

**ANALISIS KONSOLIDASI DENGAN METODE *PRELOADING*
DAN *PREFABRICATED VERTICAL DRAIN* MENGGUNAKAN
SOFTWARE PLAXIS PADA PROYEK REKLAMASI
BELAWAN *PHASE I***

SKRIPSI

OLEH :

**PRAMUDIA BAGASKARA
198110065**



**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 5/6/24

Access From (repository.uma.ac.id)5/6/24

**ANALISIS KONSOLIDASI DENGAN METODE *PRELOADING*
DAN *PREFABRICATED VERTICAL DRAIN* MENGGUNAKAN
SOFTWARE PLAXIS PADA PROYEK REKLAMASI
BELAWAN *PHASE I***

SKRIPSI

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



OLEH :

**PRAMUDIA BAGASKARA
198110065**

**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 Metode *Preloading* Dan
Prefabricated Vertical Drain Menggunakan *Software*
Plaxis Pada Proyek Reklamasi Belawan *Phase I*
Nama : Pramudia Bagaskara
NPM : 198110065
Fakultas : Teknik

Disetujui Oleh:
Komisi Pembimbing



Samsul A Rahman Sidik Hasibuan, S.T., M.T
Pembimbing



Dr. Rahmad Syah S.Kom., M.Kom
Dekan



Lika Brinda Wulandari, S.T., M.T
Ka. Program Studi

Tanggal Lulus : 10 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 : Pramudia Bagaskara
NPM : 198110065
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 Metode *Preloading Dan Prefabricated Vertical Drain* Menggunakan *Software Plaxis* Pada Proyek Reklamasi Belawan *Phase I*. 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 : 10 Agustus 2023
Yang menyatakan

(Pramudia Bagakara)

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Kota Medan Pada tanggal 1 Mei 2001, dari Ayah yang bernama Muliono Effendi dan Ibu yang bernama Nur Ainun Penulis merupakan putra ke 1 dari 2 bersudara. Tahun 2019 Penulis lulus dari SMK Negeri 5 Medan dan pada tahun yang sama juga terdaftar sebagai Mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Medan Area. Selama mengikuti perkuliahan pada tahun 2022 Penulis melaksanakan Praktek Kerja Lapangan (PKL) di Jl. Tj. Selamat, Kwala Besilam, Kec. Padang Tualang, Kabupaten Langkat, Provinsi Sumatera Utara. Tepatnya pada Proyek Jalan Tol Trans Sumatera Ruas Binjai – Langsa.



KATA PENGHANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan yang maha kuasa atas segala karunia-Nya sehingga Skripsi ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam skripsi ini ialah Kebencanaan dengan judul “Analisis Konsolidasi Dengan Metode *Preloading Dan Prefabricated Vertical Drain* Menggunakan *Software Plaxis* Pada Proyek Reklamasi Belawan *Phase I*” Terima kasih penulis sampaikan kepada Bapak Samsul A Rahman Sidik Hasibuan, 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 Muhammad Sultan Mubaraq Saragih dan Ahmad Tulus Kurniawan 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, krtitik 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

(Pramudia Bagaskara)

ABSTRAK

Permasalahan geoteknik merupakan masalah yang penting, salah satu permasalahan geoteknik adalah penurunan dan daya dukung tanah yang merupakan pondasi dari dermaga. Setiap dermaga direncanakan sedemikian rupa sehingga memiliki beban tertentu dan elevasi tertentu yang terkadang tidak dapat dilayani oleh kondisi tanah eksisting karena karakteristik tanah yang lunak. Perbaikan tanah dengan cara pembebanan awal (*preloading*) dan *Prefabricated Vertical Drain* (PVD) merupakan salah satu metode yang populer yang digunakan untuk meningkatkan kekuatan geser tanah lunak. Analisis ini bertujuan untuk menganalisis dan membandingkan besar penurunan konsolidasi secara analitis menggunakan metode elemen hingga dengan pemodelan pada Plaxis 2D menggunakan tipe *mesh medium* dengan data *Settlement Plate* (S29) di lapangan, menganalisis dan membandingkan besar penurunan konsolidasi dengan metode elemen hingga Plaxis 2D hanya dengan tipe *mesh medium* dengan data *Settlement Plate* (S29) di lapangan. Sehingga dapat disimpulkan besar penurunan konsolidasi menggunakan metode Plaxis 2D tipe *mesh medium* relatif mendekati kondisi yang terjadi di lapangan, dimana besar penurunan *settlement plate* S29 di lapangan adalah 7,19 m. Dari hasil analisis diperoleh besar penurunan konsolidasi menggunakan PVD pada pemodelan plaxis 2D dengan tipe *medium* = 8,399 m, sedangkan besar penurunan konsolidasi tanpa PVD pada pemodelan plaxis 2D dengan tipe *medium* = 5,480 m. Perbedaan ini dikarenakan data laboratorium tidak mewakili keseluruhan lapisan tanah di lapangan, dimana untuk boring sedalam 60 m hanya terdapat 3 sampel dengan tebal masing-masing sampel adalah 0,5 meter yaitu pada kedalaman 9,5 m - 10 m, 19,5 m - 20 m dan 45,5 m - 46 sedangkan observasi lapangan pengambilan data untuk penurunan dilakukan setiap hari.

Kata kunci: Konsolidasi, *Preloading*, *Prefabricated Vertical Drain*, Plaxis.

ABSTRACT

Geotechnical problems are important problems, one of the geotechnical problems is the decline and bearing capacity of the soil which is the foundation of the pier. Each pier is planned in such a way that it has a certain load and a certain elevation which sometimes cannot be served by the existing soil conditions due to the soft characteristics of the soil. Improving the soil by means of preloading and Prefabricated Vertical Drain (PVD) 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 the finite element method with modeling in Plaxis 2D using the medium mesh type with Settlement Plate (S29) data in the field, analyzing and comparing the magnitude of consolidation settlement using the Plaxis 2D finite element method only with the type medium mesh with Settlement Plate (S29) data in the field. So it can be concluded that the amount of consolidation settlement using the Plaxis 2D medium mesh type method is relatively close to the conditions that occur in the field, where the settlement plate S29 settlement amount in the field is 7.19 m. From the analysis results, it was found that the amount of consolidation settlement using PVD in 2D plaxis modeling with medium type = 8,399 m, while the consolidation settlement without PVD in 2D plaxis modeling with medium type = 5,480 m. This difference is because laboratory data does not represent the entire soil layer in the field, where for boring 60 m deep there are only 3 samples with a thickness of each sample being 0.5 meters, namely at a depth of 9.5 m - 10 m, 19.5 m - 20 m and 45.5 m - 46 while field observations collecting data for the decline are carried out every day.

Keywords: *Consolidation, Preloading, Prefabricated Vertical Drain, Plaxis.*

DAFTAR ISI

	Halaman
COVER	i
HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
HALAMAN PERNYATAAN	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	v
RIWAYAT HIDUP	vi
KATA PENGHANTAR	vii
ABSTRAK	viii
<i>ABSTRACT</i>	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
BAB I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Maksud Penelitian	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Rumusan Masalah	3
1.5 Batasan Masalah.....	4
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Penelitian Terdahulu	5
2.2 Umum.....	7
2.3 Tanah.....	8
2.4 Klasifikasi Tanah	9
2.4.1 Sistem Klasifikasi <i>Unites States Departement of Agriculture (USDA)</i>	10
2.4.2 Sistem Klasifikasi <i>American Association of State HighwayMand Transportation Officials (AASHTO)</i> . ..	11
2.4.3 Sistem Klasifikasi <i>Unified Soil Classification System (USCS)</i>	12
2.5 Tanah Lunak	17
2.5.1 Karakteristik Tanah Lunak.....	18
2.5.2 Tipe Tanah Lunak	19
2.6 Permasalahan Tanah Lunak	22
2.7 Metode Perbaikan Tanah Lunak	25
2.7.1 Metode <i>Replacement</i>	25
2.7.2 <i>Preloading</i> dengan Tanah Timbunan.....	26
2.8 Penurunan (<i>Settlement</i>)	27
2.8.1 Penurunan Kosolidasi (<i>Consolidation Settlement - Sc</i>)	29
2.8.2 Penurunan Segera (<i>Immadiate Settlement – Si</i>)	30
2.8.3 Penurunan Sekunder (<i>Secondary Settlement – Ss</i>).....	31
2.9 Dasar Konsolidasi	32

2.10	Plaxis.....	33
2.10.1	Sejarah Plaxis	33
2.10.2	Tahapan Pada Plaxis	35
2.10.3	Data Tanah yang Diminta Pada Plaxis.....	36
2.10.4	Perbedaan Plaxis 2D dan 3D.....	44
BAB III.	METODE PENELITIAN	45
3.1	Data Umum Proyek.....	45
3.2	Gambaran Kondisi Tanah	45
3.3	Data <i>Settlement Plate</i>	46
3.4	Spesifikasi Material PVD.....	47
3.5	Tahapan Penimbunan Pekerjaan	48
3.6	Parameter Tanah di Lokasi Pekerjaan.....	49
3.7	Pemodelan Plaxis	52
3.8	Metode Pengumpulan Data.....	53
3.9	Tahapan Penelitian.....	53
BAB IV.	HASIL DAN PEMBAHASAN	56
4.1	Umum.....	56
4.2	Perhitungan Dengan Plaxis 2D	56
4.3	Pembahasan.....	67
BAB V.	KESIMPULAN DAN SARAN	68
5.1	Kesimpulan	68
5.2	Saran.....	69
DAFTAR PUSTAKA	xv
LAMPIRAN	xvi

