

**UJI KONSOLIDASI PADA TANAH LEMPUNG DENGAN
CAMPURAN BAHAN KIMIA ASAM FOSFAT**

SKRIPSI

OLEH:

**REYNALDI PARDOSI
198110061**



**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA
MEDAN
2023**

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Document Accepted 13/12/23

Access From (repository.uma.ac.id)13/12/23

UJI KONSOLIDASI PADA TANAH LEMPUNG DENGAN CAMPURAN BAHAN KIMIA ASAM FOSFAT

SKRIPSI

Diajukan sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh
Gelara Sarjana di Fakultas Teknik
Universitas Medan Area



Oleh:

REYNALDI PARDOSI
198110061

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA
MEDAN
2023

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

HALAMAN PENGESAHAN

Judul Skripsi : Uji Konsolidasi pada Tanah Lempung dengan
Campuran Bahan Kimia Asam Fosfat
Nama : Reynaldi Pardosi
NPM : 198110061
Fakultas : Teknik

Disetujui Oleh:
Komisi Pembimbing


Ir. Kamaluddin Lubis, M.T.
Pembimbing


Dr. Rahmat Syah, S.Kom., M.Kom.


S. S. Syandari, S.T., M.T.
Program Studi

Tanggal Lulus : 7 Agustus 2023

HALAMAN PERNYATAAN

Saya menyatakan bahwa skripsi yang saya susun, sebagai syarat memperoleh gelar sarjana merupakan hasil karya tulis sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan skripsi ini yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah, dan etika penulisan ilmiah. Saya bersedia menerima saksi pencabutan gelar akademik yang saya peroleh dan saksi-sanksi lainnya dengan peraturan yang berlaku, apabila di kemudian hari ditemukan adanya plagiat dalam skripsi ini.

Medan, 7 Agustus 2023



Reynaldi Pardosi
Reynaldi Pardosi
198110061



HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

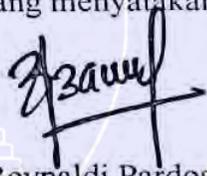
Sebagai sivitas akademik Universitas Medan Area, saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Reynaldi Pardosi
NPM : 198110061
Program Studi : Teknik Sipil
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Medan Area **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (Non Exclusive Royalty Free-Right)** atas karya ilmiah saya yang berjudul : Uji Konsolidasi pada Tanah Lempung dengan Campuran Bahan Kimia Asam Fosfat. Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Medan Area berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan mempublikasikan skripsi saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Medan
Pada tanggal : 7 Agustus 2023
Yang menyatakan


(Reynaldi Pardosi)

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Parsoburan Pada tanggal 06 Juli 2001 dari Ayah Jalentar Pardosi dan Ibu Alpina Lumbanraja Penulis merupakan putra ke 1 dari 4 bersudara. Tahun 2019 Penulis lulus dari SMA RK Budi Mulia Pematangsiantar dan pada tahun 2019 terdaftar sebagai Mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Medan Area. Penulis melaksanakan Praktek Kerja Lapangan (PKL) di Proyek Pembangunan Wing Hotel Achmad Tahir dan Lansekap Politeknik Pariwisata Medan.



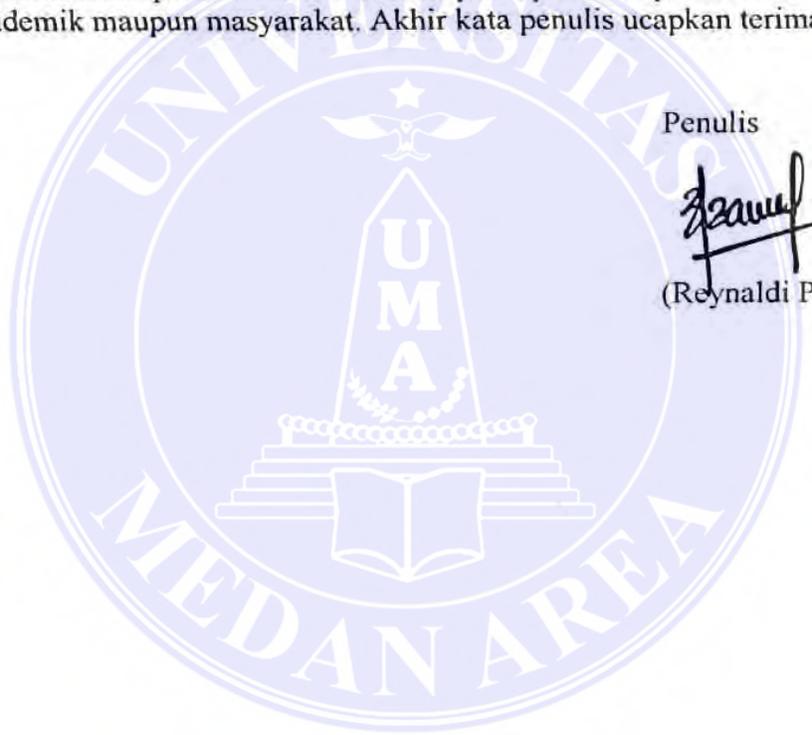
KATA PENGHANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan yang maha kuasa atas segala karunia-Nya sehingga Skripsi ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam skripsi ini ialah tanah dengan judul Uji Konsolidasi pada Tanah Lempung dengan Campuran Bahan Kimia Asam Fosfat. Terima kasih penulis sampaikan kepada Bapak Ir. Kamaluddin Lubis, M.T. selaku dosen pembimbing dan Ibu Tika Ermita Wulandari, S.T., M.T. selaku Ka. Prodi Teknik Sipil yang telah banyak memberikan saran. Disamping itu penghargaan penulis sampaikan kepada teman-teman saya yang telah banyak membantu penulis selama penyusunan skripsi. Ungkapan terima kasih juga disampaikan kepada Ayah, Ibu serta seluruh keluarga atas segala doa dan perhatiannya. Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, oleh karena itu, krtilik dan saran sangat penulis harapkan demi kesempurnaan skripsi ini. Penulis berharap skripsi ini dapat bermanfaat bagi kalangan akademik maupun masyarakat. Akhir kata penulis ucapkan terima kasih.

Penulis



(Reynaldi Pardosi)



ABSTRAK

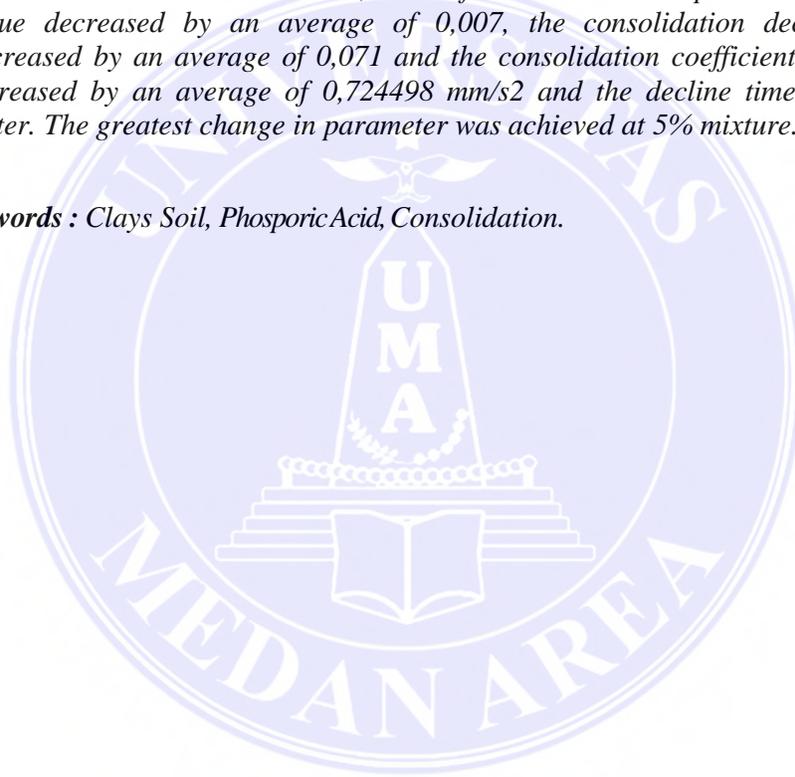
Tanah merupakan pendukung kekuatan konstruksi dasar bangunan. Saat menerima beban, tanah dapat mengalami penurunan yang pada tanah lempung penurunan dapat berlangsung dalam waktu lama untuk terkonsolidasi sempurna akibat dari permeabilitas rendah. Permasalahan tanah di beberapa daerah memiliki daya dukung rendah, yang terlihat menyebabkan retak-retak pada dinding rumah, jalan bergelombang serta penurunan badan jalan. Salah satu usaha perbaikan tanah yaitu stabilisasi tanah menggunakan bahan kimia asam fosfat, dikarenakan asam fosfat memiliki partikel yang sangat halus sehingga dapat mengisi pori-pori tanah, menempel pada bidang kontak antara butir-butir tanah dan berfungsi sebagai bahan pengikat yang kuat. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui parameter indeks pemampatan (C_c), koefisien konsolidasi (C_v), penurunan konsolidasi (S_c) dan waktu penurunan (t) pada tanah menggunakan bahan campuran asam fosfat dengan variasi penambahan sebanyak 0%, 3% dan 5%. Pada pengujian konsolidasi didapatkan nilai indeks pemampatan (C_c) mengalami penurunan sebesar 0,007, penurunan konsolidasi (S_c) menurun rata-rata sebesar 0,071 serta koefisien konsolidasi (C_v) nilainya naik sebesar 0,724498 mm/det² dan waktu penurunan (t) akan semakin cepat. Perubahan parameter terbesar dicapai pada campuran 5%.

Kata kunci : Tanah Lempung, Asam Fosfat, Konsolidasi

ABSTRACT

Soil is the supporting strength of basic construction of a building. When receiving a load, the soil can experience subsidence, which in clay soil can last for a long time before it is completely consolidated due to low permeability. The problem is that the soil in several areas has a low bearing capacity, which can be seen causing cracks on house walls, bumpy roads and subsidence of roads. One of the soil improvement efforts is soil stabilization using the chemical phosphoric acid, because phosphoric acid has very fine particles so it can fill soil pores, stick to the contact area between soil grains and function as a strong binding agent. This research aims to determine the parameters of compression index (C_c), consolidation coefficient (C_v), consolidation settlement (S_c) and settlement time (t) in soil using a mixture of phosphoric acid with variations in addition of 0%, 3% and 5%. In consolidation test, it was found that the compression index (C_c) value decreased by an average of 0,007, the consolidation decrease (S_c) decreased by an average of 0,071 and the consolidation coefficient (C_v) value increased by an average of 0,724498 mm/s² and the decline time (t) will be faster. The greatest change in parameter was achieved at 5% mixture.

Keywords : *Clays Soil, Phosphoric Acid, Consolidation.*



DAFTAR ISI

	Halaman
COVER	
HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
HALAMAN PERNYATAAN.....	iii
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS.....	iv
RIWAYAT HIDUP.....	v
KATA PENGHANTAR.....	vi
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT.....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR SINGKATAN.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Maksud dan Tujuan Penelitian.....	2
1.3 Rumusan Masalah.....	2
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Peneliti Terdahulu.....	4
2.2 Tanah.....	5
2.3 Klasifikasi Tanah.....	6
2.3.1 Sistem Klasifikasi <i>Unified Soil Classification System</i>	6
2.3.2 Sistem Klasifikasi AASHTO.....	9
2.4 Tanah Lempung.....	10
2.5 Asam Fosfat.....	11
2.6 Stabilisasi Tanah.....	12
2.6.1 Prinsip Dasar Perbaikan Tanah.....	15
2.5.2 Jenis Perbaikan Tanah.....	15
2.7 Campuran Tanah Lempung dengan Asam Fosfat.....	17
2.7.1 Prinsip Teknis.....	17
2.7.2 Karakteristik Bahan Campuran.....	18
2.7.3 Kriteria Tanah.....	18
2.8 Konsolidasi.....	19
2.8.1 Analogi Konsolidasi 1-D.....	20
2.8.2 Konsolidasi Normal dan Konsolidasi Berlebih.....	23
2.8.3 Uji Konsolidasi.....	25
2.8.4 Interpretasi Hasil Uji Konsolidasi.....	27
2.8.5 Tekanan Pra-Konsolidasi.....	29
2.8.6 Penurunan Konsolidasi Tanah.....	32
2.8.7 Perhitungan Penurunan Konsolidasi.....	33
2.8.8 Kecepatan Konsolidasi.....	34

2.8.9 Koefisien Konsolidasi (C_v)	35
2.9 Kadar Air (<i>Water Content</i>)	38
2.10 <i>Specific Gravity</i> (G_s).....	39
2.11 Batas-Batas <i>Atterberg</i>	40
2.12 Pemasadatan	45
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	50
3.1 Lokasi Penelitian	50
3.2 Bahan Uji.....	50
3.3 Pengujian Laboratorium.....	51
3.4 Gambaran Umum Penelitian.....	52
3.5 Jenis Pengujian Material	53
3.6 Variabel Penelitian	54
3.7 Notasi Sampel	54
3.8 Pengujian Sampel.....	55
3.9 Metode Analisa.....	55
3.10 Bagan Alur.....	56
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	57
4.1 Karakteristik Dasar Tanah Asli.....	57
4.1.1 Kadar Air (<i>Water Content</i>).....	57
4.1.2 Berat Jenis (G_s).....	57
4.1.3 Pengujian Batas-Batas Konsistensi	58
4.2 Klasifikasi Tanah Asli AASHTO.....	63
4.3 Hasil Pengujian Konsolidasi dengan Variasi Asam Fosfat	63
4.3.1 Koefisien Konsolidasi.....	64
4.3.2 Indeks Kompresi	102
4.3.3 Rekapitulasi Hasil Pengujian Tanah	103
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	104
5.1 Kesimpulan.....	104
5.2 Saran	104
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1. Klasifikasi Tanah Sistem USCS	8
Tabel 2. Klasifikasi AASHTO M145-82 Lapisan Tanah Dasar Jalan Raya.....	9
Tabel 3. Konsolidasi Normal pada Lempung	31
Tabel 4. Hubungan T dan U	35
Tabel 5. Pengaruh Lebar Fungsi Pondasi pada Nilai Cv	37
Tabel 6. Nilai khas berat jenis Gs partikel Tanah	40
Tabel 7. Faktor Koreksi	40
Tabel 8. Harga-Harga N/25	44
Tabel 9. Nilai indeks Plastisitas dan Macam Tanah	45
Tabel 10. Pengujian Karakteristik Tanah	53
Tabel 11. Jumlah Sampel dalam Setiap Penelitian.....	54
Tabel 12. Rekapitulasi Kadar Air	57
Tabel 13. Rekapitulasi Berat Jenis (Gs).....	58
Tabel 14. Rekapitulasi <i>Liquid Limit</i> (LL).....	59
Tabel 15. Rekapitulasi <i>Plastis Limit</i> (PL)	60
Tabel 16. Rekapitulasi <i>Shrinkage Limit</i> (SL).....	61
Tabel 17. Rekapitulasi Analisa Saringan.....	62
Tabel 18. Rekapitulasi Uji Konsolidasi	64
Tabel 19. Rekapitulasi Uji Konsolidasi Sampel 1 Variasi 0%.....	64
Tabel 20. Rekapitulasi Cv Sampel 1 Variasi 0%.....	65
Tabel 21. Rekapitulasi Uji Konsolidasi Sampel 1 Variasi 3%	70
Tabel 22. Rekapitulasi Cv Sampel 1 Variasi 3%.....	70
Tabel 23. Rekapitulasi Uji Konsolidasi Sampel 1 Variasi 5%.....	74
Tabel 24. Rekapitulasi Cv Sampel 1 Variasi 5%.....	74
Tabel 25. Rekapitulasi Uji Konsolidasi Sampel 2 Variasi 0%.....	78
Tabel 26. Rekapitulasi Cv Sampel 2 Variasi 0%.....	78
Tabel 27. Rekapitulasi Uji Konsolidasi Sampel 2 Variasi 3%.....	82
Tabel 28. Rekapitulasi Cv Sampel 2 Variasi 3%.....	82
Tabel 29. Rekapitulasi Uji Konsolidasi Sampel 2 Variasi 5%.....	86
Tabel 30. Rekapitulasi Cv Sampel 2 Variasi 5%.....	86
Tabel 31. Rekapitulasi Uji Konsolidasi Sampel 3 Variasi 0%.....	90
Tabel 32. Rekapitulasi Cv Sampel 3 Variasi 0%.....	90
Tabel 33. Rekapitulasi Uji Konsolidasi Sampel 3 Variasi 3%.....	94
Tabel 34. Rekapitulasi Cv Sampel 3 Variasi 3%.....	94
Tabel 35. Rekapitulasi Uji Konsolidasi Sampel 3 Variasi 5%.....	98
Tabel 36. Rekapitulasi Cv Sampel 3 Variasi 5%.....	98
Tabel 37. Rekapitulasi Pengujian Tanah	103

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1. Analogi Konsolidasi.....	21
Gambar 2. Reaksi tekanan air pori terhadap beban pondasi.....	22
Gambar 3. Oedometer.....	26
Gambar 4. Kurva Penurunan – Log Waktu.....	29
Gambar 5. Hubungan antara pori-tegangan efektif.....	29
Gambar 6. Penentuan Teknana Prakonsolidasi.....	30
Gambar 7. Kurva e log σ' di lapangan.....	31
Gambar 8. <i>Elleptive Consolidation Stress</i>	31
Gambar 9. Kuva Angka Pori terhadap tegangan.....	34
Gambar 10. Sebab yang Mempengaruhi Kecepatan.....	38
Gambar 11. Batas-Batas Atterberg.....	41
Gambar 12. Skema Alat Uji Batas Cair.....	42
Gambar 13. Kurva untuk Penentuan Batas Cair Lempung.....	43
Gambar 14. Prinsip Pematatan.....	46
Gambar 15. Alat Uji <i>Standard Proctor</i>	48
Gambar 16. Kurva Hubungan Kadar Air dan Berat Volume Kering.....	49
Gambar 17. Bagan Alir Penelitian.....	51
Gambar 18. Grafik <i>Liquid Limit (LL)</i>	59
Gambar 19. Grafik Kurva 0,5 Kg Sampel 1 Variasi 0%.....	66
Gambar 20. Grafik Kurva 1 Kg Sampel 1 Variasi 0%.....	67
Gambar 21. Grafik Kurva 2 Kg Sampel 1 Variasi 0%.....	67
Gambar 22. Grafik Kurva 4 Kg Sampel 1 Variasi 0%.....	68
Gambar 22. Grafik Kurva 8 Kg Sampel 1 Variasi 0%.....	68
Gambar 23. Grafik Kurva 16 Kg Sampel 1 Variasi 0%.....	69
Gambar 24. Grafik Kurva 0,5 Kg Sampel 1 Variasi 3%.....	71
Gambar 25. Grafik Kurva 1 Kg Sampel 1 Variasi 3%.....	71
Gambar 26. Grafik Kurva 2 Kg Sampel 1 Variasi 3%.....	72
Gambar 27. Grafik Kurva 4 Kg Sampel 1 Variasi 3%.....	72
Gambar 28. Grafik Kurva 8 Kg Sampel 1 Variasi 3%.....	73
Gambar 29. Grafik Kurva 16 Kg Sampel 1 Variasi 3%.....	73
Gambar 30. Grafik Kurva 0,5 Kg Sampel 1 Variasi 5%.....	75
Gambar 31. Grafik Kurva 1 Kg Sampel 1 Variasi 5%.....	75
Gambar 32. Grafik Kurva 2 Kg Sampel 1 Variasi 5%.....	76
Gambar 33. Grafik Kurva 4 Kg Sampel 1 Variasi 5%.....	76
Gambar 34. Grafik Kurva 8 Kg Sampel 1 Variasi 5%.....	77
Gambar 35. Grafik Kurva 16 Kg Sampel 1 Variasi 5%.....	77
Gambar 36. Grafik Kurva 0,5 Kg Sampel 2 Variasi 0%.....	79
Gambar 37. Grafik Kurva 1 Kg Sampel 2 Variasi 0%.....	79
Gambar 38. Grafik Kurva 2 Kg Sampel 2 Variasi 0%.....	80
Gambar 39. Grafik Kurva 4 Kg Sampel 2 Variasi 0%.....	80
Gambar 40. Grafik Kurva 8 Kg Sampel 2 Variasi 0%.....	81
Gambar 41. Grafik Kurva 16 Kg Sampel 2 Variasi 0%.....	81
Gambar 42. Grafik Kurva 0,5 Kg Sampel 2 Variasi 3%.....	83
Gambar 43. Grafik Kurva 1 Kg Sampel 2 Variasi 3%.....	83
Gambar 44. Grafik Kurva 2 Kg Sampel 2 Variasi 3%.....	84

