

**ANALISA PERBAIKAN TANAH MENGGUNAKAN
METODE PRELOADING
(STUDI KASUS)**

SKRIPSI

**Disusun Oleh :
DEDY JOHANNES
14.811.0034**



**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA
MEDAN
2020**

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 27/6/22

Access From (repository.uma.ac.id)27/6/22

LEMBAR PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini, dengan ini menyatakan bahwa skripsi yang saya tulis sebagai syarat untuk menyelesaikan Program Study Strata 1 (S1) pada Jurusan Teknik Sipil Universitas Medan Area merupakan hasil karya saya sendiri.

Adapun bagian-bagian tertentu dari penulisan skripsi saya ini, saya kutip dari buku atau karya tulis orang lain, telah dituliskan sumbernya secara jelas sesuai dengan norma-norma, kaidah dan etika penulisan karya ilmiah.

Saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan peraturan yang berlaku apabila dikemudian hari ditemukan adanya plagiat dalam penulisan skripsi ini.

Demikian lembar pernyataan ini saya perbuat dengan sebenar-benarnya untuk dapat dipertanggung jawabkan sebagaimana mestinya.

Medan, 30 Januari 2020



Dedy Johannes
NIM : 14 811 0034

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISA PERBAIKAN TANAH MENGGUNAKAN METODE PRELOADING (STUDI KASUS)

*Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat untuk Menyelesaikan
Program Studi Strata 1 pada Jurusan Teknik Sipil
Universitas Medan Area*



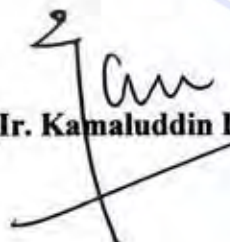
Disusun Oleh:

DEDY J MANEGE

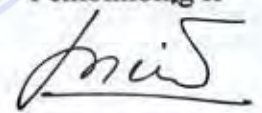
14.811.0034

Disetujui oleh :

Pembimbing I


(Ir. Kamaluddin Lubis, M.T)

Pembimbing II


(Ir. Nuril Mahda Rangkuti, M.T)

Dekan


(Dr. Ir. Dina Maizana, MT)

K.a Prodi Teknik Sipil


(Ir. Nurmaidah, M.T)

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

TUGAS AKHIR/SKRIPSI/TESIS UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

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

Nama : Dedy. Johannes
NPM : 14.811.0034
Program Studi : Teknik Sipil
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Tugas Akhir/Skripsi/Tesis

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Medan Area Hak Bebas Royalti Noneksklusif (Non-exclusive Royalty-Free Right) atas karya ilmiah saya

yang berjudul : Analisa Perbaikan Tanah Menggunakan Metode Preloading (Studi Kasus)

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Medan Area berhak menyimpan, mengalihmedia/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir/skripsi/tesis 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 : 5 Februari 2021

Yang menyatakan



(Dedy. Johannes)

ABSTRAK

Masalah yang sering dijumpai pada sebuah proyek pelaksanaan konstruksi yang dibangun diatas tanah lunak yaitu masalah mengenai penurunan tanah dan pergeseran tanah.

Hal ini tentu sangat tidak baik secara teknis dalam proses pembuatan sebuah proyek konstruksi, dikarenakan tanah lunak memiliki permeabilitas yang rendah dan kompresibilitas yang besar sehingga menyebabkan penurunan yang besar dalam waktu yang lama. Untuk mempercepat proses penurunan tanah tersebut maka perlu dilakukan perbaikan tanah yaitu dengan memberikan beban diawal (*preloading*).

Dengan perlakuan khusus seperti ini diharapkan tanah dapat mengalirkan air pori keluar dari dalam tanah sehingga tanah dapat termampatkan secara sempurna dalam sehingga aman dalam proses pembanguna konstruksi diatas nya.

Pada skripsi ini akan dihitung lamanya waktu yang dibutuhkan untuk mencapai derajat konsolidasi 95% pada proyek Reklamasi dengan menggunakan metode perbaikan tanah secara pembebanan awal (*preloading*) saja.

Proses perhitungan penurunan, dan derajat konsolidasi dilakukan dengan metode analisis konsolidasi 1-D Terzhagi.

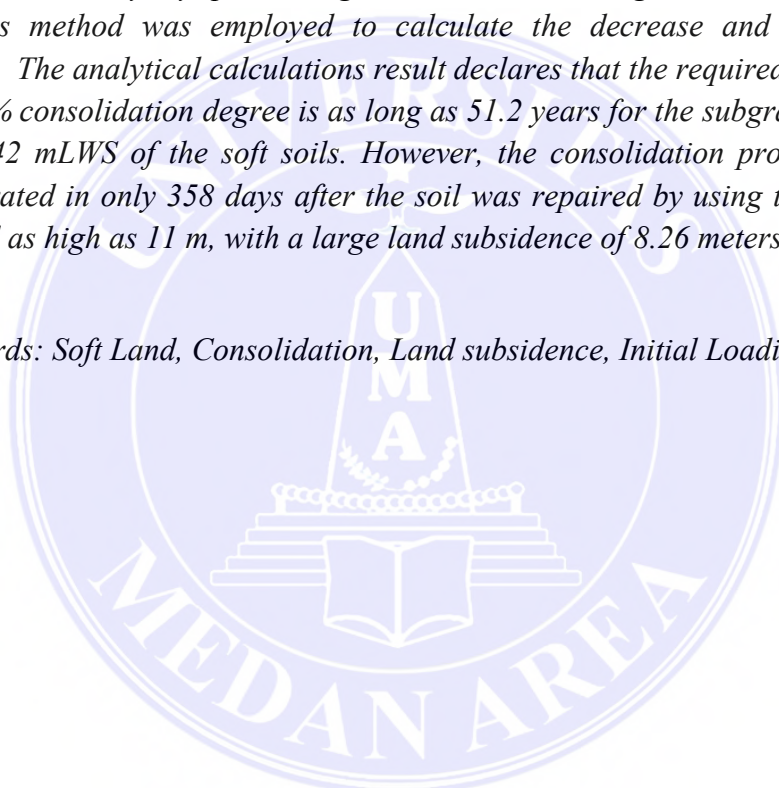
Dari hasil perhitungan analitis dengan kondisi tanah dasar sampai 42 mLWS yang merupakan tanah lunak, diperlukan waktu 51,2 tahun untuk mencapai derajat konsolidasi sebesar 95%. Namun setelah dilakukan perbaikan tanah dengan metode pemberian pembeban awal (*preloading*) setinggi 11 m, proses konsolidasi dapat dipercepat hanya 358 hari dengan besar penurunan tanah yang terjadi sebesar 8,26 meter.

Kata kunci : Tanah Lunak, Konsolidasi, Penurunan tanah, Pembebanan Awal

ABSTRACT

The land subsidence and land displacement are the frequently problems encountered in a construction implementation project that is built on soft land. This is certainly bad in technically for conducting a construction project due to the low permeability and large compressibility of soft soils, causing a large decrease in the future time. Hence, a preloading is necessary to repair the soil and speed up the land subsidence process. This special treatment expected the soil can drain pore water out and it can be perfectly compressed and generating a safety construction process above it. The study calculates the required time to achieve the 95% consolidation degree in the Reclamation project by using the soil improvement only by preloading method. The Terzaghi's 1-D Consolidation analysis method was employed to calculate the decrease and consolidation degree. The analytical calculations result declares that the required time to reach the 95% consolidation degree is as long as 51.2 years for the subgrade conditions up to 42 mLWS of the soft soils. However, the consolidation process could be accelerated in only 358 days after the soil was repaired by using the preloading method as high as 11 m, with a large land subsidence of 8.26 meters.

Keywords: Soft Land, Consolidation, Land subsidence, Initial Loading



KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Tuhan Yang Maha Esa yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan Skripsi ini dengan tepat waktu hingga selesai.

Penelitian yang berjudul “Analisa Perbaikan Tanah Menggunakan Metode Preloading “ ini dimaksudkan sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan Program Study Strata 1 (S1) pada Jurusan Teknik Sipil Universitas Medan Area.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa laporan ini dapat terselesaikan dengan baik karena bantuan berbagai banyak pihak, baik secara langsung maupun tidak langsung. Oleh karena itu penulis menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Prof. Dadan Ramdan, M.Eng, M.Sc selaku Rektor Universitas Medan Area.
2. Ibu Dr Grace Yuswita Harahap, S.T, M.T, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Medan Area.
3. Ibu Ir. Nurmaidah, MT selaku ketua Prodi Teknik Sipil Universitas Medan Area
4. Bapak Ir. Kamaluddin Lubis, MT sebagai dosen pembimbing I.

