



**PENELITIAN PENURUNAN (*SETTLEMENT*) KONSOLIDASI PADA
TANAH LEMPUNG DESA PARE, GODEAN, SLEMAN, YOGYAKARTA
DENGAN METODE *VERTICAL DRAINS***

PROYEK AKHIR

Diajukan Kepada Fakultas Teknik Universitas Negeri Yogyakarta
untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan
Guna Memperoleh Gelar Ahli Madya

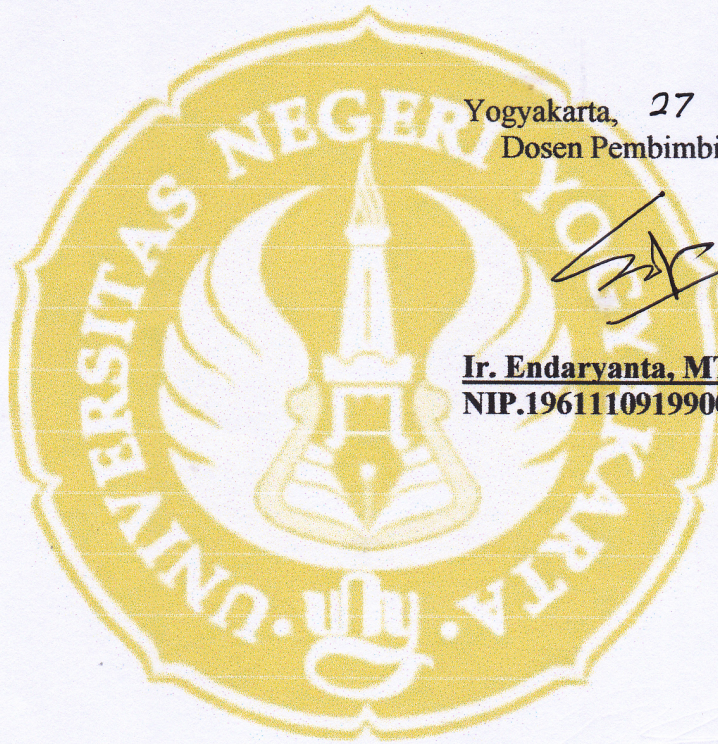


Oleh :
BANI ALDRIAN
NIM. 12510134016

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
JURUSAN TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA
2016**

PERSETUJUAN

Proyek Akhir yang berjudul **“Penelitian Penurunan (*Settlement*) Konsolidasi Pada Tanah Lempung Desa Pare, Godean, Sleman, Yogyakarta dengan Metode *Vertical Drains*”** ini telah disetujui oleh pembimbing untuk diujikan.



Yogyakarta, 27 Mei 2016
Dosen Pembimbing,

Ir. Endaryanta, MT.
NIP.19611109199001 1 001

LEMBAR PENGESAHAN

PROYEK AKHIR

**PENELITIAN PENURUNAN (*SETTLEMENT*) KONSOLIDASI PADA
TANAH LEMPUNG DESA PARE, GODEAN, SLEMAN, YOGYAKARTA
DENGAN METODE *VERTICAL DRAINS***

Dipersiapkan dan Disusun oleh:

NAMA : Bani Aldrian
NIM : 12510134016

Telah dipertahankan di depan Panitia Penguji Proyek Akhir

FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA

Pada tanggal 2 Juni 2016

Dan dinyatakan telah memenuhi syarat guna memperoleh gelar

Ahli Madya

Susunan Panitia Penguji:

Jabatan

Nama Lengkap dan Gelar

Tanda Tangan

Ketua/Pembimbing

Ir. Endaryanta, MT.

Penguji I

Ir. Surahmad Mursidi

Penguji II

Dian Eksana W, M. Eng

Yogyakarta, 23 Juni 2016

Dekan Fakultas Teknik
Universitas Negeri Yogyakarta



Dr. Moch. Bruri Triyono, M.Pd.

NIP. 19560216 198603 1 003

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Bani Aldrian

NIM : 12510134016

Program Studi : D3-Teknik Sipil

Judul Proyek Akhir : **PENELITIAN PENURUNAN (*SETTLEMENT*)
KONSOLIDASI PADA TANAH LEMPUNG DESA
PARE, GODEAN, SLEMAN, YOGYAKARTA
DENGAN METODE *VERTICAL DRAINS***

Menyatakan bahwa Proyek Akhir ini adalah pekerjaan saya sendiri dan sepanjang pengetahuan saya, tidak berisi materi yang ditulis orang lain sebagai persyaratan penyelesaian studi di Universitas Negeri Yogyakarta atau di Perguruan Tinggi lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Yogyakarta, 27 Mei 2016

Yang menyatakan,



Bani Aldrian

NIM. 12510134016

MOTTO

Sabar dalam mengatasi kesulitan dan bertindak bijaksana dalam mengatasinya adalah sesuatu yang utama

(Mario Teguh)

Kita tidak akan mengetahui apa itu kesuksesan sebelum kita merasakan kegagalan

(Mario Teguh)

Tidak ada yang bisa membuat kita lebih bahagia selain melihat orang yang kita sayangi sedang bahagia

(Bani Aldrian)

PERSEMBAHAN

Dengan penuh rasa syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa, Laporan

Proyek Akhir ini khusus saya persembahkan untuk :

Kedua orang tua saya, Ibu Eni Daliyati dan Bapak Basuki, serta

kakak saya Alfahmi Kabayanti yang turut memberi do'a, cinta

kasih yang tulus dan tiada henti-hentinya di berikan

Semua teman-teman jurusan PTSP FT UNY atas semangat,

dukungan, dan motivasinya

**PENELITIAN PENURUNAN (*SETTLEMENT*) KONSOLIDASI PADA
TANAH LEMPUNG DESA PARE, GODEAN, SLEMAN, YOGYAKARTA
DENGAN METODE *VERTICAL DRAINS***

**Bani Aldrian
NIM.12510134016**

ABSTRAK

Tanah lempung adalah tanah yang termasuk tanah kohesif serta salah satu tanah yang mempunyai daya dukung yang rendah, sifat kembang susut yang besar dan deformasi yang terjadi sangat besar dan waktu proses yang lama. Dengan adanya permasalahan tersebut maka penulis mencoba melakukan penelitian untuk perbaikan dengan usaha stabilitas menggunakan metode *vertical drains* dengan menambahkan pasir lolos saringan no. 4 dan tertinggal di saringan no. 10.

Penelitian ini dilakukan melalui 2 tahap, pertama dengan uji konsolidasi dan kedua dengan metode *vertical drains*. Pada metode *vertical drains* menggunakan pasir sebagai drain dengan 3 sampel benda uji silinder. Sampel pertama dengan drain besar berdiameter 4,75 cm, sampel kedua dengan drain kecil berdiameter 2,54 cm, dan sampel ketiga tanpa tambahan drain. Dengan masing-masing tinggi silinder 17,8 cm dan diameter 15,2 cm. Hasil dari setiap penurunan *vertical drains* ini akan dibandingkan dengan hasil penurunan dari konsolidasi.

Dari penelitian ini didapatkan hasil koefisien konsolidasi (C_v) : untuk tegangan 0,5 kg/cm² adalah sebesar 0,010 cm²/menit, untuk tegangan 1 kg/cm² adalah sebesar 0,018 cm²/menit, untuk tegangan 2 kg/cm² adalah sebesar 0,034 cm²/menit, untuk tegangan 4 kg/cm² adalah sebesar 0,076 cm²/menit. Sedangkan nilai indeks pemampatan (C_c) adalah sebesar 0,238 dan nilai indeks pemampatan kembali (C_r) adalah sebesar 0,0183. Untuk penurunan total konsolidasi (S_c) adalah sebesar 2,49 cm. Pada metode *vertical drains* didapatkan hasil penurunan total (S_t) untuk waktu 15 hari : untuk drain besar (ϕ 4,75 cm) adalah sebesar 2,49 cm, untuk drain kecil (ϕ 2,54 cm) adalah sebesar 2,51 cm dan untuk tanpa drain adalah sebesar 2,60 cm.

Kata kunci : Tanah Lempung, Konsolidasi, *Vertical Drains*

KATA PENGANTAR



Assalamualaikum, Wr. Wb.

Puji syukur penyusun panjatkan kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah-Nya yang membuat segalanya menjadi mungkin, sehingga penyusun dapat menyelesaikan Proyek Akhir ini. Shalawat serta salam selalu tercurah kepada Nabi Muhammad SAW.

Proyek Akhir merupakan salah satu sarana bagi mahasiswa untuk mengaplikasikan ilmu pengetahuan yang telah didapat selama mengikuti perkuliahan untuk mendapatkan satu pengetahuan baru dari hasil penelitian. Selama proses pengujian hingga penyusunan laporan, banyak pihak yang terkait yang telah membantu dengan ikhlas. Sehingga pada kesempatan ini tidak berlebihan kiranya penyusun menyampaikan terima kasih kepada:

1. Kedua Orangtuaku Ibu Eni Daliyati beserta Bapak Basuki, yang tiada hentinya selalu memberikan dukungan, motivasi dan nasihat. Terima kasih atas cinta dan kasih sayang yang telah ibu dan bapak berikan.
2. Bapak Ir. Endaryanta, MT. selaku dosen pembimbing Proyek Akhir, yang telah memberikan bimbingan dalam penelitian.
3. Bapak Dian Eksana Wibowo, ST, M.Eng. yang selalu membantu dalam penelitian dan penyusunan Proyek Akhir.

4. Bapak Drs. Darmono, M.T. selaku Kepala Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan.
5. Bapak Dr. Ir. Sunar Rochmadi, MES. selaku Ketua Prodi Teknik Sipil D-3.
6. Ibu Sativa, ST., MT. selaku dosen Pembimbing Akademik.
7. Bapak Dr. Moch. Bruri Triyono selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Negeri Yogyakarta.
8. Bapak Suyatno selaku teknisi Laboratorium Mekanika Tanah Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan, Fakultas teknik, Universitas Negeri Yogyakarta.
Terima kasih banyak atas segala bantuan dan bimbingannya selama pembuatan dan pengujian benda uji
9. Ananda Ugrasena, M. Alfian Arifin, Arif Purnomo, selaku teman satu tim dalam penelitian yang telah membantu pada saat pengujian, saya mengucapkan terima kasih atas kerja samanya selama ini.
10. Teman-teman kelas C, konsentrasi Struktur dan Hidro angkatan 2012. Terima kasih atas bantuan doa, pikiran dan tenaga.
11. Terima kasih pula untuk kakak angkatan dan adik angkatan yang tidak dapat disebutkan satu persatu. Terima kasih untuk semua bantuannya baik moral maupun material.
12. Semua pihak yang telah membantu dalam penulisan Proyek Akhir.

Penyusun sadar bahwa dalam penulisan karya ini masih banyak kekurangan dan jauh dari sempurna. Oleh karena itu penyusun sangat mengharapkan saran dan kritik yang membangun dari berbagai pihak, guna

Proyek Akhir ini. Semoga Proyek Akhir ini dapat berguna untuk penyusun pribadi dan bagi siapa saja yang membacanya, Amin.

Wassalamualaikum Wr. Wb

Yogyakarta, 2 Juni 2016



Penyusun

Bani Aldrian

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSETUJUAN	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN.....	iv
MOTTO	v
PERSEMBAHAN	vi
ABSTRAK	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR	xvii
 BAB I PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang	1
B. Batasan Masalah	2
C. Rumusan Masalah	3
D. Tujuan Penelitian	3
E. Manfaat Penelitian	4
 BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
A. Tanah	5
1. Pengertian Tanah	5
2. Klasifikasi Tanah	6
B. Lempung	17
1. Pengertian Lempung	17
2. Sifat Umum Material Lempung	18

C. Stabilisasi Tanah	20
1. Stabilisasi Mekanik.....	20
2. Stabilisasi dengan Menggunakan Bahan Tambah	21
D. Pengujian Sifat Fisik Tanah	22
E. Pemadatan Tanah	32
F. Pengujian Konsolidasi	33
G. Pengujian Pengembangan (<i>swelling</i>) Tanah	36
H. Pengujian <i>Vertical Drains</i>	36

BAB III METODE PENELITIAN

A. Metode	40
B. Objek Penelitian	40
C. Variabel Penelitian	40
1. Variabel Bebas	41
2. Variabel Terikat	41
3. Variabel Control	41
D. Bagan Alur Penelitian	43
E. Alat dan Bahan	44
1. Alat	45
2. Bahan	54
F. Prosedur Pengujian	57
1. Pengujian Sifat Fisik Tanah	57
2. Pengujian Batas-Batas <i>Atterberg</i>	60
3. Pengujian Distribusi Ukuran Butiran Tanah	68
4. Pemadatan Tanah Standar.....	76
5. Pembuatan Benda Uji	79
6. Pengujian Pengembangan (<i>swelling</i>) Tanah.....	81
7. Pengujian Konsolidasi	83
8. Pengujian <i>Vertical Drains</i>	85

BAB IV HASIL PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Pengujian	88
1. Sifat Fisik Tanah	88
2. Batas-Batas Konsistensi (<i>Atterberg</i>)	88
3. Distribusi Ukuran Butir	89
4. Pemadatan Tanah	92
5. Pengembangan (<i>Swelling</i>) Tanah	92
B. Pembahasan	94
1. Konsolidasi	94
2. <i>Vertical Drains</i>	96

BAB V SIMPULAN DAN SARAN

A. Simpulan	100
B. Saran	101
C. Keterbatasan Penelitian	101

DAFTAR PUSTAKA	102
-----------------------------	-----

LAMPIRAN	104
-----------------------	-----

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Klasifikasi Tanah Sistem <i>Unified</i>	13
Tabel 2. Klasifikasi Tanah Sistem AASHTO	16
Tabel 3. Nilai Khas Aktifitas Mineral Lempung	18
Tabel 4. Daftar Berat Jenis Air	24
Tabel 5. Faktor Koreksi a , Untuk <i>Hydrometer</i> 152 H	28
Tabel 6. Nilai K Untuk Menghitung Diameter Butir Dengan <i>Hydrometer</i>	29
Tabel 7. Nilai Kedalaman Efektif (L) Untuk <i>Hydrometer</i> 151 H	30
Tabel 8. Nilai Kedalaman Efektif (L) Untuk <i>Hydrometer</i> 152 H	31
Tabel 9. Ketentuan Benda Uji dengan Neraca yang Ditimbang	58
Tabel 10. Persentase Fraksi Tanah Desa Pare, Godean, Kabupaten Sleman, Yogyakarta	90
Tabel 11. Hasil Koefisien Konsolidasi (C_v)	94
Tabel 12. Hasil Angka Pori dan Tekanan Konsolidasi	94
Tabel 13. Hasil Perhitungan Penurunan pada Drain Besar	96
Tabel 14. Hasil Perhitungan Penurunan pada Drain Kecil	97
Tabel 15. Hasil Perhitungan Penurunan Tanpa Bahan Drain	97
Tabel 16. Hasil Pengujian Kadar Air	104
Tabel 17. Hasil Pengujian Berat Jenis Tanah.....	105
Tabel 18. Hasil Pengujian Batas Cair Tanah	106
Tabel 19. Hasil Pengujian Batas Plastis	108
Tabel 20. Hasil Pemeriksaan Kadar Air Pengujian Batas Susut	109
Tabel 21. Hasil Pengujian Batas Susut	110

Tabel 22. Hasil Pemeriksaan Kadar Air Pengujian Distribusi Ukuran Butir...	111
Tabel 23. Hasil Pemeriksaan Tanah Pengujian Distribusi Ukuran Butir.....	111
Tabel 24. Hasil Analisa Endapan Pengujian Hidrometer.....	112
Tabel 25. Hasil Analisa Saringan Setelah Pengujian Pengendapan.....	113
Tabel 26. Kebutuhan Tambahan Air untuk Setiap Percobaan Pemadatan	
Standar	114
Tabel 27. Data Ukuran Silinder dan Jumlah Pukulan Pengujian Pemadatan	
Standar	114
Tabel 28. Data Hasil Percobaan dan Hitung Nilai γ_b Pemadatan Standar	115
Tabel 29. Data Hasil Percobaan dan Hitungan Nilai γ_b Pemadatan Standar ...	115
Tabel 30. Data Hasil Hitungan Nilai γ_b dan γ_d Pemadatan Standar	116
Tabel 31. Data Ukuran Silinder dan Penumbuk untuk Drain Besar	117
Tabel 32. Hasil Kadar Air Awal untuk Drain Besar	117
Tabel 33. Data Hasil Pengembangan Tanah (<i>Swelling</i>) untuk Drain Besar	118
Tabel 34. Data Hasil Kadar Air Setelah Perendaman untuk Drain Besar.....	118
Tabel 35. Data Ukuran Silinder dan Penumbuk untuk Drain Kecil.....	120
Tabel 36. Data Hasil Kadar Air Awal untuk Drain Kecil	120
Tabel 37. Data Hasil Pengembangan Tanah (<i>Swelling</i>) untuk Drain Kecil	121
Tabel 38. Data Hasil Kadar Air Setelah Perendaman untuk Drain Kecil	121
Tabel 39. Data Ukuran Silinder dan Penumbuk untuk Tanpa Drain	123
Tabel 40. Data Hasil Kadar Air Awal untuk Tanpa Drain.....	123
Tabel 41. Data Hasil Pengembangan Tanah (<i>Swelling</i>) untuk Tanpa Drain....	124
Tabel 42. Data Hasil Kadar Air Setelah Perendaman untuk Tanpa Drain	124

Tabel 43. Data Hasil Penurunan Tanah Uji Konsolidasi	126
Tabel 44. Data Hasil Kadar Air Tanah Konsolidasi	127
Tabel 45. Data yang Diperoleh saat Pengujian Konsolidasi	127
Tabel 46. Data Perhitungan Tinggi Tanah pada Tegangan $0,5 \text{ kg/cm}^2$	128
Tabel 47. Data Perhitungan Tinggi Tanah pada Tegangan 1 kg/cm^2	130
Tabel 48. Data Perhitungan Tinggi Tanah pada Tegangan 2 kg/cm^2	132
Tabel 49. Data Perhitungan Tinggi Tanah pada Tegangan 4 kg/cm^2	134
Tabel 50. Analisis $\sqrt{t_{90}}$ (Hasil Koef. Konsolidasi (Cv) dan Angka Pori)	136
Tabel 51. Data Hasil Penurunan Uji <i>Vertical Drains</i> untuk Drain Besar	141
Tabel 52. Kadar Air Setelah Uji <i>Vertical Drains</i> untuk Drain Besar	142
Tabel 53. Data Ukuran Silinder dan Penumbuk untuk Drain Besar	142
Tabel 54. Tabel t_{90} untuk Drain Besar	143
Tabel 55. Data Hasil Penurunan Berdasarkan Perhitungan untuk Drain Besar	146
Tabel 56. Data Hasil Penurunan Uji <i>Vertical Drains</i> untuk Drain Kecil	147
Tabel 57. Kadar Air Setelah Uji <i>Vertical Drains</i> untuk Drain Kecil	148
Tabel 58. Data Ukuran Silinder dan Penumbuk untuk Drain Kecil	148
Tabel 59. Tabel t_{90} untuk Drain Kecil	149
Tabel 60. Data Hasil Penurunan Berdasarkan Perhitungan untuk Drain Kecil	152
Tabel 61. Data Hasil Penurunan Uji <i>Vertical Drains</i> untuk Tanpa Drain	153
Tabel 62. Kadar Air Setelah Uji <i>Vertical Drains</i> untuk Tanpa Drain	154
Tabel 63. Data Ukuran Silinder dan Penumbuk untuk Tanpa Drain	154
Tabel 64. Tabel t_{90} untuk Tanpa Drain	155
Tabel 65. Data Hasil Penurunan Berdasarkan Perhitungan untuk Tanpa Drain	157

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Diagram Identifikasi Jenis Tanah Berdasarkan Butir	9
Gambar 2. Grafik Plastisitas Untuk Klasifikasi <i>Unified</i>	14
Gambar 3. Batas <i>Atterberg</i> Untuk Sub Kelompok A-4, A-5, A-6 dan A-7...	15
Gambar 4. Bagan Hubungan Variabel Penelitian	42
Gambar 5. Bagan Alur Penelitian	43
Gambar 6. Ayakan	44
Gambar 7. Penggerus Tanah	44
Gambar 8. Nampan	45
Gambar 9. Cawan Kadar Air	45
Gambar 10. Pisau	45
Gambar 11. Timbangan (0,01 gram)	46
Gambar 12. Oven	46
Gambar 13. <i>Picnometer</i>	47
Gambar 14. Alat Vacum	47
Gambar 15. <i>Thermometer Celcius</i>	47
Gambar 16. Alat Uji Batas Cair Tanah	48
Gambar 17. Cawan Porselen	48
Gambar 18. Pelat Kaca	49
Gambar 19. Cawan Susut	49
Gambar 20. <i>Hydrometer</i>	49
Gambar 21. <i>Stopwatch</i>	50
Gambar 22. Gelas Ukur 250 ml	50

Gambar 23. Gelas Ukur 1000 ml	51
Gambar 24. <i>Blender</i>	51
Gambar 25. Alat Pemadat	52
Gambar 26. Neraca Ohaus Ukuran Besar	52
Gambar 27. Alat Pencampur Tanah	52
Gambar 28. Satu set Alat Pembuat Benda Uji	53
Gambar 29. <i>Ekstruder</i>	53
Gambar 30. Alat Uji <i>Vertical Drains</i>	54
Gambar 31. Tanah Lempung	54
Gambar 32. Air Destilasi	55
Gambar 33. Reagent	55
Gambar 34. Air Raksa	56
Gambar 35. Kerikil	56
Gambar 36. Grafik Distribusi Ukuran Butir Tanah	89
Gambar 37. Diagram Identifikasi Jenis Tanah Berdasarkan Butir	90
Gambar 38. Grafik Plastisitas Identifikasi Jenis Tanah	91
Gambar 39. Grafik Hubungan Tekanan dengan Angka Pori	95
Gambar 40. Grafik Perbandingan dari Masing-Masing <i>Vertical</i> Penurunan Konsolidasi Total (St)	98
Gambar 41. Grafik Batas Cair	107
Gambar 42. Grafik Hubungan Kadar Air dengan γ_d Pemadatan Standar.....	116
Gambar 43. Grafik Pengembangan CBR untuk Drain Besar.....	119
Gambar 44. Grafik Pengembangan CBR Drain Kecil	122

Gambar 45. Grafik Pengembangan CBR Tanpa Drain	125
Gambar 46. Grafik Konsolidasi $\sqrt{t_{90}}$ Untuk Tegangan 0,5 kg/cm ²	129
Gambar 47. Grafik Konsolidasi $\sqrt{t_{90}}$ Untuk Tegangan 1 kg/cm ²	131
Gambar 48. Grafik Konsolidasi $\sqrt{t_{90}}$ Untuk Tegangan 2 kg/cm ²	133
Gambar 49. Grafik Konsolidasi $\sqrt{t_{90}}$ Untuk Tegangan 4 kg/cm ²	135
Gambar 50. Grafik Hubungan Tekanan Dengan Angka Pori	137
Gambar 51. Grafik Penurunan <i>Vertical Drains</i> untuk Drain Besar	144
Gambar 52. Grafik Penueunan <i>Vertical Drains</i> Untuk Drain Kecil	150
Gambar 53. Grafik Penurunan <i>Vertical Drains</i> Tanpa Drain	156
Gambar 54. Grafik Perbandingan Masing-Masing Penurunan <i>Vertical Drains</i>	158

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Tanah berperan penting dalam setiap pekerjaan konstruksi yang berfungsi sebagai penopang bangunan. Tanah yang baik bagi bangunan adalah tanah yang memiliki karakteristik sifat tanah yang baik serta daya dukung tanah yang mampu menopang bangunan, akan tetapi tidak semua tanah memiliki kondisi yang ideal. Banyak macam jenis tanah yang ada di lingkungan kita. Dari sekian banyak jenis tanah lunak yang ada, kami mengambil jenis tanah lempung.

Tanah lempung adalah tanah yang termasuk tanah kohesif serta salah satu tanah yang mempunyai daya dukung yang rendah, sifat kembang susut yang besar dan deformasi yang terjadi sangat besar dan waktu proses yang lama. Tanah lempung yang dibebani akan terjadi konsolidasi. Konsolidasi adalah suatu proses pemampatan tanah dan berkurangnya volume pori dalam tanah. Konsolidasi akan lancar jika drainasi lancar.

Dengan adanya permasalahan tersebut maka penulis mencoba melakukan penelitian untuk perbaikan dengan usaha stabilisasi menggunakan metode *vertical drains* dengan bahan drain butiran halus paling besar, yaitu butiran halus lolos saringan no. 4 dan tertinggal di saringan no. 10 menurut analisa saringan (ASTM 422 – 72). Pemilihan butiran tersebut bertujuan untuk membantu penyerapan air

dan mengetahui penurunan dari gaya tekan oleh beban di atasnya, karena sifat fisis lempung yaitu sulit menyerap air, tekstur tanahnya cenderung lengket, dan dalam keadaan kering butiran tanahnya terpecah-pecah secara halus. Maka kami menggunakan butiran tersebut sebagai bahan *drains* dalam pengujian ini. Disamping itu butiran yang lolos saringan no.4 dan tertinggal saringan no.10 merupakan agregat kasar yang mudah didapatkan karena banyaknya sungai di Indonesia. Dan kami menggunakan butiran bahan drain yang berasal dari sungai Progo yang sudah tersedia di laboratorium bahan bangunan Universitas Negeri Yogyakarta.

Hasil penelitian ini diharapkan mahasiswa mampu mengetahui berapa besar penurunan yang terjadi dan kecepatan penurunan akibat konsolidasi tanah. Diharapkan juga masyarakat mengetahui campuran tanah lanau dan kerikil itu bisa dimanfaatkan.

B. Batasan Masalah

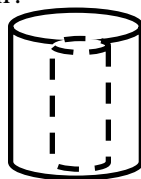
Untuk memperkecil ruang lingkup penelitian maka perlu dilakukan batasan - batasan masalah supaya lebih fokus pada masalah yang akan dikaji, batasan masalah antara lain:

- 1 Tanah lunak : Tanah lempung yang berasal dari Desa Pare, Kecamatan Godean, Kabupaten Sleman, Yogyakarta.
- 2 Bahan drain : Butiran halus lolos saringan no. 4 dan tertinggal saringan no. 10 menurut analisa saringan (ASTM 422 – 72).

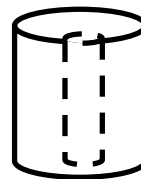
C. Rumusan Masalah

Dari uraian latar belakang di atas dapat dirumuskan suatu permasalahan yaitu:

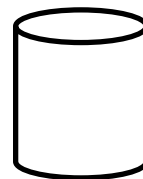
1. Bagaimanakah pengujian konsolidasi dan *vertical drains* terhadap tanah lempung Desa Pare, Kecamatan Godean, Kabupaten Sleman, Yogyakarta?
2. Bagaimanakah pengujian *vertical drains* terhadap tanah lempung menggunakan bahan drain dengan lubang drain tanah berbentuk silinder ukuran besar $\pm \varnothing 4,75$ cm?
3. Bagaimanakah pengujian *vertical drains* terhadap tanah lempung menggunakan bahan drain dengan lubang drain tanah berbentuk silinder ukuran kecil $\pm \varnothing 2,54$ cm?
4. Bagaimanakah pengujian *vertical drains* terhadap tanah lempung tanpa menggunakan drain?



(Drain Besar $\varnothing 4,75$ cm)



(Drain Kecil $\varnothing 2,54$ cm)



(Tanpa Drain)

D. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas maka tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah:

1. Untuk mengetahui indeks pemampatan (C_c), indeks pemampatan kembali (C_r), dan koefisien konsolidasi (C_v). Serta penurunan konsolidasi total (S_c).
2. Untuk mengetahui besar penurunan total (S_t) dan berapa lama waktu penurunan (*settlement*) pada lempung menggunakan bahan drain kerikil dengan lubang drain berbentuk silinder ukuran besar $\pm \varnothing 4,75$ cm.
3. Untuk mengetahui besar penurunan total (S_t) dan berapa lama waktu penurunan (*settlement*) pada lempung menggunakan bahan drain kerikil dengan lubang drain berbentuk silinder ukuran kecil $\pm \varnothing 2,54$ cm.
4. Untuk mengetahui besar penurunan total (S_t) dan berapa lama waktu penurunan (*settlement*) pada lempung tanpa menggunakan drain.

E. Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah untuk perencanaan konstruksi bangunan khususnya pada daerah yang tanahnya kurang baik (cenderung lembek) untuk mendirikan bangunan misalnya daerah yang memiliki kembang susut tinggi seperti pada daerah sekitar gunung dan persawahan yang sebagian besar mengandung tanah lempung. Agar konsolidasi segera selesai dan pembangunan segera dilaksanakan sehingga bangunan diatasnya stabil.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Tanah

1. Pengertian Tanah

Dalam pandangan teknik sipil, tanah adalah himpunan mineral, bahan organik dan endapan-endapan yang relatif lepas (*loose*), yang terletak di atas batuan dasar (*bedrock*). Ikatan antara butiran yang relatif lemah disebabkan oleh karbonat, zat organik, atau oksida-oksida yang mengendap diantara partikel-partikel. Ruang di antara partikel-partikel dapat berisi air, udara ataupun keduanya (Hary Christady Hardiyatmo, 2012:1 dalam laporan Dian Widhi Atmoko 2015).

Proses pelapukan batuan atau proses geologi lainnya yang terjadi didekat permukaan bumi membentuk tanah. Pembentukan tanah secara fisik yang mengubah batuan menjadi partikel-partikel yang lebih kecil, terjadi akibat pengaruh erosi, angin, air, es, manusia, atau hancurnya partikel tanah akibat perubahan suhu atau cuaca. Umumnya, pelapukan akibat proses kimia dapat terjadi oleh pengaruh oksigen, karbondioksida, air (terutama mengandung asam atau alkali) dan proses-proses kimia lain. Jika hasil pelapukan masih berada di tempat asalnya, maka tanah ini disebut tanah residual (*residual soil*) dan apabila tanah berpindah tempatnya, disebut tanah

terangkut (*transported soil*) (Hary Christady Hardiyatmo, 2012:1 dalam laporan Dian Widhi Atmoko 2015).

Istilah pasir, lempung, lanau atau lumpur digunakan untuk menggambarkan ukuran partikel pada batas ukuran butiran yang telah ditentukan. Akan tetapi, istilah yang sama juga digunakan untuk menggambarkan sifat tanah yang khusus. Sebagai contoh, lempung adalah jenis tanah yang bersifat kohesif dan plastis, sedangkan pasir digambarkan sebagai tanah yang tidak kohesif dan tidak plastis (Hary Christady Hardiyatmo, 2012:1 dalam laporan Dian Widhi Atmoko 2015).

2. Klasifikasi Tanah

Menurut Hary Christady Hardiyatmo (2012:58) umumnya, penentuan sifat-sifat tanah banyak dijumpai dalam masalah teknis yang berhubungan dengan tanah. Hasil dari penyelidikan sifat-sifat ini kemudian dapat digunakan untuk mengevaluasi masalah-masalah tertentu seperti:

- a. Penentuan penurunan bangunan, yaitu dengan menentukan kompresibilitas tanah. Dari sini, selanjutnya digunakan dalam persamaan penurunan yang didasarkan pada teori konsolidasi, misalnya teori Terzaghi.
- b. Penentuan kecepatan air yang mengalir lewat benda uji guna menghitung koefisien permeabilitas. Kemudian dihubungkan dengan Hukum Darcy

dan jaring arus (*flownet*) untuk menentukan debit aliran yang lewat struktur tanah.

- c. Untuk mengevaluasi stabilitas tanah yang miring, yaitu dengan menentukan kuat geser tanah. Dasar sini kemudian disubstitusikan dalam rumus statika (stabilitas lereng).

Dalam banyak masalah teknis (semacam perencanaan perkerasan jalan, bendungan dalam urugan, dan lain-lainya), pemilihan tanah-tanah ke dalam kelompok ataupun sub kelompok yang menunjukkan sifat atau kelakuan yang sama akan sangat membantu. Klasifikasi tanah membantu perancang dalam memberikan pengarahannya melalui cara empiris yang tersedia dari hasil pengalaman yang telah lalu. Tetapi, perancang harus berhati-hati dalam penerapannya karena penyelesaian masalah stabilitas, kompresi (penurunan), aliran air yang didasarkan pada klasifikasi tanah sering menimbulkan kesalahan yang berarti (Lambe, 1979 dalam Hary Christady Hardiyatmo, 2012).

Kebanyakan klasifikasi tanah menggunakan indeks tipe pengujian yang sangat sederhana untuk memperoleh karakteristik tanah. Karakteristik tersebut digunakan untuk menentukan kelompok klasifikasi. Umumnya, klasifikasi tanah didasarkan atas ukuran partikel yang diperoleh dari analisis saringan (dan uji sedimentasi) dan plastisitas.