Gambar 45. Grafik Kurva 4 Kg Sampel 2 Variasi 3%.....	84
Gambar 46. Grafik Kurva 8 Kg Sampel 2 Variasi 3%.....	85
Gambar 47. Grafik Kurva 16 Kg Sampel 2 Variasi 3%.....	85
Gambar 48. Grafik Kurva 0,5 Kg Sampel 2 Variasi 5%.....	87
Gambar 49. Grafik Kurva 1 Kg Sampel 2 Variasi 5%.....	87
Gambar 50. Grafik Kurva 2 Kg Sampel 2 Variasi 5%.....	88
Gambar 51. Grafik Kurva 4 Kg Sampel 2 Variasi 5%.....	88
Gambar 52. Grafik Kurva 8 Kg Sampel 2 Variasi 5%.....	89
Gambar 53. Grafik Kurva 16 Kg Sampel 2 Variasi 5%.....	89
Gambar 54. Grafik Kurva 0,5 Kg Sampel 3 Variasi 0%.....	91
Gambar 55. Grafik Kurva 1 Kg Sampel 3 Variasi 0%.....	91
Gambar 56. Grafik Kurva 2 Kg Sampel 3 Variasi 0%.....	92
Gambar 57. Grafik Kurva 4 Kg Sampel 3 Variasi 0%.....	92
Gambar 58. Grafik Kurva 8 Kg Sampel 3 Variasi 0%.....	93
Gambar 59. Grafik Kurva 16 Kg Sampel 3 Variasi 0%.....	93
Gambar 60. Grafik Kurva 0,5 Kg Sampel 3 Variasi 3%.....	95
Gambar 61. Grafik Kurva 1 Kg Sampel 3 Variasi 3%.....	95
Gambar 62. Grafik Kurva 2 Kg Sampel 3 Variasi 3%.....	96
Gambar 63. Grafik Kurva 4 Kg Sampel 3 Variasi 3%.....	96
Gambar 64. Grafik Kurva 8 Kg Sampel 3 Variasi 3%.....	97
Gambar 65. Grafik Kurva 16 Kg Sampel 3 Variasi 3%.....	97
Gambar 66. Grafik Kurva 0,5 Kg Sampel 3 Variasi 5%.....	99
Gambar 67. Grafik Kurva 1 Kg Sampel 3 Variasi 5%.....	99
Gambar 68. Grafik Kurva 2 Kg Sampel 3 Variasi 5%.....	100
Gambar 69. Grafik Kurva 4 Kg Sampel 3 Variasi 5%.....	100
Gambar 70. Grafik Kurva 8 Kg Sampel 3 Variasi 5%.....	101
Gambar 71. Grafik Kurva 16 Kg Sampel 3 Variasi 5%.....	101
Gambar 72. Grafik e log p Variasi 0%.....	102
Gambar 73. Grafik e log p Variasi 3%.....	102
Gambar 74. Grafik e log p Variasi 5%.....	103

DAFTAR NOTASI

G = Kerikil (*gravel*)

S = Pasir (*sand*)

C = Lempung (*clay*)

M = Lanau (*silt*)

O = Lanau atau Lempung Organik (*organic silt or clay*)

Pt = Tanah Gambut dan Tanah Organik Tinggi (*peat and highly organic soil*)

W = Gradasi Baik (*well-graded*)

P = Gradasi Buruk (*poorly-graded*)

H = Plastisitas Tinggi (*high-plasticity*)

L = Plastisitas Rendah (*low-plasticity*)

GI = Indeks Kelompok (*group index*)

F = Persen Butiran Lolos Saringan no. 200 (0,075)

LL = Batas Cair

PL = Batas Plastis

PI = Indeks Plastis

Cc = Indeks Pemampatan

Cv = Koefisien Konsolidasi

Wc = Kadar Air (*water content*)

Ww = Berat Air

Ws = Berat Tanah dalam Keadaan Kering Oven (*Oven dry*)

Gs = Berat Jenis (*Specific Gravity*)

Yd = Berat Volume Butiran Padat

Yw = Berat Volume Air

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Setiap pekerjaan teknik sipil tidak lepas dengan aspek yang paling penting yaitu tanah. Sejumlah masalah dengan bangunan teknik sipil yang sering dijumpai di lapangan adalah akibat dari sifat-sifat teknik tanah yang buruk, yang ditandai dengan kadar air tanah yang tinggi, kompresibilitas yang besar dan daya dukung yang rendah. Sebagian dari jenis tanah yang memiliki sifat buruk tersebut adalah tanah yang mudah mengalami kembang susut besar (Sudjianti, 2012).

Beberapa jenis tanah yang memiliki potensi kembang susut besar adalah tanah yang dapat mengalami perubahan volume secara signifikan seiring dengan perubahan kadar airnya. Tanah jenis ini merupakan tanah lempung yang banyak mengandung mineral-mineral dengan potensi kembang tinggi. Tanah dengan kondisi seperti ini sering disebut sebagai tanah lempung (Hardiyatmo, 2017).

Tanah lempung merupakan tanah yang jika tidak dikenali dan diselidiki secara seksama dapat menyebabkan masalah ketidakstabilan dan penurunan jangka panjang yang tidak dapat ditolerir. Tanah lunak sering kali menjadi permasalahan dalam proyek konstruksi bangunan. Hal tersebut dikarenakan tanah lunak memiliki daya dukung dan permeabilitas yang rendah.

Salah satu kegagalan konstruksi bangunan yang sering terjadi adalah penurunan tanah yang disebabkan oleh proses konsolidasi. Penurunan terjadi akibat beban yang bekerja pada tanah. Penurunan ini muncul akibat berkurangnya

rongga pori dalam tanah yang terjadi secara seragam dan tidak berlebih tidak menyebabkan kerusakan bangunan, namun apabila penurunan yang terjadi tidak seragam dan berlebih maka akan menyebabkan kerusakan bangunan, mengganggu kestabilan bangunan serta merusak estetika dan kenyamanan pengguna bangunan. (Dyah Wahyu Apriani dan Arum Dwicahyani, 2019)

Dari uraian tersebut diatas menjadi latar belakang untuk mengadakan penelitian di laboratorium dan menuliskannya dalam bentuk tugas akhir yang berjudul “Uji Konsolidasi Pada Tanah Lempung Dengan Bahan Campuran Kimia Asam Fosfat”

1.2 Maksud dan Tujuan

Maksud dari penelitian ini adalah untuk menganalisa pengaruh campuran asam fosfat pada tanah lempung terhadap nilai konsolidasinya.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh campuran asam fosfat pada tanah lempung terhadap nilai konsolidasinya.

1.3 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah pada penelitian ini:

1. Faktor apa yang mempengaruhi dilakukannya uji konsolidasi?
2. Bagaimana pengaruh penambahan bahan campuran asam fosfat terhadap tanah lempung dengan melakukan uji konsolidasi?
3. Berapa besarnya nilai konsolidasi tanah lempung lunak dengan menggunakan variasi asam fosfat?

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dari penelitian ini adalah:

- a. Melakukan pengujian karakteristik/sifat – sifat fisik tanah lempung lunak.
- b. Tidak melakukan pengujian karakteristik/sifat-sifat fisik asam fosfat.
- c. Variasi asam fosfat padi terhadap tanah lempung lunak sebesar 0%, 3%, 5%
- d. Tiap-tiap variasi dibuat 3 sampel (benda uji).
- e. Pengujian konsolidasi.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini:

- a. Bagi Akademik
 1. Sebagai referensi dalam melakukan penelitian lanjutan mengenai pengaruh asam fosfat terhadap penurunan tanah lempung.
- b. Bagi Individu
 1. Memahami pengertian dan klasifikasi tanah.
 2. Memahami pengaruh asam fosfat terhadap penurunan tanah lempung.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Peneliti Terdahulu

1. Bahriansyah, M (2017) dengan judul “Tinjauan Penurunan Konsolidasi Tanah Lempung Bayat, Klaten Yang Distabilisasi Dengan Tras ”, Universitas Muhammadiyah Surakarta. Dapat disimpulkan bahwa pada pengujian konsolidasi tanah lempung didapatkan nilai C_v (*coefficient of consolidation*) maksimum yang terjadi pada campuran tras 10 % sebesar 0,0125 cm/dt², nilai C_c (*compression index*) terkecil terjadi pada campuran tras 10 % sebesar 0,2069, dan nilai S_c (*settlement of consolidation*) terkecil terjadi pada campuran 10 % sebesar 0,0539 cm.
2. Susanti, Eni (2017) dengan judul “Pemanfaatan Kapur Sebagai Bahan Stabilisasi Terhadap Penurunan Konsolidasi Tanah Lempung Tanon dengan Variasi Ukuran Butiran Tanah”, Universitas Muhammadiyah Surakarta. Dapat disimpulkan bahwa pengujian konsolidasi tanah lempung yang distabilisasi kapur dengan persentase 2,5 % pada variasi ukuran butiran tanah No.30 yaitu nilai C_v (*coefficient of consolidation*) sebesar 0,027 cm/dt², nilai C_c (*compression index*) 0,290, dan nilai S_c (*settlement of consolidation*) 0,1607cm.
3. Satria, Novi (2018) dengan judul “ Tinjuan Penurunan Konsolidasi Tanah Lempung Desa Troketon, Pedan, Klaten yang Distabilisasi dengan Tras dan Kapur”, Universitas Muhammadiyah Surakarta. Dapat disimpulkan bahwa pengujian konsolidasi tanah lempung yang distabilisasi kapur dan tras dengan persentase 5 % yaitu nilai C_v (*coefficient of consolidation*) sebesar 0,00359

cm/dt² , nilai C_c (*compression index*) 0,0809, dan nilai S_c (*settlement of consolidation*) 0,354 cm.

2.2 Tanah

Dalam pandangan teknik sipil, tanah adalah himpunan mineral, bahan organik, dan endapan-endapan yang relatif (*loose*), yang terletak di atas batuan dasar (*bedrock*). Ikatan antara butiran yang relatif lemah dapat disebabkan oleh karbonat, zat organik, atau oksida-oksida yang mengendap di antara partikel-partikel. Ruang diantara partikel-partikel dapat berisi air, udara ataupun keduanya. Proses pelapukan batuan atau proses geologi lainnya yang terjadi di dekat permukaan bumi membentuk tanah. Pembentukan tanah dari induknya, dapat berupa fisik maupun kimia. Proses 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. Partikel-partikel mungkin berbentuk bulat, bergerigi maupun bentuk-bentuk diantaranya. Umumnya, pelapukan akibat proses kimia dapat terjadi oleh pengaruh oksigen, karbondioksida, air (terutama yang mengandung asam atau alkali) dan proses-proses kimia yang 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 (*transportes soil*).

Tanah didefinisikan sebagai material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral-mineral padat yang tidak tersementasi (terikat secara kimia) satu sama lain dan dari bahan-bahan organik yang telah melapuk (yang berpartikel padat) disertai dengan air dan gas yang mengisi ruang-ruang kosong diantara partikel-

partikel padat tersebut. Tanah berguna sebagai bahan bangunan pada berbagai macam pekerjaan teknik sipil, tanah juga berfungsi sebagai pendukung pondasi dari bangunan.

Istilah pasir, lempung, lanau atau lumpur digunakan untuk menggambarkan ukuran partikel pada 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, sedang pasir digambarkan sebagai tanah yang tidak kohesif dan tidak plastis.

Kebanyakan jenis tanah terdiri dari banyak campuran, atau lebih dari satu macam ukuran partikel. Tanah lempung belum tentu terdiri dari partikel lempung saja, akan tetapi dapat bercampur dengan butiran-butiran ukuran lanau maupun pasir, dan mungkin terdapat campuran bahan organik.

2.3 Klasifikasi Tanah

Analisis ukuran butiran merupakan bagian yang penting dari sebagian besar klasifikasi tanah. Klasifikasi tanah adalah suatu sistem pengaturan beberapa jenis tanah yang berbeda tetapi mempunyai sifat yang serupa ke dalam kelompok dan sub kelompok berdasarkan pemakaiannya. Sistem klasifikasi tanah yang umum digunakan diantaranya yaitu sebagai berikut :

2.3.1 Sistem Klasifikasi *Unified Soil Classification System*

Sistem klasifikasi tanah USCS (*Unified Soil Classification System*) merupakan metode klasifikasi tanah berdasarkan hasil laboratorium yang cukup banyak dipakai secara meluas. Sistem *Unified* membagi tanah ke dalam dua kelompok utama:

- a. Tanah berbutir kasar (*Coarse-Grained-Soil*), yaitu tanah kerikil dan pasir dimana kurang dari 50% berat total contoh tanah lolos ayakan no.200. Simbol dari kelompok ini di mulai dengan huruf awal G adalah untuk kerikil (*Gravel*) atau tanah berkerikil dan S adalah untuk pasir (*Sand*) atau tanah berpasir.
- b. Tanah berbutir halus (*Fine-Grained-soil*), yaitu tanah dimana lebih dari 50% berat total contoh tanah lolos ayakan no.200. Simbol dari kelompok ini dimulai dengan huruf awal "M" untuk lanau (*Silt*) anorganik, C untuk lempung (*Clay*) anorganik dan O untuk lanau-organik dan lempung-organik. Simbol PT digunakan untuk tanah gambut (*Peat*), muck, dan tanah-tanah lain dengan kadar organik yang tinggi.

Simbol-simbol lain yang digunakan untuk klasifikasi USCS adalah :

W = gradasi baik (*well graded*)

P = gradasi buruk (*poor graded*)

L = plastisitas rendah (*low plasticity*) ($LL < 50$)

H = plastisitas tinggi (*high plasticity*) ($LL > 50$)

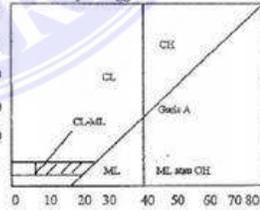
Klasifikasi tanah berbutir kasar di tandai dengan simbol kelompok seperti :

GW, GP, GM, GC, SW, SP, SM dan SC. Sedangkan klasifikasi tanah berbutir halus dengan simbol ML, CL, OL, MH, CH dan OH. Tanah berbutir kasar dapat berupa salah satu di bawah ini :

1. Kerikil apabila lebih dari setengah fraksi kasar tertahan pada saringan no.200.
2. Pasir apabila lebih dari setengah fraksi kasar berada diantara ukuran no.4

dan no.200. Sedangkan untuk tanah berbutir halus tidak cukup dengan melakukan analisa saringan untuk menentukan klasifikasinya, harus dilakukan uji batas-batas atterberg. Kemudian menggambar batas cair dan indeks plastisitas tanah yang bersangkutan pada bagan plastisitas seperti pada tabel dibawah:

Tabel 1. Klasifikasi Tanah Sistem USCS (Hardiyatmo, 2016)

Divisi Utama	Simbol	Nama Umum	Kriteria Klasifikasi
Tanah berbutir kasar >= 50% butiran saringan No. 200	Kerikil/batu (anyaberkil)	GW	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4$ $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ Antara 1 dan 3 Tidak memenuhi kedua kriteria untuk OW
		GP	
	Kerikil dengan butiran halus	GM	Batas-batas Atterberg di bawah garis A atau $PI < 4$ Batas-batas Atterberg di bawah garis A atau $PI > 7$
		GC	
	Pasir berbutir (anyapastir)	SC	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{20}} > 6$ $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ Antara 1 dan 3 Tidak memenuhi kedua kriteria untuk SW
		SW	
		SP	
		SM	
	Pasir dengan degranulasi halus		Batas-batas Atterberg di bawah garis A atau $PI < 4$ Batas-batas Atterberg di bawah garis A atau $PI > 7$
Tanah berbutir halus 50% atau lebih lolos saringan No. 200	Lempung dan lempung butiran halus <= 50%	ML	Diagram Plastisitas: Untuk mengklasifikasi kadar butiran halus yang terkandung dalam tanah berbutir halus dan kasar. Batas Atterberg yang termasuk dalam daerah yang di arsi berarti batasan klasifikasinya menggunakan dua simbol. 
		CL	
		OL	
	Lempung dan lempung butiran kasar >= 50%	MH	
		CH	
		OH	
	Tanah-tanah dengan kandungan organik sangat tinggi	PT	

2.3.2 Sistem Klasifikasi AASHTO

Menurut AASHTO tanah diklasifikasikan ke dalam tujuh kelompok besar, yaitu A-1 sampai A-7. Tanah dengan klasifikasi A-1, A-2 dan A-3 adalah tanah berbutir yang kurang dari 35% tanah tersebut lolos ayakan No.200. Tanah A-1 granuler yang bergradasi baik, sedangkan A-3 adalah pasir yang bergradasi buruk. Tanah A-2 termasuk tanah granuler, tetapi masih terdiri atas lanau dan lempung. Tanah berbutir halus klasifikasi A-4, A-5, A-6 dan A-7 adalah tanah yang lebih dari 35% dari butirannya lolos ayakan No. 200, tanah lempung-lanau.

Adapun ukuran butir dibagi menjadi kerikil, pasir, lanau dan lempung yaitu :

- 1) Kerikil yaitu bagian tanah yang lolos ayakan dengan diameter 75 mm dan tertahan pada ayakan diameter 2 mm.
- 2) Pasir yaitu bagian yang lolos ayakan dengan diameter 2 mm dan tertahan pada ayakan diameter 0,075 mm.
- 3) Lanau dan lempung yaitu bagian tanah yang lolos ayakan 0,075 mm.

Tabel 2. Klasifikasi AASHTO M145-82 untuk Lapisan Tanah Dasar Jalan Raya (Braja M Das, 2017)

Klasifikasi Umum	Material berbutir						Tanah lanau-lempung			
	(<35%lolos saringan no.200)						(>35%lolos saringan no.200)			
Klasifikasi Kelompok	A-1		A-3	A-2			A-7			
klasifikasi Kelompok	A-1-A	A-1-B	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7	A-4	A-5	A-6	A-7-5 A-7-6
Analisis ayakan(% lolos)										
No. 10	maks 50	-	-	-	-	-	-	-	-	-
No. 40	maks 30	maks 50	-51	-	-	-	-	-	-	- No.
200	maks 15	maks 25	maks 10	maks 35	maks 35	maks 35	maks 35	min 36	min 36	min 36
Batas Cair(LL)	-	-	maks 40	min 41	maks 40	min 41	maks 40	min 40	maks 40	min 41
Indeks Plastisitas	maks 6	N.P	maks 10	maks 10	min 11	min 11	maks 10	maks 10	mins 11	min 12
Indeks kelompok (GI)	0	0	0	0	maks 4	maks 8	maks 12	maks 12	maks 12	maks 20
Jenis	Fragmen batuan , kerikil dan pasir		Pasir Halus	Kerikil atau pasir lanauan atau lempung			T anah Lanau		Tanah Lempung	
Tingkat umum sebagai tanah dasar	Sangat baik sampai baik			Cukup baik sampai buruk						

2.4 Tanah Lempung

Tanah lempung dan mineral lempung adalah tanah yang memiliki partikel mineral tertentu yang “menghasilkan sifat-sifat plastis pada tanah bila dicampur dengan air” (Grim, 1953). Partikel-partikel tanah berukuran yang lebih kecil dari 2 mikron ($=2\mu$), atau <5 mikron menurut sistem klasifikasi yang lain, disebut saja sebagai partikel berukuran lempung daripada disebut lempung saja. Partikel-partikel dari mineral lempung umumnya berukuran koloid ($<1\mu$) dan ukuran 2μ merupakan batas atas (paling besar) dari ukuran partikel mineral lempung.

