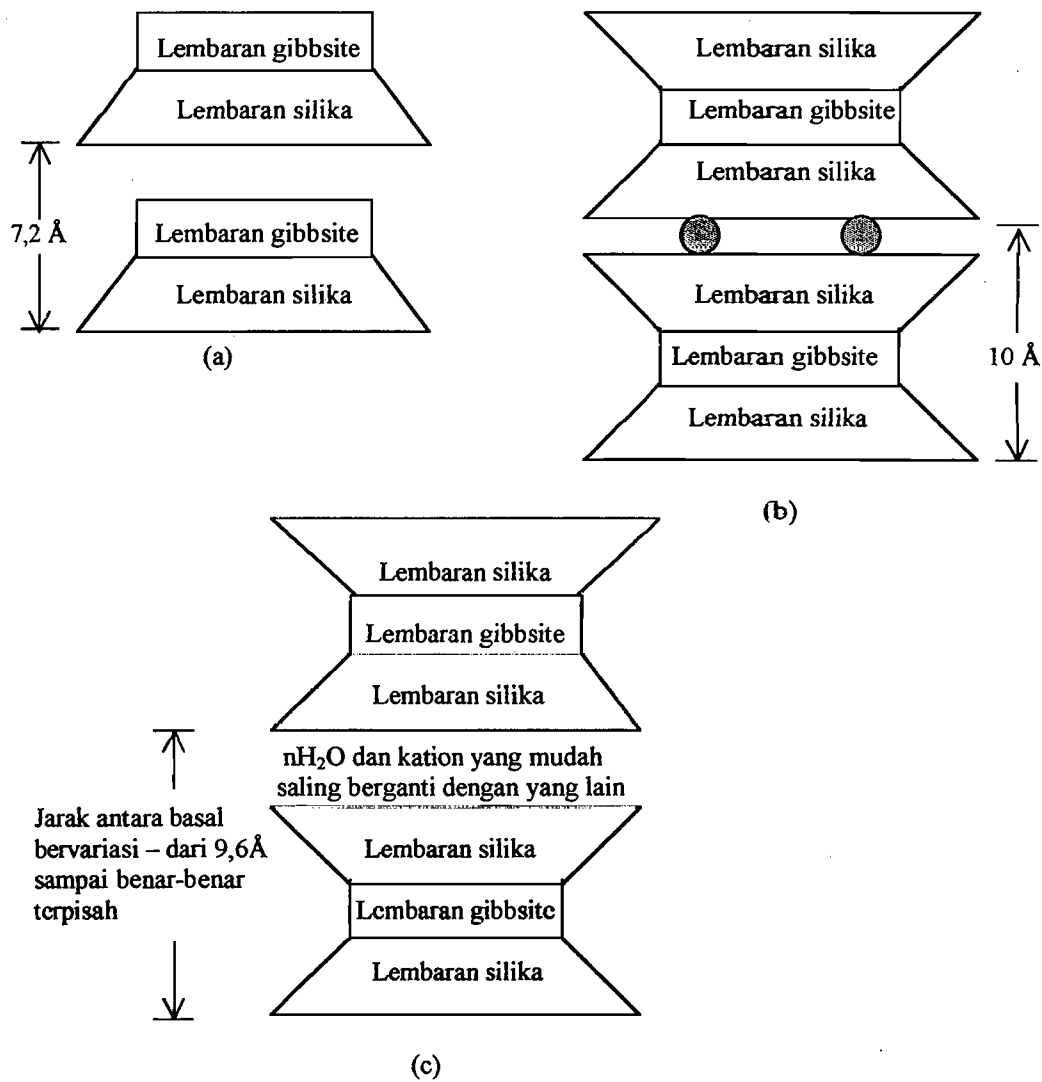
Dari segi mineral, yang disebut tanah lempung dan mineral lempung ialah tanah yang mempunyai partikel-partikel mineral tertentu yang menghasilkan sifat-sifat plastis pada tanah bila dicampur dengan air (Grim, 1953). Jadi tanah dapat juga disebut sebagai tanah bukan lempung (*non-clay soils*) meskipun terdiri dari partikel-partikel yang berukuran lebih kecil dari 2 mikron ($= 2\mu$) apabila partikel-partikel tanahnya tidak dapat menyebabkan terjadinya sifat plastis dari tanah. Mineral lempung menunjukkan karakteristik gaya tarik menarik dengan air dan menghasilkan plastisitas yang tidak ditunjukkan oleh material lainnya.

Mineral lempung merupakan senyawa aluminium silikat yang kompleks yang terdiri dari satu atau dua unit dasar yaitu *silika tetrahedra* dan *aluminium oktahedra*. Beberapa mineral lempung yang penting yaitu *Kaolinite*, *Illite*, *Montmorillonite*.

- a. Mineral *Kaolinite*, terdiri dari tumpukan lapisan-lapisan dasar lembaran-lembaran kombinasi *silika-gibbsite*. Setiap lapisan dasar mempunyai tebal kira-kira $7,2 \text{ \AA}$ ($1\text{\AA}=10^{-10} \text{ m}$). Mineral *kaolinite* berujud seperti lempengan-lempengan tipis.
- b. Mineral *Illite*, terdiri dari sebuah lembaran *gibbsite* yang diapit oleh dua lembaran *silika*. Partikel-partikel *illite* umumnya mempunyai dimensi mendatar dan berbentuk lempengan-lempengan tipis.
- c. Mineral *Montmorillonite*, mempunyai bentuk struktur yang sama dengan *illite* yaitu satu lembaran *gibbsite* diapit oleh dua lembaran *silika*.

Disamping *kaolinite*, *illite*, dan *montmorillonite*, mineral-mineral tanah lempung yang lain yang umum dijumpai adalah *chlorite*, *halloysite*, *vermiculite*, dan *attapulgit*.

Masing-masing struktur mineral lempung yang penting di atas dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 2.1 Gambar struktur: (a) *kaolinite*; (b) *illite*; (c) *montmorillonite*

2.1.2 Ukuran Partikel Tanah

Tanah umumnya dapat disebut sebagai kerikil (*gravel*), pasir (*sand*), lanau (*silt*), atau lempung (*clay*), tergantung pada ukuran partikel yang paling dominan pada tanah tersebut (Braja M. Das, 1988). Masing-masing kelompok tanah tersebut dapat didefinisikan sebagai berikut:

1. Kerikil adalah kepingan-kepingan dari batuan yang kadang-kadang juga mengandung partikel-partikel mineral *quartz*, *feldspar*, dan mineral-mineral lain.
2. Pasir adalah sebagian besar terdiri dari mineral *quartz* dan *feldspar*.
3. Lanau adalah sebagian besar merupakan fraksi mikroskopis (berukuran sangat kecil) dari tanah yang terdiri dari butiran-butiran *quartz* yang sangat halus dan sejumlah partikel berbentuk lempengan-lempengan pipih yang merupakan pecahan dari mineral-mineral *mika*.
4. Lempung adalah sebagian besar terdiri dari partikel mikroskopis dan submikroskopis yang berbentuk lempengan-lempengan pipih merupakan partikel-partikel dari *mika*, mineral-mineral lempung (*clay minerals*), dan mineral-mineral yang sangat halus lain. Lempung juga didefinisikan sebagai golongan partikel yang berukuran kurang dari 0,002 mm (= 2 mikron).

Ukuran dari partikel tanah adalah sangat beragam dengan variasi yang cukup besar. Untuk menggambarkan tanah berdasarkan ukuran partikel penyusunnya, beberapa sistem telah dikembangkan untuk mendapatkan batasan-batasan ukuran golongan jenis tanah seperti ditunjukkan pada tabel berikut.

Tabel 2.1 Batasan-batasan Ukuran Golongan Tanah
(Braja M. Das, 1988)

Nama Golongan	Ukuran Butiran (mm)			
	Kerikil	Pasir	Lanau	Lempung
American Society for Testing Materials (ASTM)	75 – 4,75	4,75 - 0,075	0,075 - 0,005	0,005-0,001
Massachusetts Institute of Technology (MIT)	>2	2 - 0,06	0,06 – 0,002	<0,002
U.S. Department of Agriculture (USDA)	>2	2 - 0,05	0,05 – 0,002	<0,002
American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO)	76,2 – 2	2 - 0,075	0,075 - 0,002	<0,002
Unified Soils Classification System (USCS)	76,2 - 4,75	4,75 - 0,075	Halus (lanau & lempung) <0,0075	

Pada saat sekarang, sistem unified (USCS) telah diterima di seluruh dunia. Sistem ini sekarang telah dipakai pula oleh *American Society of Testing and Materials* (ASTM).

Penggolongan berdasar ukuran butiran tanah pada kenyataannya tidak dapat menggambarkan sifat-sifat fisis tanah, karena selain dipengaruhi oleh distribusi butiran sifat-sifat tanah juga dipengaruhi oleh jenis mineralnya. Oleh karena itu, diperlukan sistem penggolongan tanah berdasarkan ukuran butiran dan plastisitas tanah.

2.2 Sistem Klasifikasi Tanah

Sistem klasifikasi tanah adalah sistem penggolongan beberapa jenis tanah yang berbeda-beda tetapi mempunyai sifat yang serupa ke dalam kelompok-

kelompok dan subkelompok-subkelompok berdasarkan pemakaiannya. Sekarang dikenal dua sistem klasifikasi yang selalu dipakai dalam rekayasa sipil, yaitu Sistem Klasifikasi AASHTO dan Sistem Klasifikasi Unified. Kedua sistem tersebut didasarkan atas analisa butiran dan keplastisan tanah.

2.2.1 Sistem Klasifikasi AASHTO

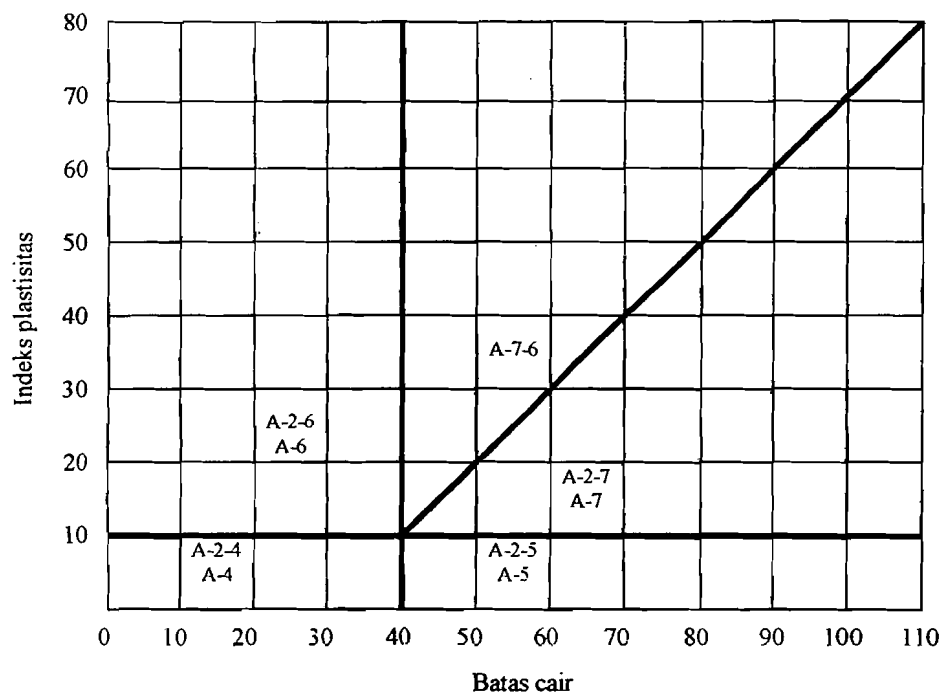
Sistem klasifikasi AASHTO didasarkan pada kriteria berikut:

1. Ukuran butir, dibagi menjadi kerikil, pasir, lanau dan lempung.
Kerikil : bagian tanah yang lolos ayakan dengan diameter 75 mm dan tertahan pada ayakan nomer 10 (2 mm).
Pasir : bagian tanah yang lolos ayakan nomer 10 (2 mm) dan tertahan pada ayakan nomer 200 (0,075 mm).
Lanau dan Lempung : bagian tanah yang lolos ayakan nomer 200 (0,075 mm).
2. Plastisitas, nama berlanau dipakai apabila bagian-bagian yang halus dari tanah mempunyai indeks plastisitas (*IP*) sebesar 10 atau kurang. Nama berlempung dipakai bila bagian-bagian yang halus dari tanah mempunyai indeks plastisitas (*IP*) sebesar 11 atau lebih.
3. Apabila batuan (ukuran lebih besar dari 75 mm) ditemukan dalam contoh tanah yang akan diuji, maka batuan-batuan tersebut harus dikeluarkan terlebih dahulu, tetapi persentase dari batuan yang dikeluarkan tersebut harus dicatat.

Apabila sistem klasifikasi AASHTO dipakai untuk mengklasifikasikan tanah, maka data dari hasil uji dicocokkan dengan angka-angka yang diberikan dalam tabel 2.2 dari kolom sebelah kiri ke kolom sebelah kanan hingga ditemukan angka-angka yang sesuai.

Tabel 2.2 Klasifikasi Tanah Sistem AASHTO
(Braja M. Das, 1988)

Kalsifikasi Umum	Tanah berbutir (35% atau kurang dari seluruh contoh tanah lolos ayakan No.200)							Tanah lanau – lempung (lebih dari 35% lolos ayakan No.200)			
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
Klasifikasi kelompok	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5*
Analisis ayakan (% lolos)											
No. 10	Maks 50										
No. 40	Maks 30	Maks 50	Min 51								
No. 200	Maks 15	Maks 25	Maks 10	Maks 35	Maks 35	Maks 35	Maks 35	Min 36	Min 36	Min 36	Min 36
Sifat fraksi yang lolos ayakan No. 40											
Batas cair (<i>LL</i>)				Maks 40	Min 41	Maks 40	Min 41	Maks 40	Maks 41	Maks 40	Min 41
Indeks plastisitas (<i>IP</i>)	Maks 5		NP	Maks 10	Maks 10	Min 11	Min 11	Maks 10	Maks 10	Min 11	Min 11
Tipe material yang paling dominan	Batu pecah, kerikil dan pasir		Pasir halus	Kerikil dan pasir yang berlanau atau berlempung				Tanah berlanau		Tanah berlempung	
Penilaian sebagai bahan tanah dasar	Baik sekali sampai baik							Biasa sampai jelek			
* Untuk A-7-5, $IP \leq LL - 30$											
# Untuk A-7-6, $IP > LL - 30$											



Gambar 2.2 Rentang dari batas cair (*LL*) dan indeks plastisitas (*IP*) untuk tanah dalam kelompok A-2, A-4, A-5, A-6, dan A-7 (Braja M. Das, 1988)

Sistem Klasifikasi AASHTO dikembangkan tahun 1929 sebagai *Public Road Administration Classification System*. Sistem AASHTO telah beberapa kali diperbaiki, versi yang berlaku sekarang adalah yang diajukan oleh *Committee on classification of Materials for Subgrade and Granular Type Road of the Highway Research Board* tahun 1945.

2.2.2 Sistem Klasifikasi Unified (USCS)

Sistem ini diperkenalkan oleh Casagrande pada tahun 1942, kemudian disempurnakan lagi tahun 1952 atas kerjasama *United States Bureau of Reclamation*. Saat sekarang sistem unified banyak dipakai oleh para ahli rekayasa sipil.

Sistem Unified membagi tanah dalam dua kelompok besar, yaitu tanah berbutir kasar dan tanah berbutir halus.

1. Tanah berbutir kasar (*coarse-grained-soil*), yaitu tanah kerikil dan pasir yang kurang dari 50% berat total contoh tanah lolos saringan nomer 200. Simbol kelompok ini adalah G (untuk tanah berkerikil) dan S (untuk tanah berpasir). Kemudian juga dinyatakan gradasi tanah dengan simbol W (untuk tanah bergradasi baik) dan P (untuk tanah bergradasi buruk).
2. Tanah berbutir halus (*fine-grained-soil*), yaitu tanah yang lebih dari 50% berat contoh tanahnya lolos saringan nomer 200. Simbol kelompok ini adalah C (untuk lempung anorganik), M (untuk lanau anorganik) dan O (untuk lanau organik dan lempung organik). Plastisitas dinyatakan dengan L (plastisitas rendah) dan H (plastisitas tinggi).

Tanah berbutir kasar ditandai dengan simbol-simbol kelompok seperti GW, GP, GM, GC, SW, SP, SM, dan SC. Cara menentukan sebagai berikut:

1. Persentase butiran yang lolos ayakan nomer 200 (fraksi halus)
2. Persentase butiran yang lolos ayakan nomer 40 (fraksi kasar)
3. Koefisien keseragaman (C_u) dan koefisien gradasi (C_c) untuk tanah dimana 0 – 12 % lolos ayakan nomer 200
4. Batas cair dan indeks plastisitas bagian tanah yang lolos ayakan nomer 40 (untuk tanah 5% atau lebih lolos ayakan nomer 200)

Tanah berbutir halus ditandai dengan simbol ML, CL, OL, MH, CH, dan OH didapat dengan cara menggambar batas cair dan indeks plastisitas tanah pada bagan plastisitas (Casagrande, 1948) yang diberikan dalam tabel 2.3.

Tabel 2.3 Klasifikasi Tanah Sistem Unified
(Braja M. Das, 1988)

Divisi utama		Simbol Kelompok	Nama umum
Tanah Berbutir Kasar Lebih dari 50% butiran tertahan pada ayakan No. 200	Pasir lebih dari 50% fraksi kasar lolos ayakan No. 4	Pasir Bersih (hanya kerikil)	GW Kerikil bergradasi-baik dan campuran kerikil-pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus
		Pasir dengan butiran halus	GP Kerikil bergradasi-buruk dan campuran kerikil-pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus
			GM Kerikil berlanau, Campuran kerikil-pasir-lanau
			GC Kerikil berlempung, Campuran kerikil-pasir-lempung
	Kerikil 50% atau lebih dari fraksi kasar tertahan pada ayakan No. 4	Kerikil bersih (hanya pasir)	SW Pasir bergradasi-baik, pasir berkerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus
			SP Pasir bergradasi-buruk dan pasir berkerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus
		Kerikil dengan butiran halus	SM Pasir berlanau, Campuran pasir-lanau
			SC Pasir berlempung, Campuran pasir-lempung
	Tanah Berbutir Halus 50% atau lebih lolos saringan No. 200	Lanau dan Lempung Batas cair 50% atau kurang	ML Lanau anorganik, pasir halus sekali, serbuk batuan, pasir halus berlanau atau berlempung
			CL Lempung anorganik dengan plastisitas rendah sampai dengan sedang lempung berkerikil, lempung berpasir, lempung berlanau, lempung "kurus" (lean clays)
OL Lanau - organik dan lempung berlanau organik dengan plastisitas rendah			
Lanau dan Lempung Batas cair lebih dari 50%		MH Lanau anorganik atau pasir halus diatomeae, atau lanau diatomeae, lanau yang elastis	
		CH Lempung anorganik dengan plastisitas tinggi, lempung "gemuk" (fat clays)	
		OH Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai dengan tinggi	
Tanah-tanah dengan kandungan organik sangat tinggi		PT	Peat (gambut), muck, dan tanah-tanah lain dengan kandungan organik tinggi

Tabel 2.3 (Lanjutan)
Klasifikasi Tanah Sistem Unified

	Kriteria klasifikasi	
Klasifikasi berdasarkan persentase butir halus Kurang dari 5% lolos ayakan No. 200 Lebih dari 12% lolos ayakan No. 200 5% sampai 12% lolos ayakan No. 200 GW, GP, SW, SP GM, GC, SM, SC Klasifikasi perbatasan yang memerlukan penggunaan dua simbol	$C_u = \frac{D_{60} / D_{10}}{(D_{30})^2}$ Lebih besar dari 4 $C_c = \frac{D_{10} \times D_{60}}{D_{30}^2}$ Antara 1 dan 3	
	Tidak memenuhi kedua kriteria untuk GW	
	Batas-batas Atterberg di bawah Garis A atau $PI < 4$	Batas-batas Atterberg yang digambar dalam daerah yang diarsir merupakan klasifikasi batas yang membutuhkan simbol ganda
	Batas-batas Atterberg di atas Garis A dengan $PI > 7$	
	$C_u = \frac{D_{60} / D_{10}}{(D_{30})^2}$ Lebih besar dari 6 $C_c = \frac{D_{10} \times D_{60}}{D_{30}^2}$ Antara 1 dan 3	
	Tidak memenuhi kedua kriteria untuk SW	
	Batas-batas Atterberg di bawah garis A atau $PI < 4$	Batas-batas Atterberg yang digambar dalam daerah yang diarsir merupakan klasifikasi batas yang membutuhkan simbol ganda
	Batas-batas Aterberg di atas Garis A dengan $PI > 7$	
<p>The chart plots Indeks Plastisitas (Y-axis, 0 to 60) against Batas Cair (X-axis, 0 to 100). A diagonal line labeled 'Garis A' separates the upper regions (CH, CL) from the lower regions (MH, OH, ML, OL, CL-ML). A point is plotted at PI=0.73 (LL-20) in the CL region.</p>		
Manual untuk identifikasi secara visual dapat dilihat dalam ASTM Designation D-2488		

2.3 Sifat-sifat Rekayasa Mineral Lempung

Sifat-sifat mineral lempung yang berhubungan dengan kegunaannya dalam rekayasa teknik sipil akan diuraikan secara singkat berikut ini.

2.3.1 Batas-batas Atterberg

Batas-batas konsistensi tanah menurut Atterberg meliputi lima keadaan konsistensi tanah sebagai berikut.

1. Batas Cair (*Liquid Limit*), *LL*, adalah kadar air dimana untuk nilai-nilai di atasnya tanah berperilaku sebagai cairan kental (campuran tanah-air tanpa kuat geser yang dapat diukur).
2. Batas Plastis (*Plastic Limit*), *PL*, adalah kadar air dimana untuk nilai-nilai di bawahnya tanah tidak berperilaku sebagai bahan yang plastis.
3. Batas Susut (*Shrinkage Limit*), *SL*, adalah kadar air dimana untuk nilai-nilai di bawahnya pengurangan kadar air tidak disertai adanya penyusutan volume tanah. Semakin kecil batas susut suatu tanah, semakin mudah mengembang bila terkena air.
4. Batas Lengket (*Sticky Limit*), adalah kadar air dimana tanah kehilangan sifat adhesinya dan tidak lengket lagi pada benda lainnya seperti jari, permukaan logam dan sebagainya.
5. Batas Kohesi (*Cohesion Limit*), *CL*, adalah kadar air dimana tanah kehilangan sifat kohesinya, yaitu gaya lekatan antar butiran-butiran tanah.

Dari lima keadaan konsistensi tanah, tiga diantaranya sangat penting dalam rekayasa sipil, yaitu batas plastis, batas cair dan batas susut.

Konsistensi suatu tanah dapat digambarkan dengan indeks konsistensi yang diturunkan dari tiga keadaan tersebut, antara lain :

a. Indeks Plastisitas (*Plasticity Index*), IP

Adalah rentang kadar air dimana tanah bersifat plastis. Indeks plastisitas dihitung sebagai:

$$IP = LL - PL \quad (2.1)$$

Indeks plastisitas merupakan parameter penting dalam rekayasa sipil, pada umumnya semakin besar nilai IP , semakin banyak masalah rekayasa yang timbul, seperti tegangan tanah, tekanan tanah horizontal dan potensi pengembangan atau penyusutan.

b. Indeks Kecairan (*Liquidity Index*), IL

Indeks kecairan ditentukan melalui hubungan:

$$IL = \frac{W_N - W_P}{IP} \quad (2.2)$$

Indeks kecairan berguna untuk menentukan keadaan tanah di lapangan. Apabila kelembaban tanah asli diketahui sebagai W_N dan batas plastis serta indeks plastisitas diketahui, maka:

Jika $0 < IL < 1,0$ tanah bersifat sebagai bahan plastis,

Jika $IL \geq 1,0$ tanah berada dalam keadaan cair,

Jika $IL < 0$ tanah berada dalam keadaan padat.

2.3.2 Kemampuan Mengembang

Kemampuan mengembang tanah sangat dipengaruhi oleh jenis dan jumlah dari mineral lempung yang dikandungnya. Apabila beberapa tanah mengandung

jumlah mineral lempung yang sama, indeks plastisitasnya akan berbeda sesuai jenis mineral lempung yang dikandungnya. Menurut penyelidikan Skempton jika kandungan lempung bertambah, indeks plastisitas akan bertambah (Braja M. Das, 1988).

Parameter yang dipakai sebagai indeks untuk mengidentifikasi kemampuan mengembang tanah lempung adalah *aktivitas* yang secara numerik dinyatakan dengan:

$$\text{Aktivitas} = \frac{IP}{\text{persenberat butiran} < 0,002 \text{ mm}} \quad (2.3)$$

Aktivitas menyatakan kemampuan mengembang tanah lempung, semakin besar aktivitas suatu tanah semakin besar kemampuan mengembangnya.

2.3.3 Daya Resap Tanah (Permeabilitas)

Permeabilitas didefinisikan sebagai bahan berongga yang memungkinkan cairan untuk menembus melalui ruang antar pori. Bahan yang mempunyai sifat permeabilitas adalah bahan yang mempunyai rongga-rongga yang saling berhubungan. Untuk masalah geoteknik cairan itu adalah air dan bahan berongga adalah tanah.

Besarnya nilai permeabilitas suatu tanah dinyatakan dalam koefisien permeabilitas (k) dalam satuan cm/detik. Tanah lempung mempunyai koefisien permeabilitas yang sangat kecil, untuk lempung murni umumnya berkisar antara 1×10^{-6} sampai 1×10^{-8} .

2.3.4 Kemampatan (Kompresibilitas)

Tanah mempunyai sifat kemampatan yang besar jika dibanding bahan bangunan yang lain seperti baja dan beton. Walaupun kemampatan butiran tanah dan air relatif kecil, tetapi karena tanah mempunyai pori-pori yang besar kemampatan dapat diakibatkan oleh penyusutan pori-pori tanah.

Pada saat beban bekerja pada tanah, susunan butir-butir tanah berubah sehingga pori-pori menyusut. Akibat penyusutan pori tersebut air pori dipaksa keluar dari ruang pori. Pada tanah berpasir yang bersifat permeabel pengaliran air pori berlangsung cepat sehingga proses pemampatan segera selesai. Tetapi untuk tanah berbutir halus (lempung) yang mempunyai koefisien permeabilitas kecil, proses pengaliran air pori berlangsung sangat lambat, sehingga proses pemampatan memakan waktu yang lama.

2.4 Konsolidasi dan Penurunan

Jika di atas tanah didirikan bangunan, maka perlu ditinjau persyaratan yang harus dipenuhi, yaitu:

1. Tekanan tanah yang timbul harus lebih kecil dari daya dukung tanah.
2. Penurunan karena konsolidasi tanah tidak boleh membahayakan konstruksi, yaitu:
 - a. penurunan maksimum
 - b. penurunan differensial

Jika di bawah bangunan ada lapisan tanah mampumampat (*compressibel*), tambahan tekanan efektif menyebabkan tanah berkonsolidasi dan mengalami

penurunan. Tanah dianggap *compressibel* terutama adalah lempung, atau lempung lanau yang lunak dalam keadaan kenyang air.

Sebenarnya penurunan bangunan dapat terjadi karena:

1. Penurunan seketika karena elastisitas tanah
2. Karena konsolidasi primer
3. Karena konsolidasi sekunder

Pengaruh terbesar dan yang akan dianalisis adalah konsolidasi primer.

2.4.1 Konsolidasi

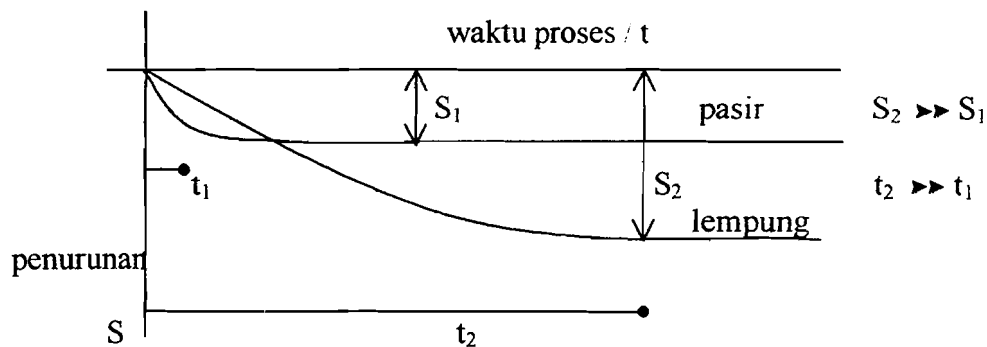
Konsolidasi adalah mampatnya tanah karena menderita tambahan tekanan efektif. Pada peristiwa konsolidasi akan dipelajari 2 hal, yaitu:

1. Besarnya penurunan yang akan terjadi, ditentukan oleh:
 - a. kompressibilitas tanah
 - b. tebal tanah kompressibel
 - c. besarnya tambahan tekanan efektif
2. Laju konsolidasi atau kecepatan proses konsolidasi, dipengaruhi oleh:
 - a. permeabilitas tanah
 - b. tebal tanah kompressibel
 - c. kondisi drainasi di atas dan di bawah lapisan tanah kompressibel

Untuk bisa mampat, air yang ada di dalam pori tanah (tanah kenyang air) harus ditekan dengan cara memberikan beban tambahan agar dapat keluar. Kecepatan memampat dipengaruhi oleh kecepatan keluarnya air, dan kecepatan keluarnya air dipengaruhi oleh permeabilitas tanah.

Pasir termasuk tanah yang sangat *permeabel*, dan tanah yang tidak *compressibel*, maka proses penurunan berlangsung cepat (hampir seketika) dan penurunannya kecil.

Lempung termasuk tanah rapat air dan bersifat sangat *compressibel*, maka laju penurunan sangat lambat dan penurunannya sangat besar. Kondisi dari kedua macam tanah diatas dapat dilihat pada gambar 2.3.



Gambar 2.3 Grafik hubungan penurunan dan waktu pada tanah pasir dan lempung (H. Daruslan, 1994)

2.4.2 Penurunan

Jika lapisan tanah mengalami pembebanan maka lapisan tanah akan mengalami regangan atau penurunan (*settlement*). Regangan yang terjadi dalam tanah ini disebabkan oleh berubahnya susunan tanah maupun oleh pengurangan rongga pori/ air didalam tanah tersebut. Jumlah dari regangan sepanjang kedalaman lapisan merupakan penurunan total tanahnya. Penurunan akibat beban adalah jumlah total dari penurunan segera (*immediate settlement*) dan penurunan konsolidasi (*consolidation settlement*).

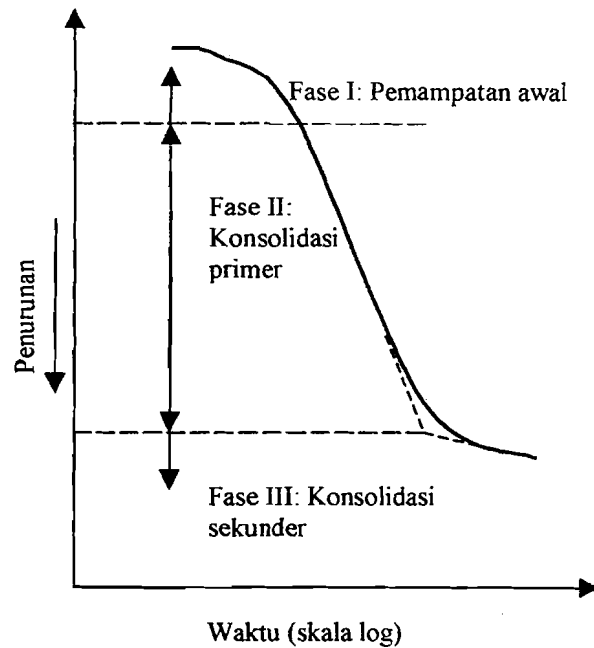
Penurunan yang terjadi pada tanah berbutir kasar dan tanah berbutir halus yang kering atau tak jenuh terjadi dengan segera sesudah penerapan bebannya. Penurunan pada kondisi ini disebut penurunan segera. Penurunan segera merupakan bentuk penurunan elastis.

Penurunan konsolidasi terjadi pada tanah berbutir halus yang terletak di bawah muka air tanah. Penurunan yang terjadi memerlukan waktu, yang lamanya tergantung pada kondisi lapisan tanahnya.

Penurunan konsolidasi dapat dibagi dalam 3 fase, yaitu:

1. Fase awal, yaitu fase di mana penurunan terjadi dengan segera sesudah beban bekerja. Penurunan di sini terjadi akibat proses penekanan udara ke luar dari dalam pori tanahnya. Pada lempung jenuh, kemungkinan ini sangat kecil. Tetapi dalam lempung yang tak jenuh, hal ini sangat besar pengaruhnya terhadap penurunan.
2. Fase konsolidasi primer atau konsolidasi hidrodinamis, yaitu penurunan yang dipengaruhi oleh kecepatan aliran air yang meninggalkan tanahnya akibat adanya tekanan.
3. Fase konsolidasi sekunder, merupakan proses lanjutan dari konsolidasi primer, di mana prosesnya berjalan sangat lambat. Penurunannya jarang diperhitungkan karena pengaruhnya biasanya sangat kecil.

Sebagian besar penurunan diakibatkan oleh pengurangan nilai angka pori. Hampir semua jenis tanah akan berkurang angka pori tanah (e) bila beban vertikal bertambah dan akan bertambah angka pori tanah bila beban dikurangi.



Gambar 2.4 Grafik waktu-penurunan selama konsolidasi
(Braja M Das, 1988)

Penurunan total adalah jumlah dari penurunan segera (*immediate settlement*) dan penurunan konsolidasi (*consolidation settlement*). Penurunan konsolidasi masih dapat dibedakan lagi menjadi penurunan akibat konsolidasi primer dan penurunan konsolidasi sekunder (Hary Cristady, 1994). Bila dinyatakan dalam bentuk persamaan, penurunan total adalah:

$$S = S_i + S_c + S_s \quad (2.4)$$

dengan:

S = Penurunan total

S_i = Penurunan segera

S_c = Penurunan akibat konsolidasi primer

S_s = Penurunan akibat konsolidasi sekunder

2.5 Drainasi

Drainasi adalah ilmu pengetahuan yang mempelajari usaha untuk mengalirkan air yang berlebihan dalam suatu konteks pemanfaatan tertentu. Drainasi berasal dari kata *drain* yang berarti pengeringan tanah. Pengeringan tanah pada area tertentu dibagi atas 2 sistem, yaitu:

1. Sistem drainasi permukaan tanah (*Surface Drainage System*)
2. Sistem drainasi bawah tanah (*Sub Surface Drainage System*)

2.5.1 Drainasi Permukaan Tanah

Drainasi permukaan tanah meliputi:

1. Drainasi perkotaan
2. Drainasi jalan raya
3. Drainasi lapangan terbang
4. Drainasi lapangan olah raga
5. Drainasi untuk pertanian dan persawahan

2.5.2 Drainasi Bawah Tanah

Drainasi bawah tanah meliputi:

1. Drainasi vertikal
2. Drainasi horizontal

2.6 Drainasi Vertikal

Jika dikehendaki mempercepat proses konsolidasi maka dapat digunakan konstruksi drainasi vertikal ke lapisan lempung lunak. Drainasi vertikal dapat berupa tiang-tiang pasir atau pita-pita *geotextile* yang dimasukkan dalam tanah

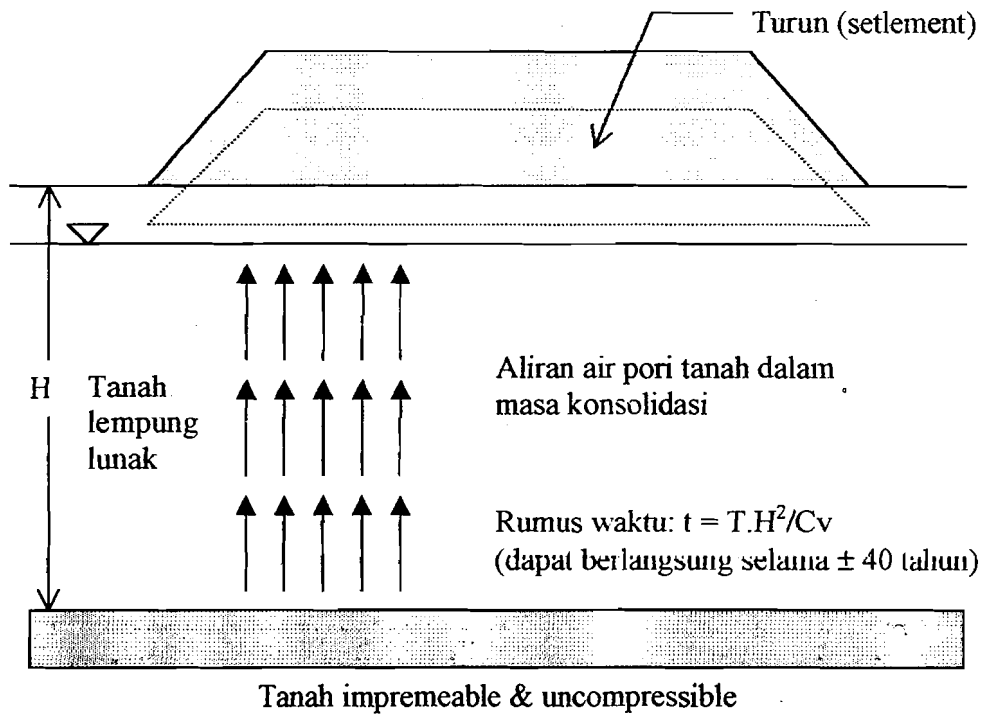
lempung. Percepatan dilakukan misalnya pada pembangunan jalan di atas tanah sangat lunak, atau kompleks industri didaerah tanah lunak.

Proses pelaksanaan drainasi vertikal, mula-mula dipancang drainasi vertikal, kemudian ditimbun urugan pasir/ tanah dengan tebal yang beratnya hampir sama dengan berat konstruksi yang akan dibangun. Jarak dan ukuran drainasi vertikal direncanakan sedemikian rupa sehingga dalam waktu 2 - 6 bulan konsolidasi telah mencapai sekitar 80% - 90% dan sisa penurunan tinggal 2 - 3 cm (H. Daruslan, 1994).

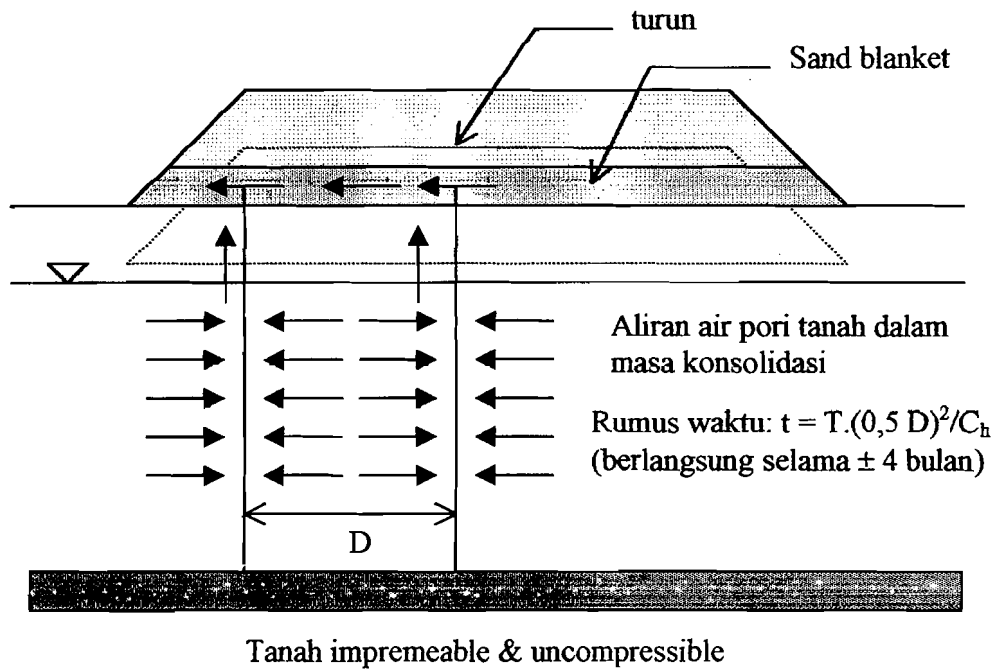
Jika pada keadaan tanpa drainasi vertikal, aliran air pori tanah hanya ke arah vertikal ke bawah atau vertikal ke atas, maka dengan adanya drainasi vertikal, aliran air pori tanah juga ke arah horisontal menuju ke tiang-tiang pasir. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.5 dan gambar 2.6.

Vertical drain dengan pemberian beban awal (*preloading*) berupa *embankment* di permukaan, terjadi konsolidasi tiga dimensi. Tambahan tekanan efektif (ΔP) menyebabkan naiknya tekanan air pori, sehingga air bergerak mengalir pada 3 arah x, y, dan z. Pada arah z adalah proses konsolidasi biasa, air mengalir ke arah vertikal. Jika drainasi 2 arah, ke atas dan ke bawah. Jika drainasi 1 arah ke bawah saja atau ke atas saja. Pada arah x dan y adalah arah aliran horisontal menuju drainasi vertikal (H Daruslan, 1994).

Metoda drainasi vertikal (*vertical drain*) sangat efektif untuk mempercepat konsolidasi dari tanah kompresif (seperti lempung atau lempung berlanau) sehingga memperpendek waktu untuk menyelesaikan pemampatan tanah.



Gambar 2.5 Proses konsolidasi tanpa *vertical drain*



Gambar 2.6 Proses konsolidasi dengan *vertical drain*

Vertical drain pada lapisan tanah, umumnya dikenal dalam dua bentuk, yaitu:

1. *Vertical Sand Drain*

Vertical drain dibuat dari tiang-tiang pasir yang dimasukkan ke dalam tanah dengan bantuan pipa yang bergetar.

2. *Prefabricated Vertical Drain (PV-drain)*

PV-drain terbuat dari bahan-bahan yang dibuat di pabrik dan bahan ini dapat mengalirkan air dengan baik.

2.6.1 *Vertical Sand Drain (Drainasi Pasir Vertikal)*

Kecepatan konsolidasi yang rendah pada tanah-tanah lempung dan tanah yang mudah mampat lainnya, dapat dipercepat dengan menggunakan drainasi pasir vertikal yang dipancang secara vertikal. Drainasi pasir vertikal memberikan lintasan air pori yang lebih pendek ke arah horisontal. Jarak drainasi arah horisontal yang lebih pendek menambah kecepatan proses konsolidasi beberapa kali lebih cepat.

Drainasi pasir vertikal biasanya terdiri dari lubang bor vertikal yang menembus lapisan lempung jenuh yang relatif tebal, dimana lapisan lempung ini terletak pada lapisan batu, cadas, atau lapisan kedap air lain. Lubang bor diisi dengan pasir dengan gradasi tertentu.

Diameter drainasi pasir vertikal bervariasi dari kira-kira 25 cm sampai 45 cm. Diameter yang terlalu kecil dihindarkan, karena kesulitan pengisian pasir pada pipa mandrel. Lagi pula, diameter yang terlalu kecil dapat menyebabkan pembengkokan akibat gesekan antara kolom pasir dengan dinding dalam dari pipa

mandrel. Keberhasilan perancangan drainasi pasir vertikal tergantung pada faktor pemilihan parameter-parameter tanah, karena itu koefisien konsolidasi arah vertikal (C_v) dan arah horisontal (C_h) harus ditentukan dengan cermat.

Kedalaman drainasi vertikal tergantung dari kondisi geologi lapisan tanahnya, yaitu oleh kedalaman lapisan tanah keras di bawah permukaan tanah. Drainasi pasir vertikal dapat diatur dengan posisi segiempat atau segitiga. Jarak dari drainasi vertikal tergantung pada macam dan permeabilitas tanahnya. Dalam prakteknya, jarak drainasi pasir diantara 1,5 sampai 3 m dari pusat ke pusat kolom. Terzaghi (1945) merekomendasikan untuk memilih jarak sedemikian rupa sehingga 80% dari konsolidasi total telah dicapai selama pembangunan tanah timbunannya (*embankment*), (Hary Christady, 1994).

2.6.2 Prefabricated Vertical Drain (PV-drain)

Geocomposites adalah perpaduan antara material *geotextile non woven* (*geotextile* tidak dianyam) dengan material *polypropylene* yang berbentuk pipih yang berfungsi mengalirkan air pori dalam tanah. Dengan adanya material *Prefabricated Vertical Drain*, maka tanah diberi media untuk mengeluarkan air tanah sehingga tanah mudah memampat jika diberi beban. Masalah penurunan (*settlement*) yang terjadi pada lapisan tanah lunak dalam waktu yang lama merupakan kendala yang sangat sering dijumpai dalam mendirikan suatu konstruksi bangunan. Dengan adanya material *PV-drain*, maka penurunan dapat dipercepat sehingga tidak mengganggu keamanan konstruksi yang akan dibangun di atas lapisan tanah lunak tersebut.

Material *PV-drain* merupakan bahan sintetis yang lebih tahan terhadap kerusakan akibat pengaruh cuaca, bakteri pembusuk, maupun zat kimia tanah. Merupakan bahan yang siap pakai dengan spesifikasi tertentu sehingga mudah disesuaikan dengan permasalahan tanah yang ada (Geomat Indonesia, 1998).

2.7 Geosintetik

Menurut ICI Fibers tahun 1986, geosintetik adalah bahan sintetis (buatan) yang digunakan dalam lingkungan tanah, tentunya pengertian tanah mencakup air. Disebut bahan sintetis karena bahan tersebut dibuat dari suatu proses, bukan dari bahan alami. *Geosynthetics* atau *Geofabrics* adalah sebutan umum untuk bermacam-macam jenis bahan (*textile*) yang digunakan dalam bidang geoteknik.

Bahan dasar geosintetik pada umumnya adalah *polimer* yang berbentuk serat-serat sintetis seperti: *polypropylene*, *polyethylene*, *polyester*, *polyamide* (nylon), dan *polyvinyl chlorida* (PVC). Bahan-bahan tersebut mempunyai ketahanan yang sangat tinggi terhadap kerusakan yang diakibatkan oleh:

1. Pengaruh perubahan cuaca
2. Pengaruh bakteri pembusuk dalam tanah
3. Pengaruh sinar ultraviolet
4. Pengaruh zat-zat kimia
5. Pengaruh tarikan, coblosan dan sobekan

Berdasarkan bentuk dan bahan pembuatnya, jenis-jenis geosintetik yang cukup umum digunakan dalam pekerjaan sipil di Indonesia adalah:

1. *Geotextile*

Berbentuk menyerupai *textile* (seperti rajutan kain) yang dari metode pembuatnya dibedakan menjadi dua macam yaitu:

- a. Geotekstil anyaman (*woven geotextile*)
- b. Geotekstil tidak dianyam (*non woven geotextile*)

Bahan pembuatnya: *polypropylene, polyester*.

2. *Geogrid*

Berbentuk seperti anyaman dalam *grid* yang besar-besar hingga menyerupai jaring (*net*).

Bahan pembuatnya: *high density polyethylene* (HDPE).

3. *Geomembrane*

Berupa lembaran yang kedap air dan berfungsi menyerupai *membrane* atau pelapis.

Bahan pembuatnya: HDPE, LDPE, PVC.

4. *Geocomposite*

Bahan sintetis yang merupakan kombinasi dari dua atau lebih bahan-bahan geosintetik yang berbeda.

Bahan pembuatnya: semua bahan pembuat geosintetik.

Selanjutnya jenis geosintetik diatas berkembang menurut bentuk dan fungsinya seperti: *armoform, vertical drain, strip drain, geoweb*, dll.

2.7.1 Geosintetik dan Aplikasinya di Lapangan

1. *Geotextile*

a. Pada Embankment Jalan.

