

**ANALISIS KONSOLIDASI DENGAN KOMBINASI
METODE *REPLACEMENT* DAN *PRELOADING*
MENGUNAKAN PLAXIS PADA PROYEK PEMBANGUNAN
JALAN TOL PEKANBARU – PADANG**

SKRIPSI

OLEH:

**MUHAMMAD SULTAN MUBARAQ SARAGIH
198110101**



**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

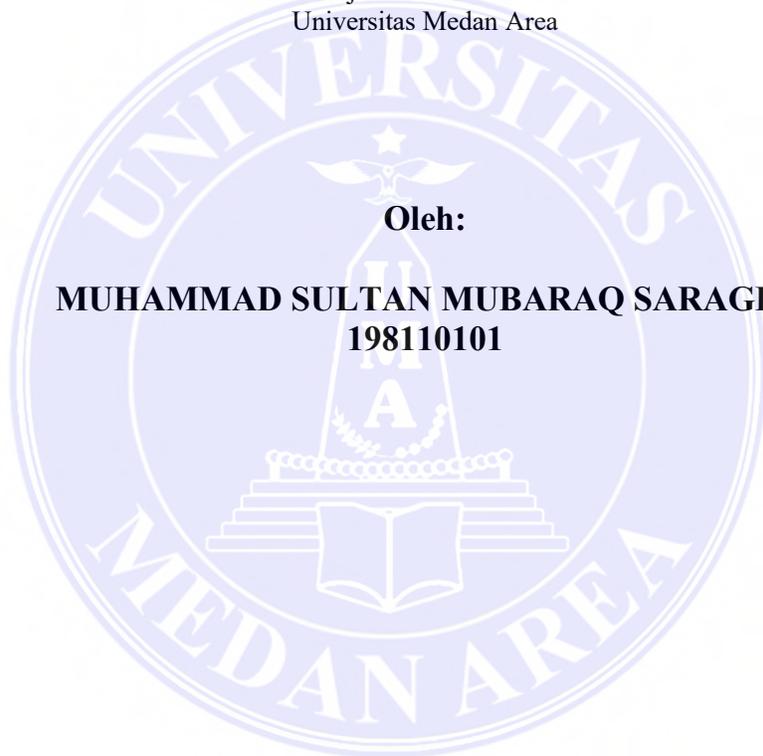
Document Accepted 13/12/23

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

**ANALISIS KONSOLIDASI DENGAN KOMBINASI
METODE *REPLACEMENT* DAN *PRELOADING*
MENGUNAKAN PLAXIS PADA PROYEK PEMBANGUNAN
JALAN TOL PEKANBARU – PADANG**

SKRIPSI

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



Oleh:

**MUHAMMAD SULTAN MUBARAQ SARAGIH
198110101**

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

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

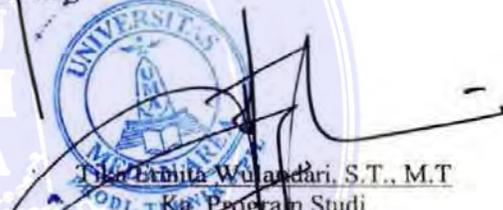
HALAMAN PENGESAHAN

Judul Skripsi : Analisis Konsolidasi Dengan Kombinasi Metode *Replacement* dan *Preloading* Menggunakan Plaxis Pada Proyek Jalan Tol Pekanbaru – Padang
Nama : Muhammad Sultan Mubaraq Saragih
NPM : 198110101
Fakultas : Teknik

Disetujui Oleh:
Komisi Pembimbing


Tika Ermita Wulandari, S.T., M.T
Pembimbing


Dr. Reza Nur Hafidza, M.Kom., M.Kom
Dekan


Tika Ermita Wulandari, S.T., M.T
Ket. Program Studi

Tanggal Lulus : 02 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.



HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

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

Nama : Muhammad Sultan Mubaraq Saragih
NPM : 198110101
Program Studi : Teknik Sipil
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Medan Area **Hak Bebas Royalti Noneklusif (*Non Exclusive Royalty Free-Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul : Analisis Konsolidasi Dengan Kombinasi Metode *Replacement* dan *Preloading* Menggunakan Plaxis Pada Proyek Jalan Tol Pekanbaru – Padang. Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan hak Bebas Royalti Noneklusif 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 : 02 Agustus 2023
Yang menyatakan


(Muhammad Sultan Mubaraq Saragih)

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Medan Pada tanggal 21 Januari 2002 dari Ayah Ir.Muhammad Ruslan Saragih dan Ibu Ismi Uliza Penulis merupakan putra ke 2 dari 3 bersudara. Tahun 2019 Penulis lulus dari SMK Negeri 1 Tajung Morawa dan pada tahun 2019 terdaftar sebagai Mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Medan Area. Pada tahun 2022 Penulis melaksanakan Praktek Kerja Lapangan (PKL) di PT.Wijaya Karya (Persero) Tbk pada proyek Pembangunan Jalan Tol Pekanbaru – Padang.



KATA PENGANTAR

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 Konsolidasi dengan judul Analisis Konsolidasi Dengan Kombinasi Metode *Replacement* dan *Preloading* Menggunakan Plaxis Pada Proyek Jalan Tol Pekanbaru – Padang. Terima kasih penulis sampaikan kepada Ibu Tika Ermita Wulandari, S.T., 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 PT. Wijaya Karya (Persero) Tbk dan Tim Wika Pkdang 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, kritik 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

(Muhammad Sultan Mubaraq Saragih)

ABSTRAK

Permasalahan geoteknik merupakan salah satu permasalahan geoteknik adalah penurunan dan daya dukung tanah yang merupakan pondasi dari jalan tol. Setiap jalan tol direncanakan sedemikian rupa sehingga memiliki beban tertentu dan elevasi tertentu yang terkadang tidak dapat dilayani oleh konsolidasi tanah eksisting karena karakteristik tanah yang lunak. Perbaikan tanah dengan cara *Replacement* pergantian material tanah dan pembebanan *Preloading* merupakan salah satu metode yang populer digunakan untuk meningkatkan kekuatan geser tanah lunak. Analisis ini bertujuan untuk menganalisis dan membandingkan besar penurunan konsolidasi secara analitis menggunakan pemodelan pada Plaxis 2D menggunakan tipe *mesh very fine* dengan data *settlement plate* di lapangan, menganalisis dan membandingkan besar penurunan konsolidasi dengan pemodelan Plaxis 2D dengan tipe *mesh* yaitu *very fine* dengan data *settlement plate* yang ada di lapangan. Dari hasil analisis diperoleh lama waktu konsolidasi pemodelan pada Plaxis 2D 149 hari sedangkan waktu penurunan dari hasil data *settlement plate* 39 hari dan besar penurunan konsolidasi menggunakan pemodelan Plaxis 2D menggunakan tipe *very fine* = 0,056 m sedangkan besar penurunan dari hasil data *settlement plate* sebesar 0,416 m dengan perbandingan persentasinya 86,53%. dapat disimpulkan perbedaan hasil data lapangan dan hasil analisis pada Plaxis 2D yang cukup jauh dikarenakan data yang didapat tidak semua dimiliki untuk setiap lapisan tanah.

Kata Kunci : Konsolidasi, *Replacement*, *Preloading*, Plaxis

ABSTRACT

One of the geotechnical problems is the reduction and bearing capacity of the soil which is the foundation of the toll road. Each toll road is planned in such a way that it has a certain load and a certain elevation which sometimes cannot be served by existing land consolidation due to the soft characteristics of the soil. Soil improvement by replacing soil material and preloading is one of the popular methods used to increase the shear strength of soft soil. This analysis aims to analyze and compare the amount of consolidation settlement analytically using Plaxis 2D modeling using very fine mesh type with settlement plate data in the field, analyzing and comparing the magnitude of consolidation settlement using Plaxis 2D modeling with very fine mesh type with settlement plate data. is in the field. From the results of the analysis, it was found that the consolidation time for modeling on Plaxis 2D was 149 days, while the reduction time from the settlement plate data results was 39 days and the amount of consolidation reduction using Plaxis 2D modeling using the very fine type = 0.056 m, while the reduction amount from the settlement plate data results was 0.416 m with the percentage comparison is 86.53%. It can be concluded that the differences between the results of field data and the results of analysis on Plaxis 2D are quite large because the data obtained is not all available for each soil layer.

keywords : Consolidation, Replacement, Preloading, Plaxis

DAFTAR ISI

	Halaman
COVER	i
HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
HALAMAN PERNYATAAN.....	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	v
RIWAYAT HIDUP	vi
KATA PENGANTAR	vii
ABSTRAK	viii
ABSTRACT	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Batasan Masalah.....	2
1.4. Maksud Penelitian	3
1.5. Tujuan Penelitian.....	3
1.6. Manfaat Penulisan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Peneliti Terdahulu	5
2.2. Umum	6
2.3. Tanah	7
2.4. Klasifikasi Tanah.....	9
2.4.1. Sistem Klasifikasi <i>Unites States Departemen of Agriculture (USDA)</i>	10
2.4.2. Sistem Klasifikasi <i>American Association of State Highway And Transportation Officials (AASHTO)</i>	11
2.4.3. Sistem Klasifikasi <i>Unified Soil Classification System (USCS)</i>	13
2.5. Tanah Lunak.....	17
2.5.1. Karakteristik Tanah Lunak.....	18
2.5.2. Tipe Tanah Lunak.....	19
2.6. Permasalahan Tanah Lunak	21

2.7.	Metode Perbaikan Tanah Lunak	24
2.7.1.	Metode <i>Replacement</i>	24
2.7.2.	<i>Preloading</i> dengan Tanah Timbunan.....	25
2.8.	Penurunan (<i>Settlement</i>)	26
2.8.1.	Penurunan Konsolidasi (<i>Consolidation Settlement - Sc</i>). 28	
2.8.2.	Penurunan Segera (<i>Immediate Settlement - Si</i>).....	30
2.8.3.	Penurunan Sekunder (<i>Secondary Settlement - Ss</i>).....	30
2.9.	Dasar Konsolidasi.....	31
2.9.1.	Uji Konsolidasi Satu Dimensi	33
2.9.2.	Derajat Konsolidasi Arah Vertikal.....	36
2.9.3.	Koefisien Konsolidasi Vertikal	37
2.9.4.	Grafik Angka Pori – Tekan	38
2.9.5.	Lempung yang Terkonsolidasi Secara Normal (<i>Normally Consolidated</i>) dan Terlalu Terkonsolidasi (<i>Over Consolidated</i>)	40
2.9.6.	Pengaruh Kerusakan Struktur Tanah pada Hubungan Antara Angka Pori dan Tekanan	43
2.9.7.	Analisis Perhitungan Penurunan yang Disebabkan oleh Konsolidasi Primer Satu Dimensi	45
2.9.8.	Indeks Pemampatan (<i>Compression Index</i>).....	48
2.9.9.	Indeks Pemuai (<i>Swell Index</i>).....	50
2.10.	Plaxis.....	50
2.10.1.	Sejarah Plaxis	51
2.10.2.	Tahapan Pada Plaxis.....	52
2.10.3.	Data Tanah yang Diminta Pada Plaxis.....	53
2.10.4.	Perbedaan Plaxis 2D dan 3D	60
BAB III	METODE PENELITIAN	61
3.1.	Lokasi Dan Peta Penelitian	61
3.2.	Data Sondir	62
3.3.	Detail Rencana <i>Replacement</i> dan <i>Preloading</i>	63
3.4.	Tahapan Konstruksi.....	63
3.5.	Parameter Tanah di Lokasi Pekerjaan.....	64
3.6.	Konsep Desain dan Asumsi Permodelan.....	66
3.7.	Metode Pengumpulan Data	67
3.8.	Tahapan Penelitian	67
BAB IV	HASIL DAN PEMBAHASAN	70

4.1. Umum	70
4.2. <i>Replacement</i> dan <i>Preloading</i>	70
4.3. Perhitungan dengan <i>Plaxis 2D</i>	71
4.4. Pembahasan.....	78
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	80
5.1. Kesimpulan.....	80
5.2. Saran.....	80
DAFTAR PUSTAKA	xvi
LAMPIRAN.....	xix



DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1. Berat jenis (Gs) berbagai jenis tanah.....	18
Tabel 2. Klasifikasi tanah berdasarkan tekstur tanah	19
Tabel 3. Konsistensi dan kuat tekan bebas (qu)	20
Tabel 4. Indikator kuat geser	20
Tabel 5. Klasifikasi tanah	21
Tabel 6. Variasi faktor derajat konsolidasi.....	37
Tabel 7. Korelasi Nilai Indeks Kompresi	49
Tabel 8. Pemampatan dan Pemuaian Tanah Asli	50
Tabel 9. Hubungan N-SPT	54
Tabel 10. Hubungan N-SPT	54
Tabel 11. Modulus elastisitas berdasarkan jenis tanah.....	55
Tabel 12. Hubungan jenis tanah dan modulus elastis.....	56
Tabel 13. Nilai koefisien permeabilitas tanah	56
Tabel 14. Hubungan konsistensi dengan nilai kohesi	58
Tabel 15. Nilai Poisson's ratio Pada Tanah.....	58
Tabel 16. Hubungan N-SPT, Dr dan Sudut geser (\emptyset) pasir.....	59
Tabel 17. Sudut geser berbagai jenis tanah	59
Tabel 18. Parameter Material Tanah Model STA 47+100	64
Tabel 19. Data yang diinput pada program Plaxis	65
Tabel 20. Data yang diinput pada program Plaxis	71
Tabel 21. <i>Mesh</i> yang dihasilkan pada setiap tipe	74
Tabel 22. Penurunan hasil analisis Plaxis 2D.....	77
Tabel 23. Perbandingan penuruna Plaxis 2D dengan data <i>Settlement plate</i> pada STA 47+100	78
Tabel 24. Perbandingan penuruna Plaxis 2D dengan data <i>Settlement plate</i> pada STA 47+100	79

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1. Klasifikasi USDA	11
Gambar 2. Nilai – nilai Batas Atterberg.....	13
Gambar 3. Klasifikasi Tanah USCS.....	15
Gambar 4. Grafik Klasifikasi USCS	15
Gambar 5. Grafik Plastisitas.....	16
Gambar 6. <i>preloading</i> secara Bertahap	26
Gambar 7. <i>Preloading</i> secara <i>Counter Weight</i>	26
Gambar 8. Tahap Penurunan Tanah.....	31
Gambar 9. Konsolidometer.....	34
Gambar 10. Grafik waktu konsolidasi.....	35
Gambar 11. Grafik variasi derajat konsolidasi.....	37
Gambar 12. Uji konsolidasi satu dimensi.....	39
Gambar 13. Bentuk grafik e versus $\log p$	40
Gambar 14. Variasi angka pori.....	42
Gambar 15. Grafik e versus $\log p$	42
Gambar 16. Karakteristik secara normal.....	44
Gambar 17. Karakteristik (<i>overconsolidated</i>).....	44
Gambar 18. Karakteristik <i>sensitive</i>	45
Gambar 19. Lokasi Pekerjaan.....	61
Gambar 20. Topografi Lokasi Proyek Jalan Tol	61
Gambar 21. Data Sondir STA 47+100	62
Gambar 22. Detail Gambar Rencana <i>Preloading</i> 47+100.....	63
Gambar 23. Input material Plaxis	66
Gambar 24. Geometri Permodelan pada saat <i>Preloading</i>	67
Gambar 25. Geometri permodelan pada saat operasional.....	67
Gambar 26. Kerangka Berfikir	69
Gambar 27. Rencana <i>Replacement</i> dan <i>Preloading</i> 47+100.....	70
Gambar 28. <i>Setting</i> material sesuai dengan sondir.....	72
Gambar 29. Permodelan lapisan tanah pada Plaxis 2D	73
Gambar 30. Permodelan <i>mesh</i> yang digunakan.....	74
Gambar 31. Hasil <i>generate mesh</i> diperoleh 2137 elemen dan 17291 <i>node</i>	74
Gambar 32. Tekanan yang terjadi akibat air tanah (max. 45.80 KN/m ² dan min -100.0 KN/m ²	75
Gambar 33. <i>Phase</i> Perhitungan	75
Gambar 34. Titik Analisa peninjauan (Titi A)	76
Gambar 35. Titik Analisa peninjauan (Titi A)	76
Gambar 36. Total <i>Displacement</i>	76
Gambar 37. Grafik penurunan konsolidasi Plaxis 2D.....	77

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1. Data Sondir STA 47+100.....	xix
Lampiran 2. Rencana <i>Replacement</i> dan <i>Preloading</i> STA 47+100.....	xix
Lampiran 3. Data <i>Settlement Plate</i> STA 47+100.....	xx
Lampiran 4. Data Parameter Tanah STA 47+100.....	xxi



BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Proyek Pembangunan Jalan Jol Pekanbaru – Padang terbagi menjadi lima zona pekerjaan yaitu zona 1, zona 2, zona 3, zona 4 dan zona 5 dengan panjang ruas Tol zona 1 = 3 km, zona 2 = 5 km, zona 3 = 6 km, zona 4 = 6 km, dan zona 5 = 4,7 km. Hasil Sondir yang dilakukan menggambarkan karakteristik tanah eksisting adalah tanah lunak dengan kadar air tinggi. Tanah ini umumnya memiliki sifat kompresibilitas yang tinggi, permeabilitas yang rendah dan daya dukung yang rendah. Kondisi tanah tersebut merupakan kondisi yang tidak baik jika digunakan sebagai tanah dasar untuk sebuah konstruksi jalan Tol. Kontruksi akan rusak karena adanya penurunan tanah yang terjadi. Hal ini lebih fatal jika penurunan yang terjadi bersifat setempat.

Kondisi tanah lunak ini tentunya perlu dilakukan perbaikan tanah sehingga dapat memperkuat tanah sebagai pondasi sebuah jalan Tol. Proses perbaikan yang dilakukan yaitu dengan kombinasi metode pergantian material tanah (*Replacement*) pada tanah dasar sedalam 1,4 m dan pembebanan awal (*Preloading*) setinggi 1,4 m, kedua metode ini merupakan metode yang populer digunakan untuk meningkatkan kekuatan geser tanah lunak. Pembebanan awal dilakukan dengan tujuan mengkonsolidasi lapisan tanah lunak dengan besar pembebanan yang sama atau lebih dari pada beban yang akan dipikul oleh tanah baik saat maupun setelah konstruksi.

Pemberian beban di atas 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 dari dalam pori, dan sebab – sebab lain dimana faktor – faktor tersebut mempunyai hubungan dengan keadaan tanah yang bersangkutan.

Dari penelitian sebelumnya belum ada pembahasan tentang penurunan menggunakan Plaxis 2D tipe *mesh very fine*, akan dibandingkan dengan kondisi dilapangan. Area yang akan ditinjau adalah area yang berdekatan dengan data *Bore Hole* atau data Sondir di STA 47+100. Dari penelitian dari latar belakang diatas, serta dengan data – data yang didapat dilapangan penulis tertarik untuk menjadikan bahan Tugas Akhir/Skripsi yang berjudul “Analisis Konsolidasi Dengan Kombinasi Metode *Replacement* dan *Preloading* Menggunakan Plaxis Pada Proyek Jalan Tol Pekanbaru – Padang”.

1.2. Rumusan Masalah

Adapun Bahasan masalah yang dibahas dalam penelitian ini meliputi:

1. Berapa lama waktu konsolidasi dengan *Preloading* menggunakan *Software* Plaxis?
2. Berapa besar penurunan tanah yang terjadi dengan menggunakan kombinasi metode *Replacement* dan *preloading* menggunakan *Software* Plaxis?

1.3. Batasan Masalah

Untuk mendapatkan pembahasan yang lebih terfokus dalam tugas akhir ini dan mempermudah dalam menganalisis, maka dibuat batasan – batasan masalah antara lain sebagai berikut :

1. Analisis besar penurunan dan waktu konsolidasi pada tugas akhir ini dilakukan pada STA 47+100 pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Pekanbaru – Padang.
2. Parameter – parameter tanah yang digunakan dalam menganalisa konsolidasi yang terjadi didapatkan dari PT. Wijaya Karya, berdasarkan hasil test lapangan dengan menggunakan alat uji boring untuk mengetahui elevasi muka air, jenis – jenis tanah, kedalaman tanah keras dan juga pengujian laboratorium untuk mengetahui berat jenis tanah, angka pori, dan parameter – parameter tanah lainnya.
3. Penurunan yang ditinjau hanya penurunan konsolidasi.
4. Perhitungan lama waktu konsolidasi ditinjau hingga mencapai derajat konsolidasi 90%.

1.4. Maksud Penelitian

Maksud dari penelitian ini adalah untuk mengetahui bagaimana pengaruh perbaikan tanah dengan kombinasi metode *Replacement* dan *Preloading* menggunakan *Software* Plaxis.

1.5. Tujuan Penelitian

Tujuan dari skripsi ini adalah untuk

1. Berapa lama waktu konsolidasi dengan *Preloading* menggunakan *Software* Plaxis.

2. Berapa besar penurunan tanah yang terjadi dengan menggunakan kombinasi metode *Replacement* dan *preloading* menggunakan *Software Plaxis*.