Untuk menentukan jenis lempung tidak cukup hanya dilihat dari ukuran butirannya saja tetapi perlu diketahui mineral yang terkandung didalamnya. ASTM D-653 memberikan batasan bahwa secara fisik ukuran lempung adalah partikel yang berukuran antara 0,002 mm sampai 0,005 mm.

Sifat-sifat yang dimiliki tanah lempung (Hardiyatmo, 2017) adalah sebagai berikut :

1. Ukuran butir halus, kurang dari 0,002 mm
2. Permeabilitas rendah
3. Bersifat sangat kohesif
4. Kadar kembang susut yang tinggi
5. Proses konsolidasi lambat

Kebanyakan jenis tanah terdiri dari banyak campuran atau lebih dari satu macam ukuran partikel. Tanah lempung belum tentu terdiri dari partikel lempung saja, akan tetapi dapat bercampur butir-butiran ukuran lanau maupun pasir dan mungkin juga terdapat campuran bahan organik.

Tanah berbutir halus dibagi dalam Lanau (M), Lempung (C) yang didasarkan pada batas cair dan indeks plastisitasnya. Tanah Organik juga termasuk dalam kelompok tanah berbutir halus.

Konsistensi dari tanah lempung dan tanah kohesif lainnya sangat dipengaruhi oleh kadar air. Indeks plastisitas dan batas cair dapat digunakan untuk menentukan karakteristik pengembangan. Karakteristik pengembangan hanya dapat diperkirakan dengan menggunakan indeks plastisitas (Holtz dan Gibbs, 1962).

Dikarenakan sifat plastis dari suatu tanah disebabkan oleh air yang terserap disekeliling permukaan partikel lempung, maka dapat diharapkan bahwa tipe dan jumlah mineral lempung yang dikandung didalam suatu tanah akan mempengaruhi batas plastis dan batas cair tanah yang bersangkutan.

2.5 Asam Fosfat

Asam fosfat teknis adalah cairan kental jernih tidak berwarna sampai hitam keruh, yang bagian terbesar terdiri dari P2O5 dan digunakan untuk industri. Asam fosfat diproduksi dengan cara melebur fosfat anhidrat kedalam air. Fosfat anorganik maupun organik terdapat dalam tanah. Bentuk anorganiknya adalah senyawa Ca, Fe, Al, dan F. Fosfat organik mengandung senyawa yang berasal dari tanaman dan mikroorganisme dan tersusun dari asam nukleat, fosfolipid, dan fitin (Rao, 1994). Bentuk fosfat anorganik tanah lebih sedikit dan sukar larut, sehingga dengan demikian P yang tersedia dalam tanah relatif rendah. Fosfat tersedia didalam tanah dapat diartikan sebagai P- tanah yang dapat diekstraksikan atau larut dalam air dan asam sitrat. P- organik dengan proses dekomposisi akan menjadi bentuk anorganik.

2.6 Stabilisasi Tanah

Dalam perancangan konstruksi bangunan sipil, sering ditemukan lapisan tanah yang memiliki daya dukung rendah (*low strength*), yang sangat mempengaruhi berbagai tahapan rancang-bangun konstruksi, baik dalam tahap perencanaan (*design*), tahap pelaksanaan (*perform*), maupun tahapan operasional dan pemeliharaan (*Operational and Maintenance*).

Stabilisasi tanah adalah suatu metode yang digunakan untuk meningkatkan kemampuan daya dukung suatu lapisan tanah, dengan cara memberikan perlakuan (*treatment*) khusus terhadap lapisan tanah tersebut.

Dengan demikian dapat diketahui bahwa tujuan dari stabilisasi tanah adalah minimal untuk memenuhi satu dari empat sasaran berikut ini:

1. Untuk memperbaiki (meningkatkan) daya dukung tanah.
2. Untuk memperbaiki (memperkecil) penurunan lapisan tanah.
3. Untuk memperbaiki (menurunkan) permeabilitas dan *swelling potensial* tanah.
4. Untuk menjaga (mempertahankan) potensi tanah yang ada (*existing strength*).

Dari keempat sasaran dari suatu tindakan stabilisasi yang diuraikan diatas, sangat jarang dapat dicapai secara bersamaan (sekaligus). Akan tetapi harus selalu diupayakan agar dapat tercapai perbaikan parameter yang diinginkan, dengan tanpa mengakibatkan pengrusakan parameter yang lainnya. Seperti halnya stabilisasi dengan asam fosfat (*phosphoric acid stabilization*) dapat meningkatkan daya dukung lapisan tanah, akan tetapi dapat pula memperbesar permeabilitas lapisan.

Adapun salah satu jenis dari stabilisasi tanah adalah stabilisasi kimia, yaitu stabilisasi dengan menggunakan bahan-bahan kimia yang memungkinkan terjadinya reaksi kimia, dan menghasilkan senyawa baru yang bersifat stabil dari pada senyawa yang terdapat dalam massa tanah sebelum stabilisasi dilakukan. Salah satu contoh stabilisasi kimia pada tanah yaitu stabilisasi dengan asam fosfat. Fosfat Asam fosfat teknis adalah cairan kental jernih tidak berwarna sampai hitam keruh, yang bagian terbesar terdiri dari P₂O₅ dan digunakan untuk industri. Asam fosfat diproduksi dengan cara melebur fosfat anhidrat kedalam air. Fosfat anorganik maupun organik terdapat dalam tanah. Bentuk anorganiknya adalah senyawa Ca, Fe, Al, dan F. Fosfat organik mengandung senyawa yang berasal dari tanaman dan mikroorganisme dan tersusun dari asam nukleat, fosfolipid, dan fitin (Rao, 1994). Bentuk fosfat anorganik tanah lebih sedikit dan sukar larut, sehingga dengan demikian P yang tersedia dalam tanah relatif rendah. Fosfat tersedia didalam tanah dapat diartikan sebagai P- tanah yang dapat diekstraksikan atau larut dalam air dan asam sitrat. P- organik dengan proses dekomposisi akan menjadi bentuk anorganik.

Semua tindakan mengubah sifat-sifat asli dari pada tanah, untuk disesuaikan dengan kebutuhan konstruksi adalah merupakan tindakan yang dapat dikategorikan sebagai upaya stabilisasi tanah. Secara khusus pengertian stabilisasi tanah juga dapat dilihat dari berbagai definisi yang dikemukakan beberapa ahli, antara lain:

1. Menurut Lambe (1962), mendefinisikan stabilisasi tanah sebagai perubahan dari setiap property tanah untuk memperbaiki kinerja tekniknya (*soil stabilization as "the alteration of any property of a soil*

to improve its engineering performance”), dalam pengertian ini Lambe memakai sifat-sifat tanah (*soil property*) mencakup sifat mikroskopis dan makroskopis dari massa tanah.

2. Jon A. Epps et al. (1971), mengatakan stabilisasi tanah adalah tindakan untuk memperbaiki sifat rekayasa tanah (*soil properties*).
3. Ingles & Metcalf (1972), mengatakan bahwa perubahan sifat tanah untuk memenuhi persyaratan teknik tertentu, dikenal sebagai stabilisasi tanah.
4. Punmia (1980), menyatakan bahwa stabilisasi tanah dalam pengertian luas mencakup berbagai metode yang digunakan untuk memodifikasi sifat tanah untuk memperbaiki kinerja tekniknya. Dalam hal ini menurut Punmia bahwa tujuan utama dari stabilisasi tanah adalah untuk meningkatkan kekuatan atau stabilisasi tanah dan mengurangi biaya konstruksi dengan memanfaatkan sebaik-baiknya bahan yang tersedia secara lokal.
5. Winterkorn (1975), menyatakan bahwa stabilisasi tanah adalah istilah kolektif untuk metode fisik, kimia, atau biologi, atau kombinasi metode semacam itu, yang digunakan untuk memperbaiki sifat tertentu dari tanah alami agar sesuai dengan tujuan rekayasa yang tepat.
6. Ruston Paving Company Inc., menyatakan bahwa “stabilisasi tanah adalah perubahan fisik dan kimia permanen dari tanah dan agregat untuk meningkatkan sifat tekniknya sehingga meningkatkan daya dukung *sub-grade* atau *sub-basis*

untuk mendukung perkerasan dan pondasi.

Selain definisi di atas, masih banyak lagi *terminology* yang dikemukakan beberapa ahli lain. Secara umum orang mengartikan bahwa stabilisasi tanah adalah pencampuran tanah dengan bahan tertentu guna memperbaiki sifat-sifat teknis tanah, atau dapat pula diartikan secara umum bahwa stabilisasi tanah adalah usaha untuk mengubah atau memperbaiki sifat-sifat teknis tanah agar memenuhi syarat teknis tertentu.

2.6.1 Prinsip Dasar Perbaikan Tanah

Perbaikan tanah terbagi atas dua kelompok, yakni perbaikan tanah secara kimiawi dan perbaikan tanah secara fisik. Kedua cara tersebut memiliki kesamaan dalam tujuan dan sasaran yang ingin dicapai, namun banyak perbedaan dalam metode maupun bahan pencampur (*addictive*) yang dipergunakan.

Teknik perbaikan tanah memiliki prinsip dasar bahwa kapasitas tanah yang kurang baik (dalam berbagai aspek), dapat diperbaiki melalui peningkatan sifat-sifat (*properties*) dari pada tanah, sesuai dengan tujuan perbaikan yang diinginkan.

2.6.2 Jenis Perbaikan Tanah

Dalam upaya memperbaiki parameter tanah, maka berbagai teknik perbaikan tanah yang telah dihasilkan oleh para rekayasawan (*engineer*). Berbagai jenis perbaikan tanah yang telah dikembangkan selama ini, antara lain:

1. Perbaikan tanah dengan semen (*soil cement*) ; yaitu perbaikan tanah dengan menggunakan bahan semen sebagai pencampur.

2. Perbaiki tanah dengan kapur (*soil lime*) ; yaitu perbaiki tanah dengan menggunakan kapur sebagai bahan pencampur tanah yang lemah. Cara ini merupakan metode paling tua yang dikenal sejak zaman Romawi Kuno, ketika desakan mobilisasi alat perang dan personil militer mereka semakin tinggi seiring dengan perkembangan ekspansi kekuasaan pada zaman itu.
3. Perbaiki tanah dengan abu (*soil ash*) ; yaitu perbaiki tanah dengan menggunakan bahan abu sebagai pencampur, dapat berasal dari abu batu, abu terbang, abu sekam, dan lain sebagainya.
4. Perbaiki tanah dengan larutan kimia (*sovent stabilization*) ; yang mana berbagai bahan kimia yang biasa digunakan untuk meningkatkan parameter tanah, seperti larutan soda kaustik (NaOH), larutan asam sulfat (H₂SO₄), dan berbagai larutan lain. Cairan campuran yang sekarang banyak digunakan cukup bervariasi, yang mana beberapa pabrikan telah mengembangkan berbagai jenis cairan *addictive* sebagai bahan *stabilizer* untuk perbaiki tanah.
5. Perbaiki tanah dengan pemadatan ; yaitu penyaluran enersi tumbukan dan/atau vibrasi (*dynamic load*) secara langsung ke lapisan tanah yang kurang padat (gembur). Metode ini dimaksudkan untuk memperbaiki parameter tanah yang berhubungan dengan daya dukung, kuat geser, penurunan, dan permeabilitas tanah.
6. Perbaiki tanah dengan konsolidasi ; yaitu pemberian beban statis secara langsung di atas lapisan tanah (*static load*), sehingga yanh akan terkompresi sebelum pelaksanaan konstruksi dilakukan.

7. Perbaiki tanah dengan teknik pengeringan (*dewatering*) ; yaitu upaya peningkatan bearing capacity tanah melalui proses pengeringan tanah, sehingga kadar air tanah menurun, dan meningkatkan tegangan efektif di dalam tanah.
8. Perbaiki tanah dengan pengganti tanah (*replacement*) ; yaitu perbaikan gradasi dengan cara menambah tanah pada fraksi tertentu yang dianggap kurang baik, sehingga tercapai gradasi yang rapat dan memiliki parameter yang lebih baik.
9. Perbaiki tanah dengan *permeation resin* ; yaitu pengaliran bahan perekat (resin) yang memiliki viskositas rendah ke dalam pori-pori tanah tanpa menggusur atau mengubah struktur tanah.

2.7 Campuran Tanah Lempung Dengan Asam Fosfat

Untuk mendapatkan akurasi dan efektifitas di dalam penerapan suatu metode perbaikan tanah, beberapa hal yang harus di pahami dengan baik, antara lain; prinsip teknis dari jenis perbaikan tanah yang akan diterapkan, sifat-sifat bahan *stabilizer*, kriteria tanah yang cocok dengan bahan *stabilizer*, dan perubahan *properties* tanah yang terjadi dan relevansinya dengan syarat teknis yang ingin dicapai.

2.7.1 Prinsip Teknis

Asam fosfat merupakan bahan stabilizer yang secara kimiawi bersifat asam. Prinsip perbaikan tanah dengan asam fosfat adalah mencampurkan asam fosfat untuk memanfaatkan keunggulan sifat-sifat teknis dari bahan asam fosfat, dengan tanah yang memiliki karakteristik kurang baik, seperti tanah dengan

plastisitas yang tinggi (*high plasticity*), potensi ekspansi yang tinggi (*expansive soil*), kompresibilitas yang tinggi, dan lain sebagainya.

Perbaikan tanah dengan asam fosfat tidak sekedar dicampurkan, namun juga diikuti dengan pemadatan. Oleh karena itu tanah yang diperbaiki dengan bahan asam fosfat, akan mempermudah pekerjaan pemadatan tanah, karena asam fosfat akan mengurangi kelekatan dan kelunakan tanah, serta membuat struktur partikel tanah lempung menjadi rapuh (*fragile*), sehingga mudah untuk dipadatkan.

2.7.2 Karakteristik Bahan Campuran

Fosfat anorganik maupun organik terdapat dalam tanah. Bentuk anorganiknya adalah senyawa Ca, Fe, Al, dan F. Fosfat organik mengandung senyawa yang berasal dari tanaman dan mikroorganisme dan tersusun dari asam nukleat, fosfolipid, dan fitin (Rao, 1994). Bentuk fosfat anorganik tanah lebih sedikit dan sukar larut, sehingga dengan demikian P yang tersedia dalam tanah relatif rendah. Fosfat tersedia didalam tanah dapat diartikan sebagai P- tanah yang dapat diekstraksikan atau larut dalam air dan asam sitrat. P- organik dengan proses dekomposisi akan menjadi bentuk anorganik.

2.7.3 Kriteria Tanah

Sebagaimana diketahui bahwa dalam tindakan perbaikan tanah dengan bahan *stabilizer* dari kapur adalah merupakan salah satu metode kimia, maka tanah kriteria umum dari tanah yang dapat distabilisasi dengan kapur hanya tanah yang berbutir halus. Tanah granuler (pasir dan lanau) tidak efektif untuk distabilisasi dengan bahan asam fosfat. Secara khusus kriteria tanah yang efektif

untuk diperbaiki dengan *stabilizer* dari bahan asam fosfat adalah:

- 1) Tanah lempung dengan plastisitas tinggi.
- 2) Tanah lempung dengan *swelling potential* tinggi.
- 3) Tanah lempung dengan kompresibilitas tinggi.
- 4) Tanah lempung dengan permeabilitas tinggi.

Perbaikan dengan asam fosfat dapat dilakukan pada tanah lempung yang memiliki karakteristik seperti di atas, dengan tujuan untuk memperbaiki karakteristik-karakteristik tersebut, sehingga dapat meningkatkan kinerja tanah untuk memenuhi kepentingan dalam mendukung konstruksi yang berdiri di atasnya

2.8 Konsolidasi

Konsolidasi adalah suatu proses pengecilan volume secara perlahan-lahan pada tanah jenuh sempurna dengan permeabilitas rendah akibat pengaliran sebagian air pori. Dengan kata lain. Pengertian konsolidasi adalah proses terperasnya air tanah akibat bekerjanya beban, yang terjadi sebagai fungsi waktu karena kecilnya permeabilitas tanah. Proses ini berlangsung terus sampai kelebihan tekanan air pori yang disebabkan oleh kenaikan tegangan total telah benar-benar hilang. Kasus yang paling sederhana adalah konsolidasi satu dimensi, dimana kondisi regangan lateral nol mutlak ada. Proses konsolidasi dapat di amati dengan persamaan piezometer, untuk mencatatat perubahan tekanan air pori dengan waktunya. Besarnya penurunan dapat diukur dengan berpedoman pada titik referensi ketinggian pada tempat tertentu.

2.8.1 Analogi konsolidasi 1-D (satu Dimensi)

Mekanisme proses konsolidasi satu dimensi (*one dimensional consolidation*) dapat digambarkan dengan cara analitis seperti yang ditunjukkan pada gambar berikut. Silinder berpiston yang berlubang dan dihubungkan dengan pegas, diisi air sampai memenuhi silinder, pegas dianggap bebas dari tegangan-tegangan dan tidak ada gesekan antara dinding silinder dengan tepi piston melukiskan air pori, dan lubang pada piston melukiskan kemampuan tanah dalam meloloskan air atau permeabilitas tanahnya. Gambar 2 melukiskan kondisi dimana sistem dalam keseimbangan. Kondisi ini identic dengan lapisan tanah yang dalam keseimbangan dengan tekanan *overburden*. Alat pengukuran tanah yang dihubungkan dengan silinder memperhatikan tekanan hidrostatik u_0 . Pada lokasi tertentu didalam tanah.

Dalam gambar 2 tekanan $\Delta\sigma$ dikerjakan diatas piston dengan posisi katup V tertutup. namun akibat tekanan ini, piston tetap tidak bergerak, karena air tidak dapat keluar dari tabung, sedangkan air tidak dapat mampat. Pada kondisi ini, tekanan yang bekerja pada air tidak dapat di pindahkan ke pegas, tapi sepenuhnya didukung oleh air. Pengukuran tekanan air pada silinder menunjukkan kenaikan tekanan sebesar $\Delta u = \Delta\sigma$, atau pembacaan tekanan sebesar $u_0 + \Delta\sigma$. Kenaikan tekanan air pori Δu tersebut disebut kelebihan tekanan air pori (*excess pore water pressure*). Kondisi pada kedudukan katup V tertutup ini melukiskan kondisi tak terdrainasi (*undrained* di dalam tanah).