Geotextile woven/ non woven dihamparkan di atas tanah dasar atau *subgrade* yang lunak kemudian di atasnya ditimbun dengan tanah dan bahan-bahan perkerasan jalan lainnya. Fungsi *geotextile* disini adalah sebagai *separator* (pemisah), *reinforce* (penguat) dan *filter* (penyaring).

Sebagai *separator*, akan mencegah bercampurnya bahan timbunan yang baik dengan tanah dasar atau *subgrade* yang lunak sehingga tidak terjadi kehilangan volume material timbunan yang berlebihan pada awal-awal pekerjaan penimbunan.

Sebagai *reinforce*, berfungsi sebagai lapisan penahan tegangan tarik yang terjadi pada lapisan perkerasan akibat adanya deformasi dari lapisan perkerasan yang disebabkan oleh beban-beban kendaraan.

Sebagai *filter*, akan menahan atau menyaring butiran tanah dasar yang lunak (lumpur).

b. Pada Lereng atau Talud Buatan.

Geotextile woven ditempatkan pada timbunan lereng atau talud buatan lapis demi lapis sesuai ketinggian dan kemiringan lereng. Kuat tarik *geotextile* disini berfungsi seperti tulangan tarik pada konstruksi beton bertulang.

c. Pada Saluran Drainasi.

Adapun yang umum digunakan dalam drainasi adalah tipe *geotextile non woven*. Untuk drainasi bawah tanah, *geotextile* berfungsi sebagai pengganti

ijuk. Batu-batu agregate dibungkus dengan *geotextile*, yang mana *geotextile* akan berfungsi sebagai penyaring air terhadap butiran tanah dan batu-batu agregate berfungsi sebagai media pengaliran air yang terdrainasi.

2. *Geogrid*

Geogrid pada prinsipnya hampir sama dengan *geotextile*, hanya memiliki jaring-jaring (*net*) yang besar. Untuk aplikasinya di lapangan *geogrid* ini lebih tepat jika dikombinasikan dengan batu-batuan untuk mengikat antara *grid-grid geogrid* dengan lapisan tanah. Aplikasinya di lapangan antara lain untuk perkuatan lereng dan jalan.

3. *Geomembrane*

a. *Geomembrane* Sebagai Penutup Lapisan Tanah.

Terutama pada bangunan jalan yang terletak di atas tanah yang mempunyai sifat kembang susut yang besar. Jika tanah terkena air maka tanah akan mengembang sehingga kuat dukung tanah berkurang, yang mengakibatkan rusaknya lapisan perkerasan jalan. Jika tanah kekeringan, maka tanah akan menyusut yang mengakibatkan terjadinya retak-retak. *Geomembrane* ditempatkan di atas dan di sisi bangunan jalan dengan tujuan menghindari terjadinya interupsi air pada musim hujan ke tanah. Pada musim kemarau, *geomembrane* juga mencegah terjadinya penguapan yang berlebihan sehingga retak-retak pada tanah dapat dicegah.

b. *Geomembrane* Sebagai Pelapis Dinding Beton.

Bahan *geomembrane* dikombinasikan dengan konstruksi beton untuk mencegah kebocoran pada dinding beton penampung zat cair.

4. *Geocomposite*

a. *Vertical Drain.*

Adalah perpaduan antara material *geotextile non woven* dengan material *polypropylene* yang berbentuk pipih yang berfungsi mengalirkan air pori-pori dalam tanah. Dengan adanya material *Prefabricated Vertical Drain*, maka tanah diberi media untuk mengeluarkan air pori-pori tanah sehingga tanah mudah memampat jika diberi beban. Masalah penurunan yang terjadi pada lapisan tanah lunak dalam waktu yang lama merupakan kendala yang sangat sering dijumpai dalam mendirikan suatu bangunan. Dengan adanya material *PV-drain* maka penurunan dapat dipercepat sehingga tidak mengganggu keamanan konstruksi yang akan dibangun di atas lapisan tanah lunak tersebut.

b. *Horizontal Drain.*

Bahan dasarnya sama dengan *vertical drain* yaitu *geotextile non woven* dengan material *polypropylene*, hanya bentuknya lebih tebal dan lebih lebar. Aplikasinya antara lain untuk drainasi bawah tanah yang sering ditempatkan di lapangan sepak bola, lapangan golf atau pada bahu-bahu jalan permanen.

2.7.2 Karakteristik *Geotextile*

Bahan *geotextile* terdiri dari serat-serat, oleh sebab itu karakteristik dari serat-serat tersebut perlu diperhatikan. Adapun karakteristik yang dimaksud adalah yang meliputi karakteristik fisik, mekanik, hidrolik dan ketahanan.

1. Karakteristik fisik.

Karakteristik fisik meliputi:

- a. Massa per satuan volume (*specific gravity*), didefinisikan sebagai perbandingan antara massa bahan sintetik dengan volume bahan sintetik.
- b. Massa per satuan luas (*mass per unit area*), adalah massa dari lembaran geosintetik persatuan luas dengan satuan yang digunakan g/m^2 . Massa per satuan luas *geotextile* umumnya berkisar 50 – 70 g/m^2 untuk kelas ringan dan bahkan sampai 700 – 800 g/m^2 untuk yang lebih berat.
- c. Tebal (*thickness*), merupakan jarak antara permukaan ke bagian bawah geosintetik yang diukur dengan tekanan tertentu.

2. Karakteristik Mekanik.

Karakteristik mekanik meliputi:

- a. Kompresibilitas
- b. Kuat tarik (*tensile strength*)

3. Karakteristik Hidrolik

Karakteristik hidrolik meliputi:

- a. Porositas (*porosity or opening size of fabrics*). Sifat penting yang berhubungan dengan fungsi drainasi dari *geotextile* adalah porositas atau ukuran lubang bukaan pada *geotextile*.
- b. *Apparent Opening Size (AOS)*, adalah sebuah ukuran yang menunjukkan diameter tertentu pada lubang-lubang geosintetik.
- c. *Percent Open Area (POA)*, yaitu perbandingan antara *total open area* (lubang antara benang seluruhnya) dengan *total specimen area* (seluruh permukaan). *Permeability*, adalah koefisien rembesan air tanah arah normal bidang geosintetik (tegak lurus bidang geosintetik).

- d. *Permittivity*, adalah harga koefisien permeabilitas arah normal bidang untuk tiap satuan tebal geosintetik.
- e. *Transmissivity*, adalah koefisien rembesan air arah sejajar bidang geosintetik, untuk tebal tertentu dan geosintetik yang digunakan.

4. Karakteristik Ketahanan (*Endurance Properties*).

Yaitu, untuk mengetahui perilaku *geotextile* terhadap waktu. Biasanya dilakukan beberapa uji antara lain:

- a. *Resistance to chemical reagent*.
- b. *Resistance to light and weather*.
- c. *Resistance to temperature*.
- d. *Burial deterioration of fabrics*.

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Umum

Penambahan beban diatas suatu permukaan tanah dapat menyebabkan lapisan tanah dibawahnya mengalami pemampatan. Pemampatan tersebut disebabkan oleh adanya deformasi partikel tanah, dan keluarnya air atau udara dari dalam pori tanah. Beberapa atau semua faktor tersebut mempunyai hubungan dengan keadaan tanah yang bersangkutan.

Secara umum, penurunan (*settlement*) pada tanah yang disebabkan oleh pembebanan dapat dibagi dalam dua kelompok, yaitu :

1. Penurunan Konsolidasi (*Consolidation Settlement*).

Merupakan penurunan yang disebabkan oleh perubahan volume tanah jenuh air sebagai akibat dari keluarnya air yang menempati pori-pori tanah terjadi pada lapisan lempung. Penurunan ini terjadi secara lambat laun sehingga merupakan fungsi dari waktu dan penurunan ini juga merupakan penurunan jangka panjang.

2. Penurunan Segera (*Immediate Settlement*).

Merupakan penurunan yang disebabkan oleh deformasi elastis tanah kering, basah dan jenuh air tanpa adanya perubahan kadar air terjadi pada lapisan lempung, pasir. Penurunan ini terjadi segera setelah beban bekerja pada tanah, serta terjadi dalam waktu relatif sangat singkat. (Braja M. Das, 1988)

3.2 Pengujian Sifat Fisik Tanah

Pengujian sifat fisik tanah sangat perlu dilakukan untuk menentukan besarnya nilai parameter tanah. Pengujian sifat fisik tanah yang dilaksanakan meliputi pengujian-pengujian berikut:

3.2.1 Kadar Air Tanah (w)

Kadar air tanah (w) adalah nilai perbandingan antara berat air dalam suatu tanah dengan berat kering tanah tersebut. Kadar air dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut.

$$w = \frac{W_w}{W_s} \times 100\% \quad (3.1)$$

dengan:

w = kadar air (%)

W_w = berat air (gr)

W_s = berat tanah kering (kg)

3.2.2 Berat Volume Tanah (γ)

Berat volume tanah adalah nilai perbandingan antara berat tanah termasuk air yang terkandung di dalamnya dengan volume tanah total. Pada penelitian ini menggunakan berat volume tanah basah (γ_b).

$$\gamma_b = \frac{W}{V} \text{ (gr/cm}^3\text{)} \quad (3.2)$$

dengan:

W = berat tanah total (gr)

V = volume tanah total (cm³)

3.2.3 Berat Jenis Tanah (G_s)

Berat jenis tanah adalah nilai perbandingan berat butir-butir tanah dengan berat air destilasi di udara dengan volume yang sama pada temperatur tertentu. Biasanya diambil pada temperatur 27,5° C. Berat jenis dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut.

Berat jenis tanah pada temperatur 27,5° C adalah:

$$G_s(27,5^\circ) = \gamma(t) \times \frac{\text{berat jenis air pada } t^\circ\text{C}}{\text{berat jenis air pada } 27,5^\circ\text{C}} \quad (3.3)$$

dengan:

$\gamma(t)$ = berat volume butiran padat pada suhu t °C

$$= \frac{W_s}{V_s}$$

W_s = berat butir tanah

V_s = volume butiran padat

Tabel 3.1 Berat spesifik mineral-mineral penting (Braja M. Das, 1988)

Mineral	Berat spesifik G_s
Quartz (kwarsa)	2,65
Kaolinite	2,60
Illite	2,80
Montmorillonite	2,65 – 2,80
Halloysite	2,00 – 2,55
Potassium feldspar	2,57
Sodium and calcium feldspar	2,62 – 2,76
Chlorite	2,60 – 2,90
Biotite	2,80 – 3,20
Muscovite	2,76 – 3,10
Hornblende	3,00 – 3,47
Limonite	3,60 – 4,00
Olivine	3,27 – 3,37

Sebagian besar dari mineral yang umum terdapat pada tanah mempunyai berat spesifik berkisar antara 2,6 sampai dengan 2,9 seperti yang terlihat pada tabel 3.1. Berat spesifik dari bagian padat tanah pasir yang berwarna terang, umumnya sebagian besar terdiri dari *quartz*, diperkirakan sebesar 2,65. Untuk tanah berlempung atau berlanau, harga tersebut berkisar antara 2,6 sampai 2,9.

3.2.4 Batas-batas Konsistensi

Batas cair tanah adalah kadar air tanah pada keadaan batas antara cair dan plastis. Batas cair untuk mengetahui sifat-sifat tanah dari bagian tanah yang mempunyai ukuran butir lolos saringan nomer 40, dapat dicari dengan menggunakan metoda *Casagrande*. Tanah dianggap dalam keadaan plastis apabila dapat dibentuk atau diolah menjadi suatu bentuk yang baru tanpa mengalami keretakan pada permukaannya, kadar air pada keadaan tersebut merupakan batas plastis dari suatu tanah.

Selisih antara batas cair dengan batas plastis disebut indeks plastisitas (*IP*) dan merupakan rentang kadar air dimana tanah berperilaku dalam keadaan plastis.

$$IP = LL - PL \quad (3.4)$$

dengan:

IP = indeks plastisitas (%)

LL = batas cair (%)

PL = batas plastis (%)

Indeks plastisitas akan merupakan interval kadar air dimana tanah masih bersifat plastis, indeks plastis juga menunjukkan sifat keplastisan tanahnya. Jika tanah mempunyai interval kadar air daerah plastis yang kecil, maka tanah disebut

dengan tanah kurus. Sebaliknya, jika tanah mempunyai interval kadar air daerah plastis yang besar disebut tanah gemuk. Batasan mengenai indeks plastis, sifat, macam tanah, dan kohesinya diberikan dalam tabel 3.2.

Tabel 3.2 Nilai indeks plastis dan macam tanah (Hary CH, 1992)

Indeks Plastisitas (%)	Sifat	Macam tanah	Kohesi
0	Nonplastis	Pasir	Nonkohesif
< 7	Plastisitas rendah	Lanau	Kohesif sebagian
7 – 17	Plastisitas sedang	Lempung berlanau	Kohesif
> 17	Plastisitas tinggi	Lempung	Kohesif

Batas susut tanah didefinisikan sebagai kadar air pada kondisi antara daerah semi padat dan padat, yaitu prosentase kadar air dimana pengurangan kadar air selanjutnya tidak mengakibatkan perubahan volume tanah. Batas susut dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$SL = \left(\frac{V_o}{W_o} - \frac{1}{G_s} \right) \times 100\% \quad (3.5)$$

dengan:

SL = batas susut (%)

W_o = berat tanah kering (gr)

V_o = volume tanah kering (cm³)

G_s = berat jenis tanah (gr/cm³)

3.2.5 Analisis Granular

Ada dua macam pengujian yang dilakukan pada pengujian Analisis Granular, yaitu:

1. Analisis Hidrometer

Analisis Hidrometer digunakan untuk ukuran partikel-partikel berdiameter lebih kecil dari 0,075 mm. Analisis Hidrometer didasarkan pada prinsip sedimentasi (pengendapan) butir-butir tanah dalam air. Bila suatu contoh tanah dilarutkan dalam air, partikel-partikel tanah akan mengendap dengan kecepatan yang berbeda-beda tergantung pada bentuk, ukuran dan beratnya. Untuk mudahnya dapat dianggap bahwa semua partikel tanah berbentuk bola dan kecepatan mengendap dari partikel-partikel tersebut dapat dinyatakan dalam hukum Stokes (Braja M. Das, 1998). Dari hukum Stokes didapat:

$$D = K \sqrt{\frac{L}{T}} \text{ (mm)} \quad (3.6)$$

dengan:

K = konstanta yang besarnya dipengaruhi oleh temperatur (t° C), suspensi dan berat jenis butir tanah (G_s)

L = kedalaman efektif yang nilainya ditentukan oleh jenis hidrometer yang dipakai dan pembacaan hidrometer pada suspensi yang dipakai

T = saat pembacaan pada menit ke T

Sedangkan persentase berat dengan ukuran yang lebih kecil dari D terhadap berat kering seluruh tanah yang diperiksa adalah:

$$P = \frac{R \cdot a}{W} \times 100\% \quad (3.7)$$

dengan:

R = pembacaan hidrometer terkoreksi

W = jumlah berat tanah dalam suspensi tersebut

a = angka koreksi untuk hidrometer 152 H terhadap berat jenis butir

2. Analisis Saringan

Analisis Saringan digunakan untuk partikel-partikel berdiameter lebih besar dari 0,075 mm. Analisis Saringan adalah menyaring dan menggetarkan contoh tanah melalui satu set ayakan dimana lubang-lubang tersebut makin kecil secara berurutan. Hasil-hasil dari Analisis Saringan biasanya dinyatakan dalam persentase dari berat total.

Hasil dari Analisis Hidrometer dan Analisis Saringan umumnya digambarkan dalam kertas semilogaritmik yang dikenal sebagai Kurva Distribusi Ukuran Butiran (*Particle Size Distribution Curve*). Diameter partikel (butiran) digambarkan dalam skala logaritma, dan persentase dari butiran yang lolos ayakan digambarkan dalam skala hitung biasa. Ada tiga parameter yang dapat ditentukan dari kurva tersebut, dan parameter-parameter tersebut dapat digunakan untuk mengklasifikasikan tanah berbutir kasar, yaitu:

- a. Ukuran Efektif (*Effective Size*)
- b. Koefisien Keseragaman (*Uniformity Coefficient*)
- c. Koefisien Gradasi (*Coefficient of Gradation*)

Diameter dalam Kurva Distribusi Ukuran Butiran yang bersesuaian dengan 10% yang lebih halus (lolos saringan) didefinisikan sebagai Ukuran Efektif atau D_{10} . Koefisien Keseragaman diberikan dengan hubungan:

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad (3.8)$$

dengan:

C_u = koefisien Keseragaman

D_{60} = diameter yang bersesuaian dengan 60% lolos saringan yang ditentukan dari

Kurva Distribusi Ukuran Butiran

Koefisien Gradasi dinyatakan sebagai:

$$C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{60} \cdot D_{10}} \quad (3.9)$$

dengan:

C_c = koefisien Gradasi

D_{30} = diameter yang bersesuaian dengan 30% lolos saringan

3.3 Pengujian Sifat Mekanis Tanah

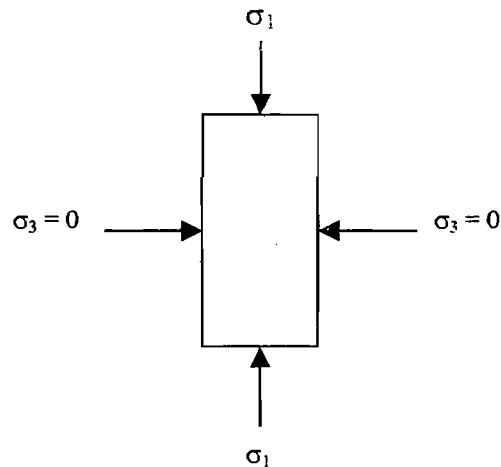
Pengujian terhadap sifat mekanis tanah yang dilaksanakan meliputi pengujian-pengujian berikut:

3.3.1 Kuat Tekan Bebas

Kuat tekan bebas tanah adalah besarnya tekanan *axial* (kg/cm^2) yang diperlukan untuk menekan suatu silinder tanah sampai pecah atau besarnya tekanan yang memberikan pemendekan tanah hingga 20%, apabila tanah sampai pemendekan 20% tersebut tidak pecah.

Pada pengujian kuat tekan bebas, kondisi pembebanannya sama dengan yang terjadi pada pengujian *triaxial*. Benda uji hanya akan menerima tegangan normal σ_1 , sedangkan tegangan selnya nol ($\sigma_3 = 0$). Tegangan aksial di atas benda uji berangsur-angsur ditambah sampai benda uji mengalami keruntuhan. Dengan demikian proses pengujian harus berlangsung cepat sampai keruntuhan. Pengujian

ini hanya cocok untuk jenis tanah lempung jenuh, dimana pada pembebanan cepat, air tidak sempat mengalir ke luar dari benda ujinya.



Gambar 3.1 Skema pengujian tekan bebas (Hary CH, 1992)

Nilai sudut gesek dalam tanah (ϕ), kuat tekan bebas tanah (qu) dan kohesi tanah (c) berturut-turut dapat ditentukan dengan rumus-rumus berikut:

$$\phi = 2(\alpha - 45^\circ) \quad (3.10)$$

$$qu = \frac{P}{A} \quad (3.11)$$

$$c = \frac{qu}{2\text{tg}\alpha} \quad (3.12)$$

dengan:

α = sudut pecah sampel tanah

ϕ = sudut gesek dalam

c = kohesi tanah

P = beban maksimum (kg)

A = luas penampang sampel tanah (cm^2)

q_u = kuat tekan bebas (kg/cm^2)

3.3.2 Konsolidasi

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

Bila suatu lapisan tanah yang merupakan lapisan tanah lempung jenuh air yang mampumampat (*compressible*) diberi penambahan tegangan, maka penurunan (*settlement*) akan terjadi dengan segera. Koefisien rembesan tanah lempung adalah sangat kecil bila dibandingkan dengan koefisien rembesan pasir, sehingga penambahan tekanan air pori yang disebabkan oleh pembebanan akan berkurang secara lambat laun dalam waktu yang sangat lama. Jadi untuk tanah lempung terjadinya konsolidasi atau perubahan volume yang disebabkan oleh keluarnya air dari dalam pori akan terjadi sesudah penurunan segera. Penurunan konsolidasi tersebut biasanya jauh lebih besar dan lebih lama serta lambat bila dibandingkan dengan penurunan segera.

Karena tanah lempung mempunyai daya rembes yang sangat rendah dan air adalah tidak termampatkan (*incompressible*) dibandingkan dengan butiran

tanah, pada saat $t = 0$, seluruh penambahan tegangan ($\Delta\sigma$) akan dipikul oleh air ($\Delta\sigma = \Delta u$) pada seluruh kedalaman lapisan tanah. Tidak sedikitpun dari penambahan tegangan tersebut dipikul oleh butiran tanah. Jadi penambahan tegangan efektif pada butiran tanah dapat diabaikan, atau $\Delta\sigma' = 0$. Sesaat setelah terjadi penambahan tegangan ($\Delta\sigma$) pada lapisan tanah lempung, air dalam ruang pori mulai tertekan dan akan mengalir ke luar dalam dua arah menuju bagian/daerah yang bertegangan lebih rendah. Dengan proses ini, tekanan air pori pada tiap-tiap kedalaman pada lapisan tanah lempung akan berkurang secara perlahan-lahan, dan tegangan yang dipikul oleh butiran tanah (tegangan efektif) akan bertambah. Jadi pada saat $0 < t < \infty$, $\Delta\sigma = \Delta\sigma' + \Delta u$ ($\Delta\sigma' > 0$ atau $\Delta u < \Delta\sigma$).

Besarnya $\Delta\sigma'$ dan Δu pada tiap-tiap kedalaman adalah tidak sama, tergantung pada jarak minimum yang harus ditempuh oleh air pori untuk mengalir ke lapisan pasir yang berada di atas atau di bawah lapisan tanah lempung. Secara teori, pada saat $t = \infty$, seluruh kelebihan tekanan air pori sudah hilang dari tanah lempung, jadi $\Delta u = 0$. Maka penambahan tegangan total ($\Delta\sigma$) akan sepenuhnya dipikul oleh butiran tanah, jadi $\Delta\sigma = \Delta\sigma'$.

Proses keluarnya air dari dalam pori-pori tanah secara perlahan-lahan, sebagai akibat dari adanya penambahan beban, yang disertai dengan pemindahan kelebihan tekanan air pori ke tegangan efektif akan menyebabkan terjadinya penurunan yang merupakan fungsi dari waktu (*time-dependent settlement*) pada lapisan tanah lempung.

1. Uji Konsolidasi Satu Dimensi



Prosedur untuk melakukan uji konsolidasi satu-dimensi pertama-tama diperkenalkan oleh Terzaghi. Uji tersebut dilakukan di dalam sebuah konsolidometer. Contoh tanah diletakkan di dalam cincin logam dengan dua buah batu berpori diletakkan di atas dan di bawah contoh tanah tersebut. Ukuran contoh tanah yang digunakan biasanya adalah diameter 2,5 inci (63,5 mm) dan tebal 1 inci (25,4 mm). Pembebanan pada contoh tanah dilakukan dengan cara meletakkan beban pada ujung sebuah balok datar dan pemampatan diukur dengan menggunakan skala ukur dengan skala mikrometer. Tiap-tiap beban biasanya diberikan selama 24 jam. Penambahan beban dinaikkan sampai dua kali lipat beban sebelumnya. Pada saat percobaan selesai, berat kering dari contoh tanah ditentukan.

Pengujian konsolidasi bertujuan untuk:

- a. Mempelajari hubungan antara beban P dan penurunan, antara beban P dengan perubahan angka pori (e) untuk menentukan C_c .
- b. Mempelajari kecepatan penurunan dengan waktu bagi setiap tahap beban untuk menentukan C_v .

2. Hubungan Angka Pori dan Tekanan

Setelah mendapatkan grafik antara waktu dan pemampatan untuk besar pembebanan yang bermacam-macam dari percobaan di laboratorium, selanjutnya dicari perubahan angka pori terhadap tekanan. Langkah-langkah pelaksanaannya adalah:

- a. Hitung tinggi butiran padat (H_s)

$$H_s = \frac{W_s}{A \cdot G_s \cdot \gamma_w} \quad (3.13)$$

dengan:

W_s = berat kering contoh tanah

A = luas penampang contoh tanah

G_s = berat spesifik contoh tanah

γ_w = berat volume air

- b. Hitung tinggi awal dari ruang pori (H_v)

$$H_v = H - H_s \quad (3.14)$$

dengan:

H = tinggi awal contoh tanah

- c. Hitung angka pori awal (e_0)

$$e_0 = \frac{V_v}{V_s} = \frac{H_v \cdot A}{H_s \cdot A} = \frac{H_v}{H_s} \quad (3.15)$$

- d. Untuk penambahan beban pertama P_1 (kg/cm^2), yang menyebabkan penurunan ΔH_1 , hitung perubahan angka pori Δe_1 :

$$\Delta e_1 = \frac{\Delta H_1}{H_s} \quad (3.16)$$

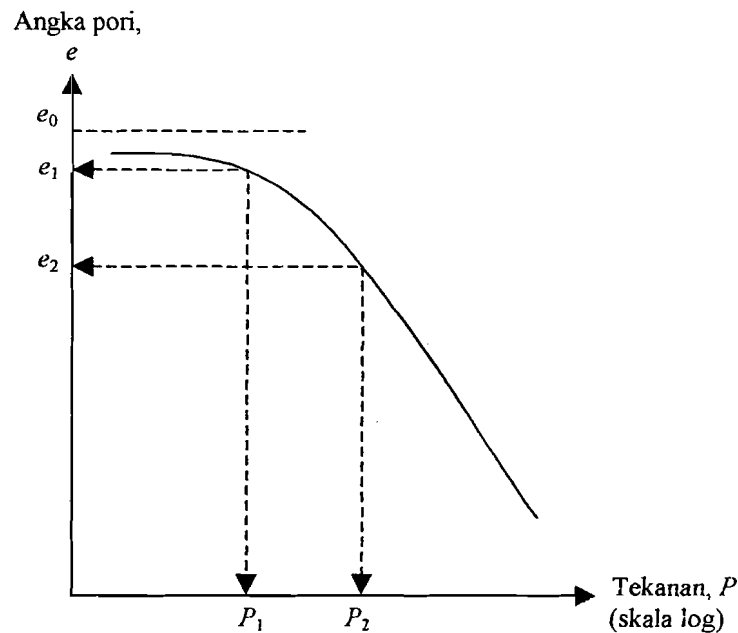
ΔH_1 didapatkan dari pembacaan awal dan akhir pada skala ukur untuk beban sebesar P_1 .

- e. Hitung angka pori yang baru (e_1) akibat penambahan beban P_1 .

$$e_1 = e_0 - \Delta e_1 \quad (3.17)$$

Untuk beban P_2 (kg/cm^2), yang menyebabkan penambahan pemampatan sebesar ΔH_2 , angka pori (e_2) dapat dihitung:

$$e_2 = e_1 - \frac{\Delta H_2}{H_s} \quad (3.18)$$



Gambar 3.2 Bentuk grafik e versus $\log P$

Dengan melakukan cara yang sama, angka pori pada saat akhir konsolidasi untuk semua penambahan beban dapat diperoleh. Tekanan total (P) dan angka pori (e) pada akhir konsolidasi digambar pada kertas semi-logaritma. Bentuk umum dari grafik e versus $\log P$ ditunjukkan pada gambar 3.2.

3. Koefisien Konsolidasi

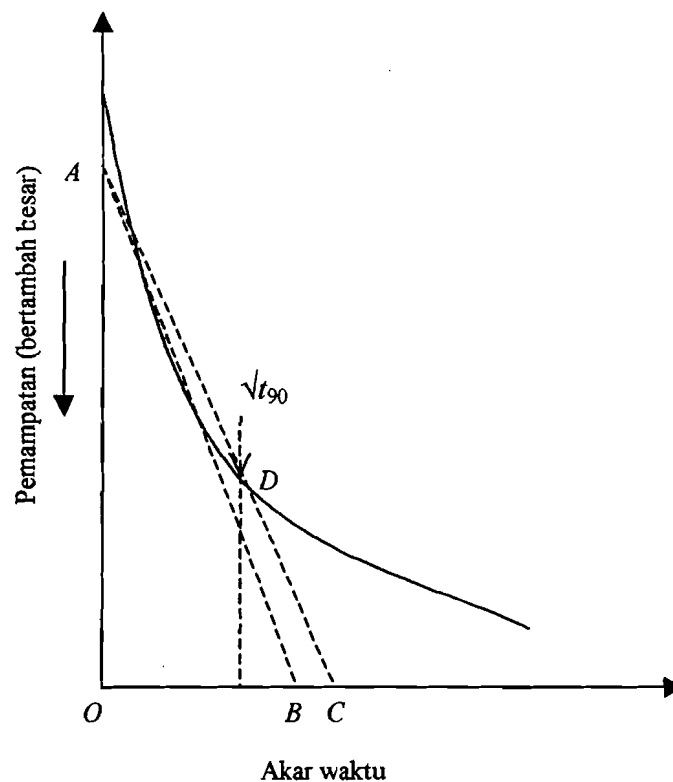
Koefisien konsolidasi (C_v) biasanya akan berkurang dengan bertambahnya batas cair (LL) dari tanah. Rentang dari variasi harga C_v untuk suatu batas cair tanah tertentu adalah agak lebar.

Untuk suatu penambahan beban yang diberikan pada suatu contoh tanah, ada dua metode grafis yang umum dipakai untuk menentukan koefisien konsolidasi (C_v) dari uji konsolidasi satu-dimensi di laboratorium. Salah satu dari metode tersebut dinamakan metode logaritma-waktu (*logarithm-of-time method*)

yang diperkenalkan oleh Casagrande dan Fadum (1940), metode yang satunya dinamakan metode akar-waktu (*square-root-of-time method*) yang diperkenalkan oleh Taylor (1942).

Prosedur umum untuk mendapatkan harga C_v dengan metode akar-waktu pada gambar 3.3 adalah sebagai berikut:

- Grafik pemampatan vs akar waktu dibuat untuk tiap-tiap penambahan beban.
- Gambar suatu garis AB melalui bagian awal dari kurva.
- Gambar suatu garis AC sehingga $OC = 1,15 OB$. Absis titik D , yang merupakan perpotongan antara garis AC dan kurva konsolidasi, memberikan harga akar waktu untuk tercapainya konsolidasi 90% ($\sqrt{t_{90}}$).



Gambar 3.3 Metode akar-waktu

d. Untuk konsolidasi 90%, $U_{90} = 0,848$ jadi:

$$U_{90} = 0,848 = \frac{C_v \cdot t_{90}}{d^2}, \text{ atau}$$

$$C_v = \frac{0,848 \cdot d^2}{t_{90}} \quad (3.19)$$

dengan:

C_v = koefisien konsolidasi arah vertikal

t_{90} = waktu untuk tercapainya konsolidasi 90%

d = H_{dr} untuk aliran satu arah

= $\frac{1}{2} H_{dr}$ untuk aliran dua arah

H_{dr} = panjang aliran rata-rata yang ditempuh oleh air pori

3.4 Tegangan Prakonsolidasi, Terkonsolidasi Normal dan Terkonsolidasi Lebih

Tanah dalam sejarah geologinya, pernah dibebani sama atau lebih besar dibandingkan dengan beban yang diterima sekarang. Hal tersebut dikarenakan tanah mengalami sedimentasi, sehingga terjadi penambahan beban, atau mengalami erosi sehingga mengalami pengurangan beban. Tekanan efektif maksimum yang pernah diterima tanah tersebut akibat beban di atasnya disebut *tekanan prakonsolidasi* (P_c'), sedangkan tekanan efektif yang diterima tanah sekarang akibat beban di atasnya disebut *tekanan efektif overburden* (P_o'). Untuk mencari besarnya tekanan prakonsolidasi (P_c') digunakan cara Casagrande, (Braja M. Das, 1988). Perbandingan nilai tekanan prakonsolidasi dengan tekanan efektif

vertikal pada saat tanah diselidiki menghasilkan dua kondisi yang didasarkan pada sejarah geologinya, yaitu:

1. Terkonsolidasi secara normal (*Normaliy Consolidation/ NC*), dimana tekanan efektif overburden adalah merupakan tekanan maksimum yang pernah dialami tanah tersebut.
2. Terkonsolidasi lebih (*Overconsolidated/ OC*), dimana tekanan efektif overburden lebih kecil dari tekanan prakonsolidasi yang pernah dialami tanah tersebut.

Overconsolidated Ratio (*OCR*) suatu tanah didefinisikan sebagai:

$$OCR = \frac{P'_c}{P'_o} \quad (3.20)$$

dimana:

P'_c = tekanan prakonsolidasi

P'_o = tekanan vertikal efektif pada saat tanah tersebut diselidiki

- Apabila $OCR > 1$, tanah termasuk terkonsolidasi lebih.
- Apabila $OCR \approx 1$, tanah termasuk terkonsolidasi secara normal.

3.5 Indeks Pemampatan dan Nilai Penurunan pada NC-Soil dan OC-Soil

Seperti yang telah dijelaskan diatas, bahwa penurunan konsolidasi disebabkan oleh keluarnya air pori dari pori-pori tanah, akibat adanya penambahan tekanan. Dari pengujian pembebanan di laboratorium, dimana pengujian tersebut dilakukan dengan satu arah pembebanan (vertikal), diperoleh besarnya penurunan yaitu:

$$Sc = \epsilon_z \times H_o = \epsilon_v \times H_o \quad (3.21)$$

$$\varepsilon_z = \frac{dH}{H_o} \dots\dots\dots \text{ untuk vertical strain}$$

$$\varepsilon_v = \frac{dV}{V_o} \dots\dots\dots \text{ untuk volume strain}$$

dH menunjukkan perubahan dari tinggi sampel tanah, sedangkan dV menunjukkan perubahan tinggi volume tanah. Dari pengujian pembebanan tersebut diperoleh perubahan tinggi dari sampel tanah sebesar dH . Dengan persamaan (3.21) didapatkan:

$$\frac{dV}{V_o} = \frac{\Delta e}{(1+e_o)} \quad (3.22)$$

Dari persamaan (3.21) dan (3.22) diperoleh besarnya penurunan adalah:

$$S_c = H_o \cdot \frac{\Delta e}{(1+e_o)} \quad (3.23)$$

Hasil percobaan di laboratorium dapat dibuat grafik hubungan antara nilai air pori pada sumbu vertikal dan $\log \sigma'_c$ pada sumbu horisontal. Gradien kemiringan disebut juga Compression Index (C_c). Gradien kemiringan pada grafik tersebut adalah:

$$C_c = \frac{\Delta e}{\Delta \log \sigma'_c} \quad (3.24)$$

$$\Delta e = C_c \cdot \Delta \log \sigma'_c \quad (3.25)$$

Dari persamaan (3.23) dan (3.25) didapat persamaan konsolidasi yaitu:

$$S_c = \frac{H_o}{(1+e_o)} \cdot C_c \cdot \Delta \log \sigma'_c \quad (3.26)$$

Nilai C_c diatas adalah nilai C_c laboratorium. Untuk perencanaan, nilai C_c yang dipakai adalah nilai C_c lapangan. Cara mencari C_c lapangan dapat dilihat pada

gambar 3.4 untuk NC-Soil dan gambar 3.5 untuk OC-Soil. Rumus penurunan konsolidasi pada prinsipnya sama, perbedaannya terletak pada nilai Δe .

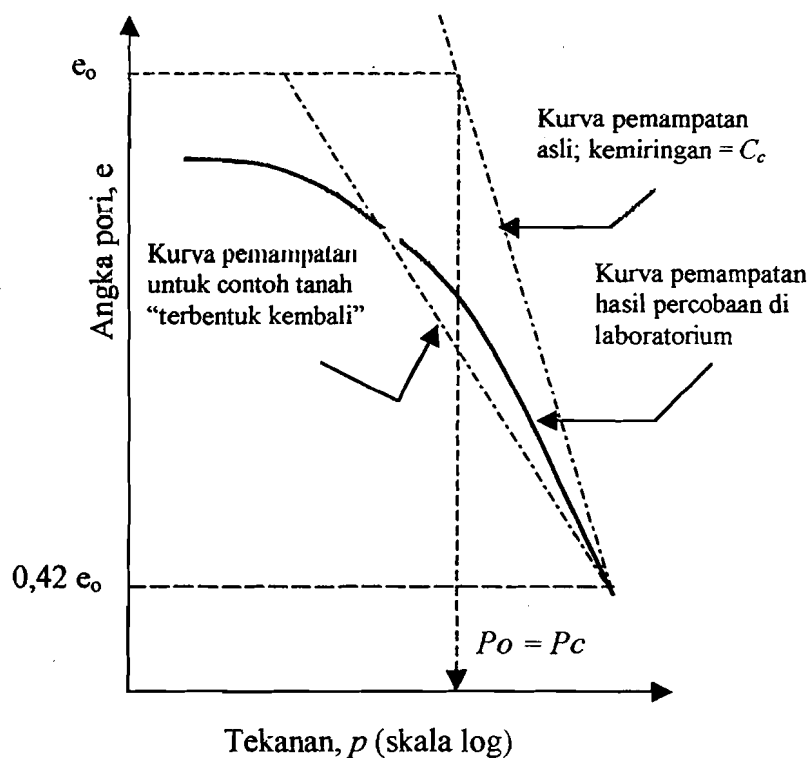
Secara umum untuk NC-Soil, besarnya penurunan konsolidasi dapat diperkirakan dengan:

$$S_c = \frac{C_c \cdot H_o}{(1 + e_o)} \cdot \log \left(\frac{\sigma_o' + \Delta \sigma}{\sigma_o'} \right) \quad (3.27)$$

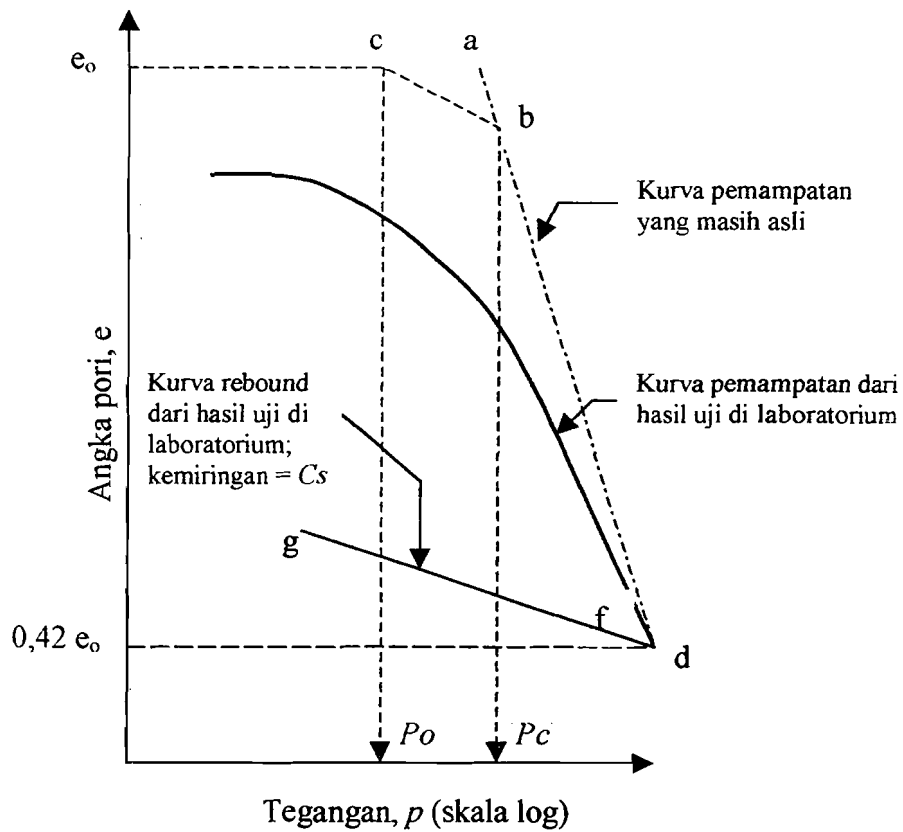
dimana:

S_c = besarnya pemampatan yang terjadi

C_c = indeks pemampatan



Gambar 3.4 Karakteristik kondisi lempung yang terkonsolidasi secara normal (Braja M. Das, 1988)



Gambar 3.5 Karakteristik kondisi lempung yang terlalu terkonsolidasi
(Braja M. Das, 1988)

H_o = tebal lapisan tanah

σ'_o = tegangan overburden efektif

$\Delta\sigma$ = penambahan beban vertikal (beban luar)

e_o = angka pori awal

Untuk OC-Soil, perkiraan besarnya penurunan konsolidasi dapat dibedakan dua kondisi yaitu:

1. Apabila $(\sigma'_o + \Delta\sigma) < \sigma'_c$

$$S_c = \frac{C_s \cdot H_o}{(1 + e_o)} \cdot \log \left(\frac{\sigma'_o + \Delta\sigma}{\sigma'_o} \right) \quad (3.28)$$

2. Apabila $(\sigma'_o + \Delta\sigma) > \sigma'_c$

$$S_c = \frac{C_s \cdot H_o}{(1 + e_o)} \log \frac{\sigma'_c}{\sigma'_o} + \frac{C_c \cdot H_o}{(1 + e_o)} \log \left(\frac{\sigma'_o + \Delta\sigma}{\sigma'_c} \right) \quad (3.29)$$

dimana:

C_s = indek pengembangan

σ'_c = tegangan prakonsolidasi

Apabila lapisan tanah terdiri dari beberapa lapisan, untuk lebih teliti lapisan tanah dibagi menjadi beberapa lapisan (sub-lapisan) dan perhitungan penurunan dilakukan secara terpisah untuk tiap-tiap lapisan. Jadi besar pemampatan total seluruh lapisan:

$$S_c = \sum_{i=1}^n S_{ci} \quad (3.30)$$

dimana :

n = jumlah lapisan tanah

S_{ci} = besar pemampatan konsolidasi untuk lapisan no i

Proses selesainya pemampatan konsolidasi pada lapisan tanah lempung yang tebal berlangsung sangat lama, perbandingan antara pemampatan tanah pada saat t dengan pemampatan total yang terjadi disebut *derajat konsolidasi*. Nilai derajat konsolidasi ini antara 0% sampai 100%, derajat konsolidasi pada saat t dapat dituliskan dengan persamaan sebagai berikut:

$$U = \frac{S_t}{S_\infty} \times 100\% \quad (3.31)$$

dimana :

U = derajat konsolidasi

S_t = pemampatan pada saat t

S_∞ = pemampatan total yang terjadi

Lama waktu untuk proses pemampatan konsolidasi dapat dihitung dengan persamaan:

$$t = \frac{T_v \cdot d^2}{C_v} \quad (3.32)$$

dimana:

t = lama waktu yang dibutuhkan pemampatan konsolidasi

T_v = faktor waktu

d = panjang aliran yang dilalui air pori untuk mengalir ke luar

= H untuk arah 1 aliran

= $\frac{1}{2} H$ untuk arah 2 aliran

H = tebal tanah lunak yang mampu mampat

C_v = koefisien konsolidasi aliran air arah vertikal

Harga dari faktor waktu (T_v) berhubungan dengan derajat konsolidasi, nilai dari faktor waktu tersebut diberikan sebagai berikut:

- Untuk $U = 0\%$ s/d 60%

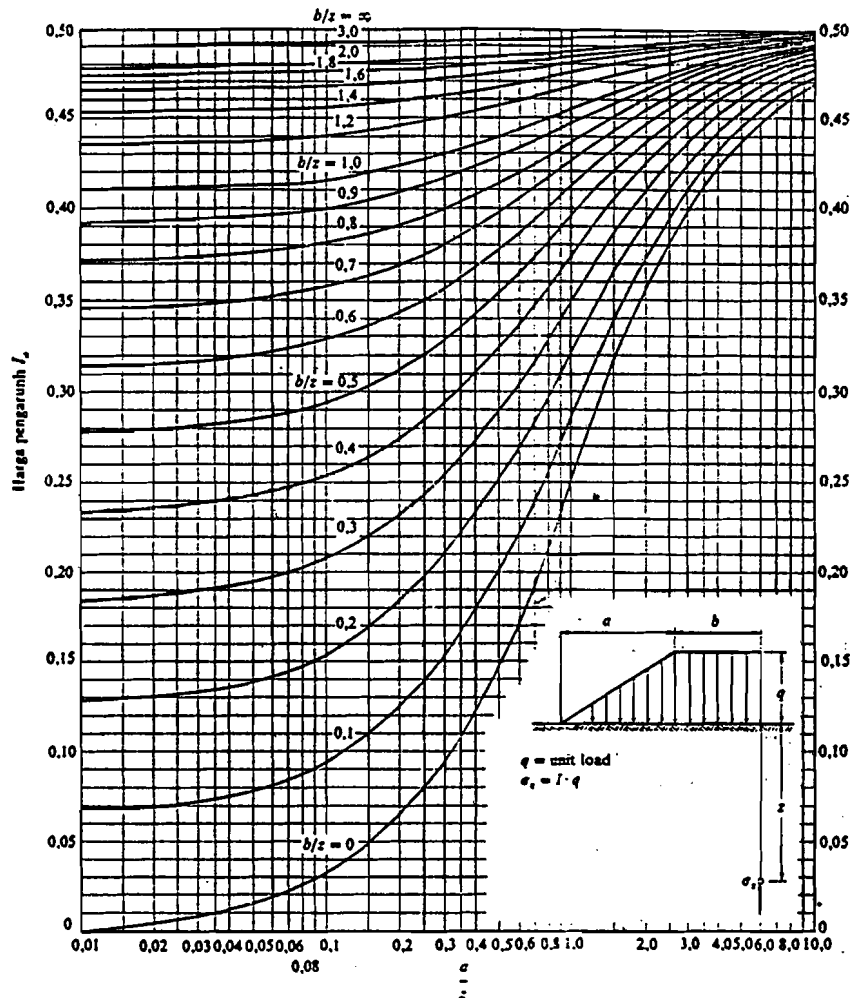
$$T_v = \frac{\pi}{4} \left(\frac{U\%}{100} \right)^2 \quad (3.33)$$

- Untuk $U > 60\%$

$$T_v = 1,781 - 0,933 \log (100 - U\%) \quad (3.34)$$

3.6 Distribusi Tegangan di Dalam Tanah

Suatu lapisan tanah akan mengalami kenaikan tegangan yang diakibatkan oleh beban yang bekerja di permukaan tanah. Kenaikan tegangan yang disebabkan oleh beban luar yang bekerja di permukaan tanah akan didistribusikan secara menyebar oleh massa tanah, jadi semakin dalam suatu lapisan tanah maka tegangan yang diterima akibat beban luar akan semakin kecil.



Gambar 3.6 Kurva untuk menentukan harga I_z untuk beban *embankment* dengan panjang tak terhingga (Suyono S, 1980)

Besarnya penambahan tegangan (σ_z) yang diakibatkan beban embankment dapat ditentukan dengan persamaan Boussinesq untuk beban berbentuk trapesium.

Besarnya σ_z pada kedalaman z adalah:

$$\sigma_z = l_z \cdot q_0 \quad (3.35)$$

dimana:

l_z = faktor pengaruh merupakan fungsi dari kedalaman z dan ukuran embankment

q_0 = beban embankment = $H \cdot \gamma_{\text{timbunan}}$

H = tinggi *embankment*

γ_{tim} = berat volume tanah timbunan

Kurva pada gambar 3.6 digunakan untuk menentukan harga l_z untuk *embankment* dengan panjang yang tak terhingga.

3.7 *Preloading* dengan *Vertical Drain*

Metode perbaikan pada tanah lempung (lunak) dengan cara meningkatkan daya dukungnya antara lain dengan metode *preloading* (pemberian beban awal). Dengan metode *preloading*, tanah dasar yang akan digunakan akan termampatkan sehingga daya dukung tanah dasar akan lebih baik dan pemampatan yang terjadi pada saat konstruksi didirikan akan lebih kecil atau hilang sama sekali. Untuk merencanakan beban *preloading* yang harus diperhitungkan adalah:

1. Besar pemampatan yang harus dihilangkan.
2. Daya dukung tanah dasar dalam menerima beban.
3. Waktu yang tersedia untuk perbaikan daya dukung tanah dasar.