Atas kesabaran, bimbingan dan waktu yang telah diberikan serta ilmu yang diajarkan.

5. Ibu Ir. Nuril Mahda Rangkuti, MT selaku Dosen Pembimbing II.

Atas kesabaran, bimbingan dan waktu yang telah diberikan serta ilmu yang diajarkan.

6. Seluruh Dosen, Karyawan dan Staff Fakultas Teknik Sipil Universitas Medan Area.
7. Bapak Wahyu Baranto, ST selaku Project Manager pada proyek Reklamasi Belawan
8. Bapak Rudianto Surbakti, ST selaku Staff Engineering, pada proyek Reklamasi Belawan dan juga keluarga
9. Seluruh staff Engineering lain nya dan pelaksana pada proyek Reklamasi Belawan
10. Teristimewa kepada kedua orang tua saya dan adik- adik saya yang telah banyak memberikan kasih sayang dan dukungan moril maupun materi serta doa yang tiada henti untuk penulis.
11. Terima kasih juga kepada Nia Oktavia Sinaga yang selalu support dan memberi masukan dan motivasi bagi penulis.
12. Terima kasih juga kepada teman-teman seperjuangan Sipil 14 Universitas Medan Area,dan semua pihak yang terlibat yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Dalam penyusunan laporan ini penulis menyadari bahwa isi maupun teknik penulisannya masih jauh dari kesempurnaan, maka untuk itu penulis mengharapkan kritik maupun saran dari para pembaca yang bersifat positif demi menyempurnakan laporan ini dimasa yang akan datang

Medan, 30 Januari 2020

Penulis

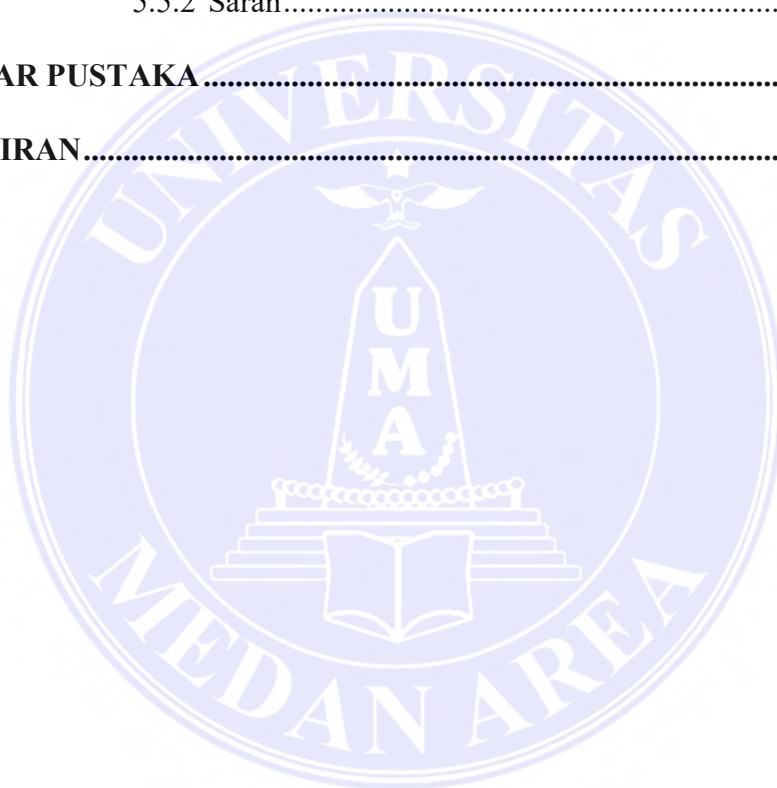
Dedy J Manege

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR NOTASI	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Maksud dan Tujuan	2
1.3 Perumusan Masalah	3
1.4 Pembatasan Masalah	3
1.5 Metode Pengumpulan Data.....	4
1.6 Kerangka Berpikir.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Umum	6
2.2 Tanah	6
2.3 Klasifikasi Tanah	8
2.4 Tanah Lunak	9
2.4.1 Karakteristik Tanah Lunak	10
2.4.2 Tipe Tanah Lunak.....	11
2.5 Permasalahan Pada Tanah Lunak	13
2.6 Metode Perbaikan Tanah Lunak	16

2.7	Penurunan (<i>Settlement</i>)	22
2.7.1	Penurunan Konsolidasi (SC).....	24
2.7.2	Penurunan Segera (SI)	25
2.7.3	Penurunan Sekunder (SS)	26
2.8	Dasar Konsolidasi	27
2.8.1	Uji Konsolidasi Satu Dimensi.....	29
2.8.2	Derajat Konsolidasi Arah Vertikal	32
2.8.3	Koefisien Konsolidasi Vertikal.....	33
2.8.4	Grafik Angka Pori - Tekan	34
2.8.5	Lempung yang Terkonsolidasi Secara Normal dan Terlalu Terkonsolidasi.....	37
2.8.6	Pengaruh Kerusakan Struktur Tanah pada Hubungan Antara Angka Pori dan Tekanan.....	39
2.8.7	Analisis Perhitungan Penurunan yang Disebabkan oleh Konsolidasi Primer Satu Dimensi	43
2.8.8	Indeks Pemampatan (<i>Compression Index</i>)	46
2.8.9	Indeks Pemuaiian (<i>Swell Index</i>).....	49
BAB III	METODOLOGI PENELITIAN	50
3.1.	Data Umum Lokasi	50
3.2.	Metode Analisis Data.....	52
3.3.	Pengumpulan Data.....	52
3.3.1	Data Titik Koordinat	53
3.3.2	Data SPT (<i>Standart Penetration Test</i>)	55
3.3.3	Data Properties Tanah	57
3.3.4	Tahapan Reklamasi Dan <i>Preloading</i>	60

BAB IV	ANALISA DAN PEMBAHASAN.....	61
4.1.	Perhitungan Konsolidasi Tanah.....	61
4.4.1	Perhitungan Penurunan Konsolidasi 1-D Secara Analitis.....	62
4.4.2	Perhitungan Derajat Konsolidasi 1-D Secara Analitis....	71
BAB V	KESIMPULAN DAN SARAN	75
5.5.1	Kesimpulan.....	75
5.5.2	Saran.....	76
DAFTAR PUSTAKA		77
LAMPIRAN		79



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Berat jenis (Gs) berbagai jenis tanah	11
Tabel 2.2 Klasifikasi tanah berdasarkan tekstur tanah.....	11
Tabel 2.3 Hubungan antara konsistensi dan kuat tekan bebas (qu)	11
Tabel 2.4 Indikator kuat geser tak terdrainase tanah lempung lunak.....	13
Tabel 2.5 Klasifikasi tanah gambut berdasarkan kadar serat.....	13
Tabel 2.6 Variasi faktor waktu terhadap derajat konsolidasi.....	33
Tabel 2.7 Korelasi empiris Penentuan nilai indeks kompresi, C_c	48
Tabel 2.8 Pemampatan dan pemuaiian tanah asli	49
Tabel 3.1 Titik-titik koordinat.....	53
Tabel 3.2 Data SPT BH-02 (a).....	55
Tabel 3.2 Data SPT BH-02 lanjutan (b).....	56
Tabel 3.3 Parameter tanah dasar	57
Tabel 3.4 Parameter tanah dasar lanjutan	58
Tabel 3.5 Parameter tanah dasar lanjutan	58
Tabel 3.6 Hasil Tes Laboratorium BH-02.....	59
Tabel 4.1 Perhitungan Penurunan Konsolidasi Tanah	67
Tabel 4.2 Perhitungan Penurunan Konsolidasi Tanah Secara Empiris.....	70
Tabel 4.3 Perhitungan Derajat Konsolidasi Tanah Arah Vertikal.....	73