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1. Berat Jenis (Gs) Berbagai Jenis Tanah	19
Tabel 2. Klasifikasi tanah berdasarkan tekstur tanah.....	20
Tabel 3. Konsistensi dan kuat tekan bebas (qu).....	21
Tabel 4. Indikator Kuat Geser.....	21
Tabel 5. Klasifikasi Tanah	22
Tabel 6. Hubungan N-SPT	36
Tabel 7. Hubungan N-SPT	37
Tabel 8. Modulus Elastisitas Berdasarkan Jenis Tanah	38
Tabel 9. Hubungan Jenis Tanah dan Modulus Elastis	39
Tabel 10. Nilai koefisien permeabilitas tanah.....	40
Tabel 11. Hubungan Konsistensi dengan Nilai Kohesi	41
Tabel 12. Nilai Poisson's ratio Pada Tanah	42
Tabel 13. Hubungan N-SPT, Dr dan Sudut Geser (ϕ) pasir	43
Tabel 14. Sudut Geser Berbagai Jenis	43
Tabel 15. Persyaratan bentuk <i>PVD</i> pada proyek reklamasi Belawan	48
Tabel 16. Parameter Tanah di Lokasi Pekerjaan	50
Tabel 17. Data yang diinput pada program Plaxis	51
Tabel 18. <i>Mesh</i> yang dihasilkan pada tipe <i>medium</i> menggunakan <i>PVD</i>	61
Tabel 19. <i>Mesh</i> yang dihasilkan pada tipe <i>medium</i> tanpa <i>PVD</i>	61
Tabel 20. Penurunan hasil analisis Plaxis 2D	66
Tabel 21. Penurunan hasil analisis Plaxis 2D	66
Tabel 22. Perbandingan penurunan analisis Plaxis 2D dengan data <i>Settlement Plate</i>	68

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 Tanah USCS	16
Gambar 5. Grafik Plastisitas	16
Gambar 6. <i>Preloading</i> Secara Bertahap	26
Gambar 7. <i>Preloading</i> secara <i>Counter Weight</i>	27
Gambar 8. Tahap Penurunan Tanah	31
Gambar 9. Lokasi Pekerjaan Reklamasi	45
Gambar 10. Titik bore-hole 1(BH-01)	46
Gambar 11. Titik <i>Settlement plate</i> ²⁹ (S29)	47
Gambar 12. Input Material Plaxis	52
Gambar 13. Pemodelan lapisan tanah dengan Plaxis	53
Gambar 14. Kerangka Berfikir	55
Gambar 15. <i>Setting</i> Material sesuai dengan <i>Borelog</i>	57
Gambar 16. Pemodelan Lapisan Tanah dan <i>PVD</i> Pada Plaxis 2D	58
Gambar 17. Pemodelan Lapisan Tanah Tanpa <i>PVD</i> Pada Plaxis 2D	58
Gambar 18. Pemodelan <i>mesh</i> yang digunakan	59
Gambar 19. Hasil <i>Generate mesh</i> menggunakan <i>PVD</i> Diperoleh 2.733 <i>elements, 22.111 node</i>	60
Gambar 20. Hasil <i>Generate mesh</i> tanpa <i>PVD</i> Diperoleh 669 <i>elements,</i> <i>5487 node</i>	61
Gambar 21. Tekanan yang terjadi akibat air tanah Menggunakan <i>PVD</i>	62
Gambar 22. Tekanan yang terjadi akibat air tanah Menggunakan <i>PVD</i>	63
Gambar 23. Phase Perhitungan Menggunakan <i>PVD</i>	64
Gambar 24. <i>Phase</i> Perhitungan Tanpa <i>PVD</i>	64
Gambar 25. Titik Analisa Peninjauan (Titik A)	65
Gambar 26. Titik Analisa Peninjauan (Titik A)	66

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1. <i>Layout Boring</i> Reklamasi Belawan.....	72
Lampiran 2. Titik <i>Settlement plate 29 (S29)</i>	72
Lampiran 3. Borlog Existing	73



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Proyek Reklamasi Belawan terbagi menjadi dua *phase* pekerjaan yaitu *phase* I dan II dengan luas *phase* I $\pm 350 \text{ m} \times 362 \text{ m}$ dan *phase* II $\pm 400 \text{ m} \times 405 \text{ m}$, reklamasi ini diperuntukkan untuk dermaga. Hasil *borelog* yang dilakukan menggambarkan bahwa karakteristik tanah eksisting adalah tanah lunak dengan kadar air yang tinggi. Tanah ini umumnya memiliki sifat kompreibilitas yang tinggi, permeabilitas yang rendah dan daya dukung yang rendah. Kondisi tersebut merupakan kondisi yang tidak baik jika digunakan sebagai tanah dasar untuk sebuah konstruksi dermaga. Konstruksi 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 perbaiki tanah sehingga dapat memperkuat tanah sebagai pondasi sebuah dermaga. Proses perbaiki yang dilakukan yaitu dengan metode pembebanan awal (*preloading*) dikombinasikan dengan menggunakan *Prefabricated Vertical Drain* (PVD), kedua metode ini merupakan metode yang populer yang digunakan untuk meningkatkan kekuatan geser tanah lunak. Pembebanan awal dilakukan dengan tujuan mengkonsolidasi lapisan tanah lunak dengan besar pembebanan yang sama atau lebih daripada beban yang akan dipikul oleh tanah baik saat maupun setelah konstruksi. Sedangkan PVD dapat mempercepat proses konsolidasi dengan cara mengalirkan air secara vertikal keatas lalu menuju drainase horizontal.

Telah banyak analisis yang dilakukan untuk memprediksi proses konsolidasi yang terjadi pada reklamasi Belawan baik pada *phase* I maupun *phase* II, misalnya Hayati (2018) melakukan analisis pengaruh smear zone pada penurunan dan waktu konsolidasi dengan Plaxis 2D dan 3D pada proyek reklamasi

Belawan phase II. Hasil analisis disimpulkan bahwa penurunan yang terjadi pada pemodelan Plaxis 2D dengan memperhitungkan efek *smear zone* sebesar 2,288 m dan tanpa efek *smear zone* 1,922 m sedangkan penurunan pada pemodelan Plaxis 3D dengan efek *smear zone* 2,077 m dan tanpa efek *smear zone* 1,930 m. Perhitungan penurunan konsolidasi menggunakan pemodelan Plaxis 3D dengan efek *smear zone* menghasilkan penurunan yang lebih mendekati nilai di lapangan sesuai dengan data *settlement plate* yaitu sebesar 1,992 m. Waktu penurunan konsolidasi yang terjadi pada perhitungan Plaxis 2D dan 3D dengan memperhitungkan efek *smear zone* lebih lama dari pada tanpa memperhitungkan efek *smear zone*. Perhitungan penurunan dan waktu konsolidasi menggunakan pemodelan Plaxis 3D memberikan hasil yang lebih mendekati kondisi di lapangan dibandingkan pemodelan dengan Plaxis 2D. Ohosimas dan Hamdan (2015) melakukan analisis konsolidasi menggunakan jarak PVD yang berbeda-beda dengan pemodelan *axisymetry* dan *plane strain* Plaxis 2D. Hasil penurunan yang didapat pada pemodelan *axisymetry* dengan jarak antar PVD 2m sebesar 0,7467 m, jarak 2,4m : 0,7471 m, jarak 3 m : 0,7466 m sedangkan pada pemodelan *plane strain* dengan jarak antar PVD 2m: 0,8664 m, jarak 2,4m: 0,8678 m dan pada jarak 3 m : 0,8658 m. Surbakti, dkk (2020) melakukan analisis *sand replacement* sebagai *counter weight* pada proses konsolidasi pada reklamasi Belawan tahap I, analisis ini menggunakan data *borelog* BH-02 dengan tinjauan *settlement plate* (S5) dimana area ini berbatasan langsung dengan perairan dan jalur arus masuk kapal. Adapun penurunan yang terjadi dengan pemasangan PVD dengan pola segitiga dengan jarak 1,5 m pada pemodelan Plaxis 2D sebesar 6,404 m.

Dari penelitian sebelumnya belum ada pembahasan tentang penurunan menggunakan Plaxis dengan tipe *mesh* yang berbeda beda. Sehingga penulis ingin membahas penurunan tersebut dengan bantuan Plaxis 2D dengan hanya

menggunakan tipe mesh *medium*. Dari penelitian dan latar belakang diatas, serta dengan data-data yang didapat dilapangan penulis tertarik untuk menjadikan bahan Skripsi yang berjudul "Analisis Konsolidasi Dengan Metode *Preloading* Dan *Prefabricated Vertical Drain* Menggunakan *Software* Plaxis Pada Proyek Reklamasi Belawan *Phase I*".

1.2 Maksud Penelitian

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

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penulisan Skripsi ini adalah sebagai berikut:

- a. Untuk mengetahui berapa lama waktu konsolidasi dengan Metode *Preloading* dan *Prefabricated Vertical Drain* menggunakan *Software* Plaxis.
- b. Untuk mengetahui berapa besar konsolidasi dengan Metode *Preloading* dan *Prefabricated Vertical Drain* menggunakan *Software* Plaxis.

1.4 Rumusan Masalah

Masalah – masalah yang timbul dari penelitian ini saya lampirkan sebagai berikut :

1. Berapa lama waktu konsolidasi dengan Metode *Preloading* dan *Prefabricated Vertical Drain* menggunakan *Software* Plaxis?
2. Berapa besar konsolidasi dengan Metode *Preloading* dan *Prefabricated Vertical Drain* menggunakan *Software* Plaxis?