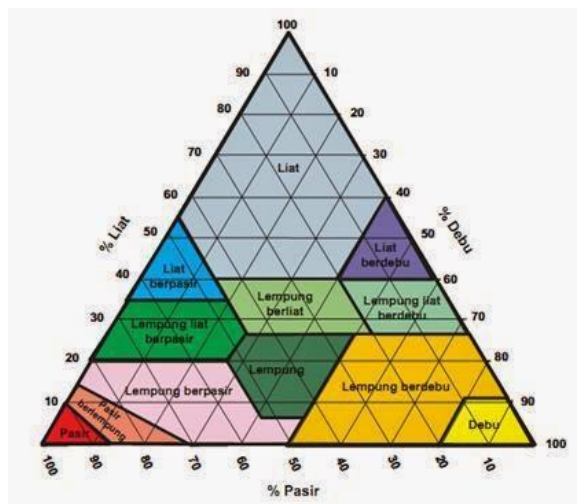
Terdapat dua sistem klasifikasi yang sering digunakan, yaitu *Unified Soil Classification System* dan AASHTO (*American Association of State Higway and Transportation Officials*). Sistem-sistem ini menggunakan sifat-sifat indeks tanah yang sederhana seperti distribusi ukuran butiran, batas cair dan indeks plastisitas. Klasifikasi tanah dari sistem *Unified* pertama diusulkan oleh *Casagrande* (1942), kemudian direvisi oleh kelompok teknisi dari USBR (*United State Bureau of Reclamation*). Dalam bentuk yang sekarang, sistem ini banyak digunakan oleh berbagai organisasi konsultan geoteknik.

a. Klasifikasi Tanah Berdasarkan Ukuran Butir

Meskipun memiliki kelemahan-kelemahan, klasifikasi tanah atas dasar karakteristik ukuran butiran digunakan secara luas terutama untuk uraian pendahuluan atau umum. Penentuan nama tanah misalnya “lanau” atau “lempung” membedakan fraksi-fraksi ukuran butir merupakan hal yang biasa dilakukan sehubungan dengan klasifikasi semacam itu. Dalam banyak hal, catatan-catatan yang menyangkut tanah dan perilakunya mengandung tidak lebih daripada hasil-hasil analisis mekanik untuk fraksi berbutir kasar dan presentasi total yang lolos ayakan nomor 200. (Terzaghi & Ralph B. Peck, 1993 : 29)

Penentuan tanah dengan nama unsur penyusun utamanya dimungkinkan dengan menggambar diagram yang dipakai Biro Jalan Umum (*Berau of Public Road*). (Rose 1924). Dalam diagram ini masing-

masing dari ketiga sumbu koordinat menyatakan salah satu dari fraksi-fraksi ukuran butir yang diaktan sebagai pasir, lanau, dan lempung (Karl Terazaghi & Ralph B. Peck, 1993: 30-31).



Gambar 1. Diagram Identifikasi Jenis Tanah Berdasarkan Butir

b. Sistem Klasifikasi *Unified*

Pada Sistem Klasifikasi Unified, tanah diklasifikasikan ke dalam tanah berbutir kasar (kerikil dan pasir) jika kurang dari 50% lolos saringan nomer 200, dan sebagai tanah berbutir halus (lanau/lempung) jika lebih dari 50% lolos saringan 200. Selanjutnya, tanah diklasifikasikan dalam sejumlah kelompok dan subkelompok yang dapat dilihat dalam Tabel 1. Simbol-simbol yang digunakan adalah:

- G = Kerikil (*gravel*)
- S = Pasir (*sand*)
- C = Lempung (*clay*)

M	= Lanau (<i>silt</i>)
O	= Lanau atau Lempung Organik (<i>organic silt or clay</i>)
Pt	= Tanah Gambut dan tanah Organik tinggi (<i>peat and highly organic soil</i>)
W	= Gradasi baik (<i>well-graded</i>)
P	= Gradasi buruk (<i>poorly-graded</i>)
H	= Plastisitas tinggi (<i>high-plasticity</i>)
L	= Plastisitas rendah (<i>low-plasticity</i>)

Prosedur untuk menentukan klasifikasi tanah Sistem *Unified* adalah sebagai berikut:

- 1) Menentukan apakah tanah berupa butiran halus atau butiran kasar secara visual atau dengan cara menyaringnya dengan saringan nomer 200.
- 2) Jika tanah berupa butiran kasar:
 - a) Menyaring tanah tersebut dan menggambarkan grafik distribusi butiran.
 - b) Menentukan persen butiran lolos saringan no.4. Bila persentase butiran yang lolos kurang dari 50%, tanah tersebut diklasifikasikan sebagai kerikil. Bila persen butiran yang lolos lebih dari 50%, tanah tersebut diklasifikasikan sebagai pasir.

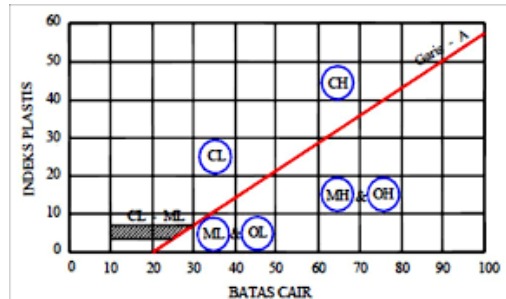
- c) Menentukan jumlah butiran yang lolos saringan no.200. Jika persentase butiran yang lolos kurang dari 5%, pertimbangkan bentuk grafik distribusi butiran dengan menghitung C_u dan C_c . Jika termasuk bergradasi baik, maka tanah tersebut diklasifikasikan sebagai GW (bila kerikil) atau SW (bila pasir). Jika termasuk bergradasi buruk, tanah tersebut diklasifikasikan sebagai GP (bila kerikil) atau SP (bila pasir). Jika persentase butiran tanah yang lolos saringan no.200 di antara 5 sampai 12%, tanah akan mempunyai simbol dobel dan mempunyai sifat keplastisan (GW-GM, SW-SM, dan sebagainya).
 - d) Jika persentase butiran yang lolos saringan no.200 lebih besar 12%, uji batas-batas *Atterberg* dilakukan dengan memisahkan butiran tanah yang tinggal dalam saringan no.40. Kemudian, dengan menggunakan diagram plastisitas, ditentukan klasifikasinya (GM, GC, SM, SC, GM-GC atau SM-SC).
- 3) Jika tanah berupa butiran halus:
- a) Mengerjakan uji batas-batas *Atterberg* dengan memisahkan butiran tanah yang tinggal dalam saringan no.40. Jika batas cair lebih dari 50, tanah tersebut diklasifikasikan sebagai H (plastisitas tinggi) dan jika kurang dari 50, klasifikasikan sebagai L (plastisitas rendah).

- b) Untuk H (plastisitas tinggi), jika plot batas-batas *Atterberg* pada grafik plastisitas dibawah garis A, menentukan apakah tanah organik (OH) atau anorganik (MK). Jika plotnya jatuh di atas garis A, tanah tersebut diklasifikasikan sebagai CH.
- c) Untuk L (plastisitas rendah), jika plot batas-batas *Atterberg* pada grafik plastisitas dibawah garis A dan area yang diarsir, kemudian menentukan klasifikasi tanah tersebut sebagai organik (OL) atau anorganik (ML) berdasarkan warna, bau, atau perubahan batas cair dan batas plastisnya dengan mengeringkannya di dalam oven.
- d) Jika plot batas-batas *Atterberg* pada grafik plastisitas jatuh pada area yang diarsir, dekat dengan garis A atau nilai LL sekitar 50, digunakan simbol dobel.

Tabel 1. Klasifikasi Tanah Sistem *Unified*

Divisi Utama		Simbol Kelompok	Nama Jenis	Kriteria laboratorium
Tanah berbutir kasar 50% atau lebih tertahan saringan no. 200 (0,075 mm)	Pasir lebih dari 50 % fraksi kasar lolos saringan no. 4 (4,75 mm)	Kerikil bersih (sedikit atau tak ada butiran halus)	GW	Kerikil gradasi baik dan campuran pasir - kerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus
			GP	Kerikil gradasi buruk dan campuran pasir - kerikil, atau tidak mengandung butiran halus
		Kerikil banyak mengandung butiran halus	GM	Kerikil berlanau, campuran kerikil pasir-lempung
			GC	Kerikil berlempung, campuran kerikil pasir-lempung
			SW	Pasir gradasi baik, pasir berkerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus
	Kerikil bersih (sedikit atau tak ada butiran halus)	SP	Pasir gradasi buruk, pasir berkerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus	<p>Klasifikasi berdasarkan prosentase butiran halus, kurang dari 5% lolos saringan no. 200 : GW, GP, SW, SP. Lebih dari 12% lolos saringan no.200 : GM, GC, SM, SC. 5% - 12% lolos saringan no. 200 : Batasan klasifikasi yang mempunyai simbol double</p> <p>Tidak memenuhi kriteria untuk GW</p> <p>Batas-batas Atterberg di bawah garis A atau $PI < 4$</p> <p>Batas-batas Atterberg di atas garis A atau $PI > 7$</p> <p>Bila batas Atterberg berada di daerah asir dari diagram plastisitas, maka dipakai simbol double</p>
		SM	Pasir berlanau, campuran pasir - lanau	
		SC	Pasir berlempung, campuran pasir - lempung	
		ML	Lanau tak organik dan pasir sangat halus, serbuk batuan atau pasir halus berlanau atau berlempung	
		CL	Lempung tak organik dengan plastisitas rendah sampai sedang, lempung berkerikil, lempung berpasir, lempung berlanau, lempung kurus ("lean clays")	
Tanah berbutir halus 50% atau lebih lolos saringan no. 200 (0,075 mm)	Lanau dan lempung batas cair > 50 % atau kurang	OL	Lanau organik dan lempung berlanau organik dengan plastisitas rendah	<p>Indeks Plastisitas, PI (%)</p> <p>Diagram plastisitas: Untuk mengklasifikasi kadar butiran halus yang terkandung dalam tanah berbutir halus dan tanah berbutir kasar, Batas Atterberg yang diarsir dalam diagram di atas yang diarsir berarti batasan klasifikasinya menggunakan dua simbol</p> <p>Batas-batas Atterberg di atas garis A atau $PI > 7$</p> <p>Batas-batas Atterberg di bawah garis A atau $PI < 4$</p> <p>Tidak memenuhi kriteria untuk GW</p> <p>Batas-batas Atterberg di bawah garis A atau $PI < 4$</p> <p>Batas-batas Atterberg di atas garis A atau $PI > 7$</p> <p>Bila batas Atterberg berada di daerah asir dari diagram plastisitas, maka dipakai simbol double</p>
		MH	Lanau tak organik atau pasir halus diatomae, lanau elastis	
		CH	Lempung tak organik dengan plastisitas tinggi, lempung gemuk ("fat clays")	
		OH	Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai tinggi	
		PT	Gambut ("peat") dan tanah lain dengan kandungan organik tinggi	

(Sumber: Hary Christady Hardiyatmo, 2012:61)



Gambar 2 Grafik Plastisitas Untuk Klasifikasi *Unified*

c. Sistem Klasifikasi AASHTO

Sistem klasifikasi AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Officials Classification*) berguna untuk menentukan kualitas tanah dalam perancangan timbunan jalan, *subbase* dan *subgrade*. Sistem ini terutama ditujukan untuk maksud-maksud dalam lingkup tersebut.

Sistem klasifikasi AASHTO membagi tanah ke dalam 8 kelompok, A-1 sampai A-8 termasuk sub-sub kelompok (Tabel 2) tanah–tanah dalam tiap kelompoknya dievaluasi terhadap indeks kelompoknya yang dihitung dengan rumus-rumus empiris. Pengujian yang digunakan adalah analisis saringan dan batas-batas *Atterberg*.

Indeks kelompok (*group index*) (GI) digunakan untuk mengevaluasi lebih lanjut tanah-tanah dalam kelompoknya. Indeks kelompok dihitung dengan Persamaan 1 sebagai berikut:

$$GI = (F - 35)[0,2 + 0,005 (LL - 40)] + 0,01 (F - 15)(PI - 10) \dots\dots\dots (1)$$

dengan,

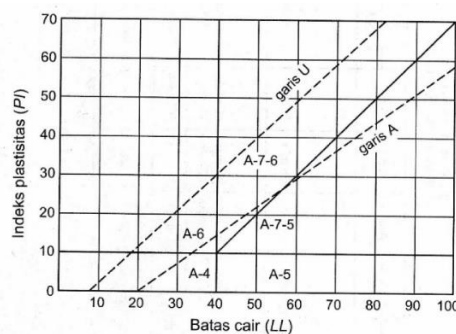
GI = indeks kelompok (*group indeks*)

F = persen butiran lolos saringan no. 200 (0,075 mm) (%)

LL = batas cair (%)

PI = indeks plastisitas (%)

Bila indeks kelompok (GI) semakin tinggi, maka tanah semakin berkurang ketepatan penggunaan. Tanah *granuler* diklasifikasikan ke dalam A-1 sampai A-3. Tanah A-1 merupakan tanah *granuler* bergradasi baik, sedang A-3 adalah pasir bersih bergradasi buruk. Tanah A-2 termasuk tanah *granuler* (kurang dari 35% lolos saringan no. 200), tapi masih mengandung lanau dan lempung. Tanah berbutir halus diklasifikasikan dari A-4 sampai A-7, yaitu tanah lempung-lanau. Beda keduanya didasarkan pada batas-batas *Atterberg*. Gambar 1 dapat digunakan untuk memperoleh batas-batas antara batas cair (LL) dan indeks plastisitas (PI) untuk kelompok A-4 sampai A-7 dan untuk sub kelompok dalam A-2.



Gambar 3. Batas-batas *Atterberg* untuk sub kelompok A-4, A-5, A-6, dan A-7

(sumber: Hary Christady Hardiyantmo, 2012:66)

Tabel 2. Klasifikasi Tanah Sistem AASTHO

Klasifikasi umum	Material <i>granuler</i> ($<35\%$ lolos saringan no. 200)							Tanah-tanah lanau-lempong ($> 35\%$ lolos saringan no.200)				
Klasifikasi kelompok	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7	
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5/A-7-6	
Analisis saringan (% lolos) 2,00 mm (no. 10) 0,425 mm (no. 40) 0,075 mm (no. 200)	50 maks 30 maks 15 maks	- 50 maks 25 maks	- 51 min 10 maks	- - 35 maks	- - 35 maks	- - 35 maks	- - 35 maks	- - 36 min	- - 36 min	- - 36 min	- - 36 min	
Sifat fraksi lolos saringan no.40	-		-	40 maks 10 maks		40 maks 11 min		40 maks 10 maks		40 maks 11 min		
Batas cair												
Indeks Plastis	6 maks		Np	10 maks	10 maks	11 min	11 min	10 maks	11 maks	11 min	41 min 11 min	
Indeks kelompok (GI)	0		0	0		4 maks		8 maks	12 maks	16 maks	20 maks	
Tipe material yang pokok pada umumnya	Pecahan batu, kerikil da pasir			Pasir halus			Kerikil berlanau atau berlempung dan pasir					
Penilaian umum sebagai tanah dasar	Sangat baik sampai baik							Sedang sampai buruk				

Catatan:

Kelompok A-7 dibagi atas A-7-5 dan A-7-6 bergantung pada batas plastisnya (PL)

Untuk PL > 30, klasifikasinya A-7-5;

Untuk PL < 30, klasifikasinya A-7-6

Np = Nonplastis

(Sumber: Hary Christady Hardiyatmo, 2012:65)

Dalam gambar 1. garis-A dari *Casagrande* digambarkan bersama-sama dengan garis U yang dinyatakan oleh persamaan: $PI = 0,9(LL - 8)$. Garis U ini adalah garis batas atas dari hubungan LL dan PI untuk tanah-tanah di alam pada umumnya (Holtz dan Kovacs, 1981 dalam Hary Christady Hardiyatmo, 2012:66). Tanah organik tinggi seperti tanah gambut (*peat*) diletakkan dalam kelompok A-8.

B. Lempung

1. Pengertian Lempung

Pelapukan tanah akibat reaksi kimia menghasilkan susunan kelompok partikel berukuran koloid dengan diameter butiran lebih kecil dari 0.002 mm, yang disebut mineral lempung. Partikel lempung berbentuk seperti lembaran yang mempunyai permukaan khusus, sehingga lempung mempunyai sifat sangat dipengaruhi oleh gaya-gaya permukaan. Susunan kebanyakan tanah lempung terdiri dari silika tetrahendra dan aluminium oktahendra (Hary Christady Hardiyatmo, 2012:24). Lempung bersifat plastis dalam keadaan air sedang sampai tinggi, dalam keadaan kering sangat keras dan tidak mudah terkelupas. Permeabilitas lempung sangat rendah, pada kadar air yang lebih tinggi (basah) lempung bersifat lengket (K. Terzaghi dan Ralph B. Peck, 1993: 5 dalam laporan Dian Widhi Atmoko 2015).

Lempung organik adalah lempung yang sebagian sifat-sifat fisis pentingnya dipengaruhi oleh adanya bahan organik yang terpisah. Dalam

keadaan jenuh lempung organik cenderung bersifat sangat kompresibel, tapi dalam keadaan kering kekuatannya (strength) sangat tinggi. Warnanya biasanya abu-abu tua atau hitam, disamping itu mungkin berbau mencolok (K. Terzaghi dan Ralph B. Peck, 1993: 5 dalam laporan Dian Widhi Atmoko 2015).

2. Sifat Umum Material Lempung

Menurut E. Sutarman (2013: 11), mineral-mineral pada tanah lempung umumnya memiliki sifat-sifat:

a. Aktivitas

Lempung mempunyai daya netto negative pada tepi-tepi mineralnya sehingga mengakibatkan usaha penyeimbang dengan tarikan kation dan proporsional terhadap kekurangan daya netto yang dapat dihubungkan dengan aktivitas dari lempung, dengan persamaan:

$$\text{Aktivitas} = \frac{\text{Indeks Plastis(PI)}}{\text{Persentase Lempung}} \dots\dots\dots (2)$$

Nilai khas aktivitas dari mineral lempung ditunjukkan oleh Tabel3.

Tabel 3. Nilai Khas Aktivitas Mineral Lempung

Mineral	Aktivitas
<i>Kailinite</i>	0,3 – 0,5
<i>Illite</i>	0,5 – 1,2
<i>Montmorillonite</i>	1,5 – 7,0
<i>Halloysite</i> (terhidrasi)	0,1 – 0,2
<i>Holloysite</i> (tidak terhidrasi)	0,4 – 0,6
<i>Attapulgate</i>	0,4 – 1,3
<i>Allohane</i>	0,4 – 1,3

Sumber: Mitchell, 1976 dan Skemton, 1953 dalam Braja M. Das, (2010:80)

Nilai aktivitas diatas didefinisikan secara numerik, tetapi lebih baik dan praktis dari nilai aktivitas lempung yaitu dengan nilai susut, yang merupakan batas dari kadar air sebelum terjadinya perubahan volume.

b. Pengaruh Air pada Lempung

Air biasanya tidak banyak mempengaruhi kelakuan tanah non kohesif (*granuler*). Sebagai contoh, kuat geser tanah pasir mendekati sama pada kondisi kering maupun jenuh air. Tetapi, jika air berada pada lapisan pasir yang tidak padat, beban dinamis seperti gempa bumi dan getaran lainnya sangat mempengaruhi kuat gesernya. Sebaliknya, tanah berbutir halus khususnya tanah lempung akan banyak dipengaruhi oleh air. Karena pada tanah berbutir halus, luas permukaan spesifik menjadi besar, variasi kadar air akan mempengaruhi plastisitas menjadi tanah. Distribusi ukuran butir tanah umumnya bukan faktor yang mempengaruhi kelakuan tanah berbutir halus. Identifikasi tanah jenis ini dilakukan dengan pengujian batas *Atterberg* (Hary Christady Hardiyatmo, 2012:29 dalam laporan Dian Widhi Atmoko 2015)

Ikatan antara partikel tanah yang disusun oleh mineral lempung akan sangat dipengaruhi oleh besarnya jaringan muatan negatif pada mineral, tipe, konsentrasi dan distribusi kation-kation yang berfungsi untuk mengimbangkan muatannya.

C. Stabilisasi Tanah

Maksud stabilisasi tanah adalah untuk menambah kapasitas dukung tanah dan kenaikan kekuatan yang akan diperhitungkan pada proses perancangan tebal perkerasan. Karena itu, stabilitas tanah membutuhkan metode modifikasi tanah. Beberapa cara stabilitas tanah, misalnya: pemadatan, mencampur tanah dengan bahan granuler, menggunakan tulangan atau perkuatan (seperti *geosintetik*), penggalian dan penggantian tanah, dan lain-lain, serta pemroses tanah secara kimia, seperti: mencampur tanah dengan semen, kapur, abu-terbang, aspal dan lain-lain (Hary Christady Hardiyatmo, 2010 dalam laporan Dian Widhi Atmoko 2015).

Menurut Hary Christady Hardiyatmo, (2010), tipe-tipe stabilisasi dapat dibagi menjadi dua, yaitu:

1. Stabilisasi Mekanik

Stabilisasi mekanis atau stabilisasi mekanikal dilakukan dengan mencampur atau mengaduk dua macam tanah atau lebih yang bergradasi berbeda untuk memperoleh material yang memenuhi syarat kekuatan tertentu. Pencampuran tanah ini dapat dilakukan dilokasi proyek, dipabrik atau ditempat pengambilan bahan timbunan (*borrow area*). Material yang telah dicampur ini, kemudian dihamparkan dan dipadatkan dilokasi proyek. Stabilisasi mekanis juga dapat dilakukan dengan cara menggali tanah buruk ditempat dan menggantinya dengan material granuler dari tempat lain.

Menurut Lambe (1962) dalam Hary Christady Hardiyatmo (2010), stabilisasi mekanis merupakan suatu proses yang menyangkut dua cara perubahan sifat-sifat tanah:

- a. Penyusunan kembali partikel-partikel tanah, seperti contohnya pencampuran beberapa lapisan tanah, pembentukan kembali tanah yang telah terganggu, dan pemadatan.
 - b. Penambahan atau penyingkiran partikel-partikel tanah. Sifat-sifat tanah tertentu dapat diubah dengan menambah atau menyingkirkan sebagian fraksi tanah. Biaya yang dikeluarkan untuk menambah atau menyingkirkan ini umumnya sangat lebih rendah dibandingkan dengan metode stabilisasi yang lain. Contohnya, lempung berpasir dicampur dengan kerikil untuk memenuhi daya dukung tanah dasar dari proyek jalan tertentu.
2. Stabilisasi dengan Menggunakan Bahan Tambah

Bahan-bahan *additives* adalah bahan hasil olahan pabrik yang bila ditambahkan ke dalam tanah dengan perbandingan yang tepat akan memperbaiki sifat-sifat teknis tanah, seperti: kekuatan, tekstur, kemudahan dikerjakan (*workability*) dan plastisitas. Contoh-contoh bahan tambah adalah: kapur, semen portland, abu-terbang (*fly-ash*), aspal (*bitumen*) dan lain-lain.

Stabilisasi dengan menggunakan bahan tambah atau sering disebut juga stabilisasi kimiawi bertujuan untuk memperbaiki sifat-sifat teknis tanah, dengan cara mencampur tanah dengan menggunakan bahan tambah dengan

perbandingan tertentu. Perbandingan campuran bergantung pada kualitas campuran yang diinginkan. Jika pencampuran hanya dimaksudkan untuk merubah gradasi dan plastisitas tanah, dan kemudahan dikerjakan, maka hanya memerlukan bahan tambah sedikit. Namun, bila stabilisasi dimaksudkan untuk merubah tanah agar mempunyai kekuatan tinggi, maka diperlukan bahan tambah yang lebih banyak. Material yang telah dicampur dengan bahan tambah ini harus diamparkan dan dipadatkan dengan baik.

D. Pengujian Sifat Fisik Tanah

Adapun pengujian-pengujian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Kadar Air Tanah

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan kadar air tanah. Kadar air tanah adalah perbandingan antara berat air dalam satuan tanah dengan berat kering tanah tersebut (ASTM D 2216 – 71). Kadar air tanah dapat dihitung dengan persamaan 3, dengan rumus sebagai berikut:

$$w = \frac{(W_3 - W_2)}{(W_2 - W_1)} \times 100\% \dots\dots\dots (3)$$

Keterangan:

w = kadar air tanah (%)

W1 = berat cawan kosong (gr)

W2 = berat cawan + tanah basah (gr)

W3 = berat cawan + tanah kering (gr)

2. Berat Jenis

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan berat jenis suatu tanah. Berat jenis tanah adalah nilai perbandingan berat butiran tanah dengan berat air destilasi di udara dengan volume yang sama pada temperature tertentu, biasanya diambil pada suhu 27,5° C (ASTM D 854 – 83).

a. Berat Jenis Tanah pada Suhu t°C

Berat Jenis tanah pada suhu t°C dapat dihitung dengan persamaan 4, yaitu sebagai berikut:

$$G = \frac{(W2-W1)}{(W4-W1)-(W3-W2)} \dots\dots\dots (4)$$

Keterangan:

W1 = berat piknometer kosong (gr)

W2 = berat piknometer kosong + tanah kering (gr)

W3 = berat piknometer kosong + tanah + air (gr)

W4 = berat piknometer kosng + air (gr)

b. Berat Jenis pada Temperatur 27,5°C

Berat Jenis tanah pada temperatur 27,5°C dapat dihitung dengan persamaan 5, sebagai berikut:

$$G(27,5^0) = G(t^0) \frac{\text{berat jenis air pada } t^0C}{\text{berat jenis air pada } 27,5^0C} \dots\dots\dots (5)$$

Kerterangan:

G = berat jenis tanah

Tabel 4. Daftar Berat Jenis Air

Temperatur (t°C)	Berat Jenis	Temperatur (t°C)	Berat Jenis
20	0,9982	31	0,9954
21	0,9980	32	0,9951
22	0,9978	33	0,9947
23	0,9976	34	0,9944
24	0,9973	35	0,9941
26	0,9971	36	0,9937
27	0,9968	37	0,9934
27,5	0,9965	38	0,9930
28	0,9963	39	0,9926
29	0,9960	40	0,9922
30	0,9957		

3. Batas Konsistensi tanah (*Atterberg*)

Batas konsistensi tanah dibagi menjadi 3 bagian, yaitu:

a. Batas Cair (LL)

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan batas cair tanah. Batas cair tanah adalah kadar air tanah pada keadaan batas cair dan plastis, batas cair untuk mengetahui jenis dan sifat-sifat tanah yang mempunyai ukuran butir lolos saringan no. 40 (ASTM D –423 – 66).

b. Batas Plastis (PL) dan Indeks Plastisitas (PI)

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan kadar air tanah pada kondisi batas plastisitas. Batas plastisitas adalah kadar air minimum suatu tanah dalam keadaan plastisitas (ASTM D 424 – 74). Indeks plastisitas dapat dihitung dengan persamaan 6, sebagai berikut:

$$PI = LL - PL \dots \dots \dots (6)$$

Keterangan:

PI = Indeks Plasitistas (%)

LL = Batas Cair (%)

PL = Batas Plastis (%)

c. Batas Susut (SL)

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

1) Batas Susut (SL)

- a) Bila benda uji telah diketahui nilai berat jenisnya, maka SL dapat dihitung dengan persamaan 7, sebagai berikut:

$$SL = \left(\frac{V_0}{W_0} - \frac{1}{G} \right) \times 100\% \dots\dots\dots (7)$$

Keterangan:

SL = berat susut tanah (%)

W_0 = berat benda uji setelah kering (gr)

V_0 = volume benda uji setelah kering (cm³)

G = berat jenis tanah

- b) Apabila nilai berat jenisnya belum diketahui, maka SL dapat dihitung dengan persamaan 8, sebagai berikut:

$$SL = \left(w - \frac{V-V_0}{V_0} \right) \times 100\% \dots\dots\dots (8)$$

Keterangan:

SL = berat susut tanah (%)

w = kadar air tanah basah yang diisikan pada cawan

$$= \frac{W-W_0}{W_0} \times 100\%$$

W = berat benda uji basah (gr)

W₀ = berat benda uji setelah kering (gr)

V = volume benda uji basah = volume cawan (cm³)

V = volume benda uji setelah dikeringkan (cm³)

4. Distribusi Ukuran Butiran

a. Analisa Saringan

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan persentase ukuran butir tanah pada benda uji yang tertahan saringan no. 200 (ASTM D 422 – 72).

b. Analisa *Hydrometer*

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan distribusi ukuran butir-butir untuk tanah yang tidak mengandung butir tanah tertahan oleh saringan nomor 10. Pengujian dilakukan dengan analisa sedimen menggunakan *hydrometer* (ASTM D 421 – 72).