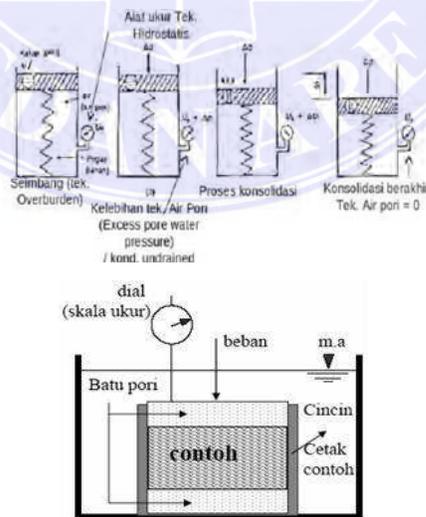
Dalam gambar 2 katup telah dibuka, sehingga air dapat keluar lewat lubang piston dengan kecepatan yang dipengaruhi oleh luas lubang. Keluarnya air piston menyebabkan bergerak kebawah, sehingga pegas secara beransur-

ansur mendukung tekanan akibat $\Delta\sigma$ didalam silinder berkurang. Kedudukan ini melukiskan tanah sedang berkosolidasi.

Akhirnya pada suatu saat, tekanan air pori nol dan seluruh tekanan $\Delta\sigma$ didukung oleh pegas dan piston tidak turun lagi. Kedudukan ini melukiskan tanah telah dalam kondisi terdrenaise (*drained*) dan kosolidasi telah berakhir.

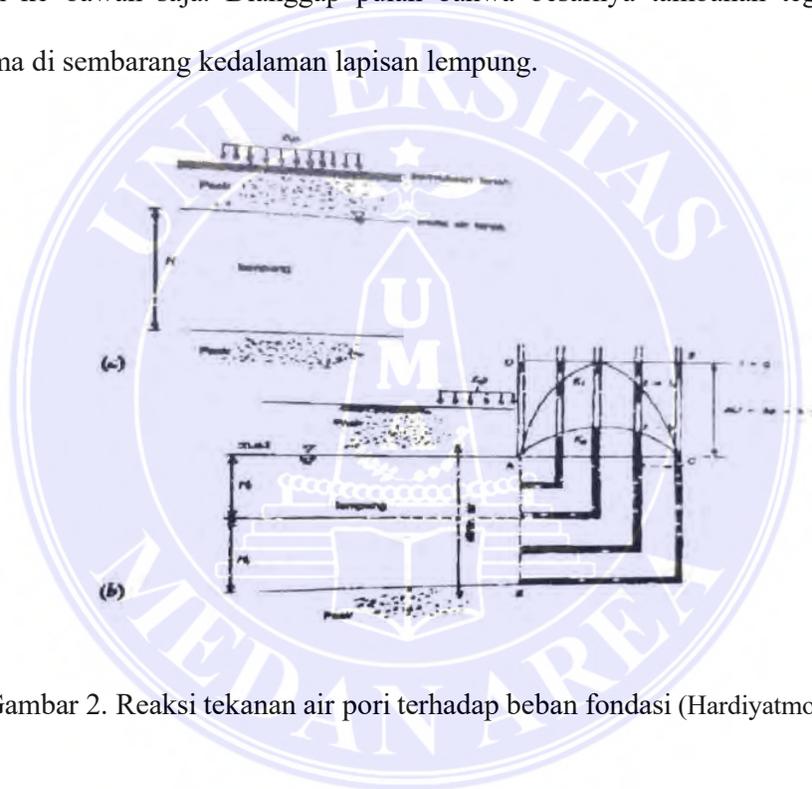
Pada sembaran waktunya, tekanan yang terjadi pada pegas identik dengan kondisi tegangan efektif dalam tanah. Sedangkan air dalam silinder identic dengan tekanan air pori. Kenaikan tegangan $\Delta\sigma$ akibat beban yang diterapkan, identik dengan tambahan tegangan normal yang bekerja. Gerakan piston menggambarkan perubahan volume tanah, dimana gerakan ini di pengaruhi oleh kompresibilitas pegas, yaitu ekuivalen dengan dengan komprebilitas tanah.

Walaupun model piston pegas ini agak kasar, tapi cukup menggambarkan apa yang terjadi bila tanah kohesif jenuh di bebani di laboratorium maupun di lapangan.



Gambar 1. Analogi konsolidasi (Hardiyatmo, 2016)

Sebagai contoh nyata kajian konsolidasi di lapangan dapat dilihat pada gambar berikut. Disini perhitungkan suatu fondasi yang di bangu di atas tanah lempung jenuh yang diapit oleh tanah pasir dengan tinggi muka air tanah di batas lapisan lempung sebelah atas. Segerah setelah pembebanan, lapisan lempung mengalami kenaikan tegangan sebesar $\Delta\sigma$. Air pori di lapisan lempung ini di anggap dapat mengalir dengan baik ke lapisan pasir dan arah air hanya ke atas dan ke bawah saja. Dianggap pulah bahwa besarnya tambahan tegangan $\Delta\sigma$ sama di sembarang kedalaman lapisan lempung.



Gambar 2. Reaksi tekanan air pori terhadap beban fondasi (Hardiyatmo, 2016)

- a) fondasi pada tanah lempung jenuh
- b) diagram perubahan tekanan air pori terhadap waktu

Akibat tambahan tekanan $\Delta\sigma$, yaitu segerah setelah beban bekerja, tinggi air dalam pipa piezometer naik setinggi $h = \Delta\sigma/YW$ (atau terdapat kenaikan tekanan air pori sebesar $\Delta\sigma = h YW$ yang dinyatakan oleh garis DE ini dinyatakan distribusi kelebihan air pori awal. Dalam waktu tertentu, tekanan air

pori yang lebih dekat berkurang, sedangkan tekanan air pori lapisan lempung di bagian tengah masih tetap. Kedudukan ini di tunjukkan oleh kurva K1. Dalam tahapan waktu sesudahnya, ketinggian air dalam pipa di tunjukkan dalam pipa kurva K2. Setelah waktu yang lama, tinggi air dalam pipa pizometer mencapai kedudukan yang sama dengan kedudukan muka air tanah awal saat sebelum pembebanan (garis AC). Kedudukan garis AC ini menunjukkan proses konsolidasi telah selesai, yaitu ketika kelebihan tekanan air pori (Δu) telah nol.

Pada awalnya, tiap kenaikan beban didukung sepenuhnya oleh tekanan air pori (Δu) yang besarnya sama dengan $\Delta \sigma$. Dalam kondisi demikian tidak ada perubahan tegangan efektif di dalam tanah. Setelah air pori sedikit demi sedikit keluar dari rongga pori tanah lempung, secara berangsur-angsur tanah mampat, dan beban perlahan-lahan di transfer ke butiran tanah, sehingga tegangan efektif bertambah. Akhirnya kelebihan tekanan air pori menjadi nol. Pada kondisi ini, tekanan air pori sama sama dengan tekanan hidrostatik yang diakibatkan oleh air tanahnya.

2.8.2 Konsolidasi Normal dan Konsolidasi Berlebih

Istilah *normally consolidated* dan *over consolidated* digunakan untuk menggambarkan suatu sifat penting pada dari tanah lempung. Lapisan tanah lempung biasanya terjadi dari proses pengendapan. Selama proses pengendapan, lempung mengalami proses konsolidasi atau penurunan, akibat tekanan tanah yang berada di atasnya. Lapisan- lapisan tanah yang berada di atas ini suatu ketika mungkin kemudian hilang akibat proses alam. Hal ini berarti tanah lapisan bagian bawah pada suatu saat dalam sejarah geologinya pernah

mengalami konsolidasi akibat dari tekanan yang lebih besar dari sekarang. Tanah semacam ini di sebut tanah *overconsolidated* (OC) atau terkonsolidasi berlebihan. Kondisi lain, bila tegangan efektif yang bekerja pada suatu titik didalam tanah pada waktu sekarang merupakan tegangan maksimumnya (atau tanah tidak pernah mengalami tekanan yang lebih besar dari tekanan pada waktu sekarang), maka lempung disebut pada kondisi *normally consolidate* (NC) atau terkonsolidasi normal.

Jadi lempung pada kondisi *normally consolidated*, bila tekanan pra konsolidasi (*preconsolidation pressure*) atau tekanan konsolidasi sama dengan tekanan *overburden* efektif. Sedangkan lempung pada kondisi *overconsolidated*, jika prekonsolidasi lebih besar dari tekanan *overburden* efektif yang ada pada waktu sekarang. Nilai banding *overconsolidation* (*overconsolidation ratio*, OCR) didefinisikan sebagai nilai banding prakonsolidasi terhadap tegangan efektif yang ada, atau bila dinyatakan dalam persamaan

$$OCR = \text{overconsolidation ratio} = \frac{\sigma_c}{\sigma'} \dots\dots\dots(2.2)$$

Yang mana :

$$\sigma_c = \text{preconsolidation pressure}$$

$$\sigma' = \text{effective overburden pressure}$$

menurut riwayat pembebanannya telah dibedakan atas:

- *Normally consolidated*, OCR= 1
- *Over consolidated*, OCR> 1
- *Under consolidated*, OCR< 1

Tekanan dikatakan dalam kondisi *underconsolidated* jika tanah tersebut sedang mengalami kondisi, tidak stabil. Tanah dalam proses dalam pembentukan (baru diendapkan) dan belum sampai pada kondisi setimbang.

Tanah dalam kondisi *overconsolidated* terjadi akibat :

- Perubahan tegangan total yang terjadi karena erosi, penggalian, melelehnya lapisan salju yang menutupi.
- Perubahan tekanan pori karena penguapan oleh pohon-pohon, pemompaan air tanah dalam, pengaliran air ke lorong saluran, dan pengeringan lapisan permukaan.

2.7.3 Uji Konsolidasi

Tujuan uji konsolidasi adalah :

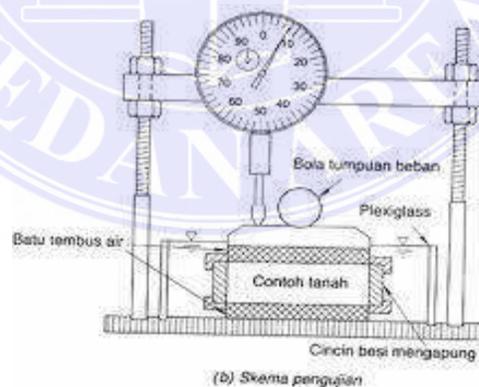
Menstimulasi kompresi dari tanah akibat bekerjanya beban sehingga diperoleh karakteristik kompresi (*compression characteristic*) dari tanah yang akan di hitung untuk menghitung penurunan.

Uji konsolidasi satu-dimensi dengan tekanan lateral dilakukan di laboratorium terhadap contoh tanah butir halus. Beban diberikan dengan waktu tertentu sesuai prosedur, dan kompresin yang terjadi diakibatkan oleh keluamnya air pori.

- Hal-Hal Yang Perhatikan Dalam Uji Konsolidasi
 - a. Tes konsolidasi dilakukan terhadap contoh tak-terganggu
 - b. Sampel yang dipilih merupakan sampel yang mewakili pada kedalaman dan lapisan tertentu.
 - c. Pembebanan dilakukan sesuai dengan prosedur, biasanya kenaikan

beban berjalan dengan deret ukur, yaitu 25, 50, 100, 200, 400, 800, 1600 (kadang-kadang sampai 3200) kPa, atau 5, 10, 20, 40, 80, 1600..... dst. kPa.

Karakteristik suatu tanah selama terjadi konsolidasi satu dimensi atau pemuaian ditentukan dengan menggunakan uji oedometer gambar 3 memperlihatkan penampang melintang oedometer. Contoh tanah yang berbentuk piringan tahanan di dalam sebuah cincin logam dan diletakkan diantara dua lapisan batu berpori (*porous stone*). Lapisan batu berpori sebelah atas, yang dapat bergerak di dalam cincin dengan suatu jarak bebas yang kecil, dipasang di bawah tutup pembebanan (*loading cap*) dari logam di mana tekanan bekerja terhadap contoh tanah. Seluruh rakitan tersebut di letakan dalam sel terbuka yang berisi air.. Cincin yang menahan / membatasi contoh tanah dapat dijepit (di klem pada badan sel) atau menggapung (bebas bergerak secara vertikal) cincin bagian dalam harus memiliki permukaan yang licin untuk memperkecil gesekan.



Gambar 3. Oedometer (Hardiyatmo, 2016)

Kompresi contoh tanah akibat tekanan diukur dengan menggunakan arloji pengukur (*dial gauge*) pada tutup pembebanan.

Tekanan awal akan tergantung pada jenis tanah, kemudian serangkaian tekanan dikenakan pada contoh tanah, di mana setiap tekanan besarnya dua kali besar tekanan sebelumnya. Biasanya setiap tekanan diperhatikan setiap 24 jam (untuk kasus khusus dibutuhkan waktu 48 jam), pembacaan kompresi dilakukan dalam selang waktu tertentu selama periode ini. Pada akhir periode penambahan ini dimana tekanan air pori berlebihan telah berdisipasi secara sempurna, besarnya tekanan yang bekerja sama dengan tegangan vertikal efektif pada contoh tanah. Hasil-hasil tersebut diperhatikan dengan memplet tebal (presentase, perubahan tebal) contoh tanah atau angka pori pada akhir setiap periode penambahan tekanan tersebut terdapat tegangan efektif yang sesuai. Tegangan efektif tersebut dapat diplot dalam skala biasa maupun skala logaritma.

Angka pada akhir setiap periode penambahan tekanan dapat dihitung dari pembacaan arloji pengukur dan begitu pula hanya dengan kadar air (*water content*) atau berat kering (*dry weight*) dari contoh tanah pada akhir pengujian.

2.7.4 Interpretasi Hasil Uji Konsolidasi

Beberapa parameter yang diperoleh dari hasil tes konsolidasi, yaitu

a) Tekanan Pra-Konsolidasi (*preconsolidation pressure*)

Tekanan pra-konsolidasi menunjukkan besarnya tekanan vertikal maksimum yang pernah terjadi dimasa lampau terhadap tanah tersebut σ'_p .

b) Kompresi Asli (*virgin compression*)

Dari kurva hasil tes konsolidasi kompresi asli merupakan bagian kurva dengan tekanan melebihi tekanan pra-konsolidasi, bentuk kurvanya mendekati linier. Dari bagian kurva ini dapat dihitung indeks kompresi

(*compression index*) C_c , yang merupakan kemiringan dari bagian kurva ini.

c) Rekompresi Dan Pengembangan (*recompression and swell*)

Bagian rekompresi dari kurva konsolidasi menunjukkan tangka laku tanah jika mengalami tambahan beban kembali setelah sebelumnya mengalami penurunan tegangan, sedangkan jika tanah mengalami penurunan tegangan, tidak seluruhnya folume tanah kembali semula (lihat gambar 2.3), dari bagian kurva ini dapat dihitung indeks pengembangan (*sweliting index*) dan indeks rekompresi (*recompression index*).

- a. *swelling index* (C_s) merupakan kemiringan kurva pada saat mengalami penurunan tegangan.
- b. *Recompression index* (C_r) merupakan kemiringan kurva pada saat mengalami kenaikan tegangan kembali (*reloading*) setelah mengalami penurunan tegangan.

d) Koefisien Konsolidasi (C_v)

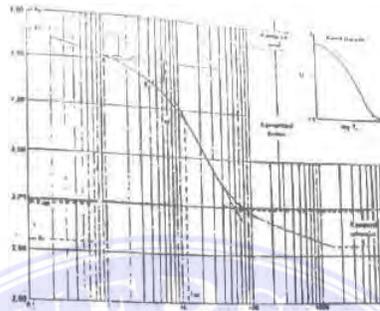
Koefisien konsolidasi menunjukkan kecepatan pengaliran air pori selama konsolidasi, secara empiris dapat ditentukan dengan 2 cara :

- metoda logaritma waktu (*casagrande*)
- metoda akar waktu (*taylor*)

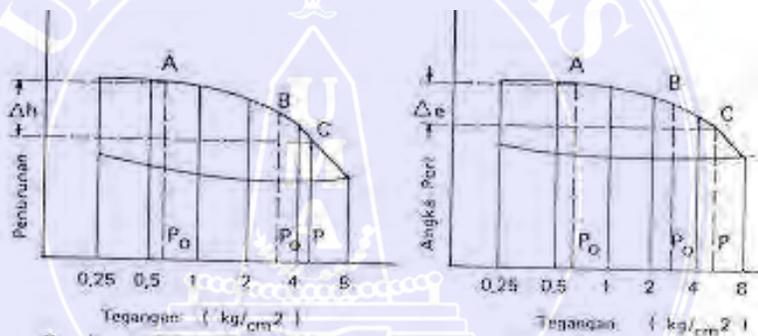
e) Kompresi Sekunder

Pembebanan teori terzaghi penurunan terjadi akibat pengaliran air-pori karena pengaruh tekanan dimana kecepatan penurunan tergantung pada permeabilitas tanah, tetapi percobaan menunjukkan bahwa kompresi terus berlanjut meskipun air-pori yang mengalir telah mencapai nol dan berjalan

secara lambat pada tekanan efektif yang konstan. Hal ini terjadi karena proses penyusunan kembali partikel tanah untuk membentuk susunan yang lebih stabil (lihat gambar 5).



Gambar 4. kurva penurunan – log waktu (Hardiyatmo, 2016)



Gambar 5. hubungan antara pori-tegangan efektif (Hardiyatmo, 2016)

2.7.5 Tekanan Pra-Konsolidasi (P_c')

Tekanan mempunyai memori atas beban yang pernah dialaminya. tegangan maksimum yang pernah dialami tanah tersebut tekanan konsolidasi (*preconsolidation pressure*) = $p_c' = \sigma_p'$.

Casagrande mengusulkan suatu prosedur empiris dari kurva $e - \log \sigma'$ untuk mendapatkan nilai σ_p' .

Gambar 7. memperlihatkan suatu kurva $e - \log \sigma'$ untuk contoh lempung

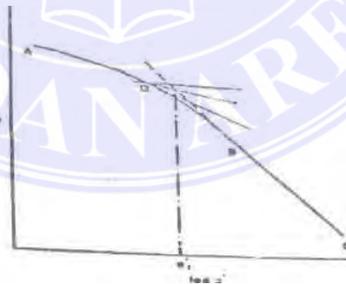
yang terkonsolidasi berlebihan (pada awalnya).

Perhitungan tekanan prakonsolidasi terdiri dari beberapa tahap ini.

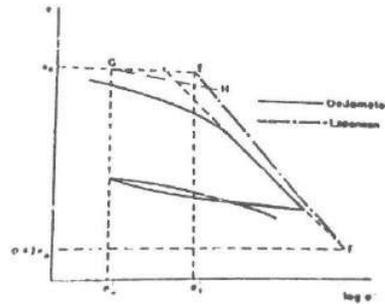
1. Tarik garis sesuai dengan bagian garis yang lurus (BC) dari kurva.
2. Tentukan titik D sampai ke lengkungan maksimum pada bagian rekompresi (AB) dari kurva.
3. Gambarkan garis singgung terhadap kurva pada D dan bagilah sudut antara garis singgung tersebut menjadi dua garis horizontal melalui D.
4. Garis vertikal yang melalui perpotongan garis-garis dan CB memberikan nilai pendekatan untuk tekanan prakonsolidasi.

Pada prosedur ini dapat mungkin tekanan prakonsolidasi tersebut tidak dilewati kompresi tidak akan besar bila dengan vertical efektif tetap di bawah σ_p' . Bila dilewati maka kompresi akan besar.

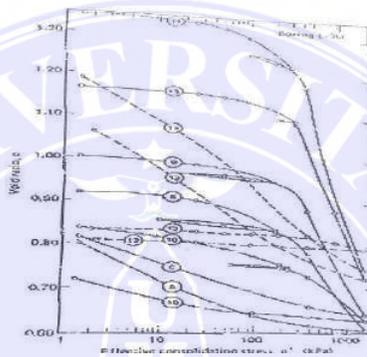
Selain metode casagrande, ada jug acara lain yang dipakai untuk menentukan tekanan prakonsolidasi yaitu menggunakan kurva $e - \log \sigma'$ di lapangan (gambar 6).