1.6. Manfaat Penulisan

1. Bagi penulis, ini berfungsi sebagai bahan untuk penulisan tugas akhir. Hal tersebut merupakan prasyarat untuk menyelesaikan pendidikan mata kuliah Teknik Sipil di Universitas Medan Area, sehingga mampu menerapkan ilmu yang didapat semasa pendidikan perkuliahan dan pengetahuan baru analisis konsolidasi khususnya pada tanah lunak. Dan dapat menambah pengetahuan lapangan saya sebagai penulis jika melakukan hal serupa di masa mendatang.
2. Untuk mahasiswa digunakan menjadi informasi tambahan untuk penelitian kedepannya tentang analisis konsolidasi pada tanah lunak dengan kombinasi *Replacement* dan *Preloading*.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Peneliti Terdahulu

Peneliti terdahulu adalah kajian penelitian yang pernah dilakukan oleh peneliti sebelumnya yang dapat diambil dari berbagai sumber ilmiah seperti skripsi, tesis, disertasi atau jurnal penelitian. Berikut adalah penelitian terdahulu yang menjadi acuan peneliti dalam melakukan penelitian :

1. Chandra Adinegoro (2021) tentang “Metode Pelaksanaan Perbaikan Tanah Menggunakan Metode *Preloading* dan *Prefabricated Vertical Drain* (PVD) Pada Terminal Internasional Kijing Pontinak”. Dalam penelitian tersebut mengkaji tentang perbaikan tanah dengan metode *Preloading* dan *Prefabricated Vertical Drain* (PVD) Pada Terminal Internasional Kijing Pontinak. Metode yang digunakan adalah metode *Preloading* dan *Prefabricated Vertical Drain* (PVD) dengan teknik pengumpulan data observasi, wawancara dan dokumentasi dan menggunakan teori – teori dan jurnal ilmiah. Dengan metode *Preloadingi disertai* PVD dapat mengurangi material yang digunakan untuk pra pembebanan, mengurangi material timbunan, mempercepat waktu konsolidasi dan menaikkan stabilitas timbunan.
2. Bagas Wahyu Adhi (2022) Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Islam Batik Surakarta, tentang “Analisa Stabilitas Timbunan di Daerah Rawa Menggunakan Penanganan *Limestone* dengan Software *Plaxis*”. Metode yang digunakan adalah menggunakan penanganan *Limestone* dengan Software *Plaxis* dengan teknik pengumpulan data

observasi, wawancara dan dokumentasi dan menggunakan teori – teori dan jurnal ilmiah. Hasil Analisa stabilitas timbunan pada daerah rawa menggunakan *software Plaxis* didapatkan untuk penurunan dalam 1 tahun < 6 cm adalah 1.6 cm (sesuai kriteria), Penurunan dalam 10 tahun < 10 cm adalah 1.6 cm (sesuai kriteria). Faktor keamanan pada akhir konstruksi adalah 2.24 (sesuai kriteria) dan faktor keamanan 1 tahun adalah 1.90 (sesuai kriteria). Dari hasil Analisa timbunan pada area yaitu dengan menggunakan penanganan Limestone sampai ketinggian muka air, masa tunggu 14 hari setelah timbunan limestone, masa tunggu 30 hari pada top timbunan dan kemiringan lereng yaitu 1:2 (V: H).

3. Enita Suardi, Liliwarti, Merley Misriani, dan Ibnu Iqbal Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Politeknik Negeri Padang. “Perbaikan Tanah Lempung Lunak dengan Metode *Preloading* pada Jalan Tol Palembang – Indralaya STA 1+670”. Metode diawali dengan pengumpulan data sekunder yaitu *layout*, lokasi data pengujian *Boring Log* dan N-SPT dan juga data hasil pengujian laboratorium dan menggunakan metode *Preloading*. Hasil yang diperoleh, penurunan tanah dasarnya mencapai 1,556 meter dengan tinggi rencana timbunan (beban *Preloading*) 5 meter. Waktu yang dibutuhkan untuk mencapai derajat pemampatan 90% adalah 2,146 tahun.

2.2. Umum

Semua beban yang terjadi di atas tanah dasar maupun itu beban dari timbunan tanah itu sendiri dan beban struktur akan disalurkan ke tanah dasar.

Sehingga tanah dasar harus mampu menahan seluruh beban yang terjadi. Di beberapa kasus harus dilakukan stabilitas tanah dasar agar dapat memikul beban yang terjadi tanpa mengalami keruntuhan. Stabilitas tanah adalah usaha untuk merubah atau memperbaiki sifat – sifat teknis tanah agar memenuhi teknis tertentu (Hardiyatmo, 1992).

Tanah lempung merupakan tanah yang dapat mengalami penyusutan (*Shrinkage*) dan pengambangan (*Swelling*). Hal ini sangat berpengaruh terhadap kekuatan tanah menahan beban konstruksi. Tanah lempung juga terdiri dari atas mineral – mineral berbutir halus yang bersifat plastis pada kandungan air tertentu dan mengeras ketika kondisi kering. Tanah lempung juga memiliki sifat pemampatan yang besar pada waktu yang sangat lama, dan hal ini menyebabkan kehancuran konstruksi ketika masa layan.

2.3. Tanah

Tanah atau *soil* adalah lapisan teratas dari bumi, keberadaan tanah sangat penting bagi kehidupan manusia yang berada di atasnya. Tanah merupakan bentukan dari bebatuan yang mengalami pelapukan. Proses pelapukan ini terjadi dalam jangka waktu yang relative lama bahkan hingga ratusan tahun.

Dalam pengertian teknik secara umum, tanah didefinisikan sebagai material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral padat yang tidak tersekmentasi (terikat secara kimia) satu dama lain dan bahan – bahan *organic* yang telah melapuk (yang berpartikel padat disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang – ruang partikel padat tersebut (Braja M Das, 1995)

Tanah berguna sebagai tempat untuk meletakkan bangunan pada berbagai macam pekerjaan teknik sipil, disamping itu tanah berfungsi juga sebagai pendukung pondasi dari bangunan. Hampir semua proyek konstruksi sipil didirikan di atas tanah, seperti gedung – gedung bertingkat, jalan raya, jembatan, bandar udara, dermaga, pelabuhan dan lain sebagainya di bangun di atas tanah. Oleh karena itu sebagai seorang ahli teknik sipil harus mempelajari sifat – sifat dasar dari tanah, seperti asal usul tanah, penyebaran ukuran butiran tanah, kemampuan tanah dalam mengalirkan air, sifat pemampatan bila tanah diberikan pembebanan (*compressibility*), kekuatan geser tanah, kapasitas daya dukung tanah terhadap beban dan lain – lain. Oleh karena itu pemahaman mengenai tanah sangat diperlukan sebelum sebuah konstruksi sipil akan didirikan di atasnya.

Kondisi tanah salah satu hal yang wajib diperhatikan dalam merancang atau pun pada saat akan mendirikan sebuah bangunan di atasnya, karena keadaan tanah dilapangan pada umumnya tidak homogen. Tanah memiliki sifat dan karakteristik yang berbeda – beda. Apabila tanah difungsikan sebagai pendukung pondasi bangunan, tanah tersebut harus memiliki kondisi tanah yang stabil.

Apabila ada tana yang kurang mendukung bangunan yang akan didirikan di atasnya, maka harus dilakukan perbaikan tanah terlebih dahulu agar mencapai daya dukung tanah yang diperlukan. Dan penurunan yang terjadi akibat pembebanan tidak melebihi penurunan yang diijinkan. Salah satu jenis tanah yang mempunyai daya dukung rendah adalah tanah lunak.

2.4. Klasifikasi Tanah

Sistem klasifikasi tanah adalah suatu sistem pengaturan beberapa jenis tanah yang berbeda – beda namun memiliki sifat yang serupa yang dimasukkan kedalam kelompok – kelompok dan sub – sub kelompok berdasarkan pemakaiannya. Sistem klasifikasi memberikan suatu Bahasa yang mudah untuk menjelaskan secara sifat – sifat umum tanah yang bervariasi tanpa penjelasan yang terperinci. Dalam arti umum klasifikasi berdasarkan tekstur adalah keadaan permukaan tanah yang bersangkutan dipengaruhi oleh ukuran tiap – tiap butir yang ada didalam tanah. Hasil dari penyelidikan sifat – sifat tanah dapat digunakan untuk mengevaluasi masalah – masalah tertentu seperti :

1. Penentuan penurunan bangunan yaitu dengan menentukan kompresibilitas tanah
2. Penentuan kecepatan air yang mengalir lewat benda uji guna menghitung koefisien permeabilitas
3. Untuk mengevaluasi stabilitas tanah yang miring dengan menentukan kuat geser tanah

Sistem klasifikasi tanah merupakan suatu sistem penggolongan yang sistematis dari jenis – jenis tanah yang mempunyai sifat – sifat yang sama ke dalam kelompok – kelompok dan sub kelompok berdasarkan pemakaiannya.

Tanah dibagi menjadi 4 bagian kelompok yaitu:

1. Kerikil (*gravel*)
2. Pasir (*sand*)
3. Lanau (*silt*)
4. Lempung (*clay*)

Dalam sistem klasifikasi tanah berdasarkan tekstur, tanah dibagi atas dasar komponen utama yang terkandung didalamnya. Misalnya lempung berpasir (*sand clay*), lempung berlanau (*silty clay*), dan seterusnya.

2.4.1. Sistem Klasifikasi *Unites States Departemen of Agriculture (USDA)*

Klasifikasi tekstur ini dikembangkan oleh Departemen Pertanian Amerika Serikat (*U.S. Department of Agriculture*) dan deskripsi batas susunan butir tanah di bawah sistem USDA. Kemudian dikembangkan lebih lanjut dan digunakan untuk pekerjaan jalan raya yang lebih dikenal dengan klasifikasi berdasarkan persentase susunan butir tanah oleh *U.S. Public Roads Administration* (Soedarmo, 1997).

Pada umumnya, tanah terbagi dalam beberapa kelompok seperti kerikil (*gravel*), pasir (*sand*), lanau (*silt*), dan lempung (*clay*). Tanah asli merupakan campuran dari butir-butir yang mempunyai ukuran yang berbeda-beda. Dalam sistem klasifikasi tanah berdasarkan tekstur, tanah diberi nama atas dasar komponen utama yang dikandungnya, misalnya lempung berpasir (*sandy clay*), lempung berlanau (*silty clay*), dan seterusnya (Gambar 1.)

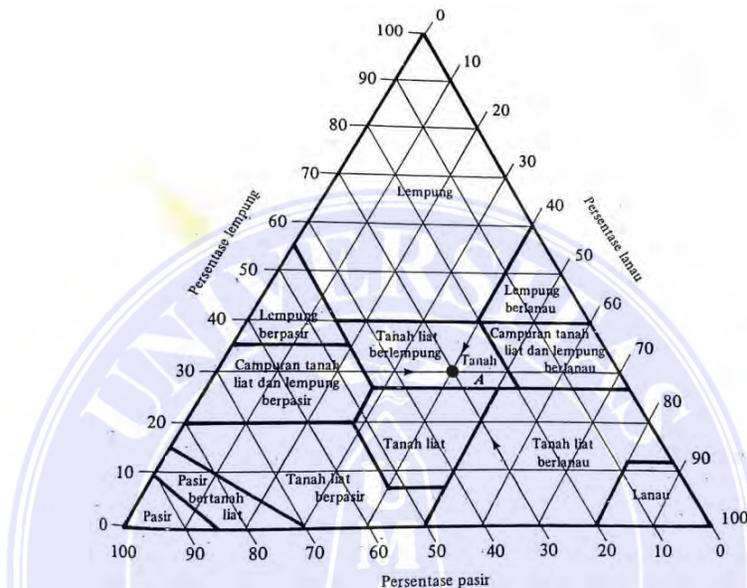
Sebagai contoh, apabila tanah B mempunyai pembagian ukuran butiran 20% kerikil, 10% pasir, 30% lanau, dan 40% lempung, komposisi tekstural yang dimodifikasi adalah:

$$\text{Pasir} : \frac{10 \times 100}{(100 - 20)} = 12,5\%$$

$$\text{Lanau} : \frac{30 \times 100}{(100 - 20)} = 37,5\%$$

$$\text{Lempung} : \frac{40 \times 100}{(100 - 20)} = 50,0\%$$

Berdasarkan pada persentase butiran yang telah dimodifikasi tersebut, sistem klasifikasi USDA menunjukkan bahwa tanah B termasuk tanah lempung. Tetapi, karena persentase kerikil oleh tanah B cukup besar, maka tanah tersebut dapat dinamakan sebagai lempung berkerikil (*gravelly clay*).



Gambar 1. Klasifikasi USDA (Braja M. Das, 1993)

2.4.2. Sistem Klasifikasi *American Association of State Highway And Transportation Officials (AASHTO)*

Sistem klasifikasi AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Officials Classification*) berguna untuk menentukan kualitas tanah dalam perencanaan timbunan jalan, *subbase*, dan *subgrade*. Tanah-tanah dalam tiap kelompoknya dievaluasi terhadap indeks kelompoknya yang dihitung dengan rumus-rumus empiris. Pengujian yang dilakukan adalah analisis saringan dan batas-batas Atterberg.

Dalam (Soedarmo, 1996), Sistem klasifikasi AASTHO yang sekarang digunakan mengklasifikasikan tanah ke dalam tujuh kelompok besar yaitu A-1

sampai A-7. Tanah-tanah yang diklasifikasikan dalam kelompok A-1, A-2, dan A-3 adalah tanah-tanah berbutir kasar dimana 35 % atau kurang dari jumlah butiran tanah tersebut lolos ayakan No. 200. Tanah-tanah yang 35% atau lebih lolos ayakan No. 200 diklasifikasikan dalam kelompok A-4, A-5, A-6, dan A-7. Pada umumnya tanah-tanah ini adalah lanau dan lempung.

Das, Braja M.(1993) menjelaskan, sistem klasifikasi AASHTO didasarkan pada kriteria-kriteria sebagai berikut:

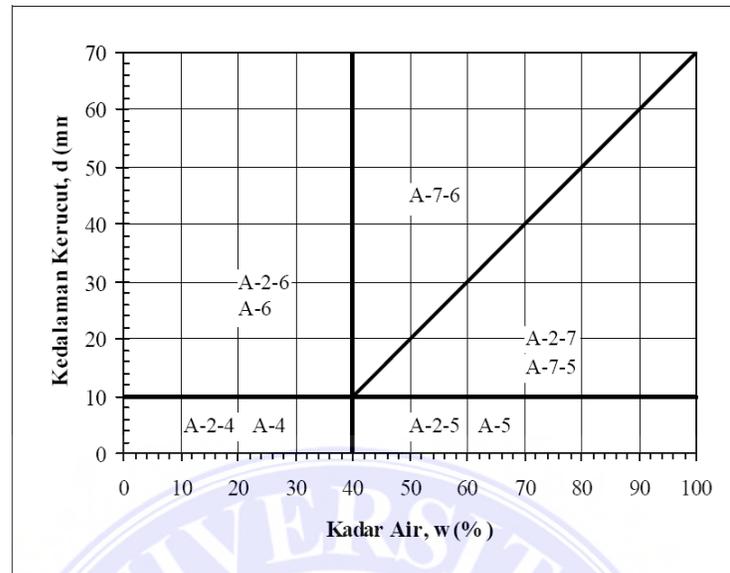
a. Ukuran Butir:

Kerikil, bagian tanah yang lolos ayakan dengan diameter 5 mm dan yang tertahan pada ayakan No. 10 (2 mm). Pasir, bagian tanah yang lolos ayakan No. 10 (2 mm) dan yang tertahan pada ayakan No. 200 (0,075 mm). Lanau dan lempung, bagian tanah yang lolos ayakan No. 200.

b. Plastisitas:

Apabila bagian-bagian yang halus dari tanah mempunyai indeks plastisitas (PI) sebesar 10 atau kurang, maka tanah tersebut dinamakan lanau. Apabila bagian - bagian halus dari tanah mempunyai indeks plastisitas (PI) sebesar 11 atau lebih maka tanah tersebut dinamakan lempung.

c. Apabila batuan (ukuran lebih besar dari 75 mm) ditemukan di dalam contoh tanah yang akan ditentukan klasifikasi tanahnya, maka batuan-batuan tersebut harus dikeluarkan terlebih dahulu. Tetapi, persentase dari batuan yang dikeluarkan tersebut harus dicatat (Gambar 2.)



Gambar 2. Nilai – nilai Batas Atterberg (Soedarmo, 1997)

2.4.3. Sistem Klasifikasi *Unified Soil Classification System (USCS)*

Sistem klasifikasi yang umum digunakan di dunia adalah *Unified Soil Classification System (USCS)* atau sistem klasifikasi kesatuan. Sistem ini dikembangkan oleh Casagrande untuk digunakan dalam penilaian tanah dalam pembangunan lapangan terbang.

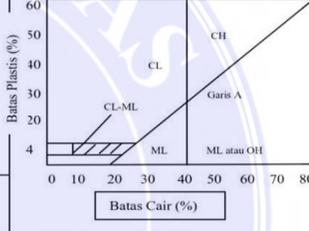
Menurut Das, Braja M. (1993) menjelaskan sistem klasifikasi USCS mengklasifikasikan tanah ke dalam dua kategori utama yaitu:

- a. Tanah berbutir kasar (*coarse-grained soil*), yaitu tanah kerikil dan pasir yang kurang dari 50% berat total contoh tanah lolos saringan No.200. Simbol untuk kelompok ini adalah G (*gravel*) untuk tanah berkerikil dan S (*sand*) untuk tanah berpasir. Selain itu juga dinyatakan gradasi tanah dengan simbol W (*well*) untuk tanah bergradasi baik dan P (*poor*) untuk tanah bergradasi buruk.

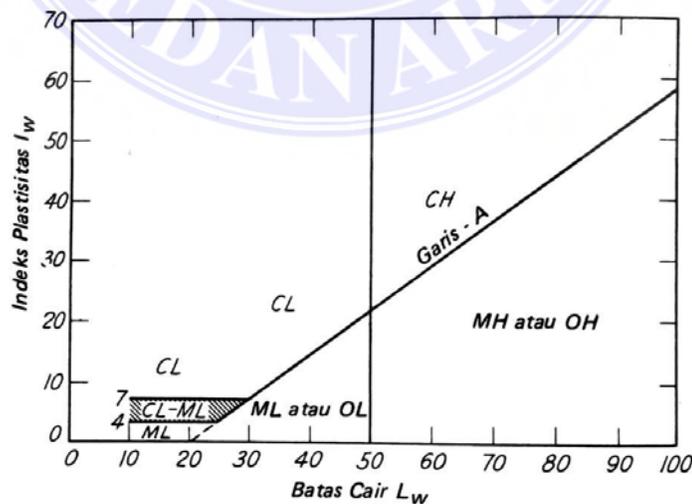
- b. Tanah berbutir halus (*fine-grained soil*), yaitu tanah yang lebih dari 50% berat contoh tanahnya lolos dari saringan No.200. Simbol kelompok ini dimulai dengan huruf awal M untuk lanau (*silt*) anorganik, C (*clay*) untuk lempung anorganik dan O untuk lanau organik. Simbol Pt (*peat*) digunakan untuk gambut (*peat*), dan tanah dengan kandungan organik tinggi. Plastisitas dinyatakan dengan L (*low*) untuk plastisitas rendah dan H (*high*) untuk plastisitas tinggi.

Tanah berbutir kasar ditandai dengan simbol kelompok seperti GW, GP, GM, GC, SW, SP, dan SC. Untuk klasifikasi yang benar, faktor-faktor berikut ini perlu diperhatikan:

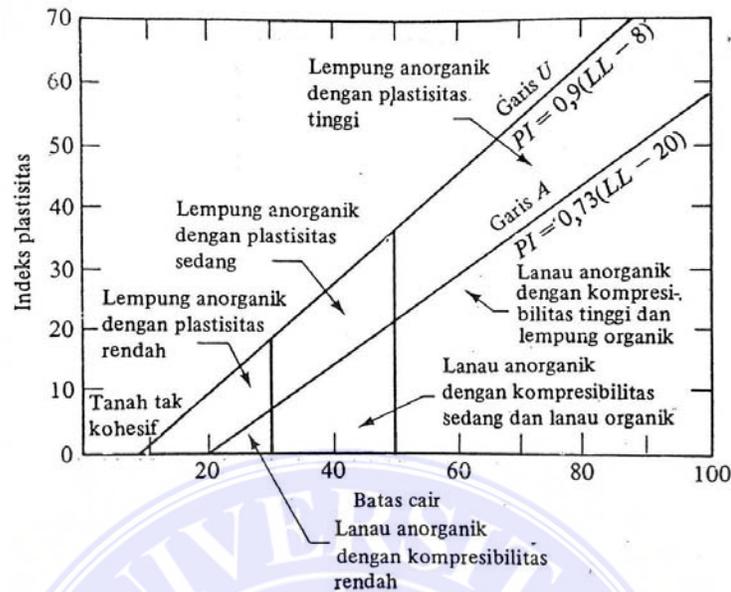
- 1) Persentase butiran yang lolos ayakan No. 200 (fraksi halus).
- 2) Persentase fraksi kasar yang lolos ayakan No. 40.
- 3) Koefisien keseragaman (*uniformity coefficient*, C_u) dan koefisien gradasi (*graduation coefficient*, C_c) untuk tanah di mana 0-12% lolos ayakan No. 200.
- 4) Batas cair (LL) dan indeks plastisitas (PI) bagian tanah yang lolos ayakan No. 40 (untuk tanah di mana 5% atau lebih lolos ayakan No. 200) (Gambar 3.) (Gambar 4.) (Gambar 5.)