- 1) Menghitung ukuran butir-butir terbesar D (mm), yang ada dalam *suspensi* pada kedalaman efektif L (cm), untuk setiap saat pembacaan pada menit ke T dengan persamaan 15, sebagai berikut:

$$D = K \sqrt{\frac{L}{T}} \dots\dots\dots (9)$$

Keterangan:

- D = ukuran butir terbesar (mm)
- K = konstanta yang besarnya dipengaruhi oleh temperatur (t^0)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 (R_1) yang dipakai (cm)
- T = saat pembacaan pada menit ke T (menit)

- 2) Menghitung persentase berat ($P\%$) dari butir yang lebih kecil dari pada (D) terhadap berat kering seluruh tanah yang diperiksa dengan persamaan sebagai berikut:

- a) Jika digunakan *hydrometer* 151 H, maka dapat dihitung dengan persamaan 16, sebagai berikut:

$$P = \left(\frac{100}{W} - \frac{G_s}{G_s - 1} \right) \times (R - 1) \dots\dots\dots (10)$$

- b) Jika digunakan *hydrometer* 152 H, maka dapat dihitung dengan persamaan 17, sebagai berikut:

$$P = \frac{R \times a}{W} \times 100 \dots\dots\dots (11)$$

Keterangan:

P = persentase berat (%)

R = pembacaan *hydrometer* terkoreksi

G = berat jenis tanah

a = angka koreksi untuk *hydrometer* 152 H terhadap
berat jenis butir

W = berat benda uji

Tabel 5. Faktor Koreksi a, untuk *Hydrometer* 152 H Terhadap Berat Jenis Butir

Berat Jenis, G	Faktor Koreksi, a	Berat Jenis	Faktor Koreksi, a
2,95	0,94	2,65	1,00
2,90	0,95	2,60	1,01
2,85	0,96	2,55	1,02
2,80	0,97	2,50	1,03
2,75	0,98	2,45	1,05
2,70	0,99		

Sumber: Ukuran Butiran Tanah dengan Hidrometer (ASTM D 1140-00) dalam Prosedur Uji Distribusi ukuran Butir Tanah Teknik Sipil UGM

Tabel 6. Nilai K untuk Menghitung Diameter Butir dengan
Hydrometer

Temperatur °C	Berat jenis butir tanah									
	2.450	2.500	2.550	2.600	2.650	2.700	2.750	2.800	2.850	
16	0.01510	0.01505	0.01481	0.01457	0.01435	0.01414	0.01394	0.01374	0.01356	
17	0.01511	0.01486	0.01462	0.01439	0.01417	0.01396	0.01376	0.01356	0.01338	
18	0.01492	0.01467	0.01443	0.01421	0.01399	0.01378	0.01359	0.01339	0.01321	
19	0.01474	0.01449	0.01425	0.01403	0.01382	0.01361	0.01342	0.01323	0.01305	
20	0.01456	0.01431	0.01408	0.01386	0.01365	0.01344	0.01325	0.01307	0.01289	
21	0.01438	0.01414	0.01391	0.01369	0.01348	0.01328	0.01309	0.01291	0.01273	
22	0.01421	0.01397	0.01374	0.01353	0.01332	0.01312	0.01294	0.01276	0.01258	
23	0.01404	0.01381	0.01358	0.01337	0.01317	0.01297	0.01279	0.01261	0.01243	
24	0.01388	0.01365	0.01342	0.01321	0.01301	0.01282	0.01264	0.01246	0.01229	
25	0.01372	0.01349	0.01327	0.01306	0.01286	0.01267	0.01249	0.01232	0.01215	
26	0.01357	0.01334	0.01312	0.01291	0.01272	0.01253	0.01235	0.01218	0.01201	
27	0.01342	0.01319	0.01297	0.01277	0.01258	0.01239	0.01221	0.01204	0.01188	
28	0.01327	0.01304	0.01283	0.01264	0.01244	0.01225	0.01208	0.01191	0.01175	
29	0.01312	0.01290	0.01269	0.01249	0.01230	0.01212	0.01195	0.01178	0.01162	
30	0.01298	0.01276	0.01256	0.01236	0.01217	0.01199	0.01182	0.01165	0.01149	

Sumber: Ukuran Butiran Tanah dengan Hidrometer (ASTM D 1140-00) dalam Prosedur Uji Distribusi ukuran Butir Tanah Teknik Sipil UGM

Tabel 7. Nilai Kedalaman Efektif (L) untuk *Hydrometer* 151 H

Pembacaan hidrometer (R ₁ + koreksi meniskus)	Kedalaman efektif L (cm)	Pembacaan hidrometer (R ₁ + koreksi meniskus)	Kedalaman efektif L (cm)
1,000	16,3		
1,001	16,0	1,021	10,7
1,002	15,8	1,022	10,5
1,003	15,5	1,023	10,2
1,004	15,2	1,024	10,0
1,005	15,0	1,025	9,7
1,006	14,7	1,026	9,4
1,007	14,4	1,027	9,2
1,008	14,2	1,028	8,9
1,009	13,9	1,029	8,6
1,010	13,7	1,030	8,4
1,011	13,4	1,031	8,1
1,012	13,1	1,032	7,8
1,013	12,9	1,033	7,6
1,014	12,6	1,034	7,3
1,015	12,3	1,035	7,0
1,016	12,1	1,036	6,8
1,017	11,8	1,037	6,5
1,018	11,5	1,038	6,2
1,019	11,3		
1,020	11,0		

Sumber: Ukuran Butiran Tanah dengan Hidrometer (ASTM D 1140-00) dalam Prosedur Uji Distribusi ukuran Butir Tanah Teknik Sipil UGM

Tabel 8. Nilai Kedalaman Efektif (L) untuk *Hydrometer* 152 H

Pembacaan hidrometer (R_1 + koreksi menikis)	Kedalaman efektif L (cm)	Pembacaan hidrometer (R_1 + koreksi menikis)	Kedalaman efektif L (cm)
0	16,3	31	11,2
1	16,1	32	11,1
2	16,0	33	10,9
3	15,8	34	10,7
4	15,6	35	10,6
5	15,5		
		36	10,4
6	15,3	37	10,2
7	15,2	38	10,1
8	15,0	39	9,9
9	14,8	40	9,1
10	14,7		
		41	9,6
11	14,5	42	9,4
12	14,3	43	9,2
13	14,2	44	9,1
14	14,0	45	8,9
15	13,8		
		46	8,8
16	13,7	47	8,6
17	13,5	48	8,4
18	13,3	49	8,3
19	13,2	50	8,1
20	13,0		
		51	7,9
21	12,9	52	7,8
22	12,7	53	7,6
23	12,5	54	7,4
24	12,4	55	7,3
25	12,2		
		56	7,1
26	12,0	57	7,0
27	11,9	58	6,8
28	11,7	59	6,6
29	11,5	60	6,5
30	11,4		

Sumber: Ukuran Butiran Tanah dengan Hidrometer (ASTM D 1140-00) dalam Prosedur Uji Distribusi ukuran Butir Tanah Teknik Sipil UGM

E. Pemadatan Tanah

Tujuan pengujian ini adalah untuk menentukan hubungan antara kadar air dan kepadatan tanah dengan cara memadatkan tanah didalam silinder berukuran tertentu menggunakan alat penumbuk tertentu pula. Pengujian pemadatan dilakukan dengan menggunakan cetakan diameter 102 mm (4 inci), bahan tanah lolos saringan no.40. Kegunaan pengujian ini untuk mencari nilai kepadatan maksimum (*Maximum Dry Density/MDD*) dan kadar air optimum (*Optimum Moisture Content/OMC*) dari suatu tanah (ASTM D 698-70).

a. Berat Volume Basah (γ_b)

Berat Volume Basah dapat dihitung dengan persamaan, 18 berikut:

$$\gamma_b = \frac{W}{V} \dots\dots\dots (12)$$

Keterangan:

γ_b = berat volume basah (gr/cm³)

W = berat tanah padat (gram)

V = volume silinder cetak (cm³)

b. Berat Volume Kering (γ_d)

Berat Volume Kering dapat dihitung dengan persamaan 19, sebagai berikut:

$$\gamma_d = \frac{\gamma_b}{1+w} \dots\dots\dots (13)$$

Keterangan:

γ_d = berat volume kering (gr/cm³)

γ_b = berat volume basah (gr/cm³)

w = kadar air (%)

F. Pengujian Konsolidasi (ASTM-D-2435-50)

1. Tujuan Pengujian

Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui kecepatan konsolidasi dan besarnya penurunan tanah apabila tanah mendapat beban keadaan tanah disamping bertahan dan diberi drainasi pada arah vertical.

2. Landasan Teori

Pengukuran konsolidasi didalam laboratorium menggunakan alat yang disebut konsolidometer ASTM-D-2435-50. Contoh dalam percobaan ini dimasukkan ke dalam suatu tabung cincin yang memiliki batu pori. Kemudian cincin tersebut diberi pembebanan vertical dan penurunannya diukur. Tekanan tersebut dibiarkan sampai penurunan selesai. Kemudian contoh tanah diberi tambahan beban dan penekanan ini juga dibiarkan selama waktu yang ditentukan (sampai tidak terjadi penurunan lagi).

Penambahan beban dilakukan seriap 24 jam dengan menggunakan tegangan tertentu. Kemudian beban dikurangi lagi sampai $0,25 \text{ kg/cm}^2$ untuk mendapatkan *Rebound Curve*. Dengan demikian besarnya penurunan akan mendapatkan hasil. Besarnya penurunan pada setiap tegangan dapat diambil dari pembacaan arloji yang terakhir untuk tegangan tersebut. Angka-angka yang didapat akan digunakan untuk mendapatkan grafik penurunan terhadap tegangan terhadap absis (dengan skala log), tetapi pembacaan langsung dapat digunakan langsung sebagai koordinat.

Konsolidasi adalah suatu proses pemampatan tanah dan berkurangnya volume pori dalam tanah. Pada konsolidasi dipelajari 2 hal, yaitu:

- a. Besarnya penurunan yang akan terjadi ditentukan oleh permeabilitas tanah, tebal tanah, kompresibel, besarnya tambahan dan tekanan efektif.
- b. Laju konsolidasi dipengaruhi oleh permeabilitas tanah, tebal tanah, besarnya tambahan konsolidasi drainasi diatas dan dibawah lapisan tanah kompresibel.

Berikut ini rumus-rumus hitungan dalam percobaan konsolidasi:

- a. Koefisien konsolidasi

$$C_v = \frac{0,848 d^2}{t_{90}} (\text{cm}^2/\text{menit}) \dots\dots\dots (15)$$

- b. Menghitung Hs (tebal bagian padat)

$$H_s = \frac{W_k}{G \cdot A} \dots\dots\dots (16)$$

Keterangan: Wk = berat tanah kering

Hs = tebal benda uji pada akhir setelah beban

G = berat jenis

A = luas cincin

- c. Menghitung angka pori (e₀)

$$e_0 = \frac{H-H_s}{H_s} \dots\dots\dots (17)$$

Keterangan: H = tebal awal

Hs = tebal benda uji pada akhir setelah beban

d. Menghitung indeks pemampatan (C_c)

$$C_c = \frac{\Delta e}{\log\left(\frac{P_b}{P_0}\right)} = \frac{e_0 - e_b}{\log\left(\frac{P_b}{P_0}\right)} \dots\dots\dots (18)$$

Keterangan: e_0 = angka pori awal

e_b = angka pori (e_0) \times 0.42

P_b = Tekanan titik B

P_0 = Tekanan awal

e. Menghitung Indeks Pemampatan Kembali (C_r)

$$C_c = \frac{\Delta e}{\log\left(\frac{P_d}{P_e}\right)} = \frac{e_e - e_d}{\log\left(\frac{P_d}{P_e}\right)} \dots\dots\dots (19)$$

Keterangan: e_d = angka pori titik D

e_e = angka pori titik E

P_d = Tekanan titik D

P_e = Tekanan titik E

f. Menghitung Penurunan Konsolidasi (S_c)

Normally Consolidated:

$$S_c = \frac{C_c}{1 + e_0} \times H \times \log \frac{P'_0 + \Delta p}{P'_0} \dots\dots\dots (20)$$

g. Menghitung Waktu Penurunan Konsolidasi 50% dan 90%

$$T_v = \frac{c_v \cdot t}{H^2} \dots\dots\dots (21)$$

Derajat Konsolidasi: U50% maka $T_v = 0,197$

U90% maka $T_v = 0,848$

G. Pengujian Pengembangan (*swelling*) Tanah

1. Tujuan Pengujian

- a. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui seberapa besar nilai pengembangan/*swelling* yang terjadi dari tanah lempung Desa Pare, Kecamatan Godean, Kabupaten Sleman, Yogyakarta.
- b. Penentuan nilai pengembangan dapat dilaksanakan terhadap:
 - 1) Contoh tanah yang dipadatkan lebih dulu
 - 2) Contoh tanah setelah direndam dalam air selama 4 hari (96 jam)

2. Perhitungan Pengembangan (*Swelling*) Tanah

$$\text{Pengembangan} = \frac{S}{H} \times 100\% \dots\dots\dots (22)$$

Keterangan :

S = Hasil pengembangan ΔH

H = Tinggi tanah benda uji

H. Pengujian *Vertical Drains*

1. Tujuan Pengujian

Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui seberapa penurunan yang terjadi pada tanah lempung yang diuji jika diberi beban di atasnya, serta membandingkan berapa besar penurunan yang terjadi jika tanah lempung ditambah bahan drain berupa kerikil.

2. Landasan Teori

Seiring dengan meningkatnya jumlah penduduk, urbanisasi, dan pembangunan, banyak kegiatan konstruksi yang semakin fokus terhadap perilaku tanah. Apalagi dengan kondisi tanah yang beragam dan tidak selalu sama pada masing-masing areal konstruksi sehingga mengharuskan ketelitian dalam perencanaan dan pelaksanaan konstruksi itu sendiri. Untuk mengatasi kondisi tanah yang tidak sesuai dengan yang diharapkan, maka ada beberapa teknik yang digunakan dalam rangka meningkatkan mutu tanah tertentu, diantaranya yaitu teknik *preloading* dan *vertical drains*.

Preloading dan *vertical drains* pada dasarnya bertujuan untuk meningkatkan kekuatan geser pada tanah, mengurangi kompresibilitas/kemampatan tanah, dan mencegah penurunan (*settlement*) yang besar serta kemungkinan kerusakan pada struktur bangunan (Rachmadony Batubara 2012).

Pengujian *vertical drains* ini diamati dengan waktu perharinya seperti pengujian konsolidasi, dan pengamatan hari selanjutnya 24jam dari pengamatan awal. Pengujian ini berjalan selama kurang lebih seminggu, sampai pada dial arloji yang diamati tidak terjadi penurunan lagi. Setelah selesai pengujian dibuat grafik penurunan dengan koordinat Y pembacaan dial penurunan dan koordinat X akar dari waktu (\sqrt{t}).

Untuk menghitung kecepatan penurunan pada drainase vertikal dapat melalui langkah-langkah sebagai berikut :

- a. Menghitung factor waktu untuk drainase arah vertical :

$$T_v = \frac{C_v \cdot t}{H t^2} \dots\dots\dots (23)$$

- b. Diameter pengaruh drainase:

- 1) Pola bujur sangkar

$$D = 1,13 \times s \dots\dots\dots (24)$$

- 2) Pola segitiga sama sisi

$$D = 1,05 \times s \dots\dots\dots (25)$$

- c. Untuk drainase vertical ada 2 cara yaitu :

- 1) Untuk $U_v < 60\%$:

$$T_v = \left(\frac{\pi}{4}\right) U^2 \dots\dots\dots (26)$$

- 2) Untuk $U_v > 60\%$:

$$T_v = -0,933 \log (1-U) - 0,085 \dots\dots\dots (27)$$

$$T_v = 1,781 - 0,933 \log (100-U\%) \dots\dots\dots (28)$$

- d. Untuk drainase radial :

$$U_h = 1 - e^{-\left\{\frac{8Th}{F(n)}\right\}} \dots\dots\dots (29)$$

$$\text{Dengan } F(n) = \ln (D/dw) \dots\dots\dots (30)$$

Percepatan konsolidasi dengan drainase vertikal cocok untuk kondisi-kondisi sebagai berikut :

- a. Lapisan tanah yang berkompresibilitas sedang sampai tinggi yang mendukung beban static.
- b. Lapisan tanah yang sangat lambat sifat drainase alaminya, akibat oleh rendahnya permeabilitas tanah dan jarak drainase alami atau lintasan air yang panjang.

BAB III

METODE PENELITIAN

A. Metode

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode eksperimen, yaitu melakukan penelitian dengan melakukan percobaan terhadap benda yang diteliti tanpa drain dibandingkan dengan benda yang diteliti dengan menggunakan drain vertikal yaitu menggunakan butiran halus lolos saringan no.4 dan tertinggal pada saringan no 10.. Tujuan dari metode eksperimen yaitu untuk menyelidiki sebab akibat dan pengaruh obyek penelitian satu sama lain untuk kemudian dibandingkan hasil dari penelitian ini.

B. Objek Penelitian

Pada penelitian ini tanah lempung yang digunakan berasal dari : Desa Pare, Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta, dan untuk bahan drainnya menggunakan butiran halus lolos saringan no.4 dan tertinggal pada saringan no 10.

C. Variabel Penelitian

Menurut Sugiyono (2006), variabel penelitian adalah segala sesuatu yang ditetapkan oleh peneliti untuk dipelajari sehingga didapatkan sebuah informasi untuk diambil sebuah kesimpulannya.

1. Variabel Bebas

Variabel bebas adalah variabel yang mempengaruhi timbulnya variabel terikat. Variabel bebas yang terdapat dalam penelitian ini adalah berat jenis tanah, batas-batas Atterberg, distribusi ukuran butir.

2. Variabel Terikat

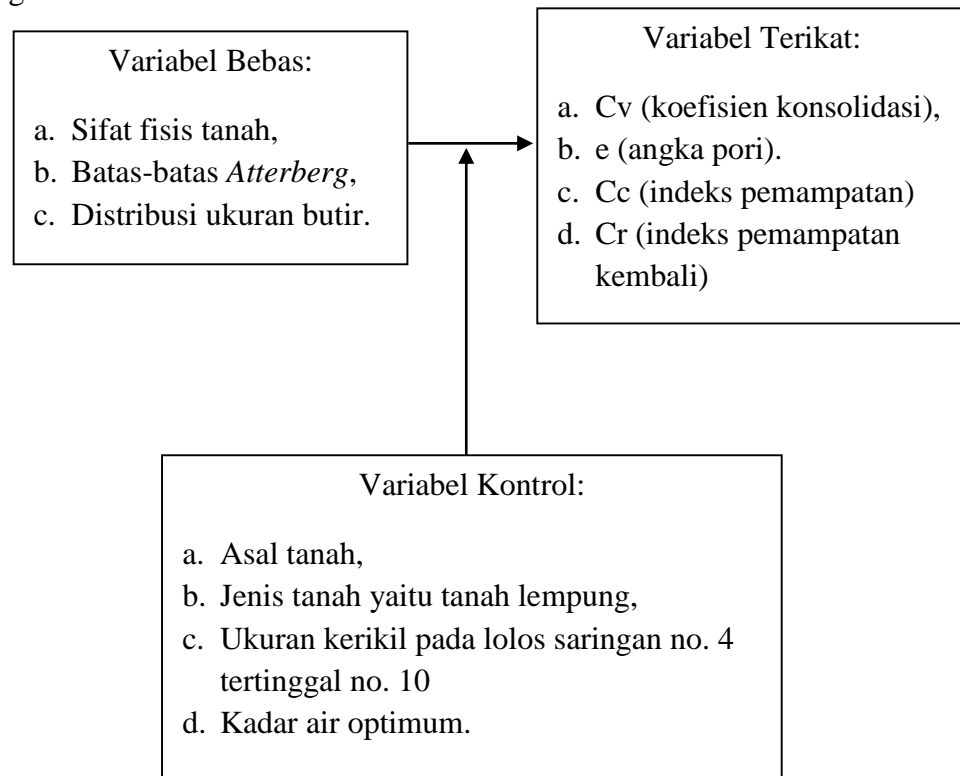
Variabel terikat adalah variabel yang dipengaruhi atau yang menjadi akibat, karena adanya variabel bebas. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah parameter konsolidasi tanah lempung Pare Godean yaitu C_v (koefisien konsolidasi), H_s (tebal bagian padat), e (angka pori), C_c (indeks pemampatan), dan C_r (indeks pemampatan kembali).

3. Variabel Kontrol

Variabel kontrol adalah variabel konstan yang digunakan untuk membandingkan variabel lain. Faktor yang dapat mempengaruhi konsolidasi tanah lempung Pare Godean adalah:

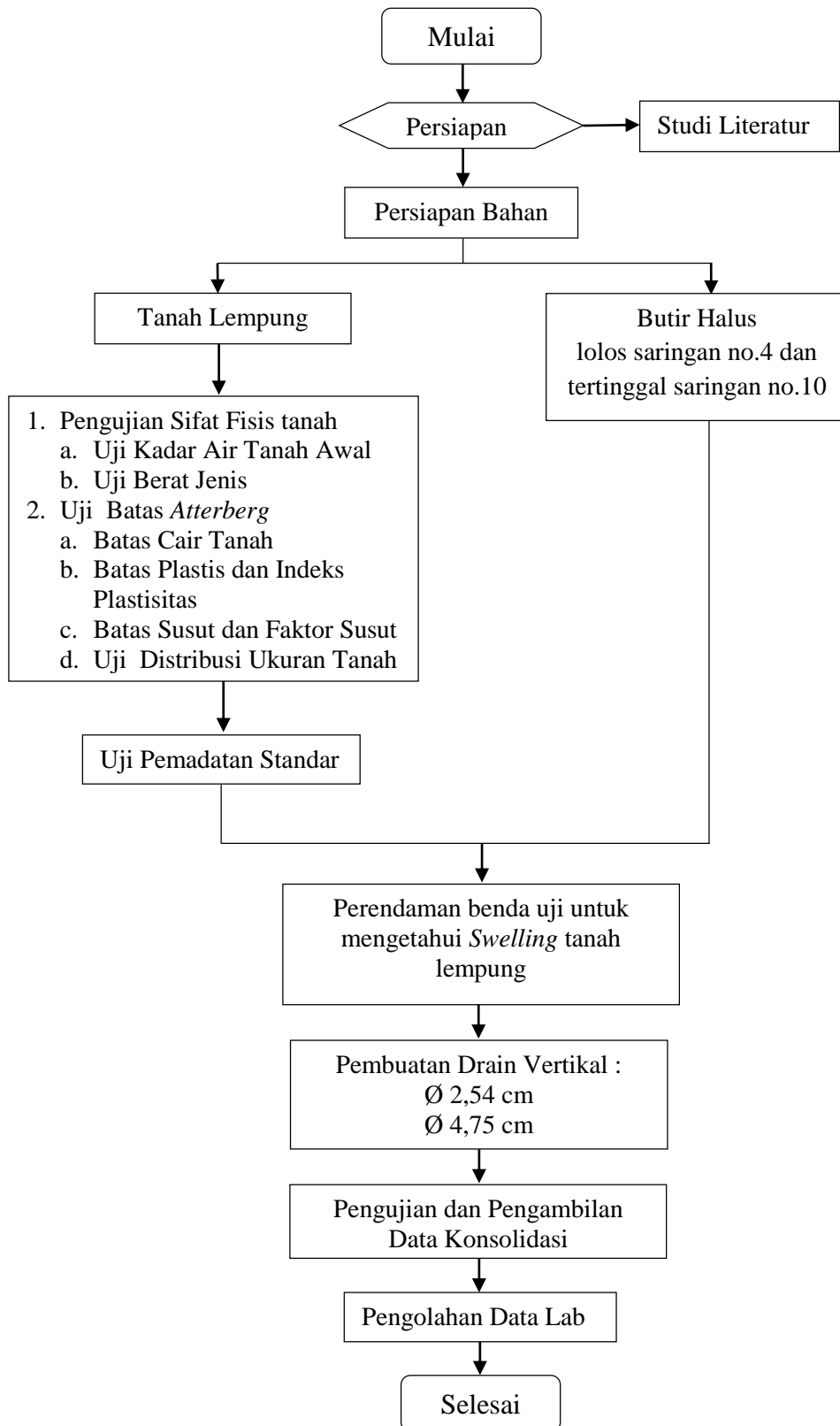
- a. Asal tanah
- b. Ukuran kerikil pada lolos saringan no. 4 tertinggal no. 10
- c. Bentuk kolom
- d. Kadar air optimum

Untuk memperjelas hubungan antar variabel berikut disajikan pada gambar dibawah ini



Gambar 4. Bagan Hubungan Variabel Penelitian

D. Bagan Alur Penelitian



Gambar 5. Bagan Alur Penelitian

E. Alat dan Bahan

1. Alat

a. Ayakan

Ayakan digunakan untuk menyaring atau memisahkan butir-butir tanah sesuai nomer saringan.



Gambar 6. Ayakan

b. Penggerus Tanah

Penggerus tanah digunakan untuk menghaluskan butir-butir tanah sebelum disaring.



Gambar 7. Penggerus Tanah

c. Nampan

Nampan digunakan untuk tempat atau wadah tanah yang akan diuji.



Gambar 8. Nampan

d. Cawan Kadar Air

Cawan kadar air berfungsi untuk menaruh contoh tanah yang akan di uji kadar airnya.



Gambar 9. Cawan Kadar Air

e. Pisau

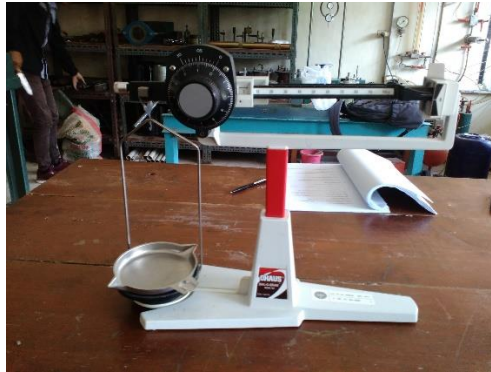
Pisau berfungsi untuk memotong dan merapikan tanah setelah dipadatkan atau dikeluarkan dari cetakan besi silinder.



Gambar 10. Pisau

- f. Timbangan dengan Ketelitian 0,01 gram

Timbangan dengan ketelitian 0,01 gram berfungsi untuk menimbang cawan, contoh tanah dengan jumlah sedikit.



Gambar 11. Timbangan (0,01 gram)

- g. Oven yang Dilengkapi dengan Pengatur Suhu sampai 110°C

Oven digunakan untuk mengeringkan contoh tanah yang akan di uji kadar airnya.



Gambar 12. Oven

- h. *Picnometer*

Picnometer digunakan untuk menguji berat jenis tanah.



Gambar 13. *Picnometer*

i. *Alat Vacuum*

Alat vacuum digunakan untuk menghilangkan udara di dalam butir-butir tanah.



Gambar 14. *Alat Vacuum*

j. *Thermometer Celcius*

Thermometer celcius digunakan untuk mengukur suhu tanah atau air pada saat pengujian.



Gambar 15. *Thermometer Celcius*

k. Alat Pengujian Batas Cair Tanah

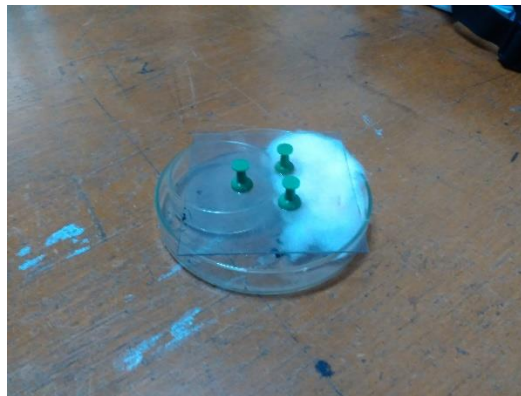
Satu set alat pengujian batas cair tanah digunakan untuk menguji batas cair tanah.



Gambar 16. Alat Uji Batas Cair Tanah

l. Cawan Poselen

Cawan poselen digunakan untuk tempat mencampur contoh tanah dan air.



Gambar 17. Cawan Porselen

m. Pelat Kaca

Pelat kaca digunakan sebagai landasan untuk menggiling-nggiling contoh tanah.



Gambar 18. Pelat Kaca

n. Cawan Susut

Cawan susut digunakan untuk menguji batas susut tanah.



Gambar 19. Cawan Susut

o. *Hydrometer*

Hydrometer digunakan untuk mengetahui berat jenis suspensi.



Gambar 20. *Hydrometer*

p. *Stopwatch*

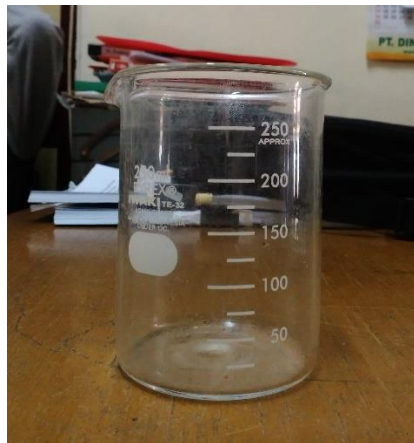
Stopwatch digunakan untuk mengukur waktu pada saat pengujian.



Gambar 21. *Stopwatch*

q. Gelas Ukur Kapasitas 250 ml

Gelas ukur kapasitas 250 ml digunakan untuk tempat merendam contoh tanah dengan larutan *reagent*.



Gambar 22. Gelas Ukur 250 ml

r. Gelas Ukur Kapasitas 1000 ml

Gelas ukur kapasitas 1000 ml digunakan untuk mengukur kebutuhan air dan untuk tempat merendam contoh tanah.



Gambar 23. Gelas Ukur 1000 ml

s. *Blender* (Pengaduk Mekanis)

Blender (pengaduk mekanis) digunakan untuk mengaduk contoh tanah dalam pengujian distribusi ukuran butir tanah.



Gambar 24. *Blender*

t. Alat Pemadat Standar

Alat pemadat standar terdiri dari *mould* dan penumbuk, digunakan pada pengujian pemadatan standar tanah untuk mencari kadar air optimum. *Mould* digunakan sebagai tempat tanah yang akan di uji pemadatan, sedangkan penumbuk menumbuk tanah tersebut.



Gambar 25. Alat Pematik

u. Neraca Ohaus dengan Ukuran Besar

Neraca ohaus dengan ukuran besar digunakan untuk menimbang benda-benda berat seperti alat penumbuk, tabung penumbuk, dan tanah lempung dalam jumlah banyak.



Gambar 26. Neraca Ohaus Ukuran Besar

v. Alat Pencampur Tanah

Alat pencampur tanah digunakan untuk mencampur atau meratakan tanah lempung yang sudah diberi air sebelum dipadatkan.



Gambar 27. Alat Pencampur Tanah

w. Satu Set Alat Pembuat Benda Uji

Satu set alat pembuat benda uji digunakan untuk membuat benda uji pada pengujian *vertical drains*.



Gambar 28. Satu Set Alat Pembuat Benda Uji

x. Alat Pengeluar Benda Uji

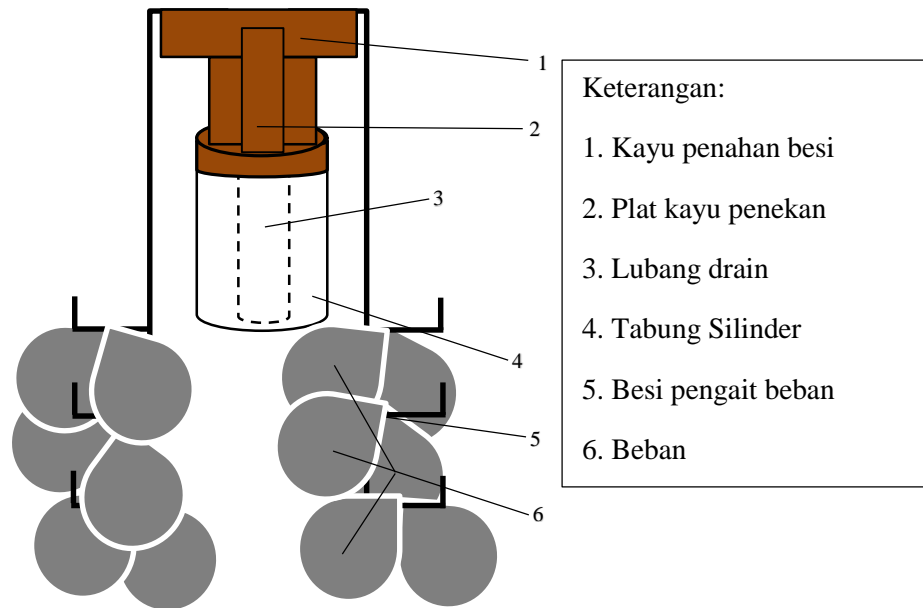
Alat pengeluar benda uji yang digunakan adalah sondir dan peralatan bantu lainnya.



Gambar 29. Alat Pengeluar Benda Uji

y. Alat Uji *Vertical Drains*

Alat uji *vertical drains* ini digunakan untuk menguji penurunan tanah saat diberi beban.



Gambar 30. Alat Uji *Vertical Drains*

2. Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

a. Tanah Lempung

Dalam penelitian ini tanah lempung yang digunakan berasal dari Desa Pare, Godean, Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta. Tanah lempung ini digunakan sebagai bahan pokok untuk membuat benda uji.



Gambar 31. Tanah Lempung

b. Air Destilasi (H_2O)

Air destilasi digunakan untuk merendam contoh tanah atau membasahi contoh tanah.



Gambar 32. Air Destilasi

c. Bahan Kimia *Reagent*

Pada penelitian ini bahan kimia reagent digunakan untuk merendam contoh tanah pada pengujian distribusi ukuran butir tanah.



Gambar 33. *Reagent*

d. Air Raksa

Pada penelitian ini air raksa digunakan sebagai bahan penunjang pada pengujian batas susut tanah.



Gambar 34. Air Raksa

e. Kerikil

Pada penelitian ini digunakan kerikil lolos saringan no.4 dan tertinggal saringan no.10 sebagai bahan drains.



Gambar 35. Kerikil

F. Prosedur Pengujian

Pelaksanaan pengujian dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah Fakultas Teknik Universitas Negeri Yogyakarta. Adapun pengujian-pengujian tersebut adalah sebagai berikut:

1. Pengujian Sifat Fisis Tanah

a. Pengujian Kadar Air (ASTM D 2216 – 71)

1) Tujuan Pengujian

Tujuan pengujian ini adalah untuk menentukan kadar air sampel tanah. Kadar air tanah adalah nilai perbandingan antara berat isi dalam satuan tanah dengan berat kering tanah tersebut (ASTM D 2216 – 71).

2) Alat

- a) Cawan
- b) Timbangan dengan ketelitian 0,01 gram
- c) Oven
- d) Desikator

3) Benda Uji

Benda uji berupa tanah basah, yang terganggu maupun yang tidak terganggu. Agar diperoleh hasil yang lebih teliti, maka berat benda uji dan neraca yang digunakan harus disesuaikan dengan ukuran butir maksimum seperti pada Tabel 13.

Tabel 9. Ketentuan Benda Uji dengan Neraca yang Ditimbang

Ukuran Butir Maksimum	Berat Benda Uji Minimum	Ketelitian Neraca
$\frac{3}{4}$ "	1000 gram	1 gram
#10	100 gram	0,1 gram
#40	10 gram	0,01 gram

4) Prosedur Pengujian

- a) Cawan dibersihkan dengan kain, kemudian ditimbang beserta tutupnya dan beratnya dicatat = W1.
- b) Contoh tanah yang akan diuji dimasukan kedalam cawan, kemudian ditimbang bersama tutupnya = W2.
- c) Cawan berisi tanah tadi dimasukan kedalam oven, suhu oven diatur konstan antara 105° C - 110° C selama 16 – 20 jam.
- d) Setelah dioven tanah didinginkan dalam desikator, kemudian kemudian cawan beserta tutupnya ditimbang = W4.

b. Pengujian Berat Jenis Tanah (ASTM D 854 – 2)

1) Tujuan Pengujian

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan berat jenis suatu sampel tanah. Berat jenis tanah adalah nilai perbandingan berat butiran tanah dengan berat air destilasi di udara dengan volume yang sama pada temperature tertentu, biasanya diambil pada suhu 27,5° C.

2) Alat

- a) *Picnometer* dengan kapasitas 25 cc atau 50 cc
- b) Timbangan dengan ketelitian 0,01 gram

- c) Air destilasi bebas udara
- d) Oven dengan suhu yang dapat diatur
- e) *Desikator*
- f) *Thermometer*
- g) Cawan porselin (mortar) dengan pestel (penumbuk berkepala karet)
- h) Saringan no. 10
- i) Kompor pemanas

3) Benda Uji

Benda uji yang digunakan adalah tanah kering oven lolos saringan no. 10 yang berasal dari tanah *undisturb*.