Gambar 6. Penentuan Tekanan Prakonsolidasi (Hardiyatmo, 2016)



Gambar 7. Kurva $e - \log \sigma'$ di lapangan (Hardiyatmo, 2016)



Gambar 8. *Effective consolidation stress*, σ'_{vc} (kPa) (Hardiyatmo, 2016)

Tabel 3. konsolidasi normal pada lempung (Kaufman & Sherman, 1964)

Test No.	Elev. (m)	Classification	Atterberg Limit			W (%)	C_c	σ_w (kPa)	σ_p
			LL	PL	PI				
8	-8,8	CL, clay, soft	41	24	17	34	0,3	160	200
9	-8,8	CL, clay, firm	50	23	27	36,4	1	170	250
10	-17,1	M, Sandy	31	25	5	29,6	0,8	230	350
11	-20,1	silt	81	25	55	50,6	1,4	280	350
12	-23,2	CH clay-soft	Non-Plastic			27,8	0,8	320	-
13	-26,2	SP sand	71	28	43	43,3	1,2	340	200
		CH clay wisilt scrata							

2.7.6 Penurunan Konsolidasi Tanah

Penambahan beban diatas suatu permukaan tanah dapat menyebabkan lapisan tanah di bawahnya mengalami pemampatan. Pemampatan tersebut disebabkan oleh adanya deformasi partikel tanah, relokasi partikel, keluarnya air atau udara di dalam pori, dan sebab-sebab lain. Beberapa atau semua factor tersebut mempunyai hubungan dengan keadaan tanah yang bersangkutan. Secara umum, penurunan (*settlement*) pada tanah yang disebabkan oleh pembebanan dapat dibagi dalam kelompok besar, yaitu :

1. Penurunan konsolidasi (*consolidation settlement*), yang merupakan hasil dari perubahan volume tanah jenuh air sebagai akibat dari keluarnya air yang menempati pori-pori tanah.
2. Penurunan segera (*immediate settlement*), yang merupakan akibat dari deformasi elastis tanah kering, basah dan jenuh air tanpa adanya perubahan kadar air. Perhitungan penurunan secara umumnya didasarkan pada penurunan yang di turunkan dari teori elastisitas.

Dalam desain fondasi untuk struktur teknik harus selalu memperhatikan bagaimana *settlement* akan terjadi dan seberapa cepat *settlement* terjadi karena *settlement* menyebabkan kerusakan srtuktur, khususnya jika *settlement* berlangsung cepat.

Settlement total yang terjadi pada tanah yang dibebani (S_t) mempunyai 3 komponen:

$$S_t = S_i + S_c + S_s \dots\dots\dots (2.3)$$

Yang mana :

S_i = *immediate settlement*

S_c = *consolidation settlement*

S_s = *secondary settlement*

2.7.7 Perhitungan penurunan konsolidasi

1. cari parameter tanah yang dibutuhkan dari grafik hasil uji konsolidasi laboratorium, seperti C_c , c_r , σ'_p . Dll
2. hitung OCR untuk menentukan apakah tanah lempung termasuk OC atau NC clay.
3. Hitung S_c dengan rumus berikut :

Tanah NC Clay :
$$S_c = \frac{C_c}{1 + e_0} \frac{\Delta \sigma'}{\bar{\sigma}'_p} \dots \dots \dots (2.4)$$

Tanah OC Clay :

a) $\sigma'_p + \Delta \sigma' \leq \bar{\sigma}'_p$, maka
$$S_c = \frac{C_c}{1 + e_0} \frac{\Delta \sigma'}{\bar{\sigma}'_p} \dots \dots \dots (2.5)$$

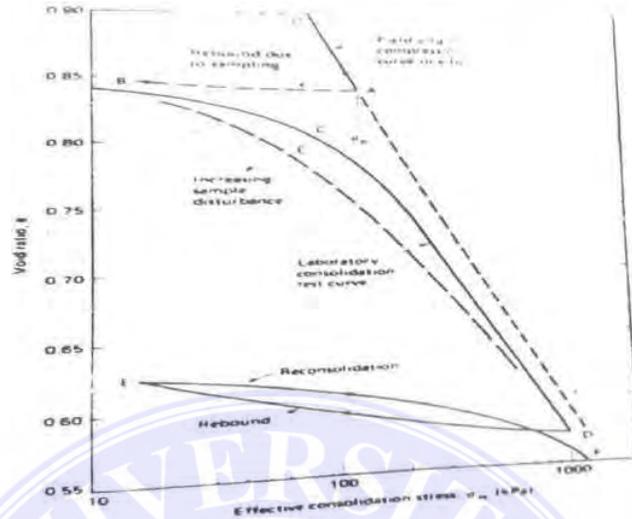
b) $\sigma'_p + \Delta \sigma' > \bar{\sigma}'_p$, maka
$$S_c = \frac{C_c}{1 + e_0} \frac{\Delta \sigma'}{\bar{\sigma}'_p} + \frac{C_c}{1 + e_0} \frac{\Delta \sigma' - (\bar{\sigma}'_p - \sigma'_p)}{\bar{\sigma}'_p} \dots \dots \dots (2.6)$$

dimana :

$\frac{\bar{\sigma}'_p}{\sigma'_p}$ = *overconsolidation ratio* =
 $\frac{\bar{\sigma}'_p}{\sigma'_p}$ = *preconsolidation pressure*

σ'_p = *effective overburden pressure* (beban karena lapisan di atas pertengahan *clay* yang akan dihitung *settlementnya*.)

$\Delta \sigma'$ = beban yang ditambahkan pada lapisan tanah tersebut (timbunan, Struktur)



Gambar 9. kurva angka pori terhadap tegangan yang menggambarkan (Hardiyatmo, 2016)

2.7.8 Kecepatan Konsolidasi

Karena permeabilitas tanah lempung kecil, maka konsolidasi akan selesai setelah jangka waktu yang lama, bias lebih lama dari umur rencana kontruksi. Untuk itu derajat konsolidasi perlu diketahui pada akhir umur rencana.

Rumus yang dipakai :
$$T_v = \frac{C_v t}{H_{dr}^2} \dots \dots \dots (2.7)$$

Yang mana :

T_v = factor waktu (*time factor*) dari tebal hubungan U% dan T

C_v = *coeffisien of consolidation* (dari grafik hasil uji konsolidasi)

t = waktu

H_{dr} = *drainage path* (panjang maksimum yang harus ditempuh air tanah untuk keluar atau lintasan drainase)

Aliran 1 arah : $H_{dr} = H_o$

Aliran 2 arah : $H_{dr} = H_o/2$

H_o = tebal lapisan

U = derajat konsolidasi
 S(t) = settlement yang terjadi di waktu tertentu (t)

Hubungan antara derajat konsolidasi rata-rata U., dan *time factor* T adalah sebagai berikut:

Tabel 4. Hubungan T dengan U (Hardiyatmo, 2016)

U cv	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
T	0,008	0,031	0,071	0,126	0,97	0,287	0,403	0,567	0,848	-

T juga dapat dihitung dengan rumus :

$$\text{Untuk } U < 60\%, T = \frac{100}{4} \left(\frac{U}{100} \right)^2 \dots \dots \dots (2.8)$$

$$\text{Untuk } U < 60\%, T = 1.781 - 0,933 \log (100-U\%)$$

Jadi :

$$\frac{U}{100} = \sqrt{\frac{4T}{100}} \dots \dots \dots (2.9)$$

2.7.9 Koefisien Konsolidasi (Cv)

Kecepatan penurunan konsolidasi dapat di hitung dengan menggunakan koefisien konsolidasi Cv. Kecepatan penurunan perlu diperhitungkan bila penurunan konsolidasi yang terjadi pada stuktur diperkirakan besar. Bila penurunan sangat kecil, kecepatan penurunan tidak terlalu penting diperhatikan, karena penurunan yang terjadi sejalan dengan waktunya tidak menghasilkan perbedaan yang berarti.

Cara menentukan Cv :

1. memakai kurva *dial reading vs log time* (cassagrande)

$$\frac{\bar{A} \bar{A} \bar{A}}{\diamond_{50} \bar{A} \bar{A} \bar{A}} \cdot \frac{2}{\dots\dots\dots} \dots\dots\dots (2.10)$$

2. metode akar waktu (taylor)

$$\frac{\bar{A} \bar{A} \bar{A}}{\diamond_{50} \bar{A} \bar{A} \bar{A}} \cdot \frac{2}{\dots\dots\dots} \dots\dots\dots (2.11)$$

Kecepatan penurunan konsolidasi primer bergantung pada kecepatan berkurangnya kelebihan tekanan air pori yang timbul akibat kenaikan tekanan oleh beban bangunan. Kenaikan tegangan efektif di dalam tanah akibat berkurangnya volume tanah dipengaruhi oleh kecepatan air pori meninggalkan rongga pori lapisan lempung yang tertekan. Kecepatan penurunan struktur sebagai akibat berkurangnya volume tanah dipengaruhi oleh kecepatan volume tanah dipengaruhi kecepatan air pori merembes lewat lapisan lempung menuju tanah lapisan permeabilitas tinggi yang memungkinkan terjadinya drainase. Terzaghi memperhatikan kondisi yang relatif sederhana dalam hitungan kecepatan konsolidasi primer. Beban dianggap terbagi rata dengan luasan beban yang luas sedemikian hingga kondisi drainasi dan konsolidasi satu dimensi. Dalam kondisi demikian penurunan segera dapat diabaikan.

Terdapat beberapa factor yang menyebabkan kecepatan penurunan konsolidasi di lapangan lebih cepat dari hasil hitungan kecepatan penurunan yang diberikan terzaghi. Jika lebar fondasi (B) kurang dari ketebalan lapisan lempung H, kecepatan penurunan hanya fungsi H. sedangkan untuk lapisan lempung yang tebal, kecepatan penurunan juga tergantung dari lebar fondasi B. jadi kecepatan penurunan konsolidasi, selain fungsi dari Cv, dan jarak lintasan drainase H, juga fungsi dari B.

Pengaruh dari lebar fondasi (B) dan lintasan drainase (H) terdapat kecepatan

penurunan fondasi pelat di 4 lokasi di perlihatkan oleh Butler (1974) dalam tabel 5. Dalam table tersebut diperhatikan variasi perbandingan antara C_v di lapangan (C_v lap) dan C_v di laboratorium (C_v lab) terhadap tebal lintasan drainase (H) dan lebar fundasi (B). terlihat bahwa stasiun Elstree, nilai bandingan (C_v lab) relative kecil, karena tebal lintasan drainase yang hanya 2,4 m kecil sehingga kemungkinan terselipnya lapisan-lapisan pasir atau lanau tipis yang memungkinkan terjadinya drainase tambahan pada lapisan lempung lebih sedikit.

Faktor lain yang mempengaruhi kecepatan penurunan konsolidasi adalah homogenitas tanah lempung. Adanya lapisan tipis tanah lolos air, seperti lanau dan pasir yang terselip antara lapisan lempung (gambar 2) memungkinkan adanya drainase menuju lapisan ini, sehingga lintasan drainase menjadi lebih pendek dari yang diperkirakan dalam hitungan.

Tabel 5. Pengaruh lebar fungsi fondasi pada nilai C_v (Butler, 1974)

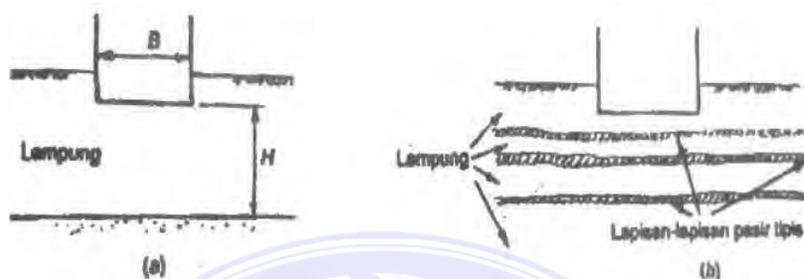
Lokasi	Lebar Pondasi (B) (m)	Lintasan drainase (H) (m)	C_v (lab)
Jalan Clapham	24	12	60
Jalan Hurley	20	10	60
Jalan Waterloo	8	7,5	10
Stasiun Elstree	1,5	2,4	2,5

Kadang-kadang lapisan tanah pasir yang terselip hanyalah berupa lensa-lensa tanah yang tidak memungkinkan sebagai tempat penampungan drainasi air yang berasal dari lapisan lempung (Gambar 1)

Apabila terdapat kasus seperti di atas, maka perhitungan kecepatan penurunan akan lebih baik bila kedua kondisi lapisan pasir, yaitu sebagai lapisan drainasi dan bukan sebagai lapisan drainasi, dihitung, kemungkinan penurunan yang dihasilkan dari kedua kondiaai tersebut dipertimbangkan terhadap keamanan

strukturnya.

Gambar 10. Beberapa sebab yang mempengaruhi kecepatan konsolidasi primer Lapisan lempung (Hardiyatmo, 2016)



2.9 Kadar Air (*Water Content*)

Secara umum, tanah terdiri dari tiga unsur yaitu butiran tanah atau partikel padat (*solid*), air (*water*), dan udara (air dan gas). Kandungan air dan udara yang terdapat di dalam tanah menempati rongga (*void*) yang terdapat di antara butiran, yang disebut pori tanah. Bila volume pori di dalam tanah dipenuhi oleh air, maka tanah dinyatakan dalam kondisi jenuh. Sebaliknya bila di dalam pori tanah tidak berisi air sama sekali, maka tanah dalam kondisi kering.

Besarnya volume air yang terkandung di dalam pori tanah disbanding dengan volume pori tanah yang ditempati oleh air dan udara disebut derajat kejenuhan (*degree of saturation*) yang dinotasikan dengan *S*.

Besarnya kandungan air yang terdapat di dalam suatu contoh tanah yang sering disebut kadar air, *w_c* (*moisture content* atau *water content*) dinyatakan dalam persentase terhadap berat tanah dalam keadaan kering, sehingga:

$$w_c = \frac{W_w}{W_s} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (2.12)$$

dimana:

W_C = kadar air (*water content*)

W_W = berat air

W_S = berat tanah dalam keadaan kering oven (*oven dry*)

2.10 Specific Gravity (Gs)

Berat spesifik atau berat jenis (*specific gravity*) (G_s) adalah perbandingan antara berat volume butiran padat (γ_d), dengan berat volume (γ_w) pada temperatur 4°C.

$$G_s = \frac{W_2 - W_1}{W_3 - W_1} \cdot \frac{W_4}{W_2 - W_1} \cdot \alpha \quad (2.13)$$

Dimana :

G_s = Berat jenis

W_1 = Berat picnometer (gram)

W_2 = Berat picnometer + tanah kering (gram)

W_3 = Berat picnometer + tanah + air (gram)

W_4 = Berat picnometer + air (gram)

α = Faktor Koreksi

Nilai – nilai *specific gravity* untuk berbagai jenis tanah dapat dilihat pada tabel 6.

Tabel 6. Nilai khas berat jenis (G_s) partikel tanah (Hardiyatmo, 2016)

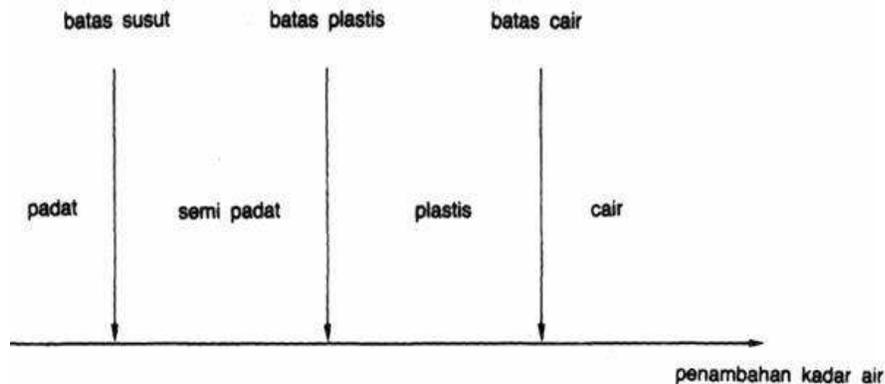
Macam tanah	Specific Gravity
Kerikil	2,65 – 2,68
Pasir	2,65 – 2,68
Lanau anorganik	2,62 – 2,68
Lanau organik	2,58 – 2,65
Lempung anorganik	2,68 – 2,75
Humus	1,37
Gambut	1,25 – 1,80

Tabel 7. Faktor Koreksi (Hardiyatmo, 2016)

Temperatur (C°)	Unit Weight of Water
4	1
16	0,99897
17	0,9988
18	0,99862
19	0,99844
20	0,99823
21	0,99802
22	0,9987
23	0,99757
24	0,99733
25	0,99708
26	0,99682
28	0,99267
29	0,99598
30	0,99568

2.11 Batas – batas Atterberg

Suatu hal yang penting pada tanah berbutir halus adalah sifat plastisitasnya. Plastisitas disebabkan oleh adanya partikel mineral lempung dalam tanah. Istilah plastisitas menggambarkan kemampuan tanah dalam menyesuaikan perubahan bentuk pada volume yang konstan tanpa retak-retak atau remak.

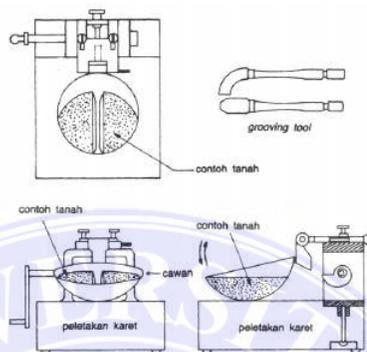


Gambar 11. Batas-batas Atterberg (Hary Christady Hardiyatmo, 2016)

Bergantung pada kadar air, tanah dapat berbentuk cair, plastis, semi padat atau padat. Kedudukan fisik tanah berbutir halus pada kadar air tertentu disebut *konsistensi*. Konsistensi bergantung pada gaya tarik antara partikel mineral lempung. Sembarang pengurangan kadar air menghasilkan berkurangnya tebal lapisan kation yang menyebabkan bertambahnya gaya tarik partikel. Bila tanah dalam kedudukan plastis, besarnya jaringan gaya antar partikel akan sedemikian hingga partikel bebas menggelincir antara satu dengan yang lain, dengan kohesi yang tetap terpelihara. Pengurangan kadar air menghasilkan pengurangan volume tanah. Atterberg (1991), memberikan cara untuk menggambarkan batas-batas konsistensi dari tanah berbutir halus dengan mempertimbangkan kandungan kadar air tanah. Batas-batas tersebut adalah batas cair (*liquid limit*), batas plastis (*plastic limit*) dan batas susut (*shrinkage limit*). Kedudukan batas-batas konsistensi untuk tanah kohesif ditunjukkan dalam gambar 11.

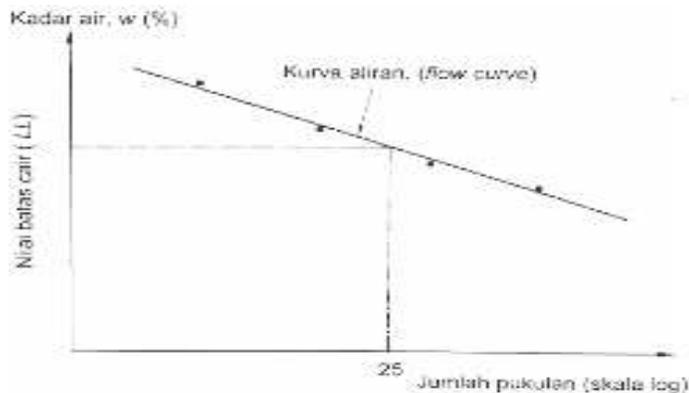
2.11.1 Batas Cair (*Liquid Limit, LL*)

Batas cair (LL), didefinisikan sebagai kadar air tanah pada batas antara keadaan cair dan keadaan plastis, yaitu batas atas dari daerah plastis.