Divisi Utama	Simbol	Nama Umum	Kriteria Klasifikasi	
Tanah berbutir kasar ≥ 50% butiran terahan saringan No. 200	Kerikil 50% fraksi kasar terahan saringan No. 4	Kerikil bersih (hanya kerikil)	GW	$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4$ $Cc = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ Antara 1 dan 3 Tidak memenuhi kedua kriteria untuk GW
		Kerikil bergradasi-buruk dan campuran kerikil-pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus	GP	
	Kerikil dengan Butiran halus	Kerikil berlanau, campuran kerikil-pasir-lanau	GM	Batas-batas <i>Atterberg</i> di bawah garis A atau $PI \leq 4$ Bila batas <i>Atterberg</i> berada di daerah arsir dari diagram plastisitas, maka dipakai simbol
		Kerikil berlempung, campuran kerikil-pasir-lempung	GC	
	Pasir bersih (hanya pasir)	Pasir bergradasi-baik, pasir berkerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus	SW	$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 6$ $Cc = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ Antara 1 dan 3 Tidak memenuhi kedua kriteria untuk SW
		Pasir bergradasi-buruk, pasir berkerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus	SP	
Pasir dengan butiran halus	Pasir berlanau, campuran pasir-lanau	SM	Batas-batas <i>Atterberg</i> di bawah garis A atau $PI \leq 4$ Bila batas <i>Atterberg</i> berada di daerah arsir dari diagram plastisitas, maka dipakai simbol	
	Pasir berlempung, campuran pasir-lempung	SC		
Tanah berbutir halus 50% atau lebih lolos ayakan No. 200	Lanau dan lempung batas cair ≤ 50%	Lanau anorganik, pasir halus sekali, serbuk batuan, pasir halus berlanau atau berlempung	ML	Diagram Plastisitas: Untuk mengklasifikasi kadar butiran halus yang terkandung dalam tanah berbutir halus dan kasar. Batas <i>Atterberg</i> yang termasuk dalam daerah yang di arsir berarti batas klasifikasinya menggunakan dua simbol.  Garis A : $PI = 0.73 (LL - 20)$
		Lempung anorganik dengan plastisitas rendah sampai dengan sedang lempung berkerikil, lempung berpasir, lempung berlanau, lempung "kurus" (<i>lean clays</i>)	CL	
		Lanau-organik dan lempung berlanau organik dengan plastisitas rendah	OL	
	Lanau dan lempung batas cair ≥ 50%	Lanau anorganik atau pasir halus diatomae, atau lanau diatomae, lanau yang elastis	MH	
		Lempung anorganik dengan plastisitas tinggi, lempung "gemuk" (<i>fat clays</i>)	CH	
		Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai dengan tinggi	OH	
Tanah-tanah dengan kandungan organik sangat tinggi	PT	Peat (gambut), <i>muck</i> , dan tanah-tanah lain dengan kandungan organik tinggi	Manual untuk identifikasi secara visual dapat dilihat di ASTM Designation D-2488	

Gambar 3. Klasifikasi Tanah USCS (Hardiyanto, 2002)



Gambar 4. Grafik Klasifikasi USCS (Terzaghi, 1993)



Gambar 5. Grafik Plastisitas (Braja M. Das, 1993)

Seperti yang terlihat pada gambar 4, bila mengabaikan garis U, lanau adalah tanah yang mempunyai batas cair dan indeks plastisitas terletak dibawah garis A dan lempung berada diatas garis A. Lanau, lempung dan tanah organik dibagi lagi menjadi batas cair yang rendah (L) dan tinggi (H). Garis pembagi antara batas cair yang rendah dan tinggi ditentukan pada angka 50 seperti:

- a. Kelompok ML dan MH adalah tanah yang diklasifikasikan sebagai lanau pasir, lanau lempung atau lanau organik dengan plastisitas relatif rendah.
- b. Kelompok CH dan CL terutama adalah lempung anorganik. Kelompok CH adalah lempung dengan plastisitas sedang sampai tinggi mencakup lempung gemuk. Lempung dengan plastisitas rendah yang dikalsifikasikan CL biasanya adalah lempung kurus, lempung kepasiran atau lempung lanau.
- c. Kelompok OL dan OH adalah tanah yang ditunjukkan sifat-sifatnya dengan adanya bahan organik. Lempung dan lanau organik termasuk

dalam kelompok ini dan mereka mempunyai plastisitas pada kelompok ML dan MH.

2.5. Tanah Lunak

Tanah lunak mengandung mineral – mineral lempung dan mengandung kadar air yang tinggi. Di Indonesia tanah jenis ini terdapat pada areal lebih dari 20 juta hektar, lebih dari 10% dari daratan Indonesia.

Umumnya lapisan tanah yang disebut lapisan yang lunak adalah lempung (*clay*) atau lanau (*silt*) yang mempunyai harga pengujian penetrasi standar (*standard penetration test*) *N* yang lebih kecil dari 4 atau tanah organik seperti gambut yang mempunyai kadar air alamiah yang sangat tinggi. Demikian pula lapisan tanah berpasir yang dalam keadaan lepas mempunyai harga *N* kurang dari 10, diklasifikasi sebagai lapisan yang lunak. Tanah lunak merupakan tanah kohesif yang terdiri dari sebagian besar butir – butir yang sangat kecil seperti lempung atau lanau.

Sifat – sifat yang dimiliki tanah lempung (Hardiyatmo, 2006) adalah sebagai berikut:

1. Ukuran butir halus, kurang dari 0,002 mm
2. Permeabilitas rendah
3. Kenaikan air kapiler tinggi
4. Bersifat sangat kohesif
5. Kadar kembang susut yang tinggi
6. 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 tercampur butir – butiran ukuran lanau maupun pasir dan mungkin juga terdapat campuran bahan organik.

2.5.1. Karakteristik Tanah Lunak

Karakteristik dari tanah lunak yaitu memiliki gaya geser yang kecil, kemampuan besar, koefisien permeabilitas yang kecil dan mempunyai daya dukung rendah. Jika diberikan pembebanan (konstruksi) pada tanah tersebut yang melampaui daya dukung kritis, maka akan terjadi kerusakan tanah pondasi. Meskipun intensitas beban itu kurang dari daya dukung kritis, dalam jangka waktu yang lama besarnya penurunan akan meningkat yang akhirnya akan mengakibatkan berbagai kerusakan pada bangunan konstruksi. Sifat – sifat seperti ini menjadikan tanah lunak sebagai tanah yang kurang menguntungkan untuk dijadikan sebagai lapisan tanah dasar.

Berdasarkan hasil uji lapangan, tanah lunak secara fisik dapat diremas dengan mudah menggunakan tangan (Braja M. Das, 1995) menyatakan nilai hasil pengujian dilapangan dan laboratorium, akan menunjukkan bahwa tanah tersebut lunak apabila: koefisien rembesan (k) sangat rendah ≤ 0.0000001 cm/dtk, batas cair (LL) $\geq 50\%$, angka pori (e) antara 2,5 – 3,2, kadar air dalam keadaan jenuh antara 90% - 120% dan berat spesifik (Gs) berkisar antara 2,6 – 2,9. Nilai berat jenis untuk berbagai jenis tanah dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Berat jenis (Gs) berbagai jenis tanah (Darwis, 2018)

Jenis Tanah	Berat Jenis (Gs)
Kerikil	2,65 – 2,68

Lanjutan Tabel 1

Pasir	2,65 – 2,68
Lanau Anorganik	2,62 – 2,68
Lempung Organik	2,58 – 2,65
Lempung Anorganik	2,68 – 2,75
Humus	1,37
Gambut	1,25 – 1,80

2.5.2. Tipe Tanah Lunak

Sistem USDA membagi tanah menjadi tiga kelompok utama: tanah berbutir kasar, tanah berbutir halus, dan tanah dengan kandungan organik yang tinggi. Dalam dasar – dasar Mekanika Tanah tentang sistem Klasifikasi Tanah Lunak, tanah berbutir halus dibagi lagi menjadi tiga kelompok berdasarkan kandungan organiknya, terlihat dalam Tabel 2.

Tabel 2. Klasifikasi tanah berdasarkan tekstur tanah (Darwis, 2018)

Ukuran butiran (mm)	Kelompok Tanah
2,0 – 0,05	Pasir
0,05 – 0,002	Lanau
< 0,002	Lempung

Tipe – tipe dari tanah lunak itu sendiri dibagi menjadi 3 jenis yaitu:

a. Tanah Organik

Tanah organik (O) adalah tanah yang dikelompokkan sedemikian berdasarkan kandungan organiknya yaitu 25% hingga 75%. Tanah organik ini dikelompokkan menjadi kelompok OL dan OH berdasarkan tingkat plastisitasnya, dimana L = *low plasticity* (plastisitas rendah) ($LL < 50$) dan H = *high plasticity* (plastisitas tinggi) ($LL > 50$).

b. Tanah Inorganik Berbutir Halus

Klasifikasi tanah inorganik dan tanah organik yang berbutir halus mengikuti sistem yang digunakan dalam sistem USDA untuk tanah

berbutir halus dibagi dalam sub kelompok sebagai lanau (M) dan lempung (C). Lanau adalah tanah berbutir halus memiliki nilai Batas Cair dan Indeks Plastisitas yang jika digambarkan ke dalam grafik akan terletak dibawah garis – A, sementara untuk lempung kan berada di atas garis tersebut. Hubungan antara konsistensi dan kuat tekan bebas (q_u) untuk tanah lempung dapat dilihat dalam Tabel 3.

Tabel 3. Konsistensi dan kuat tekan bebas (q_u) (Hardiyanto, 2002)

Konsistensi	Q_u (kN/dm ²)
Sangat lunak	< 25
Lunak	25 – 50
Sedang	50 – 100
Kaku	100 – 200
Sangat Kaku	200 - 400
Keras	> 400

Tanah jenis ini mengandung mineral lempung dan mengandung kadar air yang tinggi, yang menyebabkan kuat geser yang rendah, dalam rekayasa geoteknik istilah ‘lunak’ dan ‘sangat lunak’ khusus didefinisikan untuk lempung dengan kuat geser seperti ditunjukkan pada Tabel 3. Prosedur identifikasi lapangan memberikan beberapa petunjuk mengenai indikasi dari kekuatan lempung tersebut seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Indikator kuat geser (Panduan Geoteknik 1, 2002)

Konsistensi	Indikator Lapangan
Lunak	Bisa dibentuk dengan mudah menggunakan tangan
Sangat Lunak	Keluar di antara jari tangan jika diremas dalam kepalan tangan

c. Halus

Gambut (PF) adalah jenis tanah yang memiliki kadar organik lebih dari 75%. Berdasarkan kandungan seratnya, gambut dikelompokkan kembali menjadi dua kelompok, yang ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Klasifikasi tanah (Panduan Geoteknik 1, 2002)

Kadar Serat	Kelompok Gambut
> 20%	Armofit
< 20%	Berserat (fibros)

2.6. Permasalahan Tanah Lunak

Dalam merencanakan suatu bangunan yang berhubungan dengan keadaan tanah sebagai material dimana bangunan tersebut akan diletakkan, maka perlu diperhatikan daya dukung tanah terhadap keruntuhan geser (*shear failure*) dan perubahan volume tanah karena proses konsolidasi. Permasalahan yang sering dihadapi perencana konstruksi sipil yaitu berkaitan dengan tanah lunak. Hal ini disebabkan karena tanah lunak umumnya memiliki kuat geser dan permeabilitas yang rendah serta kompresibilitas yang besar.

Dalam perencanaan pembangunan konstruksi sipil, salah satu hal yang harus diperhatikan adalah elevasi desain perkerasannya. Untuk mencapai elevasi desain perkerasan, maka lapisan tanah dasar pada lokasi proyek harus ditimbun ataupun digali. Pada daerah yang terindikasi sebagai tanah lunak, tanah asli harus ditimbun untuk mencapai elevasi desain. Tinggi timbunan tersebut masih harus ditambah lagi dengan timbunan untuk mengakomodasi beban pekerasan dan beban dari konstruksi yang akan dibangun nantinya. Lokasi eksisting Proyek Pembangunan Jalan Tol Pekanbaru – Padang yang memiliki tanah lunak pada

lokai tertentu merupakan tanah lunak yang sangat kompresibel, maka ada hal – hal yang harus diperhatikan dalam pembangunannya, seperti:

1. Penurunan Tanah Besar

Penurunan pada tanah lunak akan terjadi adanya beban timbunan (*preloading*) yang ditempatkan di atas tanah dasar yang sangat lunak. Penurunan (*settlement*) tersebut disebabkan oleh adanya deformasi partikel tanah, relokasi partikel, keluarnya air atau udara dari dalam pori dan sebab – sebab lainnya. Keluarnya air atau udara dari dalam pori selalu disertai dengan berkurangnya volume tanah, berkurangnya volume tanah tersebut dapat menyebabkan penurunan lapisan tanah tersebut. Bilamana suatu lapisan tanah lempung yang jenuh air yang mampu mampat (*compressible*) diberi penambahan tegangan berupa timbunan (*preloading*) di atasnya, maka penurunan (*settlement*) tanah tersebut akan terjadi dengan segera. Koefisien rembesan lempung adalah sangat kecil dibandingkan dengan koefisien rembesan pasir sehingga penambahan tekanan air pori yang disebabkan oleh pembebanan akan berkurang secara lambat laun dalam waktu yang sangat lama. Jadi untuk tanah lempung, perubahan volume yang disebabkan oleh keluarnya air dari dalam pori (konsolidasi) akan terjadi sesudah penurunan segera. Penurunan konsolidasi tersebut biasanya jauh lebih besar dan lebih lambat serta lama dibandingkan dengan penurunan segera. Secara umum, penurunan (*settlement*) pada tanah yang disebabkan oleh pembebanan dapat dibagi dalam tiga kelompok besar, yaitu:

- a. Penurunan konsolidasi (*consolidation settlement*), yang merupakan hasil dari perubahan volume tanah jenuh air sebagai akibat dari keluarnya air yang menempati pori – pori tanah.
- b. Penurunan segera (*immediate settlement*), yang merupakan akibat dari deformasi elastis tanah kering, basah dan jenuh air tanpa adanya perubahan kadar air.
- c. Penurunan sekunder (*secondary settlement*), merupakan pemampatan yang diakibatkan oleh adanya penyesuaian yang bersifat plastis dari butir – butir tanah.

Settlement total yang terjadi pada tanah lunak yang dibebani

mempunyai 3 komponen :

Dimana : S_i = *Immediate settlement* (cm)

S_c = *Consolidation settlement* (cm)

S_s = *Secondary settlement* (cm)

2. Daya Dukung Tanah Rendah

Daya dukung tanah adalah kemampuan tanah untuk menahan beban pondasi tanpa mengalami keruntuhan akibat geser yang juga ditentukan oleh kekuatan geser tanah. Daya dukung tanah merupakan unsur utama dalam pembuatan bangunan konstruksi. Dalam perencanaan konstruksi jalan maupun bangunan, daya dukung tanah mempunyai peranan yang sangat penting. Tanah sebagai tempat berdirinya suatu konstruksi harus mampu menerima dan menahan beban – beban yang bekerja di atasnya.

Oleh karena itu, sebelum dilaksanakan pekerjaan pembangunan harus diketahui terlebih dahulu daya dukung tanah dasar ini semakin rendah kadar air maka daya dukung semakin besar.

2.7. Metode Perbaikan Tanah Lunak

Pada umumnya lapisan tanah lunak terdiri dari lempung (*clay*) atau lanau (*silt*). Masalah yang dihadapi ketika merencanakan suatu konstruksi pada kondisi tanah tersebut adalah daya dukung (*bearing capacity*) dan penurunan (*settlement*). Banyak metode yang dapat digunakan untuk memperbaiki sifat tanah ini, seperti teknik perbaikan tanah secara mekanis (fisis), dengan bahan kimia, dengan bahan perkuatan dan secara hidrolis. Pemilihan metode perbaikan tanah umumnya dilakukan berdasarkan formasi geologi dari lapisan tanah, karakteristik tanah, biaya dan ketersediaan material serta pengalaman.

2.7.1. Metode *Replacement*

Teknik perbaikan tanah dengan metode penggantian tanah (*Soil Replacement*) merupakan salah satu metode tertua dan paling sederhana yang sering diterapkan dalam memperbaiki kondisi dan daya dukung tanah. Daya dukung pondasi dapat diperbaiki dengan mengganti tanah yang buruk (misalnya tanah organik atau tanah lempung lunak), dengan bahan yang lebih baik dan kompeten seperti pasir, kekil atau batu pecah. Hampir semua tanah dapat digunakan sebagai bahan pengisi, namun beberapa jenis tanah yang sulit dipadatkan bila digunakan sebagai lapis pengganti (Abdel Salam, 2007).

Demikian pula dengan metode *soil replacement* yang hanya efektif untuk penggantian lapisan tanah buruk dipermukaan yang dangkal saja, dan lain sebagainya. Oleh karena itu para rekayasawan banyak melakukan perbaikan tanah dengan kombinasi beberapa metode, sehingga dapat didapatkan hasil pemdatan tanah yang efektif mencapainya, cepat pelaksanaannya, dan murah biayanya.

2.7.2. *Preloading* dengan Tanah Timbunan

Cara pemampatan pada tanah dasar dapat berupa beban tanah timbunan (*surcharge*), beban air serupa tangka air atau kolam air buatan atau beban luar lainnya yang diletakkan di atas tanah asli. Untuk mempercepat waktu *preloading*, dapat digunakan drainase vertikal (*vertical drain*) dan untuk memperpendek aliran (*drainage path*) dari air pori.

Beban timbunan direncanakan berdasarkan beban yang akan terjadi pada tanah asli yang menyebabkan konsolidasi, dan juga berdasarkan ketinggian rencana (Akhir). Untuk meletakkan timbunan di atas tanah dasar, daya dukung tanah dasar harus diperhatikan agar kelongsoran tidak terjadi. Ada dua hal yang dapat dilakukan agar tidak terjadi kelongsoran, yaitu:

a. Pemberian timbunan dengan sistem bertahap

Dengan beban terhadap, waktu yang dibutuhkan untuk mencapai ketinggian timbunan rencana cukup lama dan tergantung pada peningkatan daya dukung tanah dasarnya. Penambahan beban setiap lapisan beban *preloading* mengacu pada ketinggian yang masuk mampu dipikul H kritis oleh tanah dasarnya agar tidak terjadi kelongsoran. Untuk

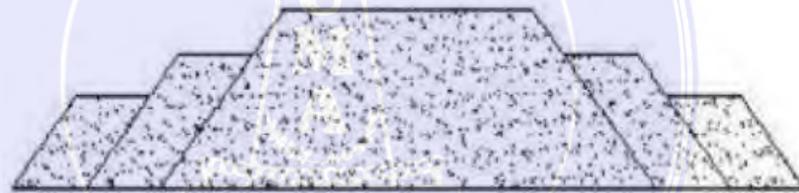
menentukan H kritis digunakan program bantu XSTABL. Pemberian timbunan secara bertahap dapat dilihat pada (Gambar 6.)



Gambar 6. *preloading* secara Bertahap (Braja M. Das, 1993)

b. Pemberian timbunan dengan sistem *Counter Weight*

Pada tanah dasar dengan daya dukung yang sangat rendah dan luas lahan yang cukup luas, bisa dipakai sistem *preloading* dengan *counter weight*, seperti pada (Gambar 7.)



Gambar 7. *Preloading* secara *Counter Weight* (Braja M. Das, 1993)

2.8. Penurunan (*Settlement*)

Penambahan beban di atas suatu permukaan tanah dapat menyebabkan lapisan tanah di bawahnya mengalami pemampatan. Pemampatan tersebut disebabkan oleh adanya deformasi partikel tanah, relokasi partikel, keluar air atau udara dari dalam pori, dan sebab – sebab lain. Beberapa atau semua faktor tersebut mempunyai hubungan dengan keadaan tanah yang bersangkutan (Das, Braja M, 1995). Secara umum, menjelaskan bahwa penurunan pada tanah yang disebabkan oleh pembebanan dapat dibagi ke dalam dua 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 (*immediately settlement*), yang merupakan akibat dari deformasi elastis tanah kering, basah, dan jenuh air tanpa adanya perubahan kadar air.

Perhitungan penurunan segera umumnya didasarkan pada penurunan yang diturunkan dari teori elastisitas bilamana suatu lapisan tanah jenuh air diberi penambahan beban, angka tekanan air pori akan naik secara mendadak. Pada tanah berpasir yang tembus air (*permeable*), air dapat mengalir dengan cepat sehingga pengaliran air pori keluar sebagai akibat dari kenaikan tekanan air pori dapat terjadi dengan cepat.

Keluarnya air dari dalam pori selalu disertai dengan berkurangnya volume tanah. Dengan berkurangnya volume tanah tersebut maka dapat menyebabkan penurunan lapisan tanah itu. Karena air pori di dalam tanah berpasir dapat mengalir keluar dengan cepat, maka penurunan segera dan penurunan konsolidasi terjadi secara bersamaan. Bilamana suatu lapisan tanah lempung jenuh air yang mampu mampat (*compressible*) diberi penambahan tegangan, maka penurunan (*settlement*) akan terjadi dengan segera. Koefisien rembesan lempung adalah sangat kecil dibandingkan dengan koefisien rembesan pasir sehingga penambahan tekanan air pori yang disebabkan oleh pembebanan akan berkurang secara lambat dan dalam waktu yang sangat lama. Jadi untuk tanah lempung – lembek perubahan volume yang disebabkan oleh keluarnya air dari dalam pori yaitu konsolidasi akan terjadi sesudah penurunan segera. Penurunan konsolidasi

tersebut biasanya jauh lebih besar dan lebih lambat dibandingkan dengan penurunan segera.