4) Persedur Pengujian

- a) *Picnometer* dibersihkan bagian luar dan dalamnya kemudian ditimbang dengan tutupnya = W1 gram.
- b) Sampel tanah yang lolos ayakan no. 10 dimasukan kedalam *picnometer* sebanyak seperempat dari volume *picnometer*, kemudian pada bagian luarnya dibersihkan lalu ditimbang beserta tutupnya = W2.
- c) Air destilasi dimasukan kedalam *picnometer* sampai 2/3 dari isinya kemudian di diamkan kira-kira sampai 10 menit.
- d) Udara yang terperangkap diantara butir tanah dikeluarkan, hal ini dapat dilakukan dengan cara:

- a) *Picnometer* dimasukan kedalam pompa fakum dalam keadaan terbuka kemudian diberikan tekanan tidak melebihi 100 cmHg, sehingga gelembung udara dapat keluar dari pori-pori tanah dan air menjadi jernih.
- b) *Picnometer* direbus dengan hati-hati selama 10 menit dengan sesekali *picnometer* digoyang-goyangkan untuk membantu keluarnya gelembung udara, kemudian dimasukan dalam desikator sampai mencapai suhu ruangan selama lebih kurang 2 jam.
- e) Air destilasi ditambahkan kedalam *picnometer* sampai penuh dan ditutup, bagian luar *picnometer* dikeringkan dengan kain kering, setelah itu *picnometer* berisi tanah dan air penuh ditimbang = W3.
- f) Suhu air dalam *picnometer* diukur dengan *thermometer* dan dicatat = T.
- g) Seluruh isi *picnometer* dibuang kemudian diisi dengan air destilasi bebas udara sampai penuh, ditutup dan bagian luarnya di keringkan dengan kain dan ditimbang = W4 gram. Hal ini dikerjakan segera setelah pekerjaan poin f, agar suhu air masih sama dengan poin f.

2. Pengujian Batas-batas Atterberg

a. Pengujian Batas Cair (ASTM D 423 – 66)

1) Tujuan Pengujian

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan batas cair tanah. Batas cair tanah adalah kadar air tanah pada keadaan batas cair dan plastis, batas cair untuk mengetahui jenis dan sifat-sifat tanah yang mempunyai ukuran butir lolos saringan no. 40.

2) Alat

- a) *Cassagrande*
- b) *Grooving tool*
- c) Cawan porselin (mortar)
- d) *Spatel* (penumbuk berkepala karet/kayu)
- e) Saringan no. 40
- f) Air destilasi
- g) Satu set alat pengujian kadar air

3) Benda Uji

Sampel tanah yang perlu disiapkan untuk pengujian ini sebanyak ± 500 gram. Sampel tanah ini harus bebas atau tidak mengandung butir tanah yang lebih besar dari 0,425 mm (tertahan saringan no.40). Bila contoh tanah mengandung butir kasar, maka tanah dikeringkan dan dijemur, bila keadaan tanah tidak menggumpal maka langsung dapat disaring, tetapi bila contoh tanah tersebut dalam keadaan menggumpal, maka perlu ditumbuk dengan palu karet, kemudian disaring dengan saringan no.40.

4) Pelaksanaan

a) Persiapan Pengujian

- a) Sampel tanah yang sudah disaring dengan saringan no. 40 dimasukkan dalam cawan porselen.
- b) Air ditambah dalam cawan sedikit demi sedikit sambil diaduk sampai merata, dari kering atau keenceran.
- c) Alat *Cassagrande* yang akan dipergunakan diperiksa dahulu, bahwa alat didalam keadaan baik dan dapat bekerja dengan baik. Periksa bahwa apabila pegangan diputar, mangkuk akan terangkat setinggi 1 cm. Gunakan pegangan alat pembarut sebagai pengukur. Bila belum benar, perbaiki setelahnya.

b) Pelaksanaan Pengujian

- i. Contoh tanah didalam cawan porselen tersebut ditambahkan air sedikit demi sedikit sambil diaduk sampai merata (*homogen*). Pada adukan pertama ini tanah supaya agak encer.
- ii. Adukan tanah tadi dimasukkan kedalam mangkuk *Cassagrande*, gunakan spatel untuk meratakan dan menghilangkan gelembung udara yang tertangkap didalam tanah. Permukaan tanah diratakan dengan permukaan mangkuk *Cassagrande* bagian depan dan paling bawah dan permukaan tanah harus horisontal,

apabila tanahnya kelebihan dapat diambil dan ditambahkan bila kurang.

- iii. Dengan alat pembarut, dibuat alur lurus pada garis tengah mangkuk searah dengan sumbu alat, sehingga tanah terbelah dua secara simetris.
- iv. Alat digerakan, sehingga mangkuk terangkat dan jatuh pada alasnya, dengan kecepatan dua putaran/detik, putaran dihentikan apabila kedua bagian tanah sudah terlihat terhimpit sepanjang 12,7 mm ($1/2''$). Catat jumlah ketukannya (*interval* ketukan antara 10 sampai 45 ketukan).
- v. Jumlah ketukan pada pengujian pertama kali kurang dari 40 ketukan.
- vi. Sampel tanah dalam mangkuk *Cassagrande* diambil sedikit kemudian uji kadar airnya.
- vii. Sisa tanah yang ada dalam mangkuk diambil dan dikembalikan kedalam cawan porselen. Mangkuk *Cassagrande* dicuci dan dikeringkan terlebih dahulu sebelum digunakan untuk pengujian selanjutnya.
- viii. Semua pekerjaan diatas diulangi, sehingga diperoleh 4 sampai 5 data hubungan antara kadar air dan jumlah ketukan. Ketukan yang dipakai adalah antara 15 sampai

40, dengan masing-masing pengujian selisih hampir sama.

- ix. Untuk mendapatkan jumlah ketukan dan kadar air yang berbeda, sampel tanah ditambah dengan air sedikit demi sedikit.

b. Pengujian Batas Plastis dan Indeks Plastisitas (ASTM D 424 – 74)

1) Tujuan Pengujian

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan kadar air tanah pada kondisi batas plastis. Batas plastis adalah kadar air minimum suatu sampel tanah dalam keadaan plastis.

2) Alat

- a) Plat kaca
- b) *Spatula*
- c) *Wash bottle*
- d) Cawan porselen
- e) Seperangkat alat pengujian kadar air

3) Benda Uji

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

4) Prosedur Pengujian

- a) Bola tanah dibuat dengan diameter sekitar 1 cm.

- b) Tanah digiling-giling diatas pelat kaca dengan telapak tangan berkecepatan giling 1,5 detik setiap gerakan maju mundur.
- c) Setelah tercapai 3 mm dan tanah mulai retak, sampel tanah tersebut menunjukkan dalam keadaan kondisi batas plastis.
- d) Gilingan tanah tersebut dimasukan kedalam cawan sebanyak kurang lebih 10 gram, kemudian segera dilakukan pengujian kadar air.

c. Pengujian Batas Susut Tanah (ASTM D 427 – 74)

1) Tujuan Pengujian

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan kadar air tanah pada kondisi batas susut. Batas susut tanah adalah kadar air tanah minimum yang masih dalam keadaan *semi solid*, dan juga merupakan batas antara keadaan *semi solid* dan *solid*.

2) Alat

- a) Cawan porselen dan spatel
- b) Cawan susut yang berbentuk bulat dan beralas datar
- c) Pisau perata
- d) Satu unit alat untuk menentukan volume
- e) Satu set alat pegujian kadar air

3) Benda Uji

Benda uji dapat berupa sebagian dari tanah saat pengujian batas cair tanah, kemudian ditambah air sehingga tanah berada dalam kondisi *liquid* atau cair.

4) Pelaksanaan

a) Volume ring (V) dihitung dengan mengukur tinggi (t), diameter (D), atau dengan cara berikut:

- i. Cawan susut dibersihkan kemudian berat ring ditimbang (W1) gram.
- ii. Air raksa dituangkan kedalam cawan susut.
- iii. Permukaanya diratakan dengan pelat kaca, kemudian ditimbang (W2) gram.
- iv. Air raksa dimasukan kedalam tempatnya lagi dan lakukan pengujian berikutnya.

b) Tanah diisikan kedalam cawan susut

- i. Cawan susut diolesi oli sampai merata, kemudian adukan tanah yang sudah dipersiapkan tadi dimasukan kedalam cawan susut sedikit-sedikit sambil diketok-ketokan dilantai, agar tidak udara yang terperangkap didalam cawan susut, sehingga seluruh volume cawan terisi oleh tanah.
- ii. Sisi luar cawan yang terkena tanah dibersihkan, kemudian ditimbang beratnya = W2 gram.

- iii. Tanah tersebut dikeringkan dengan oven yang dihidupkan 60°C , sampai beberapa jam kemudian suhu dinaikan lagi sampai 100°C . Hal ini dilakukan dengan tujuan supaya tanah tidak pecah.
 - iv. Cawan dan tanah kering di dingikan, setelah dingin lalu ditimbang = W_3 gram.
- c) Volume tanah kering ditentukan dengan cara:
- i. Tanah kering dikeluarkan dari cawan susut, jangan pecah.
 - ii. Mangkuk kaca ditempatkan dalam mangkuk porselin yang lebih besar.
 - iii. Air raksa dituangkan kedalam mangkuk kaca sampai penuh, kemudian permukaan air raksa diratakan dengan pelat kaca berpaku, dengan posisi paku dicelupkan kedalam air raksa.
 - iv. Mangkuk kaca tadi dipindahkan kedalam mangkuk porselin kosong satunya lagi, kemudian contoh tanah kering dimasukan kedalam mangkuk kaca, lalu tekan dengan pelat kaca berpaku sampai tenggelam.
 - v. Pelat kaca diangkat dan mangkuk kaca dipindahkan ke mangkuk porselin pertama.
 - vi. Air raksa yang berada dalam mangkuk porselin kedua dituangkan kedalam gelas ukur lalu ditimbang.

- vii. Volume tanah kering sama dengan berat jenis air raksa yang tertumpah karena terdesak tanah dibagi dengan berat jenisnya.

3. Pengujian Distribusi Ukuran Butiran Tanah

a. Tujuan Hidrometer (ASTM D 1140 – 00)

1) Tujuan Pengujian

Pemeriksaan ini bertujuan untuk menentukan pembagian ukuran butir (gradasi) dari tanah yang lewat saringan no. 10.

2) Alat

- a) Hidrometer dengan skala konsentrasi (5 – 60 gram per liter) atau untuk pembacaan berat jenis campuran (0,995 – 1,038) gr/cm³.
- b) Tabung gelas ukur kapasitas 1000 ml, dengan diameter $\pm 6,5$ cm.
- c) Termometer 0 – 50°C ketelitian 0,1°C.
- d) Pengaduk mekanis dan mangkuk dispersi (*mechanical stirrer*).
- e) Saringan no. 10; 20; 40; 60; 80; 100; 140; dan 200.
- f) Neraca dengan ketelitian 0,01 gram.
- g) Oven yang dilengkapi pengatur suhu untuk memanasi sampai (110 \pm 5°C).
- h) Cawan porselen (mortar) dan pastel (penggerus) berkepala karet atau dibungkus karet
- i) *Stopwatch*.

3) Benda Uji

- a) Jenis tanah yang tidak mengandung batu dan hampir semua butirannya lebih halus dari saringan 2,00 mm (no.10). Benda uji tidak perlu dikeringkan dan tidak perlu disaring dengan saringan no. 10
- b) Jenis tanah yang mengandung batu, atau mengandung banyak butiran yang lebih kasar dari saringan no. 10. Untuk benda uji jenis ini perlu mengeringkan contoh tanah di udara terbuka sampai bisa disaring dengan saringan no. 10. Ambil benda uji yang lewat saringan no. 10
- c) Air destilasi
- d) Bahan dispersi (*reagent*), dapat berupa *water glass* (*sodium silikat* = Na_2SiO_3) atau Calgon (*sodium hexameta phosphate* = NaPO_3)

4) Pelaksanaan

- a) Contoh tanah ditaruh dalam tabung gelas (*beaker* kapasitas 250 cc). sebanyak ± 125 cc larutan + *reagent* yang telah disiapkan (lihat catatan no.1) dituangkan dalam tabung gelas tersebut, kemudian dicampur dan diaduk sampai seluruh tanah tercampur dengan air. Tanah yang terendam dibiarkan selama ± 16 jam.
- b) Campuran tersebut dituangkan dalam mangkuk pengaduk. Jangan ada butir yang tertinggal atau hilang dengan dibilas

menggunakan air (air destilasi) dan tuangkan air bilasan ke alat. Bila perlu ditambah air, sehingga volumenya sekitar lebih dari separuh penuh. Alat pengaduk diputar selama lebih dari 1 menit.

- c) Kemudian suspensi segera dipindahkan ke gelas silinder pengendap. Jangan ada tanah tertinggal dengan dibilas dan dituangkan air bilasan ke silinder. Ditambahkan air destilasi sehingga volumenya mencapai 1000 cm³.
- d) Gelas silinder kedua yang diisi hanya dengan air destilasi ditambah *reagent* sehingga berupa larutan yang keduanya sama seperti yang dipakai pada silinder pertama disiapkan di samping silinder isi suspensi tersebut. Apungkan hidrometer dalam silinder kedua ini selama percobaan dilaksanakan.
- e) Gelas isi suspensi ditutup dengan tutup karet (atau dengan telapak tangan). Suspensi digojok dengan membolak-balik gelas ke atas dan ke bawah selama 1 menit, sehingga butir-butir tanah melayang merata dalam air. Gerakan membolak-balik gelas ini harus sekitar 60 kali. Kemudian langsung diletakkan dalam silinder berdiri di atas meja dan bersamaan dengan berdirinya silinder, jalankan *stopwatch* dan merupakan waktu permulaan pengendapan $T=0$.
- f) Cara pembacaan hidrometer

- 1) Pembacaan hidrometer dilakukan pada saat-saat $T = 2,5, 30, 60, 250, 1440$ menit (setelah $T = 0$), dengan cara sebagai berikut : Kira-kira 20 atau 25 detik sebelum setiap saat pelaksanaan pembacaan, ambil hidrometer dari silinder kedua, celupkan secara hati-hati dan pelan-pelan dalam suspensi sampai mencapai kedalaman sekitar taksiran skala yang akan terbaca, kemudian lepaskan (jangan sampai timbul guncangan). Kemudian pada saatnya bacalah skala yang ditunjuk oleh puncak meniskus muka air = R_1 (pembacaan belum dikoreksi).
- 2) Setelah dibaca, segera ambil hidrometer pelan-pelan dan dipindahkan ke dalam silinder kedua. Dalam air di silinder kedua dibaca skala hidrometer = R_2 (koreksi pembacaan).

Catatan : Apabila digunakan “*water bath*” dengan suhu konstan ditaruh kedua silinder dalam *water bath* dan dilakukan sesudah pembacaan 2 menit dan sebelum pembacaan 5 menit.

- g) Setiap setelah hidrometer dibaca, termometer dicelupkan dalam suspensi amati dan catat temperaturnya.
- h) Setelah pembacaan hidrometer terakhir selesai dilaksanakan ($T = 1440$ menit), suspensi dituangkan ke atas saringan no. 200 seluruhnya, jangan ada butir tertinggal. Kemudian dicuci

dengan air sampai air yang mengalir dibawah saringan menjadi jernih dan tidak ada lagi butir halus yang tertinggal.

- i) Butir-butir tanah yang tertinggal dipindahkan di atas saringan pada suatu tempat tanpa ada yang tertinggal, kemudian dikeringkan dalam oven (dengan temperatur konstan $105^{\circ}\text{C} - 110^{\circ}\text{C}$).
- j) Kemudian didinginkan dan ditimbang serta catat berat tanah kering yang diperoleh = B1 gram.
- k) Tanah ini disaring dengan menggunakan sejumlah saringan yaitu no. 10; 20; 40; 60; 80; 100; 140; dan 200.
- l) Kemudian ditimbang dan dicatat berat bagian tanah yang tertinggal di atas tiap saringan. Lalu diperiksa bahwa seharusnya jumlah berat dari masing-masing bagian sama atau dekat dengan berat sebelum disaring.

d. Analisa Saringan (ASTM 422 – 72)

1) Tujuan

Tujuan pengujian adalah untuk menentukan distribusi ukuran butir-butir untuk tanah yang mengandung butir-butir yang tertahan saringan no. 10.

2) Alat

- a) Saringan kasar untuk butir-butir kerikil, yang terdiri atas saringan dengan ukuran dari atas ke bawah mulai dari 3,5

inch; 3 inch; 2,5 inch; 2 inch; 1,5 inch; 1 inch; $\frac{3}{4}$ inch; $\frac{1}{2}$ inch; dan $\frac{3}{8}$ inch.

- b) Saringan halus untuk butir-butir halus, yang terdiri atas saringan dengan ukuran dari atas ke bawah mulai dari saringan no.4 (4,75 mm), no.10 (2 mm), no.20 (0,850 mm), no.40 (0,425 mm), no.80 (0,180), no.120 (0,125), dan no.200 (0,075 mm).

3) Persiapan Benda Uji

- a) Contoh tanah yang akan diperiksa dibiarkan dalam ruangan, sehingga tanah menjadi kering udara. (Bila diperlukan dapat menggunakan alat pengering dengan suhu tidak lebih dari 60°C). Gumpalan-gumpalan yang ada diremuk dengan dipukul-pukul menggunakan palu karet/kayu dan atau digerus dalam mortar dengan pestel berkepala (dibungkus) karet, sehingga butir-butir terpisah dan butir-butirnya tidak rusak. Bila contoh tanah yang tersedia melebihi dari yang diperlukan, atau akan dibagi atas beberapa bagian, bagilah dengan menggunakan “*sampler splitter*” atau dengan cara perempat (*quartering*) agar masing-masing bagian mewakili keadaan aslinya.
- b) Kemudian dipisahkan dan taruh dalam suatu tempat sejumlah tanah yang akan diperiksa. Kemudian timbang dan catat beratnya W_0 .

- c) Tanah yang akan diperiksa disaring dengan saringan no. 10. Bila perlu gumpalangumpalan yang tertahan saringan dapat digerus lagi dan disaring lagi, jangan ada bagian yang tercecer. Pisahkan bagian yang tertahan saringan no. 10 dan bagian yang lewat saringan no. 10.
- d) Dari bagian yang lewat saringan no. 10
 - a) Diambil kira-kira 10-15 gram dan lakukan pemeriksaan kadar air tanah (air higroskopis), = w.
 - b) Diambil juga sebagian untuk pembuatan berat jenis tanah = G, apabila data berat jenis tanah belum ada.
 - c) Kemudian disediakan sejumlah contoh bagian yang lewat saringan no. 10 ini untuk analisa ukuran butir dengan hidrometer dan saringan halus. Lalu ditimbanglah contoh tanah yang akan diperiksa (W_1 , gram), yang banyaknya sekitar 100 gram untuk tanah berpasir dan 50 gram untuk tanah lanau atau lempung tidak berpasir.

Apabila jumlah bagian lewat saringan no. 10 terlalu banyak dari yang diperlukan, dan diambil seperlunya (W_1') dengan menggunakan "*sampler spiltter*" atau cara perempat.
- e) Dari bagian yang tertahan saringan no. 10. Berat contoh tanah kering udara tertahan saringan no. 10 yang tersedia

harus cukup banyaknya dan beratnya disesuaikan dengan ukuran butir terbesar yang ada dalam tanah sebagai berikut:

Ukuran terbesar	± berat contoh (minimum)
3/8" (9,5 mm)	500 gram
3/4" (19,0 mm)	1000 gram
1" (25,4 mm)	2000 gram
1 1/2" (38,1 mm)	3000 gram
2" (50,8 mm)	4000 gram
3" (76,2 mm)	5000 gram

- i. Bagian ini dicuci (seluruhnya, jangan ada yang tercecer) di atas saringan no. 10 dengan air, sampai air yang keluar dari saringan menjadi jernih, sehingga yang tinggal di atas saringan bebas dari butir halus yang ada.
- ii. Contoh tanah yang sudah dicuci dikeringkan dalam oven.
- iii. Berat contoh tanah tersebut = W2 ditimbang dan dicatat.

4) Pelaksanaan

- a) Benda uji bagian lewat saringan no 10. (sebesar W1' gram).
Penentuan distribusi ukuran butir meliputi pemeriksaan hidrometer dan pekerjaan saringan bagian yang tertahan saringan no. 200.
- b) Benda uji bagian yang tertahan saringan no. 10 (sebanyak W2 gram).

- c) Bagian ini disaring dengan susunan saringan kasar yang terdiri atas 7 saringan + tutup seperti tersebut pada bab II no.1.
- d) Ditimbang dan dicatat berat masing-masing bagian yang tertahan tiap-tiap saringan dan diatas tutup bawah. Periksalah bahwa seharusnya jumlah berat dari masing-masing bagian tersebut sama atau dekat dengan sebelum disaring

4. Pemadatan Tanah Standar (ASTM D 698 – 70)

a. Tujuan Pengujian

Tujuan pengujian ini adalah untuk menentukan hubungan antara kadar air dan kepadatan tanah dengan cara memadatkan tanah didalam silinder berukuran tertentu menggunakan alat penumbuk tertentu pula. Pengujian pemadatan dilakukan dengan menggunakan cetakan diameter 102 mm (4 inci), bahan tanah lolos saringan no.40. Kegunaan pengujian ini untuk mencari nilai kepadatan maksimum (*Maximum Dry Density/MDD*) dan kadar air optimum (*Optimum Moisture Content/OMC*) dari suatu sampel tanah.

b. Alat

- 1) *Mould* silinder 102 mm (4 inc) kapasitas $0,000943 \pm 0,000008$ m³ ($0,0333 \pm 0,003$ cu ft) dengan diameter dalam $102,6 \pm 0,406$ mm ($4,00 \text{ inc} \pm 0,016 \text{ inc}$), tinggi $116,43 \pm 0,127$ mm ($4,584 \text{ inc} \pm 0,005 \text{ inc}$).

- 2) Tabung silinder besar dengan diameter dalam $152,4 \pm 0,6609$ mm ($6 \text{ inc} \pm 0,0026 \text{ inc}$), dan tinggi $178 \pm 0,13$ mm ($7 \text{ inc} \pm 0,005 \text{ inc}$).
- 3) Alat penumbuk tangan dari logam dengan permukaan rata diameter $50,8 \text{ mm} \pm 0,127 \text{ mm}$ ($2,00 \text{ inc} \pm 0,005 \text{ inc}$) berat $2,542 \text{ kg}$ ($5,5 \text{ lb}$) dilengkapi dengan selubung yang dapat mengatur tinggi jatuh secara bebas setinggi $304,8 \text{ mm} \pm 1,524 \text{ mm}$ ($12,00 \text{ inc} \pm 0,06 \text{ inc}$). Dapat juga dipakai alat tumbuk mekanis dari logam yang dilengkapi alat kontrol dengan tinggi jatuh bebas $304,8 \text{ mm} \pm 1,524 \text{ mm}$ ($12,00 \text{ inc} \pm 0,06 \text{ inc}$) dan dapat membagi tumbukan merata diatas permukaan. Alat penumbuk mempunyai permukaan tumbuk yang rata berdiameter $50,8 \pm 0,127 \text{ mm}$ ($2,00 \text{ inc} \pm 0,05 \text{ inc}$) dengan berat $2,542 \text{ kg}$ ($5,5 \text{ lb}$)
- 4) Alat pengeluar sampel tanah (*sondir*)
- 5) Timbangan kapasitas $11,5 \text{ kg}$ dengan ketelitian 5 gram
- 6) Alat perata besi panjang 25 cm salah satu sisi memanjang tajam sebelahny datar
- 7) Saringan no.4
- 8) Talam, penumbuk dari kayu, pengaduk, sendok
- 9) Satu unit alat pengujian kadar air

c. Benda Uji

- 1) Bila contoh tanah dari lapangan dalam keadaan lembab dikeringkan dulu sehingga menjadi gembur. Pengeringan dilakukan di udara atau dengan alat pengering lain dengan suhu 60°C , kemudian gumpalan tanah ditumbuk tetapi butir asli tidak pecah.
- 2) Tanah yang sudah ditumbuk disaring dengan saringan no.4.
- 3) Jumlah sampel untuk pengujian sebanyak 15 kg.
- 4) Benda uji dibagi menjadi 6 bagian, tiap bagian dicampur air yang ditentukan dan diaduk sampai merata. Penambahan air diatur sehingga diperoleh benda uji sebagai berikut:
 - a) Tiga buah sampel dengan kadar air kira-kira dibawah optimum dan tiga sampel yang lain kira-kira diatas optimum.
 - b) Perbedaan kadar air masing-masing antara 3% sampai 5%.
 - c) Masing-masing benda uji dimasukan ke dalam kantong plastik, disimpan selama 12 jam sampai kadar air merata.
- 5) Prosedur Pengujian
 - a) Persiapan Pengujian
 - i. *Mould* 102 mm (4 inc) dan keping alas ditimbang dengan ketelitian 5 gram (W_1 gram).
 - ii. Leher *mould* dan keping alas dipasang jadi satu dan ditempatkan pada landasan yang kokoh.
 - b) Pelaksanaan Pengujian

- i. Salah satu dari keenam sampel yang sudah disiapkan diambil, diaduk dan dipadatkan dalam *mould* dengan cara sebagai berikut:
 - Jumlah seluruh cetakan tanah harus tepat sehingga tinggi kelebihan tanah yang diratakan setelah leher dilepas tidak lebih dari 5 mm.
 - Pemadatan dilakukan dengan alat tumbuk standar dengan berat 2,542 kg (5,5 lb) dengan tinggi jatuh 30,5 cm (12 cm).
 - Tanah dipadatkan dalam 3 lapis, tiap lapis ditumbuk dengan 25 kali tumbuk.
- ii. Leher sambung dilepas, potong kelebihan tanah dari bagian keliling dengan pisau perata. *Mould* yang berisi benda uji beserta keping alas ditimbang dengan ketelitian 5 gram (W_2).
- iii. Benda uji dikeluarkan dengan alat *ekstruder* dan ambil sebagian kecil dari benda uji untuk pengujian kadar air kemudian tentukan nilai kadar airnya.
- iv. Pengujian yang dilakukan sama untuk sampel tanah lain.

5. Pembuatan Benda Uji

Dalam proses pembuatan benda uji terdapat hal-hal yang perlu diperhatikan:

a. Alat

- 1) Tabung silinder 152 mm (6 inc)
- 2) Penumbuk (2,542 kg)
- 3) Pelat alas (tinggi 1,5 cm)
- 4) Alat penglubang benda uji (*sondir*)
- 5) Pisau perata
- 6) Oli
- 7) Pipa besi $\pm \varnothing 2,54$ cm
- 8) Pipa besi $\pm \varnothing 4,75$ cm
- 9) Kertas filter

b. Pelaksanaan

- 1) Alat dan bahan yang akan digunakan disiapkan untuk membuat benda uji seperti tanah lempung, pipa besi, kerikil, silinder pemadat, penumbuk, dan alat bantu lainnya.
- 2) Lumasi tabung silinder dengan sedikit oli,
- 3) Masukkan plat alas ke dalam tabung silinder,
- 4) Masukkan tanah ke dalam tabung silinder dan tumbuk 56 kali sebanyak 3 lapis,
- 5) Sesudah ditumbuk, copot silinder bawah dan lepas plat alasnya,
- 6) Ratakan permukaanya lalu dipasang kembali ke tabung dalam kondisi dibalik,
- 7) Bagian bawah dan atas tanah diberi alas kertas filter,

- 8) Ambil tabung silinder kedua dan ulangi langkah 1-6 untuk membuat benda uji kedua,
- 9) Untuk benda uji yang berlubang/berkolom, setelah langkah 6 lalu dilubangi dengan alat *ekstruder* dengan pipa besi berdiameter 2,54 cm,
- 10) Masukkan butiran halus (lolos saringan no.4 dan tertinggal no.10) ke dalam lubang/kolom tanah sampai penuh,
- 11) Bagian bawah dan atas tanah diberi alas kertas filter,
- 12) Ulangi langkah 8-11 untuk benda uji ketiga yang diameter kolomnya 4,75 cm.

6. Pengujian Pengembangan (*swelling*) Tanah

Alat

- a. Silinder pemadatan dengan diameter 15,2cm dan tinggi 17,8cm, dilengkapi silinder sambungan, dan pelat tebal yang berlubang-lubang
- b. Pelat ganjal (*spacer disks*), dengan tebal ± 2 cm
- c. Penumbuk
- d. Pengukuran pengembangan tanah, terdiri atas pelat berlubang-lubang dengan batang pengatur, tripoid, dan arloji pengukur penetrasi
- e. Pelat-pelat beban berlubang ditengah yang utuh atau belah berat masing-masing 5lb (2,27 kg)
- f. Macam-macam alat seperti talam, timbang, oven, bak, perendam, kertas filter, dan sebagainya

Pelaksanaan

- a. Persiapkan alat dan bahan yang akan dibuat benda uji
- b. Pemadatan Tanah
- c. Merendam
 - 1) Letakkan selembat kertas filter atas pelat alas (pelat alas berlubang-lubang). Baliklah silinder berisi tanah, letakkan di atas pelat alas dan diklem (tanah yang permukaannya rata dengan muka silinder diletakkan diatas kertas filter).
 - 2) Silinder bersama tanah direndam dan pelat-pelat beban direndam dalam bak air, sehingga air dapat meresap bebas dari bawah maupun dari atas.
 - 3) Pasanglah tripod dan perlengkapan untuk pembacaan pengembangan dan catatlah pembacaan awal pada arloji ukur.
 - 4) Biarkan tanah dalam keadaan terendam untuk mengembang selama 96 jam (4 hari). Selama itu muka air harus dibuat tetap. Catatlah perubahan pengembangan arloji ukur pada saat-saat : 0, 1, 2, 4, 8, 12, 24, 36, 48, 72, dan 96 jam. Waktu perendaman ini dapat disingkat untuk tanah berbutir halus atau tanah berbutir kasar yang telah menghisap air, apabila tampak tidak lagi menunjukkan pengembangan.
 - 5) Setelah 96 jam, ambillah tripod pemegang arloji ukur dan keluarkan silinder dari air. Biarkan dan tiriskan selama 15 menit biar air diluar tanah mengalir. Bila perlu miringkan silinder agar air di atas tanah

dapat keluar tetapi jaga dan hati-hati agar permukaan tanah tidak terganggu.

- 6) Ambil pelat-pelat beban, pelat berlubang-lubang dan kertas filter.

Kemudian timbang dan catat berat tanah bersama silinder.

7. Pengujian Konsolidasi (ASTM-D-2435-50)

Alat

- a. Alat uji konsolidasi, yang terdiri dari:

- 1) Cincin tempat tanah
- 2) Batu pori atas dan bawah
- 3) Arloji pengukur ketebalan

- b. Perlengkapan pembebanan

- c. Alat potong dan alat bubut

- d. Stopwatch

- e. Perlengkapan untuk memeriksa kadar air dan perlengkapan lainnya.

Langkah Kerja

- a. Mempersiapkan benda uji dan alat-alat

- 1) Tanah dimasukkan ke dalam cincin cetak.
- 2) Permukaan benda uji diratakan.
- 3) Benda uji ditimbang dan dicetak bersama cetakannya, kemudian berat volume basah dan berat volume kering dihitung.
- 4) Kadar air tanah diperiksa.

- 5) Massa jenis tanah diperiksa.
 - 6) Anometer cincin diukur menggunakan jangka sorong.
 - 7) Tinggi benda uji diukur.
- b. Mempersiapkan alat dan benda uji ke dalam konsolidometer.
- 1) Alat yang akan digunakan dibersihkan.
 - 2) Lengan beban diseimbangkan.
 - 3) Alat konsolidometer dipasang secara berurutan, yang terdiri dari:
 - a) Batu pori bawah
 - b) Cincin yang telah terisi benda uji
 - c) Batu pori atas
 - d) Plat perata beban
 - 4) Sel konsolidasi yang sudah terisi benda uji ditempatkan pada rangka pembebanan.
 - a) Sekrup penahan lengan beban diatur sehingga lengan beban terangkat ke atas.
 - b) Penekan bagian atas benda uji dan arloji pengukur penurunan diatur sehingga pembacaan arloji ukur menjadi delapan.
 - 5) Memasang beban sehingga tekanan pada benda uji sebesar $0,25 \text{ kg/cm}^2$.
 - 6) Sekrup pengatur lengan beban diturunkan sehingga lengan beban mulai bekerja diatas tanah. Pada saat yang bersamaan stopwatch dijalankan.

- 7) Arloji pengukur penurunan dibaca dan dicatat pada waktu yang telah ditentukan.
- 8) Benda uji dikeluarkan.
- 9) Benda uji ditimbang kemudian dioven untuk mengetahui kadar airnya.