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Bagan alir penelitian.....	5
Gambar 2.1 Aliran air pori ada tanah.....	17
Gambar 2.2 Proses pemberian pembebanan awal (<i>Preloading</i>)	21
Gambar 2.3 Tahap penurunan tanah	27
Gambar 2.4 Konsolidometer	30
Gambar 2.5 Grafik waktu – pemampatan selama konsolidasi untuk suatu penimbunan beban	30
Gambar 2.6 Grafik variasi derajat konsolidasi rata-rata terhadap faktor waktu, T_v	33
Gambar 2.7 Perubahan tinggi contoh tanah pada uji konsolidasi satu dimensi ...	35
Gambar 2.8 Bentuk grafik e versus $\log p$	36
Gambar 2.9 Variasi angka pori terhadap tekanan	39
Gambar 2.10 Grafik e versus $\log p$	39
Gambar 2.11 Karakteristik konsolidasi lempung yang terkonsolidasi secara normal.....	41
Gambar 2.12 Karakteristik konsolidasi lempung yang terlalu terkonsolidasi	42
Gambar 2.13 Karakteristik konsolidasi lempung yang sensitive	42
Gambar 2.14 Penurunan yang disebabkan oleh konsolidasi satu dimensi	43
Gambar 3.1 Lokasi proyek reklamasi	50
Gambar 3.2 Lokasi pekerjaan reklamasi	51
Gambar 3.3 Lay Out lokasi pekerjaan reklamasi	51
Gambar 3.4 Lay Out Boring Reklamasi.....	54
Gambar 4.1 Grafik hubungan Derajat Konsolidasi terhadap Waktu	74

DAFTAR NOTASI

U_{cr}	Derajat konsolidasi rencana
U_v	Derajat konsolidasi arah vertical
U_r	Derajat konsolidasi radial
E	<i>Modulus Young</i>
ν	<i>Poisson's Ration</i>
c	Kohesi/ <i>Cohesion</i>
ϕ	Sudut Geser/ <i>Friction Angel</i>
ψ	Sudut Dilatasi/ <i>Dilintacy Angel</i>
γ_{dry}	Berat Volume Tanah Kering/ <i>Dry Soil Weight</i>
γ_{wet}	Berat Volume Tanah Basah/ <i>Wet Soil Weight</i>
k_x	Permeabilitas Arah Horizontal/ <i>Horizontal Permeability</i>
k_y	Permeabilitas Arah Vertikal/ <i>Vertical Permeability</i>
C_{egv}	Koefisien konsolidasi untuk beberapa lapisan tanah
h_i	Tebal lapisan masing-masing tanah
C_{vi}	Koefisien konsolidasi masing-masing tanah
T_v	Faktor waktu untuk konsolidasi
C_v	Koefisien konsolidasi vertical
C_h	Koefisien konsolidasi horizontal
t	lama proses konsolidasi
H_{dr}	panjang aliran rata-rata selama proses konsolidasi
S	Besar penurunan tanah
C_c	Koefisien konsolidasi

H	Tebal lapisan tanah
Δp	Penambahan tekanan vertical
P_o	Tekanan efektif overburden
e_o	Angka pori



BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

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. Masalah konsolidasi didalam mekanika tanah merupakan hal yang sangat penting, karena material tanah terdiri dari butiran partikel tanah, air dan rongga udara, yang bilamana diberikan pembebanan maka tanah akan mengalami penurunan.

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 (Braja M. Das, 1995).

Konsolidasi tanah dapat dibagi menjadi konsolidasi primer dan konsolidasi sekunder, dimana konsolidasi sekunder terjadi setelah proses konsolidasi primer selesai yang ditandai dengan tekanan air pori yang konstan.

Analisis perhitungan kecepatan penurunan dan waktu pada konsolidasi satu dimensi dilakukan dengan teori klasik Terzaghi (1925). Perluasan perhitungan dan teori konsolidasi Terzaghi yang sederhana digunakan pada pembebanan *time dependent* yang mempengaruhi hubungan tegangan dan regangan *non linear*, sistem lapisan dan *large strain* dimana penyelesaiannya antara lain menggunakan analisa numerik disamping solusi analitik. Kecepatan penurunan konsolidasi satu

dimensi dapat diprediksi secara teoritis. Analisa harus memenuhi aturan kesetimbangan, hukum aliran Darcy dan kompatibilitas kerangka tanah. Proses konsolidasi pada lempung jenuh dipengaruhi oleh perubahan permeabilitas dan kompresibilitas. Faktor ini diabaikan dalam teori Terzaghi sehingga persamaannya dapat dinyatakan dalam bentuk persamaan *diferensial linear*.

Pada tugas akhir ini, perhitungan mengenai besarnya penurunan dan waktu konsolidasi tanah lunak di dengan menggunakan Metode Konsolidasi 1 Dimensi akibat pembebanan awal (*preloading*) yang menggunakan data parameter tanah dan *Settlement Plate* serta instrument geoteknik lain yang berasal dari lokasi proyek, yaitu Area Proyek Reklamasi Belawan. Kemudian akan dilakukan analisis terhadap perhitungan besar penurunan dan waktu konsolidasinya secara analitis

1.2. Maksud Dan Tujuan

Adapun maksud dari penelitian ini adalah untuk menganalisa besarnya penurunan dan waktu konsolidasi tanah lunak yang terjadi pada tanah dasar di area reklamasi.

Sedangkan tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui besar penurunan dan perubahan waktu konsolidasi yang terjadi pada tanah jika tidak dilakukan perbaikan dan sesudah jika dilakukan perbaikan untuk mempercepat agar tanah mampu menahan konstruksi yang akan dibangun di atasnya.

1.3. Perumusan Masalah

Berdasarkan penjabaran dari latar belakang, maka perumusan masalah dapat diidentifikasi sebagai berikut ini :

1. Bagaimana pengaruh timbunan *preloading* terhadap proses percepatan konsolidasi tanah di sekitar area reklamasi
2. Bagaimana hasil analisa penurunan dan waktu konsolidasi tanah lunak yang terjadi berdasarkan teori konsolidasi satu dimensi (1D) Terzaghi.
3. Berapa lama waktu yang dibutuhkan sampai tanah termampatkan hingga derajat konsolidasi 95% jika tidak dilakukan perbaikan tanah.
4. Berapa lama waktu yang dibutuhkan sampai tanah termampatkan hingga derajat konsolidasi 95% jika dilakukan perbaikan.

1.4. Pembatasan Masalah

Untuk mendapatkan pembahasan yang lebih terfokus dalam penelitian ini dan untuk mempermudah penulis dalam penulisan dan juga menganalisa, maka dibuat batasan-batasan masalah di antaranya:

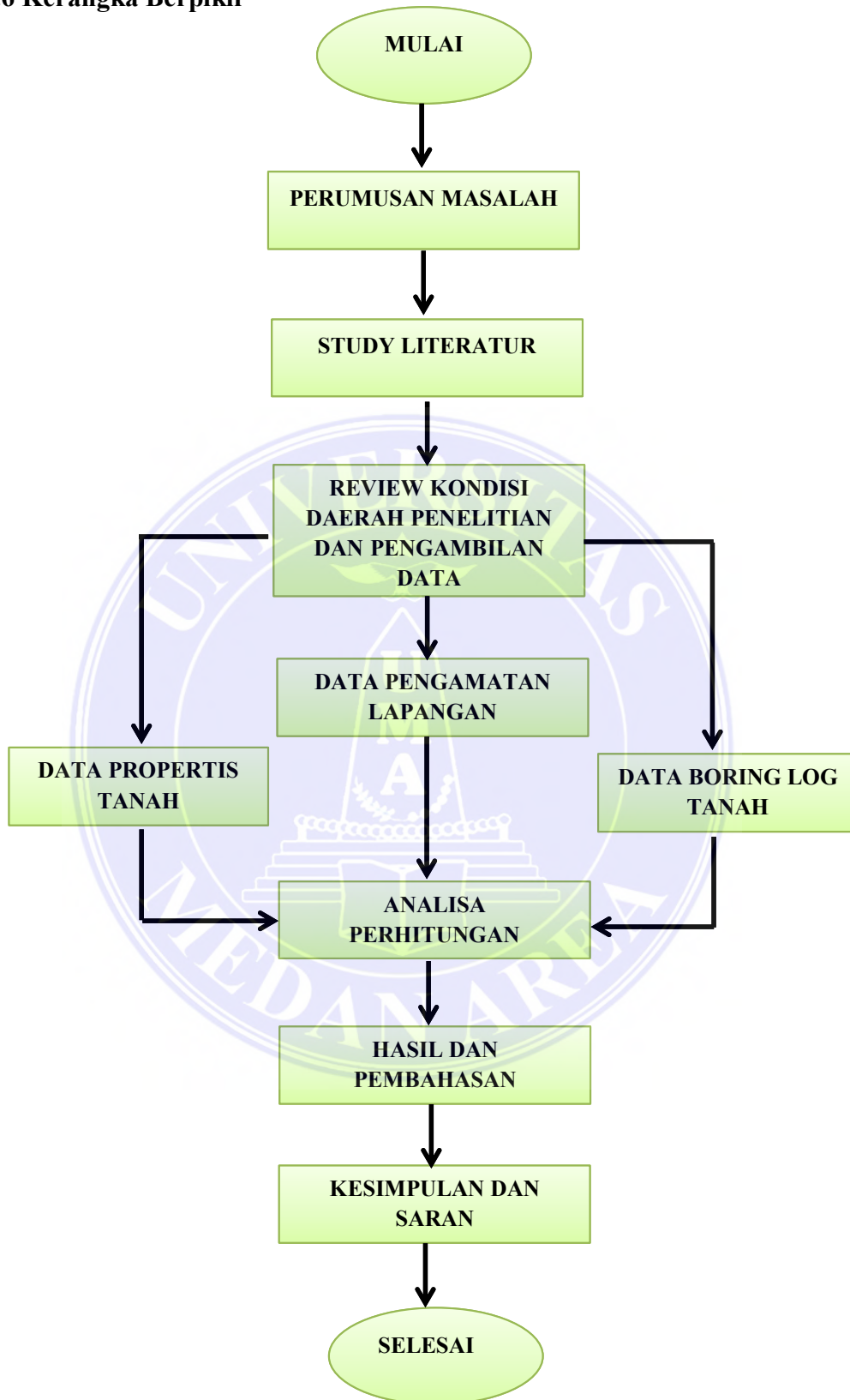
1. Data - data tanah yang digunakan dalam menganalisa besar penurunan dan lamanya waktu konsolidasi yang terjadi didapatkan dari hasil test lapangan
2. Perhitungan lama waktu tanah mendisipasi air pori ditinjau hingga mencapai derajat konsolidasi 95%
3. Metode perbaikan tanah yang dianalisa hanya metode secara *Preloading*
4. Data pembanding lapangan yang digunakan adalah *Settlement Plate 27*.
5. Data akan dianalisa menggunakan teori Konsolidasi 1 Dimensi Terzaghi.
6. Data tanah yang akan dianalisa adalah hasil pengujian di Borelog BH-02.

1.5. Metode Pengumpulan Data

Metode dalam pengumpulan diperoleh dari pengujian laboratorium , pengamatan langsung di lapangan dan koefisien-koefisien yang ada diperoleh dari study literature dan penelitian sebelumnya.



1.6 Kerangka Berpikir



Gambar 1.1 Bagan Alir Penelitian

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Umum

Tanah terbentuk berlapis-lapis karena adanya proses fisik, kimia, dan biologi yang meliputi transformasi bahan tanah. Dikalangan Insinyur Sipil itu, materi penyusun kerak bumi dibagi menjadi 2 yaitu tanah dan batuan.

Tanah merupakan kumpulan butiran mineral alami (agregat) yang bisa dipisahkan dengan suatu cara mekanis bila agregat tersebut diaduk dalam air.

Batuan adalah agregat yang mineralnya satu sama lain diikat oleh gaya-gaya kohesif yang permanen dan kuat, serta tidak bisa dipisahkan dengan cara mekanis sederhana.

Dalam penulisan ini batasan pengertian tentang tanah, menggunakan kriteria yang dipahami dalam bidang ilmu teknik sipil.

Istilah pasir (*sand*), lempung (*clay*), lanau (*silt*) dan lumpur (*mud*), digunakan untuk menggambarkan ukuran partikel tanah pada batasan ukuran butiran yang telah ditentukan, sekaligus digunakan untuk menjelaskan sifat fisis tanah.

2.2. 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 sama lain dan bahan-bahan organik 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 dibangun 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 di lapangan 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 sifat tanah yang kurang mampu mendukung bangunan yang akan didirikan di atasnya, maka harus dilakukan perbaikan 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.

2.3. Klasifikasi Tanah

Sistem klasifikasi tanah adalah suatu sistem pengaturan beberapa jenis tanah yang berbeda-beda namun memiliki sifat yang serupa yang dimasukkan ke dalam kelompok-kelompok dan sub-sub kelompok berdasarkan pemakaiannya. Sistem klasifikasi memberikan suatu bahasa yang mudah untuk menjelaskan secara singkat 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 jeni-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 (*sandy clay*), lempung berlanau (*silty clay*), dan seterusnya.

2.4. 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:

- 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 bercampur butir-butiran ukuran lanau maupun pasir dan mungkin juga terdapat campuran bahan organik.

2.4.1 Karakteristik Tanah Lunak

Karakteristik dari tanah lunak yaitu memiliki gaya geser yang kecil, kemampatan 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 di lapangan dan di 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 (G_s) berkisar antara 2,6 – 2,9. Nilai berat jenis untuk berbagai jenis tanah dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1. Berat Jenis (Gs) berbagai jenis tanah

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

Sumber : Dasar- Dasar Mekanika Tanah (Ir. H. Darwis, M.Sc, 2018)

2.4.2 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 kandungannya, terlihat dalam Tabel 2.2

Tabel 2.2. Klasifikasi tanah berdasarkan tekstur tanah

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

Sumber : Dasar- Dasar Mekanika Tanah (Ir. H. Darwis, M.Sc, 2018)

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

1) Tanah Organik

Tanah organik (O) adalah tanah yang dikelompokkan sedemikian berdasarkan kandungannya 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, dimana tanah berbutir halus dibagi dalam sub kelompok sebagai lanau (M) dan lempung (C). Lanau adalah tanah berbutir halus yang memiliki nilai Batas Cair dan Indeks Plastisitas yang jika digambarkan ke dalam grafik pada Gambar 2.2. akan terletak di bawah garis-A, sementara untuk lempung akan berada di atas garis tersebut. Hubungan antara konsistensi dan kuat tekan bebas (q_u) untuk tanah lempung dapat dilihat dalam Tabel 2.3.

Tabel 2.3. Hubungan antara konsistensi dan kuat tekan bebas (q_u)

Konsistensi	q_u (kN/m ²)
Sangat lunak	< 25
Lunak	25 - 50
Sedang	50 - 100
Kaku	100 - 200
Sangat kaku	200 - 400
Keras	> 400

Sumber : Teknik Pondasi 1 (Hardiyatmo, 2002)

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 2.3. Prosedur identifikasi lapangan memberikan beberapa petunjuk mengenai indikasi dari kekuatan lempung tersebut seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4. Indikator kuat geser tak terdrainase tanah lempung lunak

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

Sumber : Panduan Geoteknik 1, 2002

3) Gambut

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 2.5

Tabel 2.5. Klasifikasi tanah gambut berdasarkan kadar serat

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

Sumber : Panduan Geoteknik 1, 2002

2.5. Permasalahan Pada 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 perkerasan dan beban dari konstruksi yang akan dibangun nantinya. Lokasi eksisting Proyek Reklamasi Belawan atau pembukaan lahan baru di dekat pantai yang memiliki kadar air yang tinggi 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 apabila 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 S_{total} mempunyai 3 komponen :

$$S_{total} = S_i + S_c + S_s \quad (2.1)$$

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.

Daya dukung tanah yang rendah akan mengganggu stabilitas dari timbunan. Hal ini menyebabkan tinggi timbunan yang dapat dilakukan akan sangat terbatas, sehingga untuk timbunan yang tinggi perlu dilakukan secara bertahap (*stage construction*) atau diberikan perkuatan, antara lain dengan menggunakan *berm* (dinding penahan longsor).