Gambar 12. Skema Alat Uji Batas Cair (Hary Christady Hardiyatmo, 2017)

Batas cair biasanya ditentukan dari uji *Casagrande* (1948). Gambar skematis dari alat pengukur batas cair dapat dilihat pada Gambar 12. Contoh tanah dimasukkan dalam cawan. Tinggi contoh dalam cawan kira-kira 8 mm. Alat pembuat alur (*grooving tool*) dikerukkan tepat di tengah-tengah cawan hingga menyentuh dasarnya. Kemudian, dengan alat penggetar, cawan diketuk- ketukkan pada landasan dengan tinggi jatuh 1 cm. persentase kadar air yang dibutuhkan untuk menutup celah sepanjang 12,7 mm pada dasar cawan, sesudah 25 kali pukulan, didefinisikan sebagai batas cair tanah tersebut. Karena sulitnya mengatur kadar air pada waktu celah menutup pada 25 kali pukulan, maka biasanya percobaan dilakukan beberapa kali, yaitu dengan kadar air yang berbeda dengan jumlah pukulan berkisar antara 15 sampai 35. Kemudian, hubungan kadar air dan jumlah pukulan digambarkan dalam grafik semi logaritmik untuk menentukan kadar air pada 25 kali pukulan (Gambar 13).



Gambar 13. Kurva untuk penentuan batas cair lempung (Hary Chritady Hardiyatmo, 2017)

Kemiringan dari garis dalam kurva didefinisikan sebagai indeks aliran (*flow index*), dan dinyatakan dalam persamaan:

$$I_F = \frac{w_1 - w_2}{\log(N_2/N_1)} \dots\dots\dots (2.14)$$

dengan,

I_F = indeks aliran

w_1 = kadar air (%) pada N_1 pukulan

w_2 = kadar air (%) pada N_2 pukulan

Perhatikan bahwa nilai w_1 dan w_2 dapat ditukarkan untuk memperoleh nilai positifnya, walaupun kemiringan kurva sebenarnya negatif. Dari banyak uji batas-cair, *Waterways Experiment Station di Vicksburg, Mississippi* (1949), mengusulkan persamaan batas cair:

$$LL = w_N \left(\frac{N}{25} \right)^{0.6} \dots\dots\dots (2.15)$$

dengan,

N = jumlah pukulan, untuk menutup celah 0,5 in (12,7 mm)

w_N = kadar air

$g\beta = 0,121$ (tapi $tg \beta$ tidak sama dengan 0,121 untuk semua jenis tanah)

Tabel 8. Harga-harga $(N/25)^{0,121}$ (Braja M. Das, 2017)

N	$\bar{A} \bar{A} \bar{A}^{0,121}$	N	$\bar{A} \bar{A} \bar{A}^{0,121}$
	1		1
20	0,973	26	1,005
21	0,979	27	1,009
22	0,985	28	1,014
23	0,990	29	1,018
24	0,995	30	1,002
25	1,000		

2.11.2 Batas Plastis (*Plastic Limit, PL*)

Batas plastis (PL), didefinisikan sebagai kadar air pada kedudukan antara daerah plastis dan semi padat, yaitu persentase kadar air dimana tanah dengan diameter silinder 3,2 mm mulai retak-retak ketika digulung.

2.10.2 Indeks Plastisitas (*Plasticity Index*)

Indeks plastisitas (*PI*) adalah selisih batas cair dan batas plastis:

$$PI = LL - PL \dots\dots\dots(2.16)$$

Indeks plastisitas (*PI*) merupakan interval kadar air dimana tanah masih bersifat plastis. Karena itu, indeks plastisitas menunjukkan sifat keplastisan tanah. Jika tanah mempunyai PI tinggi, maka tanah mengandung banyak butiran lempung. Jika PI rendah, seperti lanau, sedikit pengurangan kadar air berakibat tanah menjadi kering. Batasan mengenai indeks plastisitas, sifat, macam tanah, dan

kohesi diberikan oleh Atterberg terdapat dalam Tabel 9.

Tabel 9. Nilai indeks plastisitas dan macam tanah (Jumikis, 1962)

PI	Sifat	Macam Tanah
0	Non Plastis	Non Kohesif
< 17	Plastisitas Rendah	Kohesif Sebagian
7' - 17	Plastisitas Sedang	Kohesif Sebagian
> 17	Plastisitas Tinggi	Kohesif

2.12 Pemadatan

2.12.1 Umum

Tanah, kecuali berfungsi sebagai pendukung fondasi bangunan, juga digunakan sebagai bahan timbunan seperti: tanggul, bendungan, dan jalan. Jika tanah dilapangan membutuhkan perbaikan guna mendukung bangunan di atasnya, atau tanah akan digunakan sebagai bahan timbunan, maka pemadatan sering dilakukan.

Tingkat pemadatan tanah diukur dari berat volume kering tanah yang dipadatkan. Bila air ditambahkan kepada suatu tanah yang sedang dipadatkan, air tersebut akan berfungsi sebagai pembasah (pelumas) pada partikel-partikel tanah. Karena adanya air, partikel-partikel tanah tersebut akan lebih mudah bergerak dan bergeseran satu sama lain dan membentuk kedudukan yang lebih rapat/padat. Untuk usaha pemadatan yang sama, berat volume kering dari tanah akan naik bila kadar air dalam tanah (pada saat dipadatkan) meningkat (Gambar5). Harap dicatat bahwa pada saat kadar air $w = 0$, berat volume basah dari tanah (γ') adalah sama dengan berat volume keringnya (γ'_d), atau

$$\gamma' = \gamma'_{d(w=0)} = \gamma'_d \dots\dots\dots (2.17)$$

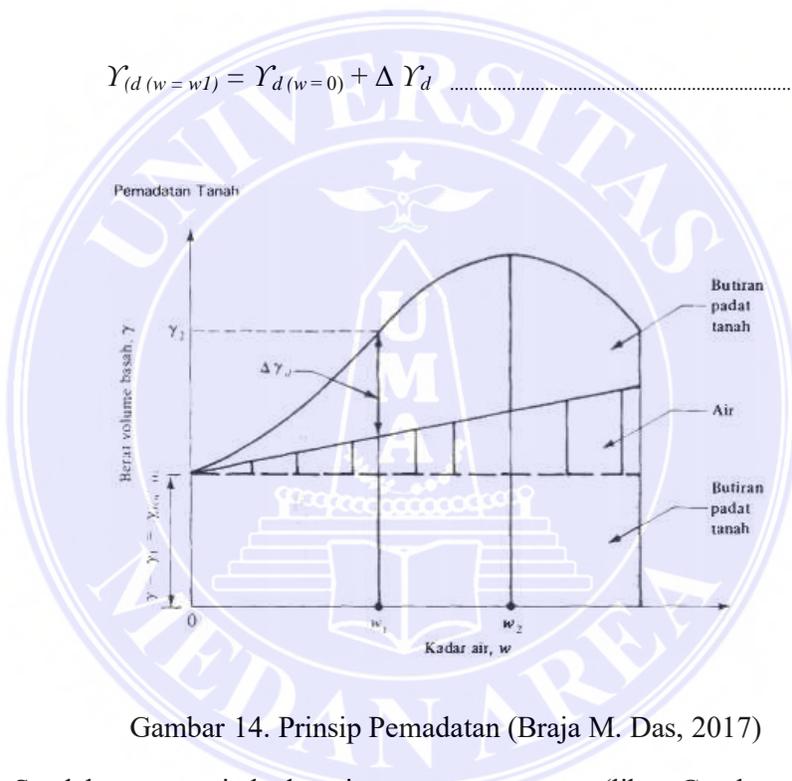
Bila kadar airnya ditingkatkan terus secara bertahap pada usaha pemadatan

yang sama, maka berat dari jumlah bahan padat dalam tanah persatuan volume juga meningkat secara bertahap pula. Misalnya, pada $w = w_1$, berat volume basah dari tanah sama dengan:

$$\gamma = \gamma_2 \dots\dots\dots (2.18)$$

Berat volume kering dari tanah tersebut pada kadar air ini dapat dinyatakan dalam:

$$\gamma_{d(w=w_1)} = \gamma_{d(w=0)} + \Delta \gamma_d \dots\dots\dots (2.19)$$



Gambar 14. Prinsip Pemadatan (Braja M. Das, 2017)

Setelah mencapai kadar air tertentu $w = w_2$ (lihat Gambar 14), adanya penambahan kadar air justru cenderung menurunkan berat volume kering dari tanah. Hal ini disebabkan karena air tersebut kemudian menempati ruang-ruang pori dalam tanah yang sebetulnya dapat di tempati oleh partikel-partikel padat dari tanah. Kadar air dimana harga berat volume kering maksimum tanah dicapai disebut kadar air optimum.

Tanah lempung yang dipadatkan dengan cara yang benar akan dapat

memberikan kuat geser tinggi. Stabilisasi terhadap sifat kembang-susut tergantung dari jenis kandungan mineralnya. Sebagai contoh, lempung *montmorillonite* akan mempunyai kecenderungan yang lebih besar terhadap perubahan volume dibanding dengan lempung *kaolinite*. Lempung padat mempunyai permeabilitas yang rendah dan tanah ini tidak apat dipadatkan dengan baik pada waktu sangat basah (jenuh). Bekerja dengan tanah lempung yang sangat basah akan mengalami banyak kesulitan, karena pada saat lempung dipadatkan, air sulit mengalir ke luar dari rongga pori lempung. Air yang tidak mau ke luar dari rongga pori tanah ini menyebabkan butiran sulit merapat satu sama lain saat dipadatkan.

Peristiwa bertambahnya berat volume kering oleh beban dinamis disebut **pemadatan**. Oleh akibat beban dinamis, butir-butir tanah merapat satu sama lain sebagai akibat berkurangnya rongga udara.

Percobaan-percobaan di laboratorium yang umum dilakukan untuk mendapatkan berat volume kering maksimum dan kadar air optimum adalah *Proctor Compaction Test* (Uji Pemadatan Proctor, menurut nama penemunya, Proctor, 1933). Cara dan prosedur untuk melakukan percobaan tersebut akan dibahas dalam uraian-uraian berikut.

2.12.2 Proctor Standar (*Standard Proctor Test*)

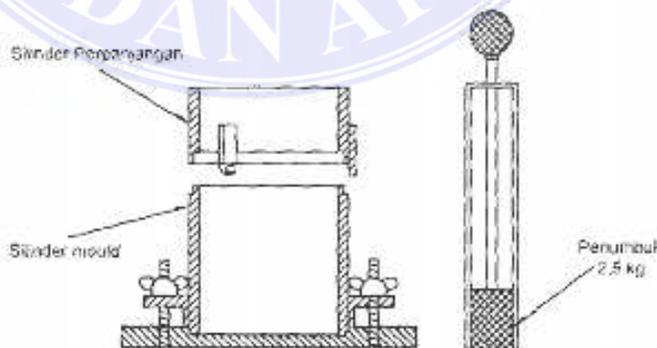
Untuk menentukan hubungan kadar air dan berat volume, dan untuk mengevaluasi tanah agar memenuhi persyaratan kepadatan, maka umumnya dilakukan uji pemadatan.

Proctor (1933) telah mengamati bahwa ada hubungan yang pasti antara kadar air dan berat volume kering tanah padat. Untuk berbagai jenis tanah pada umumnya, terdapat suatu nilai kadar air optimum tertentu untuk mencapai berat volume kering maksimumnya. Hubungan berat volume kering (γ_d) dengan berat volume basah (γ_b) dan kadar air (w), dinyatakan dalam persamaan :

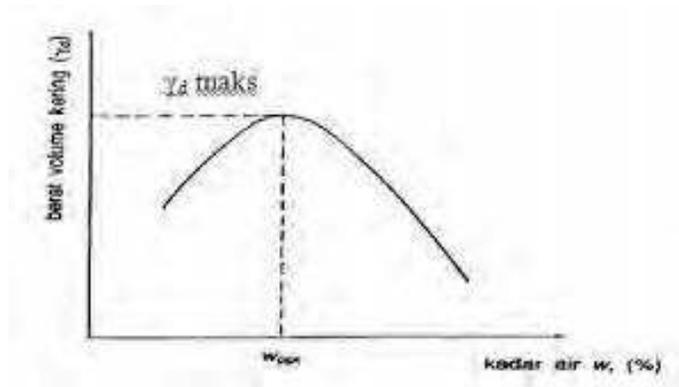
$$\gamma_d = \frac{\gamma_b}{1 + w} \dots\dots\dots (2.20)$$

Berat volume kering setelah pemadatan bergantung pada jenis tanah, kadar air, dan usaha yang diberikan oleh alat penumbuknya. Karakteristik kepadatan tanah dapat dinilai dari pengujian standar laboratorium yang disebut uji *Proctor*.

Pada uji *Proctor*, tanah dipadatkan dalam sebuah alat pemadat berupa silinder *mould* yang mempunyai volume $9,44 \times 10^{-4} \text{ m}^3$. Tanah dicampur air dengan kadar yang berbeda-beda dan kemudian dipadatkan dengan menggunakan penumbuk khusus. Tanah di dalam *mould* dipadatkan dengan penumbuk yang beratnya 2,5 kg dengan tinggi jatuh 30,5 cm (1ft). tanah dipadatkan dalam 3 lapisan dengan tiap lapisan ditumbuk 25 kali pukulan.



Gambar 15. Alat Uji Standar Proctor (Hary Christady Hardiyatmo, 2014)



Gambar 16. Kurva hubungan kadar air dan berat volume kering (Hary Christady Hadiyatmo, 2014)

Dalam uji pemadatan, percobaan diulang paling sedikit 5 kali dengankadar air tiap percobaan divariasikan. Kemudian, digambarkan sebuah grafik hubungan kadar air dan berat volume keringnya. Kurva yang dihasilkan dari pengujian memperlihatkan nilai kadar air yang terbaik (w_{opt}) untuk mencapai berat volume kering terbesar atau kepadatan maksimum.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Mekanika Tanah Universitas Katolik St. Thomas Medan. Pada penelitian ini menggunakan tanah lempung ekspansif daerah Tanjung Morawa.

3.2 Bahan Uji

1. Tanah, dalam penelitian ini tanah yang digunakan adalah tanah lempung yang diperoleh dari Jln. Limau Mungkur, Tanjung Morawa, Medan.
2. Asam fosfat, asam fosfat dibeli di toko jual bahan dan alat kimia.
3. Air, air yang digunakan berasal dari Laboratorium Mekanika Tanah Universitas Katolik St. Thomas Medan.

3.3 Pengujian Laboratorium

Pengujian dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah Sipil Universitas Katolik St. Thomas Medan. Beberapa pengujian yang dilakukan antara lain adalah:

1. *Basic Properties*, meliputi test kadar air (*water content*), batas cair, batas plastis dan berat jenis.
2. *Engineering Properties*, meliputi percobaan uji konsolidasi.

3.4 Gambaran Umum Penelitian

Penelitian ini dimulai dengan melakukan tinjauan pustaka untuk mencari bahan referensi tentang tanah lempung lunak yang menggunakan asam fosfat sebagai bahan campur pada uji konsolidasi. Dalam hal ini, referensi tentang tanah lempung lunak yang menggunakan asam fosfat sebagai bahan tambah uji konsolidasi di Universitas Medan Area ternyata belum pernah ada yang meneliti sebelumnya. Sehingga kami sebagai mahasiswa sipil yang ingin mencoba hal-hal baru demi memajukan kreatifitas kami sebagai salah satu mahasiswa sipil Universitas Medan Area memanfaatkan alat yang ada di laboratorium untuk melakukan pengujian konsolidasi dengan menggunakan bahan tanah lempung dengan bahan tambah asam fosfat sebagai variasi campuran. Demi kelancaran penelitian ini, kami melakukan konsultasi dan bimbingan dari dosen pembimbing serta beberapa referensi penelitian terdahulu yang berasal dari luar kampus Universitas Medan Area, yang berupa jurnal-jurnal dan penelitian yang dilakukan oleh beberapa institusi, sehingga penelitian ini dapat terlaksana. Adapun tempat dan waktu penelitian yaitu:

- a. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah Universitas Katolik St. Thomas Medan.
- b. Penelitian ini dilakukan selama 1 bulan.

Gambaran umum penelitian ini adalah penggunaan tanah lempung lunak sebagai bahan uji dan asam fosfat sebagai substitusi semen pada pengujian konsolidasi.

3.5 Jenis Pengujian Material

Jenis-jenis pengujian material menggunakan referensi dari SNI yang berlaku. SNI yang dipakai dalam pengujian karakteristik tanah dapat kita lihat pada tabel 3.1.

Tabel 10. Pengujian Karakteristik Tanah (Data Penelitian, 2023)

No	Jenis Pengujian	Referensi
1	Analisa Saringan	SNI 03-1968-1990
2	Batas Cair (<i>Liquid Limit</i> , LL)	SNI 03-1967-1990
3	Batas Plastis (<i>Plastic Limit</i> , PL)	SNI 03-1966-1990
4	Indeks Plastisitas (<i>Plasticity Index</i> , PI)	SNI 03-1966-1990
5	Berat Jenis Tanah	2008/ASTM D854
6	Analisa Hidrometer	SNI 03-3423-1994
7	Kepadatan Tanah	ASTM D698-70
8	Uji Konsolidasi	ASTM D-24-3589

3.6 Variabel Penelitian

Sebagaimana judul penelitian ini adalah Pengaruh Penambahan Asam Fosfat terhadap Nilai Konsolidasi Tanah Lempung Lunak. Maka variabel yang digunakan adalah :

- a. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah komposisi Asam Fosfat.
- b. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah konsolidasi.

3.7 Notasi Sampel

Dalam pengujian laboratorium, sampel diambil dari titik-titik yang berbeda guna untuk memastikan keakuratan data pengujian yang akan dihitung. Jumlah sampel yang digunakan dalam pengujian dapat kita lihat pada tabel 3.2.

Tabel 11. Jumlah Sampel Dalam Setiap Pengujian (Data Penelitian, 2023)

No	Jenis Percobaan	Komposisi Campuran	Kode Sampel	Jumlah Sampel (Buah)	Total Sampel
1	Asam Fosfat (AF)	Tanah Tanpa Bahan Tambah	KK0	3	9
		Tanah + 3% AF	KK1	3	
		Tanah + 5% AF	KK2	3	

Mengingat waktu yang diperlukan pada penelitian ini, terutama pada pengujian konsolidasi tanah yang memerlukan waktu 8 (delapan) hari 8 (delapan) malam penuh, untuk 1 (satu) kali benda uji, maka kami hanya memakai 2 (dua) sampel tiap variasi, tentunya dengan pertimbangan keterbatasan alat uji dan ruang pengujian yang kurang memadai yang ada di laboratorium mekanika tanah Universitas Medan Area.

3.8 Pengujian Sampel

Secara garis besar langkah-langkah yang di tempuh dalam penelitian ini sebagai berikut :

1. Melakukan pemeriksaan karakteristik pada tanah tambah bahan tambah.
2. Merencanakan proporsi asam fosfat yang akan digunakan pada pengujian konsolidasi tanah.
3. Pembuatan benda uji dengan campuran abu sekam padi berdasarkan komposisi variasi yang telah di tentukan.
4. Melakukan pengujian konsolidasi tanah.
5. Menganalisis data hasil pengujian yang diperoleh dari hasil uji konsolidasi tanah.