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

2.8.1. Penurunan Konsolidasi (*Consolidation Settlement - Sc*)

Penurunan Konsolidasi merupakan penurunan yang terjadi karena perubahan volume tanah jenuh air sebagai akibat keluarnya air yang menempati pori – pori tanah. Menurut Weasley (1997), bilamana suatu lapisan tanah mengalami tambahan beban di atasnya, maka seiring berjalannya waktu maka air pori akan mengalir keluar dari pori – pori tanah tersebut dan volume tanah akan menjadi lebih kecil. Besarnya penurunan yang terjadi selama masa konsolidasi ini dikenal dengan nama Penurunan Konsolidasi. Pada umumnya konsolidasi berlangsung satu arah, yaitu arah vertikal, karena lapisan yang ditambahkan beban tersebut tidak bergerak ke arah horizontal sebab ditahan oleh tanah disekelilingnya. Peristiwa ini disebut juga Penurunan Satu Dimensi (*One Dimentional Settlement*).

Saat konsolidasi berlangsung maka lapisan tanah tersebut akan mengalami penurunan, yang mengakibatkan struktur di atasnya juga ikut mengalami penurunan, ada dua hal yang perlu ditinjau lebih lanjut dari penurunan tersebut, yaitu :

- a. Besarnya penurunan yang akan terjadi
- b. Waktu yang diperlukan untuk mencapai penurunan tertentu

Tanah pasir sangat mudah dilalui oleh air (permeabilitas tinggi) sehingga penurunan berlangsung cepat oleh sebab itu pada waktu pembangunan di atas tanah pasir selesai maka penurunan dapat dianggap selesai pula, karena itu penurunan yang terjadi pada tanah pasir ini disebut penurunan seketika dan dapat dikatakan pula tidak terjadi penurunan konsolidasi pada tanah pasir.

Sebaliknya pada tanah lempung yang berpermeabilitas rendah, tegangan air pori berlebih memerlukan waktu yang lama untuk terdisipasi, dengan demikian penurunan konsolidasi memakan waktu yang sangat lama. Oleh sebab itu Penurunan Konsolidasi dapat dikatakan hanya terjadi pada lapisan tanah lempung. Selain masalah permeabilitas tanah, panjang lintasan tempuh air pori untuk keluar dan juga mempengaruhi kecepatan/waktu yang dibutuhkan lapisan tanah untuk mengalami Penurunan Konsolidasi.

Teori Konsolidasi pertama kali dikemukakan oleh Terzaghi (1920-1924) dengan asumsi sebagai berikut :

- a. Konsolidasi 1 dimensi hanya terjadi pada arah *vertical*
- b. Air tidak dapat diteka (*incompressible*)
- c. Lempung dalam keadaan jenuh air
- d. Permeabilitas tanah konstan
- e. Deformasi tanah kecil
- f. Hukum Darcy berlaku
- g. Partikel tanah tidak dapat ditekan (*incompressible*)

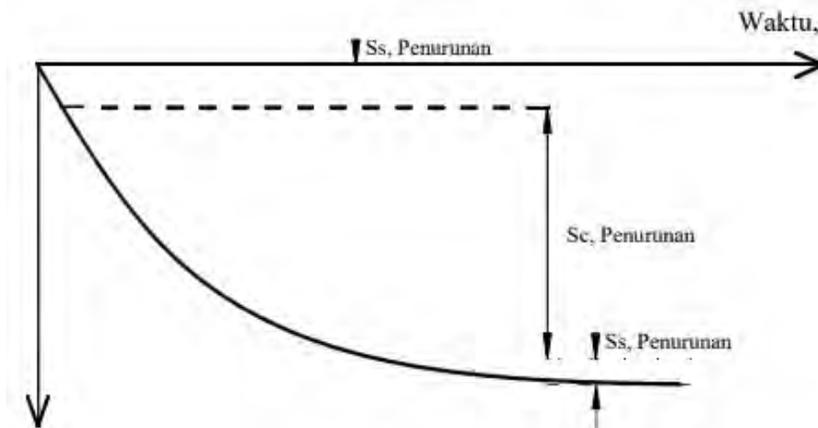
2.8.2. Penurunan Segera (*Immediate Settlement - Si*)

Penurunan segera merupakan tanah akibat dari deformasi elastis tanah kering, basah, jenuh air tanpa adanya perubahan kadar air. Perhitungan penurunan segera umumnya didasarkan pada penurunan yang diturunkan dari teori elastisitas bilamana suatu lapisan tanah jenuh air diberi penambahan beban, angka tekanan air pori akan naik secara mendadak. Pada tanah berpasir yang tembus air (*permeable*), air dapat mengalir dengan cepat sehingga pengaliran air pori keluar sebagai akibat dari kenaikan tekanan air pori dapat terjadi dengan cepat.

Pada umumnya, penurunan segera (*immediate settlement*) dominan terjadi pada tanah pasir sedangkan pada tanah lempung jarang terjadi sehingga dalam perhitungan sering diabaikan.

2.8.3. Penurunan Sekunder (*Secondary Settlement - Ss*)

Penurunan sekunder merupakan penurunan/pemampatan yang diakibatkan oleh adanya penyesuaian yang tanah bersifat plastis dari butir – butir tanah. Penurunan Sekunder dikenal pula dengan sebutan Penurunan Rangkak (*creep*), terjadi setelah Penurunan Konsolidasi. Penurunan ini terjadi akibat penyesuaian butir – butir tanah pada kerangka tanah setelah tegangan air pori berlebih terdisipasi sempurna ($U = 0$). Jadi, selama proses Penurunan Sekunder ini terjadi tidak ada perubahan tegangan efektif tanah. Penurunan sekunder pada umumnya berlangsung pada waktu yang sangat lama, karena itu agak sukar dievaluasi. Persamaan penurunan total dapat dilihat pada (Gambar 8.)



Gambar 8. Tahap Penurunan Tanah (Braja M. Das, 1995)

Penurunan tanah (*ground settlement*) terjadi tergantung dari jenis tanah, pada umumnya dari ketika jenis penurunan tanah tersebut hanya salah satu jenis yang dominan pada suatu jenis tanah tertentu, Karena jenis penurunan yang lainnya ada kalanya terlalu kecil sehingga dapat diabaikan (Braja M Das 1995). Contohnya pada jenis tanah lempung Non Organik (*Inorganic Clay*), yang dominan terjadi adalah Penurunan Konsolidasi sedangkan dua jenis penurunan yang lainnya cenderung sangat kecil sehingga sering kali dalam proses perhitungan keduanya diabaikan.

2.9. Dasar Konsolidasi

Konsolidasi adalah proses terdisipasinya 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 yang telah benar – benar hilang. Peristiwa konsolidasi umumnya dipicu oleh adanya beban/muatan diatas tanah. Muatan tersebut dapat berupa tanah atau konstruksi bangunan yang berdiri diatas tanah.

Bila lapisan tanah mengalami beban di atasnya, maka air pori akan mengalir keluar dari lapisan tersebut dan volumenya akan berkurang atau dengan kata lain akan mengalami konsolidasi.

Pada umumnya konsolidasi akan berlangsung satu arah (*one dimensional consolidation*) yaitu arah vertikal saja, karena lapisan yang mengalami tambahan beban itu tidak dapat bergerak secara horizontal, karena ditahan oleh tanah disekitarnya (*lateral pressure*).

Teori umum yang mencakup konsep tekanan pori dan tegangan efektif adalah dikembangkan oleh Terzaghi selama tahun 1920 – 1924. Teori konsolidasi Terzaghi membuat asumsi – asumsi sebagai berikut:

1. Tanah adalah, dan tetap akan, jenuh ($S=100\%$). Penurunan konsolidasi dapat diperoleh untuk tanah yang tidak jenuh, tetapi ramalan waktu terjadinya penurunan sangat tidak dapat dipercaya.
2. Air dan butiran – butiran tanah tidak dapat ditekan.
3. Terdapat hubungan yang linear antara tekanan yang bekerja dan perubahan volume Δv .
4. Koefisien permeabilitas k merupakan konstanta. Perubahan temperatur dari sekitar 10 sampai 20°C menghasilkan sekitar 30 persen perubahan dalam viskositas air.
5. Konsolidasi merupakan konsolidasi satu dimensi (*vertical*), sehingga tidak terdapat aliran air atau pergerakan tanah lateral.
6. Contoh yang digunakan merupakan contoh tidak terganggu.

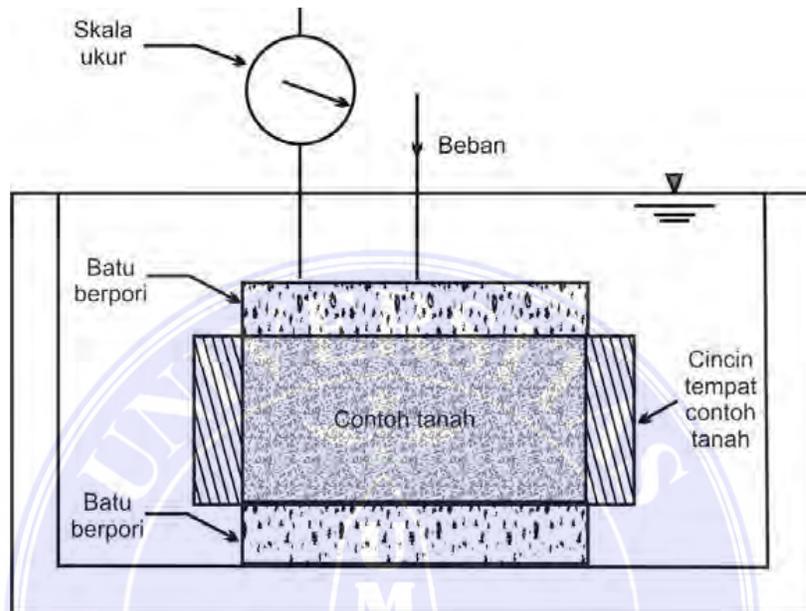
2.9.1. Uji Konsolidasi Satu Dimensi

Salah satu teori yang umum digunakan untuk memprediksi penurunan dan waktu yang dibutuhkan adalah teori konsolidasi satu dimensi yang diperkenalkan oleh Terzaghi, dimana deformasi dan arah aliran hanya terjadi ketika pada satu arah yaitu ketika pada arah *vertical*.

Prosedur untuk melakukan uji konsolidasi satu dimensi (1 – D) pertama – tama diperkenalkan (*oedometer*). Skema konsolidometer ditunjukkan dalam (Gambar 9.) Contoh tanah diletakkan di dalam cincin logam dengan buah batu berpori diletakkan di atas dan bagian bawah contoh tanah tersebut. Ukuran contoh tanah digunakan biasanya adalah : diameter 2,5 inci (63,5 mm) dan tebal 1 inci (2,54 mm). pembebanan pada contoh tanah dilakukan dengan cara meletakkan beban pada ujung sebuah balok datar, dan pemampatan contoh tanah diukur dengan menggunakan skala ukur dengan skala micrometer. Contoh tanah selalu direndam air selama percobaan. Tiap – tiap beban biasanya diberikan selama 24 jam. Setelah itu, beban dinaikkan sampai dengan dua kali lipat beban sebelumnya, dan pengukuran pemampatan diteruskan. Pada saat percobaan selesai, berat kering dari contoh tanah ditentukan. Pada umumnya, bentuk grafik yang menunjukkan hubungan antara pemampatan dan waktu adalah seperti yang ditunjukkan dalam (Gambar 10.) Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa ada tiga tahapan berbeda yang dapat dijelaskan sebagai berikut:

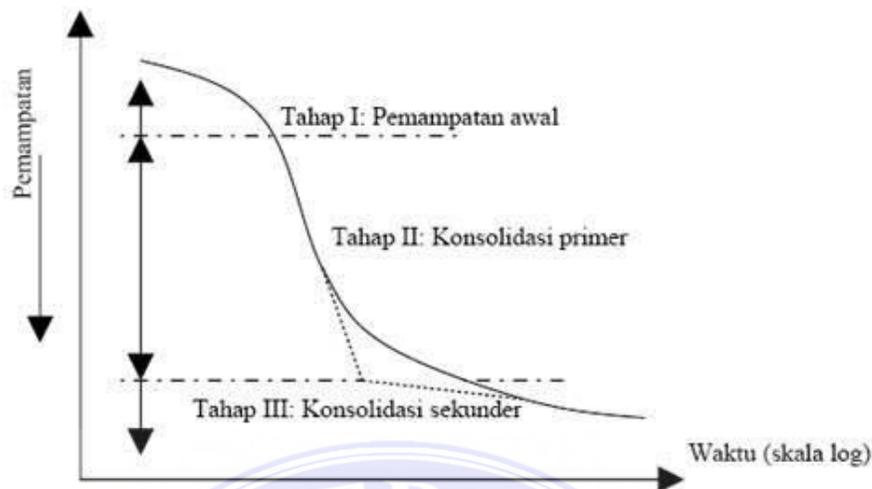
Tahap I : Pemampatan awal (*initial compression*), yang pada umumnya disebabkan oleh pembebanan awal (*preloading*).

Tahap II : Kosolidasi primer (*primary consolidation*), yaitu periode selama tekanan air pori secara lambat laun dipindahkan ke dalam tegangan efektif, sebagai akibat keluarnya air dari pori - pori tanah.



Gambar 9. Konsolidometer (Braja M. Das, 1995)

Tahap III : Kosolidasi sekunder (*secondary consolidation*), yang terjadi setelah tekanan air pori hilang seluruhnya. Pemampatan yang terjadi disini adalah disebabkan penyesuaian yang bersifat dari butir – butir tanah.



Gambar 10. Grafik waktu konsolidasi (Braja M. Das, 1995)

Dengan pengetahuan yang didapat dari analisis hasil uji konsolidasi, perhitungan penurunan yang disebabkan oleh konsolidasi primer di lapangan dapat dihitung dengan menganggap bahwa konsolidasi tersebut adalah satu dimensi. Penurunan total akibat konsolidasi primer yang disebabkan oleh adanya penambahan tegangan di atas permukaan tanah dapat dihitung dengan menggunakan Terzaghi memperkenalkan teori yang pertama kali mengenai kecepatan konsolidasi satu dimensi untuk tanah lempung yang jenuh air, dengan anggapan – anggapan berikut ini :

- a. Tanah (sistem lempung – air) adalah homogeny.
- b. Tanah benar – benar jenuh.
- c. Kemampumampatan air diabaikan.
- d. Kemampumampatan butiran tanah diabaikan.
- e. Aliran air hanya satu arah (yaitu pada arah pemampatan).

2.9.2. Derajat Konsolidasi Arah Vertikal

Persamaan matematis untuk konsolidasi 1 – D dari Terzaghi dalam menentukan nilai derajat konsolidasi arah vertikal (U_v) dapat dinyatakan dengan formula berikut :

a. Jika (U_v) \bar{A} 60% maka :

$$U_v = \frac{\sqrt{4U_v^2 - \bar{A}^2}}{4U_v} = \frac{0.178}{\bar{A}}$$

b. Jika (U_v) \bar{A} 60% maka :

$$U_v = \frac{1}{\bar{A}^2} \sum_{m=1}^{\infty} \frac{1}{m^2} \exp\left(-\frac{m^2 \pi^2 \bar{A}^2}{4t}\right)$$

Dimana :

m = bilangan bulat

t = faktor waktu

\bar{A} = koefisien konsolidasi arah vertikal (\bar{A}^2 /detik)

t = waktu yang dibutuhkan untuk mencapai derajat konsolidasi (s)

$exp = 2,7182818$

Varian derajat konsolidasi rata – rata terhadap faktor waktu yang tak berdimensi (U_v) diberikan dalam Tabel 2.6. yang berlaku untuk keadaan

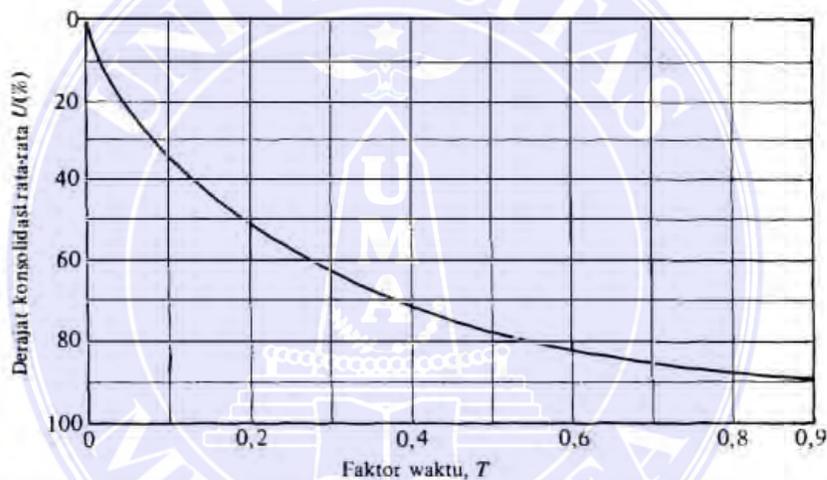
U_v (tegangan air pori awal) adalah sama untuk seluruh kedalaman lapisan yang mengalami konsolidasi. Harga faktor waktu dan derajat konsolidasi rata – rata

bersesuaian dengan keadaan yang diberikan Tabel 6. dapat dinyatakan dengan

suatu hubungan yang sederhana :

Tabel 6. Variasi faktor derajat konsolidasi (Braja M. Das, 1995)

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



Gambar 11. Grafik variasi derajat konsolidasi (Braja M. Das, 1995)

2.9.3. Koefisien Konsolidasi Vertikal

Koefisien konsolidasi vertikal, $\bar{\alpha}$ biasanya akan berkurang dengan bertambahnya batas cair (LL) dari tanah. Rentang (*range*) dari variasi harga $\bar{\alpha}$ untuk suatu batas cair tanah tertentu adalah agak lebar. Koefisien konsolidasi vertikal ($\bar{\alpha}$) menentukan kecepatan pengaliran air pada arah vertikal dalam tanah. Karena pada umumnya konsolidasi berlangsung satu arah saja, yaitu arah vertikal,

maka koefisien konsolidasi sangat bergantung terhadap kecepatan konsolidasi yang akan terjadi. Harga \bar{A} dapat dicari menggunakan persamaan berikut ini:

$$\frac{U}{100} = \frac{C_v t}{H^2} \bar{A}$$

Dimana

\bar{A} = koefisien konsolidasi vertikal (m^2/detik)

\bar{C}_v = faktor waktu derajat konsolidasi vertikal

H = panjang aliran air pori selama proses konsolidasi (cm)

t = waktu yang dibutuhkan untuk mencapai derajat konsolidasi $U\%$

2.9.4. Grafik Angka Pori – Tekan

Setelah mendapatkan grafik antara waktu dan pemampatan untuk besar pembebanan yang bermacam – macam dari percobaan di laboratorium, selanjutnya penting bagi kita untuk mempelajari perubahan angka pori terhadap tekanan. Berikut ini adalah langkah demi langkah urutan pelaksanaannya.

- a. Hitung tinggi butiran padat, \bar{H}_p pada contoh tanah

$$\bar{H}_p = \frac{W_s}{G_s \bar{A}}$$

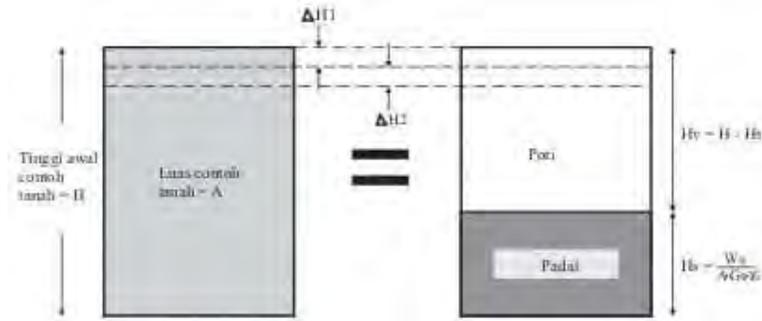
Dimana : W_s = Berat kering contoh tanah

\bar{A} = Luas penampang contoh tanah

G_s = Berat spesifik contoh tanah

$\bar{A}W$ = Berat volume air

- b. Hitungan tinggi awal dari ruang pori, \bar{H}_v :



Gambar 12. Uji konsolidasi satu dimensi (Braja M. Das, 1995)

$$\bar{A}_0 = \frac{H}{H_0} \bar{A}$$

Dimana H = tinggi awal tanah contoh

- c. Hitung angka pori awal, \bar{A}_0 , dari contoh tanah

$$\bar{A}_0 = \frac{H}{H_0} \bar{A}$$

- d. Untuk penambahan beban pertama \bar{A}_1 (beban total/luas penampang contoh tanah), yang menyebabkan penurunan ΔH_1 , hitung penurunan

$$\Delta \bar{A}_1 = \frac{\Delta H_1}{H} \bar{A}$$

ΔH_1 didapatkan dari pembacaan awal dan akhir skala ukur untuk beban

sebesar \bar{A}_1

- e. Hitung angka pori yang baru, \bar{A}_1 , setelah konsolidasi yang disebabkan oleh penambahan tekanan \bar{A}_1 :

$$\bar{A}_1 = \bar{A}_0 - \frac{\Delta H_1}{H} \bar{A}$$

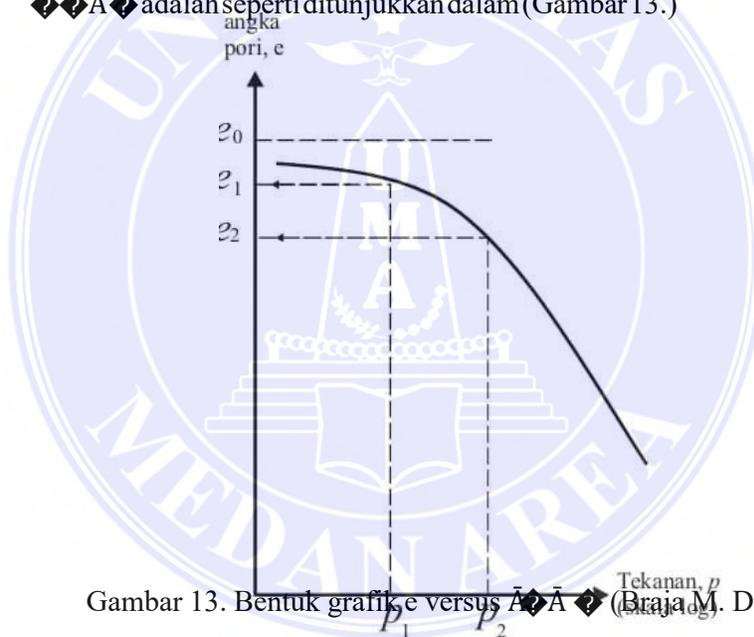
Untuk beban berikut yaitu \bar{A}_2 (beban kumulatif per satuan luas contoh tanah), yang menyebabkan penambahan pemampatan sebesar ΔH_2 , angka pori \bar{A}_2 pada saat akhir konsolidasi dapat dihitung sebagai berikut:

$$\frac{\Delta \bar{A}_2}{\bar{A}_2 \bar{A} \bar{A}_1}$$

\bar{A}

Dengan melakukan cara yang sama, angka pori pada saat akhir konsolidasi untuk semua penambahan beban dapat diperoleh tekanan total (P) dan angka pori yang berangkutan (e) pada akhirnya konsolidasi digambar pada kertas semi logaritma. Bentuk umum dari grafik e versus

\bar{A} adalah seperti ditunjukkan dalam (Gambar 13.)