Besar pemampatan yang akan terjadi akibat pembebanan sangat tergantung pada besar beban yang diberikan dan perilaku kemampumampatan tanahnya. Besar pemampatan akibat proses konsolidasi dapat dicari dengan menggunakan persamaan (3.27), persamaan (3.28) atau persamaan (3.29). Untuk mengetahui lamanya pemampatan yang terjadi digunakan persamaan (3.32).

3.7.1 Menentukan Beban *Preloading*

Secara garis besar, urutan cara menentukan besar dan lama waktu *preloading* dapat diuraikan sebagai berikut:

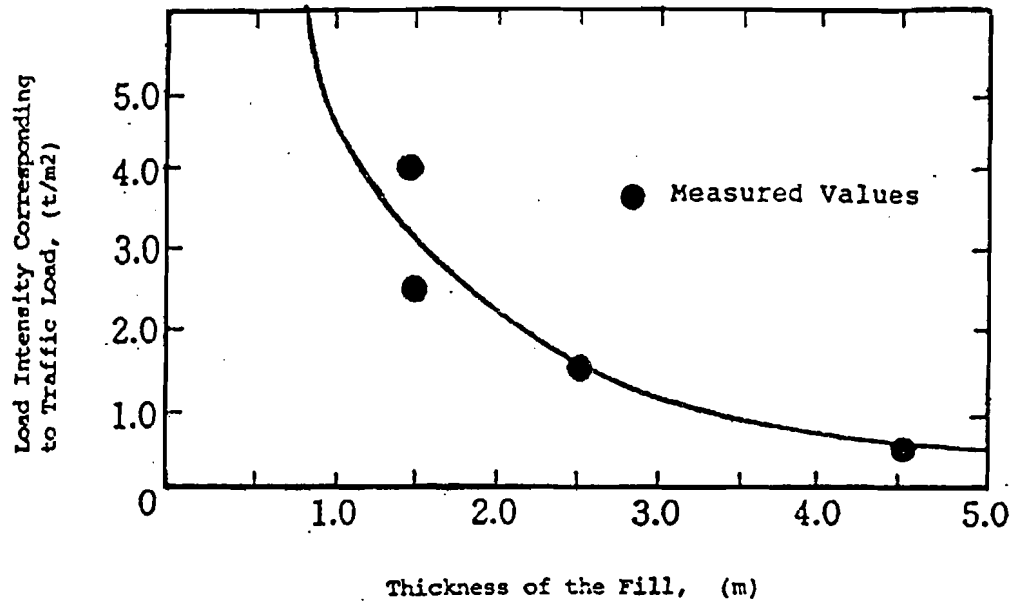
1. Memperkirakan besar penurunan akibat timbunan yang direncanakan dengan menggunakan persamaan (3.27), (3.28) atau (3.29), misalkan tinggi timbunan adalah L dan besar pemampatan yang akan terjadi $S_{cx} = \Delta H_s$.
2. Menentukan beban *surchage*. Beban *surchage* merupakan beban yang harus diberikan untuk menghilangkan pemampatan yang disebabkan oleh beban *traffic* dan pemampatan sekunder selama pengoperasian jalan. Cara menentukan beban *surchage* yaitu:
 - a. Dari perhitungan pada langkah No. 1 didapatkan bahwa total pemampatan yang akan terjadi = ΔH_s , sedang tinggi timbunan rencana = L .
 - b. Agar beban timbunan adalah tetap (untuk kondisi muka air tanah = muka tanah), maka tambahan timbunan yang harus diberikan yaitu setinggi:

$$\Delta L_1 = \frac{\Delta H_s \cdot \gamma_w}{\gamma_{\text{timbunan}}} \quad (3.36)$$

dengan demikian tinggi timbunan yang diperhitungkan untuk menghitung beban *surchage* adalah:

$$L' = L + \Delta L_1 \quad (3.37)$$

Besarnya beban *surchage* dapat ditentukan dengan menggunakan kurva hubungan antara tebal timbunan dengan *intensity load* yang bersesuaian dengan *traffic load*, seperti yang diberikan pada gambar 3.7.



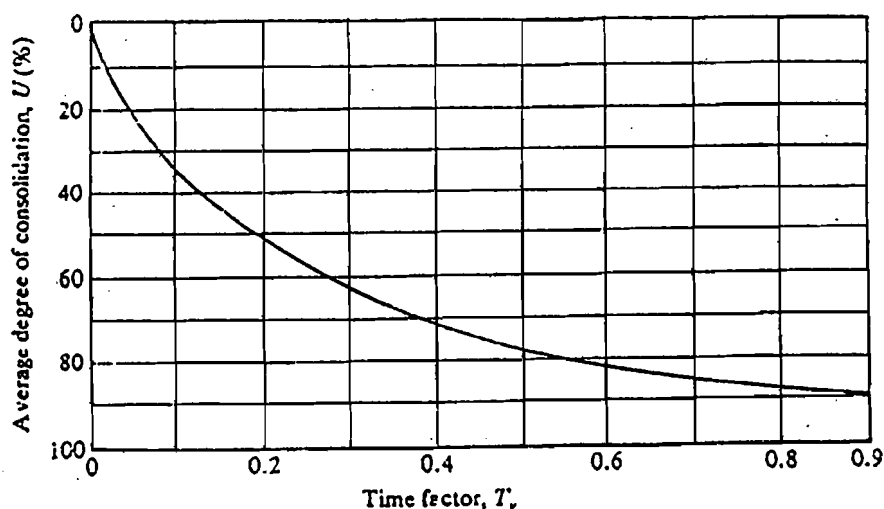
Gambar 3.7 Kurva hubungan antara tebal timbunan dengan *intensitas load* yang bersesuaian dengan beban *traffic* (Japan Road ASSOC, 1986)

Apabila tinggi beban *surchage* yang didapatkan dari grafik adalah $= \Delta L_2$, maka tinggi timbunan yang dipakai untuk perhitungan pemampatan selanjutnya adalah:

$$L'' = L + \Delta L_2 \quad (3.38)$$

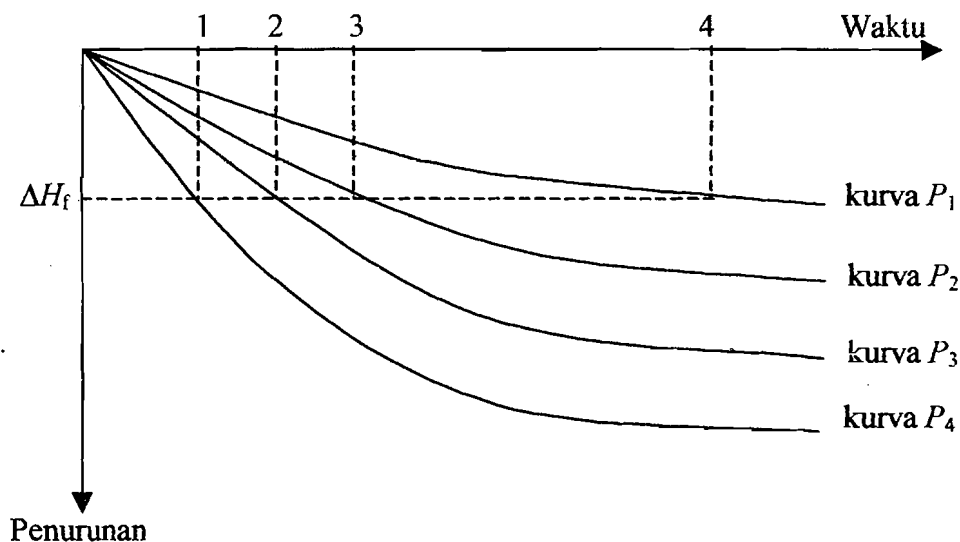
3. Menghitung pemampatan konsolidasi yang disebabkan oleh timbunan dan beban *surchage* setinggi L'' , misalkan besarnya adalah ΔH_f .
4. Membuat grafik hubungan antara penurunan (ΔH) dengan beban untuk waktu penurunan yang berbeda-beda, caranya adalah sebagai berikut:

- a. Memilih beban preloading, misalnya $P_1, P_2, P_3, \dots, P_n$.
- b. Memperkirakan besar penurunan akibat beban preloading yang dipilih pada langkah No.4a dengan menggunakan persamaan yang telah diberikan, misalkan besar penurunan akibat beban preloading yang dipilih tersebut adalah masing-masing $\Delta H_1, \Delta H_2, \Delta H_3, \dots, \Delta H_n$.
- c. Memilih waktu pemberian beban preloading, misalkan $t_1, t_2, t_3, \dots, t_n$.
- d. Menghitung faktor waktu T_v untuk waktu yang dipilih pada langkah No.4c, dan untuk masing-masing beban yang dipilih pada langkah No.4c, dengan menggunakan persamaan (3.32).
- e. Menghitung derajat konsolidasi rata-rata ($U_{\text{rata-rata}}$) untuk masing-masing harga T_v yang telah dihitung pada No.4d, harga $U_{\text{rata-rata}}$ dapat ditentukan dengan persamaan (2.33) atau persamaan (2.34), atau kurva hubungan antara U vs T_v gambar 3.8.



Gambar 3.8 Kurva hubungan antara $U_{\text{rata-rata}}$ dengan faktor waktu T_v
(Braja M. Das, 1988)

- f. Menentukan besar penurunan akibat masing-masing beban preloading yang dipilih pada langkah No.4a dan untuk waktu yang dipilih pada langkah No.4c dengan menggunakan harga derajat konsolidasi rata-rata yang telah ditentukan pada langkah No.4e.
- g. Menggambar hasil perhitungan yang telah dilakukan pada langkah No.4f seperti yang diberikan pada gambar 3.9.



Gambar 3.9 Kurva hubungan antara beban dan penurunan untuk waktu penurunan yang berbeda-beda (Indra Surya, 1988)

5. Menentukan besar beban *preloading* dan lama waktu pembebanannya dengan cara menggambar garis horisontal pada gambar 3.9 untuk penurunan sebesar ΔH_f seperti terlihat dalam gambar 3.9. Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa untuk menghilangkan penurunan sebesar ΔH_f beberapa alternatif besar beban dan waktu telah tersedia, makin pendek waktu yang tersedia untuk perbaikan tanah, makin besar beban timbunan yang harus diberikan.

3.7.2 Peningkatan Daya Dukung Tanah

Pemampatan lapisan tanah dasar akibat beban preloading akan mengakibatkan kekuatan geser undrained (C_u) meningkat, sehingga daya dukung tanah menjadi lebih besar. Besarnya peningkatan kekuatan geser tanah dapat dicari dengan persamaan:

Bila $U = 90\%$

$$\begin{aligned} \log \frac{\sigma_{90}}{\sigma_{oi}} &= 0,9 \log \left(\frac{\Delta\sigma_i + \Delta\sigma_{oi}}{\sigma_{oi}} \right) \\ \frac{\sigma_{90}}{\sigma_{oi}} &= \left(\frac{\Delta\sigma_i + \Delta\sigma_{oi}}{\sigma_{oi}} \right)^{0,9} \\ \sigma_{90} &= \sigma_{oi} \left(\frac{\Delta\sigma_i + \sigma_{oi}}{\sigma_{oi}} \right)^{0,9} \end{aligned} \quad (3.39)$$

Jadi:

$$C_u = 0,22 \times \sigma_{90} \quad (3.40)$$

3.8 Percepatan Pemampatan dengan *Vertical Drain*

3.8.1 Waktu Pemampatan tanpa *Vertical Drain*

Terzaghi (1925) memperkenalkan teori yang pertama kali mengenai kecepatan konsolidasi satu dimensi untuk tanah lempung yang jenuh air. Penurunan matematis dari persamaan tersebut didasarkan pada anggapan-anggapan berikut:

1. Tanah adalah homogen.
2. Tanah benar-benar jenuh.
3. Kemampumampatan air diabaikan.
4. Kemampumampatan butiran tanah diabaikan.

5. Aliran air vertikal saja.
6. Hukum Darcy berlaku.

Konsolidasi merupakan proses perubahan volume tanah yang disertai dengan keluarnya air pori pada jangka waktu tertentu. Besar konsolidasi pada suatu waktu (t) dengan derajat konsolidasi (U) sebagai berikut:

$$U = \frac{S_t}{S} \quad (3.41)$$

dimana :

U = derajat konsolidasi rata-rata.

S_t = penurunan lapisan lempung pada saat t .

S = penurunan total lapisan lempung.

Variasi derajat konsolidasi rata-rata terhadap faktor yang tak berdimensi T_v , diberikan dalam tabel 3.3 yang berlaku untuk keadaan dimana tekanan air pori awal (u_o) adalah sama untuk seluruh kedalaman lapisan yang mengalami konsolidasi.

Terzaghi (1925) memberikan harga faktor waktu dan derajat konsolidasi rata-rata yang bersesuaian dengan keadaan yang diberikan dalam tabel 3.3 dapat dinyatakan dengan suatu hubungan, yaitu:

- Untuk $U = 0\%$ s/d 60%

$$T_v = \frac{\pi}{4} \left(\frac{U\%}{100} \right)^2$$

- Untuk $U > 60\%$

$$T_v = 1,781 - 0,933 \cdot \log(100 - U\%)$$

Dari hubungan diatas dapat diasumsikan sebagai berikut:

$$T_v = \frac{t \cdot H^2}{C_v} \quad (3.42)$$

dimana:

T_v = faktor waktu

C_v = koefisien konsolidasi arah vertikal

t = waktu konsolidasi

H = tebal lapisan tanah

Tabel 3.3 Variasi Faktor Waktu terhadap Derajat Konsolidasi
(Braja M. Das, 1988)

Derajat Konsolidasi $U\%$	Faktor Waktu T_v
0	0
10	0,008
20	0,031
30	0,071
40	0,126
50	0,197
60	0,287
70	0,403
80	0,567
90	0,848
100	∞

3.8.2 Waktu Pemampatan dengan *Prefabricated Vertical Drain*

Metoda drainasi vertikal telah dijelaskan oleh Barron (1948) berdasarkan teori aliran pasir vertikal yang menggunakan asumsi teori Terzaghi tentang konsolidasi linear satu-dimensi. Teori Barron menjelaskan beberapa anggapan sebagai berikut:

1. Lempung jenuh air dan homogen.

2. Semua regangan tekan (*compressive strain*) dalam tanah bekerja arah vertikal.
3. Aliran air pori horisontal, tidak ada aliran arah vertikal.
4. Kebenaran hukum Darcy tentang koefisien permeability (k) pada semua lokasi.
5. Air dan butiran tanah relatif tak termampatkan dibandingkan dengan kemampumampatan struktur susunan partikel tanah lempung.
6. Beban tambahan pada mulanya diterima oleh air pori sebagai tegangan air pori (μ).
7. Pada *vertical drain* tidak terjadi tegangan pori yang melebihi tegangan hidrostatik.
8. Daerah pengaruh aliran dari setiap *drain* berbentuk silinder.

Teori Barron (1948) menetapkan hubungan antara waktu, diameter *drain*, jarak antara *drain*, koefisien konsolidasi, dan rata-rata derajat konsolidasi. Penentuan waktu konsolidasi dari teori Barron, dapat dibuat persamaan sebagai berikut:

$$t = \left(\frac{D^2}{8 \cdot C_h} \right) \cdot F(n) \cdot \ln \left(\frac{1}{1 - U_h} \right) \quad (3.43)$$

Persamaan (3.43) diatas kemudian dikembangkan lagi oleh Hansbo (1979) untuk *PV-drain*. Teori Hansbo tersebut mendekati teori Barron, tetapi lebih disederhanakan dengan memasukkan dimensi fisik dan karakteristik dari *PV-drain*.

Fungsi $F(n)$ merupakan fungsi hambatan akibat jarak antara titik-titik pusat *PV-drains*. Oleh Hansbo, harga $F(n)$ didefinisikan sebagai berikut:

$$F(n) = \left(\frac{n^2}{n^2 - 1} \right) \cdot \ln(n) - \left(\frac{3n^2 - 1}{4n^2} \right), \text{ atau}$$

$$F(n) = \left(\frac{n^2}{n^2 - 1} \right) \cdot \ln(n) - \frac{3}{4} + \left(\frac{1}{4n^2} \right) \quad (3.44)$$

dimana:

$$n = \frac{D}{dw}$$

D = diameter *equivalen* dari lingkaran tanah yang merupakan pengaruh dari *PV-drain*.

$D = 1,13$ s untuk pola susunan bujursangkar, dan

$D = 1,05$ s untuk pola susunan segitiga.

dw = diameter *equivalen* dari *vertical drain* terhadap bentuk lingkaran.

Pada umumnya $n > 20$ sehingga dapat dianggap $\frac{1}{n^2} = 0$ dan $\left(\frac{n^2}{n^2 - 1} \right) = 1$

jadi:
$$F(n) = \ln(n) - \frac{3}{4}, \text{ atau}$$

$$F(n) = \ln\left(\frac{D}{dw}\right) - \frac{3}{4} \quad (3.45)$$

Hansbo (1986) menentukan waktu konsolidasi dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$t = \left(\frac{D^2}{8 \cdot C_h} \right) \cdot (F(n) + F_s + F_r) \cdot \ln\left(\frac{1}{1 - U_h}\right) \quad (3.46)$$

dimana:

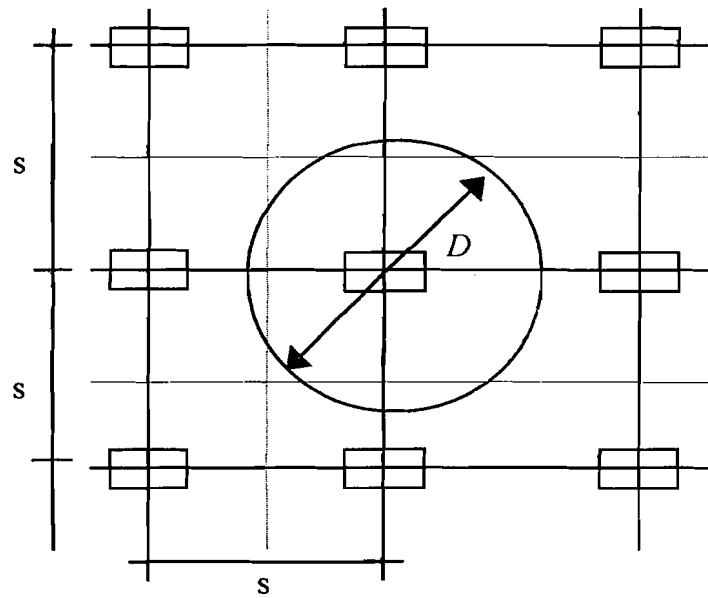
t = waktu yang diperlukan untuk mencapai U_h

D = diameter *equivalen* lingkaran.

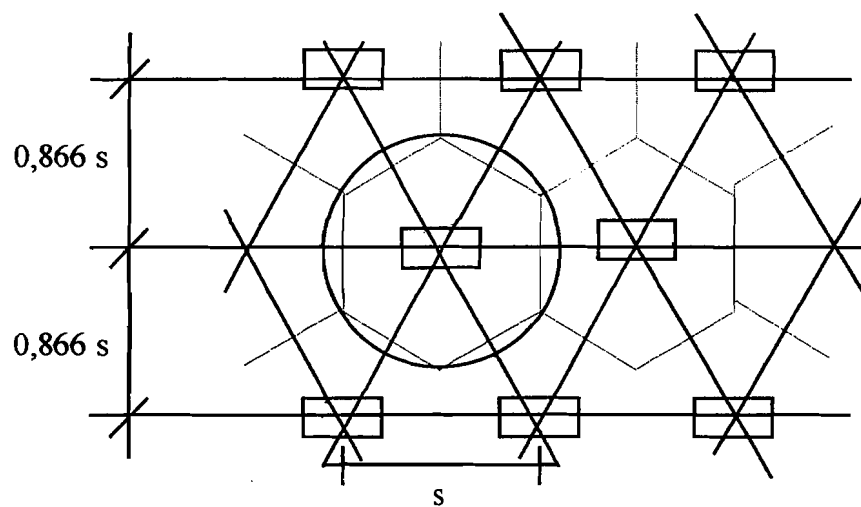
= $1,13 s$ untuk pola susunan bujursangkar.

= $1,05 s$ untuk pola susunan segitiga.

s = jarak antara titik pusat *PV-drain*.

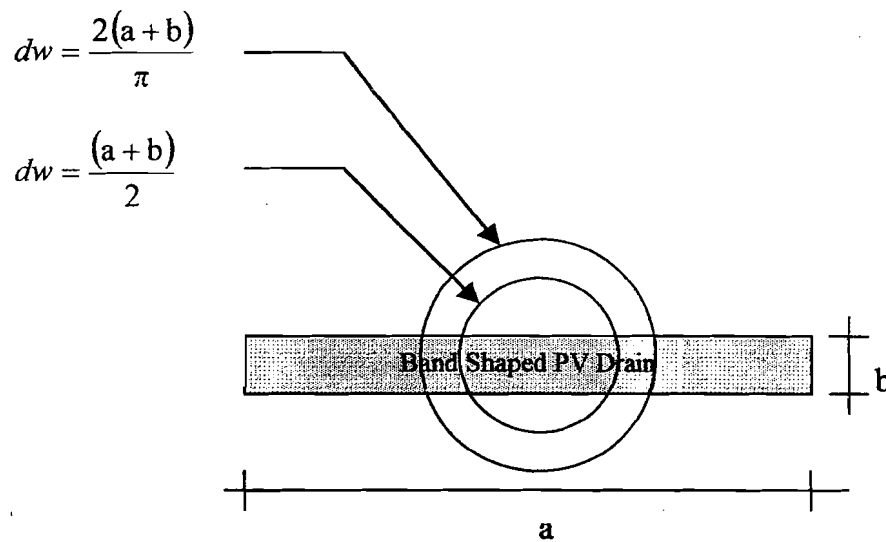


a) Pola susunan bujursangkar $D = 1,13 s$



b) Pola susunan segitiga $D = 1,05 s$

Gambar 3.10 Dua pola susunan pemasangan *vertical drain*



Gambar 3.11 *Equivalen diameter PV-drain*

C_h = koefisien konsolidasi aliran horisontal.

$$C_h = \frac{kh}{kv} \cdot C_v \quad (3.47)$$

kh/kv = perbandingan antara koefisien permeabilitas arah horisontal dan vertikal untuk tanah lempung yang jenuh air, harga (kh/kv) berkisar antara 2 sampai 5.

$F(n)$ = faktor hambatan disebabkan jarak antara *PV-drain*.

F_s = faktor hambatan tanah yang terganggu (*disturbed*).

F_r = faktor hambatan akibat gangguan pada *PV-drain* sendiri.

U_h = derajat konsolidasi tanah arah horisontal.

Harga F_r merupakan faktor tahanan akibat adanya gangguan pada *PV-drain* sendiri dan dirumuskan sebagai berikut:

$$F_r = \pi \cdot z(L-z) \left(\frac{kh}{qw} \right) \quad (3.48)$$

dimana:

z = kedalaman titik yang ditinjau pada *PV-drain* terhadap permukaan tanah.

L = panjang drain.

kh = koefisien permeabilitas arah horisontal dalam tanah yang tidak terganggu (*undisturbed*).

qw = kapasitas *discharge* dari *drain* (tergantung dari jenis *PV-drain*).

F_s merupakan faktor yang disebabkan oleh ada tidaknya perubahan pada tanah disekitar lubang *PV-drain* akibat pemancangan *PV-drain*. Faktor tersebut memasukkan pengaruh *disturbance* (gangguan) terhadap tanah karena pemancangan tersebut. F_s dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$F_s = \left(\frac{kh}{k_s} - 1 \right) \cdot \ln \left(\frac{ds}{dw} \right) \quad (3.49)$$

dimana:

k_s = koefisien permeabilitas arah horisontal pada tanah sudah terganggu (*disturbed*).

ds = diameter daerah yang terganggu sekeliling *PV-drain*.

dw = *equivalen* diameter.

Dalam persamaan (3.46) adanya faktor F_s dan F_r cenderung memperlambat kecepatan konsolidasi. Dari penyelidikan Hansbo diketahui bahwa faktor yang paling penting adalah $F(n)$. Besar faktor (F_s) dapat mendekati atau bahkan sedikit lebih besar dari pada $F(n)$, tergantung dari besarnya kerusakan pada tanah akibat pemancangan *PV-drain*. Dari data lapangan didapatkan harga $F_s/F(n)$ dapat berkisar antara 1 sampai 3. Untuk memudahkan perencanaan maka dapat

diasumsikan bahwa $F(n) = F_s$. Pengaruh perlawanan aliran (Fr) umumnya kecil dan tidak begitu penting, maka harga Fr dapat dianggap nol.

Dengan memasukkan anggapan-anggapan diatas persamaan (3.46) berubah menjadi:

$$t = \left(\frac{D^2}{8 \cdot C_h} \right) \cdot 2F(n) \cdot \ln \left(\frac{1}{1 - U_h} \right) \quad (3.50)$$

dimana :

t = waktu yang diperlukan untuk mencapai U_h .

D = diameter *equivalen* lingkaran.

C_h = koefisien konsolidasi aliran horisontal.

$F(n)$ = faktor tahanan akibat jarak antara *PV-drain*.

U_h = derajat konsolidasi arah horisontal.

Pemasangan *vertical drain* membuat arah aliran air pori menjadi dua arah yaitu arah radial dan arah vertikal, oleh sebab itu derajat konsolidasi tanah dengan adanya *vertical drain* tersebut merupakan derajat konsolidasi rata-rata, yang besarnya dapat dihitung dengan persamaan:

$$(1 - U) = (1 - U_v) \cdot (1 - U_h) \quad (3.51)$$

dimana:

U = derajat konsolidasi tanah rata-rata

U_v = derajat konsolidasi tanah akibat aliran air pori arah vertikal

U_h = derajat konsolidasi tanah akibat aliran pori arah horisontal

3.8.3 Waktu Pemampatan dengan *Vertical Sand Drain*

Karena bentuknya yang sangat *permeable*, drainasi pasir vertikal dapat sekaligus mempercepat pemampatan konsolidasi primer. Rumus yang digunakan untuk menghitung kecepatan waktu konsolidasi dapat mengikuti rumus umum *vertical drain* oleh Barron (1948), persamaan (3.43) yaitu :

$$t = \left(\frac{D^2}{8 \cdot C_h} \right) \cdot F(n) \cdot \ln \left(\frac{1}{1 - U_h} \right) \quad (3.52)$$

$$F(n) = \left(\frac{n^2}{n^2 - 1} \right) \cdot \ln(n) - \frac{3}{4} + \left(\frac{1}{4n^2} \right) \quad (3.53)$$

dimana:

D = diameter *equivalen* dari lingkaran tanah yang menjadi daerah pengaruh aliran *vertical sand drain*.

= 1,13 s untuk pola susunan bujursangkar.

= 1,05 s untuk pola susunan segitiga.

s = jarak antara pusat *vertical sand drain*.

$$n = \frac{D}{dr}$$

dr = diameter *sand drain*.

C_h = koefisien permeabilitas arah horisontal.

U_h = derajat konsolidasi tanah arah horisontal.

Harga derajat konsolidasi rata-rata dari tanah U mengikuti persamaan berikut:

$$U = 1 - (1 - U_h) \cdot (1 - U_v) \quad (3.54)$$

BAB IV

METODE PENELITIAN

4.1 Rencana Penelitian

Rencana penelitian merupakan pekerjaan awal sebagai rangkaian pelaksanaan penelitian. Rencana penelitian meliputi menguasai materi yang akan dianalisis untuk penulisan tugas akhir, pembuatan proposal dan koordinasi untuk pekerjaan di lapangan dan pekerjaan di laboratorium untuk mencari nilai parameter tanah asli.

4.2 Prosedur *Sampling*

Prosedur *sampling* meliputi pengambilan tanah lempung tidak terganggu (*undisturb*) atau yang benar-benar asli di daerah Kasongan. Pengambilan tanah dilakukan dengan teknik pelaksanaan dan pengamatan yang tepat, agar kerusakan-kerusakan terhadap contoh tanah dapat dibatasi sekecil mungkin. Untuk penelitian sifat-sifat tanah, pengambilan sampel tanah dilaksanakan dengan menggunakan tabung yang mempunyai diameter 6,83 cm dan tinggi 45 cm.

Langkah-langkah pengambilan sampel tanah tidak terganggu (prosedur *sampling*) adalah sebagai berikut:

1. Menentukan lokasi tanah yang akan diambil untuk sampel.
2. Mempersiapkan alat-alat untuk pekerjaan pengambilan tanah.
3. Melakukan pengeboran sampai kedalaman 1 meter.
4. Mengambil sampel dengan cara menekan tabung dalam tanah.

5. Memutar-mutar tabung kemudian mengangkat tabung tersebut.
6. Mulut tabung dilapisi dengan plastik dan ditutup rapat.
7. Mengulang pekerjaan langkah No. 3 sampai No. 6 untuk kedalaman 1,5 m dan 2 m dari permukaan tanah.

4.3 Pengujian Sifat Fisik Tanah

Pengujian laboratorium yang berupa pemeriksaan sifat fisik tanah lempung Kasongan adalah mengikuti beberapa pengujian berikut:

4.3.1 Pengujian Kadar Air Tanah

Pengujian kadar air tanah (ASTM D 2216-71) dimaksudkan untuk menentukan kadar air sampel tanah. Kadar air tanah adalah nilai perbandingan antara berat air dalam suatu tanah dengan berat kering tanah tersebut.

1. Peralatan
 - a. Cawan timbang
 - b. Timbangan ketelitian 0,01 gram
 - c. *Oven*
 - d. *Desikator*
2. Benda Uji

Benda uji berupa tanah basah yang tidak terusik.
3. Prosedur Pengujian
 - a. Bersihkan cawan, kemudian ditimbang beserta tutupnya dan catat beratnya (W_1) gram.

- b. Masukkan contoh tanah ke dalam cawan yang akan diperiksa kemudian ditimbang bersama tutupnya (W_2) gram.
- c. Dalam keadaan terbuka dimasukkan ke dalam *oven*, aturlah suhu *oven* constan antara $105^\circ - 110^\circ$ C selama 16 – 24 jam.
- d. Setelah di *oven* tanah didinginkan dalam *desikator*, kemudian bersama tutupnya ditimbang (W_3) gram.
- e. Hitung kadar air (w) dengan menggunakan rumus:

$$w = \frac{(W_2 - W_3)}{(W_3 - W_1)} \times 100\% \quad (4.1)$$

4.3.2 Pengujian Berat Volume Tanah

Pengujian berat volume tanah (ASTM D 2216) dimaksudkan untuk menentukan berat volume tanah basah. Berat volume tanah adalah nilai perbandingan antara berat tanah termasuk air yang terkandung di dalamnya dengan volume tanah total.

1. Peralatan

- a. Timbangan ketelitian 0,01 gram
- b. *Ring* berat volume dari baja
- c. *Califer*
- d. Pisau perata

2. Benda Uji

Benda uji berupa tanah basah yang tidak terusik.

3. Prosedur Pengujian

- a. *Ring* dibersihkan kemudian ditimbang dengan timbangan ketelitian 0.01 gram (W_1).
- b. Ukur diameter (d) dan tinggi *ring* (t) kemudian dihitung volumenya (V).
- c. Oleskan oli pada sisi *ring* sebelah dalam dan luarnya kemudian *ring* dimasukkan ke dalam sampel tanah dengan cara menekan.
- d. Ratakan permukaan tanah rata dengan permukaan *ring*, serta bersihkan sisi luarnya dengan kain, kemudian ditimbang (W_2).
- e. Berat volume tanah dihitung dengan rumus:

$$\gamma = \frac{(W_1 - W_2)}{V} \quad (4.2)$$

4.3.3 Pengujian Berat Jenis Tanah

Pengujian berat jenis tanah (ASTM D 854-72) dimaksudkan untuk menentukan berat jenis suatu sampel tanah. Berat jenis tanah adalah nilai perbandingan berat butir-butir tanah dengan berat air destilasi di udara dengan volume yang sama pada temperatur tertentu. Biasanya diambil pada temperatur 27,5° C.

1. Peralatan

- a. Piknometer dengan kapasitas 25 cc atau 50 cc
- b. Timbangan dengan ketelitian 0,01 gram
- c. Air destilasi bebas udara
- d. *Oven*
- e. *Desikator*
- f. Termometer

- g. Cawan porselin (mortar) dengan pestel (penumbuk berkepala karet)
 - h. Saringan No. 10
 - i. Kompor pemanas
2. Benda Uji
- a. Benda uji dikeringkan dengan *oven* selama 24 jam.
 - b. - Sampel tanah kering oven dihaluskan dengan pestel.
- Saring sampel tanah dengan ayakan No. 10.
3. Prosedur Pengujian
- a. Piknometer dibersihkan bagian luar dan dalamnya kemudian ditimbang beserta tutupnya = W_1 .
 - b. Masukkan sampel ke dalam piknometer kemudian dibersihkan bagian luarnya lalu ditimbang beserta tutupnya = W_2 .
 - c. Masukkan air destilasi kedalam piknometer sampai sepertiga dari isinya, kemudian didiamkan selama kira-kira 30 menit.
 - d. Piknometer direbus dengan hati-hati selama 10 menit dengan sesekali piknometer digoyang-goyangkan untuk membantu keluarnya gelembung udara, kemudian didinginkan sampai mencapai suhu ruangan, ± 20 jam.
 - e. Tambahkan air destilasi ke dalam piknometer sampai penuh dan ditutup. Bagian luar piknometer dikeringkan dengan kain kering. Setelah itu piknometer berisi tanah dan air ditimbang = W_3 .
 - f. Air di dalam piknometer diukur suhunya dengan termometer = $t^\circ \text{C}$.
 - g. Kosongkan piknometer kemudian isikan air destilasi sampai penuh, ditutup bagian luarnya dikeringkan dengan kain dan ditimbang = W_4 .

h. Hitung berat jenis tanah dengan menggunakan rumus:

Berat jenis tanah pada suhu $t^{\circ}\text{C}$,

$$\gamma_s = \frac{(W_2 - W_1)}{(W_4 - W_1) - (W_3 - W_2)} \quad (4.3)$$

Berat jenis tanah pada temperatur $27,5^{\circ}\text{C}$ adalah:

$$G_s(27,5^{\circ}) = \gamma_s \times \frac{\text{berat jenis tanah pada suhu } t^{\circ}\text{C}}{\text{berat jenis air pada suhu } 27,5^{\circ}\text{C}} \quad (4.4)$$

4.3.4 Pengujian Batas-Batas Konsistensi

A. Pengujian Batas Cair Tanah

Pengujian batas cair tanah (ASTM D 423-66) dimaksudkan untuk menentukan batas cair tanah. Batas cair tanah adalah kadar air tanah pada keadaan batas antara cair dan plastis.

1. Peralatan

- a. Mangkuk Casagrande
- b. *Grooving tool* (alat pembarut)
- c. Mortar (cawan porselin)
- d. Spatel (penumbuk berkepala karet/ kayu)
- e. Saringan No.40
- f. Air destilasi
- g. Satu set alat pengujian kadar air

2. Benda Uji

Sampel tanah untuk percobaan ini sebanyak ± 500 gram yang tidak mengandung butir tanah yang lebih besar dari 0,425 mm (tertahan saringan

No. 40). Bila contoh tanah mengandung butir kasar, maka tanah dikeringkan dengan dijemur, bila keadaan tanah tidak menggumpal maka langsung dapat disaring, tetapi bila contoh tanah tersebut dalam keadaan menggumpal, maka perlu ditumbuk terlebih dahulu dengan palu karet, baru kemudian disaring.

3. Prosedur Pengujian

- a. Sampel tanah yang lolos saringan No. 40 dicampur dengan air dalam cawan dan diaduk dengan pastel hingga homogen, setelah itu dimasukkan ke dalam mangkuk casagrande dan diratakan dengan spatel.
- b. Dengan menggunakan alat pembarut, tanah dibelah ditengah-tengah menjadi dua bagian.
- c. Mangkuk casagrande diputar dengan kecepatan 2 pukulan per detik sampai kedua belahan bertemu sepanjang 12,7 mm, lalu banyaknya pukulan dihitung dan dicatat.
- d. Sampel diambil sebagian dan ditimbang, kemudian dicari kadar airnya.
- e. Untuk mengetahui batas cair dilakukan 4 kali percobaan dan dibuat sedemikian rupa sehingga didapat 2 percobaan dibawah 25 kali pukulan dan 2 percobaan diatas 25 kali pukulan, lalu dibuat kurva hubungan kadar air dengan jumlah pukulan.

4. Perhitungan

- a. Hitung kadar air dari masing-masing pengujian.
- b. Membuat gambar kurva hubungan antara ketukan sebagai absis (skala log) dan kadar air sebagai ordinat (dalam persen dengan skala biasa).

- c. Tentukan titik koordinat pada setiap pengujian. Hubungkan titik-titik pengujian tersebut sehingga membentuk garis lurus.
- d. Tarik garis vertikal pada 25 ketukan sehingga memotong kurva yang berupa garis lurus, kemudian dari titik tersebut ditarik garis horisontal sehingga memotong sumbu ordinat. Titik potong pada ordinat tersebut merupakan kadar air pada batas cair sampel tanah tersebut.

B. Pengujian Batas Plastis

Pengujian batas plastis (ASTM D 424-74) dimaksudkan untuk menentukan kadar air tanah pada kondisi batas plastis. Batas plastis adalah kadar air minimum suatu sampel tanah dalam keadaan plastis.

1. Peralatan

- a. Pelat kaca
- b. *Spatula*
- c. *Wash bottle*
- d. Cawan porselin
- e. Seperangkat alat pengujian kadar air

2. Benda Uji

Sampel tanah sebanyak 15 sampai 20 gram, diambil setelah pengujian batas cair.

3. Prosedur Pengujian

- a. Membuat bola tanah dengan diameter lebih kurang 1 cm.

- b. Giling tanah di atas plat kaca dengan gerakan maju mundur dengan kecepatan 1,5 detik sampai tanah kelihatan mulai retak pada diameter 3 mm, kondisi ini menunjukkan tanah dalam keadaan plastis.
- c. Masukkan gilingan tanah tersebut ke dalam cawan timbang, kemudian dicari kadar airnya.

4. Perhitungan

- a. Kadar air dari pengujian diatas merupakan harga batas plastis sampel tanah tersebut.
- b. Hitung Indeks Plastis dengan rumus: selisih batas cair dikurangi batas plastis ($IP = LL - PL$).
- c. Jika salah satu batas plastis atau batas cair tidak dapat dilaksanakan pengujian maka tanah tersebut merupakan tanah non plastis (NP).
- d. Jika sampel tanah banyak mengandung pasir lakukan pengujian batas plastis terlebih dahulu, jika batas plastis tidak dapat dilaksanakan maka tanah tersebut non plastis (NP).
- e. Jika batas plastis tanah lebih besar atau sama dengan batas cairnya menunjukkan bahwa sampel tanah non plastis (NP).

C. Pengujian Batas Susut

Pengujian batas susut (ASTM D 427-74) dimaksudkan untuk menentukan kadar air tanah pada kondisi batas susut. Batas susut adalah kadar air tanah minimum yang masih dalam keadaan *semi solid*, dan juga merupakan batas antara keadaan *semi solid* dengan *solid*.

1. Peralatan

- a. Cawan porselin
 - b. Cawan susut terbuat dari porselin atau monel yang berbentuk bulat dan beralas datar
 - c. Pisau perata
 - d. Satu unit alat untuk menentukan volume
 - e. Satu set alat pengujian kadar air
2. Benda Uji
- Benda uji berupa tanah sisa pengujian batas cair tanah, kemudian ditambahkan air sehingga tanah berada dalam kondisi *liquid* atau cair.
3. Prosedur Pengujian
- a. Tentukan volume ring dengan mengukur tinggi (t), dan diameter (D). Bersihkan cawan susut kemudian timbang berat ring (W_1) gram. Tuangkan air raksa ke dalam cawan, ratakan permukaannya dengan plat kaca, timbang (W_2) gram.
 - b. Oleskan oli ke dalam cawan susut, kemudian masukkan adukan tanah ke dalam cawan sedikit-sedikit sambil diketok-ketok agar tidak ada udara yang terperangkap, sehingga seluruh volume cawan terisi oleh tanah. Bersihkan sisi luar cawan, kemudian timbang (W_2) gram.
 - c. Keringkan tanah di dalam *oven*, cawan dan tanah kering didinginkan lalu ditimbang (W_3) gram.
 - d. Keluarkan tanah kering dari cawan, jangan sampai pecah. Kemudian dicari volume tanah kering dengan cara mencelupkan tanah kering ke dalam mangkuk kaca berisi air raksa penuh, sehingga volume tanah kering

sama dengan berat air raksa yang tertumpah karena terdesak tanah dibagi dengan berat jenisnya.

- e. Bila benda uji telah diketahui nilai berat jenisnya, maka nilai batas susut dapat dihitung dengan rumus:

$$SL = \left(\frac{V_o}{W_o} - \frac{1}{G_s} \right) \times 100(\%) \quad (4.5)$$

dengan:

W_o = berat benda uji setelah kering.

V_o = volume benda uji setelah kering,

G_s = berat jenis tanah.

4.3.5 Pengujian Analisis Granular

A. Analisis Hidrometer

Pengujian analisis hidrometer (ASTM D 421-72) dimaksudkan untuk menentukan distribusi ukuran butir-butir untuk tanah yang tidak mengandung butir tanah tertahan oleh saringan nomer 10.

1. Peralatan

- a. Hidrometer dengan skala pembacaan antara $-0,995$ sampai $+1,030 \text{ gr/cm}^3$
- b. Hidrometer dengan skala pembacaan antara -5 sampai $+60 \text{ gr/liter}$
- c. Timbangan dengan ketelitian $0,01 \text{ gram}$
- d. Gelas silinder kapasitas 1000 cc dengan diameter $6,35 \text{ cm}$, tinggi $45,70 \text{ cm}$, dengan tanda volume 1000 cc sebelah dalam pada ketinggian $\pm 2 \text{ cm}$ dari dasar
- e. Alat pengaduk suspensi

- f. Mortar dan spatel
 - g. Termometer
 - h. *Stopwatch*
 - i. Air destilasi
 - j. Bahan reagen (*water glass*)
 - k. *Oven*
2. Benda Uji
- Benda uji berupa tanah *undisturbed* yang telah dikeringkan dalam *oven* ditimbang sebanyak 60 gr.
3. Prosedur Pengujian
- a. Bahan reagen sebanyak 2 gram dilarutkan dalam 300 cc air destilasi pada gelas ukur A.
 - b. Larutan standar dibagi menjadi dua bagian, satu bagian dimasukkan dalam tabung B kapasitas 1000 cc, dan satu bagian lagi tetap dalam gelas ukur A.
 - c. Sampel tanah sebanyak 60 gram kering *oven* dimasukkan ke dalam gelas ukur A, direndam selama ± 10 menit hingga menjadi suspensi (campuran sampel tanah dengan larutan standar).
 - d. Suspensi dimasukkan ke dalam tabung pengendapan C.
 - e. Suspensi ditabung pengendapan C dikocok sebanyak 60 kali.
 - f. Pembacaan hidrometer dilakukan setelah suspensi dikocok sebanyak 60 kali, dan saat selesai mengocok suspensi, tabung C diletakkan di meja dan saat itu dihitung sebagai T_0 .

- g. Setelah pembacaan hidrometer selesai, suhu suspensi diukur dengan termometer.
- h. Pembacaan dilakukan pada setiap menit (T) ke 2, 5, 30, 60, 250 dan 1440 menit dari T_0 .
- i. Setelah pembacaan terakhir selesai, suspensi dituangkan pada tabung C di atas saringan No. 200. Sampel tanah yang tertahan di atas saringan dicuci dan dibersihkan dengan bantuan kuas sampai air yang keluar benar-benar bersih. Hasil pencucian digunakan sebagai sampel pada Analisis Saringan setelah dijemur hingga kering.
- j. Ukuran butiran terbesar (D mm) yang ada dalam suspensi pada kedalaman efektif untuk setiap saat pembacaan, dihitung menggunakan persamaan (3.6).
- k. Persentase berat ($P\%$) butir yang kecil daripada D terhadap berat kering seluruh tanah yang diperiksa dihitung menggunakan persamaan (3.7).

B. Analisis Saringan

Pengujian analisis saringan (ASTM D 422-72) dimaksudkan untuk menentukan persentase ukuran butir tanah pada benda uji yang tertahan saringan No. 200.

1. peralatan

- a. Satu set saringan No. 10, 20, 40, 60, 140, 200, serta pan saringan
- b. Kuas
- c. Timbangan dengan ketelitian 0,01 gram
- d. Mesin getar

e. *Oven*

2. Benda Uji

Benda uji berupa butiran tanah yang tertinggal pada saringan No. 200 dari hasil pengujian Analisis Hidrometer.

3. Prosedur Pengujian

- a. Butiran tanah disaring dengan satu set saringan yang disusun dengan urutan dari atas mulai No. 10, 20, 40, 60, 140, 200 dan pan.
- b. Susunan saringan diletakkan pada mesin penggetar dan digetarkan selama 3 – 5 menit.
- c. Butir-butir tanah yang tertahan pada masing-masing saringan ditimbang.
- d. Nilai-nilai hasil saringan dimasukkan kedalam tabel Analisis Saringan.
- e. Berat butir-butir tanah yang lolos dari masing-masing saringan dihitung, berdasarkan berat butir tanah yang tertahan.
- f. Kurva Distribusi Ukuran Butiran digambar pada kertas grafik semi logaritma dengan absis diameter butiran dan ordinat persentase lolos (%).
- g. Dari Kurva distribusi Ukuran Butiran diperoleh persentase fraksi butiran lempung, lanau dan pasir.

4.4 Pengujian Sifat Mekanik Tanah

Penelitian terhadap sifat mekanik tanah meliputi pengujian-pengujian berikut:

4.4.1 Pengujian Kuat Tekan Bebas

Pengujian kuat tekan bebas (ASTM D 216-85) dimaksudkan untuk menentukan besarnya sudut gesek dalam tanah (ϕ), kohesi tanah (c), dan kuat

tekan bebas tanah (qu). Kuat tekan bebas tanah adalah besarnya tekanan *axial* (kg/cm^2) yang diperlukan untuk menekan suatu silinder tanah sampai pecah atau besarnya tekanan yang memberikan pengurangan tinggi contoh tanah hingga 20%, apabila tanah sampai pengurangan tinggi 20% tersebut tidak pecah.

1. Peralatan

- a. Mesin penekan
- b. Alat pengeluar contoh tanah (*extruder*)
- c. Tabung cetak belah
- d. Timbangan ketelitian 0,1 gr
- e. *Stopwatch*
- f. *Schatt matt* (jangka sorong)
- g. Pisau
- h. Satu unit alat pengujian kadar air

2. Benda Uji

Benda uji berupa tanah kohesif berbentuk silinder, tinggi silinder harus antara 2 sampai 3 kali diameter. Diameter minimum benda uji adalah 3,30 cm. Jika diameter benda uji $< 7,10$ cm, butir tanah terbesar yang diijinkan ada dalam benda uji adalah 1/10 kali diameter benda uji, sedangkan diameter $> 7,10$ cm, butir tanah terbesar yang diijinkan dalam benda uji adalah 1/6 kali diameter benda uji.

3. Prosedur Pengujian

- a. Tempatkan sampel tanah di atas mesin penekan secara vertikal dan sentris pada plat dasar alat tekan.