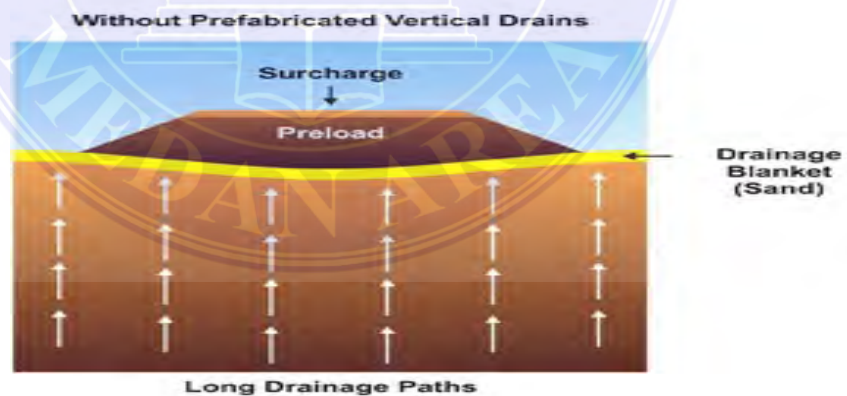
2.6. Metode Perbaikan Tanah Lunak

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.

Metode pembebanan awal (*Preloading*) pada tanah lunak merupakan salah satu metode yang paling populer digunakan untuk meningkatkan kekuatan geser

tanah lunak dan mengontrol penurunan yang terjadi pasca konstruksi (*post-construction settlement*). Karena permeabilitas tanah lunak sangat rendah, maka waktu konsolidasi untuk mencapai penurunan atau kuat geser yang diinginkan mungkin memakan waktu yang terlalu lama.

Tujuan dari pemberian awal (*preloading*) pada tanah lunak yaitu untuk mempercepat konsolidasi pada lapisan lempung (lunak) dan memperbaiki stabilitas pada lempung lunak. Penggunaan perbaikan tanah dengan *preloading* dapat mempercepat konsolidasi dengan cara memberi pembebanan awal diatas tanah lunak atau secara umumnya dengan menggunakan tanah timbunan sebagai *preloading* nya. Sistem ini telah digunakan untuk memperbaiki sifat tanah dasar untuk tanggul, proyek reklamasi, pelabuhan dan juga bandar udara. Pada tugas akhir ini, metode perbaikan tanah yang digunakan adalah *preloading* (pembebanan awal).



Gambar 2.1 Aliran air pori pada tanah

Preloading atau pembebanan awal adalah metode perbaikan tanah lunak dengan cara melakukan penimbunan (menambahkan) beban yang besarnya lebih besar atau sama dengan beban konstruksi yang akan direncanakan diatas tanah lunak. Timbunan pada lapisan tanah lempung

berfungsi sebagai *preloading* yang akan mempercepat proses konsolidasi. Dengan terdisipasinya air pori pada lapisan tanah tersebut maka akan meningkatkan kuat geser tanah dan kohesi tanah, sehingga lapisan tanah tersebut dapat memikul beban yang besar dan mempengaruhi tinggi timbunan yang akan dipergunakan. Penentuan tinggi timbunan disesuaikan dengan nilai penurunan.

Penentuan tinggi timbunan ini bertujuan agar tanah timbunan tidak terbuang sia-sia dan. Tinggi timbunan kritis beban preloading ini dihitung berdasarkan daya dukung tanah lempung mula-mula, kemudian dibandingkan dengan tinggi timbunan atau beban yang mampu diterima oleh tanah dasar yaitu H kritis (H_{cr}).

Langkah-langkah pemberian beban preloading secara bertahap adalah sebagai berikut:

- a. Menghitung pemampatan yang akan terjadi akibat timbunan setinggi H_{cr} (beban tahap I).
- b. Menghitung besar pemampatan untuk U rata-rata = 90% dan waktu yang diperlukannya yaitu St_1 dan t_1 .
- c. Menghitung peningkatan daya dukung tanah akibat pemampatan sebesar

St_1 , dengan menggunakan persamaan:

$$\frac{\Delta c_u}{p'_o} = 0,11 + 0,0037 PI \quad (2.2)$$

Dimana:

Δc_u = Peningkatan kuat geser akibat pemampatan (t/m^2)

p'_o = Tegangan overburden efektif setelah pemampatan (t/m^2)

PI = Plasticity Index (%)

c_u = Kuat geser mula-mula (t/m^2)

c'_u = Kuat geser setelah pemampatan (t/m^2)

- d. Menghitung penambahan tinggi timbunan (beban tahap II) berdasarkan daya dukung tanah yang telah meningkat yang dihitung pada langkah no.3.
- e. Menghitung besar pemampatan akibat beban tahap II untuk U rata-rata = 90% dan waktu yang diperlukannya, St_1 dan t_2 .
- f. Menghitung peningkatan daya dukung setelah pemampatan akibat beban tahap II terjadi.
- g. Menentukan beban tahap III seperti langkah sebelumnya sehingga sampai total pemampatan yang harus dihilangkan tercapai. Pada akhir tahap pemberian beban, dapat diketahui tinggi akhir dari timbunan harus sama dengan tinggi timbunan rencana.

Daya dukung tanah lempung dalam perencanaan beban *preloading* dihitung sebagai berikut:

$$q_u = 2 \cdot C_u \quad (2.3)$$

(nilai C_u diambil dari kohesi tanah dasar dari tipe jenis material tanah yang dipakai untuk timbunan)

$$q_u = \gamma_{\text{timb}} \cdot H_{cr}$$

Maka

$$H_{cr} = \frac{2 C_u}{\gamma_{\text{timb}}} \quad (2.4)$$

Dimana: q_u = Daya dukung tanah (t/m^2)

C_u = Kohesi tanah dasar (t/m^2)

γ_{timbunan} = Berat volume tanah timbunan (t/m^3)

H_{cr} = Tinggi timbunan kritis (m)

Durasi penurunan dengan metode *preloading* dengan timbunan (*surcharge*) umumnya berkisar antara 3-8 bulan mulai dari penempatan timbunan diatas tanah lunak yang akan dilakukan perbaikan sampai timbunan diangkat yaitu penurunan yang terjadi umumnya berkisar 0,3 – 2,0 meter (Stamatopoulos, 1985).

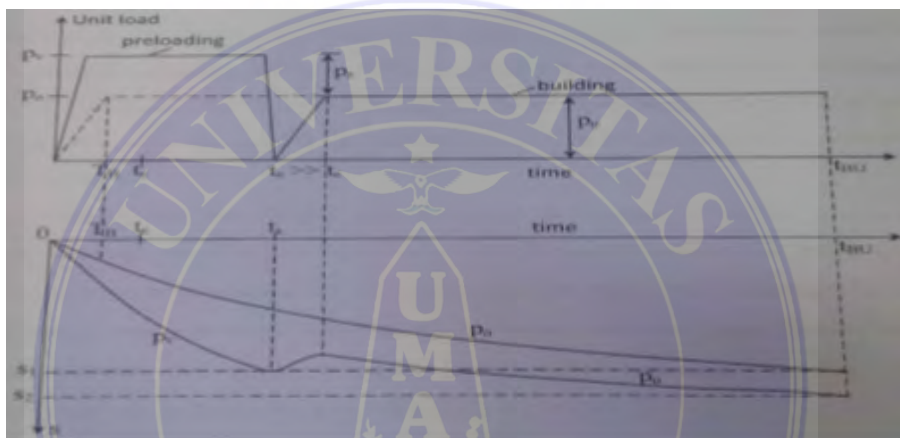
Studi ini dilakukan untuk mengetahui percepatan waktu konsolidasi yang dihasilkan dari proses metode *preloading* dan mencapai konsolidasi primer pada derajat konsolidasi yang sama.

Menurut Stamatopoulos, (1985) adapun beberapa syarat yang harus diperhatikan dalam pengaplikasian metode *preloading* pada suatu tanah (lahan) yaitu :

- a. Penurunan yang terjadi masih dalam rentang batas toleransi yang ada
- b. Tersedia lahan tambahan yang cukup luas untuk mengakomodir sekitar 10 meter atau lebih diluar perimeter struktur rencana
- c. Tersedianya material untuk timbunan
- d. Tersedianya alat angkut material yang memiliki kapasitas volume angkut yang besar
- e. Adanya penanganan yang baik oleh *Engineer* yang mengerjakan.