Gambar 13. Bentuk grafik e versus \bar{A} (Braja M. Das, 1995)

2.9.5. Lempung yang Terkonsolidasi Secara Normal (*Normally Consolidated*) dan Terlalu Terkonsolidasi (*Over Consolidated*)

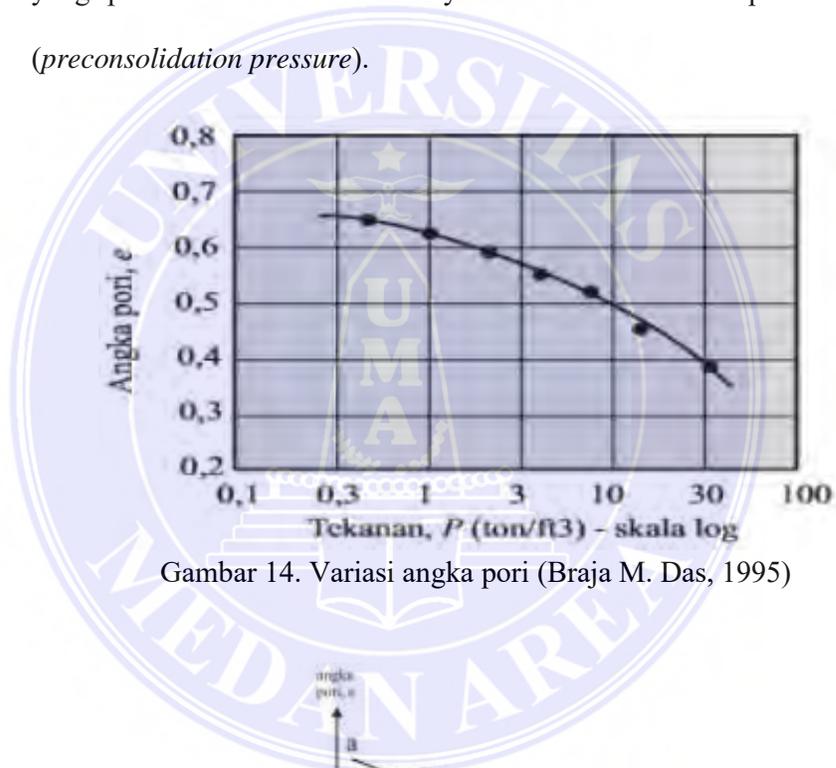
Gambar 10. menunjukkan bahwa bagian atas dari grafik e versus $\log p$ adalah garis lengkung dengan kemiringan yang agak datar, kemudian diikuti dengan bagian grafik yang mempunyai hubungan linear antara angka pori dengan $\log p$ yang mempunyai kemiringan agak curam. Keadaan ini dapat diterangkan dengan cara berikut ini:

Suatu tanah dilapangan dengan suatu kedalaman tertentu dalam sejarah geologinya telah mengalami tekanan efektif maksimum akibat berat tanah di atasnya (*maximum effective overburden pressure*). Tekanan efektif *overburden* yang ada pada saat pengambilan contoh tanah. Berkurangnya tekanan dilapangan tersebut mungkin disebabkan oleh proses geologi alamiah atau proses yang disebabkan oleh makhluk hidup (misalnya manusia atau binatang). Pada saat diambil, contoh tanah tersebut terlepas dari tekanan *overburden* yang membebaninya selama ini; sebagai akibatnya contoh tanah tersebut akan mengembang. Ketika pada contoh tanah tersebut dilakukan uji konsolidasi, suatu pemampatan yang kecil (perubahan angka pori yang kecil) akan terjadi bila beban total yang diberikan pada saat percobaan adalah lebih kecil dari tekanan efektif *overburden* maksimum yang pernah dialami sebelumnya. Apabila beban total yang diberikan adalah lebih besar dari tekanan efektif *overburden* maksimum yang pernah dialami oleh tanah yang bersangkutan, maka perubahan angka pori yang terjadi adalah lebih besar, dan hubungan antara e versus $\log p$ menjadi linear dan memiliki kemiringan yang tajam.

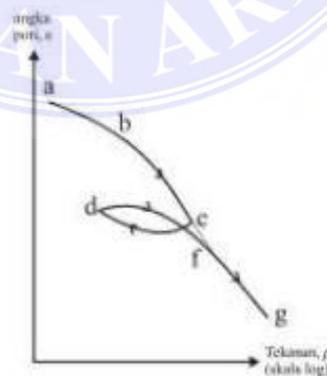
Untuk lebih jelasnya pada (Gambar 15.) Keadaan ini dapat dibuktikan di laboratorium dengan cara membebani contoh tanah melebihi tekanan *overburden* maksimumnya, lalu beban tersebut diangkat (*unloading*) dan diberikan lagi beban (*reloading*). Grafik e versus $\log p$ untuk keadaan tersebut ditunjukkan dalam (Gambar 15.) dimana cd menunjukkan keadaan pada saat beban diangkat dan dfg menunjukkan keadaan pada saat beban diberikan kembali.

Keadaan ini mengarah kepada dua definisi dasar yang didasarkan pada sejarah tegangan :

- a. Terkonsolidasi secara normal (*normally consolidated*), dimana tekanan efektif *overburden* pada saat ini adalah merupakan tekanan maksimum yang pernah dialami oleh tanah itu.
- b. Terlalu terkonsolidasi (*overconsolidated*), di mana tekanan efektif *overburden* pada saat ini adalah lebih kecil dari tekanan yang pernah dialami tanah ini sebelumnya. Tekanan efektif *overburden* maksimum yang pernah dialami sebelumnya dinamakan tekanan prakonsolidasi (*preconsolidation pressure*).



Gambar 14. Variasi angka pori (Braja M. Das, 1995)



Gambar 15. Grafik e versus $\log p$ (Braja M. Das, 1995)

2.9.6. Pengaruh Kerusakan Struktur Tanah pada Hubungan Antara Angka Pori dan Tekanan

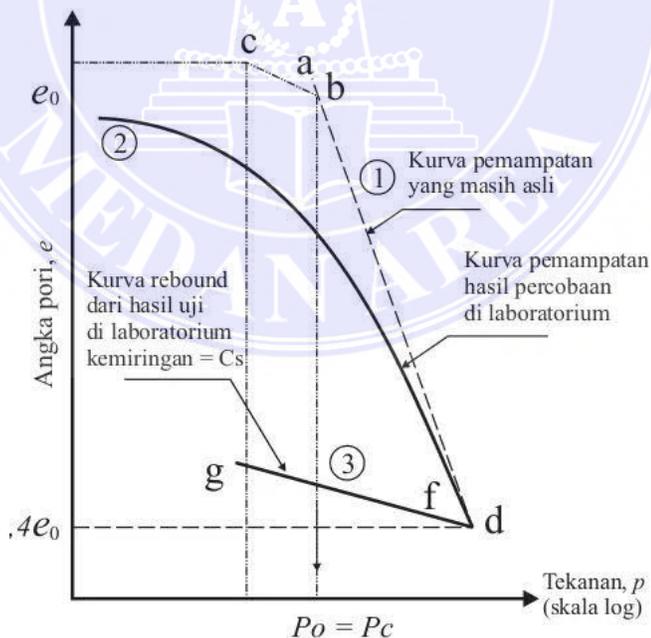
Suatu tanah dikatakan “terbentuk kembali” (*remolded*) apabila struktur dari tanah itu terganggu (*disturbed*). Keadaan ini akan mempengaruhi bentuk grafik yang menunjukkan hubungan antara angka pori dan tekanan dari tanah yang bersangkutan. Untuk suatu tanah lempung yang terkonsolidasi secara normal dengan derajat sensitivitas rendah sampai sedang (Gambar 16.) serta angka pori e_0 dan tekanan efektif *overburden* P_0 , perubahan angka pori sebagai akibat dari penambahan tegangan di lapangan secara kasar dapat ditunjukkan seperti Kurva 1.

Apabila struktur dari contoh tanah tersebut benar – benar rusak dan kemudian dibentuk kembali (*remolded*), maka letak grafik e versus $\log p$ umumnya akan seperti Kurva 3. Kurva – kurva 1, 2, dan 3 akan berpotongan kira – kira pada angka pori $e = 0,4 e_0$ (Terzaghi dan Peck, 1967). Untuk tanah lempung yang terlalu terkonsolidasi dengan derajat sensitivitas rendah sampai sedang dan sudah pernah mengalami tekanan prakonsolidasi P_c (Gambar 17.) serta angka pori e_0 dan tekanan efektif *overburden* P_0 , kurva konsolidasi lapangan adalah seperti yang ditunjukkan oleh garis *cbd*. Perhatikan bahwa *bd* adalah bagian dari kurva pemampatan asli. Hasil uji konsolidasi di laboratorium terhadap contoh tanah yang tingkat kerusakan strukturnya tidak terlalu besar adalah seperti ditunjukkan oleh Kurva 2. Dapat disimpulkan bahwa kemiringan garis *cb*, yang merupakan garis pemampatan ulang (*recompression*) lapangan, mempunyai kemiringan yang hampir sama dengan kemiringan kurva pantul (*rebound curve*) *fg* dari hasil uji konsolidasi di laboratorium. Tanah dengan derajat sensitivitas tinggi mempunyai struktur flokulasi. Dilapangan, jenis tanah

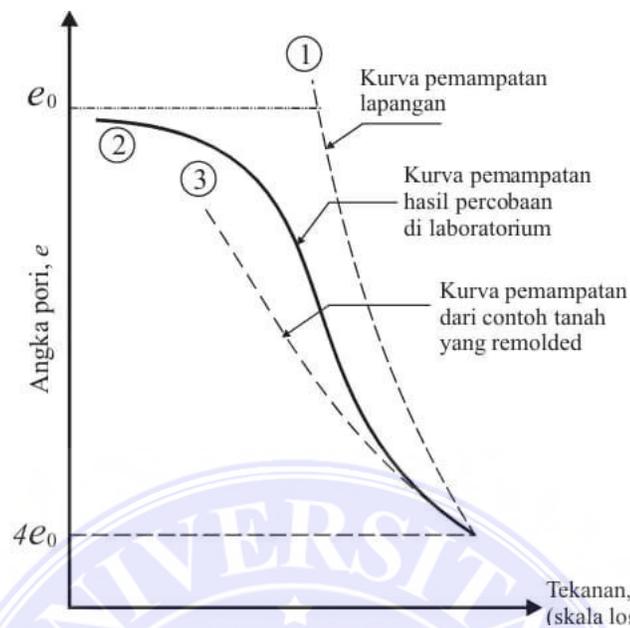
tersebut umumnya sedikit prakonsolidasi (*preconsolidated*). Karakteristik konsolidasi tanah seperti ini ditunjukkan dalam (Gambar 16.)



Gambar 16. Karakteristik secara normal (Braja M. Das, 1995)



Gambar 17. Karakteristik (*overconsolidated*) (Braja M. Das, 1995)



Gambar 18. Karakteristik sensitive (Braja M. Das, 1995)

2.9.7. Analisis Perhitungan Penurunan yang Disebabkan oleh Konsolidasi Primer Satu Dimensi

Dengan pengetahuan yang didapat dari analisis hasil uji konsolidasi, maka dapat dihitung kemungkinan penurunan yang disebabkan oleh konsolidasi primer dilapangan, dengan menganggap konsolidasi tersebut adalah satu dimensi (Das, Braja M. 1985). Tinjauan suatu lapisan lempung jenuh dengan tebal H dan luasan penampang melintang A serta tekanan efektif overburden rata – rata

sebesar $\bar{\sigma}_0$. Disebab oleh penambahan tekanan sebesar Δp , dianggaplah penurunan konsolidasi primer yang terjadi adalah sebesar S. menjelaskan kasus penurunan tersebut.

Volume pori dapat ditentukan dengan menggunakan rumus :

$$S \Delta v \bar{A} = \bar{A} \bar{H} \cdot \bar{A} \bar{H} \bar{S} \bar{A} \bar{A} \bar{S} \cdot \bar{A}$$

Dimana V_0 dan V_1 berturut – turut adalah volume awal dan volume akhir tetapi perubahan volume sama dengan perubahan volume pori, ΔV_p . Jadi

$$\Delta V = S \cdot A \cdot \bar{A} \cdot (\bar{A}_0 - \bar{A}_1)$$

Dimana \bar{A}_0 dan \bar{A}_1 berturut – turut adalah volume akhir dari pori. Dari definisi angka pori

$$\Delta \bar{A} = \Delta \cdot \bar{A}$$

Dimana $\Delta \bar{A}$ = perubahan angka pori

Tapi

$$V_S = \frac{V \cdot \bar{A}}{1 + \bar{A}_0} - \frac{V \cdot \bar{A}}{1 + \bar{A}_1}$$

Dimana \bar{A}_0 = angka pori awal pada saat volume tanah sama dengan V_0 . Jadi dari persamaan – persamaan diatas maka di dapat :

$$\Delta V = S \cdot A \cdot \bar{A} \cdot \frac{\Delta \bar{A}}{1 + \bar{A}_0} = \frac{V \cdot \bar{A}}{1 + \bar{A}_0} \cdot \Delta \bar{A}$$

Atau

$$S = H \cdot \frac{\Delta e}{1 + \bar{A}_0}$$

Untuk lempung yang terkonsolidasi secara normal dimana e versus $\log p$ merupakan garis lurus (Gambar 2.15.) maka :

$$\Delta e = \bar{A} \log \bar{A}_0 - \bar{A} \log \bar{A}_1 = \Delta p \bar{A} \log \bar{A}_0$$

Dimana \bar{A} = kemiringan kurva Δe versus $\log \bar{A}_0$ dan didefinisikan sebagai “indeks pemampatan” (*compression index*).

Masukan persamaan maka diperbolehkan persamaan

$$S = \frac{\bar{A}}{1 + \bar{A}_0} \log \bar{A} \frac{\Delta p \bar{A}}{\bar{A}}$$

Untuk suatu lapisan lempung yang tebal, adalah lebih teliti bila lapisan tanah tersebut dibagi menjadi beberapa sub – lapisan dan perhitungan penurunan

dilakukan secara terpisah untuk tiap – tiap sub – lapisan. Jadi, penurunan total dari seluruh lapisan tersebut adalah

$$S = \sum \frac{\bar{A} \Delta p}{1 + \bar{A}_0} \log \frac{\bar{A}_0 + \Delta p}{\bar{A}_0}$$

Dimana :

S = Penurunan total

H = Tebal lapisan tanah lunak yang memampat (m)

H_i = Sub lapisan i

\bar{A}_{0i} = Tekanan efektif *overburden* untuk sub – lapisan i ($t/2\bar{A}$)

Δp_i = Penambahan tekanan *vertical* untuk sub – lapisan i ($t/2\bar{A}$)

\bar{A}_A = Indeks pemampatan (*Compression Index*)

\bar{A}_Δ = Indeks pemuaian (*Swelling Index*)

\bar{A}_0 = Angka pori awal (*Initial Void Ratio*)

Untuk \bar{A}_A dan \bar{A}_Δ yang lebih lanjut konsolidasi (*over consolidation*) (Graham, 1977).

epabila \bar{A}_A dan \bar{A}_Δ adalah konstanta, variasi \bar{A}_0 terhadap $\log p$ tidak di sepanjang dengan kemiringan yang hamper sama dengan kemiringan kurva pantul (*rebound curve*) yang didapat dari uji konsolidasi di laboratorium.

Kemiringan kurva pantul, \bar{A}_Δ disebut “*indeks pemuaian*” jadi :

Besarnya \bar{A}_Δ dapat ditentukan dengan persamaan

$$S = \frac{\bar{A}_A}{1 + \bar{A}_0} \log \bar{A} + \frac{\bar{A}_\Delta p}{\bar{A}}$$

b. Bila $\bar{A}_A = \bar{A}_\Delta = \bar{A}$ maka :

$$S = \frac{\bar{A}}{1 + \bar{A}_0} \log \bar{A} + \frac{\bar{A}}{\bar{A}} \log \bar{A} + \frac{\bar{A} p}{\bar{A}}$$

\bar{e} - $\Delta \bar{e}$ lapangan, variasi e versus $\log p$ terletak disepanjang cb dengan kemiringan yang hamper sama dengan kemiringan kurva pantul (*rebound curve*) yang didapat dari uji konsolidasi di laboratorium.

Kemiringan kurva pantul, \bar{A}_d disebut “*indeks pemuaian*” jadi :

$$\Delta e = \bar{A}_d \log \bar{A}_0 - \Delta p \bar{A}_d \log \bar{A}_0$$

$$S = \frac{\bar{A}_d}{1 - \bar{A}_0} \log \frac{\bar{A}_d - \Delta p \bar{A}_d}{\bar{A}_d}$$

Apabila kurva e versus $\log p$ tersedia, mungkin saja untuk memilih Δe dengan mudah dari grafik tersebut dengan rentang (*range*) tekanan yang sesuai.

Kemudian nilai – nilai yang diambil dari kurva tersebut dimasukkan kedalam persamaan () untuk menghitung besar penurunan S .

2.9.8. Indeks Pemampatan (*Compression Index*)

Indeks pemampatan digunakan sebagai untuk menghitung besarnya penurunan yang terjadi dilapangan sebagai akibat dari konsolidasi dapat ditentukan dari kurva yang menunjukkan hubungan antara pori dan tekanan seperti ditunjukkan oleh (Gambar 18.) yang didapat dari uji konsolidasi di laboratorium. Ketika tekanan air pori sama dengan nol, penurunan masih terjadi sebagai akibat dari penyesuaian plastis butiran tanah. Tanah konsolidasi ini dinamakan konsolidasi sekunder. Selama konsolidasi sekunder berlangsung, kurva hubungan antara deformasi dan \log waktu (t) merupakan garis lurus. Penurunan yang diakibatkan oleh konsolidasi sekunder sangat penting untuk semua jenis tanah organik dan tanah anorganik yang *compressible*. Untuk lempung anorganik yang terlalu terkonsolidasi, indeks pemampatan sekunder adalah sangat kecil sehingga dapat diabaikan.

Perbandingan pemampatan sekunder terhadap pemampatan primer untuk suatu lapisan tanah dengan ketebalan tertentu adalah tergantung pada perbandingan antara penambahan tegangan (Δp) dengan tegangan efektif awal ($\bar{\sigma}_0$). Apabila $\frac{\Delta p}{\bar{\sigma}_0}$ lebih kecil, maka perbandingan pemampatan sekunder dan primer adalah semakin besar.

Terzaghi dan Peck (1967), menyarankan pemakaian persamaan empiris berikut ini untuk menghitung indeks pemampatan:

a. Untuk lempung yang struktur tanahnya tak terganggu/belum rusak (*undisturbed*)

b. Untuk lempung yang terbentuk kembali (*remolded*)

$$C_c = 0,007 (LL - 10)$$

Dimana LL (*Liquid Limit*) = batas cair dalam persen

Apabila tidak tersedia data konsolidasi hasil percobaan di laboratorium, persamaan $C_c = 0,009 (LL - 10)$ sering digunakan untuk menghitung konsolidasi primer yang terjadi di lapangan.

Beberapa korelasi empiris yang dapat digunakan untuk menentukan nilai indeks kompresi (C_c). Penerapannya pada Tabel 7.