- b. Alat tekan diatur sehingga plat atas menyentuh permukaan tanah, dial penunjuk beban dan dial pengukur regangan diatur menunjukkan nol.
- c. Penekanan dilakukan sambil mengatur kecepatan pembebanan, dengan kecepatan 1% tiap menit atau 1,4 mm/menit dan pembacaan dilakukan pada interval waktu 35 detik.
- d. Pembebanan dihentikan apabila dial penunjuk beban telah mengalami penurunan dua kali, atau regangan telah mencapai 20% dari tinggi semula.
- e. Sampel yang sudah pecah, diukur sudut pecahnya (α) dengan pengukur sudut.
- f. Nilai sudut gesek dalam tanah (φ), kohesi tanah (c), dan kuat tekan bebas tanah (qu) dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$\varphi = 2(\alpha - 45^\circ) \quad (4.6)$$

$$qu = \frac{P}{A} \text{ (kg/cm}^2\text{)} \quad (4.7)$$

$$c = \frac{qu}{2\text{tg}\alpha} \text{ (kg/cm}^2\text{)} \quad (4.8)$$

4.4.2 Pengujian Konsolidasi

Pengujian konsolidasi (ASTM D 2435) dimaksudkan untuk menentukan indek pemampatan (C_c) dan koefisien konsolidasi (C_v) suatu jenis tanah, yaitu sifat-sifat perubahan isi dan proses keluarnya air dari dalam tanah yang diakibatkan adanya perubahan tekanan vertikal pada tanah tersebut.

1. Peralatan

- a. Satu set alat konsolidasi (*Oedometer*) yang terdiri dari alat pembebanan dan sel konsolidasi
 - b. Arloji pengukur dengan ketelitian 0,01mm dan panjang gerak minimal 1 cm
 - c. Beban-beban
 - d. Alat pengeluar contoh tanah (*Extruder*)
 - e. Pemotong yang terdiri dari pisau tipis dan tajam serta pisau kawat
 - f. Pemegang cincin contoh
 - g. Neraca dengan ketelitian 0,01 gram
 - h. *Oven* dengan pengatur suhu sampai 110° C
 - i. *Stopwatch*
2. Benda Uji
- a. Benda uji berupa tanah kohesif tidak terusik.
 - b. Cincin cetak atau bagian dari sel konsolidasi dibersihkan dan dikeringkan, kemudian ditimbang. Apabila tanah cukup lunak, masukkan tanah dalam cincin cetak dengan menekan cincin ke dalam tanah yang telah didorong ke luar dari tabung. Potonglah tanah rata bagian atas dan bawah cincin cetak, lalu ditimbang.
 - c. Apabila contoh tanah agak keras, contoh tanah dapat dipotong dan dibubut sehingga ukurannya sesuai dengan cincin tempat benda uji. Masukkan tanah dalam cincin konsolidasi kemudian ratakan bagian atas dan bawahnya, lalu ditimbang.

- d. Permukaan benda uji harus rata/ halus, bila belum dapat ditambah permukaannya baik bagian atas maupun bagian bawah sehingga rata/ halus.

3. Prosedur Pengujian

- a. Batu pori ditempatkan di bagian atas dan bawah cincin, sehingga benda uji yang sudah dilapisi kertas saring terapit oleh dua buah batu pori lalu dimasukkan dalam sel konsolidasi, sel konsolidasi yang berisi benda uji diletakkan pada alat konsolidasi sehingga bagian yang runcing dari lengan beban penumpu menyentuh tepat pada alat perata pembebanan pada sel konsolidasi, kemudian kedudukan arloji diatur, dibaca dan dicatat.
- b. Beban pertama dipasang pada benda uji, kemudian arloji dibaca pada saat-saat: 9,6 detik, 21,6 detik, 38,4 detik, 1 menit, 2,25 menit, 4 menit, 9 menit, 16 menit, 25 menit, 36 menit, 49 menit, 24 jam. Beban dibiarkan bekerja sampai pembacaan arloji tetap, biasanya cukup sampai 24 jam.
- c. Setelah 1 menit pembacaan, sel konsolidasi diisi air, dengan muka air kira-kira sama tinggi dengan permukaan atas benda uji, selama pengujian benda uji harus dijaga agar selalu terendam air.
- d. Setelah pembacaan menunjukkan angka yang tetap atau setelah 24 jam, catat pembacaan arloji yang terakhir. Kemudian dipasang beban kedua yang besarnya dua kali beban pertama, sehingga tekanan menjadi dua kalinya. Bacalah arloji sesuai waktu diatas.

- e. Untuk beban-beban selanjutnya dilakukan dengan cara yang sama. Beban-beban tersebut harus menimbulkan tekanan normal terhadap benda uji masing-masing sebesar: 0,25, 0,50, 1, 2, 4, dan 8 kg/cm².
- f. Setelah pembebanan maksimum dan sudah menunjukkan pembacaan tetap pembebanan dikurangi dalam dua langkah yaitu 4 kg/cm² dan 0,25 kg/cm² (beban *rebound*), setiap pembebanan harus dibiarkan bekerja sekurang-kurangnya selama 5 jam.
- g. Segera setelah pembacaan terakhir dicatat, cincin dan benda uji dikeluarkan dari sel konsolidasi lalu dikeringkan, kemudian lakukan pengujian kadar air dan hitung berat keringnya serta tinggi sampel kering.

4. Perhitungan

- a. Berat tanah basah dihitung sebelum dan sesudah pengujian dan hitung berat keringnya (B_k). Berat isi dan kadar air benda uji dihitung sebelum dan sesudah percobaan selesai.
- b. Gambarkan kurva hubungan antara akar waktu dalam menit sebagai absis dengan penurunan sebagai ordinat, untuk setiap tahap pembebanan.
- c. Menentukan nilai t_{90} bagi masing-masing tahap pembebanan, yang dapat dilakukan dengan kurva diatas dengan cara sebagai berikut:
 - 1) Tarik/ perpanjang bagian lurus awal kurva keatas sampai memotong sumbu ordinat (t_0), yaitu pada titik A.
 - 2) Tarik garis lurus sejajar sumbu absis hingga memotong garis perpanjangan kurva pada titik A, panjang garis ini merupakan garis B.

- 3) Perpanjangan garis B tersebut sebesar 0,15 A, pada ujung perpanjangan garis ini adalah titik C.
 - 4) Hubungan garis dari t_0 ketitik C, garis ini akan memotong kurva penurunan pada titik D.
 - 5) Maka titik D menunjukkan $\sqrt{t_{90}}$, dengan t_{90} adalah waktu untuk mencapai konsolidasi 90%.
- d. Hitung koefisien konsolidasi, C_v (cm²/menit) bagi masing-masing tahap pembebanan, dengan rumus:

$$C_v = \frac{0,848 \cdot d^2}{t_{90}} \quad (4.9)$$

dengan:

d = setengah tinggi efektif (cm)

$$= \frac{1}{2} H$$

H = tinggi efektif

$$= \frac{H_1 + H_2}{2}$$

H_1 = tebal sampel pada awal setiap beban

H_2 = tebal sampel pada akhir setiap beban

- e. Menghitung Indeks Kompresi (*Compression Index*) = C_c

- 1) Hitung tinggi efektif (tebal bagian padat) benda uji.

$$H_t = \frac{Bk}{A.G_s \cdot \gamma_w} \quad (4.10)$$

dengan:

H_t = Tinggi efektif benda uji (cm)

Bk = Berat kering benda uji (gr)

A = luas benda uji (cm^2)

G_s = berat jenis tanah

- 2) Angka pori awal (e_0) dihitung dengan rumus:

$$e_0 = \frac{H_0 - H_t}{H_t} \quad (4.11)$$

- 3) Angka pori pada saat pembebanan.

$$e_n = \frac{H_n - H_t}{H_t} \text{ atau } e_n = e_0 - \Delta e \quad (4.12)$$

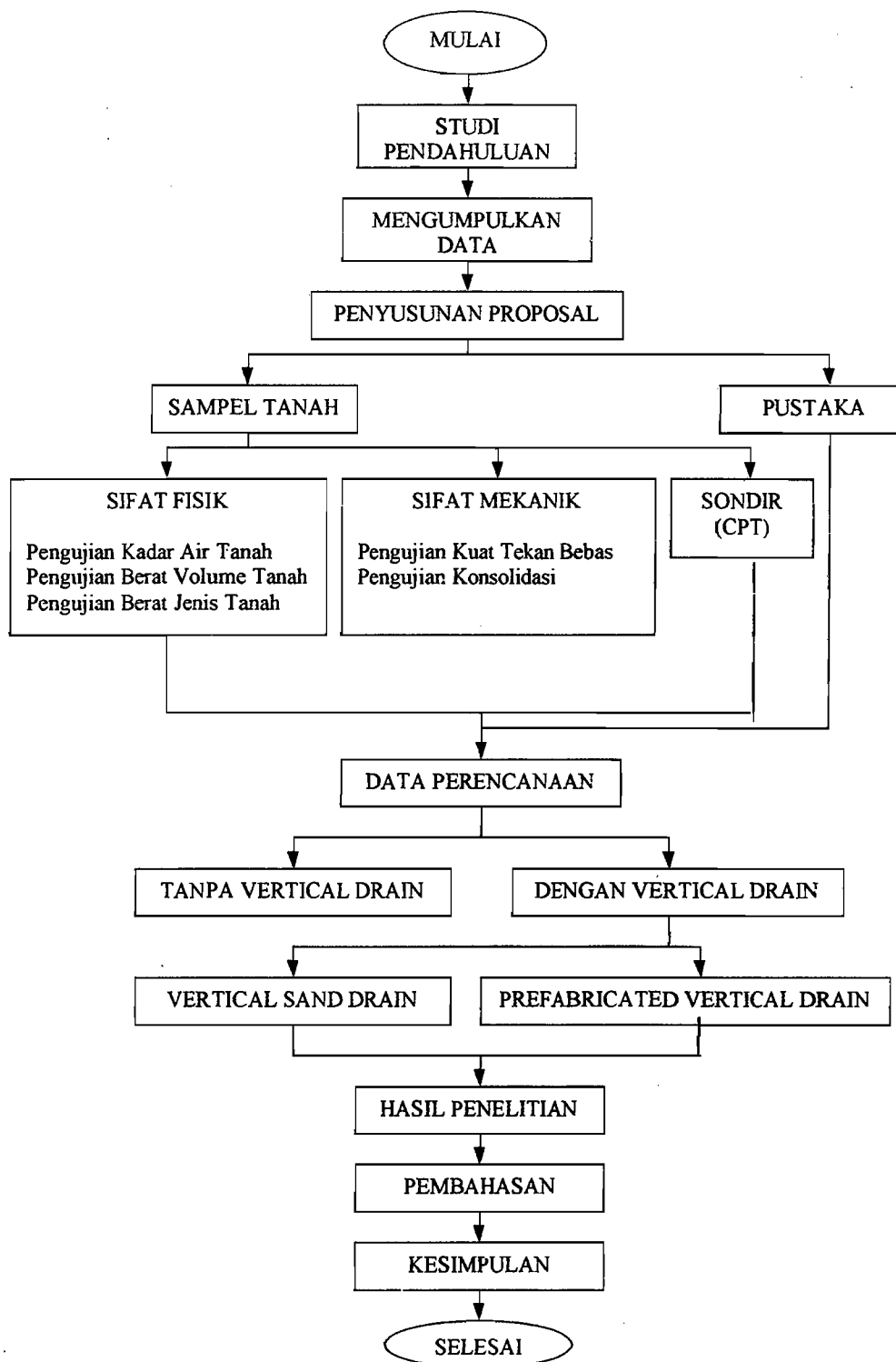
Hasil perhitungan t_{90} , C_v , C_c , e disusun dalam suatu tabel.

- 4) Gambarkan kurva hubungan antara angka pori e sebagai ordinat (skala linear) dengan tegangan normal σ sebagai absis (dengan skala logaritma).
- 5) Harga indeks kompresi, C_c adalah kemiringan bagian lurus dari kurva $e - \log \sigma$.

$$C_c = \frac{\Delta e}{\Delta \log \sigma} = \frac{e_1 - e_2}{\log \frac{\sigma_2}{\sigma_1}} \quad (4.13)$$

- 6) Derajat kejenuhan sebelum dan sesudah percobaan.

$$Sr = \frac{w \cdot G_s}{e} \times 100\% \quad (4.14)$$



Gambar 4.1 Diagram alir penelitian

BAB V

HASIL PENELITIAN

Penelitian terhadap sifat-sifat tanah dari sampel tanah lempung Kasongan dilaksanakan di Laboratorium Mekanika Tanah Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan. Parameter dari sifat-sifat tanah penting diketahui untuk menganalisis struktur bawah yang berhubungan langsung dengan tanah dalam rekayasa teknik sipil. Adapun hasil penelitian dari sifat-sifat tanah antara lain sifat fisik dan sifat mekanik tanah akan diuraikan berikut.

5.1 Sifat Fisik Tanah

Penelitian terhadap sifat fisik tanah meliputi pengujian Kadar Air, Berat Volume, Berat Jenis dan Batas-batas Konsistensi.

5.1.1 Pengujian Kadar Air

Dalam menentukan kadar air tanah dilakukan dengan mengambil 3 sampel tanah untuk masing-masing kedalaman yang berbeda. Masing-masing sampel tanah diambil 3 contoh tanah untuk dilaksanakan pengujian. Hasil pengujian kadar air dapat dilihat dari tabel 5.1.

Tabel 5.1 Hasil pengujian kadar air

Sampel Tanah	I			II			III		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Kadar air (%)	44,34	44,62	48,10	59,33	62,18	54,91	56,17	56,03	56,01
Rata-rata	45,687			58,810			56,071		
	53,523								

5.1.2 Pengujian Berat Volume

Berat Volume tanah ditentukan dengan mengambil 1 contoh tanah pada masing-masing sampel tanah untuk dilaksanakan pengujian. Hasil pengujian berat volume tanah dapat dilihat pada tabel 5.2.

Tabel 5.2 Hasil pengujian berat volume tanah

Sampel Tanah	I	II	III
Berat volume (gr/cm ³)	1,705	1,706	1,721
Rata-rata	1,711		

5.1.3 Pengujian Berat Jenis

Berat jenis tanah ditentukan dengan megambil 3 contoh tanah yang mewakili masing-masing sampel dari hasil pengujian kadar air. Hasil pengujian berat jenis tanah diberikan pada tabel 5.3.

Tabel 5.3 Hasil pengujian berat jenis tanah

Sampel Tanah	I	II	III
Berat jenis tanah	2,501	2,545	2,485
Rata-rata	2,510		

5.1.4 Pengujian Batas-batas Konsistensi

Hasil pengujian batas-batas konsistensi yang meliputi pengujian batas cair, batas plastis, batas susut dan indek plastisitas dapat dilihat pada tabel 5.4.

Tabel 5.4 Hasil pengujian batas-batas konsistensi

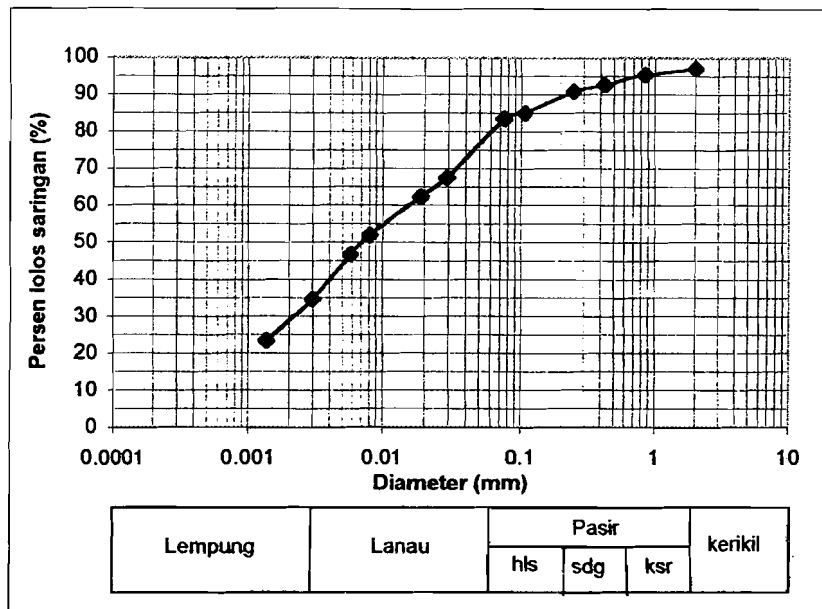
No	Batas Konsistensi (%)	Hasil
1	Batas cair (%)	86
2	Batas plastis (%)	40,13
3	Batas susut (%)	15,78
4	Indeks plastisitas (%)	45,87

5.1.5 Pengujian Analisis Granular

Pengujian Analisis Granular yang dilaksanakan adalah Analisis Hidrometer dan Analisis Saringan. Hasil analisis dapat dilihat pada tabel 5.5, sedang Kurva Distribusi Ukuran Butiran diperlihatkan pada gambar 5.1.

Tabel 5.5 Distribusi butiran dari Analisis Saringan dan Analisis Hidrometer

ANALISIS SARINGAN					
SAMPEL I			SAMPEL II		
No. Saringan	Diameter (mm)	% lolos	No. Saringan	Diameter (mm)	% lolos
10	2,000	97,117	10	2,000	99,283
20	0,850	95,367	20	0,850	98,283
40	0,425	92,683	40	0,425	96,317
60	0,250	90,850	60	0,250	94,350
140	0,106	85,117	140	0,106	88,933
200	0,075	83,450	200	0,075	87,033
ANALISIS HIDROMETER					
SAMPEL I			SAMPEL II		
Pembacaan Hidrometer	Diameter (mm)	% lebih kecil	Pembacaan Hidrometer	Diameter (mm)	% lebih kecil
37	0,0299	67,599	38	0,0295	69,333
34	0,0193	62,399	35	0,0192	64,133
28	0,0082	51,999	30	0,0081	55,467
25	0,0059	46,799	27	0,0059	50,267
18	0,0031	34,666	21	0,0030	39,867
11,5	0,0013	23,400	13,5	0,0013	26,867



Gambar 5.1 Kurva Distribusi Ukuran Butiran (Sampel I)

Dari hasil analisis butiran, baik analisis Hidrometer maupun analisis Saringan dan ditampilkan dalam Kurva Distribusi Ukuran Butiran, didapat persentase bagian-bagian tanah yang diselidiki, yaitu:

Sampel I

- | | | |
|------------|-------------------|-----------|
| 1. Pasir | = 97,117% - 80,0% | = 17,117% |
| 2. Lanau | = 80,0% - 35% | = 45% |
| 3. Lempung | = 35% - 0% | = 35% |
| total | | = 97,117% |

Sehingga perlu koreksi:

$$\text{Pasir} = \frac{17,117 \times 100}{(100 - 2,883)} = 17,625\%$$

$$\text{Lanau} = \frac{45 \times 100}{(100 - 2,883)} = 46,336\%$$

$$\text{Lempung} = \frac{35 \times 100}{(100 - 2,883)} = 36,039\%$$

5.2 Sifat Mekanik Tanah

Penelitian sifat mekanik tanah meliputi pengujian Kuat Tekan Bebas dan pengujian Konsolidasi.

5.2.1 Pengujian Kuat Tekan Bebas

Pengujian kuat tekan bebas dilakukan dengan mengambil 3 sampel tanah. Masing-masing sampel mempunyai kedalaman yang berbeda-beda, yaitu -1 m, -1,5 m, dan -2 m dari permukaan tanah. Pengujian kuat tekan bebas dilakukan untuk sampel tanah lempung *undisturb* (tidak terganggu/ asli). Dari pengujian kuat tekan bebas didapat nilai sudut gesek dalam (ϕ), nilai kuat tekan bebas (qu), dan nilai kohesi (c) tanah dengan menggunakan persamaan (4.6), (4.7) dan persamaan (4.8).

Perhitungan untuk sampel tanah kesatu adalah sebagai berikut:

$$\alpha = 50^\circ$$

$$\phi = 2 (\alpha - 45^\circ) = 2 (50^\circ - 45^\circ) = 10^\circ$$

$$qu = \frac{P}{A} = 0,255 \text{ kg/cm}^2 \text{ (P/A maksimum dari grafik Regangan-Tegangan)}$$

$$c = \frac{qu}{2 \text{tg}\alpha} = \frac{0,255}{2 \text{tg}50^\circ}$$

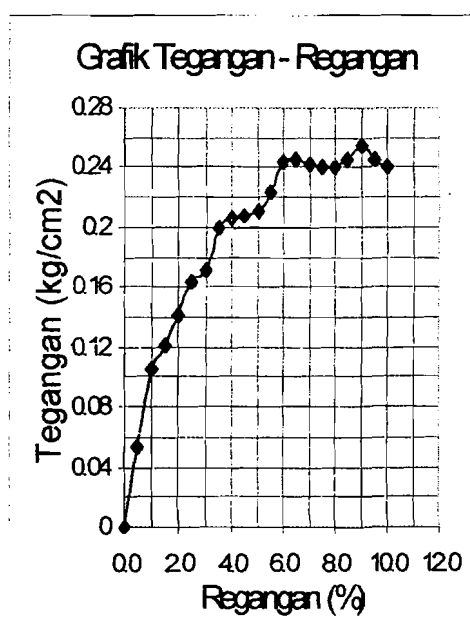
$$= 0,107 \text{ kg/cm}^2$$

Dengan cara yang sama seperti diatas, perhitungan nilai ϕ , qu , dan nilai c untuk sampel tanah kedua dan ketiga dapat dilakukan. Hasil selengkapnya dari

pengujian kuat tekan bebas dapat dilihat pada tabel 5.6. Grafik Tegangan-Regangan untuk pengujian sampel tanah kesatu dapat dilihat pada gambar 5.2.

Tabel 5.6 Hasil pengujian kuat tekan bebas

Percobaan	Sudut pecah α ($^{\circ}$)	Kohesi C (kg/cm^2)	Sudut gesek dalam ϕ ($^{\circ}$)	Kuat tekan q_u (kg/cm^2)
I	50	0,107	10	0,255
II	50	0,133	10	0,317
III	51	0,257	12	0,635
Rata-rata	50,33	0,166	10,67	0,402



Gambar 5.2 Grafik Tegangan-Regangan uji kuat tekan (benda uji kesatu)

5.2.2 Pengujian Konsolidasi

Pengujian konsolidasi dilakukan dengan 3 pengujian sampel tanah yang berbeda-beda kedalamannya, yaitu -1 m, $-1,5$ m, dan -2 m dari permukaan tanah. Pengujian konsolidasi dilaksanakan untuk mendapatkan nilai indek pemampatan (C_c), nilai koefisien konsolidasi (C_v) dan waktu yang diperlukan suatu lapisan

tanah lempung hingga penurunan 90% selesai (t_{90}). Nilai-nilai tersebut ditentukan dengan menggunakan persamaan (4.9) dan persamaan (4.13).

Perhitungan untuk pengujian pertama dengan beban $0,25 \text{ kg/cm}^2$ dan $0,50 \text{ kg/cm}^2$.

$$\text{Berat jenis tanah } (G_s) = 2,51$$

$$\text{Berat cincin } (W_c) = 36,28 \text{ gr}$$

$$\text{Diameter cincin } (\varnothing) = 5,02 \text{ cm}$$

$$\text{Luas cincin } (A_0) = 19,79 \text{ cm}^2$$

$$\text{Tinggi cincin } (H_0) = 2,10 \text{ cm}$$

$$\text{Volume cincin } (V_0) = 41,56 \text{ cm}^3$$

$$\text{Kadar air } (w_r) = 45,50 \%$$

Sebelum Pengujian:

$$\text{Berat cincin + tanah basah } (W_1) = 104,70 \text{ gr}$$

$$\text{Berat tanah basah } (W_b) = (W_1 - W_c)$$

$$= 104,70 - 36,28$$

$$= 68,42 \text{ gr}$$

$$\text{Berat tanah kering } (W_t) = \frac{W_b}{1 + w_r} = \frac{68,42}{1 + 0,455} = 46,735 \text{ gr}$$

$$\text{Berat volume tanah kering } (\gamma_d) = \frac{W_t}{V_0} = \frac{46,735}{41,56} = 1,125 \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{Tinggi bagian padat } (H_t) = \frac{W_t}{G_s \cdot A \cdot \gamma_w} = \frac{46,735}{2,51 \cdot 19,79 \cdot 1} = 0,941 \text{ cm}$$

$$\text{Angka pori } (e_0) = \frac{H_0 - H_t}{H_t} = \frac{2,10 - 0,941}{0,941} = 1,232$$

$$\text{Derajat kekenyangan } (S_0) = \frac{w_r \cdot G_s}{e_0} = \frac{0,455 \cdot 2,51}{1,232} \cdot 100\% = 94,50 \%$$

Setelah Pengujian:

$$\text{Berat cincin + tanah basah } (W_2) = 104,92 \text{ gr}$$

$$\text{Berat cincin + tanah kering } (W_3) = 80,67 \text{ gr}$$

$$\text{Berat tanah kering } (W_k) = W_3 - W_c$$

$$= 80,67 - 36,28$$

$$= 44,39 \text{ gr}$$

$$\text{Kadar air } (w_{sp}) = \frac{W_2 - W_3}{W_k} = \frac{104,92 - 80,67}{44,39} = 0,546$$

$$\text{Tinggi bagian padat } (H_t) = \frac{W_k}{G_s \cdot A \cdot \gamma_w} = \frac{44,39}{2,51 \cdot 19,79 \cdot 1} = 0,894 \text{ cm}$$

$$\text{Angka pori } (e_{sp}) = \frac{H_{sp} - H_t}{H_t}$$

- Perubahan pembacaan dial (mm) untuk pengujian konsolidasi 1

$$= 9,873 - 7,268$$

$$= 2,605 \text{ mm}$$

- $H_{sp} = H_0 - 0,2605 = 2,10 - 0,2605 = 1,840 \text{ cm}$

$$e_{sp} = \frac{1,840 - 0,894}{0,894} = 1,058$$

$$\text{Derajat kekenyangan } (S_{sp}) = \frac{w_{sp} \cdot G_s}{e_{sp}} = \frac{0,546 \cdot 2,51}{1,058} \cdot 100\% = 129,5 \%$$

- Perubahan tebal (ΔH) untuk beban $0,00 \text{ kg/cm}^2$ dan beban $0,25 \text{ kg/cm}^2$

$$= 9,873 - 9,740$$

$$= 0,133 \text{ mm}$$

$$\text{Perubahan angka pori } (\Delta e) = \frac{\Delta H}{H_t} = \frac{0,133}{9,41} = 0,0322$$

$$\begin{aligned} \text{angka pori } (e) \text{ untuk beban } 0,25 \text{ kg/cm}^2 &= e_0 - \Delta e \\ &= 1,232 - 0,0141 \\ &= 1,2179 \end{aligned}$$

$$\text{Tebal akhir } (H) = H_0 - \Delta H = 2,10 - 0,0133 = 2,0867 \text{ cm}$$

- Perubahan tebal (ΔH) untuk beban $0,25 \text{ kg/cm}^2$ dan beban $0,50 \text{ kg/cm}^2$

$$= 9,740 - 9,437$$

$$= 0,303 \text{ mm}$$

$$\text{Perubahan angka pori } (\Delta e) = \frac{\Delta H}{H_t} = \frac{0,303}{9,410} = 0,0322$$

$$\text{Angka pori } (e) \text{ untuk beban } 0,50 \text{ kg/cm}^2 = 1,2179 - 0,0322 = 1,1857$$

$$\text{Tebal akhir } (H) = 2,0867 - 0,0303 = 2,0564 \text{ cm}$$

Nilai C_c pada beban $0,25 \text{ kg/cm}^2$ dan $0,50 \text{ kg/cm}^2$

$$C_c = \frac{\Delta e}{\text{Log} \frac{P_2}{P_1}} = \frac{0,0322}{\text{Log} \frac{0,50}{0,25}} = 0,1070$$

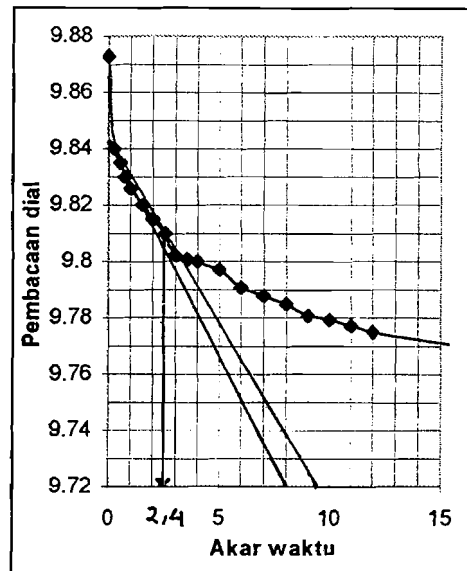
Nilai C_c diatas adalah nilai C_c laboratorium, untuk perencanaan digunakan nilai C_c lapangan, yang nilainya didapat dari grafik hubungan antara $e - \log P$.

$$\begin{aligned} \frac{1}{2} \text{ Tebal rata-rata } (d) &= \frac{1}{2} \left(\frac{H_1 + H_2}{2} \right) \\ &= \frac{1}{2} \left(\frac{2,0867 + 2,0564}{2} \right) \\ &= 1,0358 \text{ cm} \end{aligned}$$

Pembacaan akar waktu untuk beban $0,25 \text{ kg/cm}^2$ dapat dilihat pada tabel 5.7 dan gambar 5.3 berikut.

Tabel 5.7 Pembacaan dial untuk \sqrt{t} tertentu

Waktu Pembacaan		Pembacaan Dial (mm)
t (menit)	\sqrt{t} (menit)	Beban = 0.25 kg
0.00	0	9.873
5.4''	0.3	9.840
15.0''	0.5	9.835
29.4''	0.7	9.830
1.0'	1.0	9.826
2.25'	1.5	9.820
4.0'	2.0	9.815
6.25'	2.5	9.810
9.0'	3.0	9.802
12.25'	3.5	9.801
16'	4.0	9.800
25'	5.0	9.797
36'	6.0	9.791
49'	7.0	9.788
64'	8.0	9.785
81'	9.0	9.781
100'	10.0	9.779
121'	11.0	9.777
144'	12.0	9.775
225'	15.0	
400'	20.0	
1440'	38.0	9.740



Gambar 5.3 Grafik penurunan vs \sqrt{t} untuk beban $0,25 \text{ kg/cm}^2$

Dari pembacaan grafik penurunan vs \sqrt{t} untuk beban $0,25 \text{ kg/cm}^2$ didapat:

$$\sqrt{t_{90}} = 2,40 \text{ menit}$$

$$t_{90} = 5,76 \text{ menit}$$

$$= 345,6 \text{ detik}$$

$$C_v = \frac{0,848 \cdot d^2}{t_{90}} = \frac{0,848 \cdot (1,0358)^2}{345,6}$$

$$= 2,632 \cdot 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{dt}$$

Nilai C_c , C_v dan $\sqrt{t_{90}}$ untuk beban-beban berikutnya sampai beban maksimum dapat dicari dengan cara yang sama seperti diatas. Nilai-nilai dari ketiga pengujian tersebut dapat dilihat pada tabel 5.8.

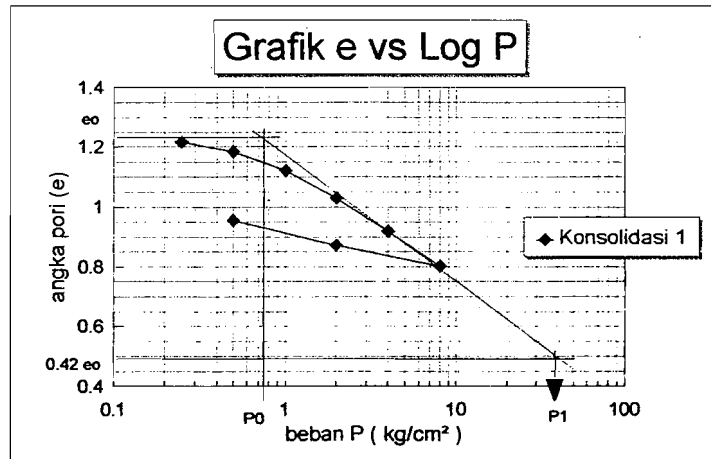
Tabel 5.8 Nilai-nilai C_c , C_v dan $\sqrt{t_{90}}$ tanah lempung Kasongan

Beban (kg/cm ²)	Sampel I			Sampel II		
	C_c	C_v (cm ² /dt)	$\sqrt{t_{90}}$ (menit)	C_c	C_v (cm ² /dt)	$\sqrt{t_{90}}$ (menit)
0,00	0,0000	0,0000	0,00	0,0000	0,0000	0,0000
0,25	0,0469	$2,632 \times 10^{-3}$	2,40	0,0454	$2,337 \times 10^{-3}$	2,50
0,50	0,1070	$2,998 \times 10^{-3}$	2,20	0,1253	$2,903 \times 10^{-3}$	2,20
1,00	0,2100	$2,340 \times 10^{-3}$	2,40	0,1887	$2,722 \times 10^{-3}$	2,20
2,00	0,3075	$2,117 \times 10^{-3}$	2,40	0,3164	$2,494 \times 10^{-3}$	2,20
4,00	0,3678	$2,047 \times 10^{-3}$	2,30	0,3489	$2,248 \times 10^{-3}$	2,20
8,00	0,1945	$2,085 \times 10^{-3}$	2,25	0,4011	$1,703 \times 10^{-3}$	2,40
16,00	-	-	-	0,1033	$1,583 \times 10^{-3}$	2,50
Rata-rata	0,2056	$2,369 \times 10^{-3}$		0,2184	$2,284 \times 10^{-3}$	

Tabel 5.8 (Lanjutan)

Beban (kg/cm ²)	Sampel III		
	C_c	C_v (cm ² /dt)	$\sqrt{t_{90}}$ (menit)
0,00	0,0000	0,0000	0,00
0,25	0,2921	$2,564 \times 10^{-3}$	2,40
0,50	0,2954	$1,952 \times 10^{-3}$	2,70
1,00	0,1776	$2,534 \times 10^{-3}$	2,30
2,00	0,1454	$2,417 \times 10^{-3}$	2,25
4,00	0,1347	$1,773 \times 10^{-3}$	2,50
8,00	0,0767	$1,650 \times 10^{-3}$	2,50
16,0	0,5427	$1,666 \times 10^{-3}$	2,50
Rata-rata	0,2378	$2,079 \times 10^{-3}$	

Untuk mencari nilai C_c lapangan digunakan grafik hubungan $e - \log P$ dari masing-masing pengujian konsolidasi. Nilai C_c lapangan didapat dengan terlebih dahulu mencari besarnya nilai tegangan efektif lapangan (P_0'). Grafik hubungan $e - \log P$ untuk mencari nilai C_c dari pengujian sampel kesatu dapat diberikan pada gambar 5.4 berikut.



Gambar 5.4 Grafik hubungan e vs $\log P$ (pengujian sampel kesatu)

$$C_c = \frac{\Delta e}{\Delta \log P} = \frac{e_1 - e_2}{\log P_1 - \log P_0}$$

Dari gambar 5.4 diketahui:

$$e_1 = e_0 = 1,232$$

$$e_2 = 0,42 e_0 = 0,517$$

$$P_0 = \sum h \cdot \gamma$$

$$= (0,5 \cdot 1,711) + (9,5 \cdot 0,711)$$

$$= 7,61 \text{ t/m}^2 = 0,761 \text{ kg/cm}^2$$

$$P_1 = 40 \text{ kg/cm}^2$$

maka:

$$C_c = \frac{1,232 - 0,517}{\log 40 - \log 0,761} = 0,4153$$

Dengan cara yang sama seperti diatas, nilai C_c lapangan untuk pengujian sampel kedua dan ketiga dapat dihitung.

Dari ketiga pengujian diatas dapat diambil satu nilai C_c dan C_v yang dapat mewakili data tanah lempung Kasongan untuk menganalisis penurunan dan lamanya waktu penurunan pada tanah tersebut. Nilai tersebut dapat dilihat pada tabel 5.9.

Tabel 5.9 Rata-rata nilai C_c dan C_v tanah lempung Kasongan

Pengujian	C_c	C_v (cm^2/dt)
I	0,4153	$2,369 \times 10^{-3}$
II	0,3901	$2,284 \times 10^{-3}$
III	0,3686	$2,079 \times 10^{-3}$
Rata-rata	0,3913	$2,244 \times 10^{-3}$

BAB VI

DATA PERENCANAAN

6.1 Data Tanah

Untuk merencanakan tinggi timbunan dan perbaikan tanah lunak (lempung) dengan *vertical drain*, perlu terlebih dahulu diketahui karakteristik dan sifat-sifat umum tanah di lokasi proyek. Hal tersebut dapat diketahui dengan mengadakan *test* di lapangan maupun *test* di laboratorium.

6.1.1 Data Lapangan

Untuk memperoleh data tentang karakteristik tanah di lapangan, dilakukan penyelidikan tanah yang terdiri dari *test Sondir*, *Boring* dan *SPT*. Untuk perhitungan konsolidasi dan perbaikan daya dukung tanah dasar, *test* lapangan yang diperlukan adalah *test boring*.

Tujuan dilakukan *test boring* adalah untuk mengetahui klasifikasi jenis tanah secara visual dan mendapatkan susunan lapisan tanah pada tiap-tiap kedalaman tertentu. Untuk tujuan perencanaan badan jalan, data tanah dasar diambil dari daerah Kasongan, Bantul. Data tanah lain yang perlu tetapi belum ada akan diasumsikan sedekat mungkin dengan kondisi asli di lapangan.

6.1.2 Data Laboratorium

Data laboratorium diperoleh berdasarkan *test* contoh tanah yang berasal dari *test boring* di lapangan. Dari *test* di laboratorium didapatkan sifat-sifat fisik

dan sifat-sifat mekanik tanah. Data tanah hasil *test* laboratorium dapat dilihat pada tabel 6.1.

Tabel 6.1 Data tanah asli pada lokasi daerah Kasongan

Kedalaman (m)	G_s	e	γ_{sat} (gr/cm ³)	γ (gr/cm ³)	Q_u (kg/cm ³)	C_c	C_v (cm ² /dt)
0,00 – 10,00	2,510	1,252	1,771	0,771	0,402	0,3913	$2,244 \times 10^{-3}$

6.2 Data Geotextile

Dalam penulisan tugas akhir, *geotextile* yang digunakan sebagai bahan dari *PV-drain* untuk merencanakan drainasi vertikal adalah jenis *Colbondrain CX-1000*. Spesifikasi dari *PV-drain* jenis *Colbondrain CX-1000* dapat dilihat pada tabel 6.2.

Tabel 6.2 Spesifikasi *Colbondrain CX-1000* (Geomat Indonesia, 1998)

Properties of Colbondrain		Unit	Mean Value
Weight		gr/m	70
Width		m	0,1
Thickness		mm	5,3
Tensile Strength of Drain		kN	1,8
Elongation at break of Drain		%	25
Strength at 10% elongation		kN	1,0
Discharge Capacity at 10 kN/m ² Measured between deformable clay layers			
Straight		10 ⁻⁶ /m ³ /s	85
Bucklet		10 ⁻⁶ /m ³ /s	70
Discharge Capacity at 360 kN/m ² Measured between deformable clay layers			
Straight		10 ⁻⁶ /m ³ /s	70
Bucklet		10 ⁻⁶ /m ³ /s	60
Permittivity	Filter	s ⁻¹	1,2
Permeability	Filter	10 ⁻⁴ /m/s	11
Grab Tensile Strength	Filter	kN	0,6
Elongation at break	Filter	%	25

BAB VII

ANALISIS TINGGI TIMBUNAN

7.1 Umum

Tinggi timbunan akan direncanakan untuk badan jalan tol. Tinggi timbunan rencana bervariasi mulai dari 2 m, 3 m, 4 m, 5 m, dan 6 m. Profil timbunan yang direncanakan untuk badan jalan tol tersebut mempunyai kemiringan talud 1:2. Perencanaan tinggi timbunan dipengaruhi oleh penurunan yang terjadi pada lapisan tanah dasar.

Dalam perencanaan tinggi timbunan untuk badan jalan, beban lalu lintas berupa kendaraan yang melewati badan jalan tersebut juga harus diperhitungkan karena akan mempengaruhi penurunan yang terjadi. Beban lalu lintas umumnya disebut dengan beban *surcharge*. Beban *surcharge* berupa timbunan tanah yang beratnya diasumsikan sama dengan beban lalu lintas. Untuk besar perkiraan beban *surcharge* dapat ditentukan dengan menggunakan kurva hubungan antara tebal timbunan dengan *intensitas load* yang bersesuaian dengan beban *traffic*, seperti yang terlihat dalam gambar 3.7.

7.2 Perencanaan Tinggi Timbunan

Sebagai contoh untuk menentukan beban *surcharge* akan digunakan tinggi timbunan rencana 2 m. Untuk mendapatkan ketelitian didalam perhitungan penurunan tanah, tebal lapisan tanah lunak (lempung seragam) akan dibagi menjadi beberapa lapis yang tiap lapisan mempunyai ketebalan 1.0 m. Untuk

mendapatkan distribusi tegangan yang diakibatkan oleh timbunan pada masing-masing lapis tanah dasar digunakan persamaan (3.35) dan gambar 3.6. Penurunan yang terjadi, karena kondisi tanah adalah *normally consolidated* maka digunakan persamaan (3.27).

Ketentuan-ketentuan perencanaan:

- Lebar jalur lalu lintas.

$$2 \text{ jalur, } 6 \text{ lajur, } 2 \text{ arah (1 lajur} = 3,5 \text{ m)} : 6 \times 3,5 \text{ m} = 21 \text{ m}$$

- Lebar bahu jalan diperkeras : $2 \times 2 \text{ m} = 4 \text{ m}$

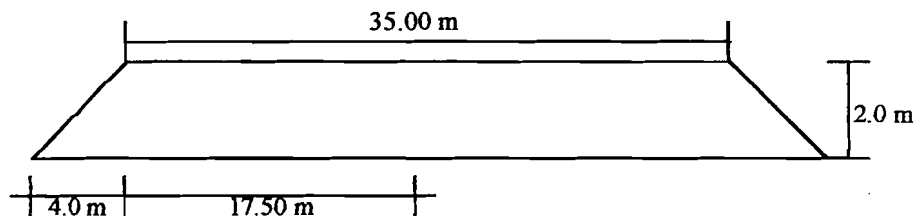
- Lebar bahu jalan tidak diperkeras : $2 \times 1 \text{ m} = 2 \text{ m}$

- Lebar median = 5 m

- Lain-lain = 3 m

Jadi total lebar puncak timbunan = 35 m.

Profil timbunan yang direncanakan adalah sebagai berikut:



Gambar 7.1 Profil timbunan untuk $H = 2 \text{ m}$

Material dari profil tanah timbunan digunakan jenis tanah urugan biasa yang mempunyai nilai berat unit (γ) yaitu $1,890 \text{ gr/cm}^3$.

Besarnya distribusi tegangan dan penurunan lapisan tanah akibat beban timbunan setinggi 2 m dapat dilihat pada tabel 7.1 dan tabel 7.2.

Tabel 7.1 Distribusi tegangan akibat $H = 2$ m

z (m)	a/z	b/z	I_z	σ_0 (t/m ²)	$\Delta\sigma_0$ (t/m ²)	$\sigma_0 + \Delta\sigma_0$ (t/m ²)
0.5	8.000	35.000	0.500	0.356	3.780	4.136
1.5	2.667	11.667	0.500	1.067	3.780	4.847
2.5	1.600	7.000	0.500	1.778	3.780	5.558
3.5	1.143	5.000	0.500	2.489	3.780	6.269
4.5	0.889	3.889	0.498	3.200	3.765	6.964
5.5	0.727	3.182	0.495	3.911	3.742	7.653
6.5	0.615	2.692	0.491	4.622	3.712	8.333
7.5	0.533	2.333	0.487	5.333	3.682	9.014
8.5	0.471	2.059	0.484	6.044	3.659	9.703
9.5	0.421	1.842	0.480	6.755	3.629	10.383

Tabel 7.2 Pemampatan akibat timbunan setinggi 2,0 m

No. Lap	H_0 (m)	z (m)	G_s	e_0	Cc	σ_0 (t/m ²)	$\Delta\sigma_0$ (t/m ²)	$\sigma_0 + \Delta\sigma_0$ (t/m ²)	ΔS_c (m)
1	1.0	0.5	2.51	1.25	0.3913	0.356	3.780	4.136	0.1852
2	1.0	1.5	2.51	1.25	0.3913	1.067	3.780	4.847	0.1142
3	1.0	2.5	2.51	1.25	0.3913	1.778	3.780	5.558	0.0860
4	1.0	3.5	2.51	1.25	0.3913	2.489	3.780	6.269	0.0697
5	1.0	4.5	2.51	1.25	0.3913	3.200	3.765	6.964	0.0587
6	1.0	5.5	2.51	1.25	0.3913	3.911	3.742	7.653	0.0507
7	1.0	6.5	2.51	1.25	0.3913	4.622	3.712	8.333	0.0445
8	1.0	7.5	2.51	1.25	0.3913	5.333	3.682	9.014	0.0396
9	1.0	8.5	2.51	1.25	0.3913	6.044	3.659	9.703	0.0357
10	1.0	9.5	2.51	1.25	0.3913	6.755	3.629	10.383	0.0325
									0.7168

Agar tegangan yang diakibatkan oleh timbunan terhadap tanah dasar tetap, maka perlu tambahan timbunan yang harus diberikan setinggi:

$$\begin{aligned} \Delta L_1 &= \frac{S \cdot \gamma_w}{\gamma_{\text{timbunan}}} \\ &= \frac{0,7168 \text{ m} \cdot 1 \text{ t/m}^3}{1,890 \text{ t/m}^3} \\ &= 0,379 \text{ m} \end{aligned}$$

Dari tinggi timbunan rencana yaitu setinggi 2,0 m diperhitungkan untuk menghitung beban *surchage*. Dari gambar 3.7 didapatkan besar beban *traffic* ekivalen sebesar $2,2 \text{ t/m}^2$. Jadi tinggi beban *surchage* adalah:

$$\begin{aligned}\Delta L_2 &= \frac{2,2 \text{ t/m}^2}{\gamma_{\text{timbunan}}} \\ &= \frac{2,2 \text{ t/m}^2}{1,890 \text{ t/m}^3} \\ &= 1,164 \text{ m}\end{aligned}$$

Tinggi timbunan yang direncanakan adalah:

$$L' = 2 \text{ m} + 1,164 \text{ m} = 3,164 \text{ m}$$

Dengan tinggi timbunan yang baru, diperiksa pemampatan yang terjadi.

Pemampatan akibat timbunan setinggi 3,164 m dapat dilihat pada tabel 7.3.

Tabel 7.3 Pemampatan akibat timbunan setinggi 3,164 m

No. Lap	H_0 (m)	z (m)	G_s	e_0	C_c	σ_1 (t/m^2)	$\Delta\sigma_1$ (t/m^2)	$\sigma_1 + \Delta\sigma_1$ (t/m^2)	ΔS_c (m)
1	1.0	0.5	2.51	1.252	0.3913	0.356	5.9800	6.3355	0.2174
2	1.0	1.5	2.51	1.252	0.3913	1.067	5.9800	7.0465	0.1425
3	1.0	2.5	2.51	1.252	0.3913	1.778	5.9800	7.7575	0.1112
4	1.0	3.5	2.51	1.252	0.3913	2.489	5.9800	8.4685	0.0924
5	1.0	4.5	2.51	1.252	0.3913	3.200	5.9561	9.1556	0.0793
6	1.0	5.5	2.51	1.252	0.3913	3.911	5.9202	9.8307	0.0696
7	1.0	6.5	2.51	1.252	0.3913	4.622	5.8724	10.4939	0.0619
8	1.0	7.5	2.51	1.252	0.3913	5.333	5.8245	11.1570	0.0557
9	1.0	8.5	2.51	1.252	0.3913	6.044	5.7886	11.8321	0.0507
10	1.0	9.5	2.51	1.252	0.3913	6.755	5.7408	12.4953	0.0464
									0.9271

Penambahan tinggi timbunan agar beban timbunan tetap:

$$\Delta L_1 = \frac{S \cdot \gamma_w}{\gamma_{\text{timbunan}}}$$

$$= \frac{0,9271 \text{ m} \cdot \text{lt}/\text{m}^3}{1,89 \text{ t}/\text{m}^3}$$

$$= 0,4905 \text{ m}$$

Dengan adanya penambahan timbunan tersebut, kemudian diperiksa elevasi akhir dari timbunan.

$$L'' = 3,164 \text{ m} - 0,9271 \text{ m} + 0,4905 \text{ m}$$

$$= 2,7274 \text{ m} < 3,02 \text{ m}$$

Ternyata elevasi akhir dari timbunan kurang dari elevasi yang direncanakan yaitu sebesar 3,02 m, supaya timbunan mempunyai elevasi akhir 3,02 m perlu tambahan timbunan sebesar:

$$\Delta L = 3,164 \text{ m} - 2,7274 \text{ m} = 0,4366 \text{ m}$$

Tinggi timbunan baru yang direncanakan sebesar:

$$L'' = 3,164 \text{ m} + 0,4366 \text{ m} = 3,6006 \text{ m}$$

Dengan tinggi timbunan yang baru yaitu 3,6006 m, diperiksa lagi pemampatan yang terjadi. Besarnya pemampatan dapat dilihat pada tabel 7.4.