Prinsip dari *preloading* dijelaskan pada Gambar 2.3, dimana besar beban yang direncanakan adalah sebesar P_0 dan penurunan total yang terjadi dalam selang waktu t_{BU} adalah sebesar S_1 (garis P_0). Akibat beban tambahan sebesar P_s maka beban total (P_v yang sebesar $(P_0 + P_s)$ akan menghasilkan penurunan yang semakin besar (garis P_v), sehingga

penurunan total tanah akibat beban rencana p_0 dapat tercapai dalam waktu yang lebih singkat t_s . Setelah penurunan akibat beban rencana tercapai, seluruh beban sementara ini (P_p) dihilangkan dan beban bangunan (P_s) kemudian diberikan. Perbedaan penurunan total akibat beban rencana tanpa preloading dan akibat pembebanan awal (*preloading*) setelah mencapai waktu t_{BU} adalah sebesar $S_2 - S_1$ yang merupakan penurunan yang terjadi akibat beban rencana dan akibat beban *preloading*.



Gambar 2.2 Proses Pemberian Pembebanan Awal (*Preloading*)

Dengan adanya penambahan beban awal diatas tanah, maka partikel-partikel tanah akan semakin padat dan jumlah penampang butiran tanah yang saling menempel satu sama lain dan akan semakin meningkat serta akan meningkatkan kuat geser tanah (*shear strength*). Hal ini berarti bahwa pada saat pembebanan awal, tanah kohesif akan meningkatkan kuat gesarnya dan meningkatkan daya dukung terhadap *compression* yang lebih besar.

Proses pembebanan awal (*preloading*) dikatakan berjalan dengan lancar

apabila:

- a. Waktu dari *preloading* sesuai dengan jadwal rencana konstruksi

- b. Tidak terjadi kelongsoran pada bagian dasar *preloading* dari tahap awal sampai tahap akhir (pembangunan konstruksi)
- c. Penurunan yang terjadi masih dalam batas toleransi
- d. Biaya yang dikeluarkan sesuai dengan rencana.

Langkah awal dalam pekerjaan perbaikan tanah adalah dengan melakukan penyelidikan lokasi yang ada untuk mengetahui kondisi umum lokasi seperti :

1. Data mengenai kondisi lapisan tanah
2. Batasan tentang perubahan volume tanah karena pengaruh tekanan (*compresibel*)
3. Ketinggian muka air tanah

2.7. 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, keluarnya 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 mampumampat (*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 laun 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:

2.7.1 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 (1977), 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 total tanah akan menjadi lebih kecil (Gambar 2.3). 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, kerana 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 ditekan (*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*)

2.7.2 Penurunan Segera (*Immediate Settlement - Si*)

Penurunan segera merupakan penurunan tanah 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

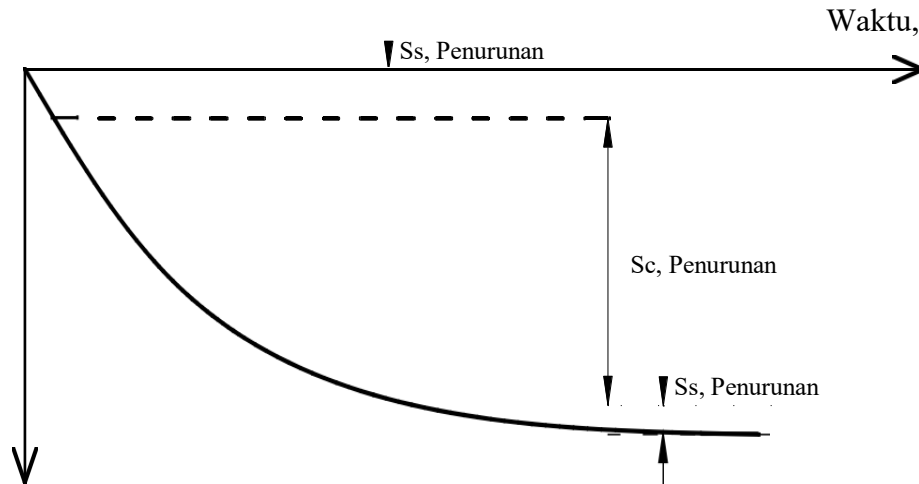
Bilamana suatu lapisan tanah jenuh air diberi penambahan beban, angka tekanan air pori akan naik secara mendadak. Pada tanah berpasir yang tembus air (*permeable*), air dapat mengalir dengan cepat sehingga pengaliran air pori keluar sebagai akibat dari kenaikan tekanan air pori dapat terjadi dengan cepat.

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

2.7.3 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 di lihat pada (Gambar 2.3)



Gambar 2.3 Tahap Penurunan Tanah

Penurunan tanah (*ground settlement*) terjadi tergantung dari jenis tanah, pada umumnya dari ketiga 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

2.8. 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 di atas 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 pada 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 perubahan volume $\Delta v = \frac{\Delta e}{\Delta v}$
- d) Koefisien permeabilitas k merupakan konstanta. Perubahan temperatur dari sekitar 10 sampai 20⁰C 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

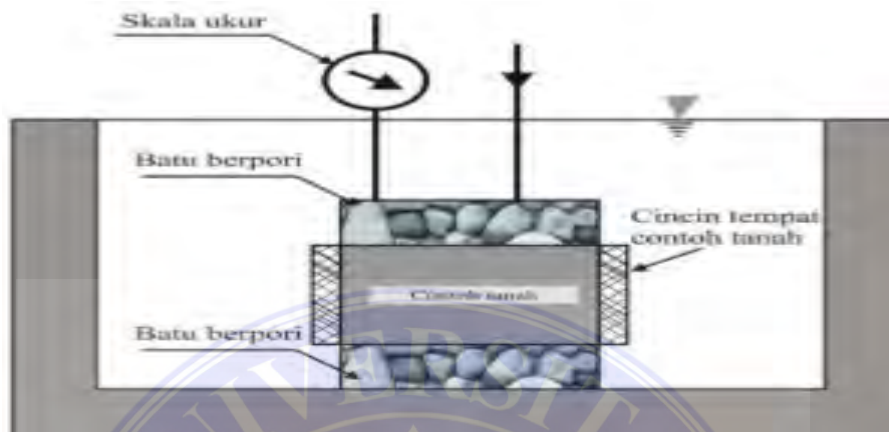
2.8.1 Uji Konsolidasi Satu Dimensi

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 pada satu arah yaitu pada arah vertical.

Prosedur untuk melakukan uji konsolidasi satu dimensi (1-D) pertama-tama diperkenalkan oleh Terzaghi. Uji tersebut dilakukan di dalam sebuah konsolidometer (oedometer). Skema konsolidometer ditunjukkan dalam Gambar 2.4. Contoh tanah diletakkan di dalam cincin logam dengan dua buah batu berpori diletakkan di atas dan di bawah contoh tanah tersebut. Ukuran contoh tanah yang digunakan biasanya adalah: diameter 2,5 inci (63,5 mm) dan tebal 1 inci (25,4 mm). Pembebanan pada contoh tanah dilakukan dengan cara meletakkan beban pada ujung sebuah balok datar; dan pemampatan contoh tanah diukur dengan menggunakan skala ukur dengan skala mikrometer. 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 2.5. Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa ada tiga tahapan berbeda yang dapat dijelaskan sebagai berikut:

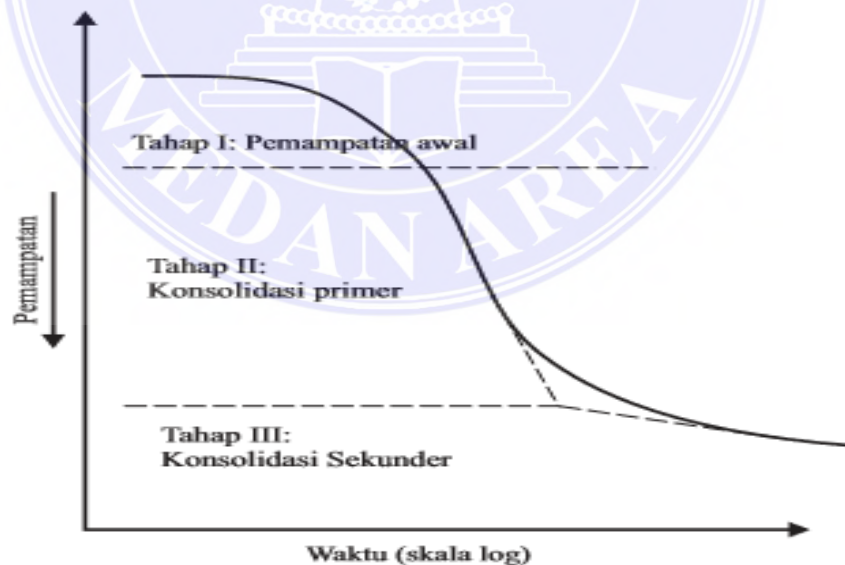
Tahap 1: Pemampatan awal (*initial compression*), yang pada umumnya disebabkan oleh pembebanan awal (*preloading*).