Tabel 7. Korelasi Nilai Indeks Kompresi (Braja M. Das, 1995)

Kadar Organik	Kelompok Tanah
$C_c = 0,009 (LL - 10)$	Untuk Lempung Tak Terganggu
$C_c = 0,007 (LL - 10)$	Untuk Lempung Terbentuk Kembali
$C_c = 0,007 (LL - 7)$	Untuk Lempung Terbentuk Kembali
$C_c = 0,0046 (LL - 9)$	Lempung Brazillian
$C_c = 0,01$	Lempung Chicago

Lanjutan Tabel 7

$C_c = 0,0115 \bar{A}_\diamond$	Gambut, lanau organic, dan lempung
$C_c = 1,15 (\bar{A}_\diamond \bar{A} 0,27\bar{A})$	Lempung pada umumnya
$C_c = 0,30 (\bar{A}_\diamond \bar{A} 0,27\bar{A})$	Tanah kohesif non organik, lanau, lempung berlanau, lempung
$C_c = 0,75 (\bar{A}_\diamond \bar{A} 0,5\bar{A})$	Tanag berplastisitas rendah
$C_c = 0,208 \bar{A}_\diamond + 0,0083$	Lempung Chicago
$C_c = 0,156 \bar{A}_\diamond + 0,0107$	Lempung pada umumnya

2.9.9. Indeks Pemuaian (*Swell Index*)

Indeks pemuaian adalah lebih kecil daripada indeks pemampatan dan biasanya dapat ditentukan dari uji laboratorium. Pada umumnya

$\frac{1}{Cs \bar{A}} \text{ sampai } \frac{1}{Cc}$
 Batas air (*Liquid Limid*), batas plastis, indeks pemampatan
 (*Compression Index*), dan indeks pemuaian (*Swell Index*) untuk tanah yang belum rusak strukturnya dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Pemampatan dan Pemuaian Tanah Asli (Braja M. Das, 1995)

Tanah	Batas Cair	Batas Plastis	Indeks Pemampatan $\bar{A}_\bar{A}$	Indeks Pemuaian \bar{A}_\diamond
Lempung Boston Blue	41	20	0,35	0,07
Lempung Chicago	60	20	0,4	0,07
Lempung Ft. Gordon Georgia	51	26	0,12	
Lempung New Orleans	80	25	0,3	0,05
Lempung Montana	60	28	0,21	0,05

2.10. Plaxis

Plaxis merupakan salah satu *Software* analisis geoteknik yang dipilih karena dapat menganalisa stabilitas tanah dengan menggunakan metode elemen hingga yang mampu melakukan analisis yang dapat mendekati perilaku

sebenarnya. Plaxis menyediakan berbagai analisis seperti *displacement*, tegangan-tegangan yang terjadi pada tanah, factor keamanan lereng dan lain-lain.

2.10.1. Sejarah Plaxis

Pengembangan Plaxis dimulai pada tahun 1987 di Universitas Teknik Delft (*Technical University of Delft*) inisiatif Departemen Tenaga Kerja dan Pengelolaan Sumber Daya Air Belanda (*Dutch Departement of Public Works and Water Managemennt*), Tujuan awal adalah untuk menciptakan sebuah program computer berdasarkan metode elemen hingga 2D yang mudah digunakan untuk menganalisis tanggul-tanggul yang dibangun di atas tanah lunak di dataran rendah Holland. Pada tahun-tahun berikutnya, Plaxis dikembangkan lebih lanjut hingga mencakup hampir seluruh aspek perencanaan geoteknik lainnya, karena aktivitas yang terus berkembang, maka sebuah Perusahaan Bernama Plaxis b.v. kemudian didirikan pada tahun 1993. Pada tahun 1998, dirilis versi pertama Plaxis untuk *Windows*. Selama rentang waktu itu dikembangkan pula perhitungan untuk 3D. Setelah pengembangan selama beberapa tahun Plaxis 3D untuk Terowongan (*Plaxis 3D Tunnel*) dirilis pada tahun 2001.

Plaxis dimaksudkan sebagai suatu alat bantu analisis untuk digunakan oleh ahli geoteknik yang tidak harus menguasai metode numerik. Umumnya para praktisi menganggap bahwa dengan metode elemen hingga yang *non-linear* adalah sulit dan menghabiskan banyak waktu. Tim riset dan pengembangan Plaxis menjawab masalah tersebut dengan merancang prosedur-prosedur perhitungan yang handal dan baik secara teoritis, yang kemudian dikemas dalam suatu kerangka yang logis yang mudah digunakan. Hasilnya, banyak praktisi geoteknik

diseluruh dunia yang telah menerima dan menggunakannya untuk keperluan rekayasa teknis.

Penelitian dan Pengembangan didukung oleh *Center for Civil Engineering Research and Codes (CUR)*. Sebuah konsorsium yang terdiri dari 30 perusahaan di eropa mendukung pengembangan ini secara finansial, dan sebuah komite *CUR* memeriksa efisiensi dan kualitas dari perangkat lunak yang dihasilkan. Konsorsium *CUR* juga menyediakan hubungan yang sangat berharga dengan dunia rekayasa professional. Pengembangan untuk masa depan dibahas dalam konsorsium *CUR* dan masukkan-masukkan balik akan diterima setelah versi program yang baru dirilis.

Pengembangan Plaxis tidak akan berhasil tanpa adanya penelitian di universitas maupun institusi penelitian di berbagai negara. Agar standar teknis yang tinggi dari Plaxis tetap terjaga, maka tim pengembangan Plaxis selalu berhubungan dengan jaringan penelitian dalam bidang geomekanik dan metode numerik yang luas.

2.10.2. Tahapan Pada Plaxis

Plaxis adalah salah satu program aplikasi komputer yang menghitung konsolidasi dengan menggunakan teori konsolidasi Biot. Program ini melakukan perhitungan berdasarkan metode elemen hingga yang digunakan secara khusus untuk melakukan analisis deformasi dan stabilitas untuk berbagai aplikasi bidang geoteknik.

Dalam program Plaxis, Analisa dilakukan dengan mensimulasikan kondisi di lapangan untuk mengimplementasikan tahapan pelaksanaan ke dalam

tahapan pengerjaan pada program, sehingga respon yang dihasilkan dari program dapat diasumsikan sebagai cerminan dari kondisi yang sebenarnya terjadi di lapangan, Adapun Langkah-langkah pengerjaan program Plaxis adalah sebagai berikut :

- a. Penyiapan parameter tanah yang akan dilakukan untuk modelisasi dengan program Plaxis Parameter-parameter tersebut didapatkan dari hasil pengujian *laboratorium*, maupun hasil pengujian di lapangan.
- b. Selanjutnya menjalankan program Plaxis yang diawali dengan melakukan *setting* awal
- c. Melakukan penggambaran geometri dan pemberian kondisi batas pada struktur yang ditinjau.
- d. Pendefinisian material dan pendeklarasian material pada struktur yang ditinjau.
- e. Perhitungan kondisi awal dari konstruksi yang ditinjau
- f. Selanjutnya dilakukan perhitungan dengan Menyusun tahapan konstruksi sesuai dengan tahapan yang dilaksanakan di lapangan.

2.10.3. Data Tanah yang Diminta Pada Plaxis

Data yang diminta pada Plaxis dari pengujian lapangan dan laboratorium. Jika data tidak ada atau tidak dilakukan pengujian maka menggunakan korelasi nilai N-SPT.

- a. Berat Volume Tana (\bar{A})
- b. Pada Program Plaxis berat volume tanah yang dibutuhkan dalam perhitungan terbagi menjadi dua jenis. Yaitu berat volume tanah jenuh dan berat volume tanah kering.



\bar{A} \bar{A}

Namun jika lapangan tidak ada, maka didapat melalui korelasi nilai N-SPT pada Tabel 9. dibawah ini:

Tabel 9. Hubungan N-SPT (Braja M. Das, 1995)

Consistency	Q _u (psf)	N-SPT	Saturated Unit Wiegth (psf)
Very Soft	0-500	0-2	\bar{A} 100
Soft	500-1000	4-Mar	100-200
Lanjutan Tabel 9			
Medium	1000-2000	110-125	110-125
Stiff	2000-4000	115-130	115-130
Very Stiff	4000-8000	120-140	120-140
Hard	\bar{A} 8000	\bar{A} 32	\bar{A} 130

Untuk Hubungan N-SPT dengan berat isi tanah (\bar{A}) untuk tanah pasir dijelaskan oleh Mayerhof (1956) dapat dilihat pada Tabel 10.

Tabel 10. Hubungan N-SPT (Mayerhof, 1956)

N-SPT	Kepadatan Relatif (10%)		Berat Volume	
			Moist (psf)	Submerged (psf)
\bar{A} 4	\bar{A} 20	Very Loose	\bar{A} 100	\bar{A} 60
4-10	20-40	Loose	95-125	55-65
10-30	40-60	Medium	110-125	60-70
30-50	60-80	Dense Very	110-140	65-85
\bar{A} 50	\bar{A} 50	Dense	\bar{A} 130	\bar{A} 75

a. Modulus *Young* dari Tanah (E)

Modulus *Young* adalah angka yang digunakan untuk mengukur objek atau ketahanan bahan untuk mengalami deformasi elastis ketika gaya diterapkan pada benda itu. Modulus elastisitas satu benda didefinisikan sebagai kemiringan dari kurva tegangan-regangan di wilayah deformasi elastis. Bahan baku kaku akan memiliki modulus elastisitas yang lebih tinggi. Tanah juga memiliki nilai modulus elastisitas.

Modulus *Young* merupakan parameter yang Bersama-sama dengan *Passion ratio* akan membentuk matriks kekakuan yang akan dipergunakan untuk melakukan Analisa elemen hingga pada Plaxis. Nilai E akan menggambarkan kekakuan dari suatu tanah, dimana ditunjukkan dari besaran rasio tegangan-regangan. Modulus Elastisitas berdasarkan Jenis tanah dapat dilihat pada Tabel 11. dan Hubungan antara jenis tanah dan modulus elastis pada Tabel 12.

Tabel 11. Modulus elastisitas berdasarkan jenis tanah (Look,2007)

Tipe Kondisi	Kondisi	Modulus Elastisitas E (Mpa)
<i>Fine Sand</i>	<i>Loose</i>	5-10
	<i>Medium</i>	10-25
	<i>Dense</i>	25-50
Silt	<i>Soft</i>	~ 8
	<i>Stiff</i>	8-15
	<i>Hard</i>	~ 15
Clay	<i>Very Soft</i>	~ 2
	<i>Soft</i>	1-5
	<i>Firm</i>	4-8
	<i>Stiff</i>	7-20
	<i>Very Stiff</i>	15-35
	<i>Hard</i>	30-60

Tabel 12. Hubungan jenis tanah dan modulus elastis (Hardiyatmo, 2008)

Jenis Tanah	E
Lempung	
Sangat Lunak	3,0-30
Lunak	20-40
Sedang	45-90
Berpasir	300-325
Pasir	
Berlanau	50-200
Tidak Padat	100-250
padat	500-1000
Pasir dan Kerikil	
Padat	800-2000
Tidak Padat	500-1400
Lanau	20-200
Loses	150-600
Cadas	1400-14000

b. Koefisien Permeabilitas Tanah (k)

Sifat ini untuk mengukur/menentukan kemampuan tanah dilewati air melalui pori-porinya. Sifat ini penting dalam konstruksi bending tanah urugan dan persolan drainase. Koefisien permeabilitas dari tanah akan dipergunakan untuk menghitung kecepatan pengurangan tegangan air pori. Parameter ini pada Analisa *undrain* akan mengontrol besarnya penurunan terhadap waktu. Koefisien permeabilitas dapat dilihat pada Tabel 13.

Tabel 13. Nilai koefisien permeabilitas tanah (Braja M. Das, 1995)

Jenis Tanah	Koefisien Permeabilitas	
	cm/dtk	ft/mnt
Kerikil bersih	1,0-100	2,0-200
Pasir Kasar	1,0-0,01	2,0-0,02
Pasir Halus	0,01-0,001	0,02-0,002
Lanau	0,001-0,00001	0,002-0,00002
Lempung	Å 0,000001	Å 0,000002

c. Nilai kohesi (c)

Parameter ini didalam program Plaxis bersama dengan sudut geser dalam tanah akan menjadi masukan untuk menghitung kekuatan tanah. Dengan deformasi kekuatan tanah tersebut, maka Ketika dilakukan perhitungan konstruksi akan memunculkan peringatan kepada pengguna apabila tanah telah mengalami keruntuhan (*failure*) Ketika dilaksakan perhitungan. Kohesi akan cenderung meningkat sesuai dengan kedalaman yang ditinjau. Hubungan antara konsistensi dengan nilai kohesi dapat dilihat pada Tabel 14.

Tabel 14. Hubungan konsistensi dengan nilai kohesi (Begeman, 1965)

Koefisien Tanah	Tekanan Konus	<i>Undrained cohesion</i>
<i>Very Soft</i>	\bar{A} 2,5	\bar{A} 1,25
<i>Soft</i>	2,5-5,0	1,25-2,50
<i>Medium Soft</i>	5,0-10,0	2,50-5,0
<i>Stiff</i>	10,0-20,0	5,0-10,0
<i>Very Stiff</i>	20,0-40,0	10,0-20,0
<i>Hard</i>	\bar{A} 40	\bar{A} 20,0

d. *Poisson's ratio* (\bar{A})

Poisson's Ratio adalah sebuah konstanta *elastic* yang merepresentasikan sifat fisis batuan. Seperti contoh sampel bantuan yang berbentuk silinder dengan Panjang L dan jari-jari R. Apabila sampel tersebut ditekan dengan gaya berkuatan F maka karena tekanan tersebut Panjang sampel akan memendek dan jari-jarinya akan melebar. Jika perubahan panjangnya adalah dL dan perubahan jari-jarinya dR, maka besaran *Poisson's ratio* adalah dR/dL.

Poisson's ratio nilai perbandingan antara regangan horizontal dengan regangan vertical.

$$\bar{\epsilon}_h = \frac{\bar{\Delta}_h}{\bar{\Delta}_v}$$

Keterangan :

$\bar{\epsilon}_h$ Regangan Horizontal
 $\bar{\Delta}_h$ Regangan Vertikal

Bersama dengan modulus yang membentuk matriks kekuatan tanah. Nilai dari *Poisson's ratio* berbagai jenis tanah. Nilai tanah *Poisson's ratio* pada tanah dapat dilihat Tabel 15.

Tabel 15. Nilai *Poisson's ratio* Pada Tanah (Schmertman, 1970)

Type Of Soil	Poisson ratio ($\bar{\Delta}$)
Loose Sand	0,20-0,40
Medium Dense Sand	0,25-0,40
Dense sand	0,30-0,45
Silty Sand	0,20-0,40
Sand and Gravel	0,15-0,25
Soft Clay	0,20-0,50
Medium Clay	0,20-0,50
Stiff Clay	0,20-0,50

- e. Sudut geser tanah (ϕ)
 Sudut geser tanah merupakan tahanan penggeseran antara partikel tanah. Nilai sudut geser ini beserta nilai kohesi mempengaruhi nilai kekuatan geser tanah tersebut. Kuat geser tanah adalah gaya perlawanan yang dilakukan oleh butir tanah terhadap desakan atau tarikan. Nilai kekuatan geser tanah menunjukkan besarnya kekuatan daya dukung tanah tersebut. Parameter ini Bersama-sama dengan kohesi akan dipergunakan oleh Plaxis dalam menghitung kekuatan tanah. Sudut geser tanah yang tinggi biasanya diperoleh untuk pasir padat, tetapi secara umum makin halus butiran dan semakin padat susunan butiran akan meningkatkan sudut

geser. Kohesi memiliki dimensi yang sama dengan tegangan. Kohesi akan cenderung meningkat sesuai dengan kedalaman peninjauan.

Nilai dari sudut geser tanah juga dapat ditentukan melalui korelasi hubungan kepadatan relatif (D_r) dan sudut geser tanah (ϕ) berdasarkan nilai jumlah pukulan (N) untuk tanah non kohesif dapat dilihat pada Tabel

16. dan Tabel 17

Tabel 16. Hubungan N-SPT, D_r dan Sudut geser (ϕ) pasir (Das,2008)

N-SPT	Kepadatan Relatif (D_r) %	Sudut Geser Tanah (ϕ) (deg)
0-4	Very loose $\bar{A} 20$	$\bar{A} 30$
4-10	Loose 20-40	30-35
10-30	Compact 40-60	35-40
30-50	Dense 60-80	40-45
$\bar{A} 50$	Very Dense $\bar{A} 80$	$\bar{A} 45$

Tabel 17. Sudut geser berbagai jenis tanah (Das, 2010)

Jenis Tanah	Sudut Geser Tanah, (ϕ) (deg)
Kerikil kepasiran	$35^\circ \bar{A} 40^\circ$
Kerikil kerakal	$35^\circ \bar{A} 40^\circ$
Pasir padat	$35^\circ \bar{A} 40^\circ$
Pasir lepas	30°
Lempung kelanauan	$25^\circ \bar{A} 30^\circ$
Lempung	$20^\circ \bar{A} 25^\circ$

f. *Compression* Indeks model *soft soil*

Untuk λ dan κ menggunakan rumus dibawah ini :

$$\lambda = \frac{1}{2} \left(\frac{1 + \kappa}{1 - \kappa} \right) \bar{A}$$

$$\kappa = \frac{1}{2} \left(\frac{1 + \lambda}{1 - \lambda} \right) \bar{A}$$

Dimana :

\bar{A} : Koefisien yang mempengaruhi besar penurunan

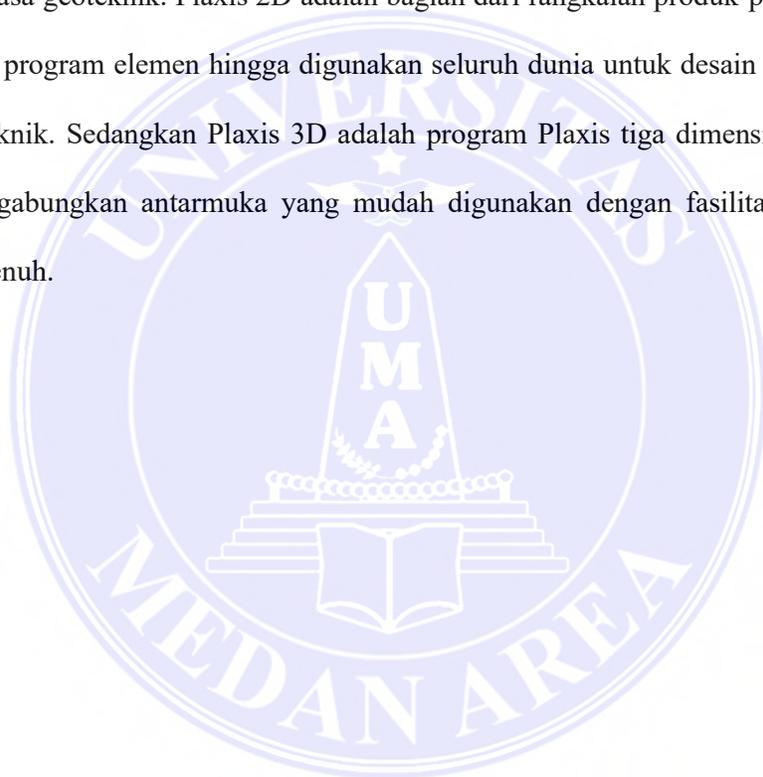
κ : Koefisien yang mempengaruhi besar pengembangan

\bar{A} : Angka pori

Nilai \bar{A}_A dan \bar{A}_B didapat dari uji konsolidasi.

2.10.4. Perbedaan Plaxis 2D dan 3D

Plaxis 2D adalah program elemen hingga dua dimensi, yang dikembangkan untuk analisis deformasi, stabilitas dan aliran air tanah dalam rekayasa geoteknik. Plaxis 2D adalah bagian dari rangkaian produk-produk Plaxis, paket program elemen hingga digunakan seluruh dunia untuk desain dan rekayasa geoteknik. Sedangkan Plaxis 3D adalah program Plaxis tiga dimensi penuh yang menggabungkan antarmuka yang mudah digunakan dengan fasilitas pemodelan 3D penuh.



BAB III METODE PENELITIAN

3.1. Lokasi Dan Peta Penelitian

Lokasi yang dipilih untuk penelitian ini yaitu Proyek Pembangunan Jalan Tol Pekanbaru – Padang pada ST 47+100, Lokasinya yang terletak di Kabupaten Kampar, Provinsi Riau merupakan salah satu daerah di pulau sumatera. Dimana berdasarkan hasil penyelidikan tanah dilapangan yang berupa hasil uji alat sondir dan boring, pada lokasi tersebut termasuk jenis tanah dan diperlukan perbaikan tanah terlebih dahulu sebelum dilakukan pembangunan jalan tol. Lokasi pembangunan Proyek Pembangunan Jalan Tol Pekanbaru – Padang.