Tabel 7.4 Pemampatan akibat timbunan setinggi 3,6006 m

No Lap	H_0 (m)	z (m)	G_v	e_0	C_c	σ_0 (t/m ²)	$\Delta\sigma_0$ (t/m ²)	$\sigma_0 + \Delta\sigma_0$ (t/m ²)	ΔS_v (m)
1	1.000	0.500	2.51	1.252	0.3913	0.356	6.805	7.161	0.226616
2	1.000	1.500	2.51	1.252	0.3913	1.067	6.805	7.872	0.150851
3	1.000	2.500	2.51	1.252	0.3913	1.778	6.805	8.583	0.118826
4	1.000	3.500	2.51	1.252	0.3913	2.489	6.805	9.294	0.09944
5	1.000	4.500	2.51	1.252	0.3913	3.200	6.778	9.977	0.085831
6	1.000	5.500	2.51	1.252	0.3913	3.911	6.737	10.648	0.075593
7	1.000	6.500	2.51	1.252	0.3913	4.622	6.683	11.304	0.067502
8	1.000	7.500	2.51	1.252	0.3913	5.333	6.628	11.961	0.060963
9	1.000	8.500	2.51	1.252	0.3913	6.044	6.587	12.631	0.055632
10	1.000	9.500	2.51	1.252	0.3913	6.755	6.533	13.287	0.051062
									0.99231

Penambahan tinggi timbunan agar beban timbunan tetap:

$$\begin{aligned}\Delta L_1 &= \frac{S \cdot \gamma_w}{\gamma_{\text{timbunan}}} \\ &= \frac{0,9923 \text{ m} \cdot \text{lt}/\text{m}^3}{1,89 \text{ t}/\text{m}^3} \\ &= 0,525 \text{ m}\end{aligned}$$

Elevasi akhir timbunan sebesar:

$$\begin{aligned}L'' &= 3,6006 \text{ m} - 0,9923 \text{ m} + 0,525 \text{ m} \\ &= 3,133 \text{ m} \approx 3,164 \text{ m}\end{aligned}$$

Jadi untuk mendapatkan tinggi timbunan sebesar 3,164 m diperlukan timbunan awal setinggi 3,6006 m.

Dengan langkah yang sama, akan didapatkan tinggi timbunan tambahan akibat beban *surchage* dan tinggi timbunan awal untuk tiap-tiap variasi tinggi timbunan rencana. Tinggi timbunan tambahan dan tinggi timbunan awal untuk masing-masing variasi tinggi timbunan rencana dapat dilihat pada tabel 7.5 dan tabel 7.6.

Tabel 7.5 Tinggi timbunan akibat beban *surchage*

H rencana (m)	Settlement (m)	Urugan tambahan (m)	Beban Surchage (m)	H rencana + Beban Surchage (m)
2,0	0,7168	0,3793	1,1640	3,1640
3,0	0,9018	0,4772	0,6349	3,6349
4,0	0,7180	0,3799	0,4233	4,4233
5,0	0,8165	0,4320	0,2646	5,2646
6,0	0,9032	0,4779	0,2646	6,2646

Tabel 7.6 Tinggi timbunan awal

Tinggi timbunan rencana (m)	Tinggi timbunan awal (m)	Total settlement (m)	Urugan tambahan (m)	Tinggi timbunan akhir (m)
3,1640	3,6006	0,9923	0,5250	3,1333
3,6349	4,1049	1,0619	0,5618	3,6049
4,4233	4,9426	1,1640	0,6159	4,3944
5,2646	5,8296	1,2585	0,6659	5,2370
6,2646	6,8774	1,3569	0,7179	6,2384

BAB VIII

ANALISIS DRAINASI VERTIKAL

Vertical drain digunakan untuk mempercepat waktu konsolidasi sedemikian rupa sehingga penurunan konsolidasi dapat selesai pada saat jalan dibuka untuk lalu lintas.

Ada banyak jenis metoda *vertical drain* yang dapat ditinjau untuk maksud tersebut. Akan tetapi pada penulisan tugas akhir ini akan dianalisis waktu konsolidasi dengan menggunakan metoda *PV-drain* dan metoda *vertical sand drain*.

8.1 Waktu Konsolidasi tanpa *Vertical Drain*

Untuk menghitung waktu konsolidasi dari data tanah asli yang ada, nilai koefisien konsolidasi dibuat rata-rata dari hasil *test* laboratorium dan faktor waktu dilihat pada tabel 3.3. Derajat konsolidasi (U) ditentukan sebesar 20%, 40%, 60%, 80%, dan 90%. Waktu konsolidasi yang diperlukan untuk U yang sudah ditentukan digunakan persamaan (3.42).

$$\begin{aligned}C_v \text{ rata-rata} &= 2,244 \cdot 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{dt} \\ &= 6,979 \text{ m}^2/\text{tahun}\end{aligned}$$

Tebal tanah yang memampat $H = 10 \text{ m}$

$$- U = 20\% \quad T_v = 0,031$$

$$t = \frac{0,031 \cdot 10^2}{6,979} \quad d = H \text{ (aliran vertikal satu arah)}$$

$$t_{20} = \frac{0,031 \cdot 10^2}{6,979}$$

$$= 0,444 \text{ tahun}$$

$$- U = 40\% \quad T_v = 0,126$$

$$t_{40} = \frac{0,126 \cdot 10^2}{6,979}$$

$$= 1,805 \text{ tahun}$$

$$- U = 60\% \quad T_v = 0,287$$

$$t_{60} = \frac{0,287 \cdot 10^2}{6,979}$$

$$= 4,112 \text{ tahun}$$

$$- U = 80\% \quad T_v = 0,567$$

$$t_{80} = \frac{0,567 \cdot 10^2}{6,979}$$

$$= 8,124 \text{ tahun}$$

$$- U = 90\% \quad T_v = 0,848$$

$$t_{90} = \frac{0,848 \cdot 10^2}{6,979}$$

$$= 12,151 \text{ tahun}$$

Jadi diperlukan waktu ± 12 tahun untuk mencapai konsolidasi 90%. Untuk lebih mempercepat waktu konsolidasi digunakan *vertical drain*.

8.2 Waktu Konsolidasi dengan *PV-drain*

Besarnya pemampatan suatu lapisan tanah dasar pada saat t dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (3.41). Berdasarkan persamaan (3.41), untuk

menghitung pemampatan tanah pada saat t perlu diketahui dahulu derajat konsolidasi dan pemampatan total yang terjadi pada lapisan tanah yang dianalisis. Dengan dipancangnya *PV-drain* arah aliran air pori tanah untuk keluar (akibat beban *preloading*) terjadi dalam dua arah yaitu arah vertikal dan arah horisontal, oleh sebab itu untuk menghitung derajat konsolidasi tanah dengan adanya *PV-drain* digunakan derajat konsolidasi rata-rata (U) yang besarnya dapat dihitung dengan persamaan (3.45), (3.50) dan persamaan (3.51).

8.2.1 Konsolidasi dengan *PV-drain* Pola Segitiga

Ketentuan-ketentuan perencanaan sebagai berikut:

- Jarak *PV-drain* (s) = 1,5 m, 2,0 m, 2,5 m

- $C_h = 2,5 C_v = 2,5 \cdot 6,979 \text{ m}^2/\text{tahun}$

$$= 17,447 \text{ m}^2/\text{tahun}$$

- Pola susunan segitiga, maka:

$$D = 1,05 s = 1,05 \cdot 1,5 = 1,575 \text{ m}$$

$$= 1,05 \cdot 2,0 = 2,100 \text{ m}$$

$$= 1,05 \cdot 2,5 = 2,625 \text{ m}$$

- Lebar *drain* (a) = 100 mm = 0,1 m

- Tebal *drain* (b) = 5,3 mm = 0,0053 m

$$\begin{aligned} \text{maka: } dw &= \frac{(a + b)}{2} \\ &= \frac{(0,1 + 0,0053)}{2} \\ &= 0,0526 \text{ m} \end{aligned}$$

1. **Perhitungan untuk:**

Jarak antara *PV-drain* (s) = 1,5 m

Lebar *PV-drain* (a) = 0,1 m

Tebal *PV-drain* (b) = 0,0053 m

Tebal lapisan tanah lunak (H) = 10 m

Jika $t = 1$ bulan = 0,083 tahun

a. Derajat konsolidasi arah vertikal (U_v)

$$T_v = \frac{t \cdot C_v}{d^2} = \frac{0,083 \cdot 6,979}{10^2} = 5,792 \cdot 10^{-3}$$

$$U_v = \sqrt{\frac{4T_v}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 5,792 \cdot 10^{-3}}{3,14}} = 0,0859$$

b. Derajat konsolidasi arah horisontal (U_h)

$$t = \left(\frac{D^2}{8C_h} \right) \cdot 2F(n) \cdot \ln \frac{1}{1-U_h}$$

$$F(n) = \ln \left(\frac{D}{dw} \right) - \frac{3}{4} = \ln \left(\frac{1,575}{0,0526} \right) - \frac{3}{4}$$

$$= 2,6493$$

$$0,083 = \left(\frac{1,575^2}{8 \cdot 17,447} \right) \cdot 2 \cdot 2,6493 \cdot \ln \frac{1}{1-U_h}$$

$$0,083 = 0,0941 \ln \frac{1}{1-U_h}$$

$$\ln \frac{1}{1-U_h} = 0,8820$$

$$\frac{1}{1-U_h} = 2,4157 \Rightarrow U_h = 0,5860$$

c. Derajat konsolidasi rata-rata (U)

$$(1 - U) = (1 - U_v) \cdot (1 - U_h)$$

$$(1 - U) = (1 - 0,0859) \cdot (1 - 0,5860)$$

$$(1 - U) = 0,3784$$

$$U = 0,6216$$

Dengan cara yang sama, dapat dihitung untuk $t = 2$ bulan dan seterusnya sampai $t = 12$ bulan. Hasilnya dapat dilihat pada tabel 8.1

Tabel 8.1 Derajat konsolidasi rata-rata untuk $a = 0,1$ m, $b = 0,0053$ m, $s = 1,5$ m dan $H = 10$ m dengan pola segitiga

t (bulan)	T_v	U_v	U_h	$U_{\text{rata-rata}}$
1	0.00582	0.08607	0.58788	0.62336
2	0.01163	0.12173	0.83016	0.85083
3	0.01745	0.14908	0.93001	0.94044
4	0.02326	0.17215	0.97115	0.97612
5	0.02908	0.19247	0.98811	0.99040
6	0.03490	0.21084	0.99510	0.99613
7	0.04071	0.22773	0.99798	0.99844
8	0.04653	0.24345	0.99917	0.99937
9	0.05234	0.25822	0.99966	0.99975
10	0.05816	0.27219	0.99986	0.99990
11	0.06397	0.28547	0.99994	0.99996
12	0.06979	0.29817	0.99998	0.99998

2. Perhitungan untuk:

Jarak antara *PV-drain* (s) = 2,0 m

Lebar *PV-drain* (a) = 0,1 m

Tebal *PV-drain* (b) = 0,0053 m

Tebal lapisan tanah lunak (H) = 10 m

Jika $t = 1 \text{ bulan} = 0,083 \text{ tahun}$

a. Derajat konsolidasi arah vertikal (U_v)

$$T_v = \frac{t \cdot C_v}{d^2} = \frac{0,083 \cdot 6,979}{10^2} = 5,792 \cdot 10^{-3}$$

$$U_v = \sqrt{\frac{4T_v}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 5,792 \cdot 10^{-3}}{3,14}} = 0,0859$$

b. Derajat konsolidasi arah horisontal (U_h)

$$t = \left(\frac{D^2}{8C_h} \right) \cdot 2F(n) \cdot \ln \frac{1}{1-U_h}$$

$$F(n) = \ln \left(\frac{D}{dw} \right) - \frac{3}{4} = \ln \left(\frac{2,100}{0,0526} \right) - \frac{3}{4}$$

$$= 2,9370$$

$$0,083 = \left(\frac{2,100^2}{8 \cdot 17,447} \right) \cdot 2 \cdot 2,9370 \cdot \ln \frac{1}{1-U_h}$$

$$0,083 = 0,1856 \ln \frac{1}{1-U_h}$$

$$\ln \frac{1}{1-U_h} = 0,4472$$

$$\frac{1}{1-U_h} = 1,5639 \Rightarrow U_h = 0,3606$$

c. Derajat konsolidasi rata-rata (U)

$$(1-U) = (1-U_v) \cdot (1-U_h)$$

$$(1-U) = (1-0,0859) \cdot (1-0,3606)$$

$$(1-U) = 0,5845$$

$$U = 0,4155$$

Dengan cara yang sama, dapat dihitung untuk $t = 2$ bulan dan seterusnya sampai $t = 12$ bulan. Hasilnya dapat dilihat pada tabel 8.2

Tabel 8.2 Derajat konsolidasi rata-rata untuk $a = 0,1$ m, $b = 0,0053$ m, $s = 2,0$ m dan $H = 10$ m dengan pola segitiga

t (bulan)	T_v	U_v	U_h	$U_{rata-rata}$
1	0.00582	0.08607	0.3622	0.4171
2	0.01163	0.12173	0.5933	0.6428
3	0.01745	0.14908	0.7406	0.7793
4	0.02326	0.17215	0.8346	0.8630
5	0.02908	0.19247	0.8945	0.9148
6	0.03490	0.21084	0.9327	0.9469
7	0.04071	0.22773	0.9571	0.9669
8	0.04653	0.24345	0.9726	0.9793
9	0.05234	0.25822	0.9825	0.9871
10	0.05816	0.27219	0.9889	0.9919
11	0.06397	0.28547	0.9929	0.9949
12	0.06979	0.29817	0.9955	0.9968

3. Perhitungan untuk:

Jarak antara *PV-drain* (s) = 2,5 m

Lebar *PV-drain* (a) = 0,1 m

Tebal *PV-drain* (b) = 0,0053 m

Tebal lapisan tanah lunak (H) = 10 m

Jika $t = 1$ bulan = 0,083 tahun

a. Derajat konsolidasi arah vertikal (U_v)

$$T_v = \frac{t \cdot C_v}{d^2} = \frac{0,083 \cdot 6,979}{10^2} = 5,792 \cdot 10^{-3}$$

$$U_v = \sqrt{\frac{4T_v}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 5,792 \cdot 10^{-3}}{3,14}} = 0,0859$$

b. Derajat konsolidasi arah horisontal (U_h)

$$t = \left(\frac{D^2}{8C_h} \right) \cdot 2F(n) \cdot \ln \frac{1}{1-U_h}$$

$$F(n) = \ln \left(\frac{D}{dw} \right) - \frac{3}{4}$$

$$= \ln \left(\frac{2,625}{0,0526} \right) - \frac{3}{4}$$

$$= 3,1601$$

$$0,083 = \left(\frac{2,625^2}{8 \cdot 17,447} \right) \cdot 2 \cdot 3,1601 \cdot \ln \frac{1}{1-U_h}$$

$$0,083 = 0,3120 \ln \frac{1}{1-U_h}$$

$$\ln \frac{1}{1-U_h} = 0,2660$$

$$\frac{1}{1-U_h} = 1,3047 \Rightarrow U_h = 0,2335$$

c. Derajat konsolidasi rata-rata (U)

$$(1 - U) = (1 - U_v) \cdot (1 - U_h)$$

$$(1 - U) = (1 - 0,0859) \cdot (1 - 0,2335)$$

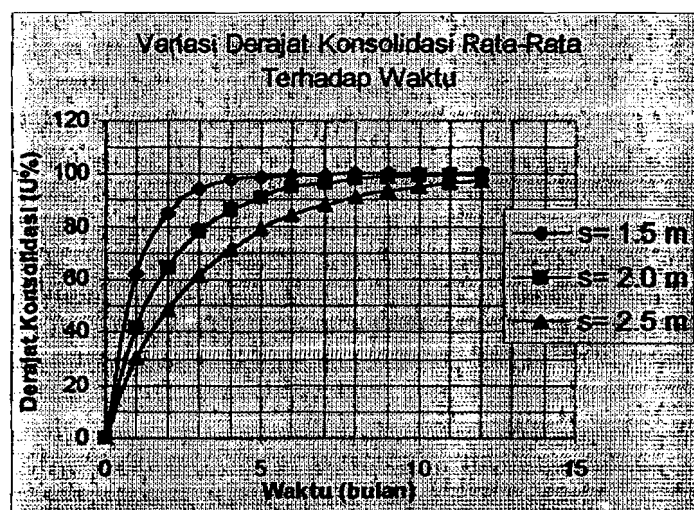
$$(1 - U) = 0,7006$$

$$U = 0,2994$$

Dengan cara yang sama, dapat dihitung untuk $t = 2$ bulan dan seterusnya sampai $t = 12$ bulan. Hasilnya dapat dilihat pada tabel 8.3. Kemudian hasil dari tabel 8.1, tabel 8.2 dan tabel 8.3 digambarkan dalam bentuk grafik seperti yang diperlihatkan pada gambar 8.1.

Tabel 8.3 Derajat konsolidasi rata-rata untuk $a = 0,1$ m, $b = 0,0053$ m, $s = 2,5$ m dan $H = 10$ m dengan pola segitiga

t (bulan)	T_v	U_v	U_h	$U_{rata-rata}$
1	0.00582	0.08607	0.23474	0.30061
2	0.01163	0.12173	0.41437	0.48566
3	0.01745	0.14908	0.55184	0.61866
4	0.02326	0.17215	0.65704	0.71608
5	0.02908	0.19247	0.73755	0.78806
6	0.03490	0.21084	0.79915	0.84150
7	0.04071	0.22773	0.84630	0.88130
8	0.04653	0.24345	0.88238	0.91101
9	0.05234	0.25822	0.90999	0.93323
10	0.05816	0.27219	0.93112	0.94987
11	0.06397	0.28547	0.94729	0.96234
12	0.06979	0.29817	0.95966	0.97169



Gambar 8.1 Grafik variasi derajat konsolidasi rata-rata (U) terhadap waktu (t) untuk pola segitiga metoda *PV-drain*

8.2.2 Konsolidasi dengan *PV-drain* Pola Segiempat

Ketentuan-ketentuan perencanaan sebagai berikut:

- Jarak *PV-drain* (s) = 1,5 m, 2,0 m, 2,5 m

- $C_h = 2,5 C_v = 2,5 \cdot 6,979 \text{ m}^2/\text{tahun}$
 $= 17,447 \text{ m}^2/\text{tahun}$
- Pola susunan segiempat, maka:
 $D = 1,13 s = 1,13 \cdot 1,5 = 1,695 \text{ m}$
 $= 1,13 \cdot 2,0 = 2,260 \text{ m}$
 $= 1,13 \cdot 2,5 = 2,825 \text{ m}$
- Lebar *drain* (a) = 100 mm = 0,1 m
- Tebal *drain* (b) = 5,3 mm = 0,0053 m

maka:
$$dw = \frac{(a + b)}{2}$$

$$= \frac{(0,1 + 0,0053)}{2}$$

$$= 0,0526 \text{ m}$$

1. Perhitungan untuk:

Jarak antara *PV-drain* (s) = 1,5 m

Lebar *PV-drain* (a) = 0,1 m

Tebal *PV-drain* (b) = 0,0053 m

Tebal lapisan tanah lunak (H) = 10 m

Jika t = 1 bulan = 0,083 tahun

a. Derajat konsolidasi arah vertikal (U_v)

$$T_v = \frac{t \cdot C_v}{d^2} = \frac{0,083 \cdot 6,979}{10^2} = 5,792 \cdot 10^{-3}$$

$$U_v = \sqrt{\frac{4T_v}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 5,792 \cdot 10^{-3}}{3,14}} = 0,0859$$

b. Derajat konsolidasi arah horisontal (U_h)

$$t = \left(\frac{D^2}{8C_h} \right) \cdot 2F(n) \cdot \ln \frac{1}{1-U_h}$$

$$F(n) = \ln \left(\frac{D}{dw} \right) - \frac{3}{4}$$

$$= \ln \left(\frac{1,695}{0,0526} \right) - \frac{3}{4}$$

$$= 2,7227$$

$$0,083 = \left(\frac{1,695^2}{8 \cdot 17,447} \right) \cdot 2 \cdot 2,7227 \cdot \ln \frac{1}{1-U_h}$$

$$0,083 = 0,1121 \ln \frac{1}{1-U_h}$$

$$\ln \frac{1}{1-U_h} = 0,7404$$

$$\frac{1}{1-U_h} = 2,0968 \Rightarrow U_h = 0,5231$$

c. Derajat konsolidasi rata-rata (U)

$$(1-U) = (1-U_v) \cdot (1-U_h)$$

$$(1-U) = (1-0,0859) \cdot (1-0,5231)$$

$$(1-U) = 0,4359$$

$$U = 0,5641$$

Dengan cara yang sama, dapat dihitung untuk $t = 2$ bulan dan seterusnya sampai $t = 12$ bulan. Hasilnya dapat dilihat pada tabel 8.4.

Tabel 8.4 Derajat konsolidasi rata-rata untuk $a = 0,1$ m, $b = 0,0053$ m, $s = 1,5$ m dan $H = 10$ m dengan pola segiempat

t (bulan)	T_v	U_v	U_h	$U_{rata-rata}$
1	0.00582	0.08607	0.5251	0.5660
2	0.01163	0.12173	0.7745	0.8020
3	0.01745	0.14908	0.8929	0.9089
4	0.02326	0.17215	0.9492	0.9579
5	0.02908	0.19247	0.9759	0.9805
6	0.03490	0.21084	0.9885	0.9910
7	0.04071	0.22773	0.9946	0.9958
8	0.04653	0.24345	0.9974	0.9980
9	0.05234	0.25822	0.9988	0.9991
10	0.05816	0.27219	0.9994	0.9996
11	0.06397	0.28547	0.9997	0.9998
12	0.06979	0.29817	0.9999	0.9999

2. Perhitungan untuk:

Jarak antara *PV-drain* (s) = 2,0 m

Lebar *PV-drain* (a) = 0,1 m

Tebal *PV-drain* (b) = 0,0053 m

Tebal lapisan tanah lunak (H) = 10 m

Jika $t = 1$ bulan = 0,083 tahun

a. Derajat konsolidasi arah vertikal (U_v)

$$T_v = \frac{t \cdot C_v}{d^2} = \frac{0,083 \cdot 6,979}{10^2} = 5,792 \cdot 10^{-3}$$

$$U_v = \sqrt{\frac{4T_v}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 5,792 \cdot 10^{-3}}{3,14}} = 0,0859$$

b. Derajat konsolidasi arah horisontal (U_h)

$$t = \left(\frac{D^2}{8C_h} \right) \cdot 2F(n) \cdot \ln \frac{1}{1-U_h}$$

$$\begin{aligned}
 F(n) &= \ln\left(\frac{D}{dw}\right) - \frac{3}{4} \\
 &= \ln\left(\frac{2,260}{0,0526}\right) - \frac{3}{4} \\
 &= 3,0104
 \end{aligned}$$

$$0,083 = \left(\frac{2,260^2}{8 \cdot 17,447}\right) \cdot 2 \cdot 3,0104 \cdot \ln \frac{1}{1-U_h}$$

$$0,083 = 0,2203 \ln \frac{1}{1-U_h}$$

$$\ln \frac{1}{1-U_h} = 0,3768$$

$$\frac{1}{1-U_h} = 1,4576 \Rightarrow U_h = 0,3139$$

c. Derajat konsolidasi rata-rata (U)

$$(1 - U) = (1 - U_v) \cdot (1 - U_h)$$

$$(1 - U) = (1 - 0,0859) \cdot (1 - 0,3139)$$

$$(1 - U) = 0,6272$$

$$U = 0,3728$$

Dengan cara yang sama, dapat dihitung untuk $t = 2$ bulan dan seterusnya sampai $t = 12$ bulan. Hasilnya dapat dilihat pada tabel 8.5

Tabel 8.5 Derajat konsolidasi rata-rata untuk $a = 0,1$ m, $b = 0,0053$ m, $s = 2,0$ m dan $H = 10$ m dengan pola segiempat

t (bulan)	T_v	U_v	U_h	$U_{rata-rata}$
1	0.00582	0.08607	0.3154	0.3743
2	0.01163	0.12173	0.5313	0.5883
3	0.01745	0.14908	0.6791	0.7269
4	0.02326	0.17215	0.7803	0.8181
5	0.02908	0.19247	0.8496	0.8785
6	0.03490	0.21084	0.8970	0.9187
7	0.04071	0.22773	0.9295	0.9456
8	0.04653	0.24345	0.9517	0.9635
9	0.05234	0.25822	0.9670	0.9755
10	0.05816	0.27219	0.9774	0.9835
11	0.06397	0.28547	0.9845	0.9889
12	0.06979	0.29817	0.9894	0.9926

3. Perhitungan untuk:

Jarak antara *PV-drain* (s) = 2,5 m

Lebar *PV-drain* (a) = 0,1 m

Tebal *PV-drain* (b) = 0,0053 m

Tebal lapisan tanah lunak (H) = 10 m

Jika $t = 1$ bulan = 0,083 tahun

a. Derajat konsolidasi arah vertikal (U_v)

$$T_v = \frac{t \cdot C_v}{d^2} = \frac{0,083 \cdot 6,979}{10^2} = 5,792 \cdot 10^{-3}$$

$$U_v = \sqrt{\frac{4T_v}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 5,792 \cdot 10^{-3}}{3,14}} = 0,0859$$

b. Derajat konsolidasi arah horisontal (U_h)

$$t = \left(\frac{D^2}{8C_b} \right) \cdot 2F(n) \cdot \ln \frac{1}{1-U_h}$$

$$\begin{aligned}
 F(n) &= \ln\left(\frac{D}{dw}\right) - \frac{3}{4} \\
 &= \ln\left(\frac{2,825}{0,0526}\right) - \frac{3}{4} \\
 &= 3,2335
 \end{aligned}$$

$$0,083 = \left(\frac{2,825^2}{8 \cdot 17,447}\right) \cdot 2 \cdot 3,2335 \cdot \ln \frac{1}{1-U_h}$$

$$0,083 = 0,3698 \ln \frac{1}{1-U_h}$$

$$\ln \frac{1}{1-U_h} = 0,2244$$

$$\frac{1}{1-U_h} = 1,2516 \Rightarrow U_h = 0,2010$$

c. Derajat konsolidasi rata-rata (U)

$$(1 - U) = (1 - U_v) \cdot (1 - U_h)$$

$$(1 - U) = (1 - 0,0859) \cdot (1 - 0,2010)$$

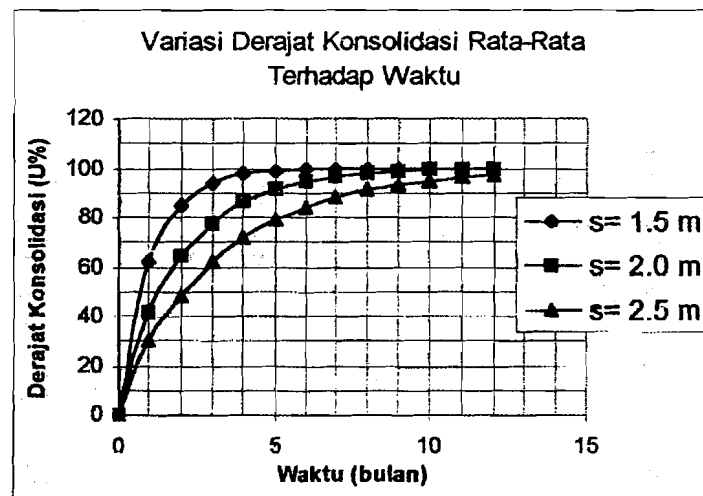
$$(1 - U) = 0,7304$$

$$U = 0,2696$$

Dengan cara yang sama, dapat dihitung untuk $t = 2$ bulan dan seterusnya sampai $t = 12$ bulan. Hasilnya dapat dilihat pada tabel 8.6. Hasil dari tabel 8.4, tabel 8.5, dan tabel 8.6 digambarkan dalam bentuk grafik seperti yang diperlihatkan pada gambar 8.2.

Tabel 8.6 Derajat konsolidasi rata-rata untuk $a = 0,1$ m, $b = 0,0053$ m, $s = 2,5$ m dan $H = 10$ m dengan pola segiempat

t (bulan)	T_v	U_v	U_h	$U_{rata-rata}$
1	0.00582	0.08607	0.20208	0.27076
2	0.01163	0.12173	0.36333	0.44083
3	0.01745	0.14908	0.49199	0.56773
4	0.02326	0.17215	0.59465	0.66443
5	0.02908	0.19247	0.67656	0.73881
6	0.03490	0.21084	0.74193	0.79634
7	0.04071	0.22773	0.79408	0.84097
8	0.04653	0.24345	0.83569	0.87569
9	0.05234	0.25822	0.86890	0.90275
10	0.05816	0.27219	0.89539	0.92386
11	0.06397	0.28547	0.91653	0.94036
12	0.06979	0.29817	0.93340	0.95326



Gambar 8.2 Grafik variasi derajat konsolidasi rata-rata (U) terhadap waktu (t) untuk pola segiempat metoda *PV-drain*

8.3 Waktu Konsolidasi dengan *Vertical Sand Drain*

Besarnya pemampatan suatu lapisan tanah dasar pada saat t dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (3.41). Berdasarkan persamaan (3.41), untuk menghitung pemampatan tanah pada saat t perlu diketahui dahulu derajat konsolidasi dan pemampatan total yang terjadi pada lapisan tanah yang dianalisis. Derajat konsolidasi tanah dengan adanya *vertical sand drain* digunakan derajat konsolidasi rata-rata (U) yang besarnya dapat dihitung dengan persamaan (3.52), (3.53) dan persamaan (3.54).

8.3.1 Konsolidasi dengan *Vertical Sand Drain* Pola Segitiga

Ketentuan-ketentuan perencanaan sebagai berikut:

- Jarak *sand drain* (s) = 1,5 m, 2,0 m, 2,5 m
- $C_h = 2,5 C_v = 2,5 \cdot 6,979 \text{ m}^2/\text{tahun}$
 $= 17,447 \text{ m}^2/\text{tahun}$
- Pola susunan segitiga, maka:
 $D = 1,05 s = 1,05 \cdot 1,5 = 1,575 \text{ m}$
 $= 1,05 \cdot 2,0 = 2,100 \text{ m}$
 $= 1,05 \cdot 2,5 = 2,625 \text{ m}$
- Diameter *sand drain* (dr) = 25 cm = 0,25 m

1. Perhitungan untuk:

Jarak antara *sand drain* (s) = 1,5 m

Diameter *sand drain* (dw) = 0,25 m

Tebal lapisan tanah lunak (H) = 10 m

Jika $t = 1$ bulan = 0,083 tahun

a. Derajat konsolidasi arah vertikal (U_v)

$$T_v = \frac{t \cdot C_v}{d^2} = \frac{0,083 \cdot 6,979}{10^2} = 5,792 \cdot 10^{-3}$$

$$U_v = \sqrt{\frac{4T_v}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 5,792 \cdot 10^{-3}}{3,14}} = 0,0859$$

b. Derajat konsolidasi arah horisontal (U_h)

$$t = \left(\frac{D^2}{8C_h} \right) \cdot F(n) \cdot \ln \frac{1}{1-U_h}$$

$$n = \frac{D}{dr} = \frac{1,575}{0,25} = 6,300$$

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

$$= \left(\frac{6,30^2}{6,30^2 - 1} \right) \ln 6,30 - \frac{3}{4} + \frac{1}{4 \cdot 6,30^2}$$

$$= 1,1318$$

$$0,083 = \left(\frac{1,575^2}{8 \cdot 17,447} \right) \cdot 1,1318 \cdot \ln \frac{1}{1-U_h}$$

$$0,083 = 0,0201 \ln \frac{1}{1-U_h}$$

$$\ln \frac{1}{1-U_h} = 4,1293$$

$$\frac{1}{1-U_h} = 62,1340 \Rightarrow U_h = 0,9817$$

c. Derajat konsolidasi rata-rata (U)

$$(1 - U) = (1 - U_v) \cdot (1 - U_h)$$

$$(1 - U) = (1 - 0,0859) \cdot (1 - 0,9817)$$

$$(1 - U) = 0,0167$$

$$U = 0,9833$$

Dengan cara yang sama, dapat dihitung untuk $t = 2$ bulan dan seterusnya sampai $t = 12$ bulan. Hasilnya dapat dilihat pada tabel 8.7

Tabel 8.7 Derajat konsolidasi rata-rata untuk $dr = 0,25$ m, $s = 1,5$ m dan $H = 10$ m dengan pola segitiga

t (bulan)	T_v	U_v	U_h	$U_{rata-rata}$
1	0.00582	0.086074	0.9842	0.9856
2	0.01163	0.121727	0.9998	0.9998
3	0.01745	0.149084	1.0000	1.0000
4	0.02326	0.172148	1.0000	1.0000
5	0.02908	0.192467	1.0000	1.0000
6	0.03490	0.210837	1.0000	1.0000
7	0.04071	0.22773	1.0000	1.0000
8	0.04653	0.243454	1.0000	1.0000
9	0.05234	0.258222	1.0000	1.0000
10	0.05816	0.272189	1.0000	1.0000
11	0.06397	0.285475	1.0000	1.0000
12	0.06979	0.298169	1.0000	1.0000

2. Perhitungan untuk:

Jarak antara *sand drain* (s) = 2,0 m

Diameter *sand drain* (dr) = 0,25 m

Tebal lapisan tanah lunak (H) = 10 m

Jika $t = 1$ bulan = 0,083 tahun

a. Derajat konsolidasi arah vertikal (U_v)

$$T_v = \frac{t \cdot C_v}{d^2} = \frac{0,083 \cdot 6,979}{10^2} = 5,792 \cdot 10^{-3}$$

$$U_v = \sqrt{\frac{4T_v}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 5,792 \cdot 10^{-3}}{3,14}} = 0,0859$$

b. Derajat konsolidasi arah horisontal (U_h)

$$t = \left(\frac{D^2}{8C_h} \right) \cdot F(n) \cdot \ln \frac{1}{1-U_h}$$

$$n = \frac{D}{dr} = \frac{2,100}{0,25} = 8,400$$

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

$$= \left(\frac{8,40^2}{8,40^2 - 1} \right) \ln 8,40 - \frac{3}{4} + \frac{1}{4 \cdot 8,40^2}$$

$$= 1,4053$$

$$0,083 = \left(\frac{2,100^2}{8 \cdot 17,447} \right) \cdot 1,4053 \cdot \ln \frac{1}{1-U_h}$$

$$0,083 = 0,0444 \ln \frac{1}{1-U_h}$$

$$\ln \frac{1}{1-U_h} = 1,8694$$

$$\frac{1}{1-U_h} = 6,4844 \Rightarrow U_h = 0,8458$$

c. Derajat konsolidasi rata-rata (U)

$$(1 - U) = (1 - U_v) \cdot (1 - U_h)$$

$$(1 - U) = (1 - 0,0859) \cdot (1 - 0,8458)$$

$$(1 - U) = 0,1410$$

$$U = 0,8590$$

Dengan cara yang sama, dapat dihitung untuk $t = 2$ bulan dan seterusnya sampai $t = 12$ bulan. Hasilnya dapat dilihat pada tabel 8.8

Tabel 8.8 Derajat konsolidasi rata-rata untuk $dr = 0,25$ m, $s = 2,0$ m dan $H = 10$ m dengan pola segitiga

t (bulan)	T_v	U_v	U_h	$U_{rata-rata}$
1	0.00582	0.086074	0.8474	0.8606
2	0.01163	0.121727	0.9767	0.9796
3	0.01745	0.149084	0.9964	0.9970
4	0.02326	0.172148	0.9995	0.9996
5	0.02908	0.192467	0.9999	0.9999
6	0.03490	0.210837	1.0000	1.0000
7	0.04071	0.22773	1.0000	1.0000
8	0.04653	0.243454	1.0000	1.0000
9	0.05234	0.258222	1.0000	1.0000
10	0.05816	0.272189	1.0000	1.0000
11	0.06397	0.285475	1.0000	1.0000
12	0.06979	0.298169	1.0000	1.0000

3. Perhitungan untuk:

Jarak antara *sand drain* (s) = 2,5 m

Diameter *sand drain* (dr) = 0,25 m

Tebal lapisan tanah lunak (H) = 10 m

Jika $t = 1$ bulan = 0,083 tahun

a. Derajat konsolidasi arah vertikal (U_v)

$$T_v = \frac{t \cdot C_v}{d^2} = \frac{0,083 \cdot 6,979}{10^2} = 5,792 \cdot 10^{-3}$$

$$U_v = \sqrt{\frac{4T_v}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 5,792 \cdot 10^{-3}}{3,14}} = 0,0859$$

b. Derajat konsolidasi arah horisontal (U_h)

$$t = \left(\frac{D^2}{8C_h} \right) \cdot F(n) \cdot \ln \frac{1}{1-U_h}$$

$$n = \frac{D}{dr} = \frac{2,625}{0,25} = 10,500$$

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

$$= \left(\frac{10,50^2}{10,50^2 - 1} \right) \ln 10,50 - \frac{3}{4} + \frac{1}{4 \cdot 10,50^2}$$

$$= 1,6206$$

$$0,083 = \left(\frac{2,625^2}{8 \cdot 17,447} \right) \cdot 1,6206 \cdot \ln \frac{1}{1-U_h}$$

$$0,083 = 0,0800 \ln \frac{1}{1-U_h}$$

$$\ln \frac{1}{1-U_h} = 1,0375$$

$$\frac{1}{1-U_h} = 2,8222 \Rightarrow U_h = 0,6457$$

c. Derajat konsolidasi rata-rata (U)

$$(1 - U) = (1 - U_v) \cdot (1 - U_h)$$

$$(1 - U) = (1 - 0,0859) \cdot (1 - 0,6457)$$

$$(1 - U) = 0,3238$$

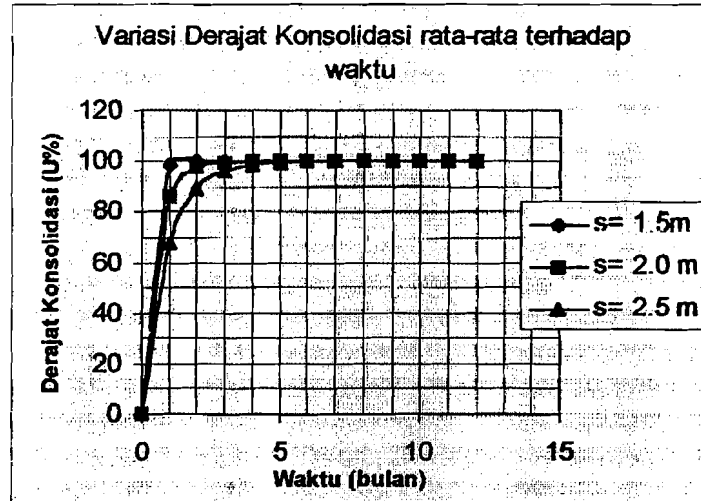
$$U = 0,6762$$

Dengan cara yang sama, dapat dihitung untuk $t = 2$ bulan dan seterusnya sampai $t = 12$ bulan. Hasilnya dapat dilihat pada tabel 8.9. Kemudian hasil

dari tabel 8.7, tabel 8.8 dan tabel 8.9 digambarkan dalam bentuk grafik seperti yang diperlihatkan pada gambar 8.3.

Tabel 8.9 Derajat konsolidasi rata-rata untuk $dr = 0,25$ m, $s = 2,5$ m dan $H = 10$ m dengan pola segitiga

t (bulan)	T_v	U_v	U_h	$U_{rata-rata}$
1	0.00582	0.086074	0.6477	0.6781
2	0.01163	0.121727	0.8759	0.8910
3	0.01745	0.149084	0.9563	0.9628
4	0.02326	0.172148	0.9846	0.9873
5	0.02908	0.192467	0.9946	0.9956
6	0.03490	0.210837	0.9981	0.9985
7	0.04071	0.22773	0.9993	0.9995
8	0.04653	0.243454	0.9998	0.9998
9	0.05234	0.258222	0.9999	0.9999
10	0.05816	0.272189	1.0000	1.0000
11	0.06397	0.285475	1.0000	1.0000
12	0.06979	0.298169	1.0000	1.0000



Gambar 8.3 Grafik variasi derajat konsolidasi (U) rata-rata terhadap waktu (t) untuk pola segitiga metoda *Vertical Sand Drain*

8.3.2 Konsolidasi dengan *Vertical Sand Drain* Pola Segiempat

Ketentuan-ketentuan perencanaan sebagai berikut:

- Jarak *sand drain* (s) = 1,5 m, 2,0 m, 2,5 m
- $C_h = 2,5$ $C_v = 2,5 \cdot 6,979 \text{ m}^2/\text{tahun}$
 $= 17,447 \text{ m}^2/\text{tahun}$
- Pola susunan segiempat, maka:
 $D = 1,13 s = 1,13 \cdot 1,5 = 1,695 \text{ m}$
 $= 1,13 \cdot 2,0 = 2,260 \text{ m}$
 $= 1,13 \cdot 2,5 = 2,825 \text{ m}$
- Diameter *sand drain* (dr) = 25 cm = 0,25 m

1. Perhitungan untuk:

Jarak antara *sand drain* (s) = 1,5 m

Diameter *sand drain* (dr) = 0,25 m

Tebal lapisan tanah lunak (H) = 10 m

Jika $t = 1 \text{ bulan} = 0,083 \text{ tahun}$

a. Derajat konsolidasi arah vertikal (U_v)

$$T_v = \frac{t \cdot C_v}{d^2} = \frac{0,083 \cdot 6,979}{10^2} = 5,792 \cdot 10^{-3}$$

$$U_v = \sqrt{\frac{4T_v}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 5,792 \cdot 10^{-3}}{3,14}} = 0,0859$$

b. Derajat konsolidasi arah horisontal (U_h)

$$t = \left(\frac{D^2}{8C_h} \right) \cdot F(n) \times \ln \frac{1}{1 - U_h}$$

$$n = \frac{D}{dr} = \frac{1,695}{0,25} = 6,780$$

$$\begin{aligned} F(n) &= \left(\frac{n^2}{n^2 - 1} \right) \ln(n) - \frac{3}{4} + \frac{1}{4n^2} \\ &= \left(\frac{6,78^2}{6,78^2 - 1} \right) \ln 6,78 - \frac{3}{4} + \frac{1}{4 \cdot 6,78^2} \\ &= 1,2011 \end{aligned}$$

$$0,083 = \left(\frac{1,695^2}{8 \cdot 17,447} \right) \cdot 1,2011 \cdot \ln \frac{1}{1 - U_h}$$

$$0,083 = 0,0247 \ln \frac{1}{1 - U_h}$$

$$\ln \frac{1}{1 - U_h} = 3,3603$$

$$\frac{1}{1 - U_h} = 28,7978 \Rightarrow U_h = 0,9653$$

c. Derajat konsolidasi rata-rata (U)

$$(1 - U) = (1 - U_v) \cdot (1 - U_h)$$

$$(1 - U) = (1 - 0,0859) \cdot (1 - 0,9653)$$

$$(1 - U) = 0,0317$$

$$U = 0,9683$$

Dengan cara yang sama, dapat dihitung untuk $t = 2$ bulan dan seterusnya sampai $t = 12$ bulan. Hasilnya dapat dilihat pada tabel 8.10

Tabel 8.10 Derajat konsolidasi rata-rata untuk $dr = 0,25$ m, $s = 1,5$ m dan $H = 10$ m dengan pola segiempat

t (bulan)	T_v	U_v	U_h	$U_{rata-rata}$
1	0.00582	0.086074	0.9658	0.9688
2	0.01163	0.121727	0.9988	0.9990
3	0.01745	0.149084	1.0000	1.0000
4	0.02326	0.172148	1.0000	1.0000
5	0.02908	0.192467	1.0000	1.0000
6	0.03490	0.210837	1.0000	1.0000
7	0.04071	0.22773	1.0000	1.0000
8	0.04653	0.243454	1.0000	1.0000
9	0.05234	0.258222	1.0000	1.0000
10	0.05816	0.272189	1.0000	1.0000
11	0.06397	0.285475	1.0000	1.0000
12	0.06979	0.298169	1.0000	1.0000

2. Perhitungan untuk:

Jarak antara *sand drain* (s) = 2,0 m

Diameter *sand drain* (dr) = 0,25 m

Tebal lapisan tanah lunak (H) = 10 m

Jika $t = 1$ bulan = 0,083 tahun

a. Derajat konsolidasi arah vertikal (U_v)

$$T_v = \frac{t \cdot C_v}{d^2} = \frac{0,083 \cdot 6,979}{10^2} = 5,792 \cdot 10^{-3}$$

$$U_v = \sqrt{\frac{4T_v}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 5,792 \cdot 10^{-3}}{3,14}} = 0,0859$$

b. Derajat konsolidasi arah horisontal (U_h)

$$t = \left(\frac{D^2}{8C_h} \right) \cdot F(n) \cdot \ln \frac{1}{1 - U_h}$$

$$n = \frac{D}{dr} = \frac{2,260}{0,25} = 9,040$$

$$\begin{aligned}
 F(n) &= \left(\frac{n^2}{n^2 - 1} \right) \ln(n) - \frac{3}{4} + \frac{1}{4n^2} \\
 &= \left(\frac{9,04^2}{9,04^2 - 1} \right) \ln 9,04 - \frac{3}{4} + \frac{1}{4 \cdot 9,04^2} \\
 &= 1,4759
 \end{aligned}$$

$$0,083 = \left(\frac{2,260^2}{8 \cdot 17,447} \right) \cdot 1,4759 \cdot \ln \frac{1}{1 - U_h}$$

$$0,083 = 0,0540 \frac{1}{1 - U_h}$$

$$\ln \frac{1}{1 - U_h} = 1,5370$$

$$\frac{1}{1 - U_h} = 4,6506 \Rightarrow U_h = 0,7850$$

c. Derajat konsolidasi rata-rata (U)

$$(1 - U) = (1 - U_v) \cdot (1 - U_h)$$

$$(1 - U) = (1 - 0,0859) \cdot (1 - 0,7850)$$

$$(1 - U) = 0,1965$$

$$U = 0,8035$$

Dengan cara yang sama, dapat dihitung untuk $t = 2$ bulan dan seterusnya sampai $t = 12$ bulan. Hasilnya dapat dilihat pada tabel 8.11

Tabel 8.11 Derajat konsolidasi rata-rata untuk $dr = 0,25$ m, $s = 2,0$ m dan $H = 10$ m dengan pola segiempat

t (bulan)	T_v	U_v	U_h	$U_{rata-rata}$
1	0.00582	0.086074	0.7868	0.8052
2	0.01163	0.121727	0.9546	0.9601
3	0.01745	0.149084	0.9903	0.9918
4	0.02326	0.172148	0.9979	0.9983
5	0.02908	0.192467	0.9996	0.9996
6	0.03490	0.210837	0.9999	0.9999
7	0.04071	0.22773	1.0000	1.0000
8	0.04653	0.243454	1.0000	1.0000
9	0.05234	0.258222	1.0000	1.0000
10	0.05816	0.272189	1.0000	1.0000
11	0.06397	0.285475	1.0000	1.0000
12	0.06979	0.298169	1.0000	1.0000

3. Perhitungan untuk:

Jarak antara *sand drain* (s) = 2,5 m

Diameter *sand drain* (dr) = 0,25 m

Tebal lapisan tanah lunak (H) = 10 m

Jika $t = 1$ bulan = 0,083 tahun

a. Derajat konsolidasi arah vertikal (U_v)

$$T_v = \frac{t \cdot C_v}{d^2} = \frac{0,083 \cdot 6,979}{10^2} = 5,792 \cdot 10^{-3}$$

$$U_v = \sqrt{\frac{4T_v}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 5,792 \cdot 10^{-3}}{3,14}} = 0,0859$$

b. Derajat konsolidasi arah horisontal (U_h)

$$t = \left(\frac{D^2}{8C_h} \right) \cdot F(n) \cdot \ln \frac{1}{1 - U_h}$$

$$n = \frac{D}{dr} = \frac{2,825}{0,25} = 11,300$$

$$\begin{aligned}
 F(n) &= \left(\frac{n^2}{n^2 - 1} \right) \ln(n) - \frac{3}{4} + \frac{1}{4n^2} \\
 &= \left(\frac{11,30^2}{11,30^2 - 1} \right) \ln 11,30 - \frac{3}{4} + \frac{1}{4 \cdot 11,30^2} \\
 &= 1,6920
 \end{aligned}$$

$$0,083 = \left(\frac{2,825^2}{8 \cdot 17,447} \right) \cdot 1,6920 \cdot \ln \frac{1}{1 - U_h}$$

$$0,083 = 0,0967 \ln \frac{1}{1 - U_h}$$

$$\ln \frac{1}{1 - U_h} = 0,8583$$

$$\frac{1}{1 - U_h} = 2,3591 \Rightarrow U_h = 0,5761$$

c. Derajat konsolidasi rata-rata (U)

$$(1 - U) = (1 - U_v) \cdot (1 - U_h)$$

$$(1 - U) = (1 - 0,0859) \cdot (1 - 0,5761)$$

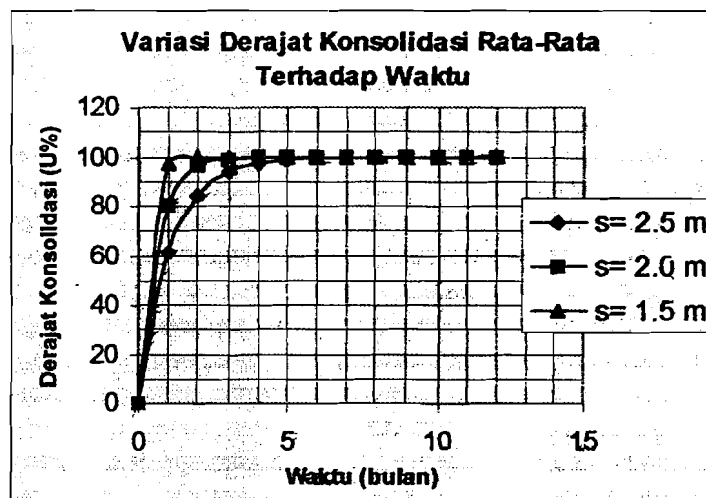
$$(1 - U) = 0,3875$$

$$U = 0,6125$$

Dengan cara yang sama, dapat dihitung untuk $t = 2$ bulan dan seterusnya sampai $t = 12$ bulan. Hasilnya dapat dilihat pada tabel 8.12. Kemudian hasil dari tabel 8.10, tabel 8.11 dan tabel 8.12 digambarkan dalam bentuk grafik seperti yang dipertlihatkan pada gambar 8.4.