Tahap II: Konsolidasi 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 2.4 Konsolidometer (Sumber : Braja M Das, 1995)

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



Gambar 2.5 Grafik waktu – pemampatan selama konsolidasi untuk suatu penimbunan beban (Sumber : 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 homogen.
- b) Tanah benar-benar jenuh.
- c) Kemampumampatan air diabaikan.
- d) Kemampumampatan butiran tanah diabaikan.
- e) Aliran air hanya satu arah saja (yaitu pada arah pemampatan).
- f) Hukum Darcy berlaku.

Secara matematis, dasar persamaan diferensial dari teori konsolidasi oleh Terzaghi adalah sebagai berikut:

$$\frac{\partial u}{\partial t} = C_v \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \quad (2.5)$$

Dimana :

u = tekanan air pori (KN/m^2)

t = waktu peninjauan (s)

z = kedalaman peninjauan (m)

$\frac{\partial u}{\partial t}$ = turunan pertama tekanan air pori terhadap waktu

$\frac{\partial^2 u}{\partial z^2}$ = turunan kedua tekanan air pori terhadap kedalaman

2.8.2 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:

- Jika (U_v) \leq 60% maka:

$$U_v = \frac{\sqrt{\frac{4 T_v}{\pi}}}{(1 + (\frac{4 T_v}{\pi})^{2.8})^{0.178}} \quad (2.6)$$

- Jika (U_v) $>$ 60% maka:

$$U_v = 1 - \frac{8}{\pi^2} \sum_{m=0}^{m=\infty} \left(\frac{1}{(2m+1)^2} \right) \text{Exp}^{-[\pi^2 (2m+1)^2 / 4] T_v} \quad (2.7)$$

Dimana :

m = bilangan bulat

T_v = faktor waktu

C_v = koefisien konsolidasi arah vertikal ($cm^2/detik$)

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

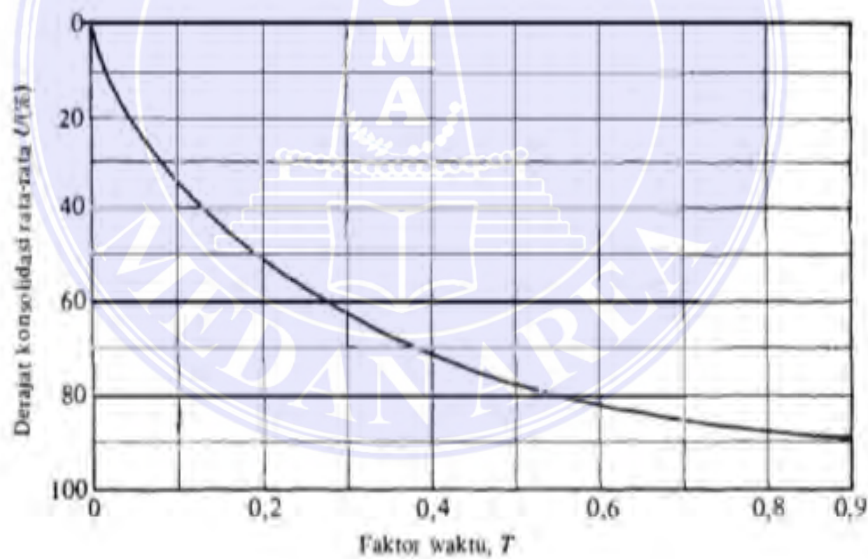
exp = 2,7182818

Variasi derajat konsolidasi rata-rata terhadap faktor waktu yang tak berdimensi T_v diberikan dalam Tabel 2.6. yang berlaku untuk keadaan dimana U_o (tegangan air pori awal) adalah sama untuk seluruh kedalaman lapisan yang mengalami konsolidasi. Harga faktor waktu dan derajat konsolidasi rata-rata yang bersesuaian dengan keadaan yang diberikan dalam Tabel 2.6. dapat dinyatakan dengan suatu hubungan yang sederhana:

Tabel 2.6 Variasi faktor waktu terhadap derajat konsolidasi

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

Sumber : Braja M Das, 1995



Gambar 2.6 Grafik variasi derajat konsolidasi rata-rata terhadap faktor waktu, T_v
(Sumber: Braja M. Das, 1995)

2.8.3 Koefisien Konsolidasi Vertikal

Koefisien konsolidasi vertikal, C_v biasanya akan berkurang dengan bertambahnya batas cair (LL) dari tanah. Rentang (*range*) dari variasi harga

C_v untuk suatu batas cair tanah tertentu adalah agak lebar. Koefisien konsolidasi vertikal (C_v) menentukan kecepatan pengaliran air pada arah vertikal dalam tanah. Karena pada umumnya konsolidasi berlangsung satu arah saja, yaitu arah vertikal, maka koefisien konsolidasi sangat berpengaruh terhadap kecepatan konsolidasi yang akan terjadi. Harga C_v dapat dicari mempergunakan persamaan berikut ini:

$$C_v = \frac{T_v H^2}{t} \quad (2.8)$$

Dimana :

C_v = koefisien konsolidasi vertikal ($cm^2/detik$)

T_v = faktor waktu derajat konsolidasi vertikal

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

t = Waktu yang dibutuhkan untuk mencapai derajat konsolidasi U%

2.8.4 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

1. Hitung tinggi butiran padat, H_s pada contoh tanah (Gambar 2.7)

$$H_s = \frac{W_s}{A.G_s.\gamma_w} \quad (2.9)$$

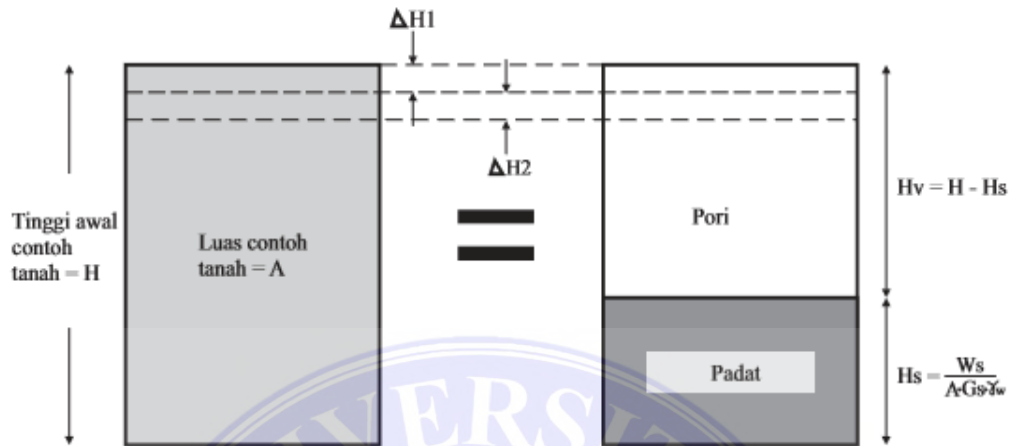
Dimana : W_s = Berat kering contoh tanah

A = Luas penampang contoh tanah

G_s = Berat spesifik contoh tanah

γ_w = Berat volume air

- Hitung tinggi awal dari ruang pori, H_v :



Gambar 2.7 Perubahan tinggi contoh tanah pada uji konsolidasi satu dimensi (Sumber: Braja M Das jilid 1, 1995)

$$H_v = H - H_s \quad (2.10)$$

Dimana H = tinggi awal tanah contoh

- Hitung angka pori awal, e_0 , dari contoh tanah

$$e_0 = \frac{V_v}{V_s} = \frac{H_v \cdot A}{V_s \cdot A} = \frac{H_v}{H_s} \quad (2.11)$$