8. Pengujian *Vertical Drains*

a. Alat

- 1) Tabung silinder (diameter dalam 152 mm)
- 2) Penumbuk (berat 2,542 kg)
- 3) Pelat alas (tinggi 1,5 cm)
- 4) Alat penglubang benda uji (*sondir*)
- 5) Pisau perata
- 6) Oli
- 7) Pipa besi $\pm \varnothing 2,54$ cm
- 8) Pipa besi $\pm \varnothing 4,75$ cm
- 9) Spon
- 10) Alat uji *vertical drains*, yang terdiri:
 - a) Besi pengait beban
 - b) Papan alas tabung
 - c) Kayu plat penekan
 - d) Arloji Pengukuran

b. Bahan

- 1) Tanah lempung

c. Pelaksanaan

- 1) Alat dan bahan yang akan digunakan disiapkan untuk membuat benda uji seperti tanah lempung, pipa besi, kerikil, silinder pemadat, penumbuk, dan alat bantu lainnya.
- 2) Tanah lempung dipadatkan pada tabung silinder besar (152 mm).
- 3) Tanah lempung yang padat dicampur dengan air yang sudah diukur kebutuhannya dengan gelas ukur / sampai jenuh air.
- 4) Tanah yang jenuh air pada tabung silinder direndam air selama ± 4 hari (pengujian pengembangan/*swelling* tanah) untuk mengetahui *swelling* tanah.
- 5) Sampel tanah pertama tanpa bahan drain, sampel tanah kedua dibuat lubang drain berbentuk silinder kecil $\varnothing 2,54$, dan sampel tanah ketiga dibuat lubang drain berbentuk silinder besar $\varnothing 4,75$.
- 6) Tanah yang padat dibuat lubang drainase menggunakan pipa besi $\pm \varnothing 2,54$ cm. untuk yang lubangnya berbentuk silinder kecil, dan yang silinder besar menggunakan pipa besi $\pm \varnothing 4,75$ cm.
- 7) Tanah lempung yang sudah dibentuk 3 sampel tersebut satu persatu diuji menggunakan alat *vertical drains* yang dibuat sendiri dan diamati penurunannya selama kurang lebih seminggu.
- 8) Catat hasil penurunannya 3 sampel masing-masing.

- 9) Tanah lempung yang sudah diuji pembebanan menggunakan alat *vertical drains* tersebut menggunakan tabel waktu penurunan konsolidasi.
- 10) Catat hasil pengamatan penurunan *vertical drains* tersebut untuk dibuat grafik penurunannya.
- 11) Tanah yang sudah diuji *vertical drains* kemudian diuji konsolidasi tanah untuk mengetahui C_c , C_v , dan C_r .
- 12) Bandingkan penurunan konsolidasi total (S_c) di laboratorium dengan penurunan konsolidasi total (S_t) pada uji *vertical drains*.

BAB IV

HASIL PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Pengujian

1. Sifat Fisis Tanah

a. Kadar Air Awal (w)

Dari Pengujian kadar air awal lempung Desa Pare, Godean, Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta diperoleh nilai kadar air awal sebesar 27,92 %.

b. Berat Jenis Tanah (G)

Dari Pengujian berat jenis tanah lempung Desa Pare, Godean, Sleman Daerah Istimewa Yogyakarta diperoleh nilai berat jenis tanah sebesar 2,247.

2. Batas-Batas Konsistensi (*Atterberg*)

a. Batas Cair (LL)

Hasil pengujian batas cair tanah lempung Desa Pare, Godean, Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta diperoleh angka batas cair sebesar 37,70%. Sedangkan menghitung menggunakan cara grafik diperoleh hasil yang berbeda sedikit yaitu 37,34%.

b. Batas Plastis (PL) dan Indeks Plastis (PI)

Dari pengujian batas plastis diperoleh angka sebesar 20,59%, untuk mencari Indeks Plastis (PI) menggunakan rumus:

$$PI = LL - PL = 37,70 - 20,59 = 17,11\%$$

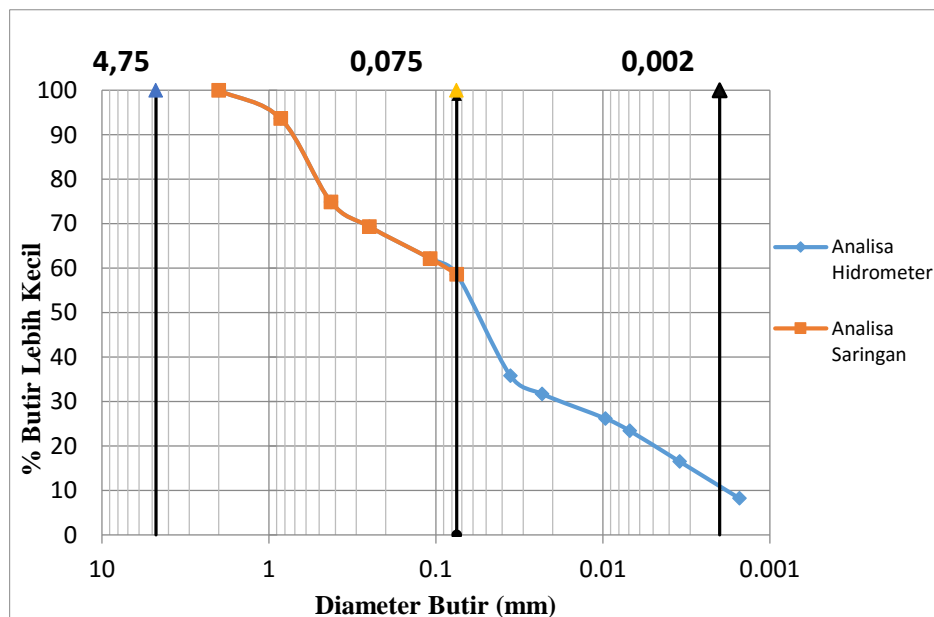
Sehingga didapatkan harga indeks plastis (PI) sebesar 17,11%.

c. Batas Susut (SL)

Hasil pengujian batas susut tanah lempung Desa Pare, Godean, Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta diperoleh angka batas susut sebesar 7,48%.

3. Distribusi Ukuran Butir

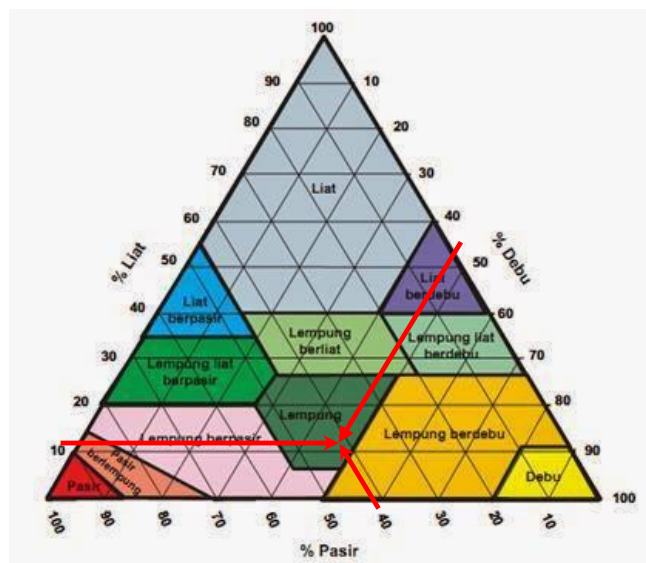
Distribusi ukuran butir tanah dianalisis dengan dua cara yaitu, analisis hydrometer (pengendapan) dan analisis saringan. Berikut ini data-data dan hasil hitungan yang diperoleh dari pengujian distribusi ukuran butir.



Gambar 36. Grafik Distribusi Ukuran Butir Tanah

Tabel 10. Persentase/Fraksi Tanah Desa Pare, Godean, Kabupaten Sleman, Yogyakarta.

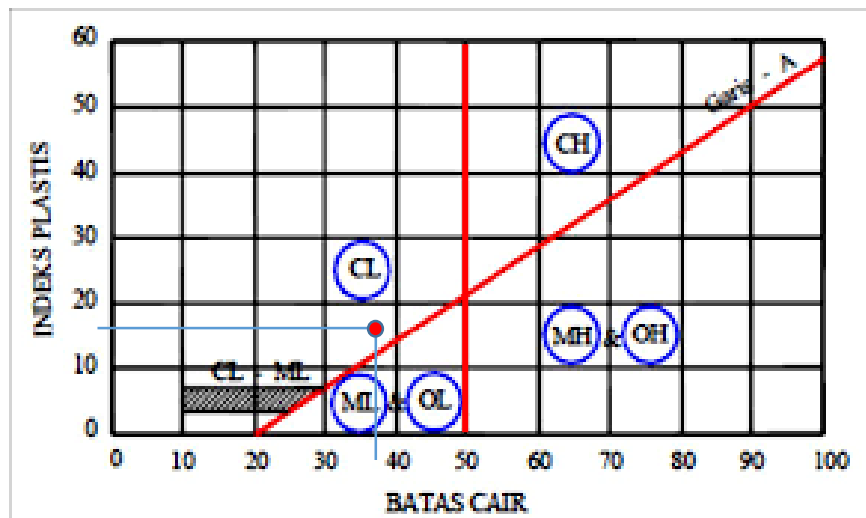
Presentase Fraksi/Jenis Tanah	Tanah Desa Pare
Fraksi kasar (partikel $> 0,075$ mm)	41,31 %
Fraksi halus (partikel $< 0,075$ mm)	58,69 %
Ukuran Partikel:	
Kerikil ($> 4,75$ mm)	0 %
Pasir ($0,075 - 4,75$ mm)	41,31 %
Lanau ($2 \mu\text{m} - 0,075$ mm)	47,78 %
Lempung ($< 2 \mu\text{m}$)	10,91 %



Gambar 37. Diagram Identifikasi Jenis Tanah Berdasarkan Butir

Berdasarkan hasil dari identifikasi tanah berdasar ukuran butir pada Gambar 37, menyatakan bahwa tanah Desa Pare, Godean, Kabupaten Sleman, Yogyakarta termasuk jenis lempung.

Sementara berdasarkan acuan pada sistem klasifikasi USCS tanah lempung Desa Pare, Godean, Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta tergolong dalam tanah berbutir halus (fraksi yang berukuran lebih kecil dari 0,075 mm adalah lebih besar dari 50%).



Gambar 38. Grafik Plastisitas Identifikasi Jenis Tanah

Dari grafik plastisitas (Gambar 38) dengan nilai LL 37,70% dan PI sebesar 17,11%, berdasarkan sistem USCS tanah Desa Pare, Godean, Kabupaten Sleman, Yogyakarta diklasifikasikan CL (Clay Low-plasticity) yaitu tanah lempung tak berorganik dengan plastisitas rendah, sampai sedang, lempung berkerikil, lempung berpasir, lempung berlanau, lempung kurus. Untuk identifikasi tanah menurut AASHTO, terlebih dahulu dihitung nilai GI, menggunakan persamaan (1):

$$GI = (F - 35)[0,2 + 0,005 (LL - 40)] + 0,01 (F - 15)(PI - 10) \dots\dots(1)$$

$$GI = (58,70 - 35)[0,2 + 0,005 (37,70 - 40)] + 0,01 (58,70 - 15)(17,11 - 10)$$

$$GI = 7,57 \approx 8$$

Mengingat $PL (20,59) < 30\%$, maka tanah Desa Pare, Godean, Kabupaten Sleman, Yogyakarta diklasifikasikan A-6 (8) yaitu tanah berlanau sedang sampai buruk.

4. Pemadatan Tanah

Pemadatan tanah standar digunakan untuk memperoleh kadar air optimum yang dipakai untuk pembuatan benda uji. Hasil hitungan yang diperoleh dari pengujian pemadatan standar yaitu sebesar 17,5%, dengan nilai γ_d (berat volume kering) sebesar 1,52 gr/cm³ dan nilai γ_b (berat volume basah) sebesar 1,84 gr/cm³.

5. Pengembangan (*Swelling*) Tanah

Uji pengembangan ini dilakukan dengan cara direndam selama 4 hari dengan 3 benda uji. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui pengembangan tanah secara maksimal sebelum dilakukan uji tekan dengan metode *vertical drains*. Dan data yang diperoleh setelah pengujian adalah untuk benda uji yang akan diberi drain besar diperoleh pengembangan tanah maksimum sebesar 26,99% dengan waktu perendaman selama 96 jam. Untuk benda uji yang akan diberi drain

kecil diperoleh pengembangan tanah maksimum sebesar 22,08% dengan waktu perendaman selama 96 jam. . Untuk benda uji yang tidak akan diberi drain diperoleh pengembangan tanah maksimum sebesar 19,63% dengan waktu perendaman selama 96 jam.

B. Pembahasan

1. Konsolidasi

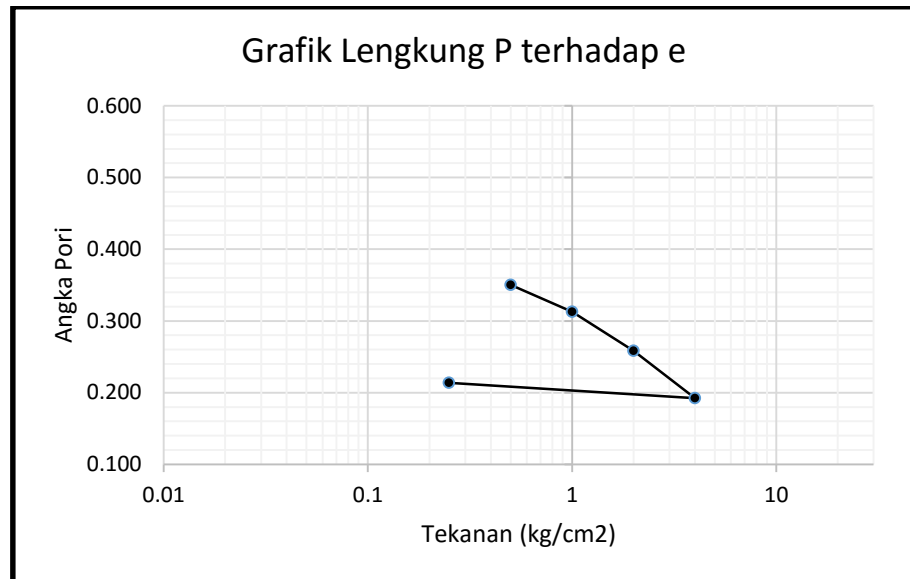
Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kecepatan konsolidasi dan besarnya penurunan/*settlement* tanah apabila tanah mendapat beban dan membandingkan besarnya nilai indeks pemampatan (C_c), indeks pemampatan kembali (C_r), dan koefisien konsolidasi (C_v) terhadap tanah yang diberi drainase pada arah vertical. Selain itu juga diperoleh nilai penurunan total konsolidasi (S_c) dengan waktu 50% (U_{50}) dan 90% (U_{90}). Berikut ini adalah data-data yang diperoleh setelah pengujian.

Tabel 11. Hasil Koefisien Konsolidasi (C_v)

Tekanan (kg/cm^2)	Koefisien Konsolidasi (cm^2/menit)
0.5	0.010
1	0.018
2	0.034
4	0.076

Tabel 12. Hasil Angka Pori dari Tekanan Konsolidasi

Tekanan (kg/cm^2)	Angka Pori (cm^2/menit)
0.5	0.350
1	0.313
2	0.258
4	0.192



*Gambar lengkap dapat dilihat pada lampiran hal 137.

Gambar 39. Grafik Hubungan Tekanan dengan Angka Pori

Berdasarkan analisa untuk grafik hubungan tekanan dengan angka pori pada Gambar 39, diperoleh nilai indeks pemampatan (C_c) adalah 0.238 dan nilai indeks pemampatan kembali (C_r) adalah sebesar 0.0183. Dari nilai C_c , C_v dan C_r yang ada diperoleh hasil perhitungan untuk penurunan konsolidasi total (S_c) di lapangan adalah sebesar 34,20 cm, dan waktu yang dibutuhkan untuk mengalami penurunan sebesar 50% (U_{50}) = 17,10 cm adalah selama 0,024 tahun (± 9 hari) dan untuk penurunan sebesar 90% (U_{90}) = 30,78 cm adalah selama 0,104 tahun (± 38 hari). Sedangkan penurunan total konsolidasi (S_c) yang di laboratorium adalah sebesar 2,49 cm, dan waktu yang dibutuhkan untuk mengalami penurunan sebesar 50% (U_{50}) = 1,25 cm adalah selama 0,096 tahun (± 3 hari) dan untuk penurunan sebesar 90% (U_{90}) = 2,24 cm adalah selama 0,0413 tahun (± 15 hari).

2. *Vertical Drains*

Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui berapa nilai penurunan total (St) yang terjadi pada ketiga tanah benda uji, yaitu benda uji dengan drains besar, dengan drains kecil, serta benda uji tanpa bahan drains yang akan diberi beban di atasnya. Setelah itu membandingkan dengan nilai penurunan konsolidasi total (Sc) di laboratorium.. Berikut hasil perhitungan dan perbandingan dari data yang diperoleh.

a. *Vertical Drains* Untuk Drain Besar ($\varnothing 4,75$)

Hasil perhitungan penurunan konsolidasi total (St) yang diperoleh adalah sebesar 2,49 cm dengan waktu selama 15 hari. Data perhitungannya dapat dilihat pada Tabel 13 sebagai berikut :

t (hari)	t (tahun)	$St = U \times Sc$ (cm)
0	0	0
1	0.003	1.17
2	0.005	1.67
3	0.008	1.98
5	0.014	2.29
10	0.027	2.47
15	0.041	2.49

Tabel 13. Hasil Perhitungan Penurunan pada Drain Besar

b. *Vertical Drains* Untuk Drain Kecil ($\varnothing 2,54$)

Hasil perhitungan penurunan konsolidasi total (St) yang diperoleh adalah sebesar 2,51 cm dengan waktu selama 15 hari. Data perhitungannya dapat dilihat pada Tabel 14 sebagai berikut :

t (hari)	t (tahun)	$St = U \times Sc$ (cm)
0	0	0
1	0.003	0.89
2	0.005	1.29
3	0.008	1.58
5	0.014	1.96
10	0.027	2.39
15	0.041	2.51

Tabel 14. Hasil Perhitungan Penurunan pada Drain Kecil

c. *Vertical Drains* Tanpa Bahan Drain

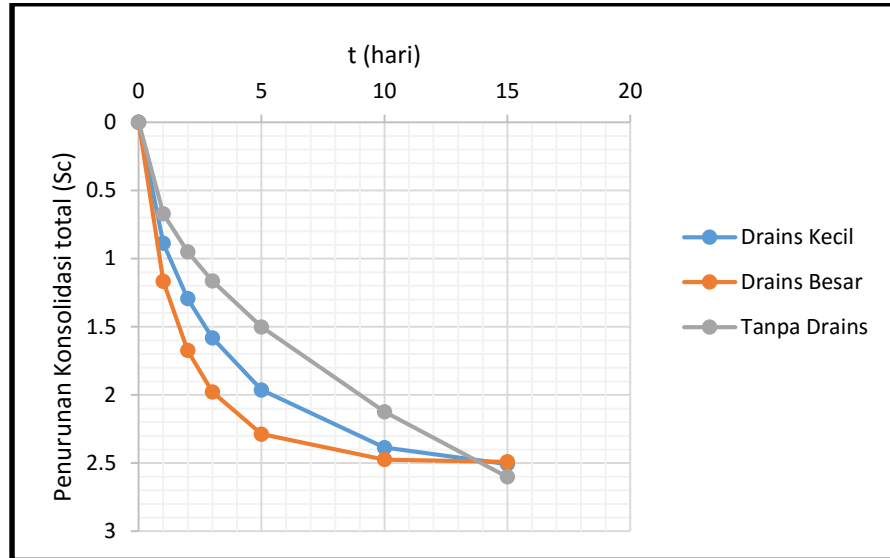
Hasil perhitungan penurunan konsolidasi total (St) yang diperoleh adalah sebesar 2,60 cm dengan waktu selama 15 hari. Data perhitungannya dapat dilihat pada Tabel 15 sebagai berikut :

t (hari)	t (tahun)	$St = U \times Sc$ (cm)
0	0	0
1	0.003	0.67
2	0.005	0.95
3	0.008	1.16
5	0.014	1.50
10	0.027	2.12
15	0.041	2.60

Tabel 15. Hasil Perhitungan Penurunan Tanpa Bahan Drain

d. Grafik Perbandingan Untuk Pengujian *Vertical Drains*

Dari metode hasil perhitungan, maka diperoleh grafik perbandingan untuk masing-masing penurunan konsolidasi total (St) yang terjadi adalah sebagai berikut :



*Gambar lebih jelas dapat dilihat pada lampiran hal 158.
 Gambar 40. Grafik Perbandingan dari Masing-Masing Penurunan Konsolidasi Total (S_t)

Berdasarkan analisa grafik perbandingan untuk masing-masing penurunan konsolidasi total (S_t) pada Gambar 40, maka dapat dilihat bahwa penurunan tanah dengan metode *vertical drains* dengan drain besar paling cepat yaitu dengan penurunan maksimum sebesar 2,49 cm selama 15 hari. Sedangkan untuk penurunan tanah lunak dengan metode *vertical drains* pada drain kecil lebih lambat dari drain besar tetapi masih terjadi penurunan yaitu sebesar 2,51 cm selama 15 hari, dan untuk tanah lunak dengan metode *vertical drains* tanpa bahan drain paling lambat tetapi penurunan paling besar yaitu sebesar 2,60 cm selama 15 hari.

Hal tersebut terjadi karena butiran yang digunakan sebagai bahan drain vertical memberikan lintasan air pori yang lebih

pendek kearah horizontal. Jarak drainase arah horizontal yang lebih pendek menambah kecepatan proses konsolidasi beberapa kali lebih cepat. Dan juga permeabilitas tanah kearah horizontal yang beberapa kali lebih besar juga mempercepat laju proses konsolidasi.

BAB V

SIMPULAN DAN SARAN

A. Simpulan

Berdasarkan pengujian konsolidasi dan *vertical drains* yang telah dilakukan terhadap tanah lunak Desa Pare, Kecamatan Godean, Kabupaten Sleman, Yogyakarta, maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Koefisien konsolidasi (C_v) yang didapat : untuk tegangan $0,5 \text{ kg/cm}^2$ adalah sebesar $0,010 \text{ cm}^2/\text{menit}$, untuk tegangan 1 kg/cm^2 adalah sebesar $0,018 \text{ cm}^2/\text{menit}$, untuk tegangan 2 kg/cm^2 adalah sebesar $0,034 \text{ cm}^2/\text{menit}$, untuk tegangan 4 kg/cm^2 adalah sebesar $0,076 \text{ cm}^2/\text{menit}$. Sedangkan nilai indeks pemampatan (C_c) adalah sebesar 0,238 dan nilai indeks pemampatan kembali (C_r) adalah sebesar 0,0183. Penurunan total konsolidasi (S_c) di laboratorium adalah sebesar 2,49 cm.
2. Penurunan total (S_t) *vertical drains* pada pengujian laboratorium untuk drain besar ($\varnothing 4,75$) adalah sebesar 6,97 mm (0,697 cm) selama 5 hari dan pada metode perhitungan adalah sebesar 2,49 cm selama 15 hari.
3. Penurunan total (S_t) *vertical drains* pada pengujian laboratorium untuk drain kecil ($\varnothing 2,54$) adalah sebesar 4,23 mm (0,423 cm) selama 5 hari dan pada metode perhitungan adalah sebesar 2,51 cm selama 15 hari.
4. Penurunan total (S_t) *vertical drains* pada pengujian laboratorium yang tanpa bahan drain adalah sebesar 3,65 mm (0,365 cm) selama 5 hari dan pada metode perhitungan adalah sebesar 2,60 cm selama 15 hari.

B. Saran

Adapun saran berdasarkan pengujian yang telah dilakukan terhadap tanah lunak pada uji konsolidasi dan *vertical drain*, adalah sebagai berikut :

1. Alat yang digunakan untuk uji *vertical drains* sebaiknya tersedia dan disendirikan, guna menghindari antrean saat praktek di laboratorium.
2. Perlu dilakukan pengujian lanjutan dengan menambah jumlah pembuatan benda uji.
3. Untuk pengujian lanjutan bisa juga dirubah variasi ukuran drainsnya, supaya data yang diperoleh itu berbeda dari pengujian sebelumnya dan bisa untuk membuat perbandingan lagi.
4. Bahan-bahan yang ada di laboratorium dan akan digunakan untuk pengujian seharusnya selalu ada, supaya tidak membuang waktu pengujian.

C. Keterbatasan Penelitian

Dalam penelitian ini terdapat keterbatasan masalah, antara lain :

1. Belum pernah mendapatkan materi *vertical drains* sebelumnya.
2. Alat pengujian *vertical drains* yang digunakan dalam penelitian ini hanya buatan sendiri dan mungkin belum memenuhi standart.

DAFTAR PUSTAKA

American Society for Testing and Materials (ASTM) D 422-72. (2007). *Standard Method for Particle-Size Analysis of Soil*.

American Society for Testing and Materials (ASTM) D 423-66. (1972). *Standard Test Method of Test for Liquid Limit of Soil*.

American Society for Testing and Materials (ASTM) D 424-74. (1971). *Standard Test Method of Test for Plastic Limit of Soil*.

American Society for Testing and Materials (ASTM) D 427-74. (1989). *Standard Test Method of Test for Shrinkage Limit of Soil*.

American Society for Testing and Materials (ASTM) D 698-70. (1989). *Standard Test Method for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Efford*.

American Society for Testing and Materials (ASTM) D 854-83. (2002). *Standard Test Method for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer*.

American Society for Testing and Materials (ASTM) D 1883-73. (2002). *Standard Test Method for CBR (California Bearing Ratio) of Laboratory-Compacted Soils*.

American Society for Testing and Materials (ASTM) D 2216-71. (1989). *Standard Test Method for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass*.

American Society for Testing and Materials (ASTM) D 2435-50. (1989). *Standard Test Method for One-Dimensional Consolidation Properties of Soils*.

Anonim. 2000. *Pedoman Praktikum Mekanika Tanah I*. Yogyakarta: Laboratorium Mekanika Tanah, Fakultas Teknik UNY

Anonim. 2012. *Pedoman Praktikum Mekanika Tanah II*. Yogyakarta: Laboratorium Mekanika Tanah, Fakultas Teknik UNY

Batubara Rachmadony, 2012 “Teknik Preloading dan Penggunaan Vertical Drains” <http://www.rachmadony.blogspot.co.id/2012/09/teknik-preloading-dan-penggunaan.html?m=1>

Civeng Mas, 2015 “Tujuan Percobaan Permeabilitas Tanah” <http://www.ilmutekniksipilindonesia.com/2015/04/tujuan-percobaan-permeabilitas-tanah.html?m=1>

Gilang Pratama, 2013. “Laporan Praktikum Uji Konsolidasi Satu Dimensi”, Yogyakarta: Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Yogyakarta

Hardiyatmo, Hary Christady. (2012). *Mekanika Tanah I. Edisi. Ke-6*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press

Hardiyatmo, Hary Christady. (2007). *Mekanika Tanah II. Edisi. Ke-4*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press

Hardiyatmo, Hary Christady. (2010). *Mekanika Tanah II. Edisi. Ke-5*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press



PROYEK AKHIR

PENELITIAN PENURUNAN (*SETTLEMENT*) KONSOLIDASI PADA TANAH
LEMPUNG DESA PARE, GODEAN, SLEMAN, YOGYAKARTA
DENGAN METODE *VERTICAL DRAINS*

LAMPIRAN

Oleh : Bani Aldrian
NIM : 12510134016

**JURUSAN TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA
2016**



**LABORATORIUM MEKANIKA TANAH
PENDIDIKAN TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA**

Alamat: Kampus Karangmalang, Yogyakarta 552811
Telp. (0274) 586168 psw 276.289.292 (0274) 586734 fax (0274) 586734

DATA HASIL PENGUJIAN

Judul Pengujian : Pemeriksaan Kadar Air Tanah Lempung

No. Cawan timbang		1	2
Berat cawan kosong	W_1 gram	10,29	13,42
Berat cawan + tanah basah	W_2 gram	33,68	30,72
Berat cawan + tanah kering	W_3 gram	28,42	27,06
Berat air	$A = W_2 - W_3$	5,26	3,66
Berat tanah kering	$B = W_2 - W_1$	18,13	13,64
Kadar air	$w = \frac{A}{B} \times 100\%$	29,01	26,83
Kadar air rata-rata		27,92 %	

Tabel 16. Hasil Pengujian Kadar Air

Dari hasil pengujian di laboratorium, kadar air tanah dari Desa Pare, Kecamatan Godean, Kabupaten Sleman, Yogyakarta diperoleh hasil kadar air sebesar 27,92%.



LABORATORIUM MEKANIKA TANAH
PENDIDIKAN TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA

Alamat: Kampus Karangmalang, Yogyakarta 552811
Telp. (0274) 586168 psw 276.289.292 (0274) 586734 fax (0274) 586734

DATA HASIL PENGUJIAN

Judul Pengujian : Pemeriksaan Berat Jenis Tanah Lempung

Piknometer No.		1 (kecil)	2 (besar)
Berat piknometer kosong	W_1 (gram)	18,23	39,08
Berat piknometer kosong + tanah kering	W_2 (gram)	45,63	94,43
Berat piknometer kosong + tanah + air	W_3 (gram)	84,24	171,16
Berat piknometer kosong + air	W_4 (gram)	68	138,72
Temperatur ($t^{\circ}\text{C}$)		29,9 $^{\circ}$	29,9 $^{\circ}$
$A = W_2 - W_1$ (gram)		27,40	55,35
$B = W_3 - W_4$ (gram)		14,24	32,44
$C = A - B$ (gram)		13,16	22,91
Berat Jenis $G_s = \frac{A}{C}$		2,082	2,416
Berat jenis tanah (G_s)		2,249	
$G_s \text{ untuk } 27,5^{\circ}\text{C} = G_s \frac{B_{j \text{ air } t^{\circ}}}{B_{j \text{ air } 27,5^{\circ}}}$		2,247	2,247
$G_s \text{ untuk } 27,5^{\circ}\text{C}$		2,247	

Tabel 17. Hasil Pengujian Berat Jenis Tanah

Dari hasil pengujian di laboratorium, berat jenis tanah lempung dari Desa Pare, Kecamatan Godean, Kabupaten Sleman, Yogyakarta diperoleh hasil berat jenis sebesar $2,247 = 2,25$.



DATA HASIL PENGUJIAN

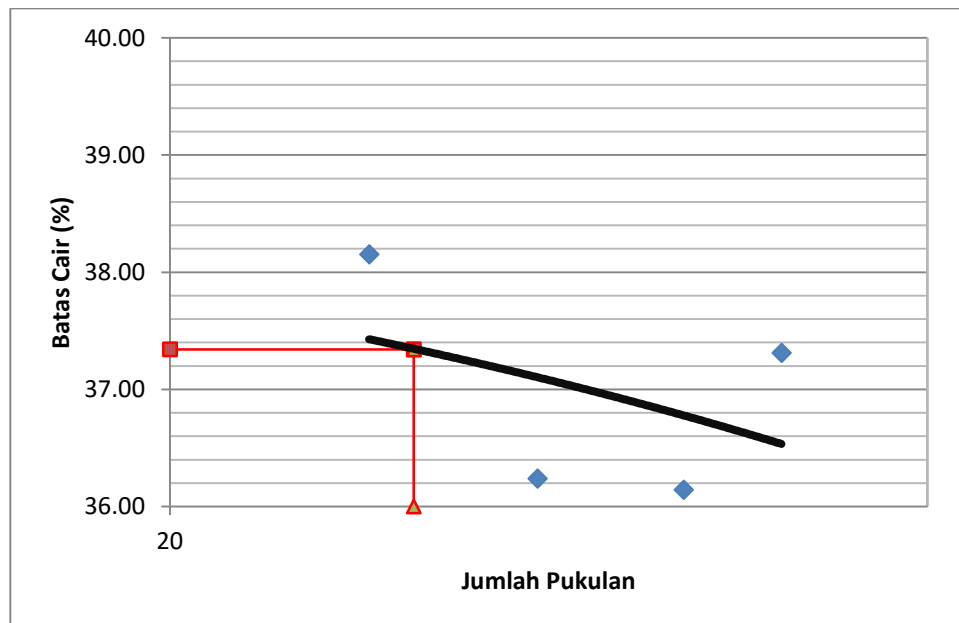
Judul Pengujian : Pemeriksaan Batas Cair (LL)

Percobaan No.		I		II		III		IV	
Jumlah Pukulan		35	35	32	32	28	28	24	24
No. Cawan timbang		1	1	2	2	3	3	4	4
Berat cawan kosong	W ₁ gram	14,25	14,28	14,75	14,75	14,22	14,82	14,90	14,91
Berat cawan + tanah basah	W ₂ gram	31,94	32,95	32,42	35,54	38,64	37,77	35,36	33,63
Berat cawan + tanah kering	W ₃ gram	27,13	27,88	27,79	29,95	32,28	31,54	29,71	28,40
Berat air	A = W ₂ - W ₃	4,81	5,07	4,63	5,59	6,36	6,23	5,65	5,17
Berat tanah kering	B = W ₂ - W ₁	12,88	13,60	13,04	15,20	18,06	16,72	14,81	13,55
Kadar air	$w = \frac{A}{B} \times 100\%$	37,34	37,27	35,50	36,77	35,21	37,26	38,14	38,15
Batas cair (LL) = $w \left(\frac{N}{25} \right)^{0,121}$		%	38,89	38,82	36,58	37,89	35,70	37,77	37,95
Batas cair rata-rata		%	38,86		37,23		36,74		37,96
Batas cair dari hitungan rumus		%	37,70						

Tabel 18. Hasil Pengujian Batas Cair Tanah

Dari hasil pengujian di laboratorium, batas cair tanah lempung dari Desa Pare, Kecamatan Godean, Kabupaten Sleman, Yogyakarta diperoleh hasil batas cair

sebesar 37,70%. Sementara untuk mencari nilai batas cair menggunakan grafik dapat dicari dengan menarik garis lurus pada pukulan ke 25 yaitu sebagai berikut:.