Tabel 8.12 Derajat konsolidasi rata-rata untuk $dr = 0,25$ m, $s = 2,5$ m dan $H = 10$ m dengan pola segiempat

t (bulan)	T_v	U_v	U_h	$U_{rata-rata}$
1	0.00582	0.086074	0.5780	0.6144
2	0.01163	0.121727	0.8220	0.8436
3	0.01745	0.149084	0.9249	0.9361
4	0.02326	0.172148	0.9683	0.9738
5	0.02908	0.192467	0.9866	0.9892
6	0.03490	0.210837	0.9944	0.9955
7	0.04071	0.22773	0.9976	0.9982
8	0.04653	0.243454	0.9990	0.9992
9	0.05234	0.258222	0.9996	0.9997
10	0.05816	0.272189	0.9998	0.9999
11	0.06397	0.285475	0.9999	0.9999
12	0.06979	0.298169	1.0000	1.0000



Gambar 8.4 Grafik variasi derajat konsolidasi rata-rata (U) terhadap waktu (t) untuk pola segiempat metoda *Vertical Sand Drain*

BAB IX

PEMBAHASAN

Pembahasan yang akan dibahas meliputi pembahasan pengujian-pengujian sifat fisik dan sifat mekanik tanah serta analisis penurunan dan waktu penurunan tanah dengan menggunakan *vertical drain* pada tanah yang berasal dari Kasongan, Bantul, Yogyakarta. Dalam penggunaan *vertical drain* sebagai usaha untuk mempercepat laju kecepatan konsolidasi pada tanah lunak, ditinjau dua metoda *vertical drain*. Dua metoda yang dimaksud adalah metoda “Prefabricated Vertical Drain” dan metoda “Vertical Sand Drain”. Analisis *vertical drain* untuk kedua metode tersebut ditinjau dalam pola yang berbeda yaitu pola segitiga samasisi dan segiempat samasisi dengan jarak antara *vertical drain* (s) adalah 1,5 m, 2,0 m dan 2,5 m.

9.1 Sifat Fisik Tanah

Batas cair tanah mencapai 86%, dari hasil analisa butiran lebih dari 83% tanah lolos saringan nomer 200, maka menurut AASHTO tanah Kasongan termasuk klasifikasi tanah lempung kelompok A-7-5. Menurut klasifikasi sistem Unified, tanah Kasongan termasuk kelompok CH, yaitu lempung anorganik dengan plastisitas tinggi dan merupakan lempung gemuk (*fat clay*). Tanah kelompok ini tidak baik digunakan sebagai tanah dasar (sub grade) untuk suatu konstruksi bangunan dalam rekayasa sipil, kecuali telah dilakukan perbaikan-perbaikan pada tanah tersebut.

Tanah pada daerah Kasongan memiliki indek plastis sebesar 45,875%, menunjukkan tanah pada daerah Kasongan memiliki sifat plastisitas tinggi, jenis tanahnya lempung dan merupakan tanah kohesif. Batasan mengenai indek plastisitas, sifat, macam tanah, dan kohesinya diberikan oleh Atterberg terdapat pada tabel 3.2 (Hary CH, 1992).

Berdasarkan berat jenis tanah (G_s) sebesar 2,51 maka tanah Kasongan menurut tabel 3.1 (Braja M. Das, 1988) termasuk lempung anorganik yang jenis mineral lempungnya adalah *Halloysite*.

9.2 Sifat Mekanik Tanah

Hasil pengujian kuat tekan bebas pada tanah lempung Kasongan memperoleh nilai q_u sebesar 0,402 kg/cm². Tanah Kasongan termasuk lempung lunak yang dengan mudah ditembus beberapa inci dengan ibu jari.

Pengujian konsolidasi untuk sampel pertama menghasilkan grafik $e-\log P$ yang memiliki $C_c = 0,4153$. Pada tanah lempung Kasongan yang terkonsolidasi secara normal, perubahan angka pori sebagai akibat penambahan tegangan di lapangan dapat ditunjukkan dengan kurva yang hampir merupakan garis lurus dan dinamakan kurva pemampatan asli. Kurva hasil uji konsolidasi di laboratorium untuk tanah *undisturbed* adalah kurva yang terletak di sebelah kiri kurva pemampatan asli. Kemiringan dari grafik sampel tanah *undisturbed* terlihat lebih rendah karena adanya gangguan terhadap contoh tanah pada saat pengambilan (*sampling*) di lapangan. Nilai C_v yang didapat dari grafik penurunan vs akar waktu digunakan untuk menentukan waktu penurunan di lapangan. Semakin kecil nilai C_v maka semakin lama waktu penurunan yang terjadi.

9.3 Preloading

Dari perhitungan tinggi timbunan yaitu tinggi timbunan komulatif didapat tinggi timbunan awal dan total penurunan (*settlement*) untuk masing-masing variasi tinggi timbunan.

Tabel 9.1 Tinggi timbunan awal dan penurunan

Tinggi timbunan (m)	Tinggi timbunan rencana (m)	Tinggi timbunan awal (m)	Total Penurunan (m)
2	3,164	3,601	0,992
3	3,635	4,105	1,062
4	4,423	4,943	1,164
5	5,265	5,830	1,259
6	6,265	6,877	1,357

9.4 Waktu Konsolidasi

9.4.1 Waktu Konsolidasi tanpa Drainasi Vertikal

Dari hasil analisis menunjukkan bahwa konsolidasi tanah lempung tanpa menggunakan drainasi vertikal akan berlangsung sangat lama pada derajat konsolidasi tertentu. Derajat konsolidasi (U) dan waktu (t) yang dibutuhkan untuk konsolidasi tanpa drainasi vertikal menunjukkan perilaku, semakin besar derajat konsolidasi maka diperlukan waktu konsolidasi yang besar pula.

Tabel 9.2 Waktu konsolidasi tanpa drainasi vertikal

U (%)	T_v	C_v (m ² /tahun)	t (tahun)
20	0,031	6,979	0,444
40	0,126	6,979	1,805
60	0,287	6,979	4,112
80	0,567	6,979	8,124
90	0,848	6,979	12,151

9.4.2 Waktu Konsolidasi dengan Vertical Drain

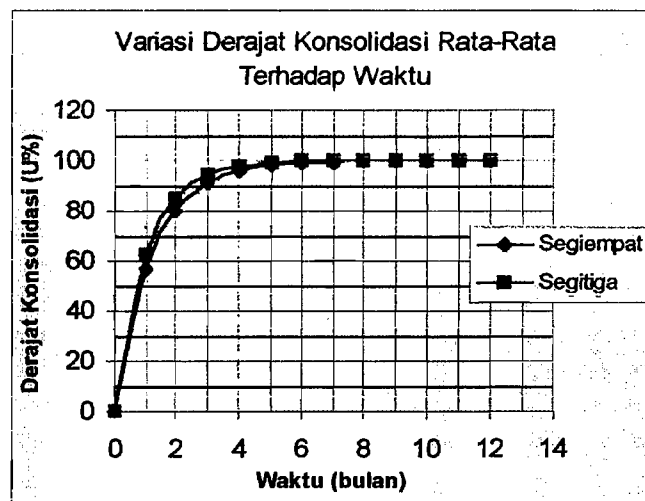
Hal-hal yang berpengaruh terhadap waktu konsolidasi dalam proses konsolidasi tanah yang berkaitan dengan penggunaan *vertical drain* dijelaskan pada pembahasan berikut.

1. Pola Susunan Segitiga dan Segiempat

Pemakaian susunan yang berbeda akan memberikan waktu konsolidasi yang berbeda pula. Hasil analisis dari dua metoda *vertical drain* dengan dua pola susunan segitiga dan segiempat ditunjukkan pada gambar 9.1 dan gambar 9.2.

a. Metoda *Prefabricated Vertical Drain*

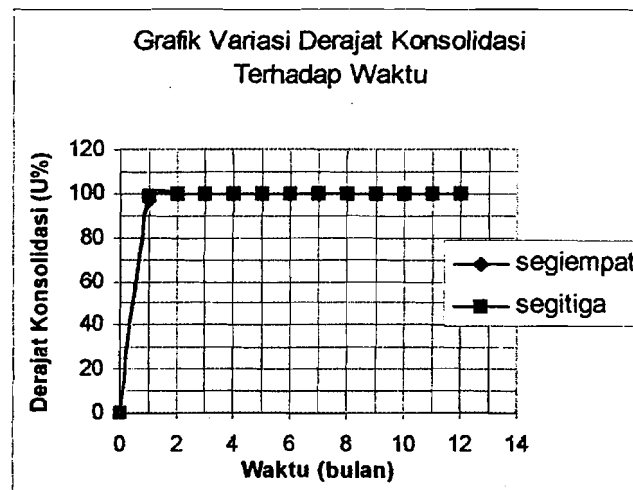
Untuk menggambarkan grafik hubungan derajat konsolidasi (U) dan waktu konsolidasi (t) dengan susunan yang berbeda, digunakan data tabel 8.1 dan tabel 8.4 dengan jarak (s) = 1,5 m.



Gambar 9.1 Grafik hubungan U dan t dengan pola susunan *PV-Drain* yang berbeda dan $s = 1,5$ m

b. Metoda *Vertical Sand Drain*

Untuk menggambarkan grafik hubungan derajat konsolidasi (U) dan waktu konsolidasi (t) dengan susunan yang berbeda, digunakan data tabel 8.7 dan tabel 8.10 dengan jarak (s) = 1,5 m.



Gambar 9.2 Grafik hubungan U dan t dengan pola susunan *Vertical Sand Drain* yang berbeda dan $s = 1,5$ m

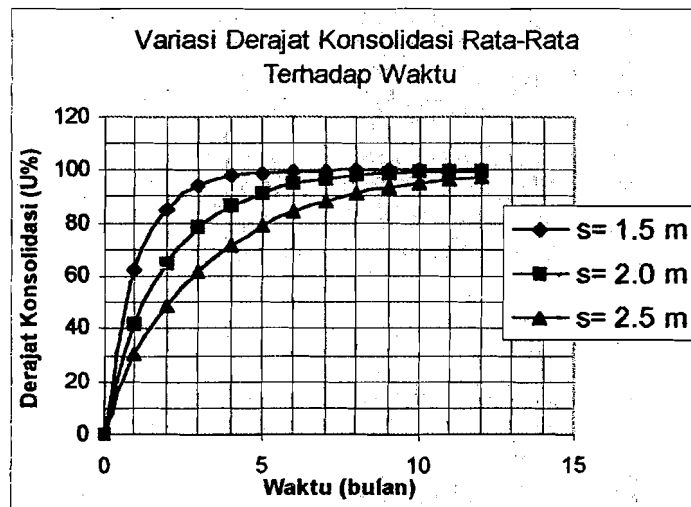
Dengan melihat gambar 9.1 dan gambar 9.2 dapat diketahui bahwa pola susunan segitiga untuk masing-masing metoda *vertical drain* memberikan waktu konsolidasi yang relatif lebih cepat dibandingkan pola susunan segiempat, karena jarak aliran air pori $D = 1,05$ s < $D = 1,13$ s.

2. Jarak antara *Vertical Drain*

Waktu konsolidasi yang terjadi dengan jarak antara *vertical drain* (s) yang berbeda yaitu $s = 1,5$ m, 2,0 m, dan 2,5 m dan pola segitiga untuk masing-masing metoda *vertical drain* dapat dilihat pada gambar 9.3 dan gambar 9.4.

a. Metoda *Prefabricated Vertical Drain*

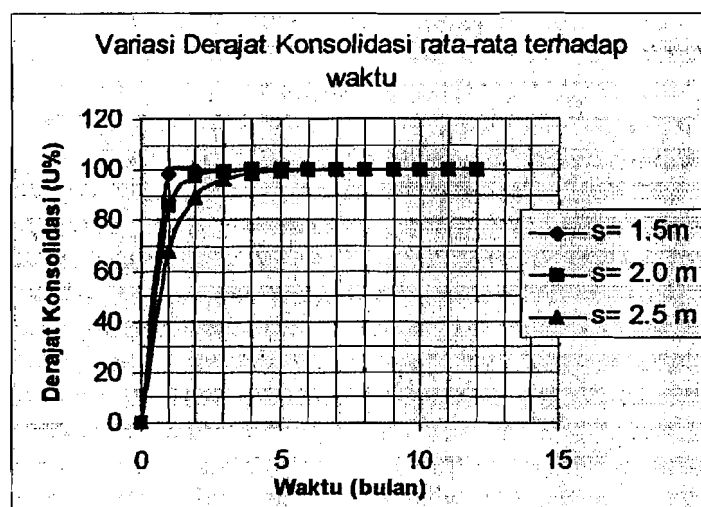
Untuk menggambarkan grafik hubungan derajat konsolidasi (U) dan waktu konsolidasi (t), digunakan data tabel 8.1, 8.2 dan tabel 8.3.



Gambar 9.3 Grafik hubungan U dan t untuk susunan segitiga *PV-drain* dengan $s = 1,5$ m, $2,0$ m, dan $2,5$ m

b. Metoda *Vertical Sand Drain*

Untuk menggambarkan grafik hubungan derajat konsolidasi (U) dan waktu konsolidasi (t), digunakan data tabel 8.7, 8.8 dan tabel 8.9.



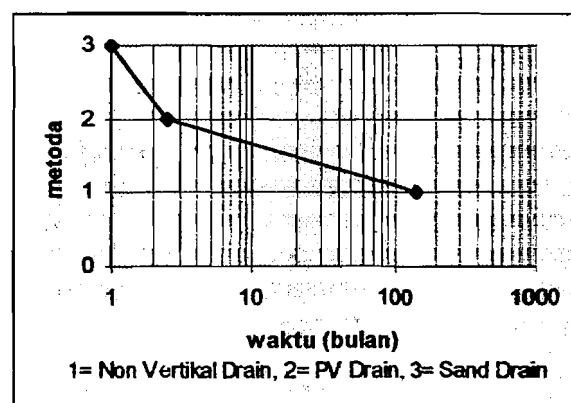
Gambar 9.4 Grafik hubungan U dan t untuk susunan segitiga *Vertical Sand Drain* dengan $s = 1,5$ m, $2,0$ m, dan $2,5$ m

Dari gambar 9.3 dan gambar 9.4 memperlihatkan bahwa semakin pendek jarak antara *vertical drain* akan memberikan waktu konsolidasi yang relatif lebih cepat. Untuk perencanaan maka sebaiknya digunakan jarak (s) = 1,5 m.

9.5 Hubungan Metoda Vertical Drain dan Waktu Konsolidasi

Dengan melihat faktor-faktor yang mempengaruhi terhadap waktu konsolidasi pada *vertical drain*, maka untuk membandingkan kedua metode *vertical drain* akan digunakan pola susunan segitiga dengan jarak (s) = 1,5 m, karena kedua faktor tersebut sama-sama memberikan waktu konsolidasi yang tercepat untuk masing-masing metoda *vertical drain*.

Hasil analisis menunjukkan bahwa waktu konsolidasi tanpa *vertical drain* untuk menyelesaikan pemampatan tanah sampai 90% pemampatan total adalah 12,151 tahun. Dengan adanya *vertical drain* waktu konsolidasi akan jauh lebih cepat. Metoda *PV-drain* memberikan waktu konsolidasi selama 2,5 bulan sedangkan metoda *Vertical Sand Drain* waktu konsolidasinya adalah 1 bulan. Untuk menggambarkan kondisi tersebut dapat dilihat pada gambar 9.5 berikut.



Gambar 9.5 Grafik hubungan metoda *vertical drain* dan waktu konsolidasi (t)

9.6 Persentase Kecepatan Derajat Konsolidasi Metoda *Vertical Drain*

Persentase diambil dengan berpedoman pada kriteria perencanaan yang sama yaitu susunan segitiga, jarak antara drain(s) = 1,5 m dan $C_h = 2,5 C_v$. Untuk menentukan persentase derajat konsolidasi digunakan data tabel 8.1 untuk metoda *PV-drain* dan tabel 8.7 untuk metoda *Vertical Sand Drain*. Besarnya persentase derajat konsolidasi dengan waktu yang berbeda dapat dilihat pada tabel 9.3.

Tabel 9.3 Persentase derajat konsolidasi dengan metoda *PV-drain* dan *VS-drain*

t (bulan)	<i>PV-drain</i> U (%) (1)	<i>VS-drain</i> U (%) (2)	Persentase: $((2)/(1)) \times 100\%$
1	62.336	98.492	158.0
2	85.083	99.976	117.5
3	94.044	100.000	106.3
4	97.612	100.000	102.4
5	99.040	100.000	101.0
6	99.613	100.000	100.4
7	99.844	100.000	100.2
8	99.937	100.000	100.1
9	99.975	100.000	100.0
10	99.990	100.000	100.0
11	99.996	100.000	100.0
12	99.998	100.000	100.0

Dari tabel 9.3 diketahui bahwa derajat konsolidasi metoda *Vertical Sand Drain* lebih cepat 100,0% - 158,0% dari metoda *PV-drain* untuk waktu konsolidasi tertentu, dengan kata lain metoda *Vertical Sand Drain* membutuhkan kecepatan derajat konsolidasi 100,0% - 158,0% dari kecepatan derajat konsolidasi metoda *PV-drain*.

9.6.1 Persentase Kecepatan dengan Pola Susunan Berbeda

1. Metoda *PV-drain*

Untuk menentukan persentase kecepatan derajat konsolidasi dengan pola susunan segitiga dan segiempat untuk waktu yang berbeda-beda akan digunakan data tabel 8.1 dan tabel 8.4. Besarnya persentase dapat dilihat pada tabel 9.4.

Tabel 9.4 Persentase derajat konsolidasi dengan susunan Δ dan \square (*PV-drain*)

<i>t</i> (bulan)	\square <i>U</i> (%) (1)	Δ <i>U</i> (%) (2)	Persentase: ((2)/(1)) \times 100%
1	56.601	62.336	110.13
2	80.196	85.083	106.09
3	90.889	94.044	103.47
4	95.791	97.612	101.90
5	98.050	99.040	101.01
6	99.095	99.613	100.52
7	99.580	99.844	100.27
8	99.804	99.937	100.13
9	99.909	99.975	100.07
10	99.958	99.990	100.03
11	99.980	99.996	100.02
12	99.991	99.998	100.01

2. Metoda *Vertical Sand Drain*

Untuk menentukan persentase kecepatan derajat konsolidasi dengan pola susunan segitiga dan segiempat untuk waktu yang berbeda-beda akan digunakan data tabel 8.7 dan tabel 8.10. Besarnya persentase dapat dilihat pada tabel 9.5.

Tabel 9.5 Persentase derajat konsolidasi dengan susunan Δ dan \square (*VS-drain*)

t (bulan)	\square U (%) (1)	Δ U (%) (2)	Persentase: $((2)/(1)) \times 100\%$
1	96.7811	98.4917	101.77
2	99.8910	99.9761	100.09
3	99.9963	99.9996	100.00
4	99.9999	100.0000	100.00
5	100.0000	100.0000	100.00
6	100.0000	100.0000	100.00
7	100.0000	100.0000	100.00
8	100.0000	100.0000	100.00
9	100.0000	100.0000	100.00
10	100.0000	100.0000	100.00
11	100.0000	100.0000	100.00
12	100.0000	100.0000	100.00

Dari tabel 9.4 dan tabel 9.5 diketahui bahwa derajat konsolidasi dengan pola susunan segitiga lebih cepat dari pola susunan segiempat untuk waktu konsolidasi tertentu. Metoda *PV-drain* memberikan kecepatan derajat konsolidasi pola segitiga 100,0% - 110,1% dari kecepatan derajat konsolidasi pola segiempat dan metoda *Vertical Sand Drain* memberikan kecepatan derajat konsolidasi pola segitiga 100,0% - 101,8% dari kecepatan derajat konsolidasi pola segi empat.

9.6.2 Persentase Kecepatan dengan Jarak Berbeda

1. Metoda *PV-drain*

Untuk menentukan persentase kecepatan derajat konsolidasi dengan jarak 1,5 m, 2,0 m dan 2,5 m pola susunan segitiga untuk waktu yang berbeda akan digunakan data-data tabel 8.1, 8.2 dan tabel 8.3.

Tabel 9.6 Persentase derajat konsolidasi dengan jarak tertentu (*PV-drain*)

<i>t</i> (bulan)	<i>s</i> = 1,5 m <i>U</i> (%) (1)	<i>s</i> = 2,0 m <i>U</i> (%) (2)	<i>s</i> = 2,5 m <i>U</i> (%) (3)	Persentase: ((2)/(1))×100%	Persentase: ((3)/(1))×100%
1	62.3356	41.7131	30.0607	66.92	48.22
2	85.0834	64.2768	48.5660	75.55	57.08
3	94.0441	77.9267	61.8656	82.86	65.78
4	97.6120	86.3040	71.6081	88.42	73.36
5	99.0400	91.4796	78.8061	92.37	79.57
6	99.6134	94.6896	84.1500	95.06	84.48
7	99.8441	96.6857	88.1303	96.84	88.27
8	99.9371	97.9293	91.1015	97.99	91.16
9	99.9746	98.7052	93.3232	98.73	93.35
10	99.9897	99.1897	94.9867	99.20	95.00
11	99.9958	99.4927	96.2336	99.50	96.24
12	99.9983	99.6822	97.1689	99.68	97.17

2. Metoda *Vertical Sand Drain*

Untuk menentukan persentase kecepatan derajat konsolidasi dengan jarak 1,5 m, 2,0 m dan 2,5 m pola susunan segitiga untuk waktu yang berbeda akan digunakan data-data tabel 8.7, 8.8 dan tabel 8.3.

Tabel 9.7 Persentase derajat konsolidasi dengan jarak tertentu (*VS-drain*)

<i>t</i> (bulan)	<i>s</i> = 1,5 m <i>U</i> (%) (1)	<i>s</i> = 2,0 m <i>U</i> (%) (2)	<i>s</i> = 2,5 m <i>U</i> (%) (3)	Persentase: ((2)/(1))×100%	Persentase: ((3)/(1))×100%
1	98.4917	85.9231	67.7112	87.24	68.75
2	99.9761	97.9164	89.0375	97.94	89.06
3	99.9996	99.6891	96.2476	99.69	96.25
4	100.0000	99.9534	98.7102	99.95	98.71
5	100.0000	99.9930	99.5555	99.99	99.56
6	100.0000	99.9989	99.8465	100.00	99.85
7	100.0000	99.9998	99.9469	100.00	99.95
8	100.0000	100.0000	99.9816	100.00	99.98
9	100.0000	100.0000	99.9936	100.00	99.99
10	100.0000	100.0000	99.9978	100.00	100.00
11	100.0000	100.0000	99.9992	100.00	100.00
12	100.0000	100.0000	99.9997	100.00	100.00

Dari tabel 9.6 diketahui bahwa dengan metoda *PV-drain* jarak 2,5 m membutuhkan kecepatan derajat konsolidasi 97,17% - 48,22% dari kecepatan derajat konsolidasi jarak 1,5 m untuk waktu konsolidasi tertentu, demikian juga derajat konsolidasi dengan jarak 2,0 m membutuhkan kecepatan 99,68% - 66,92% dari kecepatan derajat konsolidasi jarak 1,5 m. Tabel 9.7 dengan metoda *Vertical Sand Drain* juga menunjukkan angka yang hampir sama.

9.7 Pemilihan Metoda *Vertical Drain*

Dari hasil analisis waktu konsolidasi dengan kedua metoda *vertical drain* diketahui bahwa waktu konsolidasi dengan metoda *Vertical Sand Drain* relatif lebih cepat dibandingkan dengan metoda *PV-drain* pada pola susunan dan jarak antara *vertical drain* yang sama. Akan tetapi hasil tersebut belumlah tepat untuk memilih metoda *Vertical Sand Drain* sebagai metoda yang tepat untuk mengatasi masalah waktu konsolidasi guna mempercepat proses pemampatan tanah lunak.

Secara teknis diketahui bahwa metoda *Vertical Sand Drain* lebih menguntungkan dibandingkan dengan metoda *PV-drain* karena waktu konsolidasi relatif lebih cepat. Akan tetapi secara mekanis di lapangan ada beberapa pertimbangan yang dapat ditinjau untuk memilih metoda *vertical drain* yang tepat untuk perencanaan, yaitu:

1. Dalam pelaksanaan, selain waktu konsolidasi juga ada waktu persiapan dan pemasangan *vertical drain*. Untuk metoda *Vertical Sand Drain* waktu persiapan dan pemasangan akan sangat lama dibandingkan dengan waktu persiapan dan pemasangan pada metoda *PV-drain*, sehingga secara

keseluruhan dapat dikatakan bahwa waktu untuk metoda *Vertical Sand Drain* akan lebih lama bila dibandingkan dengan waktu *PV-drain*.

2. Alat yang digunakan untuk pelaksanaan metoda *Vertical Sand Drain* lebih mahal bila dibandingkan dengan alat *PV-drain*. Diameter kolom pasir sangat ditentukan oleh alat-alat yang ada.
3. Umur teknis *Vertical Sand Drain* lebih pendek dibandingkan dengan *PV-drain*.
4. *Vertical Sand Drain* tidak dapat menahan deformasi geser sehingga sangat rawan apabila digunakan pada daerah-daerah yang sering terkena gempa. Kolom pasir sangat mungkin akan terputus sewaktu pelaksanaan terutama bila diameter kolom terlalu kecil.
5. *Vertical Sand Drain* tidak dapat dilaksanakan pada tanah lunak yang terlalu tebal/ dalam. Kolom pasir terlalu panjang akan sulit dilaksanakan dan mahal, panjang kolom pasir berkisar 25 – 30 m.

Berdasarkan pertimbangan-pertimbangan diatas maka untuk mengefisienkan waktu pekerjaan dan menghemat biaya proyek maka lebih tepat dipilih metoda *PV-drain* sebagai metoda untuk mengatasi waktu konsolidasi pada pemampatan tanah lunak.

BAB X

KESIMPULAN DAN SARAN

10.1 Kesimpulan

Dari hasil-hasil pegujian dan analisis penurunan terhadap tanah daerah Kasongan dapat diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Tanah daerah Kasongan dengan batas cair (*LL*) tanah 86%, dari hasil analisa butiran lebih dari 83% tanah lolos saringan nomer 200, maka menurut AASHTO tanah Kasongan termasuk klasifikasi tanah kelompok A-7-5 yaitu tanah berlempung. Menurut klasifikasi sistem Unified, tanah Kasongan termasuk kelompok CH, yaitu lempung anorganik dengan plastisitas tinggi dan merupakan lempung gemuk (*fat clay*). Tanah kelompok ini tidak baik digunakan sebagai tanah dasar (*sub grade*) untuk suatu konstruksi bangunan dalam rekayasa sipil, kecuali telah dilakukan perbaikan-perbaikan pada tanah tersebut. Berdasarkan tekstur tanah dari gambar kurva distribusi butiran, diketahui lempung Kasongan terdiri dari 17,117% pasir, 45% lanau dan 35% lempung.
2. Berdasarkan pengujian laboratorium, indek plastisitas (*IP*) sebesar 45,875%, menunjukkan tanah pada daerah Kasongan memiliki sifat plastisitas tinggi, jenis tanahnya lempung dan merupakan tanah kohesif. Berdasarkan berat jenis tanah (G_s) sebesar 2,51 maka tanah Kasongan termasuk lempung anorganik yang jenis mineral lempungnya adalah *Halloysite*.

3. Hasil pengujian kuat tekan bebas memperoleh nilai q_u sebesar $0,402 \text{ kg/cm}^2$ menunjukkan tanah Kasongan termasuk lempung lunak yang dengan mudah ditembus beberapa inci dengan ibu jari.
4. Pengujian konsolidasi untuk sampel pertama menghasilkan grafik $e-\log P$. Berdasarkan kurva konsolidasi lapangan diperoleh nilai $C_c = 0,4153$ dan menunjukkan tanah lempung Kasongan terkonsolidasi secara normal, kurva laboratorium berada di bawah kurva lapangan menunjukkan adanya gangguan terhadap contoh tanah pada saat pengambilan (*sampling*) dilapangan. Nilai C_v yang didapat dari grafik penurunan vs akar waktu digunakan untuk menentukan waktu penurunan di lapangan. Semakin kecil nilai C_v maka semakin lama waktu penurunan yang terjadi.
5. Dari pola susunan *vertical drain* diketahui bahwa pola susunan segitiga memberikan waktu konsolidasi yang relatif lebih cepat dari pola susunan segiempat untuk waktu konsolidasi tertentu. Metoda *PV-drain* memberikan kecepatan derajat konsolidasi pola segitiga $100,0\% - 110,1\%$ dari kecepatan derajat konsolidasi pola segiempat dan metoda *Vertical Sand Drain* memberikan kecepatan $100,0\% - 101,8\%$.
6. Dari variasi jarak yaitu $1,5 \text{ m}$, $2,0 \text{ m}$, dan $2,5 \text{ m}$ diketahui bahwa jarak yang terpendek memberikan waktu konsolidasi yang tercepat karena lintasan air pori tanahnya pendek. Metoda *PV-drain* jarak $2,5 \text{ m}$ membutuhkan kecepatan derajat konsolidasi $97,17\% - 48,22\%$ dari kecepatan derajat konsolidasi jarak $1,5 \text{ m}$ untuk waktu konsolidasi tertentu, demikian juga derajat konsolidasi

dengan jarak 2,0 m membutuhkan kecepatan 99,68% - 66,92% dari kecepatan derajat konsolidasi jarak 1,5 m.

7. Penggunaan *vertical drain* memberikan waktu konsolidasi jauh lebih cepat dibandingkan dengan tanpa *vertical drain*. Bila tanpa *vertical drain* waktu konsolidasi tanah lempung Kasongan adalah 12,151 tahun. Dengan *vertical drain* pola susunan segitiga dan jarak antara drain (s) = 1,5 m, waktu konsolidasi menjadi 2,5 bulan dengan metoda *PV-drain* dan 1 bulan dengan metoda *Vertical Sand Drain*. Selisih waktu antara kedua metoda *vertical drains* lebih disebabkan oleh perbedaan ukuran diameter bahan pada masing-masing metoda *vertical drains*, untuk membandingkan dengan diameter bahan yang sama tidak mungkin dilakukan.

10.2 Saran-saran

Dari hasil penelitian ada beberapa saran yang perlu disampaikan untuk diperhatikan, antara lain:

1. Data parameter tanah asli sangatlah menentukan keberhasilan perencanaan dalam menganalisis pemampatan dan waktu pemampatan. Oleh sebab itu dalam melakukan sampling dan dalam melakukan pengujian di laboratorium sangatlah diperlukan teknik, ketelitian, dan ketepatan yang tinggi dalam menentukan parameter tanah tersebut.
2. Untuk perencanaan waktu konsolidasi pada pemampatan tanah lunak sebaiknya digunakan metoda *Prefabricated Vertical Drain* karena *vertical drain* dengan bahan *geotextile non woven* dan *polypropylene* ini mempunyai kuat tarik tinggi, kapasitas alir yang tinggi, ringan, hemat biaya dan aliran

tetap berjalan walaupun konsolidasi melengkungkan *vertical drain*. Secara keseluruhan waktu pelaksanaan proyek akan lebih cepat dibandingkan dengan metoda *Vertical Sand Drain*.

3. Penentuan nilai C_h yang akurat perlu diteliti lebih lanjut. Untuk jenis tanah tertentu dengan kedalaman tertentu nilai C_h sangat mungkin berbeda.
4. Untuk pembebanan awal (*preloading*) yang terlalu tinggi dalam pelaksanaan, perlu diteliti lebih lanjut, karena penimbunan tanah secara langsung akan menyebabkan keruntuhan (*failure*) pada lapisan tanah lunak pada kedalaman tertentu. Oleh karena itu perlu diupayakan cara pembebanan bertahap yang disesuaikan dengan peningkatan daya dukung tanah aslinya akibat pembebanan tahap sebelumnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Barron, R. A., 1948, "**Consolidation of Fine-Grained Soils by Drain Wells**",
ASCE Trans, Paper 2346, V.113, pp.718-724
- Craig, R. F., 1991, **Mekanika Tanah**, Penerbit Erlangga, Jakarta
- Daruslan H., 1994, **Mekanika Tanah II**, Biro Penerbit KMTS FT UGM,
Yogyakarta
- Das B. M., 1994, **Mekanika Tanah** (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknikis),
Penerbit Erlangga, Jakarta
- Hansbo, S., 1979, "**Consolidation of Clay by Band-Shaped Prefabricated
Drains**", Ground Engineering, Vol. 12, No. 5, pp. 21-25
- Hardiyatmo, H. C., 1994, **Mekanika Tanah 2**, Penerbit PT. Gramedia Utama,
Jakarta
- Mochtar, Indrasurya B., **Rekayasa Penanggulangan Masalah Pembangunan
pada Tanah-tanah yang "Sulit"**, Jurusan Teknik Sipil FTSP-ITS
- Sosrodarsono S., Nakazawa K., 1983, **Mekanika Tanah dan Teknik Pondasi**,
Penerbit Sinar Wijaya, Surabaya
- Wesley D. L., 1977, **Mekanika Tanah**, Badan Penerbit Pekerjaan Umum, Jakarta
- _____, **Panduan Praktikum Mekanika Tanah II**, Laboratorium
Mekanika Tanah, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan
Perencanaan Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta
- _____, **Geosynthetics**, 1998, P.T Geomat Indonesia, Jakarta

LAMPPIRAN

LABORATORIUM MEKANIKA TANAH
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
 Jl. Kaliurang km 14,4 Telp (0274) 895330 Yogyakarta 55584

PEMERIKSAAN KADAR AIR TANAH

Proyek : Tugas Akhir
 Lokasi : Kasongan, Bantul DIY
 Dikerjakan : Tondi N + Narjuddin
 Tanggal : 31/08/1998

A. Sampel I

No. Cawan Timbang		1	2	3
Berat cawan	(W_1 gr)	21.70	22.15	22.00
Berat cawan + tanah basah	(W_2 gr)	69.80	62.67	50.84
Berat cawan + tanah kering	(W_3 gr)	54.95	49.51	41.98
Berat air	(gr)	14.84	13.16	8.86
Berat tanah kering	(gr)	33.25	27.35	19.98
Kadar Air	(%)	44.63	48.09	44.34
Kadar air rata-rata	(%)	45.687		

B. Sampel II

No. Cawan Timbang		1	2	3
Berat cawan	(W_1 gr)	22.20	22.00	22.25
Berat cawan + tanah basah	(W_2 gr)	75.51	27.80	79.18
Berat cawan + tanah kering	(W_3 gr)	55.07	45.11	57.98
Berat air	(gr)	20.44	12.69	21.20
Berat tanah kering	(gr)	32.87	23.11	35.73
Kadar Air	(%)	62.18	54.91	59.33
Kadar air rata-rata	(%)	58.810		

C. Sampel III

No. Cawan Timbang		1	2	3
Berat cawan	(W_1 gr)	22.65	22.14	22.21
Berat cawan + tanah basah	(W_2 gr)	64.28	54.09	85.68
Berat cawan + tanah kering	(W_3 gr)	49.33	42.62	62.80
Berat air	(gr)	14.94	11.47	22.80
Berat tanah kering	(gr)	26.68	20.48	40.59
Kadar Air	(%)	56.00	56.02	56.17
Kadar air rata-rata	(%)	56.071		

LABORATORIUM MEKANIKA TANAH
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
 Jl. Kaliurang km 14,4 Telp (0274) 895330 Yogyakarta 55584

PEMERIKSAAN BERAT JENIS TANAH

Proyek : Tugas Akhir
 Lokasi : Kasongan, Bantul DIY
 Dikerjakan : Tondi N + Narjuddin
 Tanggal : 31/08/1998

No	Percobaan	I	II	III
1	Berat picnometer kosong (W_1 gr)	21.19	19.19	17.19
2	Berat picno + tanah kering (W_2 gr)	25.58	27.51	29.76
3	Berat picno + tanah + air (W_3 gr)	81.93	75.89	50.19
4	Berat picno + air (W_4 gr)	79.29	70.84	42.68
5	Temperatur $t^{\circ} C$	26.00	26.00	26.00
6	Berat tanah $W_t = W_2 - W_3$	4.39	8.32	12.57
7	$A = W_1 + W_4$	83.68	79.16	55.25
8	Isi tanah $A - W_3$	1.75	3.27	5.06
9	Berat jenis tanah pada $\gamma_s = W_t / (A - W_3)$	2.50	2.54	2.48
10	Berat jenis tanah pada $27,5^{\circ}C$	2.501	2.545	2.485
11	Berat jenis rata-rata	2.510		



LABORATORIUM MEKANIKA TANAH
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

DISTRIBUSI BUTIRAN TANAH

Proyek : Tugas Akhir
 No. Titik : A
 Lokasi : Kasongan

Dikerjakan : Tondi N + Narjuddin

Berat tanah kering (W)	60 gram	$Kz = \frac{a}{w} \times 100 : 1.733333$ $P = Kz \times R$ *) Dari daftar harga L berdasarkan R' **) Dari daftar harga K berdasarkan t dan Gs
Berat jenis tanah (G)	2.51	
Koreksi hidro 152H (a)	1.04	
Kadar Reagen Na siO	1000 ml/gram	
Koreksi Miniskus hidrometer (m)	1	

ANALISIS HIDROMETER

Waktu T (menit)	Pemb. Hidr dlm Sps (R1)	Pemb. Hidr dlm cairan (R2)	Temp. (t)	Pemb.Hidr terkoreksi R'= R1 + m	Kedalaman (L) cm	Konstanta (K)	Diameter butir $D = K \sqrt{\frac{L}{T}}$ (mm)	Pemb.Hidr terkoreksi R = R1-R2	Persen brt lebih kecil (P %)
2	37	-2	26	38	10.1	0.013	0.02921	39	67.60
5	34	-2	26	35	10.5	0.013	0.01884	36	62.40
30	28	-2	26	29	11.5	0.013	0.00805	30	52.00
60	25	-2	26	26	12	0.013	0.00581	27	46.80
250	18	-2	26	19	13.2	0.0129	0.00296	20	34.67
1440	11.5	-2	25	12.5	14.25	0.01359	0.00135	13.5	23.40

ANALISA SARINGAN

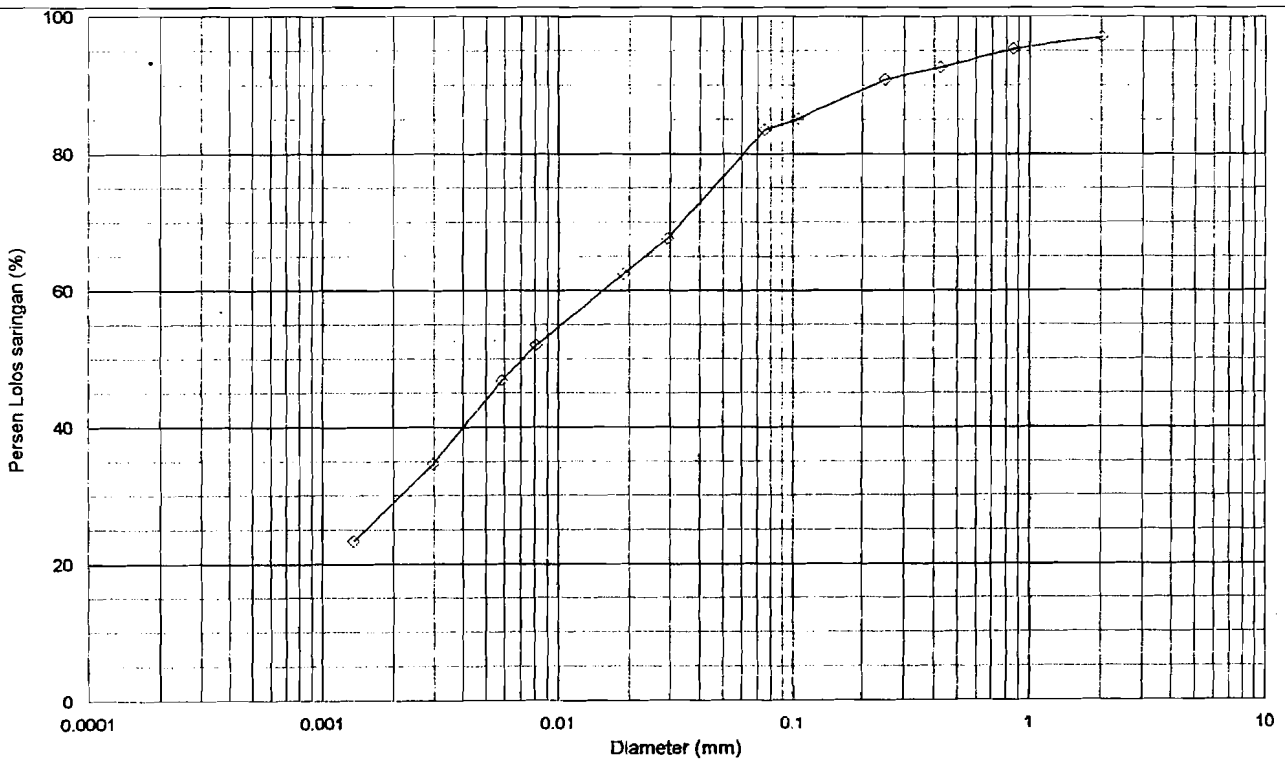
No. Saringan	Diameter (mm)	Berat ter tahan (gr) (d)	Berat lolos (gr) (e)	Persen berat lebih kecil	Keterangan
10	2	1.73	58.27	97.12	e1 = W - d1
20	0.85	1.05	57.22	95.37	e2 = e1 - d2
40	0.425	1.61	55.61	92.68	e3 = e2 - d3
60	0.25	1.1	54.51	90.85	e4 = e3 - d4
140	0.106	3.44	51.07	85.12	e5 = e4 - d5
200	0.075	1	50.07	83.45	e6 = e5 - d6



GRAFIK ANALISIS
DISTRIBUSI BUTIRAN TANAH

Proyek : Tugas Akhir
No. Titik : A
Lokasi : Kasongan

Dikerjakan : Tondi N + Narjuddin



Lempung	lanau	pasir			Krikil
		halus	sedang	kasar	

PEMERIKSAAN BATAS CAIR

PROYEK : Tugas Akhir
LOKASI : Kasongan
NO BOR : 1

Dikerjakan : Tondi N + Narjuddin
Petugas : Yudi

NO	URAIAN PERCOBAAN	I		II		III		IV	
		1	2	3	4	5	6	7	8
1	NO CAWAN								
2	BERAT CAWAN KOSONG	21.800	21.520	21.480	22.240	22.130	21.670	22.320	22.350
3	BERAT CAWAN + TANAH BASAH	39.110	38.560	42.580	39.770	37.930	38.120	36.820	40.150
4	BERAT CAWAN + TANAH KERING	30.780	30.350	32.730	31.500	30.670	30.550	30.180	32.050
5	BERAT AIR (3)-(4)	8.330	8.210	9.850	8.270	7.260	7.570	6.640	8.100
6	BERAT TANAH KERING (4)-(2)	8.980	8.830	11.250	9.260	8.540	8.880	7.860	9.700
7	(5) KADAR AIR = $\frac{\text{---} \times 100}{\text{(6)}} =$	92.762	92.978	87.556	89.309	85.012	85.248	84.478	83.505
8	KADAR AIR RATA- ² =		92.870		88.432		85.130		83.992
9	PUKULAN		15		20		29		33

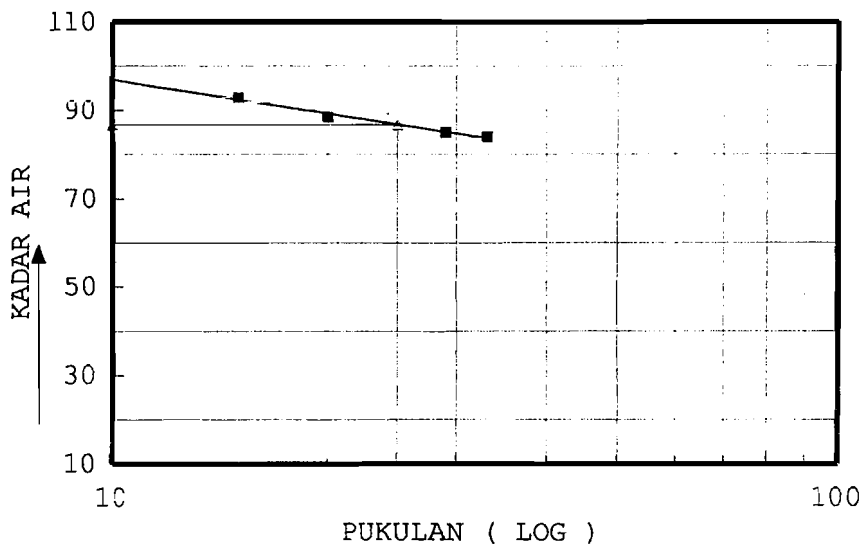
BATAS PLASTIS

NO	URAIAN PERCOBAAN	I	
		1	2.000
1	NO CAWAN		
2	BERAT CAWAN KOSONG (w1)	21.580	22.230
3	BERAT CAWAN + TANAH BASAH (w2)	51.590	55.110
4	BERAT CAWAN + TANAH KERING (w3)	43.000	45.690
5	BERAT AIR (w2-w3)	8.590	9.420
6	BERAT TANAH KERING (w3-w1)	21.420	23.460
7	(5) KADAR AIR = $\frac{\text{---} \times 100}{\text{(6)}} =$	40.103	40.153
8	KADAR AIR RATA- ² =		40.128

KESIMPULAN

BATAS CAIR : 86.00
 BATAS PLASTIS : 40.13
 INDEX PLASTISITAS : 45.87

plastis1





**LABORATORIUM MEKANIKA TANAH
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN UII**

Jl. Kaliurang KM. 14,4 Telp. (0274) 895042 Yogyakarta 55584.