1.5 Batasan Masalah

Adapun Batasan masalah yang akan saya persiapkan dalam penelitian ini :

1. Analisis penurunan konsolidasi pada penelitian ini dilakukan pada titik *Bore Hole* (BH-01) Proyek Reklamasi Belawan *Phase 1*.
2. Parameter - parameter tanah yang digunakan dalam analisa dari korelasi nilai N-SPT di lapangan.
3. Tidak membahas aspek hidrologi
4. Analisis hanya dilakukan dengan metode elemen hingga menggunakan Plaxis 2D.

1.6 Manfaat Penelitian

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 dengan metode *Preloading* dan *Prefabricated Vertical Drain*.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian terdahulu

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

1. Tika Ermita Wulandari (2020) tentang "Analisis Konsolidasi Menggunakan *Preloading* dan *Prefabricated Vertical Drain* Dengan Metode Perhitungan Analitis, Plaxis 2D dan 3D Pada Proyek Reklamasi Belawan *Phase I*". Dalam penelitian tersebut mengkaji tentang perbaikan tanah dengan metode *Preloading* dan *Prefabricated Vertical Drain* (PVD) Pada Proyek Reklamasi Belawan. Metode yang digunakan adalah metode *Preloading* dan *Prefabricated Vertical Drain* (PVD) dengan *Software Plaxis*, teknik pengumpulan data observasi, wawancara dan dokumentasi dan menggunakan teori - teori dan jurnal ilmiah. Sehingga dapat disimpulkan besar penurunan konsolidasi menggunakan metode perhitungan analitis dan Plaxis 3D tipe mesh very fine relatif mendekati kondisi yang terjadi di lapangan, dimana besar penurunan settlement plate \$29 di lapangan adalah 7,19 m. Pengaruh kehalusan mesh terhadap prediksi besar penurunan pada Plaxis 2D relatif linier dengan persentasi perbandingan pada mesh tipe very coarse = 3,37%, coarse = 3,21%, medium = 3,84%, fine = 4,12% dan very fine 4,19%. Sedangkan pengaruh kehalusan mesh terhadap prediksi besar penurunan pada Plaxis 3D adalah fluktuatif, dengan persentasi perbandingan penurunan dilapangan pada tipe mesh very coarse = -4,39%,

coarse = -2,88%, medium = -5,66%, fine = -7,83% dan very fine--3,25%.

Perbedaan ini dikarenakan data laboratorium tidak mewakili keseluruhan lapisan tanah di lapangan, dimana untuk boring sedalam 60 m hanya terdapat 3 sampel dengan tebal masing-masing sampel adalah 0,5 meter yaitu pada kedalaman 9,5 m - 10 m, 19,5 m - 20 m dan 45,5 m - 46 m sedangkan observasi lapangan pengambilan data untuk penurunan dilakukan setiap hari.

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 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 ialah tanah yang dapat mengalami penyusutan (*Shrinkage*) dan pengembangan (*Swelling*). Hal ini sangat berpengaruh terhadap kekuatan tanah untuk menahan beban konstruksi. Tanah lempung juga terdiri dari 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 dari bumi yang teratas, keberadaan tanah sangat penting bagi kehidupan manusia yang berada di atasnya. Tanah merupakan bentuk-bentukan dari bebatuan yang mengalami pelapukan. Proses pelapukan ini terjadi dalam jangka waktu yang cukup lama bahkan mungkin hingga ratusan tahun.

Dalam pengertian teknik secara umum, tanah didefinisikan sebagai material yang terdiri atas agregat (butiran) mineral padat yang tidak tersekmentasi (terikat secara kimia) satu sama 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 di berbagai macam pekerjaan teknik sipil, disamping itu tanah berfungsi juga sebagai pendukung pondasi dari sebuah 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 akan didirikan diatas tanah.

Kondisi tanah salah satu hal yang wajib diperhatikan dalam merancang atau pun pada saat akan mendirikan sebuah bangunan diatasnya, karena keadaan tanah

dilapangan pada umumnya tidak homogen (tidak bercampur dengan rata). 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 tanah yang kurang mendukung bangunan yang akan didirikan di atasnya, maka harus dilakukan perbaikan tanah terlebih dahulu agar bisa mencapai daya dukung tanah yang diperlukan. Dan penurunan yang terjadi akibat pembebanan tidak melebihi penurunan yang diizinkan. 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 tektur adalah keadaan permukaan tanah yang 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 Departement 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.)

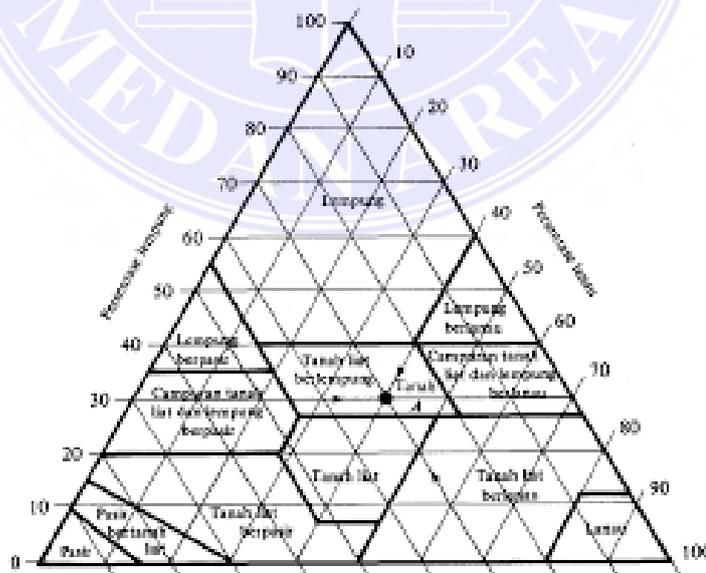
Sebagai contoh, apabila tanah B mempunyai pembagian ukuran butiran 20% kerikil, 10% pasir, 30% lanau, dan 40% lempung, komposisi tekstural yang dimodifikasi adalah :

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

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

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

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 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:

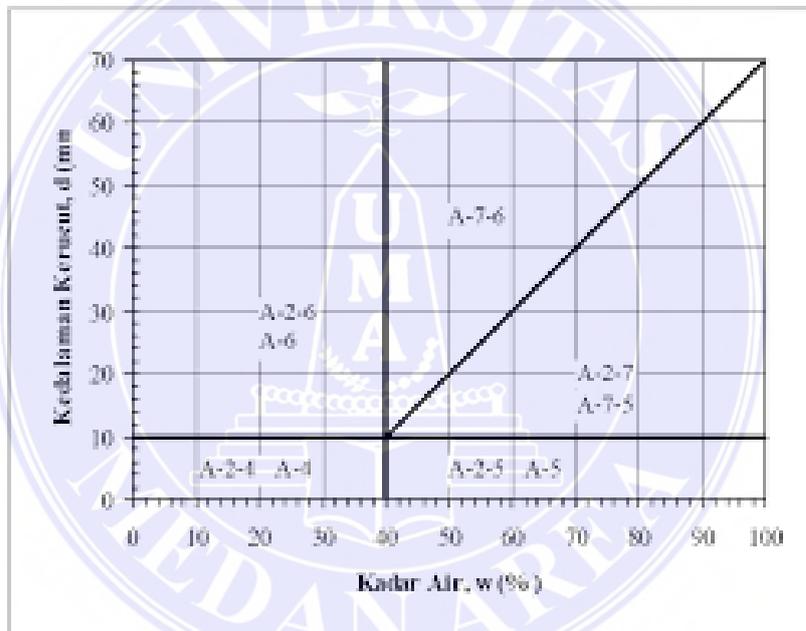
1. Ukuran Butir:

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.

2. 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.

3. 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, 1993)

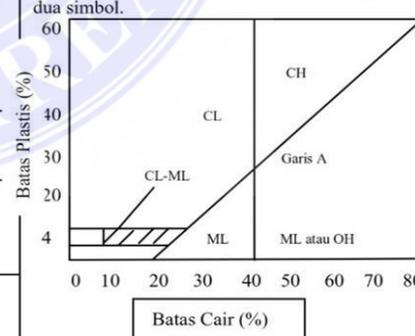
2.4.3 Sistem Klasifikasi *Unified Soil Classification System (USCS)*

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.