Gambar 41. Grafik Batas Cair

Dari grafik batas cair diperoleh hasil batas cair sebesar 37,34%.



**LABORATORIUM MEKANIKA TANAH
PENDIDIKAN TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA**

Alamat: Kampus Karangmalang, Yogyakarta 552811
Telp. (0274) 586168 psw 276.289.292 (0274) 586734 fax (0274) 586734

DATA HASIL PENGUJIAN

Judul Pengujian : Pemeriksaan Batas Plastis (SL)

No. Cawan timbang		1	2
Berat cawan kosong	W_1 gram	13,42	10,29
Berat cawan + tanah basah	W_2 gram	38,26	35,00
Berat cawan + tanah kering	W_3 gram	33,95	30,85
Berat air	$A = W_2 - W_3$	4,31	4,15
Berat tanah kering	$B = W_2 - W_1$	20,53	20,56
Kadar air	$w = \frac{A}{B} \times 100\%$	20,99	20,18
Batas Plastis (PL)		20,59 %	

Tabel 19. Hasil Pengujian Batas Plastis

Dari hasil pengujian di laboratorium, batas plastis tanah lempung Desa Punukan, Kecamatan Wates, Kabupaten Kulon Progo, Yogyakarta diperoleh hasil batas plastis sebesar 20,59%.



LABORATORIUM MEKANIKA TANAH
PENDIDIKAN TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA

Alamat: Kampus Karangmalang, Yogyakarta 552811
Telp. (0274) 586168 psw 276.289.292 (0274) 586734 fax (0274) 586734

DATA HASIL PENGUJIAN

Judul Pengujian : Pemeriksaan Batas Susut dan Faktor-Faktor Susut Tanah

A. Kadar air tanah basah

No. Cawan susut		1 (kecil)	2 (besar)
Berat cawan susut	W_1 gram	37,6	10
Berat cawan susut + tanah basah	W_2 gram	71,94	35,65
Berat cawan + tanah kering	W_3 gram	59,55	26,32
Berat tanah kering	$A = W_3 - W_1$ gram	12,39	9,33
Berat air	$B = W_2 - W_3$ gram	21,95	16,32
Kadar air tanah	$w = \frac{A}{B} \times 100\%$	56,45 %	57,17 %
Kadar air tanah (w)		56,81 %	

Tabel 20. Hasil Pemeriksaan Kadar Air Pengujian Batas Susut

B. Berat jenis tanah sudah diketahui

Berat jenis butir/tanah: $G = 2,25$

No. Cawan susut		1	2
Berat cawan + tanah kering	W_1 gram	59,55	26,32
Berat cawan susut	W_2 gram	37,6	10
Berat tanah kering	$W_0 = W_1 - W_2$ gram	21,95	16,17
Berat air raksa	W_3 gram	148,47	120,09
Volume tanah basah (volume cawan susut)	$V_0 = \frac{W_3}{13,6} \text{ cm}^3$	10,92	8,83
Berat air raksa tumpahan	W_4 gram	285,79	210,65
Volume tanah kering	$V = \frac{W_4}{13,6} \text{ cm}^3$	21,01	15,49
Batas susut tanah	$SL = \left(\frac{V_0}{V} - \frac{1}{G} \right) \times 100\%$	5,29 %	9,66 %
Batas susut tanah rata-rata		7,48 %	

Tabel 21. Hasil Pengujian Batas Susut



LABORATORIUM MEKANIKA TANAH
PENDIDIKAN TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA

Alamat: Kampus Karangmalang, Yogyakarta 552811
Telp. (0274) 586168 psw 276.289.292 (0274) 586734 fax (0274) 586734

DATA HASIL PENGUJIAN

Judul Pengujian : Pemeriksaan Distribusi Ukuran Butir Tanah

A. Pemeriksaan Kadar Air

No. Cawan timbang		1	2
Berat cawan kosong	W_1 gram	14,86	13,43
Berat cawan + tanah basah	W_2 gram	45	42,12
Berat cawan + tanah kering	W_3 gram	44,66	41,88
Berat air	$A = W_2 - W_3$	0,34	0,24
Berat tanah kering	$B = W_3 - W_1$	29,80	28,45
Kadar air	$w = \frac{A}{B} \times 100\%$	1,14	0,84
Kadar air rata-rata (w)		0,99 %	

Tabel 22. Hasil Pemeriksaan Kadar Air Pengujian Distribusi Ukuran Butir

B. Berat Tanah

Berat total contoh tanah basah yang akan diperiksa	$B_0 = 80$ gram
Kadar air contoh tanah	$w = 0,99$ %
Berat total contoh tanah kering oven yang diperiksa	$W = \frac{B_0}{1 + w} = 79,21$ gram
Berat total contoh tanah kering oven yang berdiameter > 0,075 mm	$B_1 = W - B_2 = 32,71$ gram
Berat tanah berdiameter < 0,075	$B_2 = 46,5$ gram

Tabel 23. Hasil Pemeriksaan Tanah Pengujian Distribusi Ukuran Butir

C. Analisa Endapan (Pengujian Hidrometer)

Tipe hidrometer		151 H / 152 H				Berat total tanah yang diawali pada pemeriksaan pengendapan W = 79,21														
Koreksi meniskus hidrometer		m = 1,0				Gram														
Berat jenis tanah		G = 2,25				Untuk hidrometer 151 H ; K1														
Koreksi hidrometer 152 H (tabel 6.)		α = 1,09				Untuk hidrometer 152 H ; K2														
Reagen		Na ₂ SiO ₃ / NaPO ₃				$= \left(\frac{100}{W'} \times \frac{G}{G-1} \right)$														
Banyak reagen	 ml/gram				$= \frac{\alpha}{W} \times 100$ = 1,38														
Tanggal	Waktu T (menit)	Pembacaan hidrometer dalam suspensi R1	Pembacaan hidrometer dalam cairan R2	Temperatur (°C)		Pembacaan hidrometer terkoreksi minikus R=R1+m	Kedalaman *) L (cm)	Konstanta **) K	Diameter butir D = $K\sqrt{\frac{L}{T}}$ (mm)	Pembacaan hidrometer terkoreksi R=R1+R2	Persen berat lebih kecil **) (%)									
				t ₁	t ₂															
				2	25							-1	26,2	26,2	26	12	0,01462	0,035812	26	35,78
				5	23							0	26,5	26,5	24	12,4	0,01466	0,023087	23	31,65
				30	19							0	26,5	26,5	20	13	0,01466	0,009650	19	26,14
				60	18							1	26,9	26,9	19	13,2	0,01472	0,006904	17	23,39
				250	11							-1	28,8	28,8	12	14,3	0,01451	0,003470	12	16,51
				1440	4							-2	26,9	26,9	5	15,5	0,01472	0,001527	6	8,26
*) Dibaca dari tabel (tabel 6)						***) Dihitung berdasarkan rumus														
**) Dibaca dari tabel (tabel 8) berdasarkan t dan G _s						- Untuk 151 H : P = K1 (R'-1) - Untuk 152 H : P = K2 . R														

Tabel 24. Hasil Analisa Endapan Pengujian Hidrometer

D. Data Saringan Butir Pasir (Setelah Analisa Pengendapan)

Tabel 25. Hasil Analisa Saringan Setelah Pengujian Pengendapan

Saringan	Ukuran butir (mm)	Berat tertahan saringan (gram)	Berat lewat saringan (gram)	Persentase lewat saringan $\frac{e}{W} \times 100\%$
No. 200	0,075	$b_6 = 2,77$	$c_6 = 46,50$	58,70 %
No. 140	0,108	$b_5 = 5,67$	$c_5 = 49,27$	62,19 %
No. 60	0,250	$b_4 = 4,42$	$c_4 = 54,94$	69,35 %
No. 40	0,425	$b_3 = 14,85$	$c_3 = 59,36$	74,93 %
No. 20	0,850	$b_2 = 5,01$	$c_2 = 74,21$	93,68 %
No. 10	2,000	$b_1 = 0$	$c_1 = 79,22$	100 %
Berat butiran lebih kecil 0,075 mm		$B_2 = 46,50$ gram		
Jumlah		$W = 32,72$ gram		

$$c_6 = B_2$$

$$c_5 = c_6 + b_6$$

$$c_4 = c_5 + b_5$$

$$c_3 = c_4 + b_4$$

$$c_2 = c_3 + b_3$$

$$c_1 = c_2 + b_2$$



LABORATORIUM MEKANIKA TANAH
PENDIDIKAN TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA

Alamat: Kampus Karangmalang, Yogyakarta 552811
Telp. (0274) 586168 psw 276.289.292 (0274) 586734 fax (0274) 586734

DATA HASIL PENGUJIAN

Judul Pengujian : Pemadatan Tanah Standar

A. Kebutuhan Penambahan Air Untuk Setiap Percobaan Pemadatan Standar

No. Percobaan		1	2	3	4	5
Berat tanah yang dibutuhkan	(gram)	2500	2500	2500	2500	2500
Jumlah air yang dibutuhkan	(ml)	150	250	350	450	550

Tabel 26. Kebutuhan Tambahan Air untuk Setiap Percobaan Pemadatan Standar

B. Data Ukuran Silinder dan Jumlah Pukulan pada Pengujian Pemadatan Standar

Diameter	10,33 cm
Tinggi	11,60 cm
Volume (V)	972,18 cm
Barat penumbuk	4,246 kg
Jumlah lapisan	3 lapis
Jumlah tumbukan	25 kali

Tabel 27. Data Ukuran Silinder dan Jumlah Pukulan Pengujian Pemadatan Standar

C. Data Hasil Percobaan dan Hitung Nilai γ_b Pemadatan Standar

Percobaan No.	1	2	3	4	5	
Berat silinder + tanah padat	gram	3250	3387	3387	3547	3520
Berat silinder	gram	1651	1651	1651	1651	1651
Berat tanah padat (A)	gram	1599	1736	1836	1896	1869
Berat Volume basah $\left(\gamma_b = \frac{A}{V}\right)$	gr/cm ³	1,64	1,78	1,89	1,95	1,92

Tabel 28. Data Hasil Percobaan dan Hitung Nilai γ_b Pemadatan Standar

D. Data Hasil Percobaan dan Hitungan Nilai γ_b Pemadatan Standar

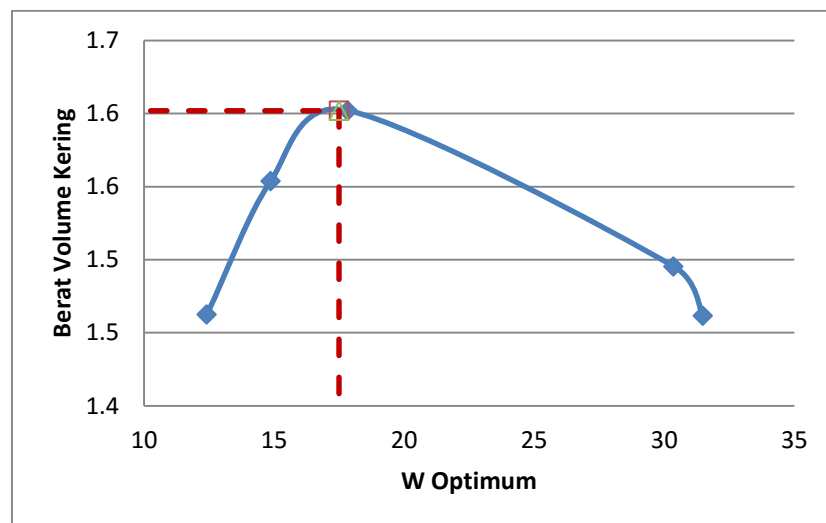
No. Cawan timbang		1	2	1	2	1	2	1	2		
Berat cawan kosong	W ₁ (gram)	10.25	14.56	14.54	14.83	14.52	14.94	14.87	14.94	14.85	15.11
Berat cawan + tanah basah	W ₂ (gram)	36.46	32.05	36.86	37.20	44.20	36.03	39.44	39.35	42.44	39.42
Berat cawan + tanah kering	W ₃ (gram)	33.70	30.03	34.22	34.06	39.72	32.83	33.43	33.96	36.03	33.43
Berat air	A = W ₂ – W ₃	2.76	2.02	2.64	3.14	4.48	3.20	6.01	5.39	6.41	5.99
Berat tanah kering	B = W ₃ – W ₁	23.45	15.47	19.68	19.23	25.20	17.89	18.56	19.02	21.18	18.32
Kadar air	w = $\frac{A}{B} \times 100\%$	11.77	13.06	13.41	16.33	17.78	17.89	32.38	28.34	30.26	32.70
Kadar air	(w) %	12.41		14.87		17.83		30.36		31.48	
Berat volume kering	$\gamma_d = \frac{\gamma}{1+w}$ (gr/cm ³)	1.46		1.55		1.60		1.50		1.46	

Tabel 29. Data Hasil Percobaan dan Hitungan Nilai γ_b Pemadatan Standar

Berikut ini data-data dan hasil hitungan yang diperoleh dari pengujian pemadatan standar.

Percobaan No.		1	2	3	4	5
Kadar air rata-rata	%	12,41	14,87	17,83	30,36	31,48
Berat volume basah (γ_b)	gr/cm ³	1,64	1,78	1,89	1,95	1,92
Berat volume kering (γ_d)	gr/cm ³	1.46	1.55	1.603	1.50	1.46

Tabel 30. Data Hasil Hitungan Nilai γ_b dan γ_d Pemadatan Standar



Gambar 42. Grafik Hubungan Kadar Air dengan γ_d Pemadatan Standar

Dari grafik hubungan kadar air dengan γ_d pemadatan standar didapatkan kadar air optimum pada pengujian standar yaitu sebesar 17,5% dengan nilai γ_d (berat volume kering) sebesar 1,5 gr/cm³ dan nilai γ_b (berat volume basah) sebesar 1,8 gr/cm³.



DATA HASIL PENGUJIAN

Judul Pengujian : Pengujian Pengembangan Tanah Drain Besar Ø4,75

A. Data Ukuran Silinder dan Penumbuk

Berat Penumbuk	kg	4,542
Jumlah Lapisan	lps	3
Jml. Tumbukan Tiap Lapis	kali	56
Diameter Silinder	cm	15,2
Tinggi Silinder	cm	17,8
Volume Silinder	cm ³	3231,26
Berat Silinder	gram	4171
Berat Silinder + Tanah	gram	9321
Berat Plat Penekan	gram	3344
Berat Silinder + Tanah Jenuh Air	gram	9800

Tabel 31. Data Ukuran Silinder dan Penumbuk untuk Drain Besar

B. Menentukan Kadar Air Awal (Setelah Pemadatan)

No. Cawan timbang		1	2
Berat cawan kosong	W_1 gram	14.52	15.36
Berat cawan + tanah basah	W_2 gram	28.48	28.34
Berat cawan + tanah kering	W_3 gram	26.23	26.24
Berat air	$A = W_2 - W_3$	2.25	2.1
Berat tanah kering	$B = W_3 - W_1$	11.71	10.88
Kadar air	$w = \frac{A}{B} \times 100\%$	19.214	19.301
Kadar air rata-rata		19.258 %	

Tabel 32. Hasil Kadar Air Awal untuk Drain Besar

C. Perendaman dan Pengembangan

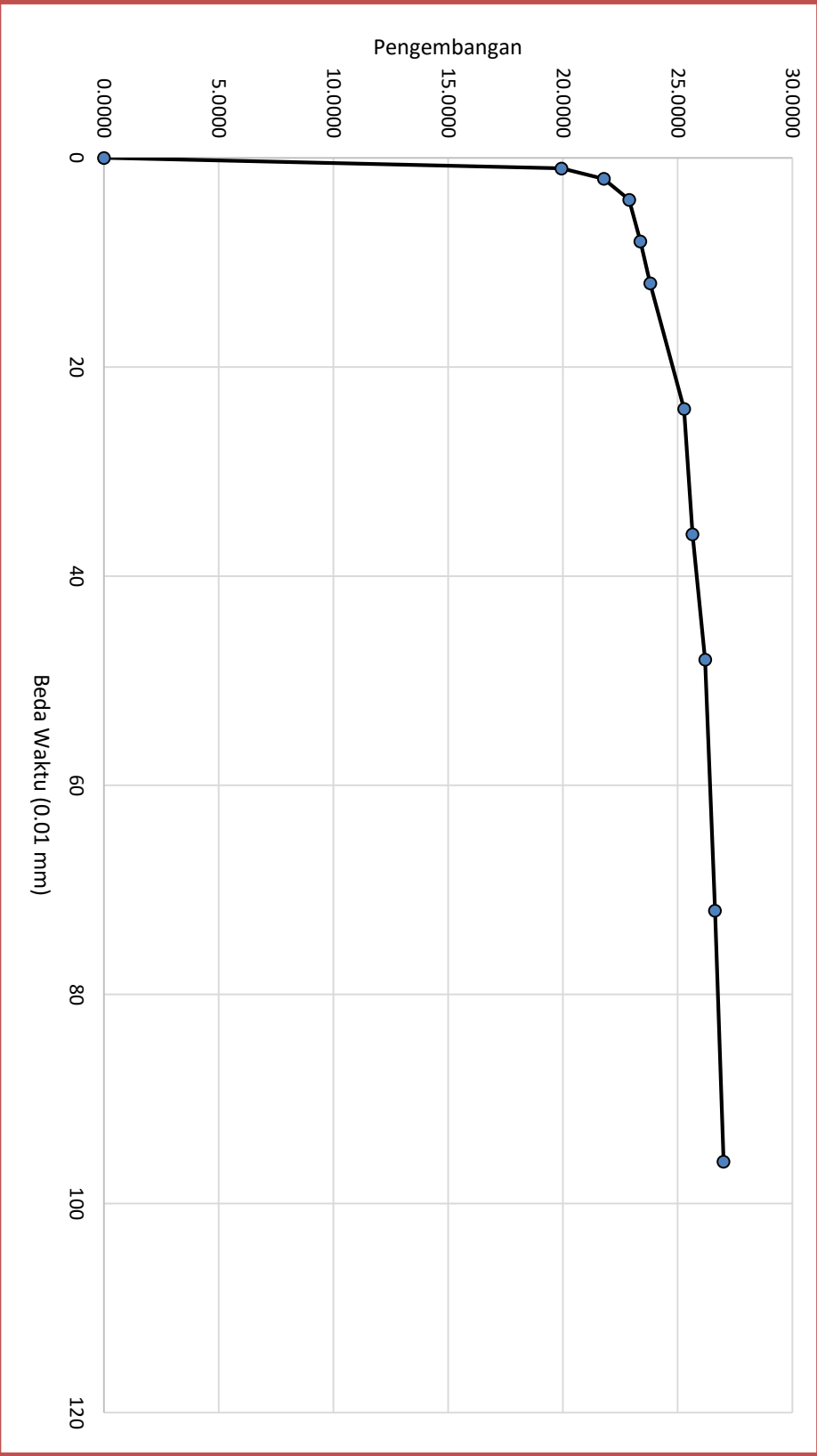
Beda Waktu (jam)	Pembacaan Arloji (mm)	S (mm)	Pengembangan (%) $\frac{S}{H} \times 100\%$
0	1.00	0.00	0.0000
1	4.25	3.25	19.9387
2	4.55	3.55	21.7791
4	4.73	3.73	22.8834
24	4.81	3.81	23.3742
48	4.88	3.88	23.8037
72	5.12	4.12	25.2761
96	5.18	4.18	25.6442

Tabel. 33. Data Hasil Pengembangan Tanah (*Swelling*) untuk Drain Besar

D. Kadar Air Setelah Uji Pengembangan

No. Cawan timbang		1	2
Berat cawan kosong	W ₁ gram	14.21	14.54
Berat cawan + tanah basah	W ₂ gram	25.47	31.19
Berat cawan + tanah kering	W ₃ gram	22.82	27.54
Berat air	A = W ₂ - W ₃	2.65	3.65
Berat tanah kering	B = W ₃ - W ₁	8.61	13
Kadar air	$w = \frac{A}{B} \times 100\%$	30.778	28.077
Kadar air rata-rata		29.428	

Tabel 34. Data Hasil Kadar Air Setelah Perendaman untuk Drain Besar



Gambar 43. Grafik Pengembangan Tanah untuk Drain Besar



**LABORATORIUM MEKANIKA TANAH
PENDIDIKAN TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
FAKULTAS TEKNIK**

UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA

Alamat: Kampus Karangmalang, Yogyakarta 552811
Telp. (0274) 586168 psw 276.289.292 (0274) 586734 fax (0274) 586734

DATA HASIL PENGUJIAN

Judul Pengujian : Pengujian Pengembangan Tanah Drain Kecil Ø2.54

A. Data Ukuran Silinder dan Penumbuk

Berat Penumbuk	kg	4,542
Jumlah Lapisan	lps	3
Jml. Tumbukan Tiap Lapis		56
Diameter Silinder	cm	15,2
Tinggi Silinder	cm	17,8
Volume Silinder	cm ³	3231,26
Berat Silinder	gram	4155
Berat Silinder + Tanah	gram	9290
Berat Plat Penekan	gram	3310
Berat Silinder + Tanah Jenuh Air	gram	9736

Tabel 35. Data Ukuran Silinder dan Penumbuk untuk Drain Kecil

B. Menentukan Kadar Air Awal (Setelah Pemadatan)

No. Cawan timbang		1	2
Berat cawan kosong	W_1 gram	8.96	8.82
Berat cawan + tanah basah	W_2 gram	28.04	28.71
Berat cawan + tanah kering	W_3 gram	25.12	25.49
Berat air	$A = W_2 - W_3$	2.92	3.22
Berat tanah kering	$B = W_3 - W_1$	16.16	16.67
Kadar air	$w = \frac{A}{B} \times 100\%$	18.069	19.316
Kadar air rata-rata		18.693 %	

Tabel 36. Data Hasil Kadar Air Awal untuk Drain Kecil

C. Perendaman dan Pengembangan

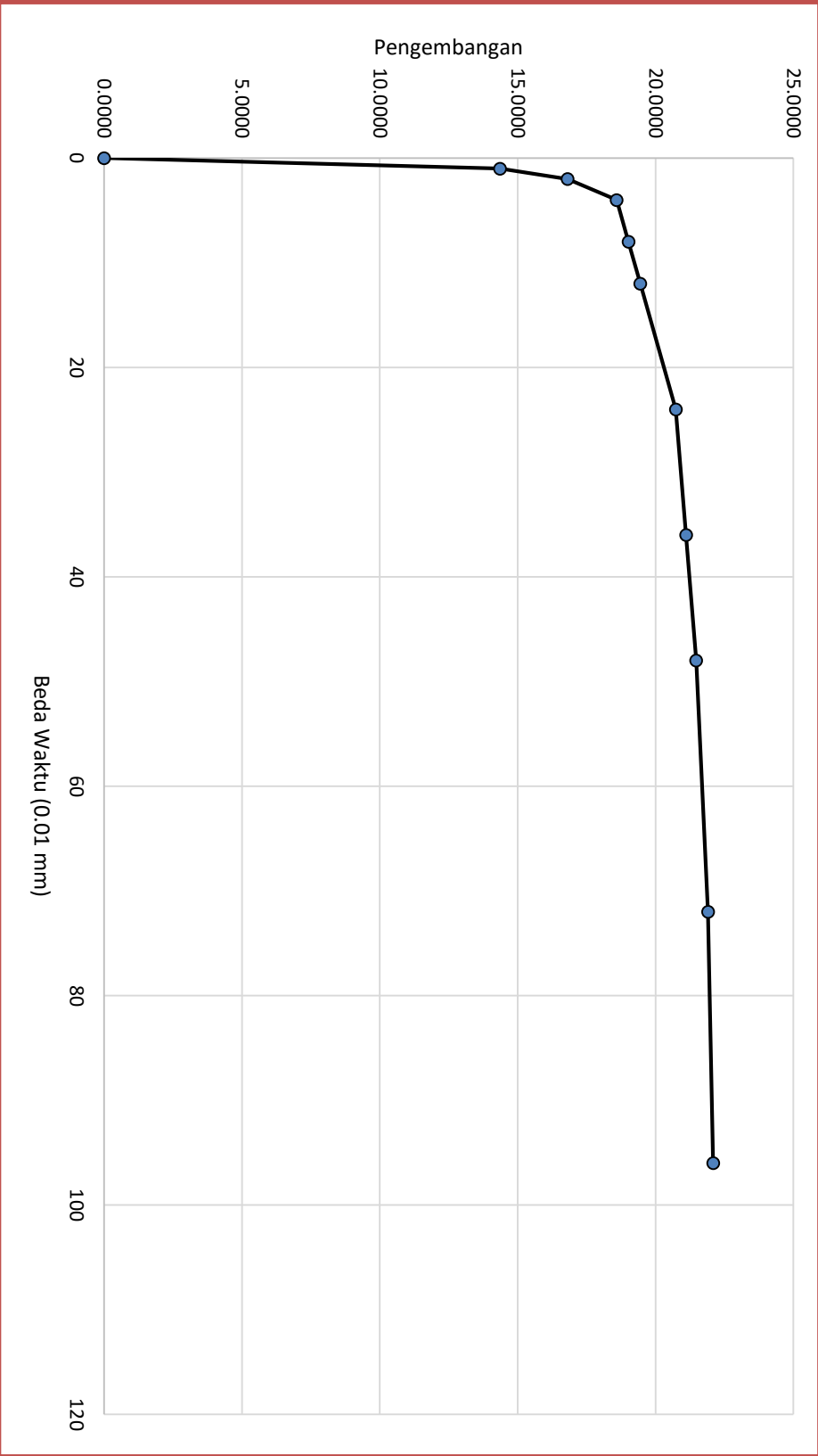
Beda Waktu (jam)	Pembacaan Arloji (mm)	S (mm)	Pengembangan (%) $\frac{S}{H} \times 100\%$
0	3.00	0.00	0.0000
1	5.34	2.34	14.3558
2	5.74	2.74	16.8098
4	6.03	3.03	18.5890
24	6.10	3.10	19.0184
48	6.17	3.17	19.4479
72	6.38	3.38	20.7362
96	6.44	3.44	21.1043

Tabel. 37. Data Hasil Pengembangan Tanah (*Swelling*) untuk Drain Kecil

D. Kadar Air Setelah Uji Pengembangan

No. Cawan timbang		1	2
Berat cawan kosong	W_1 gram	11.07	13.52
Berat cawan + tanah basah	W_2 gram	22.07	21.67
Berat cawan + tanah kering	W_3 gram	19.93	20.06
Berat air	$A = W_2 - W_3$	2.14	1.61
Berat tanah kering	$B = W_3 - W_1$	8.86	6.54
Kadar air	$w = \frac{A}{B} \times 100\%$	24.153	24.618
Kadar air rata-rata		24.386	

Tabel 38. Data Hasil Kadar Air Setelah Perendaman untuk Drain Kecil



Gambar 44. Grafik Pengembangan Tanah untuk Drain Kecil



**LABORATORIUM MEKANIKA TANAH
PENDIDIKAN TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
FAKULTAS TEKNIK**

UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA

Alamat: Kampus Karangmalang, Yogyakarta 552811
Telp. (0274) 586168 psw 276.289.292 (0274) 586734 fax (0274) 586734

DATA HASIL PENGUJIAN

Judul Pengujian : Pengujian Pengembangan Tanah Tanpa Drain

A. Data Ukuran Silinder dan Penumbuk

Berat Penumbuk	kg	4,542
Jumlah Lapisan	lps	3
Jml. Tumbukan Tiap Lapis		56
Diameter Silinder	cm	15,2
Tinggi Silinder	cm	17,8
Volume Silinder	cm ³	3231.26
Berat Silinder	gram	4726
Berat Silinder + Tanah	gram	9773
Berat Plat Penekan	gram	3411
Berat Silinder + Tanah Jenuh Air	gram	10244

Tabel 39. Data Ukuran Silinder dan Penumbuk untuk Tanpa Drain

B. Menentukan Kadar Air Awal (Setelah Pemadatan)

No. Cawan timbang		1	2
Berat cawan kosong	W_1 gram	11.07	10.22
Berat cawan + tanah basah	W_2 gram	30.36	38.72
Berat cawan + tanah kering	W_3 gram	29.86	34.32
Berat air	$A = W_2 - W_3$	0.5	4.4
Berat tanah kering	$B = W_3 - W_1$	18.79	24.1
Kadar air	$w = \frac{A}{B} \times 100\%$	2.661	18.257
Kadar air rata-rata		10.459 %	

Tabel 40. Data Hasil Kadar Air Awal untuk Tanpa Drain

C. Perendaman dan Pengembangan

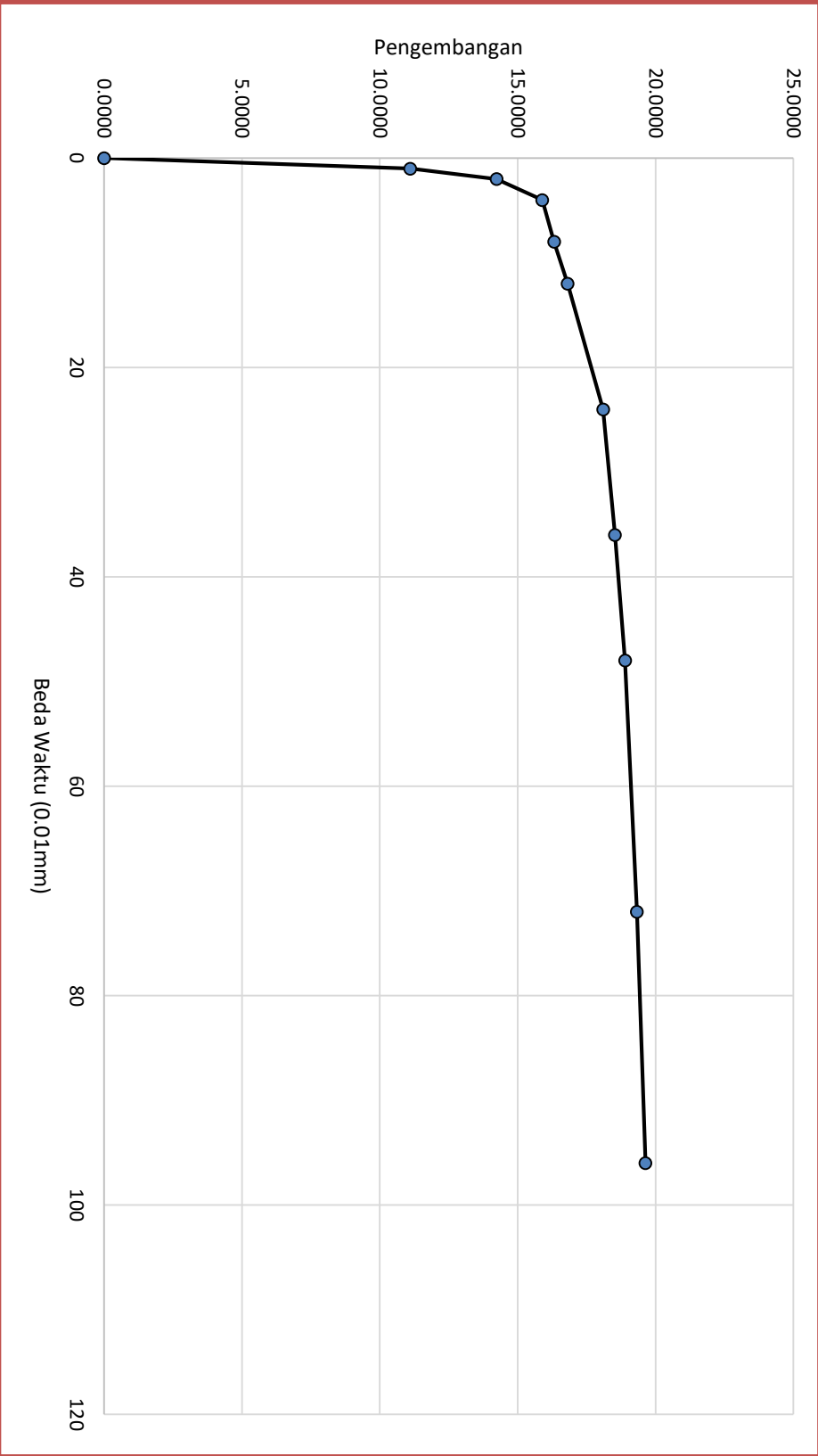
Beda Waktu (jam)	Pembacaan Arloji (mm)	S (mm)	Pengembangan (%) $\frac{S}{H} \times 100\%$
0	5.00	0.00	0.0000
1	6.81	1.81	11.1043
2	7.32	2.32	14.2331
4	7.59	2.59	15.8896
24	7.66	2.95	16.3190
48	7.74	3.08	16.8098
72	7.95	3.15	18.0982
96	8.02	3.20	18.5276