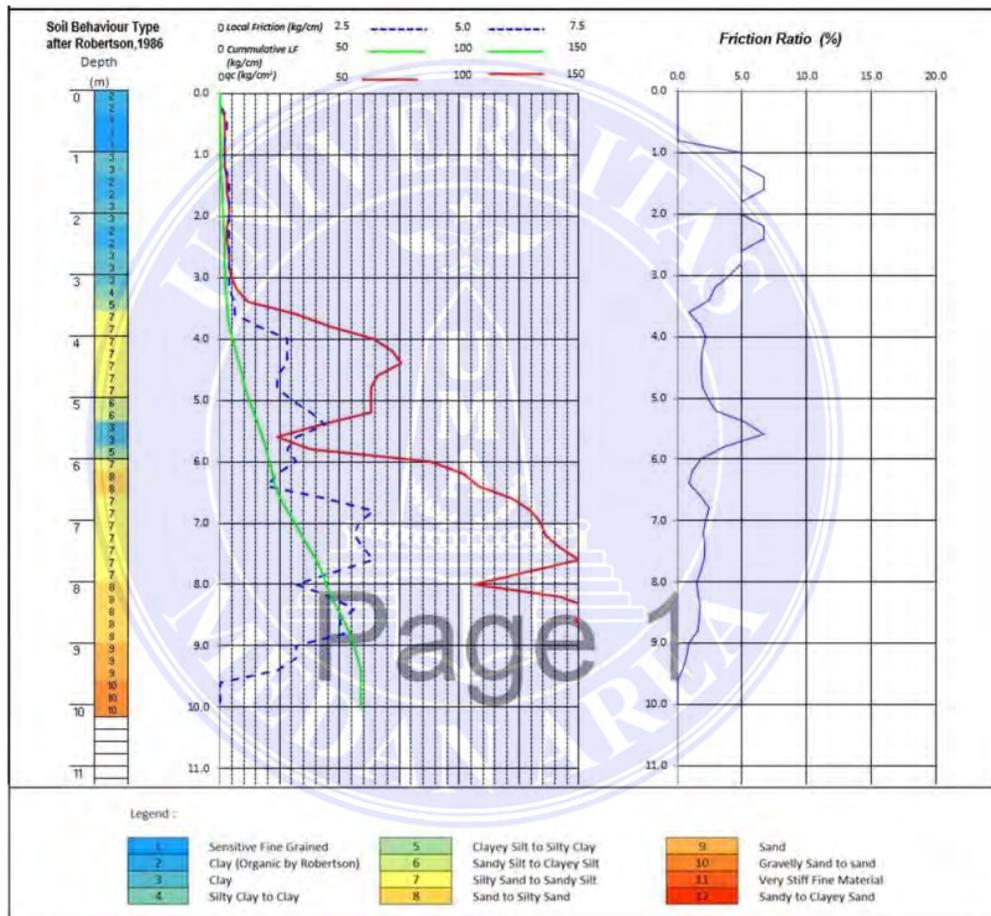
Gambar 19. Lokasi Pekerjaan (Dokumen Lapangan, 2022)



Gambar 20. Topografi Lokasi Proyek Jalan Tol (Dokumen Lapangan, 2022)

3.2. Data Sondir

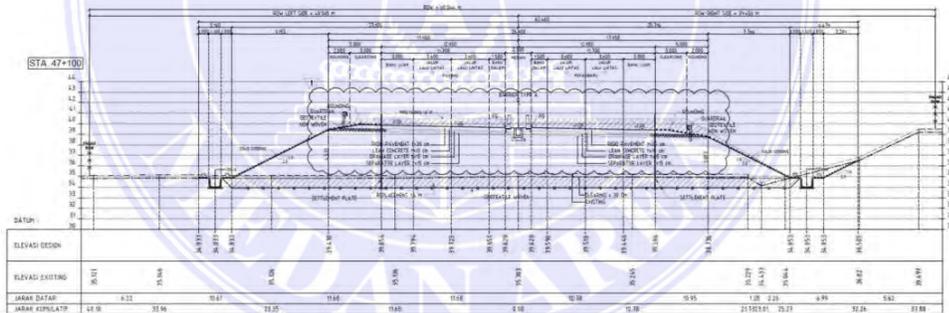
Dari hasil diatas dapat disimpulkan secara keseluruhan lapisan tanah dari hasil penyelidikan tanah SO STA 47+100 merupakan lapisan tanah lempung, dengan sedikit tanah lanau yang lunak sampai dengan kedalaman yang cukup dalam, Seperti data sondir yang terdapat dibawah ini.



Gambar 21. Data Sondir STA 47+100 (Data Proyek, 2022)

3.3. Detail Rencana *Replacement* dan *Preloading*

Pada perencanaan *Replacement* dan *Preloading* ini terdiri dari beberapa lapisan yaitu tanah eksisting, *Replacment*, Timbunan *Mainroad*, dan Timbunan *Preloading*. Untuk tanah eksisting sendiri yaitu terdiri dari 3 lapisan tanah, 3 lapisan tanah tersebut meliputi dari Lapisan tanah pertama dari titik 0 Elevasi permukaan tanah 0 – 3,2m terdapat tanah *Clay*, lapisan kedua 3,2 – 6m terdapat tanah *Silty Clay*, dan lapisan ketiga 6 – 10m terdapat tanah *Sand* yang bisa dilihat dari hasil data sondir. Untuk tanah *Replacement* yang material tanahn yang digunakan adalah *Silty Sand* dengan kedalaman 1,4m dari titik 0 Elevasi permukaan tanah, sedangkan untuk material tanah yang digunakan pada timbunan *Mainroad* setinggi 4,58m dan *Preloading* 1,4m menggunakan material tanah CBM.



Gambar 22. Detail Gambar Rencana *Preloading* 47+100 (Data Proyek, 2022)

3.4. Tahapan Konstruksi

Tahapan konstruksi permodelan dianalisis sesuai dengan yang akan dilakukan dilapangan. Berikut tahapan konstruksi permodelan.

1. *Initial Phase*, dikalkulasi dengan *gravity loading*. (*Phase 1*)
2. Pekerjaan galian tanah dasar, (*Phase 2*)

3. Pemasangan *Geotextile*, *Replacement*, dan timbunan *Common Borrow* material sampai dengan elevasi top *Preloading*, (*Phase 3*)
4. Pelepasan Timbunan *Preloading*, (*Phase 4*)
5. Pembebanan masa operasional, (*Phase 5*)

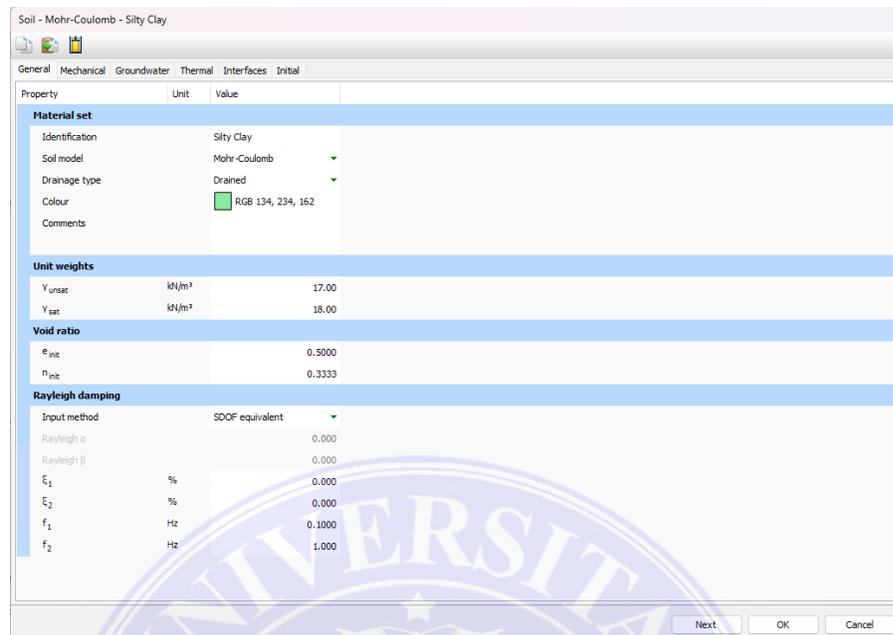
3.5. Parameter Tanah di Lokasi Pekerjaan

Dari data sondir pada STA 47+100, tanah dapat dikelompokkan berdasarkan jenis tanah menjadi tiga lapisan. Tanah yang memiliki data pengujian konsolidasi akan menggunakan model *soft soil* sedangkan tanah yang tidak memiliki data pengujian konsolidasi akan menggunakan model *Mohr-Coulomb* dengan korelasi Nilai N-SPT. Lapisan – lapisan tanah eksisting dibagi menjadi dua bagian yaitu memiliki nilai perilaku *Undrained* pada beberapa lapisan dan *drained* pada lainnya. Terdapat dua jenis tanah *Replacement* yang digunakan, yaitu tanah *silty sand* material dengan kadar pasir lebih dari 60% dan tanah *Granullar* (campuran pasir kasar dan batu). Kemudian, tanah asli yang dimodelkan berdasarkan data hasil penyelidikan SO-47+100.

Tabel 18. Parameter Material Tanah Model STA 47+100 (Data Proyek, 2022)

No.	Jenis tanah	Elevasi (m)	Ketebalan (m)	Sifat	Model Tanah
1	<i>Clay</i>	0 – 3,2	3,2	<i>Drained</i>	<i>Mohr-Coulomb</i>
2	<i>Silty Clay</i>	3,2 – 6	2,8	<i>Drained</i>	<i>Mohr-Coulomb</i>
3	<i>Sand</i>	6 – 10	4	<i>Undrained</i>	<i>Mohr-Coulomb</i>

Data pada tabel 3.1 diatas dijabarkan kembali sebagai berikut, data-data yang dibutuhkan untuk input program *Arden*. Berbasis *Arden* dengan data-data γ , γ_{sat} , γ_{sub} , modulus elastisitas (E), Poisson Ratio (μ), kohesi (c , ref), sudut geser dalam ϕ , koefisien permeabilitas tanah arah vertikal k_v , maupun horizontal



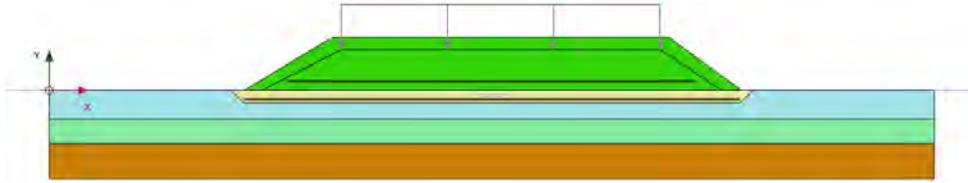
Gambar 23. Input material Plaxis (Plaxis, 2023)

3.6. Konsep Desain dan Asumsi Permodelan

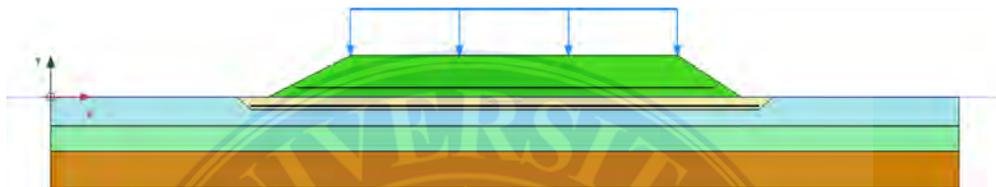
Pemodelan timbunan lapisan tanah pada daerah STA 47+100 menampilkan salah satu geometri permodelan pada saat preloading dan operasional. Berikut asumsi yang digunakan dalam salah satu contoh permodelan pada STA 47+100 seperti rencana *Replacement* dan *Preloading* pada gambar 23.

1. Desain kekuatan dimodelkan sebagai plane strain
2. Permodelan dilakukan dengan kondisi terekstrim
3. Muka air tanah diasumsikan sejajar muka tanah elevasi sekarang
4. Perkerasan jalan utama, saluran, serta perkerasan bahu jalan tidak dimodelkan
5. Material *Geotextile* dimodelkan sebagai *geogrid* dengan kondisi *elastoplastic* dengan input *properties*
6. Material tanah dimodelkan sebagai *cluster* dengan input material

7. Pembebanan dimodelkan sebagai *line load* dengan input besaran beban



Gambar 24. Geometri Permodelan pada saat *Preloading* (Plaxis, 2023)



Gambar 25. Geometri permodelan pada saat operasional (Plaxis, 2023)

3.7. Metode Pengumpulan Data

Untuk menunjang penulisan Tugas Akhir ini, penulis memperoleh data dari pihak kontraktor yaitu dari PT. Wijaya Karya (Persero) Tbk, Adapun data yang diperoleh adalah :

1. *Layout* pekerjaan,
2. Data sondir SO-47+100
3. Data parameter material
4. Data laboratorium
5. *Instrument* geoteknik (*settlement plate*)

3.8. Tahapan Penelitian

Dalam penulisan Tugas Akhir ini, penulis melakukan beberapa tahap dan pelaksanaan sehingga tercapai maksud dan tujuan dari penelitian seperti yang di

uraikan pada Bab I. Untuk memudahkan tercapainya tujuan tersebut, maka penulis melakukan tahapan-tahapan sebagai berikut :

1. Tahap Pertama

Mengumpulkan berbagai jenis literature dalam bentuk buku maupun tulisan ilmiah yang berhubungan dengan Tugas Akhir ini.

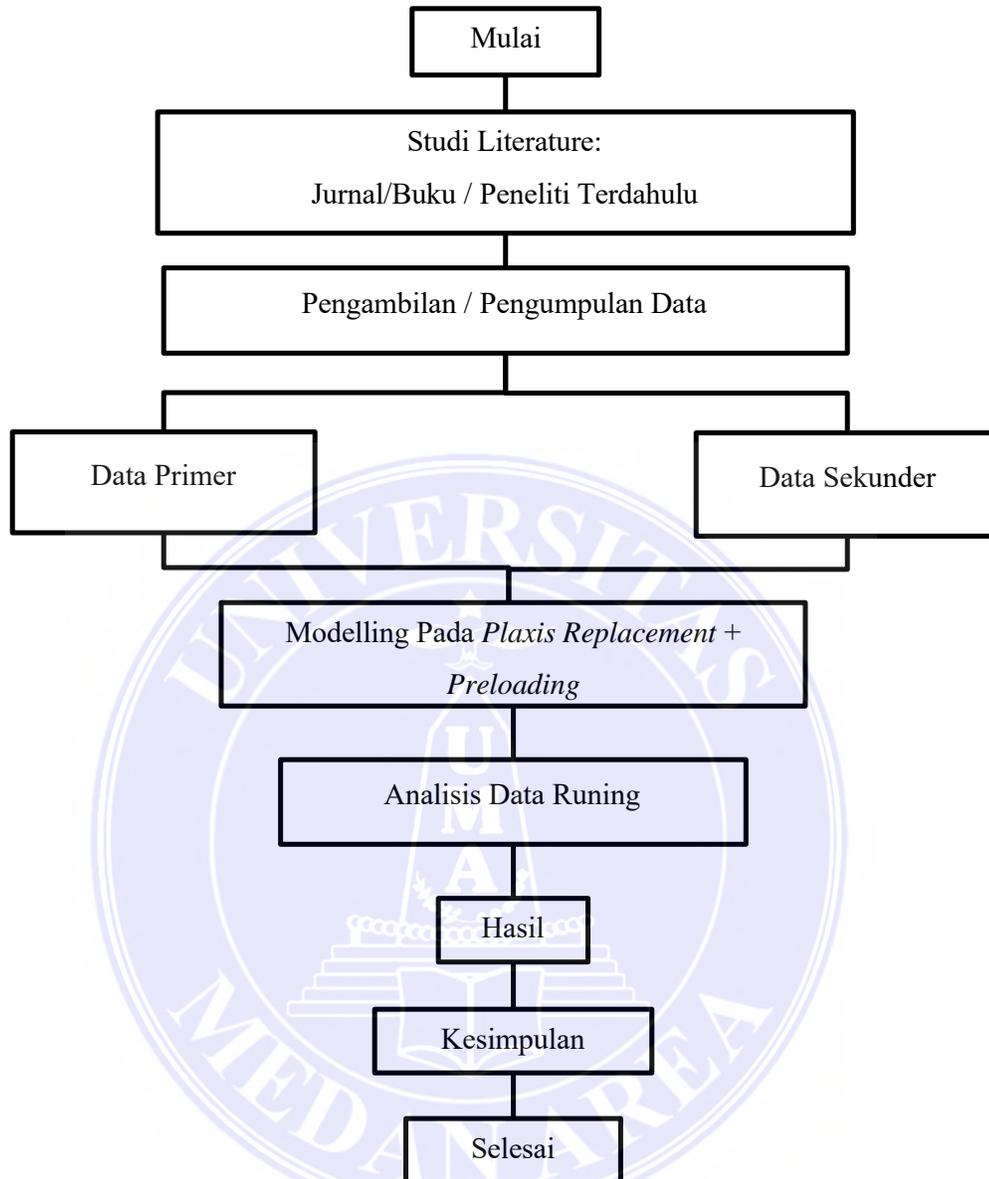
2. Tahap Kedua

Melakukan pengumpulan data yang akan digunakan dalam analisis. Data yang diperlukan untuk penulisan Tugas Akhir ini didapatkan dari PT. Wijaya Karya (Persero) Tbk selaku kontraktor. Adapun data – data yang dibutuhkan adalah data sondir, parameter tanah timbunan, dan instrument geoteknik.

3. Tahap Ketiga

Pada tahap ini dilakukan kegiatan menganalisa penurunan dan waktu konsolidasi menggunakan *Plaxis* 2D dengan data yang telah diperoleh.

Bagan alir penelitian dapat dilihat pada Gambar 26.



Gambar 26. Kerangka Berfikir (Peneliti, 2023)

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan analisis dan pembahasan maka dapat disimpulkan bahwa.

1. Durasi penurunan konsolidasi yang terjadi dengan menggunakan analisis konsolidasi dengan kombinasi metode *Replacement* dan *Preloading* pada pemodelan Plaxis 2D menggunakan tipe *mesh very fine*, waktu lapangan yaitu selama 39 hari dan waktu menggunakan Plaxis 2D selama 149 hari dengan selisih perbedaan hari yang itu 110 hari, Terjadinya perbedaan diakibatkan adanya data yang tidak lengkap dilapangan sehingga menggunakan korelasi nilai N-SPT.
2. Besar penurunan konsolidasi yang terjadi dengan menggunakan analisis konsolidasi dengan kombinasi metode *Replacement* dan *Preloading* pada pemodelan Plaxis 2D menggunakan tipe *mesh very fine*, penurunan lapangan yaitu 0,416 m dan penurunan menggunakan Plaxis 2D sebesar 0,056 m, Terjadinya perbedaan sebesar -0,36 m atau -86,53% diakibatkan adanya data yang tidak lengkap dilapangan sehingga menggunakan korelasi nilai N-SPT.

5.2. Saran

Berdasarkan hasil analisis, penulis menyarankan sebagai berikut:

1. Pengambilan data tanah sebaiknya dilakukan sedekat mungkin dengan instrument *settlement plate* agar data yang dianalisis mewakili kondisi tanah yang sebenarnya dilapangan.

2. Pada saat *running* Plaxis 2D dibutuhkan data – data pengujian yang lengkap sehingga disarankan agar pengujian laboratorium dilakukan selengkap mungkin disetiap lapisan tanah sehingga didapatkan data lapangan yang lebih akurat.
3. Tipe kehalusan *mesh* yang digunakan sebaiknya tipe *very fine*, hal ini dikarenakan semakin *halus* mesh semakin akurat hasil yang didapat walaupun dibutuhkan waktu yang lama saat proses *running*.



DAFTAR PUSTAKA

- Adhi, Bagas Wahyu. 2022. "Analisa Stabilitas Timbunan Di Daerah Rawa Menggunakan Penanganan Limestone Dengan Software Plaxis." *MoDuluS: Media Komunikasi Dunia Ilmu Sipil* 4(1):40. doi: 10.32585/modulus.v4i1.2471.
- Adinegoro, Chandra, Moch. Sholeh, and Dandung Novianto. 2021. "Metode Pelaksanaan Perbaikan Tanah Menggunakan Metode Preloading Dan Prefabricated Vertical Drain (Pvd) Pada Terminal Internasional Kijing Pontianak Kalimantan Barat." *Jurnal JOS-MRK* 2(2):158-62. doi: 10.55404/jos-mrk.2021.02.02.158-162.
- Ameratunga, Jay. n.d. *Correlations of Soil and Rock Properties in Geotechnical Engineering*.
- Ana Crosita Ningsiha, M. Farid Ma'rufb, Luthfi Amri Wicaksonob, 2. 2018. "Perencanaan Perbaikan Tanah Lunak Menggunakan Metode Preloading Dan Prefabricated Vertical Drain (PVD) 1." *Jurnal Rekayasa Sipil Dan Lingkungan* 2:19-30.
- Arthaning Tyas, Mega Dwi, Isnaniati Isnaniati, and Dio Alif Utama. 2022. "Pengaruh Perbaikan Tanah Lunak Menggunakan Deep Mixing Terhadap Besarnya Penurunan." *Konstruksia* 14(1):140. doi: 10.24853/jk.14.1.140-151.
- Bella, Rosmiyati A. 2016. "PERMODELAN TIMBUNAN PADA TANAH LUNAK DENGAN MENGGUNAKAN PROGRAM PLAXIS Rosmiyati A. Bella *)." 1-9.
- Braja, M. Das. 2008. *Advance Soil Mechanics*.
- Das, B. M. 1995. "Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknik." *Penerbit Erlangga* 1-300.
- Das, Braja M. 1993. "Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis." *Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis* 239.
- Dewi, Kharisma, Eka Priadi, and Ahmad Faisal. 2020. "Analisis Konsolidasi Tanah Lunak Akibat Pekerjaan PVD-PHD Di Area Runway Bandara Supadio." *JeLAST : Jurnal PWK, Laut, Sipil, Tambang* 7(3):1-10.
- Element, Triangle. 2022. "Analisis Konsolidasi Dengan Metode Preloading Dikombinasikan Dengan PVD Berdasarkan Perhitungan Analitis Dan Plaxis 2d Baby Purba , Roesyanto , Gina Cyntia Raphita , Rudianto Surbakti Universitas Sumatera Utara , Indonesia Baby Purba , Roesyanto , Gina Cy." 3(12).
- Hamdhan, Indra Noer, and Neta Lathifa Rahmanisa. 2023. "Pemodelan Perbaikan Tanah Lempung Lunak Menggunakan Vacuum Preloading." *JMTS: Jurnal*

Mitra Teknik Sipil 6(3):775–86. doi: 10.24912/jmts.v6i3.21128.