PENGUJIAN TEKAN BEBAS

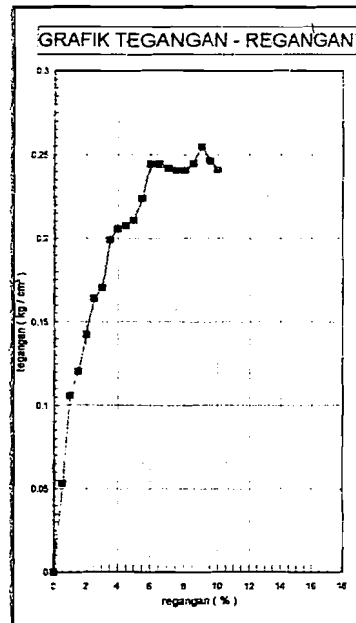
PROYEK : Tugas Akhir
 LOKASI : Kasongan
 NO CONTOH : 1.00 meter
 DIPERIKSA OLEH : Tondi N + Narjuddin
 CONTOH TANAH : Tanah Asli Undisturbed (sampel 1/A)

1	Berat jenis tanah (Gs)	2.510	KADAR AIR	
2	Diameter contoh tanah (ø) cm	6.80	Berat cawan kosong (gram)	22.00
3	Tinggi contoh tanah (Lo) cm	14.00	Berat cawan + tanah basah (gram)	50.84
4	Luas mula-mula (cm²) = Ao	36.317	Berat cawan + tanah kering (gram)	41.98
5	Volume tanah (cm³)	508.435	Berta Air (gram)	8.86
6	Berat tanah (gr)	867.000	Berat tanah kering (gram)	19.98
7	Berat volume tanah (gr/cm³)	1.705	Kadar air tanah (%)	44.34
8	Berat volume Kering (gr/cm³)	1.566	Kadar air rata-rata (%)	8.87

Sket pecahnya tanah:



WAK TU dt	PEMEMDEKAN TANAH			KOREKSI		BEBAN		TEGANGAN
	PEMBACAAN ARLOJI	□ L (2) / 10²	REGANGAN LUL/Lo %	1 - (4)	A = Ao(5)	PEMB. ARLOJI	BEBAN P kg	P.A kg/cm²
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
0	0	0.000	0.00	0.000	0	0.00	0.000	0.000
30	70	0.070	0.50	0.995	36.499	3.50	1.944	0.053
60	140	0.140	1.00	0.990	36.684	7.00	3.889	0.106
90	210	0.210	1.50	0.985	36.870	8.00	4.444	0.121
120	280	0.280	2.00	0.980	37.058	9.50	5.278	0.142
150	350	0.350	2.50	0.975	37.248	11.00	6.111	0.164
180	420	0.420	3.00	0.970	37.440	11.50	6.389	0.171
210	490	0.490	3.50	0.965	37.634	13.50	7.500	0.199
240	560	0.560	4.00	0.960	37.830	14.00	7.778	0.206
270	630	0.630	4.50	0.955	38.028	14.20	7.889	0.207
300	700	0.700	5.00	0.950	38.228	14.50	8.056	0.211
330	770	0.770	5.50	0.945	38.430	15.50	8.611	0.224
360	840	0.840	6.00	0.940	38.635	17.00	9.444	0.244
390	910	0.910	6.50	0.935	38.842	17.10	9.500	0.245
420	980	0.980	7.00	0.930	39.050	17.00	9.444	0.242
450	1050	1.050	7.50	0.925	39.261	17.00	9.444	0.241
480	1120	1.120	8.00	0.920	39.475	17.10	9.500	0.241
510	1190	1.190	8.50	0.915	39.691	17.50	9.722	0.245
540	1260	1.260	9.00	0.910	39.909	18.30	10.167	0.255
570	1330	1.330	9.50	0.905	40.129	17.80	9.889	0.246
600	1400	1.400	10.00	0.900	40.352	17.50	9.722	0.241
630	1470	1.470	10.50	0.895	40.577	0.000	0.000	0.300
660	1540	1.540	11.00	0.890	40.805	0.000	0.000	0.300
690	1610	1.610	11.50	0.885	41.036	0.000	0.000	0.300
720	1680	1.680	12.00	0.880	41.269	0.000	0.000	0.300
750	1750	1.750	12.50	0.875	41.505	0.000	0.000	0.300
780	1820	1.820	13.00	0.870	41.743	0.000	0.000	0.300
810	1890	1.890	13.50	0.865	41.985	0.000	0.000	0.300
840	1960	1.960	14.00	0.860	42.229	0.000	0.000	0.300
870	2030	2.030	14.50	0.855	42.476	0.000	0.000	0.300
900	2100	2.100	15.00	0.850	42.726	0.000	0.000	0.300
930	2170	2.170	15.50	0.845	42.978	0.000	0.000	0.300
960	2240	2.240	16.00	0.840	43.234	0.000	0.000	0.300
990	2310	2.310	16.50	0.835	43.493	0.000	0.000	0.300
1020	2380	2.380	17.00	0.830	43.755	0.000	0.000	0.300
1050	2450	2.450	17.50	0.825	44.020	0.000	0.000	0.300
1080	2520	2.520	18.00	0.820	44.289	0.000	0.000	0.300
1110	2590	2.590	18.50	0.815	44.561	0.000	0.000	0.300
1140	2660	2.660	19.00	0.810	44.836	0.000	0.000	0.300
1170	2730	2.730	19.50	0.805	45.114	0.000	0.000	0.300
1200	2800	2.800	20.00					



qu = 0.255 kg/cm²
 c = 0.107 kg/cm²
 SUDUT
 PECAH = 50 derajat
 Ø = 10 derajat

Yogyakarta



**LABORATORIUM MEKANIKA TANAH
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN UII**

Jl. Kaliurang KM. 14,4 Telp. (0274) 895042 Yogyakarta 55584.

PENGUJIAN TEKAN BEBAS

PROYEK : Tugas Akhir
LOKASI : Kasongan
NO CONTOH : 1.5 meter
DIPERIKSA OLEH : Toni N - Nugroho
CONTOH TANAH : Tanah Asli Undisturbed (sampel 1(B))

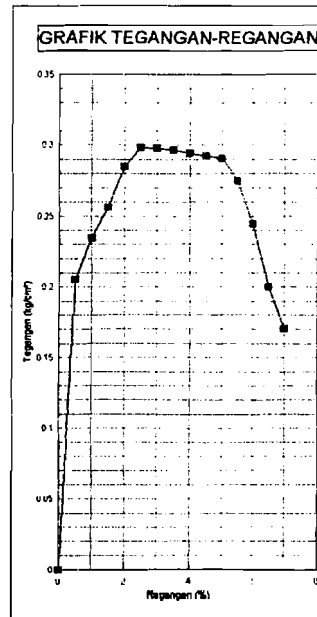
1	Berat jenis tanah (Gs)	2.510
2	Diameter contoh tanah (ϕ) cm	6.60
3	Tinggi contoh tanah (L_0) cm	14.00
4	Luas muka-mula (cm^2) = A_0	34.212
5	Volume tanah (cm^3)	478.967
6	Berat tanah (gr)	817.000
7	Berat volume tanah (gr/cm^3)	1.706
8	Berat volume Kering (gr/cm^3)	1.525

KADAR AIR	
Berat cawan kosong (gram)	22.25
Berat cawan + tanah basah (gram)	79.18
Berat cawan + tanah kering (gram)	57.98
Berat Air (gram)	21.20
Berat tanah kering (gram)	35.73
Kadar air tanah (%)	59.33
Kadar air rata-rata (%)	11.87

Skets pecahnya tanah:



WAK TU	PEMEMDEKAN TANAH			LUAS TAMPANG		BEBAN		TEGANGAN
	PEMBACAAN ARLOJI	D L (2)/10 ²	REGANGAN L/Lo %	KOREKSI 1- (4)	A = Ao/(5)	PEMB ARLOJI	DEBEN P kg	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
0	0	0.00	0.00	0.000	0	0.00	0.000	0.000
30	70	0.070	0.50	0.995	36.499	13.50	7.500	0.205
60	140	0.140	1.00	0.990	36.684	15.50	8.611	0.235
90	210	0.210	1.50	0.985	36.870	17.00	9.444	0.258
120	280	0.280	2.00	0.980	37.056	19.00	10.556	0.285
150	350	0.350	2.50	0.975	37.248	20.00	11.111	0.298
180	420	0.420	3.00	0.970	37.440	20.08	11.156	0.298
210	490	0.490	3.50	0.965	37.634	20.10	11.167	0.297
240	560	0.560	4.00	0.960	37.830	20.05	11.139	0.294
270	630	0.630	4.50	0.955	38.028	20.02	11.122	0.292
300	700	0.700	5.00	0.950	38.228	20.00	11.111	0.291
330	770	0.770	5.50	0.945	38.430	19.02	10.567	0.275
360	840	0.840	6.00	0.940	38.635	17.00	9.444	0.244
390	910	0.910	6.50	0.935	38.842	14.00	7.778	0.200
420	980	0.980	7.00	0.930	39.050	12.00	6.667	0.171
450	1050	1.050	7.50	0.925	39.261	17.00	9.444	0.241
480	1120	1.120	8.00	0.920	39.475	17.10	9.500	0.241
510	1190	1.190	8.50	0.915	39.691	17.50	9.722	0.245
540	1260	1.260	9.00	0.910	39.909	18.30	10.167	0.255
570	1330	1.330	9.50	0.905	40.129	17.80	9.889	0.248
600	1400	1.400	10.00	0.900	40.352	17.50	9.722	0.241
630	1470	1.470	10.50	0.895	40.577		0.000	0.000
660	1540	1.540	11.00	0.890	40.805		0.000	0.000
690	1610	1.610	11.50	0.885	41.036		0.000	0.000
720	1680	1.680	12.00	0.880	41.269		0.000	0.000
750	1750	1.750	12.50	0.875	41.505		0.000	0.000
780	1820	1.820	13.00	0.870	41.743		0.000	0.000
810	1890	1.890	13.50	0.865	41.985		0.000	0.000
840	1960	1.960	14.00	0.860	42.229		0.000	0.000
870	2030	2.030	14.50	0.855	42.476		0.000	0.000
900	2100	2.100	15.00	0.850	42.726		0.000	0.000
930	2170	2.170	15.50	0.845	42.978		0.000	0.000
960	2240	2.240	16.00	0.840	43.234		0.000	0.000
990	2310	2.310	16.50	0.835	43.493		0.000	0.000
1020	2380	2.380	17.00	0.830	43.755		0.000	0.000
1050	2450	2.450	17.50	0.825	44.020		0.000	0.000
1080	2520	2.520	18.00	0.820	44.289		0.000	0.000
1110	2590	2.590	18.50	0.815	44.561		0.000	0.000
1140	2660	2.660	19.00	0.810	44.836		0.000	0.000
1170	2730	2.730	19.50	0.805	45.114		0.000	0.000
1200	2800	2.800	20.00					



$q_u = 0.298 \text{ kg/cm}^2$
 $c = 0.125 \text{ kg/cm}^2$
 SUDUT
 PECAH 50 derajat
 $\phi = 10 \text{ derajat}$

Yogyakarta



**LABORATORIUM MEKANIKA TANAH
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN UII**

Jl. Kaliurang KM. 14,4 Telp. (0274) 895042 Yogyakarta 55584.

PENGUJIAN TEKAN BEBAS

PROYEK : Tugas Akhir
 LOKASI : Kasongan
 NO CONTOH : 2.0 meter
 DIPERIKSA OLEH : Tandi N + Nurjuddin
 CONTOH TANAH : Tanah Asli Undisturbed (sampel 1(C))

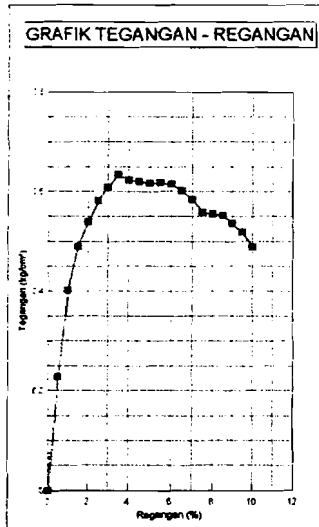
1	Berat jenis tanah (Gs)	2.510
2	Diameter contoh tanah (φ) cm	6.80
3	Tinggi contoh tanah (Lo) cm	14.00
4	Luas muka-mula (cm ²) = Ao	36.317
5	Volume tanah (cm ³)	508.435
6	Berat tanah (gr)	675.100
7	Berat volume tanah (gr/cm ³)	1.721
8	Berat volume Kering (gr/cm ³)	1.547

KADAR AIR	
Berat cawan kosong (gram)	22.21
Berat cawan + tanah basah (gram)	85.68
Berat cawan + tanah kering (gram)	62.80
Berat Air (gram)	22.88
Berat tanah kering (gram)	40.59
Kadar air tanah (%)	56.37
Kadar air rata-rata (%)	11.27

Sket pecahnya tanah:



WAK TU dt	PEMEMDEKAN TANAH			LUAS TAMPANG			REBAN		TEGANGAN
	PEMBACAA ARLOJI	Q1 (2) / 10 ²	REGANGAN Q1/Lo %	KOREKSI 1 - (4)	A = Ao(5)	PEMB. ARLOJI	BEBAN P kg	P / A kg/cm ²	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	
0	0	0.000	0.00	0.000	0	0.00	0.000	0.000	
30	70	0.070	0.50	0.995	36.499	15.00	8.333	0.228	
60	140	0.140	1.00	0.990	36.684	26.50	14.722	0.401	
90	210	0.210	1.50	0.985	36.870	32.50	18.056	0.490	
120	280	0.280	2.00	0.980	37.056	36.00	20.000	0.540	
150	350	0.350	2.50	0.975	37.242	39.00	21.667	0.582	
180	420	0.420	3.00	0.970	37.440	41.00	22.778	0.608	
210	490	0.490	3.50	0.965	37.634	43.00	23.669	0.635	
240	560	0.560	4.00	0.960	37.830	42.50	23.611	0.624	
270	630	0.630	4.50	0.955	38.026	42.50	23.611	0.621	
300	700	0.700	5.00	0.950	38.228	42.50	23.611	0.618	
330	770	0.770	5.50	0.945	38.430	42.75	23.750	0.618	
360	840	0.840	6.00	0.940	38.635	42.75	23.750	0.615	
390	910	0.910	6.50	0.935	38.842	42.00	23.333	0.601	
420	980	0.980	7.00	0.930	39.050	41.00	22.778	0.583	
450	1050	1.050	7.50	0.925	39.261	39.50	21.944	0.559	
480	1120	1.120	8.00	0.920	39.475	39.50	21.944	0.556	
510	1190	1.190	8.50	0.915	39.691	39.50	21.944	0.553	
540	1260	1.260	9.00	0.910	39.909	38.50	21.389	0.536	
570	1330	1.330	9.50	0.905	40.129	37.50	20.833	0.519	
600	1400	1.400	10.00	0.900	40.352	35.50	19.722	0.489	
630	1470	1.470	10.50	0.895	40.577		0.000	0.000	
660	1540	1.540	11.00	0.890	40.805		0.000	0.000	
690	1610	1.610	11.50	0.885	41.036		0.000	0.000	
720	1680	1.680	12.00	0.880	41.268		0.000	0.000	
750	1750	1.750	12.50	0.875	41.505		0.000	0.000	
780	1820	1.820	13.00	0.870	41.743		0.000	0.000	
810	1890	1.890	13.50	0.865	41.985		0.000	0.000	
840	1960	1.960	14.00	0.860	42.229		0.000	0.000	
870	2030	2.030	14.50	0.855	42.476		0.000	0.000	
900	2100	2.100	15.00	0.850	42.726		0.000	0.000	
930	2170	2.170	15.50	0.845	42.978		0.000	0.000	
960	2240	2.240	16.00	0.840	43.234		0.000	0.000	
990	2310	2.310	16.50	0.835	43.493		0.000	0.000	
1020	2380	2.380	17.00	0.830	43.755		0.000	0.000	
1050	2450	2.450	17.50	0.825	44.020		0.000	0.000	
1080	2520	2.520	18.00	0.820	44.289		0.000	0.000	
1110	2590	2.590	18.50	0.815	44.561		0.000	0.000	
1140	2660	2.660	19.00	0.810	44.836		0.000	0.000	
1170	2730	2.730	19.50	0.805	45.114		0.000	0.000	
1200	2800	2.800	20.00						



$q_u = 0.635 \text{ kg/cm}^2$
 $c = 0.235 \text{ kg/cm}^2$
 SUDUT
 PECAH 53.5 derajat
 $\phi = 17 \text{ derajat}$

Yogyakarta



LABORATORIUM MEKANIKA TANAH
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN UII

Jl. Kaliurang KM. 14,4 Telp. (0274) 895042 Yogyakarta 55584.

PENGUJIAN KONSOLIDASI

Proyek UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA No Bor Bh 1
 Tanggal 31 Agustus 1998 No. Contoh 1
 Petugas Tondi N + Narjuddin Kedalaman 1 m.

Berat Jenis Tanah (G) 2.51 Luas cincin (A) 19.79 cm²
 Berat Cincin (Wc) 36.28 gr. Tinggi cincin (Ho) 2.10 cm
 Diameter cincin (ø) 5.02 cm. Volume cincin (V) 41.56 cm³

Pembacaan Penurunan

Jam	Waktu pembacaan		Pembacaan dial (mm) Untuk beban P (kg/cm ²)									
	t (Menit)	√t (menit)	0.25	0.50	1.00	2.00	4.00	8.00	16.00	32.00	rebound	
											2.00	0.50
	0.00	0.000	9.873	9.740	9.437	8.842	7.971	6.929			5.827	6.492
	5.4"	0.000	9.840	9.670	9.405	8.795	7.948	6.912				
	15"	0.000	9.835	9.652	9.335	8.698	7.912	6.861				
	29.4"	0.000	9.830	9.645	9.280	8.650	7.880	6.845				
	1'	0.000	9.826	9.631	9.245	8.620	7.841	6.827				
	2.25'	0.000	9.820	9.618	9.210	8.588	7.803	6.799				
	4'	0.000	9.815	9.605	9.185	8.561	7.778	6.777				
	6'25"	0.000	9.810	9.593	9.162	8.544	7.749	6.752				
	9'	0.000	9.802	9.582	9.133	8.511	7.723	6.730				
	12'25"	0.000	9.801	9.575	9.117	8.490	7.698	6.707				
	16'	0.000	9.800	9.565	9.100	8.463	7.672	6.684				
	25'	0.000	9.797	9.552	9.070	8.419	7.624	6.638				
	36'	0.000	9.791	9.541	9.042	8.377	7.573	6.592				
	49'	0.000	9.788	9.532	9.021	8.338	7.527	6.548				
	64'	0.000	9.785	9.522	9.000	8.300	7.479	6.502				
	81'	0.000	9.781	9.514	8.981	8.268	7.434	6.459				
	100'	0.000	9.779	9.508	8.967	8.233	7.391	6.418				
	121'	0.000	9.777	9.500	8.952	8.204	7.352	6.376				
	144'	0.000	9.775	9.497	8.941	8.179	7.309	6.333				
	225'	0.000										
	400'	0.000										
	1440'	0.000	9.740	9.437	8.842	7.971	6.929	5.827			6.492	7.268

Catatan :



LABORATORIUM MEKANIKA TANAH
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN UII

Jl. Kaliurang KM. 14,4 Telp. (0274) 895042 Yogyakarta 55584.

PENGUJIAN KONSOLIDASI

Proyek : UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
 Tanggal : 31 Agustus 1998
 Petugas : Tondi N + Narjuddin

No Bor : Bh 1
 No. Contoh : 1
 Kedalaman : 1 m.

Proyek : _____
 Lokasi : _____
 Kedalaman : _____
 No Contoh : _____

Tanggal : _____
 Dikerjakan : _____
 Dipriksa : _____

Waktu pembacaan			Pembacaan dial untuk beban, p (kg/cm ²)	
pukul	t	\sqrt{t} (menit)	0.25	Grafik
	0.00	0.00	9.873	
	0.54	0.30	9.84	
	15.00	0.50	9.835	
	29.40	0.70	9.83	
	1.00	1.00	9.826	
	2.25	1.50	9.82	
	4.00	2.00	9.815	
	9.00	3.00	9.81	
	16.00	4.00	9.802	
	25.00	5.00	9.8	
	36.00	6.00	9.797	
	49.00	7.00	9.791	
	64.00	8.00	9.788	
	81.00	9.00	9.785	
	100.00	10.00	9.781	
	121.00	11.00	9.779	
	144.00	12.00	9.777	
	225.00	15.00	9.775	
	400.00	20.00	0	
	1,444.00	38.00	9.74	

$\sqrt{t_{90}}$	=	2.4
t_{90}		5.76 menit
t_{90}		345.6 detik



LABORATORIUM MEKANIKA TANAH
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN UII

Jl. Kaliurang KM. 14,4 Telp. (0274) 895042 Yogyakarta 55584.

PENGUJIAN KONSOLIDASI

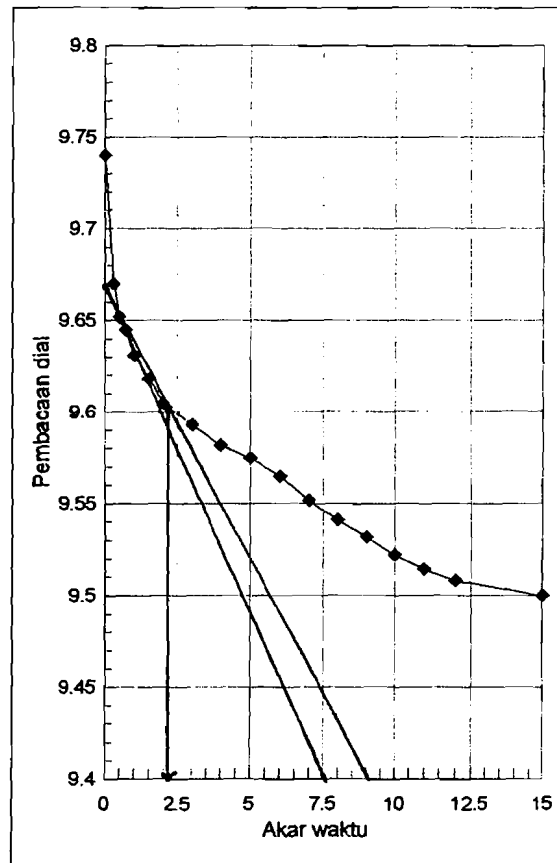
Proyek UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
 Tanggal 31 Agustus 1998
 Petugas Tondi N + Narjuddin

No Bor Bh 1
 No. Contoh 1
 Kedalaman 1 m.

Proyek : _____
 Lokasi : _____
 Kedalaman : _____
 No Contoh : _____

Tanggal : _____
 Dikerjakan : _____
 Dipiksa : _____

Waktu pembacaan			Pembacaan dial untuk beban, p (kg/cm ²)	
pukul	t	(menit)	0.500	Grafik
			9.740	
	0.54	0.30	9.670	
	15.00	0.50	9.652	
	29.40	0.70	9.645	
	1.00	1.00	9.631	
	2.25	1.50	9.618	
	4.00	2.00	9.605	
	9.00	3.00	9.593	
	16.00	4.00	9.582	
	25.00	5.00	9.575	
	36.00	6.00	9.565	
	49.00	7.00	9.552	
	64.00	8.00	9.541	
	81.00	9.00	9.532	
	100.00	10.00	9.522	
	121.00	11.00	9.514	
	144.00	12.00	9.508	
	225.00	15.00	9.500	
	400.00	20.00	9.497	
	1,444.00	38.00	9.437	



$\sqrt{t_{90}} =$	2.2
t_{90}	4.84 menit
t_{90}	290.4 detik



LABORATORIUM MEKANIKA TANAH
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN UII

Jl. Kaliurang KM. 14,4 Telp. (0274) 895042 Yogyakarta 55584.

PENGUJIAN KONSOLIDASI

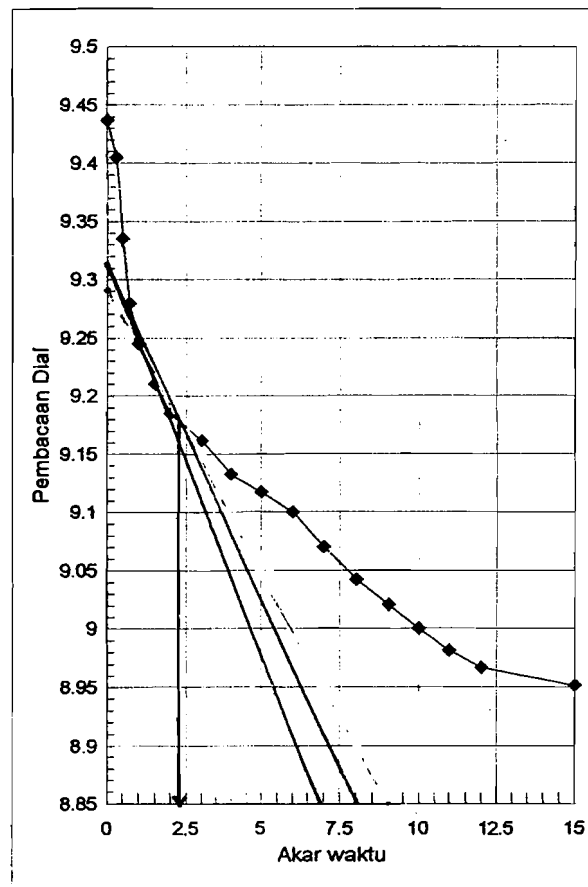
Proyek UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
 Tanggal 31 Agustus 1998
 Petugas Tondi N + Narjuddin

No Bor Bh 1
 No. Contoh 1
 Kedalaman 1 m.

Proyek : _____
 Lokasi : _____
 Kedalaman : _____
 No Contoh : _____

Tanggal : _____
 Dikerjakan : _____
 Dipriksa : _____

Waktu pembacaan		Pembacaan dial untuk beban, p (kg/cm ²)	
pukul	t (menit)	1.000	Grafik
	0.00	0.00	9.437
	0.54	0.30	9.405
	15.00	0.50	9.335
	29.40	0.70	9.280
	1.00	1.00	9.245
	2.25	1.50	9.210
	4.00	2.00	9.185
	9.00	3.00	9.162
	16.00	4.00	9.133
	25.00	5.00	9.117
	36.00	6.00	9.100
	49.00	7.00	9.070
	64.00	8.00	9.042
	81.00	9.00	9.021
	100.00	10.00	9.000
	121.00	11.00	8.981
	144.00	12.00	8.967
	225.00	15.00	8.952
	400.00	20.00	8.941
	1,444.00	38.00	8.842



$\sqrt{t_{90}}$	=	2.4
t_{90}		5.76 menit
t_{90}		345.6 detik



LABORATORIUM MEKANIKA TANAH
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN UII
 Jl. Kaliurang KM. 14,4 Telp. (0274) 895042 Yogyakarta 55584.

PENGUJIAN KONSOLIDASI

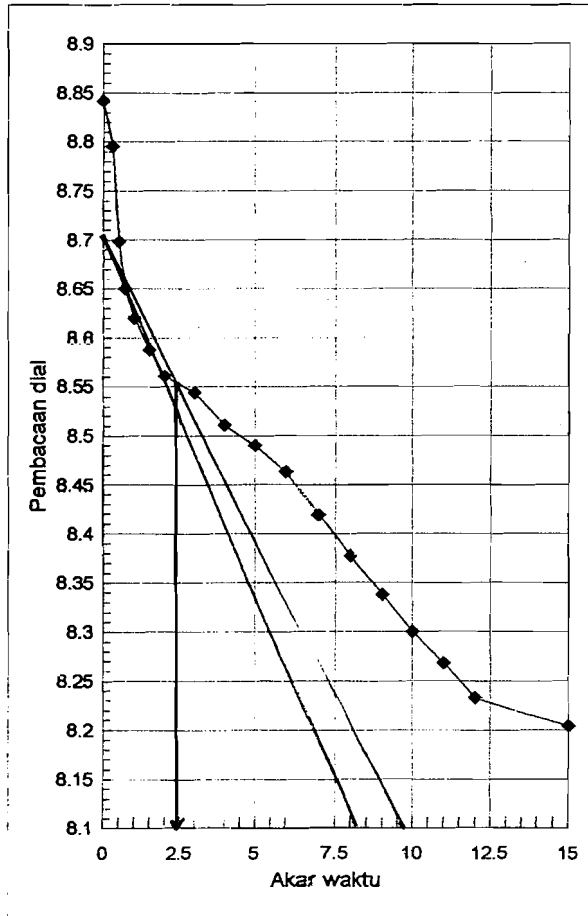
Proyek UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
 Tanggal 31 Agustus 1998
 Petugas Tondi N + Narjuddin

No Bor Bh 1
 No. Contoh 1
 Kedalaman 1 m.

Proyek : _____
 Lokasi : _____
 Kedalaman : _____
 No Contoh : _____

Tanggal : _____
 Dikerjakan : _____
 Dipriksa : _____

Waktu pembacaan		Pembacaan dial untuk beban, p (kg/cm ²)	
pukul	t (menit)	2	Grafik
	0.00	0.00	8.842
	0.54	0.30	8.795
	15.00	0.50	8.698
	29.40	0.70	8.65
	1.00	1.00	8.62
	2.25	1.50	8.588
	4.00	2.00	8.561
	9.00	3.00	8.544
	16.00	4.00	8.511
	25.00	5.00	8.49
	36.00	6.00	8.463
	49.00	7.00	8.419
	64.00	8.00	8.377
	81.00	9.00	8.338
	100.00	10.00	8.3
	121.00	11.00	8.268
	144.00	12.00	8.233
	225.00	15.00	8.204
	400.00	20.00	8.179
	1,444.00	38.00	7.971



$\sqrt{t_{90}}$	=	2.4
t_{90}		5.76 menit
t_{90}		345.6 detik



LABORATORIUM MEKANIKA TANAH
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN UII

Jl. Kaliurang KM. 14,4 Telp. (0274) 895042 Yogyakarta 55584.

PENGUJIAN KONSOLIDASI

Proyek UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
 Tanggal 31 Agustus 1998
 Petugas Tondi N + Narjuddin

No Bor Bh 1
 No. Contoh 1
 Kedalaman 1 m.

Proyek : _____
 Lokasi : _____
 Kedalaman : _____
 No Contoh : _____

Tanggal : _____
 Dikerjakan : _____
 Dipriksa : _____

Waktu pembacaan		Pembacaan dial untuk beban, p (kg/cm ²)	
pukul	t (menit)	4	Grafik
	0.00	7.971	
	0.54	7.948	
	15.00	7.912	
	29.40	7.88	
	1.00	7.841	
	2.25	7.803	
	4.00	7.778	
	9.00	7.749	
	16.00	7.723	
	25.00	7.698	
	36.00	7.672	
	49.00	7.624	
	64.00	7.573	
	81.00	7.527	
	100.00	7.479	
	121.00	7.434	
	144.00	7.391	
	225.00	7.352	
	400.00	7.309	
	1,444.00	6.929	

$\sqrt{t_{90}}$	=	2.3
t_{90}		5.29 menit
t_{90}		317.4 detik



LABORATORIUM MEKANIKA TANAH
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN UII

Jl. Kaliurang KM. 14,4 Telp. (0274) 895042 Yogyakarta 55584.

PENGUJIAN KONSOLIDASI

Proyek : UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
 Tanggal : 31 Agustus 1998
 Petugas : Tondi N + Narjuddin

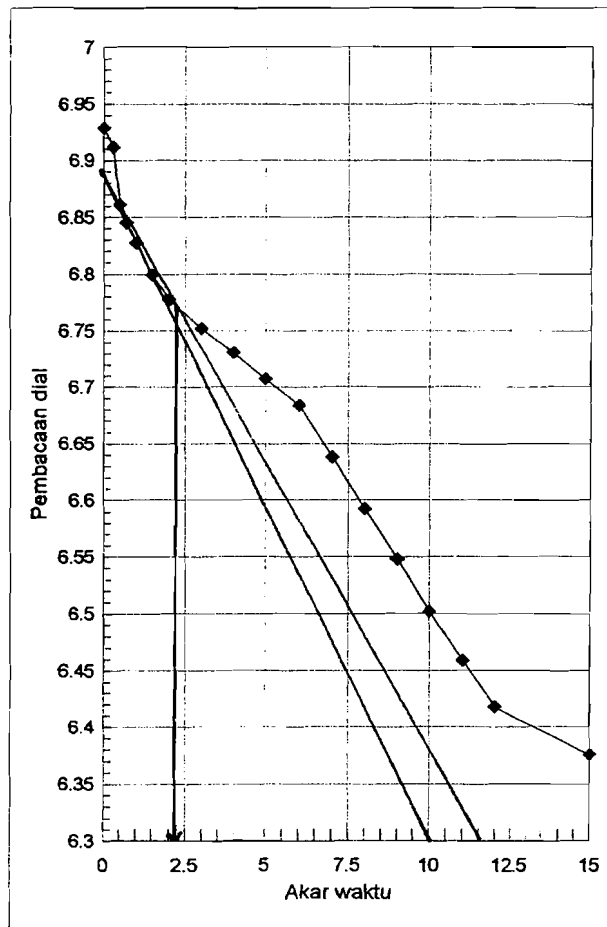
No Bor : Bh 1
 No. Contoh : 1
 Kedalaman : 1 m.

Proyek : _____
 Lokasi : _____
 Kedalaman : _____
 No Contoh : _____

Tanggal : _____
 Dikerjakan : _____
 Dipriksa : _____

Waktu pembacaan		Pembacaan dial untuk beban, p (kg/cm ²)	
pukul	t	8	Grafik
	(menit)		

	0.00	0.00	6.929
	0.54	0.30	6.912
	15.00	0.50	6.861
	29.40	0.70	6.845
	1.00	1.00	6.827
	2.25	1.50	6.799
	4.00	2.00	6.777
	9.00	3.00	6.752
	16.00	4.00	6.73
	25.00	5.00	6.707
	36.00	6.00	6.684
	49.00	7.00	6.638
	64.00	8.00	6.592
	81.00	9.00	6.548
	100.00	10.00	6.502
	121.00	11.00	6.459
	144.00	12.00	6.418
	225.00	15.00	6.376
	400.00	20.00	6.333
	1,444.00	38.00	5.827



$\sqrt{t_{90}}$	=	2.25
t_{90}		5.0625 menit
t_{90}		303.75 detik



LABORATORIUM MEKANIK TANAH
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN UII
Jl. Kaliurang KM. 14,4 Telp. (0274) 895042 Yogyakarta 55584.

PENGUJIAN KONSOLIDASI

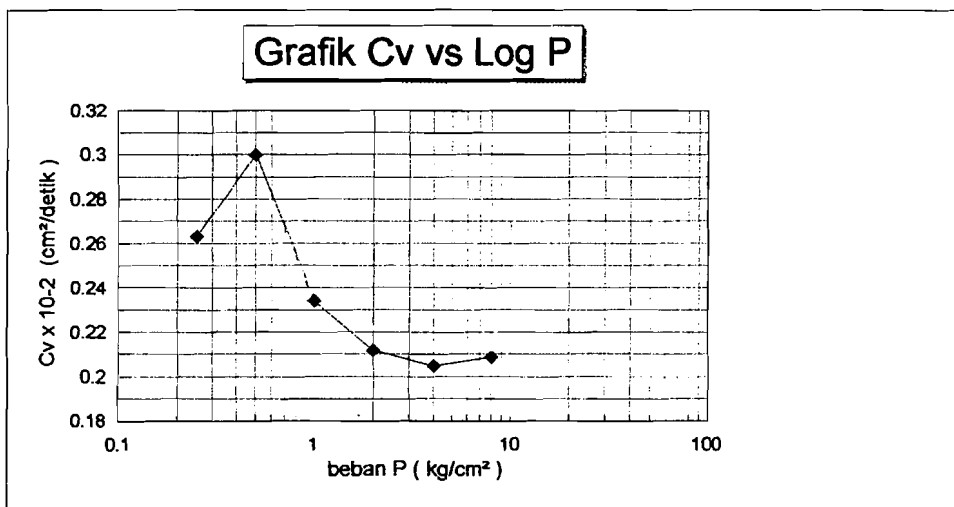
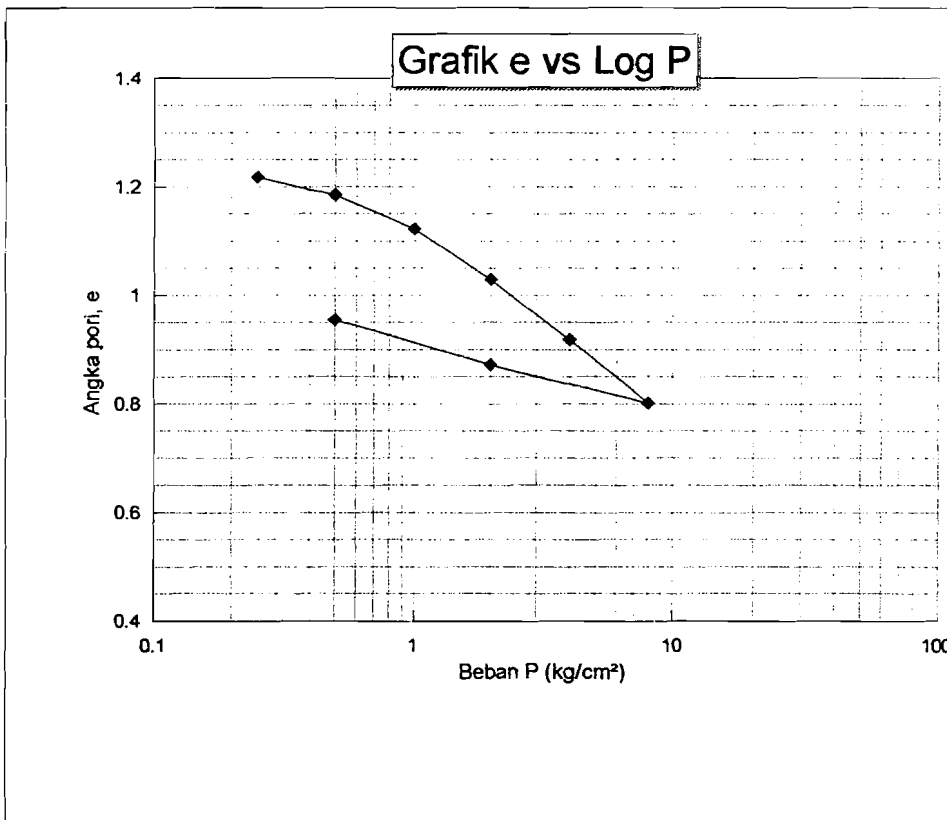
Proyek	UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA	No Bor	:	Bh 1
Tanggal	31 Agustus 1998	No. Contoh	:	1
Petugas	Tondi N + Narijuddin	Kedalaman	:	1 m.

Berat Jenis Tanah (G)	2.51	Luas cincin (A)	19.79 cm ²
Berat Cincin (Wc)	36.28 gr.	Tinggi cincin (H ₀)	2.10 cm
Diameter cincin (ø)	5.02 cm.	Volume cincin (V)	41.56 cm ³

Beban P (kg/cm ²)	Pemb. Akhir dial (mm)	Perubahan tebal ΔH (mm)	Perubahan angka pori $\Delta e = \frac{\Delta H}{H_1}$	Angka pori $e = e_1 - \Delta e$	$C_c = \frac{\Delta e}{\log \frac{P_2}{P_1}}$	Tebal akhir H = H ₁ - ΔH (cm)	1/2 tebal rata-rata $d = \frac{H_1 + H_2}{2}$ (cm)	$\sqrt{t_{90}}$	t ₉₀ (menit)	t ₉₀ (detik)	$C_v = \frac{0.848 \cdot d^2}{t_{90}}$ (cm ² /detik)
0	9.873										
0.25	9.740	0.133	0.014134	1.2175161	0.046951	2.0867	1.03578	2.4	5.76	345.6	0.002632407
0.5	9.437	0.303	0.0322	1.1853166	0.106964	2.0564	1.01333	2.2	4.84	290.4	0.00299845
1	8.842	0.595	0.06323	1.1220865	0.210048	1.9969	0.97668	2.4	5.76	345.6	0.002340573
2	7.971	0.871	0.09256	1.0295262	0.307479	1.9098	0.92885	2.4	5.76	345.6	0.002116963
4	6.929	1.042	0.110732	0.9187938	0.367845	1.8056	0.87525	2.3	5.29	317.4	0.002046695
8	5.827	1.102	0.117108	0.8016854	-0.19451	1.6954	0.86433	2.25	5.063	303.8	0.002085613
2	6.492	-0.665	-0.07067	0.8723543	0.117379	1.7619	0.90035		0	0	
0.5	7.268	-0.776	-0.08246	0.954819		1.8395	0.45988		0	0	
			0	0.954819							



GRAFIK PENGUJIAN KONSOLIDASI





LABORATORIUM MEKANIKA TANAH
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN UII

Jl. Kaliurang KM. 14,4 Telp. (0274) 895042 Yogyakarta 55584.

PENGUJIAN KONSOLIDASI

Proyek : UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA No Bor Bh 1
 Tanggal : 31 Agustus 1998 No. Contoh 2
 Petugas : Yudi Kedalaman 1.5 m

Berat Jenis Tanah (G) 2.51 Luas cincin (A) 19.79 cm²
 Berat Cincin (Wc) 36.28 gr. Tinggi cincin (Ho) 2.10 cm
 Diameter cincin (ø) 5.02 cm. Volume cincin (V) 41.56 cm³

Pembacaan Penurunan

Waktu pembacaan			Pembacaan dial (mm) Untuk beban P (kg/cm ²)								
Jam	t (Menit)	\sqrt{t} (menit)	0.25	0.50	1.00	2.00	4.00	8.00	16.00	rebound	
										2.00	0.50
	0.00	0.0	9.943	9.830	9.518	9.048	8.260	7.391	6.392	5.620	6.530
	5.4"	0.3	9.942	9.740	9.490	9.017	8.230	7.355	6.370		
	15"	0.5	9.908	9.705	9.460	8.912	8.139	7.325	6.341		
	29.4"	0.7	9.903	9.691	9.382	8.849	8.114	7.275	6.331		
	1'	1.0	9.898	9.675	9.320	8.807	8.090	7.255	6.319		
	2.25'	1.5	9.890	9.652	9.280	8.757	8.053	7.229	6.290		
	4'	2.0	9.882	9.641	9.251	8.727	8.031	7.207	6.268		
	6'25"	2.5	9.880	9.630	9.233	8.691	8.003	7.180	6.250		
	9'	3.0	9.879	9.620	9.213	8.662	7.981	7.161	6.237		
	12'25"	3.5	9.877	9.612	9.201	8.637	7.957	7.138	6.215		
	16'	4.0	9.872	9.607	9.188	8.610	7.932	7.117	6.197		
	25'	5.0	9.870	9.597	9.168	8.562	7.888	7.075	6.157		
	36'	6.0	9.868	9.590	9.153	8.521	7.843	7.031	6.117		
	49'	7.0	9.864	9.582	9.142	8.489	7.803	6.989	6.078		
	64'	8.0	9.862	9.578	9.132	8.461	7.762	6.947	6.029		
	81'	9.0	9.860	9.573	9.123	8.437	7.728	6.906	5.995		
	100'	10.0	9.858	9.570	9.118	8.417	7.695	6.865	5.955		
	121'	11.0	9.856	9.566	9.112	8.399	7.663	6.827	5.915		
	144'	12.0	9.855	9.563	9.108	8.382	7.637	6.790	5.875		
	225'	15.0									
	400'	20.0									
	1440'	37.9	9.830	9.518	9.048	8.260	7.391	6.392	5.620	6.530	7.260

Catatan :



LABORATORIUM MEKANIKA TANAH
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN UII
 Jl. Kaliurang KM. 14,4 Telp. (0274) 895042 Yogyakarta 55584.

PENGUJIAN KONSOLIDASI

Proyek : UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA No Bor Bh 1
 Tanggal : 31 Agustus 1998 No. Contoh 2
 Petugas : Yudi Kedalaman 1.5 m.

Berat Jenis Tanah 2.51 gram/cm³ Luas cincin (A) 19.79 cm²
 Berat Cincin (Wc) 35.06 gr. Tinggi cincin (Ho) 2.06 cm
 Diameter cincin (ø) 5.02 cm. Volume cincin (V) 40.77 cm³
 Hsp 1.792 cm

SEBELUM PENGUJIAN			
Kadar Air Tanah		1	2
Berat Cawan Kosong	W1	22.20	22.00
Berar cawan + tanah basah	W2	75.51	57.81
Berat cawan + tanah kering	W3	55.07	45.11
Kadar Air	$w = \frac{W_2 - W_3}{W_3 - W_1} \times 100\%$	0.622	0.550
Kadar Air Rata-rata	$w(rt) =$		0.586
Berat cincin + tanah basah	W4 =		100.240
Berat tanah basah	(Wb = W4 - Wc)		65.180
Berat tanah kering	$\left(W_t = \frac{W_b}{1 + w_{rt}} \right)$		41.105
Berat volume tanah kering	$\left(\gamma_d = \frac{W_t}{V} \right)$		1.008
Tinggi bagian padat	$\left(H_t = \frac{W_t}{G_s \cdot A} \right)$		0.827
Angka pori	$\left(e_o = \frac{H_o - H_t}{H_t} \right)$		1.490
Derajat kekenyangan	$\left(S_o = \frac{w_o \cdot G_s}{e_o} \right)$		0.987

SESUDAH PERCOBAAN		
Berat cincin + tanah basah	W5	98.34
Berat cincin + tanah kering	W6	78.39
Berat tanah kering	(W6 - Wc)	43.33
Kadar Air	$\left(w_{sp} = \frac{W_5 - W_6}{W_k} \right)$	0.460
Tinggi bagian padat	$\left(H_t = \frac{W_k}{G_s \cdot A} \right)$	0.872
Angka pori	$\left(e_{sp} = \frac{H_{sp} - H_t}{H_t} \right)$	1.055
Derajat kekenyangan	$\left(S_{sp} = \frac{w_{sp} \cdot G_s}{e_{sp}} \right)$	1.096



UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
JURUSAN TEKNIK SIPIL
Jl. Kaliurang Km. 14,4 Telp. 95330 Yogyakarta

KARTU PESERTA TUGAS AKHIR

No.	Nama	No. Mhs.	N.I.R.M.	Bidang Studi

JUDUL TUGAS AKHIR :

.....