Tabel. 41. Data Hasil Pengembangan Tanah (*Swelling*) untuk Tanpa Drain

D. Kadar Air Setelah Uji Pengembangan

No. Cawan timbang		1	2
Berat cawan kosong	W_1 gram	11.07	13.52
Berat cawan + tanah basah	W_2 gram	22.07	21.67
Berat cawan + tanah kering	W_3 gram	19.93	20.06
Berat air	$A = W_2 - W_3$	2.14	1.61
Berat tanah kering	$B = W_3 - W_1$	8.86	6.54
Kadar air	$w = \frac{A}{B} \times 100\%$	24.153	24.618
Kadar air rata-rata		24.386%	

Tabel 42. Data Hasil Kadar Air Setelah Perendaman untuk Tanpa Drain



Gambar 45. Grafik Pengembangan Tanah Tanpa Drain



**LABORATORIUM MEKANIKA TANAH
PENDIDIKAN TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
FAKULTAS TEKNIK**

UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA

Alamat: Kampus Karangmalang, Yogyakarta 552811
Telp. (0274) 586168 psw 276.289.292 (0274) 586734 fax (0274) 586734

DATA HASIL PENGUJIAN

Judul Pengujian : Pengujian Konsolidasi

A. Data Hasil Penurunan Tanah Uji Konsolidasi

Waktu Penurunan (menit)		Penurunan (mm)				
t	\sqrt{t}	0.5	1	2	4	0.25
0	0	11	7.91	7.44	6.76	5.93
0.09	0.3	9.41	7.78	7.33	6.59	
0.25	0.5	9.4	7.77	7.31	6.56	
0.49	0.7	9.37	7.77	7.3	6.54	
1	1	9.34	7.76	7.28	6.5	
2.25	1.5	9.28	7.74	7.24	6.45	
4	2	9.21	7.73	7.21	6.4	
6.25	2.5	9.14	7.71	7.17	6.35	
9	3	9.08	7.69	7.13	6.31	
12.25	3.5	9.01	7.67	7.07	6.26	
16	4	8.96	7.65	7.05	6.22	
20.25	4.5	8.9	7.63	7.02	6.18	
25	5	8.85	7.61	6.99	6.15	
36	6	8.74	7.58	6.93	6.1	
49	7	8.65	7.56	6.9	6.06	
64	8	8.56	7.54	6.87	6.03	
81	9	8.5	7.52	6.85	6.02	
100	10	8.47	7.51	6.84	6	
121	11	8.44	7.5	6.82	6	
144	12	8.42	7.49	6.81	5.99	6.2
225	15	8.39	7.48	6.79	5.97	
400	20	8.36	7.46	6.78	5.96	
1440	38	7.91	7.44	6.76	5.93	

Tabel 43. Data Hasil Penurunan Tanah Uji Konsolidasi

B. Data Kadar Air Tanah Saat Konsolidasi

No. Cawan timbang		1	2
Berat cawan kosong	W_1 gram	14.25	14.62
Berat cawan + tanah basah	W_2 gram	29.67	27.59
Berat cawan + tanah kering	W_3 gram	25.83	24.34
Berat air	$A = W_2 - W_3$	3.84	3.25
Berat tanah kering	$B = W_3 - W_1$	11.58	9.72
Kadar air	$w = \frac{A}{B} \times 100\%$	33.161	33.436
Kadar air rata-rata (w)		33.30%	

Tabel 44. Data Hasil Kadar Air Tanah Konsolidasi

C. Data-Data Yang Diperoleh Saat Pengujian

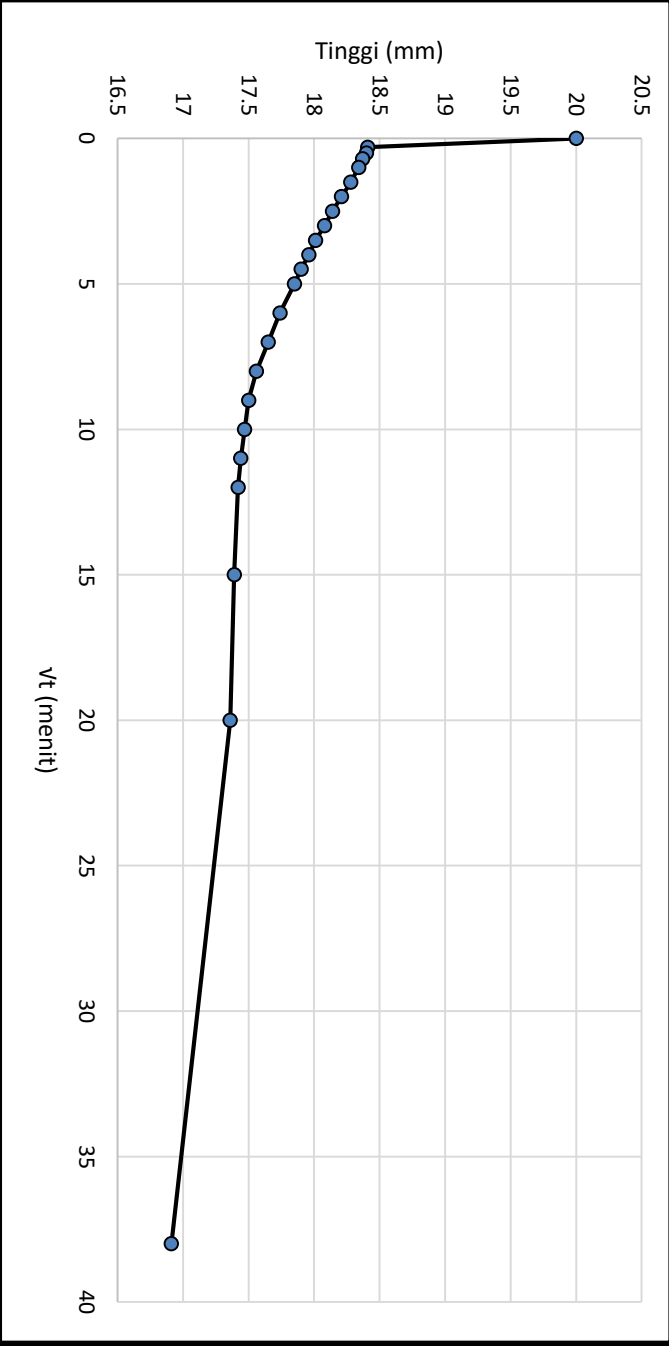
Berat tanah basah+cincin	W_1 (gram)	189
Berat cincin	W_2 (gram)	69,74
Berat tanah basah	$W_0 = W_1 - W_2$ (gram)	119,26
Berat tanah kering	$W_k = \frac{W_0}{1+w}$ (gram)	89,47
Kadar air (w)		33,30%
Berat isi	$\gamma = \frac{W_k}{V}$ (gram/cm ³)	1,408
Tinggi (H_0)	(mm)	20
Berat jenis (G)		2,25
Hs	$H_s = \frac{W_k}{G \times A}$ (mm)	12,52
Luas cincin	$A = \frac{1}{4} \pi d^2$ (cm ²)	31,75
Volume	$V = A \times H_0$ (cm ³)	63,51
Angka pori	$e_0 = \frac{H_0 - H_s}{H_s}$	0,597

Tabel 45. Data yang Diperoleh saat Pengujian Konsolidasi

D. Tabel t_{90} Untuk Tegangan $0,5 \text{ kg/cm}^2$

t	\sqrt{t}	Penurunan (mm)	Δh (mm)	Tinggi (mm) $H_0 - \Delta h$
0	0	11	0	20
0.09	0.3	9.41	1.59	18.41
0.25	0.5	9.4	1.6	18.4
0.49	0.7	9.37	1.63	18.37
1	1	9.34	1.66	18.34
2.25	1.5	9.28	1.72	18.28
4	2	9.21	1.79	18.21
6.25	2.5	9.14	1.86	18.14
9	3	9.08	1.92	18.08
12.25	3.5	9.01	1.99	18.01
16	4	8.96	2.04	17.96
20.25	4.5	8.9	2.1	17.9
25	5	8.85	2.15	17.85
36	6	8.74	2.26	17.74
49	7	8.65	2.35	17.65
64	8	8.56	2.44	17.56
81	9	8.5	2.5	17.5
100	10	8.47	2.53	17.47
121	11	8.44	2.56	17.44
144	12	8.42	2.58	17.42
225	15	8.39	2.61	17.39
400	20	8.36	2.64	17.36
1440	38	7.91	3.09	16.91

Tabel 46. Data Perhitungan Tinggi Tanah pada Tegangan $0,5 \text{ kg/cm}^2$



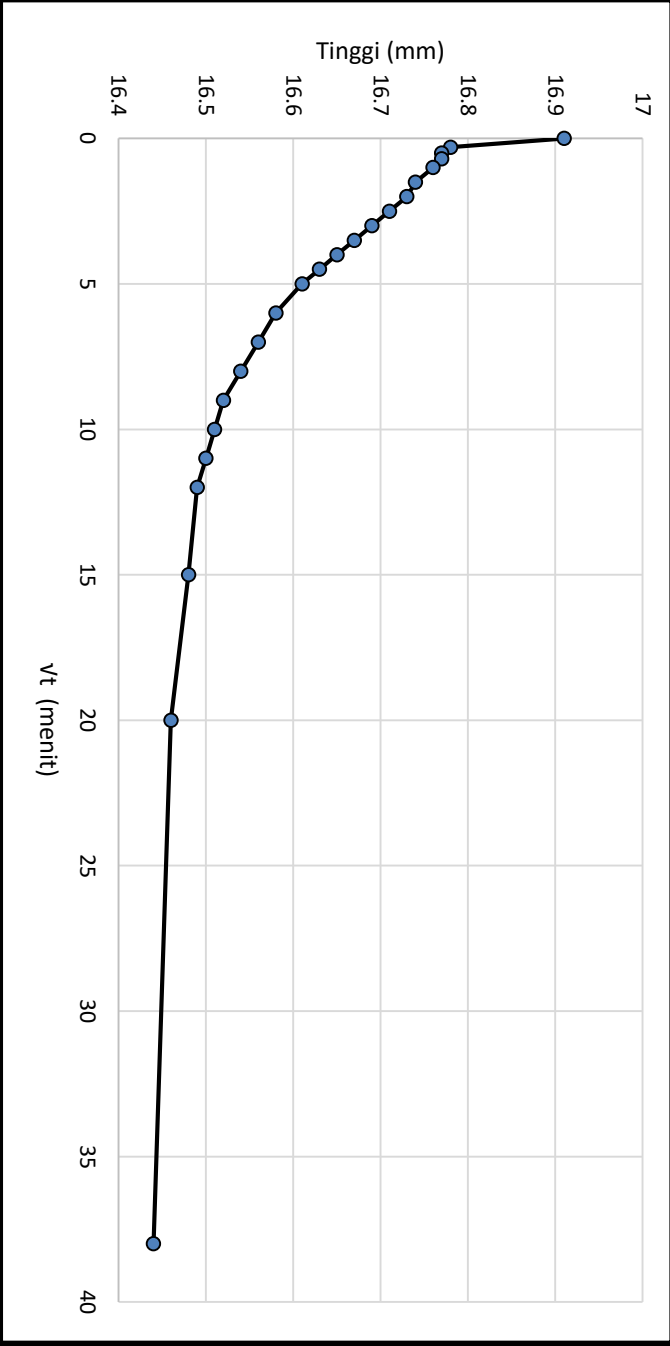
Gambar 46. Grafik Konsolidasi $\sqrt{t_{90}}$ Untuk Tegangan 0,5 kg/cm²

$a =$	16
$b = a \times 1.15 =$	18.40
$\sqrt{t_{90}} =$	9.5 $\sqrt{\text{menit}}$
$t_{90} =$	90.25 menit

E. Tabel t_{90} Untuk Tegangan 1 kg/cm^2

t	\sqrt{t}	Penurunan (mm)	Δh (mm)	Tinggi (mm) $H_0 - \Delta h$
0	0	7.91	3.09	16.91
0.09	0.3	7.78	3.22	16.78
0.25	0.5	7.77	3.23	16.77
0.49	0.7	7.77	3.23	16.77
1	1	7.76	3.24	16.76
2.25	1.5	7.74	3.26	16.74
4	2	7.73	3.27	16.73
6.25	2.5	7.71	3.29	16.71
9	3	7.69	3.31	16.69
12.25	3.5	7.67	3.33	16.67
16	4	7.65	3.35	16.65
20.25	4.5	7.63	3.37	16.63
25	5	7.61	3.39	16.61
36	6	7.58	3.42	16.58
49	7	7.56	3.44	16.56
64	8	7.54	3.46	16.54
81	9	7.52	3.48	16.52
100	10	7.51	3.49	16.51
121	11	7.5	3.5	16.5
144	12	7.49	3.51	16.49
225	15	7.48	3.52	16.48
400	20	7.46	3.54	16.46
1440	38	7.44	3.56	16.44

Tabel 47. Data Perhitungan Tinggi Tanah pada Tegangan 1 kg/cm^2



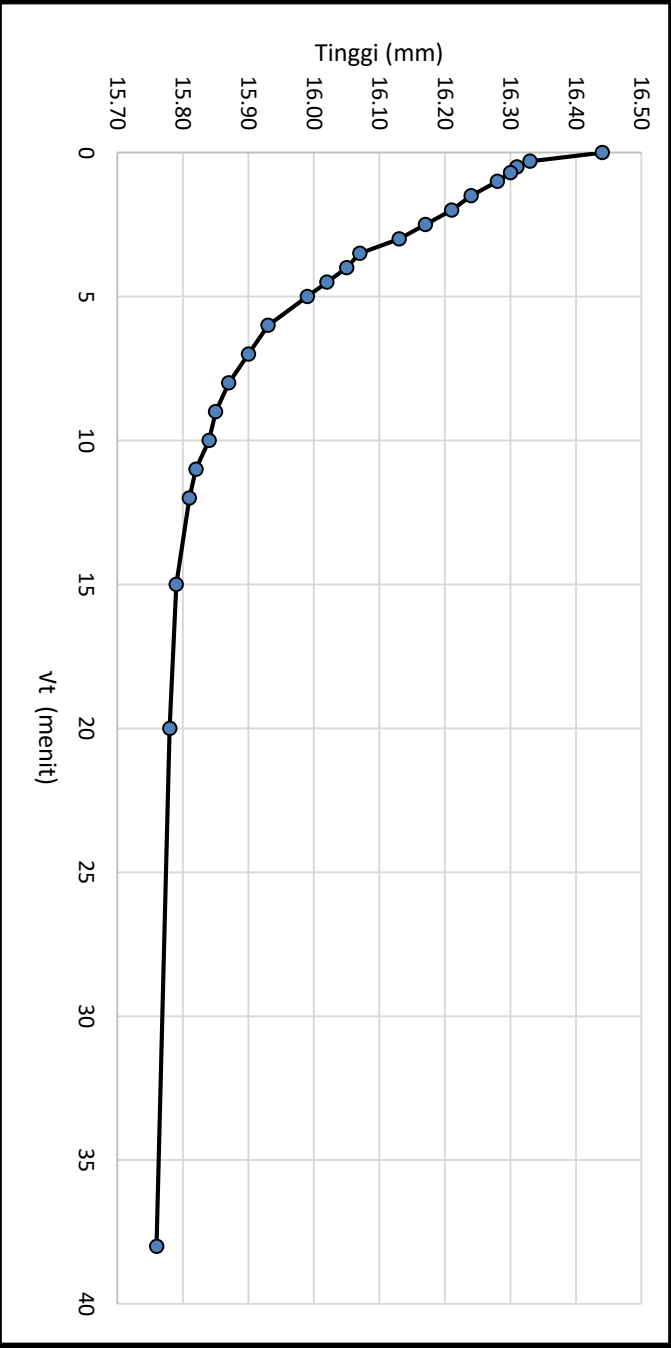
Gambar 47. Grafik Konsolidasi $\sqrt{t_{90}}$ Untuk Tegangan 1 kg/cm²

a =	11
b = a x 1.15 =	12.65
$\sqrt{t_{90}}$ =	8.5 $\sqrt{\text{menit}}$
t ₉₀ =	72.25 menit

F. Tabel t_{90} Untuk Tegangan 2 kg/cm^2

t	\sqrt{t}	Penurunan (mm)	Δh (mm)	Tinggi (mm) $H_0 - \Delta h$
0	0	7.44	3.56	16.44
0.09	0.3	7.33	3.67	16.33
0.25	0.5	7.31	3.69	16.31
0.49	0.7	7.3	3.7	16.3
1	1	7.28	3.72	16.28
2.25	1.5	7.24	3.76	16.24
4	2	7.21	3.79	16.21
6.25	2.5	7.17	3.83	16.17
9	3	7.13	3.87	16.13
12.25	3.5	7.07	3.93	16.07
16	4	7.05	3.95	16.05
20.25	4.5	7.02	3.98	16.02
25	5	6.99	4.01	15.99
36	6	6.93	4.07	15.93
49	7	6.9	4.1	15.9
64	8	6.87	4.13	15.87
81	9	6.85	4.15	15.85
100	10	6.84	4.16	15.84
121	11	6.82	4.18	15.82
144	12	6.81	4.19	15.81
225	15	6.79	4.21	15.79
400	20	6.78	4.22	15.78
1440	38	6.76	4.24	15.76

Tabel 48. Data Perhitungan Tinggi Tanah pada Tegangan 2 kg/cm^2



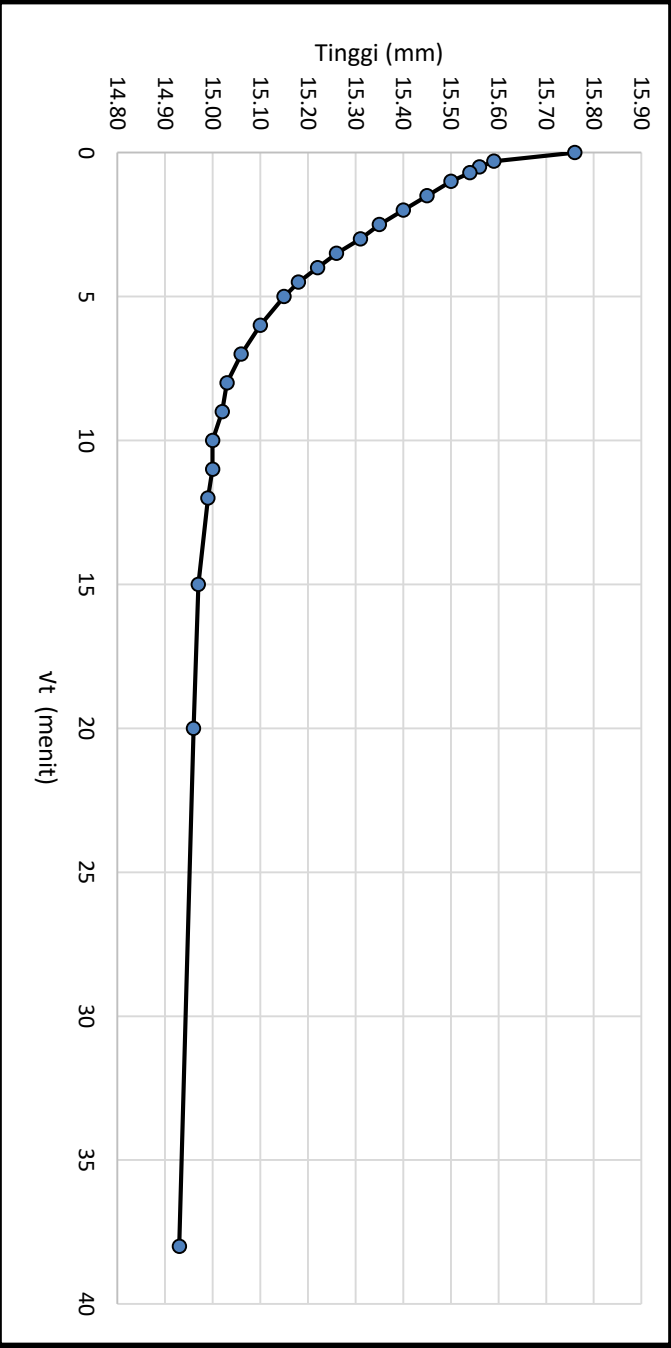
Gambar 48. Grafik Konsolidasi $\sqrt{t_{90}}$ Untuk Tegangan 2 kg/cm²

$a =$	8.8
$b = a \times 1.15 =$	10.12
$\sqrt{t_{90}} =$	7.4
$t_{90} =$	54.76 \text{ menit}

G. Tabel t_{90} Untuk Tegangan 4 kg/cm^2

t	\sqrt{t}	Penurunan (mm)	Δh (mm)	Tinggi (mm) $H_0 - \Delta h$
0	0	6.76	4.24	15.76
0.09	0.3	6.59	4.41	15.59
0.25	0.5	6.56	4.44	15.56
0.49	0.7	6.54	4.46	15.54
1	1	6.5	4.5	15.5
2.25	1.5	6.45	4.55	15.45
4	2	6.4	4.6	15.4
6.25	2.5	6.35	4.65	15.35
9	3	6.31	4.69	15.31
12.25	3.5	6.26	4.74	15.26
16	4	6.22	4.78	15.22
20.25	4.5	6.18	4.82	15.18
25	5	6.15	4.85	15.15
36	6	6.1	4.9	15.1
49	7	6.06	4.94	15.06
64	8	6.03	4.97	15.03
81	9	6.02	4.98	15.02
100	10	6	5	15
121	11	6	5	15
144	12	5.99	5.01	14.99
225	15	5.97	5.03	14.97
400	20	5.96	5.04	14.96
1440	38	5.93	5.07	14.93

Tabel 49. Data Perhitungan Tinggi Tanah pada Tegangan 4 kg/cm^2



Gambar 49. Grafik Konsolidasi $\sqrt{t_{90}}$ Untuk Tegangan 4 kg/cm²

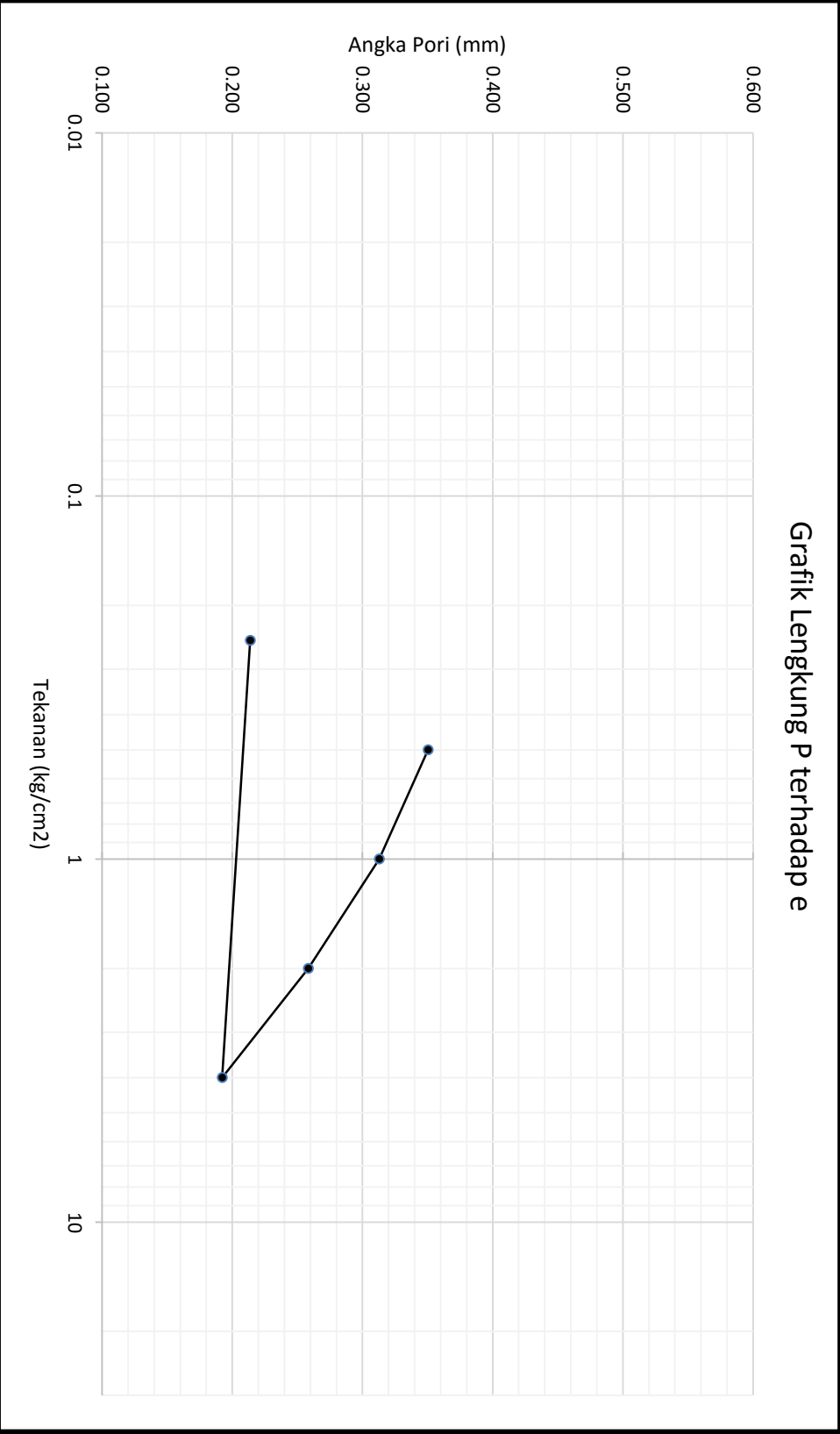
$a =$	7.8
$b = a \times 1.15 =$	8.97
$\sqrt{t_{90}} =$	5.2 $\sqrt{\text{menit}}$
$t_{90} =$	27.04 menit

H. Analisis Tabel dan Grafik $\sqrt{t_{90}}$

Tabel 50. Analisis Tabel dan Grafik $\sqrt{t_{90}}$ (Hasil Koef. Konsolidasi (C_v) dan Angka Pori)

Δh (mm)	Konsolidasi (mm) $d = \frac{1}{2}(\Delta h_1 + \Delta h_2)$	Tinggi Merata (mm)	$\sqrt{t_{90}}$ ($\sqrt{\text{menit}}$)	t_{90} (menit)	Koef. Konsolidasi (cm^2/menit) $C_v = \frac{0,848 \times d^2}{t_{90}}$ (cm^2/menit)
3.09	3.325	16.675	9.5	90.25	0.010
3.56	3.9	16.1	8.5	72.25	0.018
4.24	4.655	15.345	7.4	54.76	0.034
5.07	4.935	15.065	5.2	27.04	0.076
4.8					

Tekanan (kg/cm^2)	Pembacaan Arloji 24 jam (mm)	Δh (mm)	$A_e = \frac{\Delta h}{Hs}$	Angka Pori (mm) $e = e_0 - A_e$
0		0	0	0.597
0.5	7.91	3.09	0.2467	0.350
1	7.44	3.56	0.2843	0.313
2	6.76	4.24	0.3386	0.258
4	5.93	5.07	0.4049	0.192
0.25	6.2	4.8	0.3833	0.214



Gambar 50. Grafik Hubungan Tekanan Dengan Angka Pori

Analisis data grafik tekanan (P) terhadap angka pori (e) :

- A = (P_0 ; e_0)

$$P_0 = h \cdot \gamma = 55 \times 0,0015 = 0,0825 \text{ kg/cm}^2$$

$$e_0 = 0,597 \text{ mm}$$

Dari hasil gambar grafik diperoleh titik O (P_0 ; e_0) berada disebelah kanan

/ diluar titik A, maka tanah termasuk *Normally Consolidated*.

- B = (P_b ; e_b)

$$P_b = 2,35 \text{ kg/cm}^2 \text{ (dari grafik)}$$

$$e_b = e_0 \times 0,42$$

$$= 0,597 \times 0,42$$

$$= 0,251 \text{ mm}$$

➤ Maka nilai Cc diperoleh :

$$C_c = \frac{\Delta e}{\log \frac{P_b}{P_0}} = \frac{0,587 - 0,25}{\log \frac{2,35}{0,0825}} = 0,238$$

- E = (P_e ; e_e)

$$P_e = 0,25 \text{ kg/cm}^2 \text{ (dari grafik)}$$

$$e_e = 0,2144 \text{ mm}$$

- D = (P_d ; e_d)

$$P_d = 4 \text{ kg/cm}^2 \text{ (dari grafik)}$$

$$e_d = 0,1924 \text{ mm}$$

➤ Maka Nilai Cr diperoleh :

$$C_r = \frac{\Delta e}{\log \frac{P_d}{P_e}} = \frac{0,2144 - 0,1924}{\log \frac{4}{0,25}} = 0,0183$$

- Tekanan total akibat beban diatasnya : (menggunakan beban pada uji *vertical drains* yaitu 89 kg)

$$q = \frac{Q}{\frac{\pi}{4}d^2} = \frac{\pi 89}{\frac{\pi}{4}15,2^2} = 0,49 \text{ kg/cm}^2$$

Mencari nilai P_o : ($\gamma_b = 1,84$)

$$P_o = z \times \gamma_b = 0,0164 \text{ kg/cm}^2$$

- Jarak tengah-tengah lapisan tanah, $z = 8,9$ cm, karena $H = 17,8$ cm
 Karena $r = 7,6$ dan $x=r$, $z/r = 8,9/7,6 = 1,17$ dan $x/r = 1$. Maka I dapat dicari dengan grafik atau menggunakan rumus :

$$I = \left(1 - \frac{1}{[1 + (\frac{r}{z})^2]^{3/2}}\right)$$

Maka diperoleh nilai $I = 32\% = 0,32$ (didapat dari grafik)

$$\Delta\sigma = \Delta p = Iq = 0,32 \times 0,49 = 0,157 \text{ kg/cm}^2$$

$$P_1' = P_o + \Delta p = 0,016 + 0,157 = 0,173 \text{ kg/cm}^2$$

Karena tanah merupakan *Normally Consolidated*, maka untuk hitungan penurunan konsolidasi total digunakan rumus :

$$\begin{aligned} S_c &= \frac{C_c}{1+e_0} \times H \times \log \frac{P_o' + \Delta p}{P_o'} \\ &= \frac{0,238}{1+0,597} \times 16,3 \times \log \frac{0,173}{0,0164} \\ &= 2,49 \text{ cm} \end{aligned}$$

Diperoleh penurunan konsolidasi total, $S_c = 2,49$ cm

- Untuk menghitung waktu penurunan konsolidasi 50% dan 90% (U_{50} dan U_{90}), digunakan rumus :

$$Tv = \frac{cv \cdot t}{Ht^2}$$

Maka digunakan $H = 16,3$ cm.

Untuk derajat konsolidasi : $U = 50\%$, maka $Tv = 0,197$ dan $U = 90\%$ maka $Tv = 0,848$.