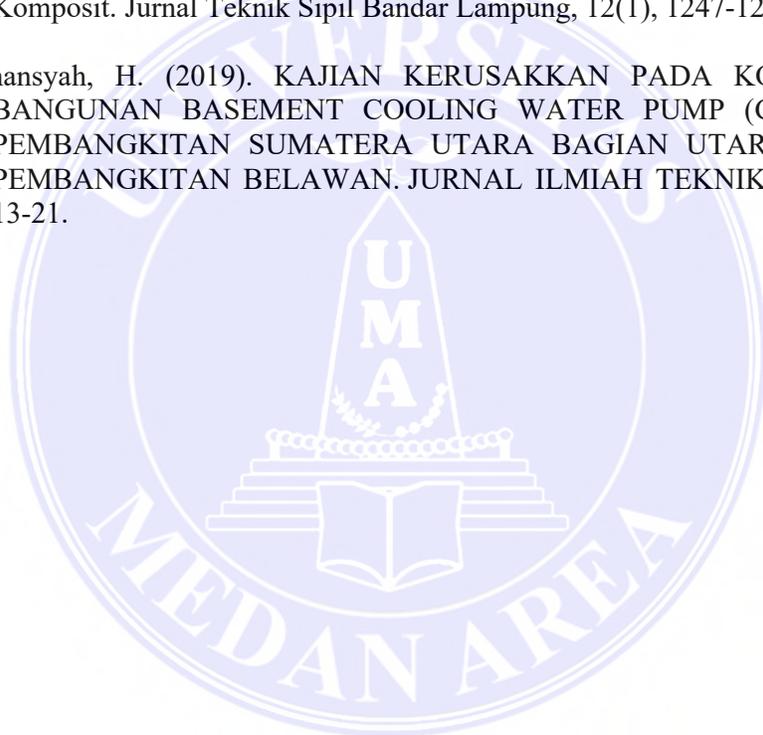
- Hari Wibowo, Catur, Dedy Agusta Sonia Al Azkya, Rinda Karlinasari, Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Islam Sultan Agung, Jl Raya Kaligawe Km, and Jawa Tengah. 2019. “ANALISIS PERBAIKAN TANAH LUNAK DENGAN METODE VACUUM CONSOLIDATION PADA PROGRAM PLAXIS DAN METODE ASAOKA (Studi Kasus: Jalan Tol Balikpapan-Samarinda STA 20+775).” 255–63.
- Hayati, Titi Titi, Roesyanto Roesyanto, and Rudi Iskandar. 2021. “Analysis of the Smear Zone Effect Due to PVD Installation on the Embankment Consolidation Process with 2D and 3D Plaxis.” *Media Komunikasi Teknik Sipil* 26(2):140–49. doi: 10.14710/mkts.v26i2.26516.
- Hidayati, Anissa, and Made Wiryana Ardana. 2008. “Kombinasi Preloading Dan Penggunaan Pre-Fabricated Vertical Drains Untuk Mempercepat Konsolidasi Tanah Lempung Lunak (Studi Kasus Tanah Lempung Suwung Kangin).” *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil* 12(2):187–95.
- Kasus, Studi, P. T. Wilmar, and Willy Herwanto. n.d. “Studi Analisis Metode Perbaikan Tanah Lunak Dengan Metoda Prefabricated Vertical Drain Pada Berbagai Konstitutif Model.”
- Ohoimas, M. Y., and Indra Noer Hamdhan. 2014. “Analisis Konsolidasi Dengan Menggunakan Metode Preloading Dan Vertical Drain Pada Areal Reklamasi Proyek Pengembangan Pelabuhan Belawan Tahap II.” *Reka Racana Jurnal Online Institut Teknologi Nasional* (x):1–11.
- Panguriseng, Darwis, and Universitas Muhammadiyah Makassar. 2018. *DASAR-DASAR*.
- Putri, Christy Anandha. n.d. “ANALISA PERILAKU PENURUNAN TANAH 1D PADA MATERIAL CAMPURAN YANG DIPADATKAN (The Analysis of 1D Settlement from Compacted Soil Mixtures).”
- Putri, Reynata, Erdina Tyagita, and Julita Hayati. 2022. “Analisis Perbaikan Tanah Lunak Metode Preloading Dan Preloading Kombinasi Prefabricated Vertical Drain (PVD) Dengan Variasi Panjang PVD (Studi Kasus : Pembangunan Jalan Tol.” 2(February):19–25.
- El Sharief, Ahmed M., Yahia E. A. Mohamedzein, and Yassir A. Hussien. 2021. *Geotechnical Properties of Qoz Soils*.
- Suardi, Enita, Liliwanti Liliwanti, Merley Misriani, and Ibnu Iqbal. 2021. “Perbaikan Tanah Lempung Lunak Dengan Metode Preloading Pada Jalan Tol Palembang-Indralaya Sta 1+670.” *Fondasi: Jurnal Teknik Sipil* 10(2):191. doi: 10.36055/fondasi.v10i2.12545.
- Susiazi, Heny, Masayu Widiastuti, Rusfina Widyati, and Rusfina Widayati. 2020. “Analisis Penurunan Konsolidasi Metode Preloading Dan Prefabricated Vertical Drain (Pvd).” *JURNAL TEKNOLOGI SIPIL Jurnal Ilmu*

Pengetahuan Dan Teknologi Sipil 4:1–8.

- Viona, Diannery Vivi, Pratikso, and Soedarsono. 2022. “Analisis Konsolidasi Tanah Lunak Menggunakan Perkuatan Geotextile Akibat Preloading Dikombinasikan Dengan PVD – PHD (Studi Kasus : Proyek Pembangunan Jalan Tol Semarang – Demak Paket II STA 21+850).” *Prosiding Seminar Nasional 7*(Kimu 7):273–79.
- Wulandari, Tika Ermita. 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. doi: 10.31289/jcebt.v5i2.5844.
- 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.

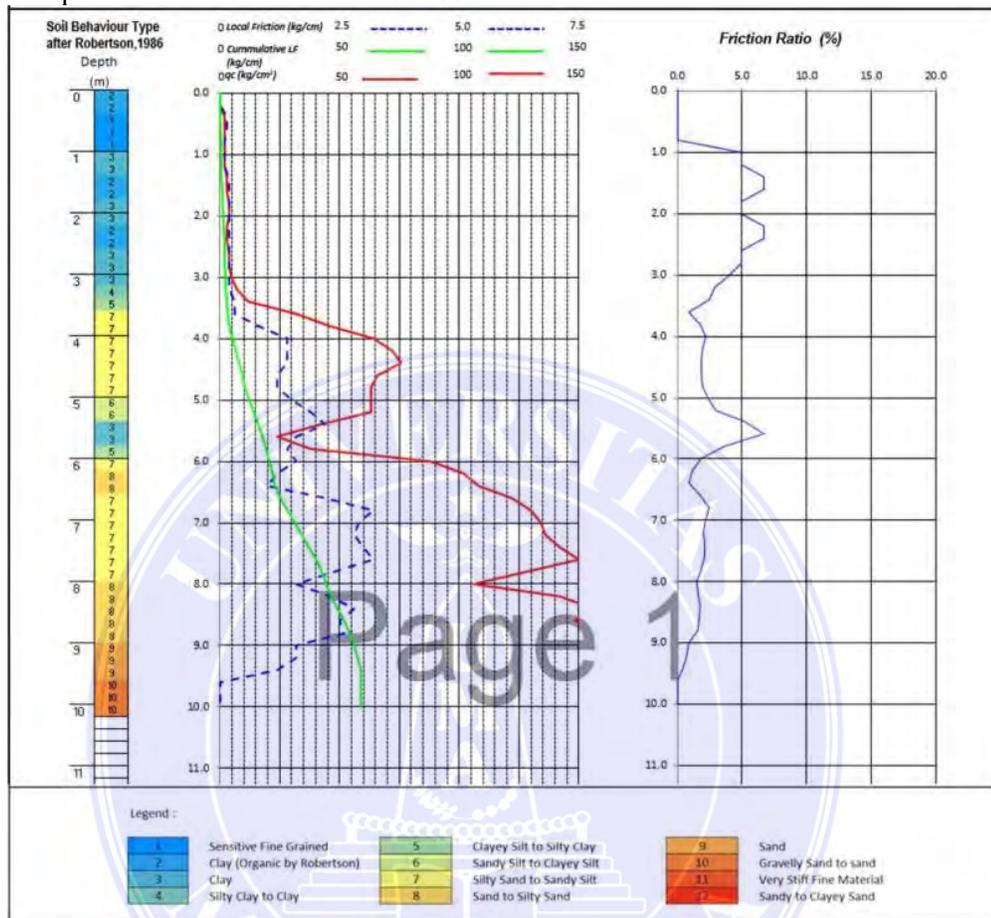
Hasibuan, S. A. R. S., Kurniati, D., & Sari, M. P. (2021). Desain dan Analisis Flat Slab dengan Software Matlab. *Teknika*, 16(2), 88-96.

- 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 Perkat 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.

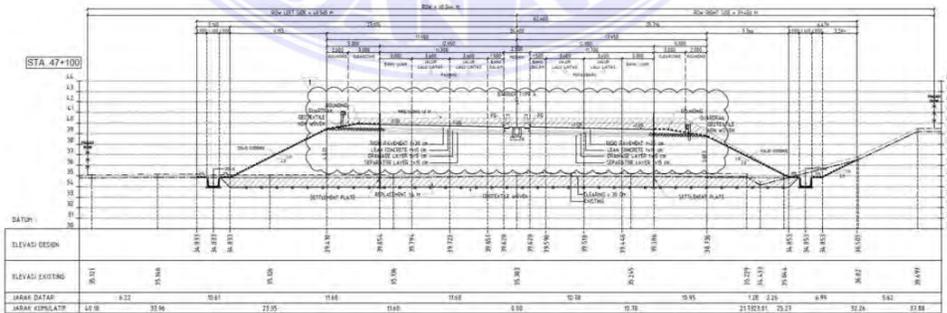


LAMPIRAN

Lampiran 1. Data Sondir STA 47+100



Lampiran 2. Rencana Replacement dan Preloading STA 47+100



Lampiran 3. Data *Settlement Plate* STA 47+100
STA 47+100

CONSOLIDATION SETTLEMENT and RATE OF CONSOLIDATION																
Leading This calculation is to predict consolidation settlement caused by uniformly distributed load of fill of thickness																
STA 47+100																
Fill thickness submerged	=	4.58	m.	Fill unit weight	=	17.00	tm ³	B value	=	1.00	Fill unit v	=	1.6	Weight of fill soil Oc	=	3.2
Weight of fill soil	=	0.00	m.	Width	=	50.00	m				Weight of fill soil Oc	=	5.12			
		7.78	tm ²	Surcharge	=	2.5	tm ²									
Represented Depth Interval of (m)	Soil Thickness (m)	qc (kg/cm ²)	Soil ID	unit weight of soil (tm ⁻³)	Eff. unit weight of soil (tm ⁻³)	Effective Overbrdn Press at base Po (tm ⁻²)	Effective Overbrdn Press at mid layer P _o (tm ⁻²)	Preloading Pressure delta p (tm ⁻²)	Total P1 = Po + delta p (tm ⁻²)	PC	OCR (PCP1)	Cc	Ca/Cr	eo	AS (m)	
0.00 - 0.20	0.20	0	Organic Material	1.2	0.20	0.04	0.02	15.34	15.38	15.38	1.00	4.0	0.800	3.78	Replacement	
0.20 - 0.40	0.20	2	Sensitive Fine Grained	1.2	0.20	0.08	0.06	15.28	15.36	15.36	1.00	0.5	0.100	0.74		
0.40 - 0.60	0.20	2	Sensitive Fine Grained	1.2	0.20	0.12	0.10	15.22	15.34	15.34	1.00	0.5	0.100	0.74		
0.60 - 0.80	0.20	2	Sensitive Fine Grained	1.2	0.20	0.16	0.14	15.16	15.32	15.32	1.00	0.5	0.100	0.74		
0.80 - 1.00	0.20	2	Clay	1.2	0.20	0.20	0.18	15.10	15.30	15.30	1.00	1.2	0.240	1.35		
1.00 - 1.20	0.20	2	Clay	1.2	0.20	0.24	0.22	15.04	15.28	15.28	1.00	1.2	0.240	1.35		
1.20 - 1.40	0.20	3	Organic Material	1.2	0.20	0.28	0.26	14.98	15.26	15.26	1.00	4.0	0.800	3.78		
1.40 - 1.60	0.20	3	Organic Material	1.2	0.20	0.32	0.30	14.92	15.24	15.24	1.00	4.0	0.800	3.78		
1.60 - 1.80	0.20	4	Clay	1.2	0.20	0.36	0.34	14.87	15.23	15.23	1.00	1.2	0.240	1.35		
1.80 - 2.00	0.20	4	Clay	1.2	0.20	0.40	0.38	14.81	15.21	15.21	1.00	1.2	0.240	1.35		
2.00 - 2.20	0.20	3	Organic Material	1.2	0.20	0.44	0.42	14.75	15.19	15.19	1.00	4.0	0.800	3.78		
2.20 - 2.40	0.20	3	Organic Material	1.2	0.20	0.48	0.46	14.70	15.18	15.18	1.00	4.0	0.800	3.78		
2.40 - 2.60	0.20	4	Clay	1.2	0.20	0.52	0.50	14.64	15.16	15.16	1.00	1.2	0.240	1.35		
2.60 - 2.80	0.20	4	Clay	1.2	0.20	0.56	0.54	14.58	15.14	15.14	1.00	1.2	0.240	1.35		
2.80 - 3.00	0.20	5	Clay	1.8	0.80	0.62	0.62	14.53	15.21	15.21	1.00	1.2	0.240	1.35		
3.00 - 3.20	0.20	7	Silty Clay to Clay	1.8	0.80	0.80	0.74	14.47	15.27	15.27	1.00	1.2	0.240	1.35		
3.20 - 3.40	0.20	12	Clayey Silt to Silty Clay	1.7	0.70	0.94	0.87	14.42	15.36	15.36	1.00	4.0	0.800	3.78		
3.40 - 3.60	0.20	32	Silty Sand to Sandy Silt	1.8	0.80	1.08	1.01	14.37	15.46	15.46	1.00	4.0	0.800	3.78		
3.60 - 3.80	0.20	46	Silty Sand to Sandy Silt	1.8	0.80	1.24	1.16	14.31	15.55	15.55	1.00					
3.80 - 4.00	0.20	64	Silty Sand to Sandy Silt	1.8	0.80	1.40	1.32	14.26	15.66	15.66	1.00					
4.00 - 4.20	0.20	72	Silty Sand to Sandy Silt	1.8	0.80	1.56	1.48	14.21	15.77	15.77	1.00					
4.20 - 4.40	0.20	76	Silty Sand to Sandy Silt	1.8	0.80	1.72	1.64	14.16	15.88	15.88	1.00					
4.40 - 4.60	0.20	86	Silty Sand to Sandy Silt	1.8	0.80	1.88	1.80	14.10	15.98	15.98	1.00					
4.60 - 4.80	0.20	89	Silty Sand to Sandy Silt	1.8	0.80	2.04	1.96	14.05	16.09	16.09	1.00					
4.80 - 5.00	0.20	63	Sandy Silt to Clayey Silt	1.8	0.80	2.20	2.12	14.00	16.20	16.20	1.00					
5.00 - 5.20	0.20	63	Sandy Silt to Clayey Silt	1.8	0.80	2.36	2.28	13.95	16.31	16.31	1.00					
5.20 - 5.40	0.20	42	Clay	1.8	0.80	2.52	2.44	13.90	16.42	16.42	1.00					
5.40 - 5.60	0.20	24	Clay	1.7	0.70	2.68	2.59	13.85	16.51	16.51	1.00					
5.60 - 5.80	0.20	38	Clayey Silt to Silty Clay	1.7	0.70	2.84	2.73	13.80	16.60	16.60	1.00					
5.80 - 6.00	0.20	88	Silty Sand to Sandy Silt	1.8	0.80	2.98	2.88	13.75	16.71	16.71	1.00					
6.00 - 6.20	0.20	102	Sand to Silty Sand	1.8	0.80	3.12	3.04	13.70	16.82	16.82	1.00					
6.20 - 6.40	0.20	108	Sand to Silty Sand	1.8	0.80	3.28	3.20	13.65	16.93	16.93	1.00					
6.40 - 6.60	0.20	122	Silty Sand to Sandy Silt	1.8	0.80	3.44	3.36	13.61	17.05	17.05	1.00					
6.60 - 6.80	0.20	130	Silty Sand to Sandy Silt	1.8	0.80	3.60	3.52	13.56	17.16	17.16	1.00					
6.80 - 7.00	0.20	134	Silty Sand to Sandy Silt	1.8	0.80	3.76	3.68	13.51	17.27	17.27	1.00					
7.00 - 7.20	0.20	138	Silty Sand to Sandy Silt	1.8	0.80	3.92	3.84	13.46	17.38	17.38	1.00					
7.20 - 7.40	0.20	142	Silty Sand to Sandy Silt	1.8	0.80	4.08	4.00	13.42	17.50	17.50	1.00					
7.40 - 7.60	0.20	158	Silty Sand to Sandy Silt	1.8	0.80	4.24	4.16	13.37	17.61	17.61	1.00					
7.60 - 7.80	0.20	128	Silty Sand to Sandy Silt	1.8	0.80	4.40	4.32	13.32	17.72	17.72	1.00					
7.80 - 8.00	0.20	106	Sand to Silty Sand	1.8	0.80	4.56	4.48	13.28	17.84	17.84	1.00					
8.00 - 8.20	0.20	142	Sand to Silty Sand	1.8	0.80	4.72	4.64	13.23	17.95	17.95	1.00					
8.20 - 8.40	0.20	156	Sand to Silty Sand	1.8	0.80	4.88	4.80	13.19	18.07	18.07	1.00					
8.40 - 8.60	0.20	148	Sand to Silty Sand	1.8	0.80	5.04	4.96	13.14	18.18	18.18	1.00					
8.60 - 8.80	0.20	162	Sand to Silty Sand	1.8	0.80	5.20	5.12	13.10	18.30	18.30	1.00					
8.80 - 9.00	0.20	184	Sand	1.8	0.80	5.36	5.28	13.05	18.41	18.41	1.00					
9.00 - 9.20	0.20	234	Sand	1.8	0.80	5.52	5.44	13.01	18.53	18.53	1.00					
9.20 - 9.40	0.20	238	Sand	1.8	0.80	5.68	5.60	12.96	18.64	18.64	1.00					
9.40 - 9.60	0.20	250	Gravelly Sand to sand	1.8	0.80	5.84	5.76	12.92	18.76	18.76	1.00					
9.60 - 9.80	0.20	250	Gravelly Sand to sand	1.8	0.80	6.00	5.92	12.88	18.88	18.88	1.00					
9.80 - 10.00	0.20	250	Gravelly Sand to sand	1.8	0.80	6.16	6.08	12.83	18.99	18.99	1.00					
Total Consolidation Settlement due to soil fill 0.416																

Vertical degree of consolidation:

l (months)	t (days)	t (detik)	Uv (%)	Amount of Settlement (m)	t (years)
-	0.00	0	0	0.000	0.00
0.0	0.03	2,906	5.00	0.021	0.00
0.0	0.13	11,625	10.00	0.042	0.00
0.0	0.30	26,156	15.00	0.062	0.00
0.0	0.54	46,499	20.00	0.083	0.00
0.0	0.84	72,655	25.00	0.104	0.00
0.0	1.21	104,624	30.00	0.125	0.00
0.1	1.65	142,404	35.00	0.145	0.00
0.1	2.15	185,998	40.00	0.166	0.01
0.1	2.72	235,403	45.00	0.187	0.01
0.1	3.36	290,621	50.00	0.208	0.01
0.1	4.07	351,652	55.00	0.229	0.01
0.2	4.90	423,727	60.00	0.249	0.01
0.2	5.83	503,811	65.00	0.270	0.02
0.2	6.90	596,261	70.00	0.291	0.02
0.3	8.17	705,607	75.00	0.312	0.02
0.3	9.72	839,435	80.00	0.332	0.03
0.4	11.71	1,011,970	85.00	0.353	0.03
0.5	14.53	1,255,144	90.00	0.374	0.04
0.6	19.34	1,670,852	95.00	0.395	0.05
1.0	30.51	2,636,098	99.00	0.411	0.08
1.3	38.87	3,358,169	99.70	0.414	0.11

Lampiran 4. Data Parameter Tanah STA 47+100

Layer	Kedalaman (m)		Jenis Tanah	avr qc (kg/cm ²)	γ (kN/m ³)	γ _{sat} (kN/m ³)	S _u (kPa)	φ' (°)	E _{oed} (kN/m ²)	E' (kN/m ²)	v'	c' (Kpa)
	Awal	Akhir										
1	0.00	3.20	VSoft	3	16	17	16.33	-	5513	4083	0.3	-
2	3.20	6.00	VStiff	47	17	18	200.00	-	67500	50000	0.3	-
3	6.00	10.00	Hard	250	18	19	1289.47	-	435197	322368.4	0.3	-
	Timbunan		CBM		17	18	40	-	13500	10000	0.3	-
	Replacement		Silty Sand		16	17	-	32	40380	30000	0.3	10