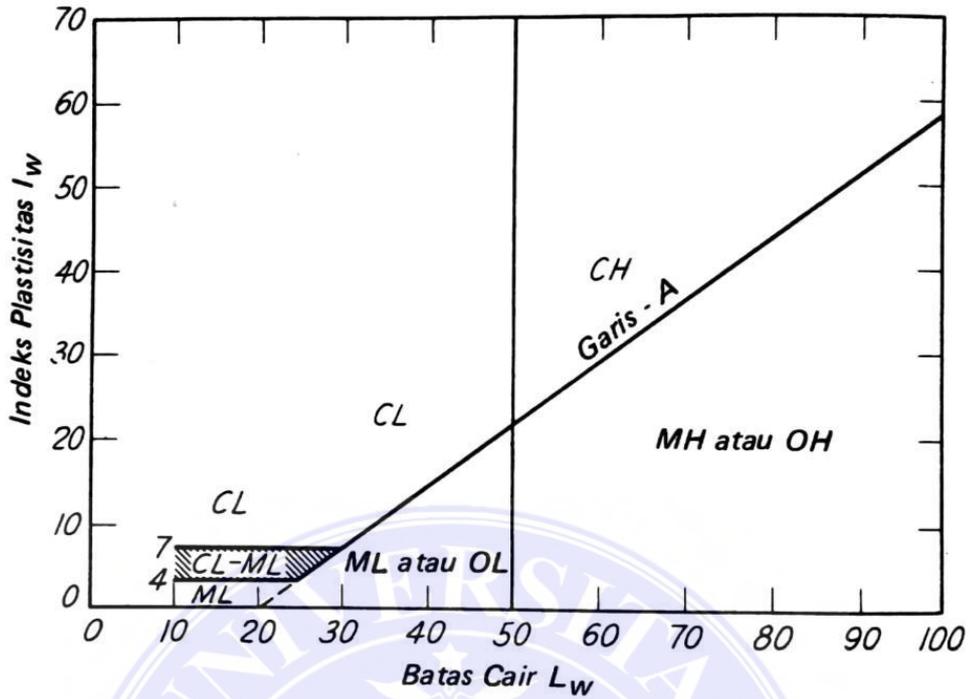
Menurut Das, Braja M. (1993) menjelaskan sistem klasifikasi USCS mengklasifikasikan tanah ke dalam dua kategori utama yaitu:

1. 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.
2. 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.

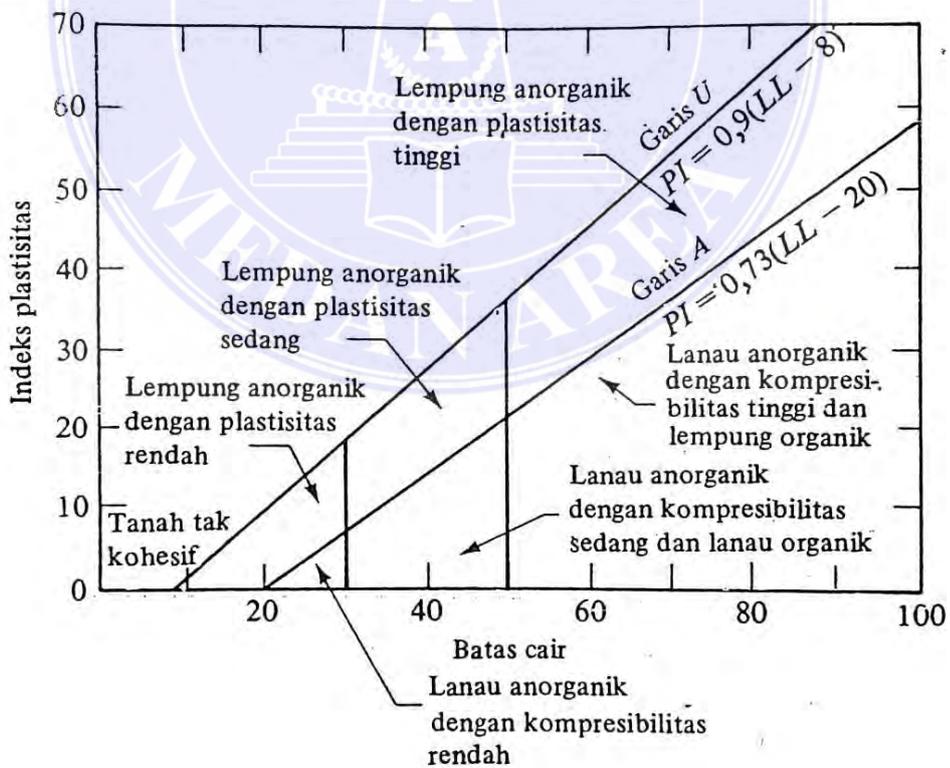
4. Batas cair (LL) dan indeks plastisitas (PI) bagian tanah yang lolos ayakan No. 40 (untuk tanah di mana 5% atau lebih lolos ayakan No. 200) (Gambar 3.) (Gambar 4.) (Gambar 5.)

Divisi Utama		Simbol	Nama Umum	Kriteria Klasifikasi		
Tanah berbutir kasar $\geq 50\%$ butiran tertahan saringan No. 200	Kerikil $50\% \geq$ fraksi kasar tertahan saringan No. 4	Kerikil bersih (hanya kerikil)	GW	Kerikil bergradasi-baik dan campuran kerikil-pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus	$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4$ $Cc = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ Antara 1 dan 3 Tidak memenuhi kedua kriteria untuk GW	
			GP	Kerikil bergradasi-buruk dan campuran kerikil-pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus		
		Kerikil dengan Butiran halus	GM	Kerikil berlanau, campuran kerikil-pasir-lanau	Batas-batas <i>Atterberg</i> di bawah garis A atau $PI < 4$ Batas-batas <i>Atterberg</i> di bawah garis A atau $PI > 7$ Bila batas <i>Atterberg</i> berada di daerah arsir dari diagram plastisitas, maka dipakai simbol	
			GC	Kerikil berlempung, campuran kerikil-pasir-lempung		
		Pasir $\geq 50\%$ fraksi kasar lolos saringan No. 4	Pasir bersih (hanya pasir)	SW	Pasir bergradasi-baik, pasir berkerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus	$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 6$ $Cc = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ Antara 1 dan 3 Tidak memenuhi kedua kriteria untuk SW
				SP	Pasir bergradasi-buruk, pasir berkerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus	
	Pasir dengan butiran halus		SM	Pasir berlanau, campuran pasir-lanau	Batas-batas <i>Atterberg</i> di bawah garis A atau $PI < 4$ Batas-batas <i>Atterberg</i> di bawah garis A atau $PI > 7$ Bila batas <i>Atterberg</i> berada di daerah arsir dari diagram plastisitas, maka dipakai simbol	
			SC	Pasir berlempung, campuran pasir-lempung		
	Tanah berbutir halus 50% atau lebih lolos ayakan No. 200		Lanau dan lempung batas cair $\leq 50\%$	ML	Lanau anorganik, pasir halus sekali, serbuk batuan, pasir halus berlanau atau berlempung	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 batasan klasifikasinya menggunakan dua simbol. 
				CL	Lempung anorganik dengan plastisitas rendah sampai dengan sedang lempung berkerikil, lempung berpasir, lempung berlanau, lempung "kurus" (<i>lean clays</i>)	
		OL		Lanau-organik dan lempung berlanau organik dengan plastisitas rendah		
		Lanau dan lempung batas cair $\geq 50\%$	MH	Lanau anorganik atau pasir halus diatomae, atau lanau diatomae, lanau yang elastis		
CH			Lempung anorganik dengan plastisitas tinggi, lempung "gemuk" (<i>fat clays</i>)			
OH			Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai dengan tinggi			
Tanah-tanah dengan kandungan organik sangat tinggi	PT	<i>Peat</i> (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 Tanah 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 organis 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:

1. Kelompok ML dan MH adalah tanah yang diklasifikasikan sebagai lanau pasir, lanau lempung atau lanau organis dengan plastisitas relatif rendah.
2. 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.
3. 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 adalah tanah yang 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 organis 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:

- a. Ukuran butir halus, kurang dari 0,002 mm
- b. Permeabilitas rendah
- c. Kenaikan air kapiler tinggi
- d. Bersifat sangat kohesif
- e. Kadar kembang susut yang tinggi
- f. 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)

Macam Tanah	Berat Jenis (Gs)
Kerikil	2,65 - 2,68
Pasir	2,65 - 2,68
Lanau Organik	2,62 - 2,68
Lempung Organik	2,58 - 2,65
Lempung Anorganik	2,68 - 2,75
Humus	1,37
Gambut	1,25 - 1,28

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:

1) 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) ($LL > 50$).

2) 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 (qu) (Hardiyanto, 2002)

Konsistensi	Qu (kN/m 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

3) 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, 2001)

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

2.6 Permasalahan Tanah Lunak

Dalam merencanakan suatu bangunan yang berhubungan dengan keadaan tanah sebagai material dimana bangunan tersebut akan diletakkan di atasnya, 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 Reklamasi Belawan yang memiliki tanah lunak pada lokasi 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. Bila saat suatu lapisan tanah lempung yang jenuh air 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 S_{total} mempunyai 3 komponen :

$$S_{total} = S_i + S_c + S_s$$

Dimana : $S_i = \text{Immediate settlement (cm)}$

$S_c = \text{Consolidation settlement (cm)}$

$S_s = \text{Secondary settlement (cm)}$

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:

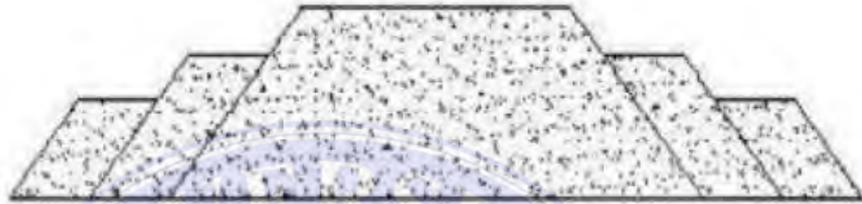
1. Pemberian timbunan dengan sistem bertahap

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)

2. 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 bila mana 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. Jika 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 :