- Waktu yang dibutuhkan untuk penurunan 50% adalah :

$$\begin{aligned} t_{50} &= \frac{0.197 \times 16,3^2}{0.010 \times 365 \times 24 \times 60 \times 60} \\ &= 0,0096 \text{ tahun} \end{aligned}$$

Jadi waktu yang dibutuhkan untuk penurunan konsolidasi sebesar 50% \times 2,49 = 1,25 cm adalah 0,0096 tahun (\pm 3,5 hari)

- Waktu yang dibutuhkan untuk penurunan 90% adalah :

$$\begin{aligned} t_{90} &= \frac{0.848 \times 16,3^2}{0.010 \times 365 \times 24 \times 60 \times 60} \\ &= 0,0413 \text{ tahun} \end{aligned}$$

Jadi waktu yang dibutuhkan untuk penurunan konsolidasi sebesar 90% \times 2,49 = 2,24 cm adalah 0,0413 tahun (\pm 15 hari)



LABORATORIUM MEKANIKA TANAH
PENDIDIKAN TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA

Alamat: Kampus Karangmalang, Yogyakarta 552811
Telp. (0274) 586168 psw 276.289.292 (0274) 586734 fax (0274) 586734

DATA HASIL PENGUJIAN

Judul Pengujian : Pengujian *Vertical Drains* Untuk Drain Besar

A. Data Uji Penekanan *Vertical Drains* Untuk Drain Besar

Waktu (menit)		Penurunan (mm)
t	\sqrt{t}	
0	0	17.00
0.09	0.3	16.80
0.25	0.5	16.41
0.49	0.7	15.84
1	1	14.69
2.25	1.5	11.79
4	2	11.56
6.25	2.5	11.43
9	3	11.33
12.25	3.5	11.25
16	4	11.19
20.25	4.5	11.13
25	5	11.09
36	6	11.01
49	7	10.93
64	8	10.87
81	9	10.80
100	10	10.76
121	11	10.71
144	12	10.66
225	15	10.54
400	20	10.47
1440 (24jam)	37.95	10.10
2880 (Hari 2)	53.67	10.08
4329 (Hari 3)	65.8	10.06
5760 (Hari 4)	75.89	10.04
8640 (Hari 6)	92.95	10.03

Tabel 51. Data Hasil Penurunan Uji *Vertical Drains* untuk Drain Besar

B. Kadar Air Setelah Uji *Vertical Drains*

No. Cawan timbang		1	2
Berat cawan kosong	W_1 gram	14,63	14,23
Berat cawan + tanah basah	W_2 gram	28,04	29,22
Berat cawan + tanah kering	W_3 gram	25,49	26,64
Berat air	$A = W_2 - W_3$	2,55	2,58
Berat tanah kering	$B = W_3 - W_1$	10,86	12,41
Kadar air	$w = \frac{A}{B} \times 100\%$	23,481	20,789
Kadar air rata-rata		22,135	

Tabel 52. Kadar Air Setelah Uji *Vertical Drains* untuk Drain Besar

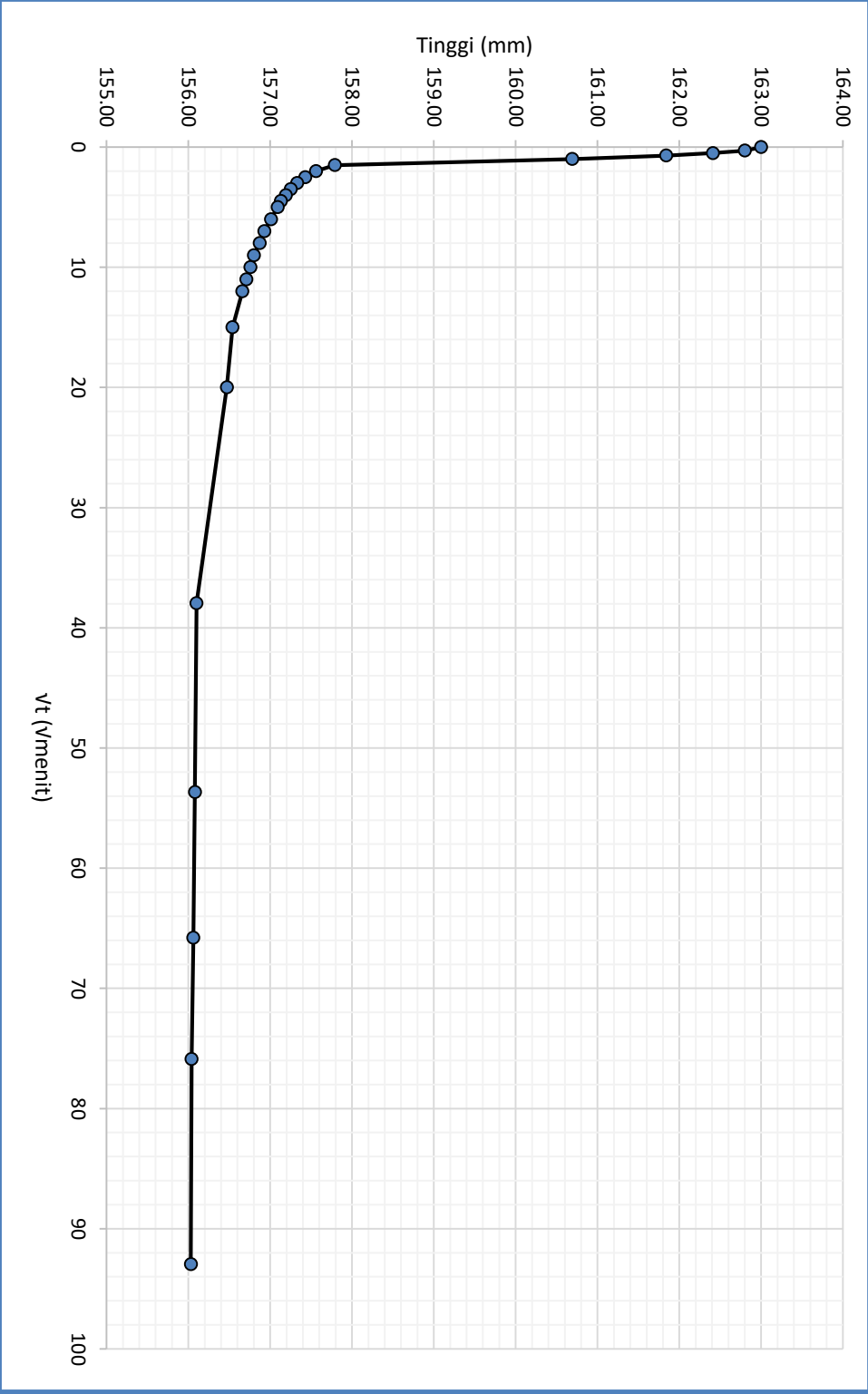
C. Data Ukuran Silinder dan Penumbuk

Berat Penumbuk	kg	4,542
Jumlah Lapisan	lps	3
Jml. Tumbukan Tiap Lapis		56
Diameter Silinder	cm	15,2
Tinggi Silinder	cm	17,8
Volume Silinder	cm^3	3231,26
Berat Silinder	gram	4171
Berat Silinder + Tanah	gram	9321
Berat Plat Penekan	gram	3344
Berat Silinder + Tanah Jenuh Air	gram	9800

Tabel 53. Data Ukuran Silinder dan Penumbuk untuk Drain Besar

Tabel 54. Tabel t_{90} untuk Drain Besar

t (menit)	\sqrt{t} (\sqrt{t} menit)	Penurunan (mm)	Δh (mm)	Tinggi Tanah (mm)
0	0	17.00	0.00	163.00
0.09	0.3	16.80	0.20	162.80
0.25	0.5	16.41	0.59	162.41
0.49	0.7	15.84	1.16	161.84
1	1	14.69	2.31	160.69
2.25	1.5	11.79	5.21	157.79
4	2	11.56	5.44	157.56
6.25	2.5	11.43	5.57	157.43
9	3	11.33	5.67	157.33
12.25	3.5	11.25	5.75	157.25
16	4	11.19	5.81	157.19
20.25	4.5	11.13	5.87	157.13
25	5	11.09	5.91	157.09
36	6	11.01	5.99	157.01
49	7	10.93	6.07	156.93
64	8	10.87	6.13	156.87
81	9	10.80	6.20	156.80
100	10	10.76	6.24	156.76
121	11	10.71	6.29	156.71
144	12	10.66	6.34	156.66
225	15	10.54	6.46	156.54
400	20	10.47	6.53	156.47
1440 (24jam)	37.95	10.10	6.90	156.10
2880 (Hari 2)	53.67	10.08	6.92	156.08
4329 (Hari 3)	65.8	10.06	6.94	156.06
5760 (Hari 4)	75.89	10.04	6.96	156.04
8640 (Hari 6)	92.95	10.03	6.97	156.03



Gambar 51. Grafik Penurunan *Vertical Drains* untuk Drain Besar

Analisa penurunan drain besar menggunakan rumus :

Data yang diperoleh :

$$q = \frac{P}{\frac{\pi}{4}d^2} = 0,49, \text{ maka menggunakan tekanan } 0,5 \text{ pada konsolidasi.}$$

$$H = 16,3 \text{ cm}$$

$$Sc = 2,49 \text{ cm}$$

$$Cv = 0,010 \text{ cm}^2/\text{menit}$$

$$d = 4,75 \text{ cm}$$

$$D = 15,2 \text{ cm}$$

- Faktor waktu untuk drainase arah vertical :

$$Tv = \frac{Cv \cdot t}{Ht^2} = \frac{0,010 \times 365}{\left(\frac{16,3}{2}\right)^2} = 0,057 \text{ t}$$

- Diameter pengaruh drainase : $D = 15,2 \text{ cm}$
- Karena $k_v = k_h$, maka $C_v = C_h$ (tanah tidak berlapis)

$$Th = \frac{Ch \cdot t}{4R^2} = \frac{0,010 \times 365}{4 \times \left(\frac{15,2}{2}\right)^2} = 0,016 \text{ t}$$

- Untuk drainase arah vertical, dengan menganggap $U_v < 60\%$, maka berlaku :

$$U_v = \sqrt{\frac{4Tv}{\pi}}$$

- Untuk drainase radial :

$$Uh = 1 - e^{-\left\{\frac{8Th}{F(n)}\right\}}$$

$$\text{Dengan } F(n) = \ln \left(\frac{D}{dw}\right) - 0,75$$

$$= \ln \left(\frac{15,2}{4,75}\right) - 0,75 = 0,413$$

Tabel 55. Data Hasil Penurunan Berdasarkan Perhitungan untuk Drain Besar

t (hari)	T_v	U_v	T_h	U_h	U	St=U × Sc (cm)
0	0	0	0	0	0	0
1	0.0571	0.270	0.0164	0.272	0.468	1.17
2	0.1142	0.381	0.0328	0.470	0.672	1.67
3	0.1713	0.467	0.0492	0.615	0.795	1.98
5	0.2854	0.603	0.0821	0.796	0.919	2.29
10	0.5708	0.853	0.1641	0.958	0.994	2.47
15	0.8563	1.044	0.2462	0.991	1.000	2.49



LABORATORIUM MEKANIKA TANAH
PENDIDIKAN TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA

Alamat: Kampus Karangmalang, Yogyakarta 552811
Telp. (0274) 586168 psw 276.289.292 (0274) 586734 fax (0274) 586734

DATA HASIL PENGUJIAN

Judul Pengujian : Pengujian *Vertical Drains* Untuk Drain Kecil

A. Data Uji Penekanan *Vertical Drains* Untuk Drain Kecil

Waktu (menit)		Penurunan (mm)
t	\sqrt{t}	
0	0	13.00
0.09	0.3	12.20
0.25	0.5	11.62
0.49	0.7	11.16
1	1	10.30
2.25	1.5	9.92
4	2	9.65
6.25	2.5	9.52
9	3	9.41
12.25	3.5	9.33
16	4	9.27
20.25	4.5	9.23
25	5	9.20
36	6	9.15
49	7	9.09
64	8	9.07
81	9	9.02
100	10	9.00
121	11	8.99
144	12	8.99
225	15	8.98
400	20	8.97
1440 (24jam)	37.95	8.92
2880 (Hari 2)	53.67	8.88
4329 (Hari 3)	65.8	8.84
5760 (Hari 4)	75.89	8.80
8640 (Hari 6)	92.95	8.77

Tabel 56. Data Hasil Penurunan Uji *Vertical Drains* untuk Drain Kecil

B. Kadar Air Setelah Uji *Vertical Drains*

No. Cawan timbang		1	2
Berat cawan kosong	W_1 gram	13,57	13,44
Berat cawan + tanah basah	W_2 gram	31,46	30,02
Berat cawan + tanah kering	W_3 gram	28,16	27,03
Berat air	$A = W_2 - W_3$	3,30	2,99
Berat tanah kering	$B = W_3 - W_1$	14,59	13,59
Kadar air	$w = \frac{A}{B} \times 100\%$	22,618	22,001
Kadar air rata-rata		22,309	

Tabel 57. Kadar Air Setelah Uji *Vertical Drains* untuk Drain Kecil

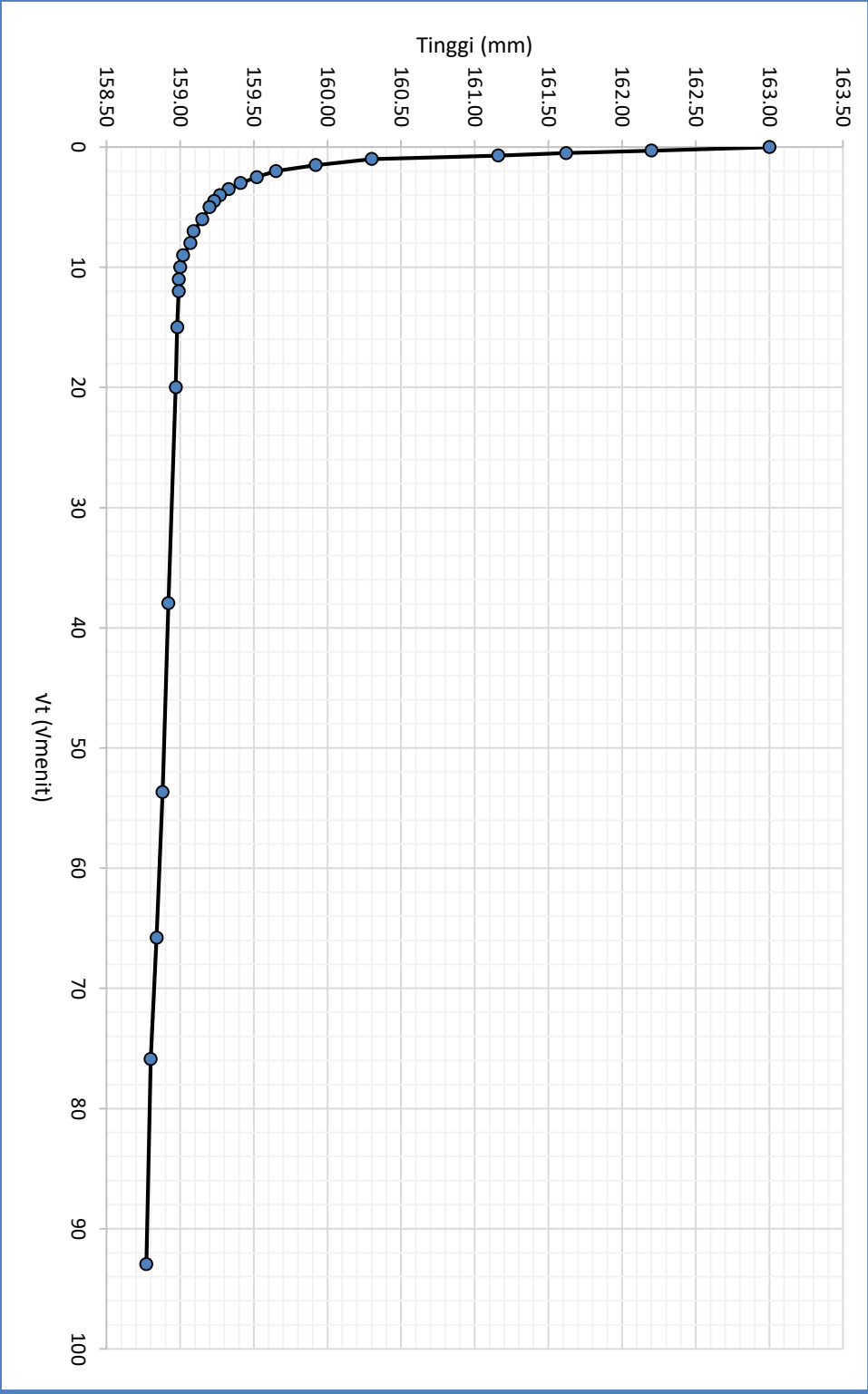
C. Data Ukuran Silinder dan Penumbuk

Berat Penumbuk	kg	4,542
Jumlah Lapisan	lps	3
Jml. Tumbukan Tiap Lapis		56
Diameter Silinder	cm	15,2
Tinggi Silinder	cm	17,8
Volume Silinder	cm^3	3231,26
Berat Silinder	gram	4155
Berat Silinder + Tanah	gram	9290
Berat Plat Penekan	gram	3310
Berat Silinder + Tanah Jenuh Air	gram	9736

Tabel 58. Data Ukuran Silinder dan Penumbuk untuk Drain Kecil

Tabel 59. Tabel t_{90} untuk Drain Kecil

t (menit)	\sqrt{t} (\sqrt{t} menit)	Penurunan (mm)	Δh (mm)	Tinggi Tanah (mm)
0	0	13.00	0.00	163.00
0.09	0.3	12.20	0.80	162.20
0.25	0.5	11.62	1.38	161.62
0.49	0.7	11.16	1.84	161.16
1	1	10.30	2.70	160.30
2.25	1.5	9.92	3.08	159.92
4	2	9.65	3.35	159.65
6.25	2.5	9.52	3.48	159.52
9	3	9.41	3.59	159.41
12.25	3.5	9.33	3.67	159.33
16	4	9.27	3.73	159.27
20.25	4.5	9.23	3.77	159.23
25	5	9.20	3.80	159.20
36	6	9.15	3.85	159.15
49	7	9.09	3.91	159.09
64	8	9.07	3.93	159.07
81	9	9.02	3.98	159.02
100	10	9.00	4.00	159.00
121	11	8.99	4.01	158.99
144	12	8.99	4.01	158.99
225	15	8.98	4.02	158.98
400	20	8.97	4.03	158.97
1440 (24jam)	37.95	8.92	4.08	158.92
2880 (Hari 2)	53.67	8.88	4.12	158.88
4329 (Hari 3)	65.8	8.84	4.16	158.84
5760 (Hari 4)	75.89	8.80	4.20	158.80
8640 (Hari 6)	92.95	8.77	4.23	158.77



Gambar 52. Grafik Penurunan *Vertical Drains* Untuk Drain Kecil

Analisa penurunan drain kecil menggunakan rumus :

Data yang diperoleh :

$$q = \frac{P}{\frac{\pi d^2}{4}} = 0,49, \text{ maka menggunakan tekanan } 0,5 \text{ pada konsolidasi.}$$

$$H = 16,3 \text{ cm}$$

$$Sc = 2,49 \text{ cm}$$

$$Cv = 0,010 \text{ cm}^2/\text{menit}$$

$$d = 2,54 \text{ cm}$$

$$D = 15,2 \text{ cm}$$

- Faktor waktu untuk drainase arah vertical :

$$Tv = \frac{Cv \cdot t}{Ht^2} = \frac{0,010 \times 365}{\left(\frac{16,3}{2}\right)^2} = 0,057 \text{ t}$$

- Diameter pengaruh drainase : $D = 15,2 \text{ cm}$
- Karena $k_v = k_h$, maka $C_v = C_h$ (tanah tidak berlapis)

$$Th = \frac{Ch \cdot t}{4R^2} = \frac{0,010 \times 365}{4 \times \left(\frac{15,2}{2}\right)^2} = 0,016 \text{ t}$$

- Untuk drainase arah vertical, dengan menganggap $U_v < 60\%$, maka berlaku :

$$U_v = \sqrt{\frac{4Tv}{\pi}}$$

- Untuk drainase radial :

$$Uh = 1 - e^{-\left\{\frac{8Th}{F(n)}\right\}}$$

$$\text{Dengan } F(n) = \ln \left(\frac{D}{dw}\right) - 0,75$$

$$= \ln \left(\frac{15,2}{2,54}\right) - 0,75 = 1,034$$

Tabel 60. Data Hasil Penurunan Berdasarkan Perhitungan untuk Drain Kecil

t (hari)	T_v	U_v	T_h	U_h	U	St=U × Sc (cm)
0	0.0000	0	0	0	0	0
1	0.0571	0.270	0.0164	0.119	0.356	0.89
2	0.1142	0.381	0.0328	0.223	0.519	1.29
3	0.1713	0.467	0.0492	0.315	0.635	1.58
5	0.2854	0.603	0.0821	0.468	0.789	1.96
10	0.5708	0.853	0.1641	0.717	0.958	2.39
15	0.8563	1.044	0.2462	0.850	1.007	2.51



**LABORATORIUM MEKANIKA TANAH
PENDIDIKAN TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
FAKULTAS TEKNIK**

UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA

Alamat: Kampus Karangmalang, Yogyakarta 552811
Telp. (0274) 586168 psw 276.289.292 (0274) 586734 fax (0274) 586734

DATA HASIL PENGUJIAN

Judul Pengujian : Pengujian *Vertical Drains* Untuk Tanpa Drain

A. Data Uji Penekanan *Vertical Drains* Untuk Tanpa Drain

Waktu (menit)		Penurunan (mm)
t	\sqrt{t}	
0	0	7.00
0.09	0.3	6.80
0.25	0.5	6.46
0.49	0.7	5.81
1	1	4.61
2.25	1.5	4.49
4	2	4.37
6.25	2.5	4.28
9	3	4.22
12.25	3.5	4.19
16	4	4.15
20.25	4.5	4.11
25	5	4.10
36	6	4.06
49	7	4.00
64	8	3.96
81	9	3.92
100	10	3.89
121	11	3.86
144	12	3.83
225	15	3.77
400	20	3.75
1440 (24jam)	37.95	3.42
2880 (Hari 2)	53.67	3.40
4329 (Hari 3)	65.8	3.38
5760 (Hari 4)	75.89	3.36
8640 (Hari 6)	92.95	3.35

Tabel 61. Data Hasil Penurunan Uji *Vertical Drains* untuk Tanpa Drain

B. Kadar Air Setelah Uji *Vertical Drains*

No. Cawan timbang		1	2
Berat cawan kosong	W_1 gram	9,45	11,49
Berat cawan + tanah basah	W_2 gram	25,99	29,31
Berat cawan + tanah kering	W_3 gram	22,76	25,81
Berat air	$A = W_2 - W_3$	3,23	3,50
Berat tanah kering	$B = W_3 - W_1$	13,31	14,32
Kadar air	$w = \frac{A}{B} \times 100\%$	24,267	24,441
Kadar air rata-rata		24.354	

Tabel 62. Kadar Air Setelah Uji *Vertical Drains* untuk Tanpa Drain

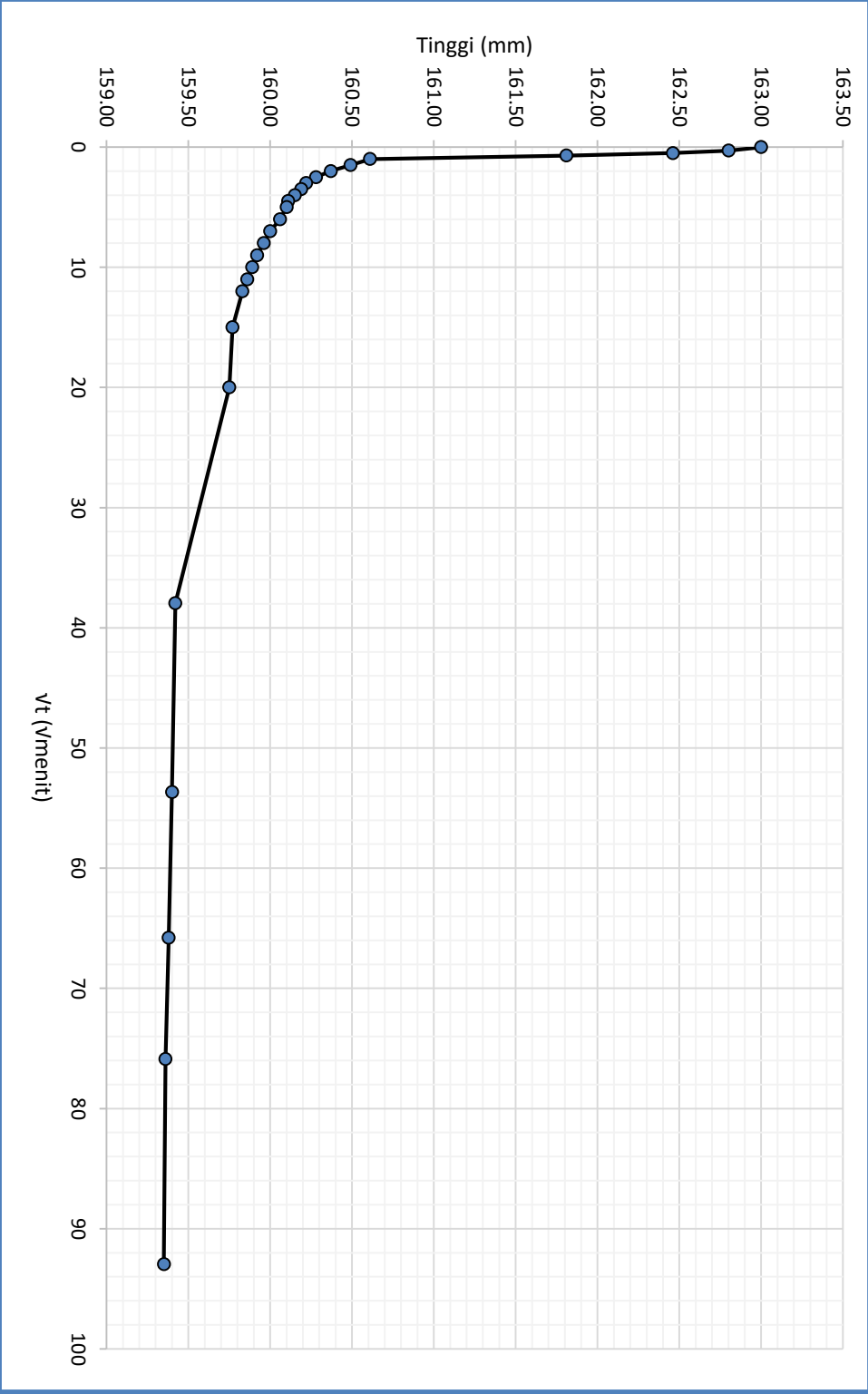
C. Data Ukuran Silinder dan Penumbuk

Berat Penumbuk	kg	4,542
Jumlah Lapisan	lps	3
Jml. Tumbukan Tiap Lapis		56
Diameter Silinder	cm	15,2
Tinggi Silinder	cm	17,8
Volume Silinder	cm^3	3230
Berat Silinder	gram	4726
Berat Silinder + Tanah	gram	9773
Berat Plat Penekan	gram	3411
Berat Silinder + Tanah Jenuh Air	gram	10244

Tabel 63. Data Ukuran Silinder dan Penumbuk untuk Tanpa Drain

Tabel 64. Tabel t_{90} untuk Tanpa Drain

t (menit)	\sqrt{t} (\sqrt{t} menit)	Penurunan (mm)	Δh (mm)	Tinggi Tanah (mm)
0	0	7.00	0.00	163.00
0.09	0.3	6.80	0.20	162.80
0.25	0.5	6.46	0.54	162.46
0.49	0.7	5.81	1.19	161.81
1	1	4.61	2.39	160.61
2.25	1.5	4.49	2.51	160.49
4	2	4.37	2.63	160.37
6.25	2.5	4.28	2.72	160.28
9	3	4.22	2.78	160.22
12.25	3.5	4.19	2.81	160.19
16	4	4.15	2.85	160.15
20.25	4.5	4.11	2.89	160.11
25	5	4.10	2.90	160.10
36	6	4.06	2.94	160.06
49	7	4.00	3.00	160.00
64	8	3.96	3.04	159.96
81	9	3.92	3.08	159.92
100	10	3.89	3.11	159.89
121	11	3.86	3.14	159.86
144	12	3.83	3.17	159.83
225	15	3.77	3.23	159.77
400	20	3.75	3.25	159.75
1440 (24jam)	37.95	3.42	3.58	159.42
2880 (Hari 2)	53.67	3.40	3.60	159.40
4329 (Hari 3)	65.8	3.38	3.62	159.38
5760 (Hari 4)	75.89	3.36	3.64	159.36
8640 (Hari 6)	92.95	3.35	3.65	159.35



Gambar 53. Grafik Penurunan *Vertical Drains* Tanpa Drain

Analisa penurunan tanpa drain menggunakan rumus :

Data yang diperoleh :

$$q = \frac{P}{\frac{\pi d^2}{4}} = 0,49, \text{ maka menggunakan tekanan } 0,5 \text{ pada konsolidasi.}$$

$$H = 16,3 \text{ cm}$$

$$Sc = 2,49 \text{ cm}$$

$$Cv = 0,010 \text{ cm}^2/\text{menit}$$

$$D = 15,2 \text{ cm}$$

- Faktor waktu untuk drainase arah vertical :

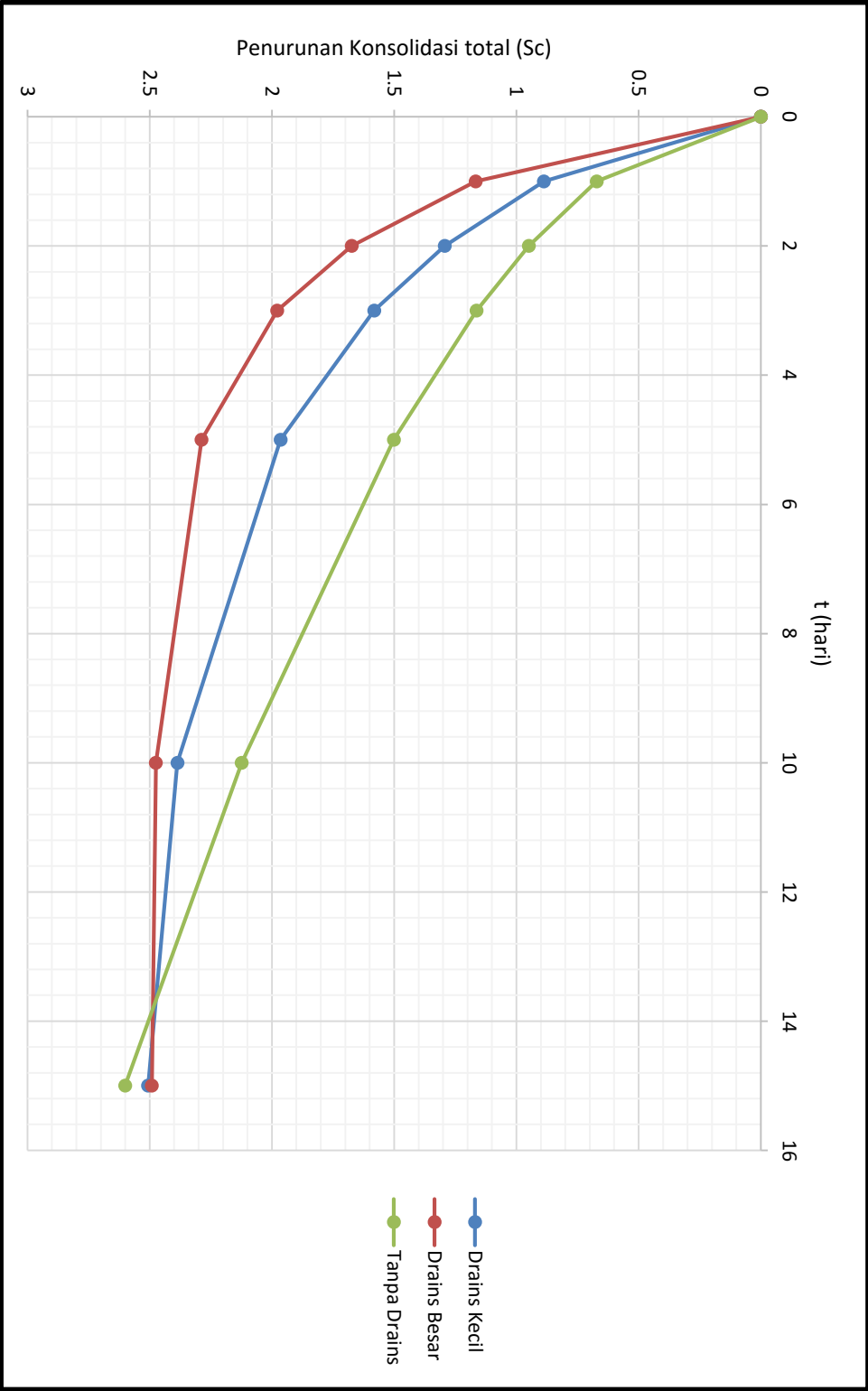
$$Tv = \frac{Cv \cdot t}{H^2} = \frac{0,010 \times 365}{\left(\frac{16,3}{2}\right)^2} = 0,057 t$$

- Untuk drainase arah vertical, dengan menganggap $Uv < 60\%$, maka berlaku :

$$U = \sqrt{\frac{4Tv}{\pi}}$$

Tabel 65. Data Hasil Penurunan Berdasarkan Perhitungan untuk Tanpa Drain

t (hari)	Tv	U	St=U × Sc (cm)
0	0.0000	0	0
1	0.0571	0.270	0.67
2	0.1142	0.381	0.95
3	0.1713	0.467	1.16
5	0.2854	0.603	1.50
10	0.5708	0.853	2.12
15	0.8563	1.044	2.60



Gambar 54. Grafik Perbandingan Masing-Masing Penurunan *Vertical Drains*