.....

Dosen Pembimbing I :
Dosen Pembimbing II :

1

2

Yogyakarta,
D e k a n,

3 x 4

3 x 4



LABORATORIUM MEKANIKA TANAH
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN UII

Jl. Kaliurang KM. 14,4 Telp. (0274) 895042 Yogyakarta 55584.

PENGUJIAN KONSOLIDASI

Proyek : UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
 Tanggal : 31 Agustus 1998
 Petugas : Yudi

No Bor : Bh 1
 No. Contoh : 2
 Kedalaman : 1.5 m

Proyek : Tugas Akhir
 Lokasi : Kasongan
 Kedalaman : _____
 No Contoh : _____

Tanggal : _____
 Dikerjakan : Tondi N + Narjuddin
 Dipriksa : _____

Waktu pembacaan			Pembacaan dial untuk beban, p (kg/cm ²)	
pukul	t	\sqrt{t} (menit)	0.25	Grafik
	0.00	0.00	9.943	
	0.54	0.30	9.942	
	15.00	0.50	9.908	
	29.40	0.70	9.903	
	1.00	1.00	9.898	
	2.25	1.50	9.89	
	4.00	2.00	9.882	
	9.00	3.00	9.88	
	16.00	4.00	9.879	
	25.00	5.00	9.872	
	36.00	6.00	9.87	
	49.00	7.00	9.868	
	64.00	8.00	9.864	
	81.00	9.00	9.862	
	100.00	10.00	9.86	
	121.00	11.00	9.858	
	144.00	12.00	9.856	
	225.00	15.00	9.855	
	400.00	20.00	0	
	1,444.00	38.00	9.83	

$\sqrt{t_{90}}$	=	2.5
t_{90}	=	6.25 menit
t_{90}	=	375 detik



LABORATORIUM MEKANIKA TANAH
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN UII

Jl. Kaliurang KM. 14,4 Telp. (0274) 895042 Yogyakarta 55584.

PENGUJIAN KONSOLIDASI

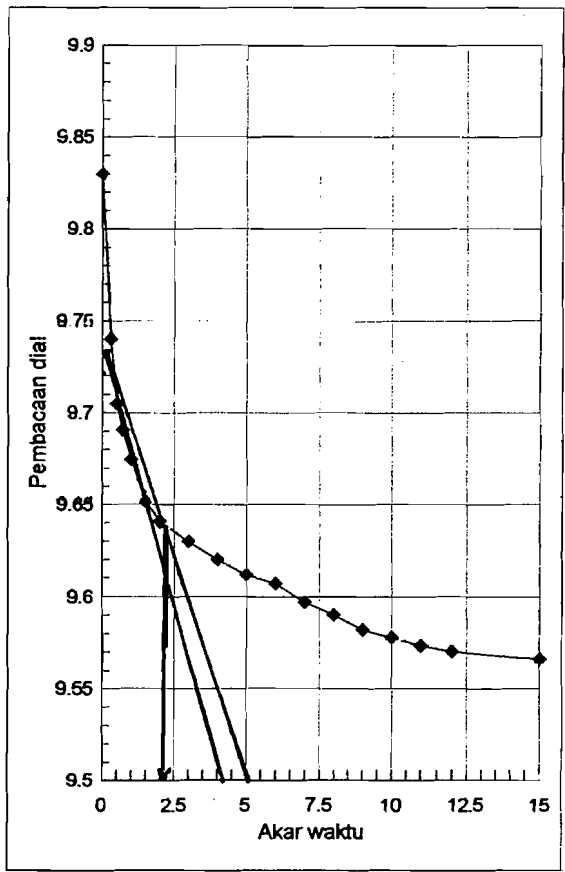
Proyek : UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
 Tanggal : 31 Agustus 1998
 Petugas : Yudi

No Bor : Bh 1
 No. Contoh : 2
 Kedalaman : 1.5 m

Proyek : Tugas Akhir
 Lokasi : Kasongan
 Kedalaman : _____
 No Contoh : _____

Tanggal : _____
 Dikerjakan : Tondi N + Narjuddin
 Dipiksa : _____

Waktu pembacaan			Pembacaan dial untuk beban, p (kg/cm ²)	
pukul	t	0.5	Grafik	
			(menit)	
	0.00	0.00	9.83	
	0.54	0.30	9.74	
	15.00	0.50	9.705	
	29.40	0.70	9.691	
	1.00	1.00	9.675	
	2.25	1.50	9.652	
	4.00	2.00	9.641	
	9.00	3.00	9.63	
	16.00	4.00	9.62	
	25.00	5.00	9.612	
	36.00	6.00	9.607	
	49.00	7.00	9.597	
	64.00	8.00	9.59	
	81.00	9.00	9.582	
	100.00	10.00	9.578	
	121.00	11.00	9.573	
	144.00	12.00	9.57	
	225.00	15.00	9.566	
	400.00	20.00	9.563	
	1,444.00	38.00	9.518	



$\sqrt{t_{90}}$	=	2.2
t_{90}	=	4.84 menit
t_{90}	=	290.4 detik



LABORATORIUM MEKANIKA TANAH
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN UII
 Jl. Kaliurang KM. 14,4 Telp. (0274) 895042 Yogyakarta 55584.

PENGUJIAN KONSOLIDASI

Proyek UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
 Tanggal 23 SEPTEMBER 1996
 Petugas YUDI

No Bor Bh 1
 No. Contoh 2
 Kedalaman 1.5 m

Proyek : Tugas Akhir
 Lokasi : Kasongan
 Kedalaman : _____
 No Contoh : _____

Tanggal : _____
 Dikerjakan : Tondi N + Narjuddin
 Dipriksa : _____

Waktu pembacaan			Pembacaan dial untuk beban, p (kg/cm ²)	
pukul	t	(menit)	1	Grafik
	0.00	0.00	9.518	
	0.54	0.30	9.49	
	15.00	0.50	9.46	
	29.40	0.70	9.382	
	1.00	1.00	9.32	
	2.25	1.50	9.28	
	4.00	2.00	9.251	
	9.00	3.00	9.233	
	16.00	4.00	9.213	
	25.00	5.00	9.201	
	36.00	6.00	9.188	
	49.00	7.00	9.168	
	64.00	8.00	9.153	
	81.00	9.00	9.142	
	100.00	10.00	9.132	
	121.00	11.00	9.123	
	144.00	12.00	9.118	
	225.00	15.00	9.112	
	400.00	20.00	9.108	
	1,444.00	38.00	9.048	

$\sqrt{t_{90}}$	=	2.4
t_{90}	=	5.76 menit
t_{90}	=	345.6 detik



LABORATORIUM MEKANIKA TANAH
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN UII
 Jl. Kaliurang KM. 14,4 Telp. (0274) 895042 Yogyakarta 55584.

PENGUJIAN KONSOLIDASI

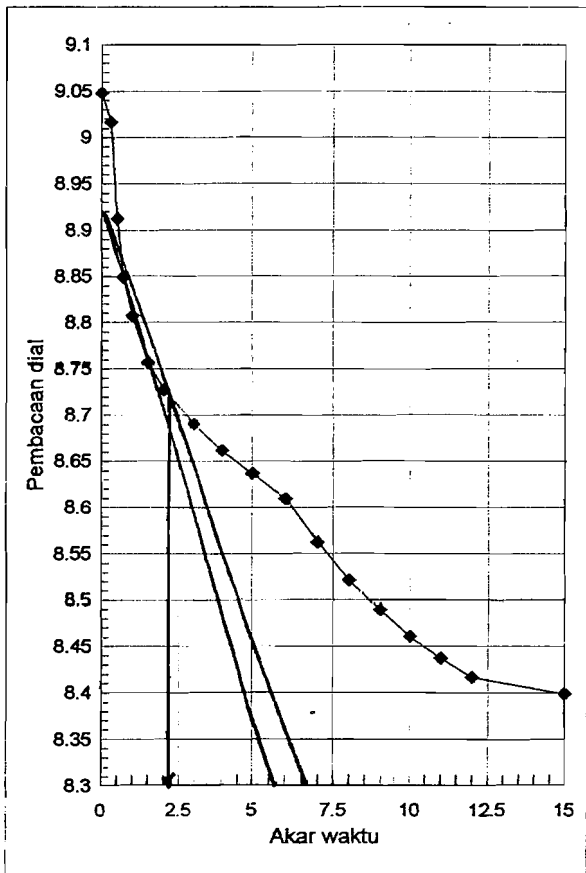
Proyek : UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
 Tanggal : 23 SEPTEMBER 1996
 Petugas : YUDI

No Bor : Bh 1
 No. Contoh : 2
 Kedalaman : 1.5 m

Proyek : Tugas Akhir
 Lokasi : Kasongan
 Kedalaman : _____
 No Contoh : _____

Tanggal : _____
 Dikerjakan : Tondi N + Narjuddin
 Dipriksa : _____

Waktu pembacaan			Pembacaan dial untuk beban, p (kg/cm ²)	
pukul	t	(menit)	2	Grafik
	0.00	0.00	9.048	
	0.54	0.30	9.017	
	15.00	0.50	8.912	
	29.40	0.70	8.849	
	1.00	1.00	8.807	
	2.25	1.50	8.757	
	4.00	2.00	8.727	
	9.00	3.00	8.691	
	16.00	4.00	8.662	
	25.00	5.00	8.637	
	36.00	6.00	8.61	
	49.00	7.00	8.562	
	64.00	8.00	8.521	
	81.00	9.00	8.489	
	100.00	10.00	8.461	
	121.00	11.00	8.437	
	144.00	12.00	8.417	
	225.00	15.00	8.399	
	400.00	20.00	8.382	
	1,444.00	38.00	8.26	



$\sqrt{t_{90}}$	=	2.2
t_{90}	=	4.84 menit
t_{90}	=	290.4 detik



LABORATORIUM MEKANIKA TANAH
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN UII
 Jl. Kaliurang KM. 14,4 Telp. (0274) 895042 Yogyakarta 55584.

PENGUJIAN KONSOLIDASI

Proyek : UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
 Tanggal : 23 SEPTEMBER 1996
 Petugas : YUDI

No Bor : Bh 1
 No. Contoh : 2
 Kedalaman : 1.5 m

Proyek : Tugas Akhir
 Lokasi : Kasongan
 Kedalaman : _____
 No Contoh : _____

Tanggal : _____
 Dikerjakan : Tondi N + Narjuddin
 Dipriksa : _____

Waktu pembacaan			Pembacaan dial untuk beban, p (kg/cm ²)	
pukul	t	(menit)	4	Grafik
	0.00	0.00	8.26	
	0.54	0.30	8.23	
	15.00	0.50	8.139	
	29.40	0.70	8.114	
	1.00	1.00	8.09	
	2.25	1.50	8.053	
	4.00	2.00	8.031	
	9.00	3.00	8.003	
	16.00	4.00	7.981	
	25.00	5.00	7.957	
	36.00	6.00	7.932	
	49.00	7.00	7.888	
	64.00	8.00	7.843	
	81.00	9.00	7.803	
	100.00	10.00	7.762	
	121.00	11.00	7.728	
	144.00	12.00	7.695	
	225.00	15.00	7.663	
	400.00	20.00	7.637	
	1,444.00	38.00	7.391	

$\sqrt{t_{90}}$	=	2.2
t_{90}	=	4.84 menit
t_{90}	=	290.4 detik



LABORATORIUM MEKANIKA TANAH
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN UII

Jl. Kaliurang KM. 14,4 Telp. (0274) 895042 Yogyakarta 55584.

PENGUJIAN KONSOLIDASI

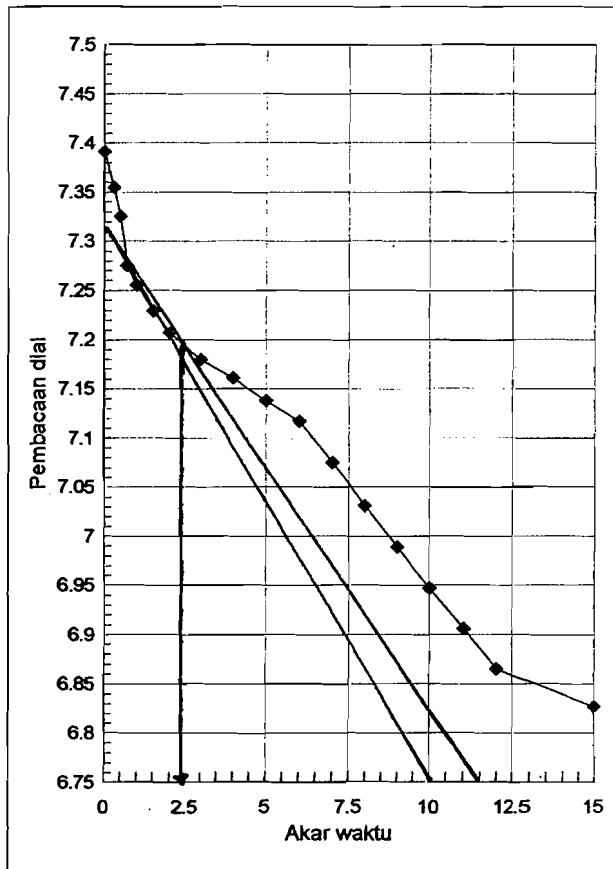
Proyek UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
 Tanggal 23 SEPTEMBER 1996
 Petugas YUDI

No Bor Bh 1
 No. Contoh 2
 Kedalaman 1.5 m

Proyek : Tugas Akhir
 Lokasi : Kasongan
 Kedalaman : _____
 No Contoh : _____

Tanggal : _____
 Dikerjakan : Tondi N + Narjuddin
 Dipriksa : _____

Waktu pembacaan			Pembacaan dial untuk beban, p (kg/cm ²)	
pukul	t	(menit)	8	Grafik
	0.00	0.00	7.391	
	0.54	0.30	7.355	
	15.00	0.50	7.325	
	29.40	0.70	7.275	
	1.00	1.00	7.255	
	2.25	1.50	7.229	
	4.00	2.00	7.207	
	9.00	3.00	7.18	
	16.00	4.00	7.161	
	25.00	5.00	7.138	
	36.00	6.00	7.117	
	49.00	7.00	7.075	
	64.00	8.00	7.031	
	81.00	9.00	6.989	
	100.00	10.00	6.947	
	121.00	11.00	6.906	
	144.00	12.00	6.865	
	225.00	15.00	6.827	
	400.00	20.00	6.79	
	1,444.00	38.00	6.392	



$\sqrt{t_{90}}$	=	2.4
t_{90}	=	5.76 menit
t_{90}	=	345.6 detik



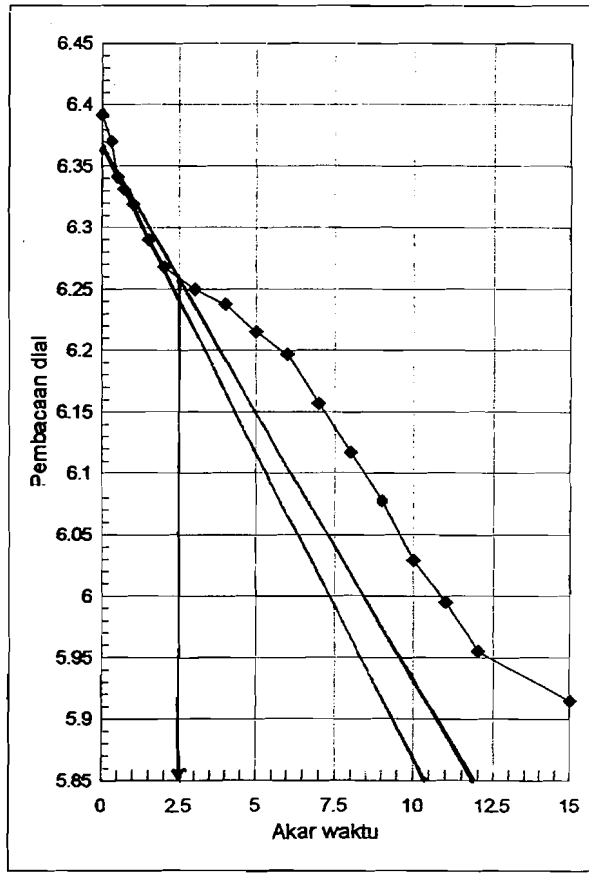
PENGUJIAN KONSOLIDASI

Proyek	UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA	No Bor	Bh 1
Tanggal	23 SEPTEMBER 1996	No. Contoh	2
Petugas	YUDI	Kedalaman	1.5 m

Proyek : Tugas Akhir
 Lokasi : Kasongan
 Kedalaman :
 No Contoh :

Tanggal :
 Dikerjakan : Tondi N + Narjuddin
 Dipriksa :

Waktu pembacaan			Pembacaan dial untuk beban, p (kg/cm ²)	
pukul	t	(menit)	16	Grafik
	0.00	0.00	6.392	Grafik
	0.54	0.30	6.37	
	15.00	0.50	6.341	
	29.40	0.70	6.331	
	1.00	1.00	6.319	
	2.25	1.50	6.29	
	4.00	2.00	6.268	
	9.00	3.00	6.25	
	16.00	4.00	6.237	
	25.00	5.00	6.215	
	36.00	6.00	6.197	
	49.00	7.00	6.157	
	64.00	8.00	6.117	
	81.00	9.00	6.078	
	100.00	10.00	6.029	
	121.00	11.00	5.995	
	144.00	12.00	5.955	
	225.00	15.00	5.915	
	400.00	20.00	5.875	
	1,444.00	38.00	5.62	



$\sqrt{t_{90}}$	=	2.5
t_{90}	=	6.25 menit
t_{90}	=	375 detik



LABORATORIUM MEKANIKA TANAH

FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN UII

Jl. Kallurang KM. 14,4 Telp. (0274) 895042 Yogyakarta 55584.

PENGUJIAN KONSOLIDASI

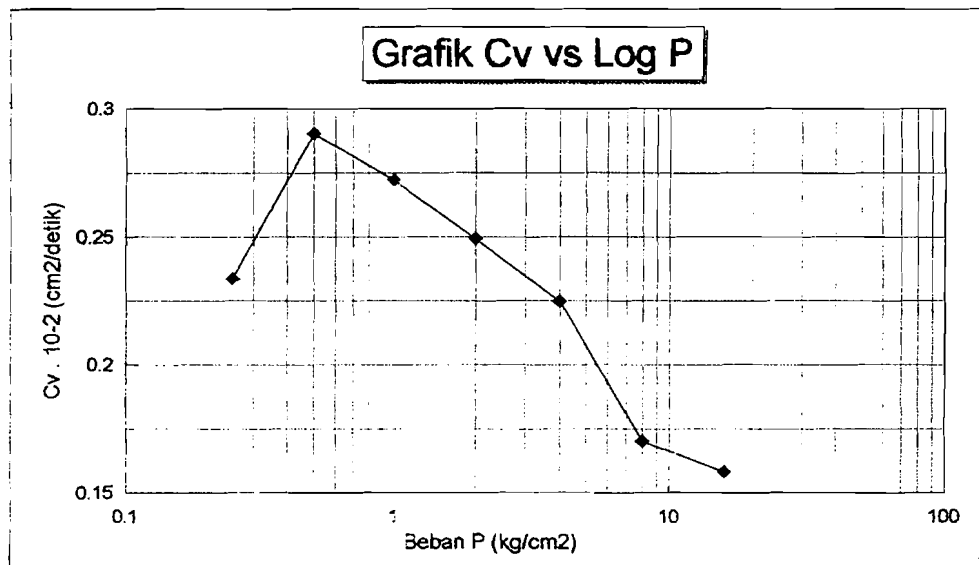
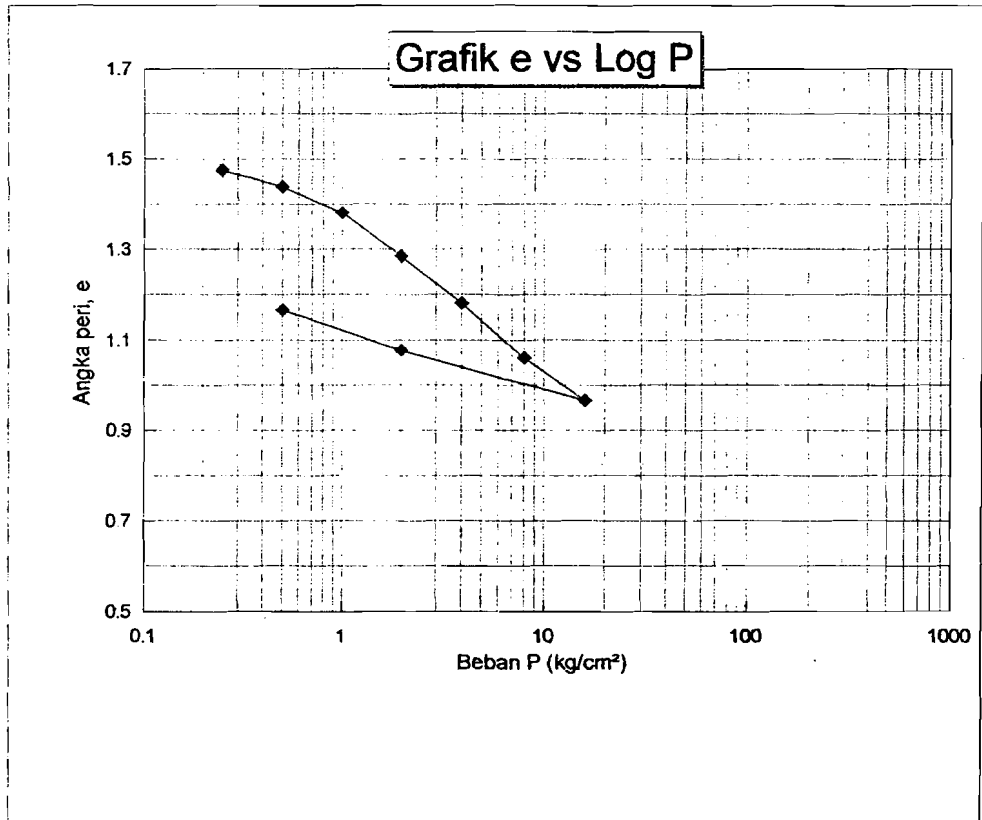
Proyek : UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA No Bor : Bh 1
 Tanggal : 31 Agustus 1998 No. Contoh : 2
 Petugas : Yudi Kedalaman : 1.5 m.

Berat Jenis Tanah : 2.51 Luas cincin (A) : 19.79 cm²
 Berat Cincin (Wc) : 35.06 gr. Tinggi cincin (H₀) : 2.06 cm
 Diameter cincin (ø) : 5.02 cm. Volume cincin (V) : 40.77 cm³

Beban P (kg/cm ²)	Pemb. Akhir dial (mm)	Perubahan tebal ΔH (mm)	Perubahan angka pori $\Delta e = \frac{\Delta H}{H_1}$	Angka pori $e = e_1 - \Delta e$	$C_c = \frac{\Delta e}{\log \frac{P_2}{P_1}}$	Tebal akhir $H = H_1 - \Delta H$ (cm)	1/2 tebal rata-rata $d = \frac{H_1 + H_2}{2}$ (cm)	$\sqrt{t_{90}}$	t_{90} (menit)	t_{90} (detik)	$C_v = \frac{0.848 \cdot d^2}{t_{90}}$ (cm ² /detik)
0	9.943										
0.25	9.830	0.113	0.013657	1.476023	0.045368	2.0487	1.0166	2.5	6.25	375	0.0023368029
0.5	9.518	0.312	0.037708	1.438315	0.125262	2.0175	0.9970	2.2	4.84	290.4	0.0029026158
1	9.048	0.470	0.056803	1.381511	0.188697	1.9705	0.9656	2.2	4.84	290.4	0.0027223802
2	8.260	0.788	0.095236	1.286275	0.316368	1.8917	0.9241	2.2	4.84	290.4	0.0024937946
4	7.391	0.869	0.105026	1.181249	0.348888	1.8048	0.8774	2.2	4.84	290.4	0.0022481188
8	6.392	0.999	0.120737	1.060512	0.401081	1.7049	0.8332	2.4	5.76	345.6	0.0017032112
16	5.620	0.772	0.093303	0.967209	-0.10331	1.6277	0.8366	2.5	6.25	375	0.0015827062
2	6.530	-0.910	-0.10998	1.077190	0.182674	1.7187	0.8776				
0.5	7.260	-0.730	-0.08823	1.165417		1.7917	0.4479				
				0							



GRAFIK PENGUJIAN KONSOLIDASI





LABORATORIUM MEKANIKA TANAH
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN UII

Jl. Kaliurang KM. 14,4 Telp. (0274) 895042 Yogyakarta 55584.

PENGUJIAN KONSOLIDASI

Proyek : UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Tanggal : 31 Agustus 1998

Petugas : Yudi

No Bor Bh 1

No. Contoh 3

Kedalaman 2 m.

Berat Jenis Tanah (G) : 2.51

Berat Cincin (Wc) : 34.26 gr.

Diameter cincin (ø) : 5.04 cm.

Luas cincin (A) : 19.95 cm²

Tinggi cincin (Ho) : 2.07 cm

Volume cincin (V) : 41.30 cm³

Pembacaan Penurunan

Jam	Waktu pembacaan		Pembacaan dial (mm) Untuk beban P (kg/cm ²)									
	t (Menit)	√t (menit)	0.25	0.50	1.00	2.00	4.00	8.00	16.00	32.00	rebound	
	0.00	0.0	9.949	9.842	9.549	9.085	8.368	7.352	6.567		6.100	6.730
	5.4"	0.0	9.930	9.792	9.522	9.052	8.345	7.320	6.518			
	15"	0.0	9.925	9.755	9.460	8.951	8.232	7.258	6.420			
	29.4"	0.0	9.920	9.740	9.418	8.922	8.211	7.236	6.391			
	1'	0.0	9.915	9.725	9.370	8.893	8.187	7.214	6.361			
	2.25'	0.0	9.909	9.706	9.337	8.858	8.153	7.178	6.322			
	4'	0.0	9.905	9.691	9.318	8.832	8.128	7.153	6.290			
	6'25"	0.0	9.902	9.679	9.298	8.807	8.096	7.124	6.256			
	9'	0.0	9.900	9.669	9.282	8.785	8.071	7.100	6.231			
	12'25"	0.0	9.896	9.660	9.265	8.760	8.045	7.072	6.209			
	16'	0.0	9.893	9.652	9.253	8.739	8.020	7.048	6.192			
	25'	0.0	9.890	9.641	9.232	8.691	7.969	6.998	6.162			
	36'	0.0	9.884	9.631	9.213	8.648	7.918	6.949	6.138			
	49'	0.0	9.882	9.621	9.198	8.612	7.871	6.901	6.115			
	64'	0.0	9.880	9.614	9.184	8.581	7.824	6.852	6.100			
	81'	0.0	9.878	9.609	9.172	8.553	7.781	6.807				
	100'	0.0	9.876	9.603	9.162	8.531	7.738	6.760				
	121'	0.0	9.874	9.600	9.154	8.511	7.693	6.717				
	144'	0.0	9.872	9.657	9.148	8.493	7.662	6.679				
	225'	0.0										
	400'	0.0										
	1440'	0.0	9.842	9.549	9.085	8.368	7.352	6.567	6.100		6.730	7.430

Catatan :



LABORATORIUM MEKANIKA TANAH
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN UII
 Jl. Kaliurang KM. 14,4 Telp. (0274) 895042 Yogyakarta 55584.

PENGUJIAN KONSOLIDASI

Proyek : UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA No Bor : Bh 1
 Tanggal : 31 Agustus 1998 No. Contoh : 3
 Petugas : Yudi Kedalaman : 2 m.

Berat Jenis Tanah : 2.51 Luas cincin (A) : 19.95 cm²
 Berat Cincin (Wc) : 34.26 gr. Tinggi cincin (H_o) : 2.07 cm
 Diameter cincin (ø) : 5.04 cm. Volume cincin (V) : 41.30 cm³
 Hsp : 1.818 cm

SEBELUM PENGUJIAN			
Kadar Air Tanah		1	2
Berat Cawan Kosong	W1	22.65	22.14
Berat cawan + tanah basah	W2	64.28	54.09
Berat cawan + tanah kering	W3	49.33	42.62
Kadar Air	$w = \frac{W_2 - W_3}{W_3 - W_1} \times 100\%$	0.560	0.560
Kadar Air Rata-rata	$w(rt) =$	0.560	
Berat cincin + tanah basah	W4 =	102.070	
Berat tanah basah	(Wb = W4 - Wc)	67.810	
Berat tanah kering	$\left(W_t = \frac{W_b}{1 + w_{rt}} \right)$	43.462	
Berat volume tanah kering	$\left(\gamma_d = \frac{W_t}{V} \right)$	1.052	
Tinggi bagian padat	$\left(H_t = \frac{W_t}{G_s \cdot A} \right)$	0.868	
Angka pori	$\left(e_o = \frac{H_o - H_t}{H_t} \right)$	1.385	
Derajat kekenyangan	$\left(S_o = \frac{w_o \cdot G_s}{e_o} \right)$	1.015	

SESUDAH PERCOBAAN		
Berat cincin + tanah basah	W5	102.38
Berat cincin + tanah kering	W6	78.9
Berat tanah kering	(W6 - Wc)	44.64
Kadar Air	$\left(w_{sp} = \frac{W_5 - W_6}{W_k} \right)$	0.526
Tinggi bagian padat	$\left(H_t = \frac{W_k}{G_s \cdot A} \right)$	0.891
Angka pori	$\left(e_{sp} = \frac{H_{sp} - H_t}{H_t} \right)$	1.039
Derajat kekenyangan	$\left(S_{sp} = \frac{w_{sp} \cdot G_s}{e_{sp}} \right)$	1.270

KONS-1



LABORATORIUM MEKANIKA TANAH
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN UII

Jl. Kaliurang KM. 14,4 Telp. (0274) 895042 Yogyakarta 55584.

PENGUJIAN KONSOLIDASI

Proyek UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
 Tanggal 23 SEPTEMBER 1996
 Petugas YUDI

No Bor Bh 1
 No. Contoh 3
 Kedalaman 2 m.

Proyek : Tugas Akhir
 Lokasi : Kasongan
 Kedalaman : _____
 No Contoh : _____

Tanggal : _____
 Dikerjakan : Tondi N + Narjuddin
 Dipriksa : _____

Waktu pembacaan			Pembacaan dial untuk beban, p (kg/cm ²)	
pukul	t	\sqrt{t} (menit)	0.25	Grafik
	0.00	0.00	9.949	
	0.54	0.30	9.93	
	15.00	0.50	9.925	
	29.40	0.70	9.92	
	1.00	1.00	9.915	
	2.25	1.50	9.909	
	4.00	2.00	9.905	
	9.00	3.00	9.902	
	16.00	4.00	9.9	
	25.00	5.00	9.893	
	36.00	6.00	9.89	
	49.00	7.00	9.884	
	64.00	8.00	9.882	
	81.00	9.00	9.88	
	100.00	10.00	9.878	
	121.00	11.00	9.876	
	144.00	12.00	9.874	
	225.00	15.00	9.872	
	400.00	20.00	0	
	1,444.00	38.00	0	

$\sqrt{t_{90}}$	=	2.4
t_{90}		5.76 menit
t_{90}		345.6 detik



LABORATORIUM MEKANIKA TANAH
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN UII

Jl. Kaliurang KM. 14,4 Telp. (0274) 895042 Yogyakarta 55584.

PENGUJIAN KONSOLIDASI

Proyek UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
 Tanggal 23 SEPTEMBER 1996
 Petugas YUDI

No Bor Bh 1
 No. Contoh 3
 Kedalaman 2 m.

Proyek : Tugas Akhir
 Lokasi : Kasongan
 Kedalaman : _____
 No Contoh : _____

Tanggal : _____
 Dikerjakan : Tondi N + Narjuddin
 Dipriksa : _____

Waktu pembacaan			Pembacaan dial untuk beban, p (kg/cm ²)	
pukul	t	(menit)	0.5	Grafik
	0.00	0.00	9.842	
	0.54	0.30	9.792	
	15.00	0.50	9.755	
	29.40	0.70	9.74	
	1.00	1.00	9.725	
	2.25	1.50	9.706	
	4.00	2.00	9.691	
	9.00	3.00	9.679	
	16.00	4.00	9.669	
	25.00	5.00	9.66	
	36.00	6.00	9.652	
	49.00	7.00	9.641	
	64.00	8.00	9.631	
	81.00	9.00	9.621	
	100.00	10.00	9.614	
	121.00	11.00	9.609	
	144.00	12.00	9.603	
	225.00	15.00	9.6	
	400.00	20.00	9.657	
	1,444.00	38.00	0	

$\sqrt{t_{90}}$	=	2.7
t_{90}		7.29 menit
t_{90}		437.4 detik



LABORATORIUM MEKANIKA TANAH
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN UII

Jl. Kaliurang KM. 14,4 Telp. (0274) 895042 Yogyakarta 55584.

PENGUJIAN KONSOLIDASI

Proyek : UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
 Tanggal : 23 SEPTEMBER 1996
 Petugas : YUDI

No Bor : Bh 1
 No. Contoh : 3
 Kedalaman : 2 m.

Proyek : Tugas Akhir
 Lokasi : Kasongan
 Kedalaman :
 No Contoh :

Tanggal :
 Dikerjakan : Tondi N + Narjuddin
 Dipriksa :

Waktu pembacaan			Pembacaan dial untuk beban, p (kg/cm ²)	
pukul	t	(menit)	1	Grafik
	0.00	0.00	9.549	
	0.54	0.30	9.522	
	15.00	0.50	9.46	
	29.40	0.70	9.418	
	1.00	1.00	9.37	
	2.25	1.50	9.337	
	4.00	2.00	9.318	
	9.00	3.00	9.298	
	16.00	4.00	9.282	
	25.00	5.00	9.265	
	36.00	6.00	9.253	
	49.00	7.00	9.232	
	64.00	8.00	9.213	
	81.00	9.00	9.198	
	100.00	10.00	9.184	
	121.00	11.00	9.172	
	144.00	12.00	9.162	
	225.00	15.00	9.154	
	400.00	20.00	9.148	
	1,444.00	38.00	9.085	

$\sqrt{t_{90}}$	=	2.3
t_{90}		5.29 menit
t_{90}		317.4 detik



LABORATORIUM MEKANIKA TANAH
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN UII

Jl. Kaliurang KM. 14,4 Telp. (0274) 895042 Yogyakarta 55584.

PENGUJIAN KONSOLIDASI

Proyek : UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
 Tanggal : 23 SEPTEMBER 1996
 Petugas : YUDI

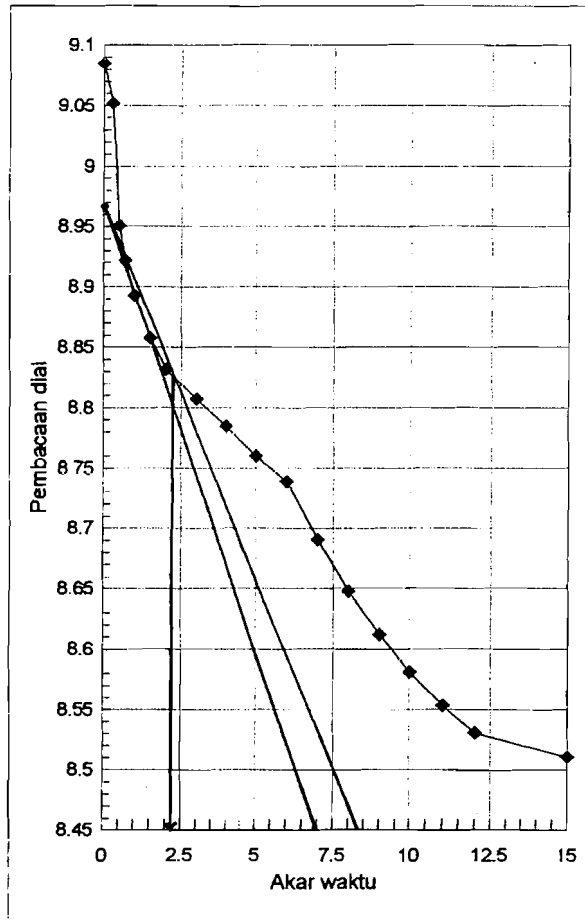
No Bor : Bh 1
 No. Contoh : 3
 Kedalaman : 2 m.

Proyek : Tugas Akhir
 Lokasi : Kasongan
 Kedalaman :
 No Contoh :

Tanggal :
 Dikerjakan : Tondi N + Narjuddin
 Dipriksa :

Waktu pembacaan		Pembacaan dial untuk beban, p (kg/cm ²)	
pukul	t (menit)	2	Grafik

	0.00	0.00	9.085
	0.54	0.30	9.052
	15.00	0.50	8.951
	29.40	0.70	8.922
	1.00	1.00	8.893
	2.25	1.50	8.858
	4.00	2.00	8.832
	9.00	3.00	8.807
	16.00	4.00	8.785
	25.00	5.00	8.760
	36.00	6.00	8.739
	49.00	7.00	8.691
	64.00	8.00	8.648
	81.00	9.00	8.612
	100.00	10.00	8.581
	121.00	11.00	8.553
	144.00	12.00	8.531
	225.00	15.00	8.511
	400.00	20.00	8.493
	1,444.00	38.00	8.368



$\sqrt{t_{90}}$	=	2.25
t_{90}		5.0625 menit
t_{90}		303.75 detik



LABORATORIUM MEKANIKA TANAH
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN UII

Jl. Kaliurang KM. 14,4 Telp. (0274) 895042 Yogyakarta 55584.

PENGUJIAN KONSOLIDASI

Proyek : UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
 Tanggal : 23 SEPTEMBER 1996
 Petugas : YUDI

No Bor : Bh 1
 No. Contoh : 3
 Kedalaman : 2 m

Proyek : Tugas Akhir
 Lokasi : Kasongan
 Kedalaman :
 No Contoh :

Tanggal :
 Dikerjakan : Tondi N + Narjuddin
 Dipriksa :

Waktu pembacaan		Pembacaan dial untuk beban, p (kg/cm ²)	
pukul	t (menit)	4	Grafik
	0.00	8.368	
	0.54	8.345	
	15.00	8.232	
	29.40	8.211	
	1.00	8.187	
	2.25	8.153	
	4.00	8.128	
	9.00	8.096	
	16.00	8.071	
	25.00	8.045	
	36.00	8.02	
	49.00	7.969	
	64.00	7.918	
	81.00	7.871	
	100.00	7.824	
	121.00	7.781	
	144.00	7.738	
	225.00	7.693	
	400.00	7.662	
	1,444.00	7.352	

$\sqrt{t_{90}}$	=	2.5
t_{90}		6.25 menit
t_{90}		375 detik



LABORATORIUM MEKANIKA TANAH
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN UII

Jl. Kaliurang KM. 14,4 Telp. (0274) 895042 Yogyakarta 55584.

PENGUJIAN KONSOLIDASI

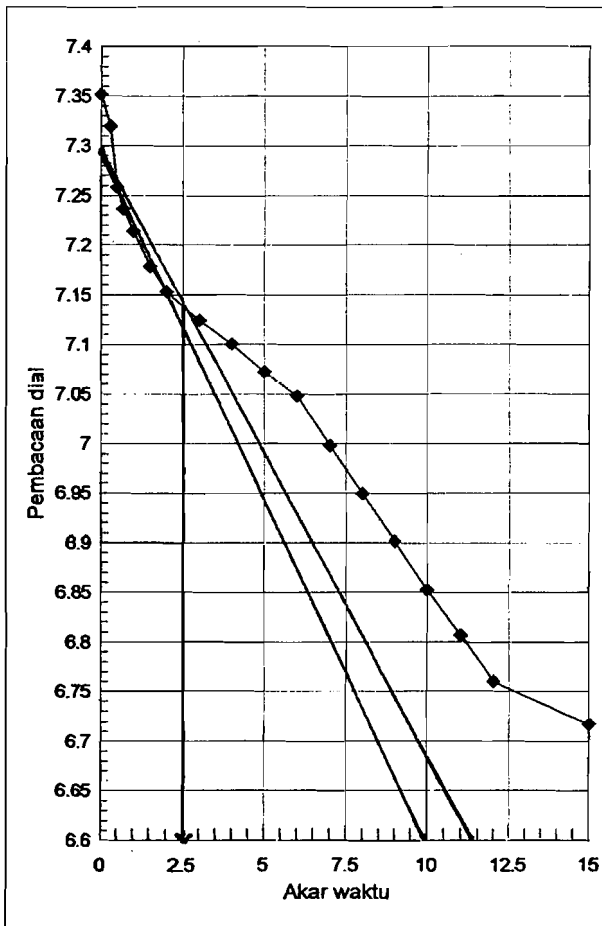
Proyek UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
 Tanggal 23 SEPTEMBER 1996
 Petugas YUDI

No Bor Bh 1
 No. Contoh 3
 Kedalaman 2 m.

Proyek : Tugas Akhir
 Lokasi : Kasongan
 Kedalaman : _____
 No Contoh : _____

Tanggal : _____
 Dikerjakan : Tondi N + Narjuddin
 Dipriksa : _____

Waktu pembacaan			Pembacaan dial untuk beban, p (kg/cm ²)	
pukul	t	θ	Grafik	
	(menit)			
	0.00	0.00	7.352	
	0.54	0.30	7.32	
	15.00	0.50	7.258	
	29.40	0.70	7.236	
	1.00	1.00	7.214	
	2.25	1.50	7.178	
	4.00	2.00	7.153	
	9.00	3.00	7.124	
	16.00	4.00	7.1	
	25.00	5.00	7.072	
	36.00	6.00	7.048	
	49.00	7.00	6.998	
	64.00	8.00	6.949	
	81.00	9.00	6.901	
	100.00	10.00	6.852	
	121.00	11.00	6.807	
	144.00	12.00	6.76	
	225.00	15.00	6.717	
	400.00	20.00	6.679	
	1,444.00	38.00	6.567	



$\sqrt{t_{90}}$	=	2.5
t_{90}		6.25 menit
t_{90}		375 detik



LABORATORIUM MEKANIKA TANAH
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN UII

Jl. Kaliurang KM. 14,4 Telp. (0274) 895042 Yogyakarta 55584.

PENGUJIAN KONSOLIDASI

Proyek : UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
 Tanggal : 23 SEPTEMBER 1996
 Petugas : YUDI

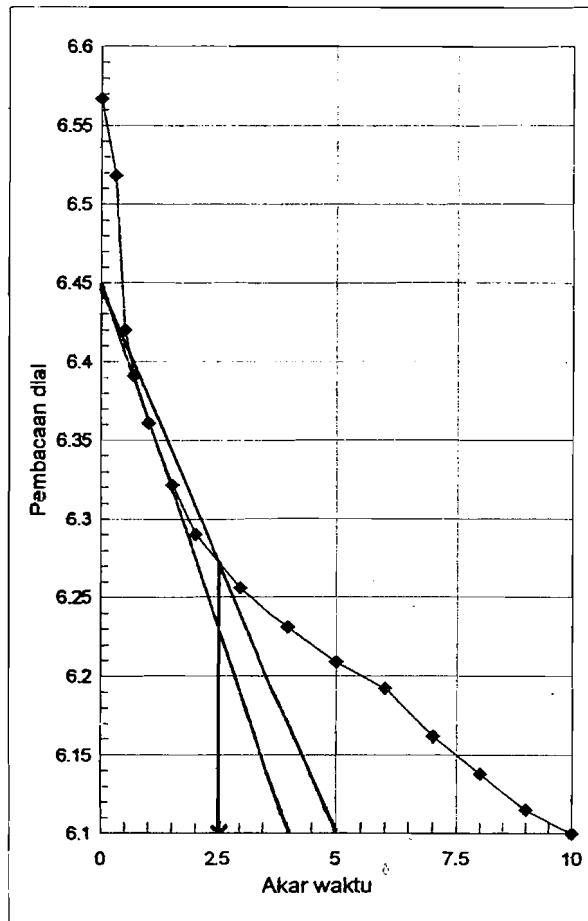
No Bor : Bh 1
 No. Contoh : 3
 Kedalaman : 2 m.

Proyek : Tugas Akhir
 Lokasi : Kasongan
 Kedalaman : _____
 No Contoh : _____

Tanggal : _____
 Dikerjakan : Tondi N + Narjuddin
 Dipriksa : _____

Waktu pembacaan		Pembacaan dial untuk beban, p (kg/cm ²)	
pukul	t	16	Grafik
	(menit)		

	0.00	0.00	6.567
	0.54	0.30	6.518
	15.00	0.50	6.42
	29.40	0.70	6.391
	1.00	1.00	6.361
	2.25	1.50	6.322
	4.00	2.00	6.29
	9.00	3.00	6.256
	16.00	4.00	6.231
	25.00	5.00	6.209
	36.00	6.00	6.192
	49.00	7.00	6.162
	64.00	8.00	6.138
	81.00	9.00	6.115
	100.00	10.00	6.100
	121.00	11.00	
	144.00	12.00	
	225.00	15.00	
	400.00	20.00	
	1,444.00	38.00	6.100



$\sqrt{t_{90}}$	=	2.5
t_{90}		6.25 menit
t_{90}		375 detik



LABORATORIUM MEKANIKA TANAH
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN UII
 Jl. Kaliurang KM. 14,4 Telp. (0274) 895042 Yogyakarta 55584.

PENGUJIAN KONSOLIDASI

Proyek : UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA No Bor : Bh 1
 Tanggal : 31 Agustus 1998 No. Contoh : 3
 Petugas : Yudi Kedalaman : 2 m.

Berat Jenis Tanah : 2.51 Luas cincin (A) : 19.95 cm²
 Berat Cincin (Wc) : 34.26 gr. Tinggi cincin (Ho) : 2.07 cm
 Diameter cincin (ø) : 5.04 cm. Volume cincin (V) : 41.30 cm³

Beban P (kg/cm ²)	Pemb. Akhir dial (mm)	Perubahan tebal ΔH (mm)	Perubahan angka pori $\Delta e = \frac{\Delta H}{H_1}$	Angka pori $e = e_1 - \Delta e$	$C_c = \frac{\Delta e}{\log \frac{P_2}{P_1}}$	Tebal akhir $H = H_1 - \Delta H$ (cm)	1/2 tebal rata-rata $d = \frac{H_1 + H_2}{2}$ (cm)	$\sqrt{t_{90}}$	t ₉₀ (menit)	t ₉₀ (detik)	$C_v = \frac{0,848 \cdot d^2}{t_{90}}$ (cm ² /detik)
0	9.949										
0.25	9.842	0.107	0.012328	1.372637	0.2921	2.0593	1.022325	2.4	5.76	345.6	0.0025644845
0.5	9.549	0.293	0.033758	1.3388788	0.29538	2.0300	1.0034	2.7	7.29	437.4	0.0019519346
1	9.085	0.464	0.05346	1.2854187	0.17759	1.9836	0.973875	2.3	5.29	317.4	0.0025339344
2	8.368	0.717	0.08261	1.2028091	0.14542	1.9119	0.93555	2.25	5.063	303.8	0.0024435069
4	7.552	0.816	0.094016	1.108793	0.10817	1.8303	0.891275	2.5	6.25	375	0.0017963379
8	6.597	0.955	0.110031	0.998762	0.09333	1.7348	0.849225	2.5	6.25	375	0.0016308354
16	5.87	0.727	0.083762	0.9150002	-0.8448	1.6621	0.85255	2.5	6.25	375	0.0016436309
2	6.73	-0.86	-0.09909	1.0140857	0.14131	1.7481	0.89155		0	0	
0.5	7.43	-0.7	-0.08065	1.0947367		1.8181	0.454525				
			0	1.0947367							



GRAFIK PENGUJIAN KONSOLIDASI