1. Besarnya penurunan yang akan terjadi.
2. 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*)

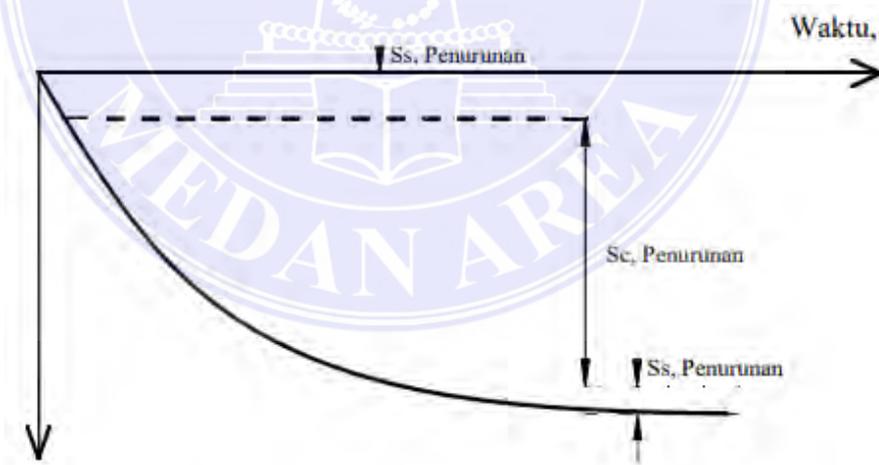
2.8.2 Penurunan Segera (*Immediate Settlement - Si*)

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 - S_s*)

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 terdispasinya 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 diatasnya, 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:

- a. 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.
- b. Air dan butiran - butiran tanah tidak dapat ditekan.
- c. Terdapat hubungan yang linear antara tekanan yang bekerja dan

$$\text{perubahan volume } \Delta v = \left(\frac{\Delta e}{\Delta v} \right)$$

- d. Koefisien permeabilitas k merupakan konstanta. Perubahan temperatur dari sekitar 10 sampai 20°C menghasilkan sekitar 30 persen perubahan dalam viskositas air.
- e. Konsolidasi merupakan konsolidasi satu dimensi (*vertical*), sehingga tidak terdapat aliran air atau pergerakan tanah lateral.
- f. Contoh yang digunakan merupakan contoh tidak terganggu.

2.10 Plaxis

Plaxis merupakan salah satu Software analisis geoteknik yang dipilih karena dapat menganalisa stabilitas tanah dengan menggunakan metode elemen yang mampu melakukan analisis yang dapat mendekati perilaku hingga sebenarnya. Plaxis menyediakan berbagai analisis seperti displacement, tegangan-tegangan yang terjadi pada tanah, faktor 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 profesional. 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:

1. Penyiapan parameter tanah yang akan dilakukan untuk modelisasi dengan program Plaxis Parameter-parameter tersebut didapatkan dari hasil pengujian laboratorium, maupun hasil pengujian dilapangan
2. Selanjutnya menjalankan program Plaxis yang diawali dengan melakukan setting awal.
3. Melakukan penggambaran geometri dan pemberian kondisi batas pada struktur yang ditinjau.
4. Pendefinisian material dan pendeklarasian matrial pada struktur yang ditinjau.
5. Perhitungan kondisi awal dari konstruksi yang ditinjau
6. Selanjutnya dilakukan perhitungan dengan Menyusun tahapan konstruksi sesuai dengan tahapan yang dilaksanakan dilapangan.

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.

1. Berat Volume Tanah (γ)

Pada Program Plaxis berat volume tanah yang dibutuhkan dalam perhitungan terbagi menjadi dua jenis. Yaitu berat volume tanah jenuh dan berat volume tanah kering.

$$\gamma = \left(\frac{w}{v} \right)$$

Namun jika lapangan tidak ada, maka didapat melalui korelasi nilai N-SPT pada Tabel 6. dibawah ini:

Tabel 6. Hubungan N-SPT (Braja M. Das, 1995)

Consistency	Q _u (psf)	N-SPT	Saturated Unit Wiegth (psf)
<i>Very Soft</i>	0-500	0-2	< 100
<i>Soft</i>	500-1000	4-Mar	100-200
<i>Medium</i>	1000-2000	110-125	110-125
<i>Stiff</i>	2000-4000	115-130	115-130
<i>Very Stiff</i>	4000-8000	120-140	120-140
<i>Hard</i>	> 8000	> 32	> 130

Untuk hubungan N-SPT dengan berat isi tanah (γ) untuk tanah pasir dijelaskan oleh Mayerhof (1956) dapat dilihat tabel 7.

Tabel 7. Hubungan N-SPT (Mayerhof, 1956)

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

2. Modulus *Young* dari Tanah (E)

Modulus *Young* adalah angka yang digunakan untuk mengukur objek atau tahanan bahan untuk mengalami deformasi elastis ketika gaya diterapkan pada bend aitu. Modulus elastisitas satu benda didefinisikan sebagaikemiringan dari kurva tegangan-regan 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 atu tanah, dimana ditunjukkan dari besaran rasio tegangan-regangan. Modulus Elastisitas berdasarkan jenis tanah dapat dilihat pada Tabel 8. dan hubungan antara jenis tanah dan modulus elastis pada Tabel 9.

Tabel 8. 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 9. 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

3. 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 10.

Tabel 10. 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	< 0,000001	< 0,000002

4. 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 dilaksana perhitungan. Kohesi akan cenderung meningkat sesuai dengan kedalaman yang ditinjau. Hubungan antara konsistensi dengan nilai kohesi dapat dilihat pada Tabel 11.

Tabel 11. Hubungan Konsistensi dengan Nilai Kohesi (Begeman, 1995)

Koefisien Tanah	Tekanan Konus	<i>Undrained cohesion</i>
<i>Very Soft</i>	< 2,5	< 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>	> 40	> 20,0

5. *Poisson's ratio* (ν)

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*.

$$\nu = \left(\frac{\epsilon_h}{\epsilon_v} \right)$$

Keterangan:

ϵ_h = Regangan Horizontal

ϵ_v = 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 12.

Tabel 12. Nilai Poisson's ratio Pada Tanah (Schmertman, 1970)

<i>Type Of Soil</i>	<i>Poisson ratio (ν)</i>
<i>Loose Sand</i>	0,20-0,40
<i>Medium Dense Sand</i>	0,25-0,40
<i>Dense sand</i>	0,30-0,45
<i>Silty Sand</i>	0,20-0,40
<i>Sand and Gravel</i>	0,15-0,25
<i>Soft Clay</i>	0,20-0,50
<i>Medium Clay</i>	0,20-0,50
<i>Stiff Clay</i>	0,20-0,50

6. 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 relative (D_r) dan sudut geser tanah (ϕ) berdasarkan nilai jumlah pukulan (N) untuk tanah non kohesif dapat dilihat pada Tabel 13. dan Tabel 14

Tabel 13. 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	<i>Very loose</i> < 20	< 30
4-10	<i>Loose</i> 20-40	30-35
10-30	<i>Compact</i> 40-60	35-40
30-50	<i>Dense</i> 60-80	40-45
> 50	<i>Very Dense</i> > 80	> 45

Tabel 14. Sudut Geser Berbagai Jenis (Das, 2010)

Jenis Tanah	Sudut Geser Tanah, (ϕ) (deg)
Kerikil kepasiran	35° – 40°
Kerikil kerakal	35° – 40°
Pasir padat	35° – 40°
Pasir lepas	30°
Lempung kelanauan	25° – 30°
Lempung	20° – 25°

7. Compression Indeks model soft soil

Untuk lambda (λ^*) dan kappa (k^*) menggunakan rumus dibawah ini :

$$(\lambda^*) = Cc/[2.3(1 + e)]$$

$$(k^*) = 2Cr/[2.3(1 + e)]$$

Dimana :

Cc: Koefisien yang mempengaruhi besar penurunan

Cr: Koefisien yang mempengaruhi besar pengembangan

e : Angka pori

Nilai Ce dan Cr 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 Data Umum Proyek

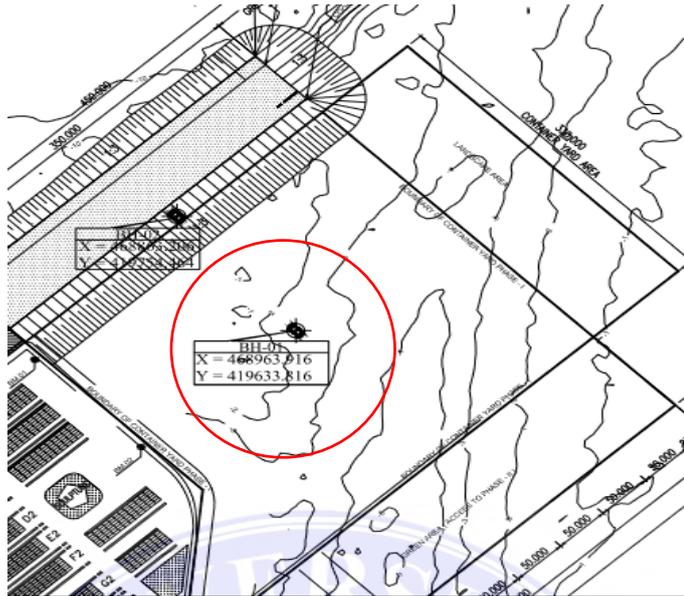
Pekerjaan Proyek Reklamasi Belawan Phase 1 adalah proyek dibawah naungan PT. Pelindo I yang dikerjakan oleh PT. Waskita Karya. Dengan luas ± 350 m x 362 m, proyek ini bertujuan Dermaga, Container Yard dan Utilitas TPK Belawan. Peta lokasi proyek dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Lokasi Pekerjaan Reklamasi (Google Maps,2023)