3.9 Metode Analisa

Pada analisa data yang digunakan yaitu analisis berdasarkan data hasil pengujian di laboratorium Universitas St. Thomas Katolik Medan, dengan langkah-langkah sebagai berikut :

1. Analisis distribusi butiran terhadap tanah yaitu melakukan analisis hasil pengujian tanah di laboratorium dan klasifikasinya menurut klasifikasi tanah serta menggolongkannya menurut jenis mineral tanah.
2. Analisis kadar air dan berat jenis tanah lempung lunak terhadap penggunaan lapisan tanah dasar.
3. Analisis hasil pemadatan tanah asli dilakukan guna mengetahui nilai kadar air optimum terhadap peningkatan kepadatan tanah.
4. Analisis hasil konsolidasi tanah asli dan variasi asam fosfat terhadap

peningkatan nilai koefisien konsolidasi (C_v), nilai indeks pemampatan (C_c) dan nilai indeks pengembangan (C_s). Analisis ini digunakan untuk mencari hubungan penambahan asam fosfat terhadap nilai koefisien konsolidasi, nilai indeks pemampatan dan nilai indeks pengembangan yang dituangkan dalam grafik untuk mengetahui nilai konsolidasi tanah lempung lunak setelah di beri bahan tambah Asam Fosfat (AF) dapat di jadikan sebagai tanah dasar.



3.10 Bagan Alur



Gambar 17. Bagan Alir Penelitian (Analisa Peneliti, 2023)

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan, maka dilihat nilai rata-rata: indeks pemampatan (C_v) berdasarkan variasi Asam Fosfat (AF) penambahan 0% AF = 0,712885 mm/detik, penambahan 3% AF = 0,7184567 mm/detik dan penambahan 5% AF = 0,724498 mm/detik serta hasil indeks pemuai (C_c) dengan nilai rata-rata: penambahan 0% AF = 0,011, penambahan 3% AF = 0,009 dan penambahan 5% AF = 0,007. Perubahan nilai akhir uji konsolidasi tersebut, terjadi karena adanya penambahan asam fosfat pada tanah lempung lunak. Peningkatan terjadi pada koefisien konsolidasi dengan kecepatan tertinggi 0,724498 mm/detik pada campuran 5% asam fosfat dan indeks pemampatan dengan penurunan tertinggi 0,007 pada campuran 5% asam fosfat. Dengan hasil tersebut dapat diketahui bahwa asam fosfat dapat mempengaruhi hasil uji konsolidasi tanah lempung lunak.

5.2. Saran

1. Bagi yang ingin melakukan penelitian lanjutan agar kiranya lebih teliti dalam melakukan proses pergantian beban dan pembacaan dial setelah pergantian beban.
2. Perlunya ruang khusus saat penelitian, dikarenakan sensitifnya jarum dial serta sensitifnya tekanan yang terjadi pada benda uji akibat getaran dari lantai maupun dinding yang dapat mengurangi keakuratan pengujian.

DAFTAR PUSTAKA

- A S Syahril, Marques, 2021. *The effect Adding Lime and Phosphoric Acid for Soft Soil Improvement on Unconfined Compressive Strngth Value*. Advances in Engineering Research. Volume 207.
- B. Mochtar Indrasurya, Noor Endah dan Braja M. Das. 2017. *Mekanika Tanah (Prinsip Rekayasa Geoteknis)*. Erlangga, Surabaya.
- Budi Gogot Setyo. 2011. *Pengujian Tanah di Laboratorium*. Graha Ilmu, Yogyakarta.
- Darwis, H. 2017. *Dasar – dasar Teknik Perbaikan Tanah*. Pustaka AQ, Yogyakarta.
- Hardiyatmo C. Harry, 2014. *Stabilization Of Clay With Additive Chemical Fosfat Acid As Subgrade*. Jurnal Ilmiah. Teknik SipilPoliteknik Negeri Sriwijaya.
- Hardiyatmo C. Hary. 2016. *Mekanika Tanah 1*. Gajah Mada University Press, Yogyakarta.
- Hardiyatmo C. Hary. 2017. *Stabilisasi Tanah Untuk Perkerasan Jalan*. Gajah Mada University Press, Yogyakarta.
- Hardiyatmo C. Hary. 2018. *Stabilisasi Tanah*. Buku Ajar Universitas “45”, Makasar.
- Holtz dan Gibbs. Pengaruh Penambahan Kapur Terhadap Kekuatan dan Pengembangan (*swelling*) Pada Tanah Lempung Ekspansif Bojonegoro. Jurnal Jurusan Teknik Sipil.

- Korn, Water. 1975. Peningkatan Nilai CBR Laboratorium Rendaman Tanah dengan Campuran Kapur, Abu Sekam Padi dan Serat Karung Plastik. *Jurnal Ilmiah Semesta Tenika*. 12 (1) : 21 – 27
- Rao. 1994. *Pengaruh Waktu Pemeraman Dengan Menambahkan Kapur Sebagai Bahan Additive Pada Tanah Lempung Ekspansif Terhadap Nilai CBR Tanah*. Skripsi. Universitas Medan Area.
- Sudjianty. 2007. USC Tanah Lempung Ekspansif yang Distabilisasi dengan Abu Ampas Tebu dan Kapur. *Jurnal Teknik Sipil*. 8 : 64 – 77. Lambe. 1962. *Tanah Ekspansif Karakteristik dan Pengukuran Perubahan Volume*. Graha Ilmu, Jawa Timur.
- Nasution, M. (2020). Smart-Design Instalasi Digester Biogas Skala Komunal Pesantren High Temperature. *AGREGAT*, 5(2).
- Nasution, M. (2022). Perbandingan Kuat Tekan Beton Menggunakan Agregat Halus (Pasir) Antara Sungai Tanjung Balai Dan Sungai Kisaran. *Jurnal Bidang Aplikasi Teknik Sipil dan Sains (BATAS)*, 1(2), 57-64.
- Satria, H., Mungkin, M., & Nasution, M. (2021). Perancangan Teknologi Wastafel Cuci Tangan Otomatis Berbasis Proximity Infrared Switch Sensor Dalam Mendukung Pembelajaran Blended Learning Pada Kondisi Covid-19.
- Wulandari, T. E., Dayana, I., & Satria, H. (2023). The Initial Process of Dam Construction is Seen from a Topographical Perspective (Bench Mark Coordinates and Control Point Coordinates): Case study of DI Bajayu Kab Serdang Bedagai. *International Journal of Innovative Research in Computer Science & Technology*, 11(2), 34-37.

- Wulandari, T. E. (2021). Prediksi Penurunan Konsolidasi Menggunakan Preloading dan Prefabricated Vertical Drain dengan Software Metode Elemen Hingga. *JOURNAL OF CIVIL ENGINEERING BUILDING AND TRANSPORTATION*, 5(2), 99-108.
- Wulandari, T. E. (2018). Perencanaan Kantong Lumpur pada Proyek Pembangunan Bendung Sei Padang DI Bajayu Kota Tebing Tinggi Sumatera Utara.
- Hasibuan, S., & Kurniati, D. (2020). Redesain Awana Condotel Menggunakan Metode Flat slab Berdasarkan SNI 2847-2013. *TEKNIK*, 41(1), 92-99.
- Hasibuan, S. (2020). Analisis Kinerja Seismik Rumah Pasangan Batu Bata. *PROSIDING SNITT POLTEKBA*, 4, 151-156.
- Dewi, S., Septarini, B., Prihandono, F. X., Herawati, F. A., & Hasibuan, S. (2021). REVITALISASI MUSEUM DOKTER YAP. *Jurnal Arsitektur KOMPOSISI*, 15(1), 27-34.
- Hasibuan, S. A. R. S., Kurniati, D., & Sari, M. P. (2021). Desain dan Analisis Flat Slab dengan Software Matlab. *Teknika*, 16(2), 88-96.
- Dayana, I., & Sari, M. P. (2023). Workshop Penulisan Buku Ajar Bagi Dosen Akademi Maritim Belawan Medan. *Center of Knowledge: Jurnal Pendidikan Dan Pengabdian Masyarakat*, 8-13.
- Sari, M. P. (2018). Pembuatan dan Karakterisasi Genteng Polimer dari Lateks, Pasir dan Aspal dengan Polipropilena (PP) sebagai Perekat dengan Menggunakan Metode Hot Press (Doctoral dissertation, Universitas Sumatera Utara).
- Sari, N. P. (2021). Analisis Kehilangan Gaya Prategang Girder Pada Jembatan Proyek Pembangunan Jalan Tol Tebing Tinggi-Inderapura (Doctoral dissertation, Universitas Medan Area).

Hermansyah, H. Penggunaan Link Slab untuk Perbaikan Jembatan Komposit. Jurnal Teknik Sipil Bandar Lampung, 12(1), 1247-1257.

Hermansyah, H. (2019). KAJIAN KERUSAKKAN PADA KONSTRUKSI BANGUNAN BASEMENT COOLING WATER PUMP (CWP) PLTU PEMBANGKITAN SUMATERA UTARA BAGIAN UTARA SEKTOR PEMBANGKITAN BELAWAN. JURNAL ILMIAH TEKNIK SIPIL, 9(1), 13-21.





FOTO DOKUMENTASI

1. Pengambilan Sampel Tanah



2. Pengujian kadar air tanah



3. Pengujian Analisa saringan



4. Pengujian berat jenis tanah



5. Pengujian Batas Plastis



6. Pengujian Batas Cair



7. Pengujian Konsolidasi





<i>Project :</i>	.. WATER CONTENT	<i>Date :</i>
SOIL INVESTIGATION		<i>Test by :</i> <i>Checked by :</i>
<i>Location :</i> Lab. Mekanika Tanah	<i>BH :</i>	<i>depth :</i>

No.	Nomor Pengujian	Tanah Tidak Terganggu (Undisturbed Soil)		
		I	II	III
1	Berat Cawan (W_1), gram	12,68	15,55	12,36
2	Berat Cawan + Tanah Basah (W_2), gram	35,44	46,99	40,15
3	Berat Cawan + Tanah kering (W_3), gram	29,25	33,31	32,26
4	Berat Air ($W_2 - W_3$), gram	6,16	7,64	7,89
5	Berat Tanah Kering ($W_3 - W_1$), gram	16,57	17,76	19,90
6	Kadar air, $w = \frac{W_2 - W_3}{W_3 - W_1} \times 100\%$	37,18	43,02	39,65
7	Kadar air rata - rata ($W_{rata - rata}$)	39,95		



Project :	SPESIFIC GRAVITY	Date :
SOIL INVESTIGATION		Test by :
		Checked by :
Location : Lab. Mekanika Tanah	BH :	depth :

Nomor Piknometer	-	I	II	III
Berat Piknometer, W1	gram	39,87	39,11	38,88
Berat Piknometer + Air, W2	gram	139,37	138,61	138,38
Berat Piknometer + Air + Tanah, W3	gram	170,95	170,34	169,87
Berat Tanah Kering, W4	gram	50	50	50
Temperatur	°C	25	25	25
Faktor Koreksi		0,99708	0,99708	0,99708
Berat Jenis (Gs)		2,71	2,73	2,69
Berat Jenis rata-rata			2,71	



Project :	SHIEVE ANALYSIS	Date :
SOIL INVESTIGATION		Test by :
		Checked by :
Location : Lab. Mekanika Tanah	BH :	depth :

No. Saringan	Diameter Saringan (mm)	Berat Butir Tertinggal (gr)	Persentase Berat Butiran Tertinggal (%)	Persentase Kumulatif Berat Butiran Tertinggal (%)	Persentase Kumulatif Lolos (%)
3/8	19,5	66,43	933,51	6,64	93,55
4	4,75				
8	2,36	187,4	746,11	18,74	74,61
10	2	44,1	702,01	4,41	70,20
20	0,85	233,24	468,77	23,32	46,82
40	0,425	292,99	175,78	29,80	17,58
60	0,25	69,24	106,54	6,92	10,65
80	0,18	43,91	62,63	4,39	6,26
100	0,15	18,75	43,88	1,88	4,39
200	0,075	33,89	9,99	3,39	1,00
Pan		9,99	0	1,00	0
	Σ	1000			



Project	ATTERBERG LIMIT		Date :	
PLASTIS LIMIT AND LIQUID LIMIT			Test by :	
Location : Lab Mekanika Tanah			Checked by :	
BH :		depth :		

PL

No. Test	-	1	2	3
No. Container	-	A1	A2	A3
Berat Tanah Basah + Container, W1	gram	17,76	20,56	16,45
Berat Tanah kering + Container, W2	gram	17,21	19,71	15,77
Berat Container, W3	gram	12,68	15,55	12,36
Berat Air, $W_w = W_1 - W_2$	gram	0,55	0,85	0,68
Berat Tanah Kering, $W_d = W_2 - W_3$	gram	4,53	4,16	3,41
Kadar Air, $(W_w/W_d) \times 100\%$	%	12,41	20,43	19,94
Kadar Air Rata-rata	%	17,51		

LL

No. Test	-	1	2	3	4
Jumlah pukulan	-	43	32	21	13
No. Container	-	1A	2A	3A	4A
Berat Tanah Basah + Container, W1	gram	58,60	50,80	49	52,30
Berat Tanah kering + Container, W2	gram	38,90	36,50	34,70	36,20
Berat Container, W3	gram	8,7	8,7	8,5	9
Berat Air, $W_w = W_1 - W_2$	gram	14,7	14,3	14,3	16,1
Berat Tanah Kering, $W_d = W_2 - W_3$	gram	30,2	27,8	26,2	27,2
Kadar Air, $(W_w/W_d) \times 100\%$	%	48,68	51,44	54,58	59,19
Kadar Air Rata-rata	%	53,47			



Project : T.A + AF 0%	CONSOLIDATION TEST	Date : Senin, 3 Juli 2023
SOIL INVESTIGATION		Test by : Checked by :
Location : Lab. Mekanika Tanah	BH :	Depth : SAMPEL 1

Waktu (jam)	Waktu (menit)	Waktu (detik)	Beban (Kg)							
			0,5	1	2	4	8	16	1	0,5
0	0	0		24	44	92	140	165,5	241	215
0,00417	0,25	15	14	35,5	73	141	156	203	228	211
0,01667	1	60	14,5	37,5	74	120	157,5	215	225	209
0,0375	2,25	135	15	38	76	125	158	221	222	207
0,06667	4	240	15,5	38,5	77	130	159	225,5	220	206
0,10417	6,25	375	16	38,9	78	135	159,5	228,5	221,5	205,2
0,15	9	540	16,5	39	78,9	135,9	160,5	230,5	221	205
0,20417	12,25	735	16,8	39,5	79,2	136	160,9	232	220,5	204,1
0,3375	20,25	1215	17,5	40	83	136,5	161,5	234	220	203,9
0,41667	25	1500	18	40,6	83,5	137	162	234,9	219,5	202,5
0,6	36	2160	18,5	40,9	83,1	137,5	162,5	235,9	219	202
1	60	3600	19	41	83	138	163	237	218,5	201,5
2	120	7200	21	41,5	89,5	138,5	163,5	238	218	201
4	240	14400	22	42	90	139,5	164	239	217	200
8	480	28800	23,5	43	91	139,5	165	240	216	195
24	1440	86400	24	44	92	140	165,5	241	215	1,9

Data	Sebelum	Sesudah	
Diameter ring (D)	=	5,025	cm
Tinggi ring (benda uji) (H)	=	1,963	cm
Luas ring (benda uji) (A)	=	19,82	cm ²
Volume ring (benda uji)	=	38,91	cm ³
Berat ring (W ₁)	=	39,22	gr
Berat tanah basah + ring (W ₂)	=	99,87	Gr
Berat tanah kering + ring (W ₃)	=	80,35	Gr
Berat tanah basah (W ₂ - W ₁)	=	60,65	Gr
Berat tanah kering (W ₃ - W ₁)	=		Gr



Project : TA + AF 3%	CONSOLIDATION TEST	Date : Senin, 3 juli 2023
SOIL INVESTIGATION		Test by :
Location : Lab. Mekanika Tanah		Checked by :
BH :		Depth : SAMPEL 1

Waktu (jam)	Waktu (menit)	Waktu (detik)	Beban (Kg)							
			0,5	1	2	4	8	16	1	0,5
0	0	0		20,8	30,8	44	66	119	141	119,2
0,00417	0,25	15	9,5	23	37,5	59	92,2	131,6	129	116,2
0,01667	1	60	11	24,1	38	60,3	93	132,5	127	115,2
0,0375	2,25	135	12,2	25	38,5	61	94	133	125	114,2
0,06667	4	240	13,5	25,5	38,8	61,2	94,5	134	124,8	113,3
0,10417	6,25	375	14,5	26	39	61,9	95	134,5	124,7	112,6
0,15	9	540	15,1	26,5	39,1	62	95,5	135	124,3	112,5
0,20417	12,25	735	16	27,5	39,5	62,1	96	135,5	123,9	111,7
0,3375	20,25	1215	17	28	41	62,5	96,5	136	123,5	111,6
0,41667	25	1500	18	28,2	41,2	62,9	97	136,5	123,1	110,3
0,6	36	2160	18,1	28,5	41,5	63	97,1	137	122,7	109,9
1	60	3600	18,9	28,9	42	64,1	99	137,5	122,3	109,5
2	120	7200	19,2	29,3	42,5	64,5	104	138	121,9	109,1
4	240	14400	19,9	29,8	43	65	109	139	121	108,2
8	480	28800	20,5	30,2	43,5	65,5	113	140	120,1	107,2
24	1440	86400	20,8	30,8	44	66	119	144	119,2	106,2

Data	Sebelum	Sesudah
Diameter ring (D)	=	5,009 cm
Tinggi ring (benda uji) (H)	=	1,992 cm
Luas ring (benda uji) (A)	=	19,70 cm ²
Volume ring (benda uji)	=	39,84 cm ³
Berat ring (W ₁)	=	36,19 gr
Berat tanah basah + ring (W ₂)	=	101,54 Gr
Berat tanah kering + ring (W ₃)	=	85,23 Gr
Berat tanah basah (W ₂ - W ₁)	=	62,38 Gr
Berat tanah kering (W ₃ - W ₁)	=	46,07 Gr



Project : T.A + AF 5%	CONSOLIDATION TEST	Date : Senin, 3 Juli 2023
SOIL INVESTIGATION		Test by : Checked by :
Location : Lab. Mekanika Tanah	BH :	Depth : SAMPEL 1

Waktu (jam)	Waktu (menit)	Waktu (detik)	Beban (Kg)							
			0,5	1	2	4	8	16	1	0,5
0	0	0		13,9	24,7	39	58,6	87,7	2,41	101,1
0,00417	0,25	15	5,1	16,6	29,1	49	78,7	111,4	2,28	99,1
0,01667	1	60	6,2	17,4	30,7	50,4	79,8	112	2,2	98,2
0,0375	2,25	135	7,1	18,5	31,7	51,5	80,7	112,5	105,8	97,5
0,06667	4	240	8	19,7	32,7	52,5	81,7	113	105,7	96,5
0,10417	6,25	375	9,3	20,7	33,6	53,4	82,6	113,5	105,6	95,9
0,15	9	540	9,9	21,5	34	54,2	83	114	105,3	95,8
0,20417	12,25	735	10,1	21,9	34,2	54,5	83,6	114,6	105	95,1
0,3375	20,25	1215	10,9	22,1	34,5	54,9	84,3	115	104,7	95,0
0,41667	25	1500	11,4	22,2	35	55,3	84,9	115,5	104,4	93,8
0,6	36	2160	11,8	22,5	35,5	55,8	85,3	116	104,1	93,5
1	60	3600	12,3	22,7	36	56,5	85,9	116,6	103,8	93,2
2	120	7200	12,9	23	36,5	57	86,3	117,2	103,5	92,9
4	240	14400	13,3	23,4	37	57,5	86,8	117,7	102,7	89,1
8	480	28800	13,5	23,8	38	58	87,4	118,2	101,9	86,1
24	1440	86400	13,9	24,7	39	58,6	87,7	118,8	101,1	86