3.2 Gambaran Kondisi Tanah

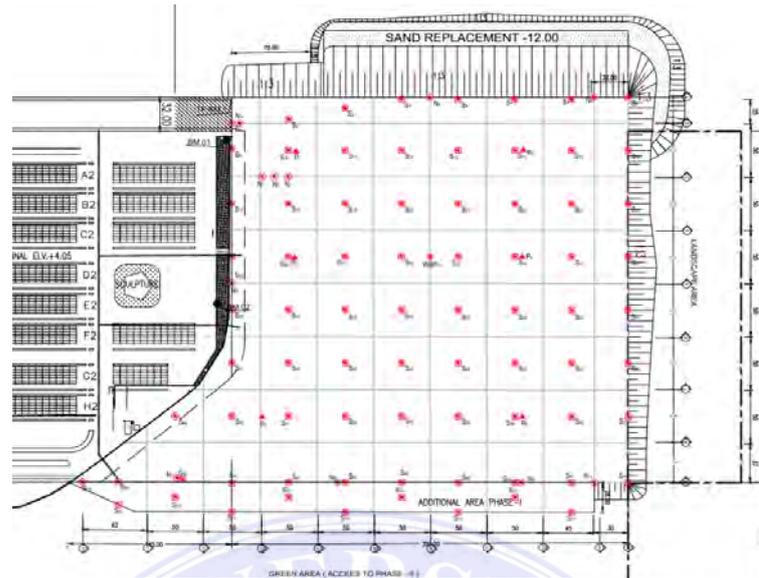
Dalam penulisan Skripsi ini, penulis menganalisis kondisi tanah berdasarkan data tanah Bore Hole-1 (BH-01) yang mewakili kondisi tanah disekitarnya. Lokasi BH-1 dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Titik bore-hole 1(BH-01) (Data Proyek, 2016)

3.3 Data Settlement Plate

Dalam penulisan Skripsi ini, penulis akan membandingkan hasil analisa yang diperoleh dengan data lapangan yang terekam pada titik *settlement plate* 29 (S29), dimana pada *settlement plate* ini pengukuran penurunan lapangan dilakukan selama 219 hari dengan total penurunan yang terjadi adalah 7,190 m. Dari data S29 juga diperoleh data tinggi penimbunan maksimum adalah 10,964 m. Lokasi titik S29 dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11. Titik *Settlement plate* 29 (S29) (Data Proyek, 2016)

3.4 Spesifikasi Material PVD

Spesifikasi PVD yang digunakan untuk proyek ini adalah:

- a. Bahan PVD harus cukup kuat dan fleksibel untuk mencegah diskontinuitas karena tekanan yang timbul selama pemasangan PVD.
- b. Bahan PVD harus memiliki permeabilitas yang cukup (kemampuan untuk mengalirkan air pori).
- c. Material PVD harus memenuhi persyaratan berikut:
 - 1) Material : polypropylene
 - 2) Berat : 88 gram/m
 - 3) Lebar (w) : 100 mm
 - 4) Tebal (t) : 4 mm
 - 5) Discharge capacity 10 kPa (ASTM D4716): 180×10^{-6} m³/s
 - 6) Discharge capacity 300 kPa (ASTM D4716): 140×10^{-6} m³/s
 - 7) Discharge cap. buckled 200 kPa (Delft) : 55×10^{-6} m³/s
 - 8) Permeability filter (NEN5167): 9×10^{-4} m/s

- 9) Bentuk PVD yang diisyaratkan untuk proyek ini dapat dilihat pada Tabel 15. dibawah ini:

Tabel 15. Persyaratan bentuk *PVD* pada proyek reklamasi Belawan (Spesifikasi teknis proyek, 2016)

Item yang diperiksa	Persyaratan Teknis
Keseragaman tebal geotekstil	Tebal harus sama rata
Kotoran geotekstil	Kotoran tdak boleh lebih dari 2 mm
Lubang geotekstil	Tidak boleh aada lubang
Sambungan	Tidak boleh ada <i>degumming</i> sambungan = 3 mm
Gigi papan inti	Palung dan papan inti tidak boleh terbalik
Lubang papan inti	Tidak boleh ada lubang
Kotoran, gelombang udara pada papan inti	Papan inti tidak ada kotoran, gelembung udara
Pembungkus papan inti dan filter	Papan inti dan filter harus terbungkus rapat.

3.5 Tahapan Penimbunan Pekerjaan

Tahapan penimbunan sebagai berikut:

1. Tahap 1. Penimbunan Reklamasi dari Seabed sampai elevasi +2,8 mLWS (lapisan 1) selama 3 hari.
2. Tahap 2. Penimbunan Reklamasi tahap 2 dari elevasi 2,8 s/d 4,0 mLWS setinggi (lapisan 2) selama 3 hari.
3. Tahap 3. pemasangan PVD selama 10 hari.
4. Tahap 4. Penimbunan Preloading Tahap 1 dari elevasi 4,0 m s/d 5,4 m (lapisan 1) selama 87 hari.

5. Tahap 5. Penimbunan Preloading Tahap 2 dari elevasi 5,4 m s/d 7,3 m (lapisan 2) selama 17 hari.
6. Tahap 6. Penimbunan Preloading Tahap 3 dari elevasi 7,3 m s/d 8,9 m (lapisan 3) selama 10 hari.
7. Tahap 7. Penimbunan Preloading Tahap 4 dari elevasi 8,9 m s/d 10,9 m (lapisan 4) selama 2 hari.
8. Tahap 8. Konsolidasi timbunan selama 103 hari

Sehingga total tinggi timbunan untuk reklamasi dan preloading yang dilakukan terhadap tanah dasar adalah setinggi 10,9 meter dari sea bed. Dengan lama proses penimbunan dan preloading adalah 235 hari.

3.6 Parameter Tanah di Lokasi Pekerjaan

Dari data bore log BH-01, tanah dapat dikelompokkan berdasarkan jenis tanah menjadi delapan 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 perilaku undrained pada beberapa lapisan dan drained pada lapisan lainnya. Sedangkan lapisan timbunan tanah yang merupakan pasir memiliki perilaku *drained*.

Tabel 16. Parameter Tanah di Lokasi Pekerjaan (Data Proyek, 2016)

No.	Jenis tanah	Elevasi (m)	Ketebalan (m)	Sifat	Model Tanah
1	<i>Sandy Clay</i>	0 – 1,5	1,5	<i>Drained</i>	<i>Mohr-Coulomb</i>
2	<i>Clay</i>	1,5 – 15	13,5	<i>Undrained</i>	<i>Mohr-Coulomb</i>
3	<i>Sandy Silt</i>	15 – 18	3	<i>Drained</i>	<i>Mohr-Coulomb</i>
4	<i>Organic Clay</i>	18 - 22	4	<i>Undrained</i>	<i>Mohr-Coulomb</i>
5	<i>Clayey Sand 1</i>	22 - 32	10	<i>Drained</i>	<i>Mohr-Coulomb</i>
6	<i>Silty Clay 1</i>	32 -37	5	<i>Undrained</i>	<i>Mohr-Coulomb</i>
7	<i>Clayey Sand 2</i>	37 - 50	13	<i>Drained</i>	<i>Mohr-Coulomb</i>
8	<i>Silty Clay 2</i>	50 -60	10	<i>Undrained</i>	<i>Mohr-Coulomb</i>

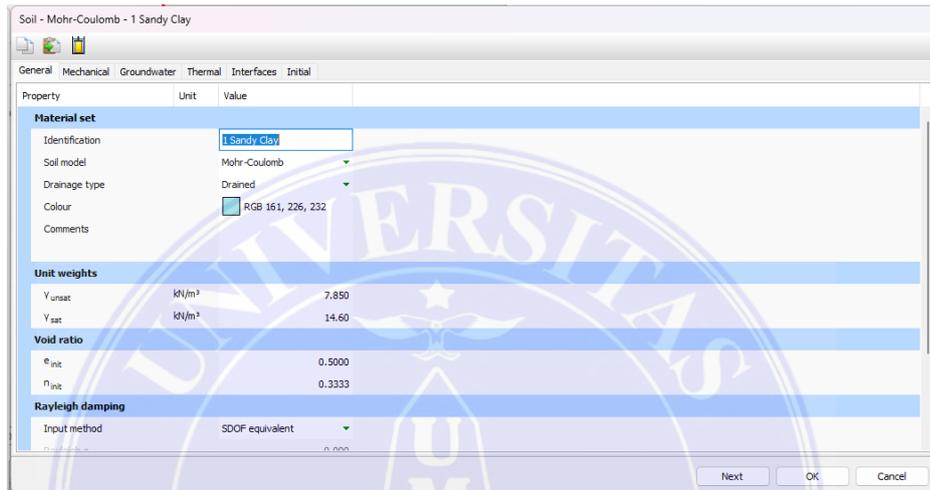
Data pada Tabel 16. di atas dijabarkan kembali sesuai dengan data-data dibutuhkan untuk input program Plaxis. Berat isi (γ), berat isi jenuh tanah (γ_{sat}), modulus elastisitas (E), *Poisson Ratio* (ν), kohesi (c_{ref}), sudut geser dalam (ϕ), koefisien permeabilitas tanah arah vertikal (k) maupun horizontal (k_y) yang digunakan diambil dari hasil laboratorium. Untuk λ *compression indeks* (2^*) dihitung dengan menggunakan rumus Persamaan (2.26), κ *compression indeks* (K^*) dihitung dengan menggunakan rumus Persamaan (2.27). Adapun data data tersebut dapat dilihat pada Tabel 17. dibawah ini:

Tabel 17. Data yang diinput pada program Plaxis (Data Proyek, 2016)