Data	Sebelum	Sesudah	
Diameter ring (D)	=	4,943	cm
Tinggi ring (benda uji) (H)	=	1,969	cm
Luas ring (benda uji) (A)	=	19,18	cm ²
Volume ring (benda uji)	=	37,77	cm ³
Berat ring (W ₁)	=	44,61	gr
Berat tanah basah + ring (W ₂)	=	102,7	Gr
Berat tanah kering + ring (W ₃)	=	86,31	Gr
Berat tanah basah (W ₂ - W ₁)	=	64,93	Gr
Berat tanah kering (W ₃ - W ₁)	=	48,54	Gr



Project : T.A + AF 0%	CONSOLIDATION TEST	Date gelas, 11 Juli 2023
SOIL INVESTIGATION		Test by :
Location : Lab. Mekanika Tanah		Checked by :
BH :		Depth : SAMPEL 2

Waktu (jam)	Waktu (menit)	Waktu (detik)	Beban (Kg)							
			0,5	1	2	4	8	16	1	0,5
0	0	0		23,1	43	91,9	139,8	165,3	240,2	214,8
0,00417	0,25	15	13,9	35,4	70,9	110,9	155,8	202,9	227,1	207,1
0,01667	1	60	14,4	37,4	73,9	119,9	157,4	214	224,9	206,3
0,0375	2,25	135	14,9	37,9	75,9	124,9	157,8	220,9	221,9	204,9
0,06667	4	240	15	38,4	76,9	129,9	158,7	224,5	221,6	204,5
0,10417	6,25	375	14,6	38,8	77,9	134,9	158,9	228,4	221,3	204,09
0,15	9	540	15,5	38,9	78,8	135,7	160	229,5	220,9	203,8
0,20417	12,25	735	16,1	39,4	79	135,9	160,8	231,8	220,4	203,4
0,3375	20,25	1215	16,4	39,1	82,9	136,4	161,3	233,8	219,9	202,9
0,41667	25	1500	16,9	40,5	83,4	136,9	161,8	234,8	219,4	202,4
0,6	36	2160	17,9	40,8	84,9	137,4	162,4	235,4	218,9	201,9
1	60	3600	19,7	40,9	87,9	137,9	162,9	236,9	218,4	201,3
2	120	7200	20,7	41,4	89,4	138,4	163,4	237,9	217,8	200,6
4	240	14400	22,5	41,9	89,8	138,1	164,8	238,9	216,8	199,8
8	480	28800	22,7	42,8	90,8	139,4	165	239,6	215,8	199,9
24	1440	86400	23,1	43	91,9	139,8	165,3	240,2	214,8	197,9

Data	Sebelum	Sesudah
Diameter ring (D)	=	5,025 cm
Tinggi ring (benda uji) (H)	=	1,963 cm
Luas ring (benda uji) (A)	=	19,82 cm ²
Volume ring (benda uji)	=	39,91 cm ³
Berat ring (W ₁)	=	39,22 gr
Berat tanah basah + ring (W ₂)	=	98,25 Gr
Berat tanah kering + ring (W ₃)	=	81,24 Gr
Berat tanah basah (W ₂ - W ₁)	=	59,03 Gr
Berat tanah kering (W ₃ - W ₁)	=	42,02 Gr



Project : TA + AF 370	CONSOLIDATION TEST	Date Selasa, 11 Juli 2023
SOIL INVESTIGATION		Test by :
Location : Lab. Mekanika Tanah		Checked by :
BH :		Depth : SAMPEL 2

Waktu (jam)	Waktu (menit)	Waktu (detik)	Beban (Kg)							
			0,5	1	2	4	8	16	1	0,5
0	0	0		19,9	29,8	43,9	65,8	118,8	141	119,1
0,00417	0,25	15	10,9	22,9	37,4	59,1	91	131,9	128,9	113,1
0,01667	1	60	10,9	24	37,9	60,2	92,9	131,5	126,9	112,5
0,0375	2,25	135	12,1	24,9	38,4	60,9	93,8	132,9	124,9	112,1
0,06667	4	240	13	25,4	38,7	61,1	94,2	133	124,7	111,8
0,10417	6,25	375	13,5	25,9	38,9	61,8	94,4	134,4	124,6	111,5
0,15	9	540	14,1	26,4	39	61,8	95	134,7	124,2	111,3
0,20417	12,25	735	15,3	27,4	39,3	62	95,9	135,3	123,8	110,9
0,3375	20,25	1215	15,9	27,9	40,9	62,4	96,3	135,8	123,4	110,7
0,41667	25	1500	16,9	28,1	41,1	62,8	96,6	136,4	123	110,2
0,6	36	2160	17,1	28,4	41,3	62,9	97	136,9	122,6	109,8
1	60	3600	17,8	28,8	41,9	64	98,9	137,4	122,2	109,3
2	120	7200	17,9	29,2	42,4	64,4	103,9	137,9	121,08	108,7
4	240	14400	18,6	29,7	42,8	64,9	108,9	138,9	120,9	107,9
8	480	28800	19,5	30,7	43,3	65,4	112,8	139,6	119,99	103,7
24	1440	86400	19,9	29,8	43,9	65,8	118,8	140,2	119,1	98,07

Data	Sbelum	Sesudah
Diameter ring (D)	= 5,009	cm
Tinggi ring (benda uji) (H)	= 1,982	cm
Luas ring (benda uji) (A)	= 19,70	cm ²
Volume ring (benda uji)	= 39,04	cm ³
Berat ring (W ₁)	= 36,19	gr
Berat tanah basah + ring (W ₂)	= 100,36	Gr
Berat tanah kering + ring (W ₃)	= 86,35	Gr
Berat tanah basah (W ₂ - W ₁)	= 61,2	Gr
Berat tanah kering (W ₃ - W ₁)	= 46,19	Gr



Project : T.A + AF 5%	CONSOLIDATION TEST	Date Selasa, 11 Juli 2013
SOIL INVESTIGATION		Test by : Checked by :
Location : Lab. Mekanika Tanah	BH :	Depth : SAMPEL 2

Waktu (jam)	Waktu (menit)	Waktu (detik)	Beban (Kg)							
			0,5	1	2	4	8	16	1	0,5
0	0	0		13	23,8	38,9	58,4	87,5	118	101
0,00417	0,25	15	5	16,5	29	48,9	78,5	111,3	107,7	96
0,01667	1	60	6,1	17,3	30,6	50,3	79,7	111,7	106,8	95,5
0,0375	2,25	135	7	18,4	31,6	51,4	80,5	112,4	105,7	95,2
0,06667	4	240	7,5	19,6	32,6	52,4	81,4	112,7	105,6	95
0,10417	6,25	375	7,9	20,6	33,5	53,3	82	113,4	105,5	94,8
0,15	9	540	8,1	21,4	33,9	54	82,5	113,8	105,2	94,6
0,20417	12,25	735	9,4	21,8	34	54,4	83,5	114,4	104,9	94,4
0,3375	20,25	1215	9,8	22	34,4	54,8	84,1	114,8	104,6	94,1
0,41667	25	1500	10,3	22,1	34,9	55,2	84,5	115,4	104,3	93,7
0,6	36	2160	10,8	22,4	35,3	55,7	85,2	115,5	104	93,4
1	60	3600	11,2	22,6	35,5	56,4	85,8	116,5	103,7	93
2	120	7200	11,6	22,9	36,4	56,9	86,2	117,1	103,4	92,5
4	240	14400	12	23,3	36,8	57,4	86,7	117,6	102,6	91,9
8	480	28800	12,5	23,6	37,8	57,9	87,2	117,8	101,8	88
24	1440	86400	13	23,8	38,9	58,4	87,5	118	101	84

Data	Sebelum	Sesudah
Diameter ring (D)	= 4,943	cm
Tinggi ring (benda uji) (H)	= 1,969	cm
Luas ring (benda uji) (A)	= 19,18	cm ²
Volume ring (benda uji)	= 37,77	cm ³
Berat ring (W ₁)	= 44,61	gr
Berat tanah basah + ring (W ₂)	= 103,55	Gr
Berat tanah kering + ring (W ₃)	= 87,36	Gr
Berat tanah basah (W ₂ - W ₁)	= 65,78	Gr
Berat tanah kering (W ₃ - W ₁)	= 49,59	Gr



UNIVERSITAS KATOLIK ST. THOMAS, SU MEDAN
FAKULTAS TEKNIK PRODI TEKNIK SIPIL
LABORATORIUM MEKANIKA TANAH
 Alamat : Jl. Setia Budi No. 479 F – Tanjung Sari, Medan 20132

Project : T.A + AF 0%	CONSOLIDATION TEST	Date : Selasa, 18 Juli 2023
SOIL INVESTIGATION		Test by :
		Checked by :
Location : Lab. Mekanika Tanah	BH :	Depth : SAMPEL 3

Waktu (jam)	Waktu (menit)	Waktu (detik)	Beban (Kg)							
			0,5	1	2	4	8	16	1	0,5
0	0	0		32,1	52,1	100,1	148,1	173,6	249,1	223,1
0,00417	0,25	15	22,1	43,6	79,1	119,1	169,1	211,1	236,1	2,191
0,01667	1	60	22,6	45,6	82,1	128,1	165,6	223,1	233,1	2,17,1
0,0375	2,25	135	23,1	46,1	84,1	133,1	166,1	229,1	230,1	2,15,1
0,06667	4	240	23,6	46,6	85,1	138,1	167,1	233,6	229,8	2,14,3
0,10417	6,25	375	24,1	47	86,1	143,1	167,6	236,6	229,6	2,13,3
0,15	9	540	24,6	47,1	87	144	168,6	238,6	229,1	2,13,1
0,20417	12,25	735	24,9	47,6	87,3	144,1	169	240,1	228,1	2,12,2
0,3375	20,25	1215	25,6	48,1	91,1	144,6	169,6	242,1	227,6	2,12
0,41667	25	1500	26,1	48,7	91,6	145,1	170,1	243	227,1	2,10,6
0,6	36	2160	26,6	49	93,2	145,6	170,6	244	226,6	2,10,1
1	60	3600	27,1	49,1	96,1	146,6	171,1	245,1	226,1	2,09,6
2	120	7200	29,1	49,6	97,6	147,1	171,6	246,1	225,1	2,09,1
4	240	14400	30,1	50,1	98,1	147,6	172,1	247,1	224,2	2,08,1
8	480	28800	31,6	51	99,1	147,8	173,1	248,1	223,1	2,05,1
24	1440	86400	32,1	52,1	100,1	148,1	173,6	249,1	223,1	1,98,1

Data	Sebelum	Sesudah
Diameter ring (D)	= 5,025	cm
Tinggi ring (benda uji) (H)	= 1,963	cm
Luas ring (benda uji) (A)	= 19,82	cm ²
Volume ring (benda uji)	= 38,91	cm ³
Berat ring (W ₁)	= 39,22	gr
Berat tanah basah + ring (W ₂)	= 99,65	Gr
Berat tanah kering + ring (W ₃)	= 85,28	Gr
Berat tanah basah (W ₂ - W ₁)	= 100,84	Gr
Berat tanah kering (W ₃ - W ₁)	= 87,32	Gr



Project : T.A + AF 3%	CONSOLIDATION TEST	Date : Selasa, 18 Juli 2023
SOIL INVESTIGATION		Test by :
Location : Lab. Mekanika Tanah		Checked by :
BH :		Depth : SAMPEL 3

Waktu (jam)	Waktu (menit)	Waktu (detik)	Beban (Kg)							
			0,5	1	2	4	8	16	1	0,5
0	0	0		21	30,9	41,1	66,1	119,1	141,1	114,3
0,00417	0,25	15	9,7	23,1	37,6	59,1	98,3	130,7	129,1	116,3
0,01667	1	60	11,2	24,2	38,1	60,4	93,1	132,6	127,1	115,3
0,0375	2,25	135	12,4	25,1	38,6	61,1	94,1	133,1	125,1	114,3
0,06667	4	240	13,7	25,6	38,9	61,3	94,6	134,1	124,1	113,4
0,10417	6,25	375	14,7	26,1	39,1	62	95,1	134,6	124,8	112,7
0,15	9	540	15,3	26,6	39,2	62,1	95,6	135,1	124,4	112,6
0,20417	12,25	735	16,2	27,6	39,6	62,2	96,1	135,6	124	111,8
0,3375	20,25	1215	17,2	28,1	41,1	62,6	96,6	136,1	123,6	111,7
0,41667	25	1500	18,2	28,3	41,3	63	97,1	136,6	123,2	110,4
0,6	36	2160	18,3	28,6	41,6	63,1	97,2	137,1	122,8	110
1	60	3600	19,1	29	42,1	64,2	99,1	136,6	122,4	109,6
2	120	7200	19,4	29,4	42,6	64,6	104,1	138,1	122	109,2
4	240	14400	20,1	29,9	43,1	65,1	109,1	139,1	121,1	108,3
8	480	28800	20,7	30,3	43,6	69,6	113,1	140,1	120,2	104,3
24	1440	86400	21	30,9	44,1	66,1	119,1	141,1	119,3	100,3

Data	Sebelum	Sesudah
Diameter ring (D)	= 5,009	cm
Tinggi ring (benda uji) (H)	= 1,982	cm
Luas ring (benda uji) (A)	= 19,70	cm ²
Volume ring (benda uji)	= 39,04	cm ³
Berat ring (W ₁)	= 36,19	gr
Berat tanah basah + ring (W ₂)	= 100,84	Gr
Berat tanah kering + ring (W ₃)	= 87,32	Gr
Berat tanah basah (W ₂ - W ₁)	= 64,68	Gr
Berat tanah kering (W ₃ - W ₁)	= 51,16	Gr



Project TA + AF 5%	CONSOLIDATION TEST	Date Selasa, 18 Juli 2023
SOIL INVESTIGATION		Test by : Checked by :
Location : Lab. Mekanika Tanah	BH :	Depth : SAMPEL 3

Waktu (jam)	Waktu (menit)	Waktu (detik)	Beban (Kg)							
			0,5	1	2	4	8	16	1	0,5
0	0	0		14	24,8	39,1	58,7	87,8	118,9	102,1
0,00417	0,25	15	5,2	16,7	29,2	49,1	78,8	111,5	107,9	99,2
0,01667	1	60	6,3	17,5	30,8	50,5	79,9	112,1	107	98,3
0,0375	2,25	135	7,2	18,6	31,8	51,6	80,8	112,1	109,9	97,4
0,06667	4	240	8,1	19,8	32,8	52,6	81,8	112,6	105,8	96,6
0,10417	6,25	375	9,4	20,8	33,7	53,5	82,7	113,1	105,7	96,1
0,15	9	540	10	21,6	34,1	54,3	83,1	113,6	105,4	95,8
0,20417	12,25	735	10,2	22	34,3	54,6	83,7	114,1	105,51	95,2
0,3375	20,25	1215	11	22,2	34,6	55	84,4	114,5	104,8	95
0,41667	25	1500	11,5	22,3	35,1	55,4	85	115,1	104,5	94,5
0,6	36	2160	11,9	22,5	35,6	55,9	85,4	115,6	104,2	93,9
1	60	3600	12,4	23	35,7	56,6	86	116,1	103,9	93,2
2	120	7200	13	23,5	36,6	57,1	86,4	116,7	103,6	92,3
4	240	14400	13,4	23,8	37,1	57,6	86,9	117,3	102,8	90,3
8	480	28800	13,6	24,2	38,1	58,1	87,5	117,8	102,1	89,5
24	1440	86400	14	24,8	39,1	58,7	87,8	118,9	101,2	86,2

Data	Sebelum	Sesudah
Diameter ring (D)	= 4,943	cm
Tinggi ring (benda uji) (H)	= 1,969	cm
Luas ring (benda uji) (A)	= 19,18	cm ²
Volume ring (benda uji)	= 37,77	cm ³
Berat ring (W ₁)	= 44,61	gr
Berat tanah basah + ring (W ₂)	= 103,54	Gr
Berat tanah kering + ring (W ₃)	= 87,66	Gr
Berat tanah basah (W ₂ - W ₁)	= 65,77	Gr
Berat tanah kering (W ₃ - W ₁)	= 49,89	Gr



UNIVERSITAS MEDAN AREA

FAKULTAS TEKNIK

Kampus I : Jalan Kolam Nomor 1 Medan Estate/Jalan PBSI Nomor 1 ☎ (061) 7366070, 7360160, 7364340, 7366781, Fax: (061) 7360990 Medan 20223
 Kampus II : Jalan Setia Budi Nomor 79 / Jalan Sei Serayu Nomor 70 A, ☎ (061) 8225602, Fax: (061) 8226331 Medan 20122
 Website: www.teknik.uma.ac.id - E-mail: univ_medanarea@uma.ac.id

Nomor : 324/F1.1/01.10/VII/2023
 Lamp : -
 Hal : Penelitian Dan Pengambilan Data Tugas Akhir

5 Juli 2023

Yth. Ka. Prodi Teknik Sipil Universitas Katolik Santo Thomas Medan
 Jl. Setia Budi, Kampung Tengah, Kec, Medan Tuntungan
 Di
 Medan

Dengan hormat,
 Kami mohon kesediaan Bapak/Ibu berkenan untuk memberikan izin dan kesempatan kepada mahasiswa kami tersebut dibawah ini :

NO	N A M A	N P M	PRODI
1	Reynaldi Pardosi	198110061	Teknik Sipil

Untuk melaksanakan Penelitian dan Pengambilan Data Tugas Akhir pada perusahaan/Instansi yang Bapak/Ibu Pimpin.

Perlu kami jelaskan bahwa Pengambilan Data tersebut adalah semata-mata untuk tujuan ilmiah dan Skripsi yang merupakan salah satu syarat bagi mahasiswa tersebut untuk mengikuti ujian sarjana pada Fakultas Teknik Universitas Medan Area dan tidak untuk dipublikasikan, dengan judul penelitian :

“Uji Konsolidasi pada Tanah Lempung dengan Bahan Campuran Kimia Asam Fosfat”

Atas perhatian dan kerja sama yang baik diucapkan terima kasih.



Dekan,

Reynaldi Syah, S.Kom, M.Kom

Tembusan :
 1. Ka. BAMAI
 2. Mahasiswa
 3. File



UNIVERSITAS KATOLIK ST. THOMAS MEDAN
FAKULTAS TEKNIK PRODI SIPIL
LABORATORIUM MEKANIKA TANAH

Alamat : Jl. Setia Budi No.479 F – Tanjung Sari, Medan 20132

No. : 147/FTS-UKS/C.14/2023

Medan, 30 Agustus 2023

Kepada Yth,

Dekan Fakultas Teknik universitas Medan Area

Perihal : Pemberitahuan Selesai Penelitian dan Pengambilan Data Tugas Akhir

Menunjuk Surat Dekan Fakultas Teknik Universitas Medan Area Nomor :
312/FT.1/01.10/VI/2023 Tanggal 12 July 2023. Perihal Penelitian dan Pengambilan Data Tugas
Akhir, bersama ini disampaikan bahwa :

Nama : Reynaldi Pardosi

Npm : 198110061

Prodi : Teknik Sipil

Mahasiswa tersebut telah selesai melaksanakan Penelitian dan Pengambilan Data untuk
menyusun Tugas Akhir di Laboratorium Mekanika Tanah UNIKA St. Thomas Medan SU yang
beralamat di Jl. Setia Budi No. 479 F – Tanjung Sari, Medan 20132

Demikianlah disampaikan, atas perhatian dan kerjasamanya diucapkan terimakasih

Hormat kami,
Lab. UNIKA St. Thomas SU



Andrianto Sihotang
(Asisten Lab)