Material Properties STA 47+100

Uraian	Unit	<i>Timbunan</i>	<i>Sandy Clay</i>	<i>Clay</i>	<i>Sandy Silt</i>	<i>Organic Clay</i>	<i>Clayey Sand 1</i>	<i>Silty Clay1</i>	<i>Clayey Sand 2</i>	<i>Silty Clay1</i>
Material Model	-	<i>Mohr-Coulomb</i>	<i>Mohr-Coulomb</i>	<i>Mohr-Coulomb</i>	<i>Mohr-Coulomb</i>	<i>Mohr-Coulomb</i>	<i>Mohr-Coulomb</i>	<i>Mohr-Coulomb</i>	<i>Mohr-Coulomb</i>	<i>Mohr-Coulomb</i>
Kedalaman	Mtr	11,0-0	0-1,5	1,5-15	15-18	18-22	22-32	32-37	37-50	50-60
<i>Drainage Type</i>	-	<i>Drained</i>	<i>Drained</i>	<i>Undrained</i>	<i>Drained</i>	<i>Undrained</i>	<i>Drained</i>	<i>Undrained</i>	<i>Drained</i>	<i>Undrained</i>
γ_{unsat}	kN/m ³	14,84	7,85	7,85	7,85	2,2	13,9	8,9	13,9	8,9
γ_{sat}	kN/m ³	19,1	14,6	14,6	14,6	10,3	18,4	15,1	18,4	15,1
E	kN/m ²	25000	600	600	600	600	600	600	700	700
ν (nu)		0,30	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35
c_{ref}	kN/m ²	0	15,5	15,5	15,5	12,9	22,4	29,2	22,4	29,2
ϕ (phi)	°	33,1	12,4	12,4	12,4	20,8	14,1	13,3	14,1	13,3
Ψ (psi)	°	0	0	0	0	0	0	0	0	0
λ^* (lambda)		-	-	0,1019	-	0,2272	-	-	0,0692	-
κ^* (kappa)		-	-	0,0394	-	0,0449	-	-	0,0269	-
k_x	m/day	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,2182	0,0153	0,0005	0,0153	0,0005
k_y	m/day	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,2182	0,0153	0,0005	0,0153	0,0005
Nama Lapisan	<i>Preloading</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	

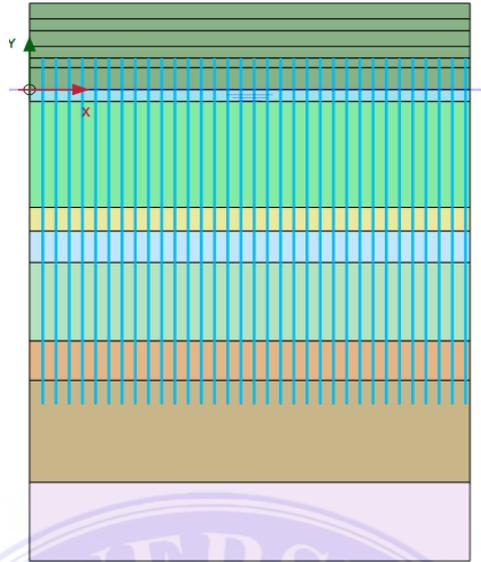
Pada permodelan Plaxis dibutuhkan input parameter-parameter tanah yang akan dimodelkan. Parameter-parameter tanah yang digunakan pada permodelan Plaxis diambil dari hasil pengujian laboratorium seperti yang ditunjukkan pada Tabel 16. dan Tabel 17. Data-data tersebut nantinya akan diinput pada program Plaxis seperti yang ditunjukkan pada Gambar 12.



Gambar 12. Input Material Plaxis (Plaxis, 2023)

3.7 Pemodelan Plaxis

Gambar 3.8 pemodelan timbunan lapisan tanah pada daerah *settlement* S29, pemodelan tahapan penimbunan sesuai dengan tahapan pada sub bab III.5 diatas dengan kondisi *plan strain*.



Gambar 13. Pemodelan lapisan tanah dengan Plaxis (Plaxis, 2023)

3.8 Metode Pengumpulan Data

Untuk menunjang penulisan Skripsi ini, penulis memperoleh data dari pihak kontraktor yaitu PT. Waskita Karya. Adapun data yang diperoleh adalah:

1. Layout pekerjaan,
2. Boring Log BH-01
3. Data parameter material timbunan
4. Data boring quarry pasir beserta hasil pengujian laboratoriumnya
5. Spesifikasi PVD
6. Instrumen geoteknik (settlement plate \$29, inclinometer dan piezometer)

3.9 Tahapan Penelitian

Dalam penulisan Skripsi ini, penulis melakukan beberapa tahapan pelaksanaan sehingga tercapai maksud dan tujuan dari penelitian, seperti yang dirangkum pada Bab I. Untuk memudahkan tercapainya tujuan tersebut, maka penulis melakukan tahapan-tahapan sebagai berikut :

a. Tahap pertama

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

b. Tahap kedua

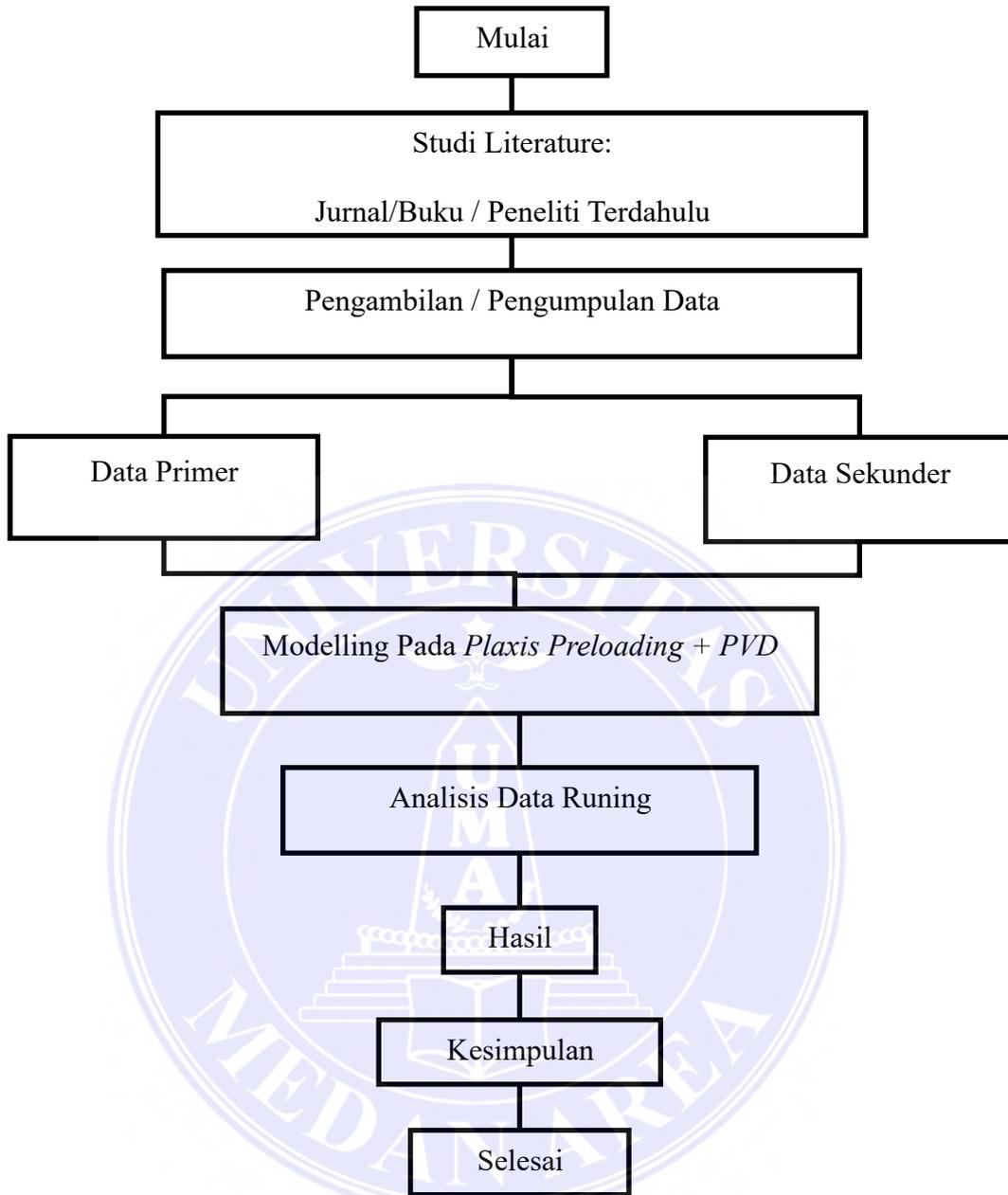
Melakukan pengumpulan data yang akan digunakan dalam analisis. Subjek pada penulisan Skripsi ini adalah Proyek Reklamasi Belawan *Phase 1*. Data yang diperlukan untuk penulisan Skripsi ini didapatkan dari PT. Waskita Karya selaku kontraktor. Adapun data-data yang dibutuhkan adalah SPT (*Standard Penetration Test*), parameter tanah timbunan, dan instrumen geoteknik.

c. Tahap ketiga

Melakukan analisa antara data yang diperoleh dari lapangan dengan buku dan jenis *literature* lainnya yang berhubungan dengan penulisan Skripsi ini.

d. Tahap keempat

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 14.



Gambar 14. Kerangka Berfikir (Peneliti, 2023)

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisis dan diskusi maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Durasi penurunan konsolidasi yang terjadi dengan menggunakan analisis konsolidasi dengan metode *Preloading* dan *PVD* pada pemodelan Plaxis 2D menggunakan tipe mesh *medium*, waktu lapangan yaitu selama 235 hari dan waktu menggunakan Plaxis 2D pun juga selama 235 hari tanpa selisih hari. Sedangkan, analisis konsolidasi dengan metode *Preloading* tanpa *PVD* memiliki selisih hari sebanyak 10 hari.
2. Besar penurunan konsolidasi yang terjadi dengan menggunakan analisis konsolidasi dengan metode *Preloading* dan *PVD* pada pemodelan Plaxis 2D menggunakan tipe mesh *medium*, penurunan lapangan yaitu 7,19 m dan penurunan menggunakan Plaxis 2D sebesar 8,399 m, dengan perbedaan penurunan sebesar 1,209 m. Besar penurunan konsolidasi yang terjadi dengan menggunakan analisis konsolidasi dengan metode *Preloading* tanpa *PVD* pada pemodelan Plaxis 2D menggunakan tipe mesh *medium*, penurunan lapangan yaitu 7,19 m dan penurunan menggunakan Plaxis 2D sebesar 5,480 m, dengan perbedaan penurunan sebesar -1,71 m.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil analisis, penulis menyarankan sebagai berikut:

1. Pengambilan data tanah sebaiknya dilakukan sedekat mungkin dengan instrumen settlement plate agar data yang dianalisis mewakili kondisi yang sebenarnya di lapangan.
2. Pada saat *running* Plaxis baik 2D dibutuhkan data-data yang lengkap sehingga disarankan agar pengujian laboratorium dilakukan selengkap mungkin di setiap 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

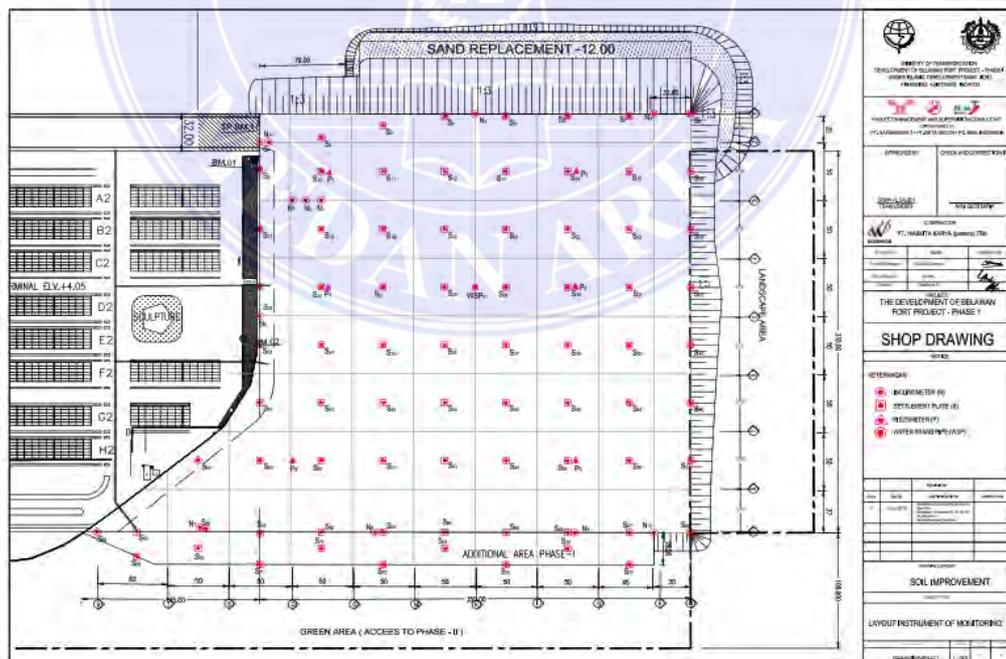
- Adinegoro, Chandra, Moch. Sholeh, and Dandung Novianto. 2021. "Metode Pelaksanaan Perbaikan Tanah Menggunakan Metode Preloading Dan Prefabricated Vertical Drain (Pvd) Pada Terminal Internasional Kijing Pontianak Kalimantan Barat." *Jurnal JOS-MRK* 2(2):158-62. doi: 10.55404/jos-mrk.2021.02.02.158-162.
- Ameratunga, Jay. n.d. *Correlations of Soil and Rock Properties in Geotechnical Engineering*.
- Apriyani, N. K. D., dan Hamdhan, I. N., 2016. Analisis Konsolidasi Dengan Prefabricated Vertical Drain Untuk Beberapa Soil Model Menggunakan Metode Elemen Hingga. *Jurnal Teknik Sipil Institut Teknologi Nasional* Vol. 2 No. 3, September 2016.
- Ariza, dkk., 2014. Analisis Pengaruh Parameter Permeabilitas Smear Zone Terhadap Penurunan Konsolidasi (Studi Kasus Di PLTU - Pekanbaru, Riau). *Jom FTEKNIK* Volume 1 No. 2 Oktober 2014.
- Barron, R. A. (1948). "Consolidation of fine-grained soils by drain wells." *Trans. ASCE*, 113, 718-742.
- Begeman, M. L. (1965), *Teknologi Mekanik*, Erlangga, Jakarta.
- Bella, R. A., 2018. Permodelan Timbunan Pada Tanah Lunak dengan Menggunakan Program Plaxis. *Teknik Sipil FST Undana*.
- Biot, M. A. (1941). "General theory of three dimensional consolidation." *J. Appl. Phys.*, 12, 155-164.
- Bowles J. E., 1993. *Sifat-sifat Fisis dan Geoteknis Tanah (Mekanika Tanah)*, Edisi kedua. Jakarta: Erlangga.
- Braja, M. Das. 2008. *Advance Soil Mechanics*.
- Chai J.C. and Miura N., 1999. Investigation of factors Affecting Vertical Drain Behavior. *Journal Geotech engrg. ASCE*. March 1999. PP 216-226.
- Chai J.C, Shen, S. L., Miura N., Bergando, D. T., 2001. Simple Method Of Modeling PVD-Improved Subsoil. *Journal of Geotechnical And Geoenvironmental Engineering*.
- Craig R. F., 1991. *Mekanika Tanah*, Edisi Keempat. Jakarta: Erlangga. Darwis, H., 2018. *Dasar-dasar Mekanika Tanah*. Yogyakarta : Pena Indis.

- Das, B. M., 1995. Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geteknis), Terjemahan oleh Noor Endah dan Indra Surya Mochtar. Jilid I, Jakarta: Erlangga.
- Das, Braja M. 1993. "Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis." Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis 239.
- 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 ID PADA MATERIAL CAMPURAN YANG DIPADATKAN (The Analysis of 1D Settlement from Compacted Soil Mixtures).
- 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
- Sumatera Utara, 2019. Bahan Ajar Metode Elemen Hingga dalam Rekayasa Geoteknik Universitas

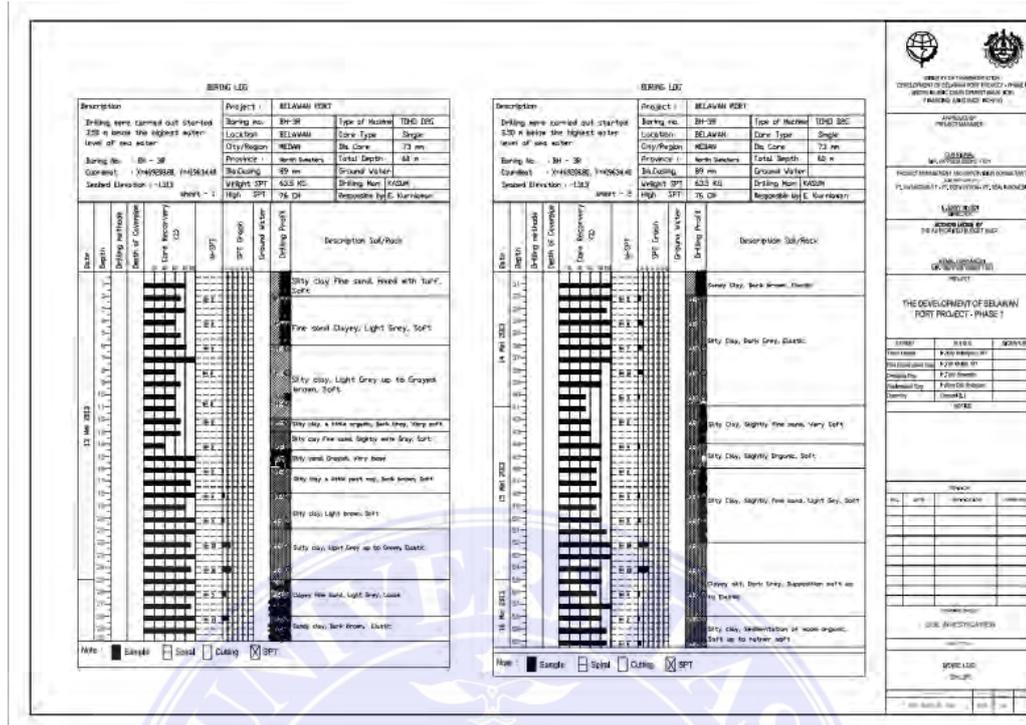
LAMPIRAN



Lampiran 1. Layout Boring Reklamasi Belawan (Sumber: Data Proyek, 2016)



Lampiran 2. Titik Settlement plate 29 (S29) (Sumber: Data Proyek, 2016)



Lampiran 3. Borlog Existing (Data Proyek, 2016)