- Untuk penambahan beban pertama P_1 (beban total/luas penampang contoh tanah), yang menyebabkan penurunan ΔH_1 , hitung penurunan Δe_1 :

$$\Delta e_1 = \frac{\Delta H_1}{\Delta H_s} \quad (2.12)$$

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

- Hitung angka pori yang baru, e_1 , setelah konsolidasi yang disebabkan oleh penambahan tekanan P_1 :

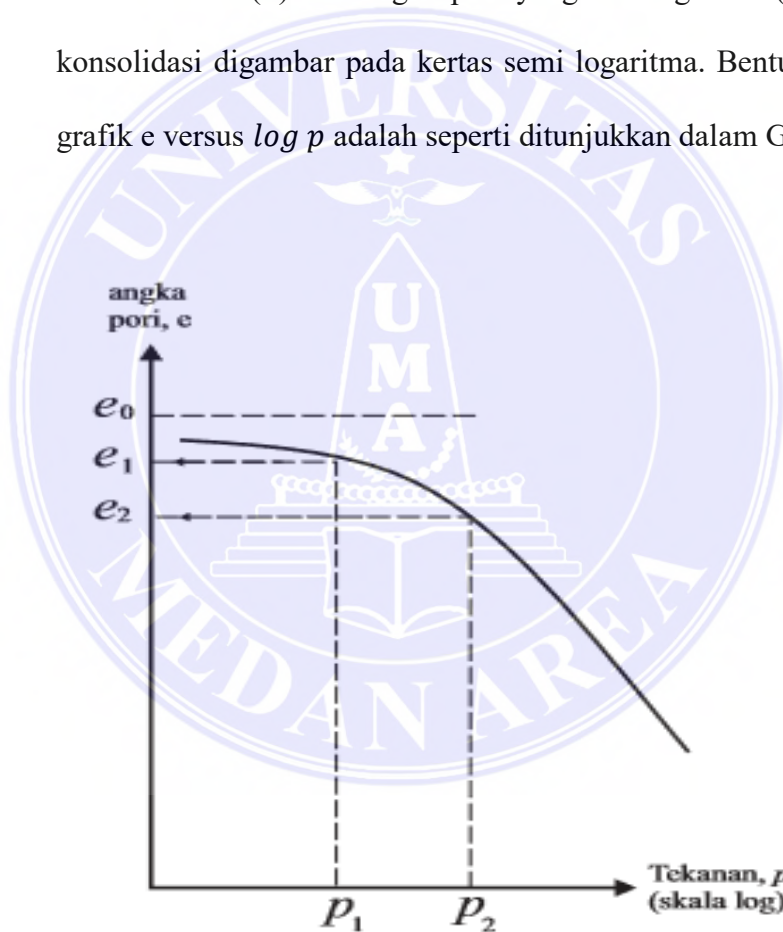
$$e_1 = e_0 - \Delta e_1 \quad (2.13)$$

Untuk beban berikutnya yaitu P_2 (beban komulatif per satuan luas contoh tanah), yang menyebabkan penambahan pemampatan sebesar ΔH_2 , angka pori e_2 pada saat akhir konsolidasi dapat dihitung sebagai

$$\text{berikut: } e_2 = e_1 - \frac{\Delta H_2}{H_s} \quad (2.14)$$

Dengan melakukan cara yang sama, angka pori pada saat akhir konsolidasi untuk semua penambahan beban dapat diperoleh

Tekanan total (P) dan angka pori yang bersangkutan (e) pada akhir konsolidasi digambar pada kertas semi logaritma. Bentuk umum dari grafik e versus $\log p$ adalah seperti ditunjukkan dalam Gambar 2.8



Gambar 2.8 Bentuk grafik e versus $\log p$

2.8.5 Lempung yang Terkonsolidasi Secara Normal (Normally Consolidated) dan Terlalu Terkonsolidasi (Over Consolidated)

Gambar 2.10 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:

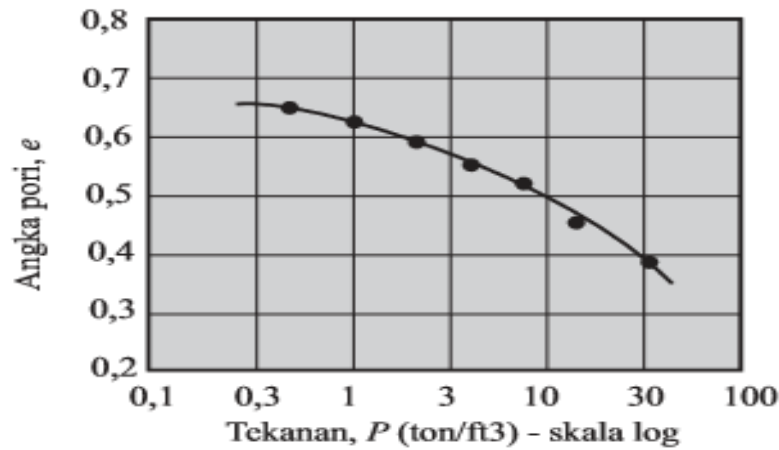
Suatu tanah di lapangan dengan suatu kedalaman tertentu dalam sejarah geologinya telah mengalami tekanan efektif maksimum akibat berat tanah di atasnya (*maximum effective overburden pressure*). tekanan efektif *overburden* maksimum ini mungkin sama dengan atau lebih kecil dari tekanan *overburden* yang ada pada saat pengambilan contoh tanah. Berkurangnya tekanan di lapangan 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.

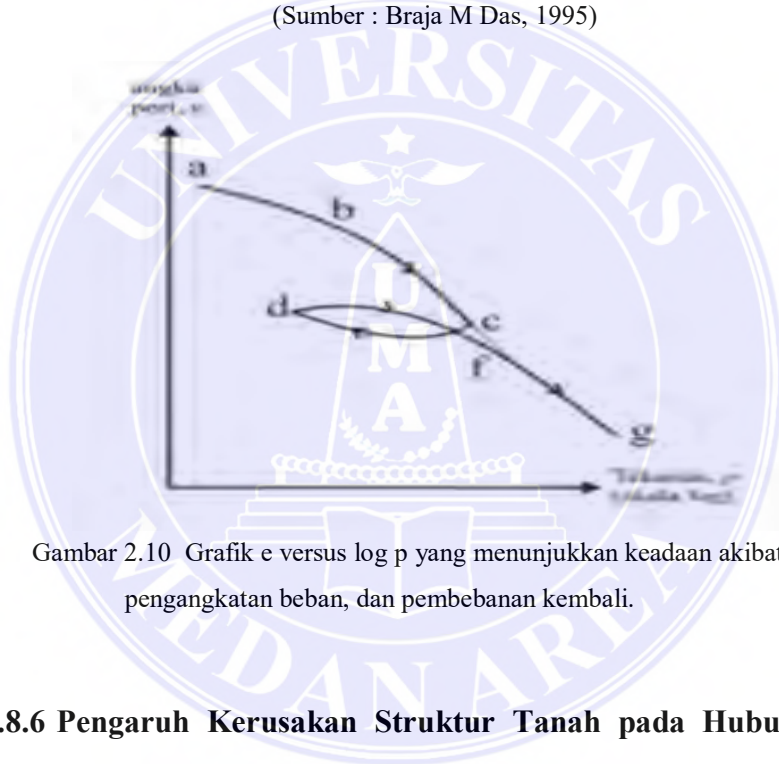
Untuk lebih jelasnya dapat pada Gambar 2.10 Keadaan ini dapat dibuktikan di laboratorium dengan cara membebani contoh tanah melebihi tekanan overburden maksimumnya, lalu beban tersebut diangkat (*unloading*) dan diberikan lagi beban (*reloading*). Grafik e versus $\log p$ untuk keadaan tersebut ditunjukkan dalam (Gambar 2.10), di mana 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:

1. Terkonsolidasi secara normal (*normally consolidated*), dimana tekanan efektif overburden pada saat ini adalah merupakan tekanan maksimum yang pernah dialami oleh tanah itu.
2. 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 2.9 Variasi angka pori terhadap tekanan
(Sumber : Braja M Das, 1995)



Gambar 2.10 Grafik e versus log p yang menunjukkan keadaan akibat pembebanan, pengangkatan beban, dan pembebanan kembali.

2.8.6 Pengaruh Kerusakan Struktur Tanah pada Hubungan Antara Angka Pori dan Tekanan

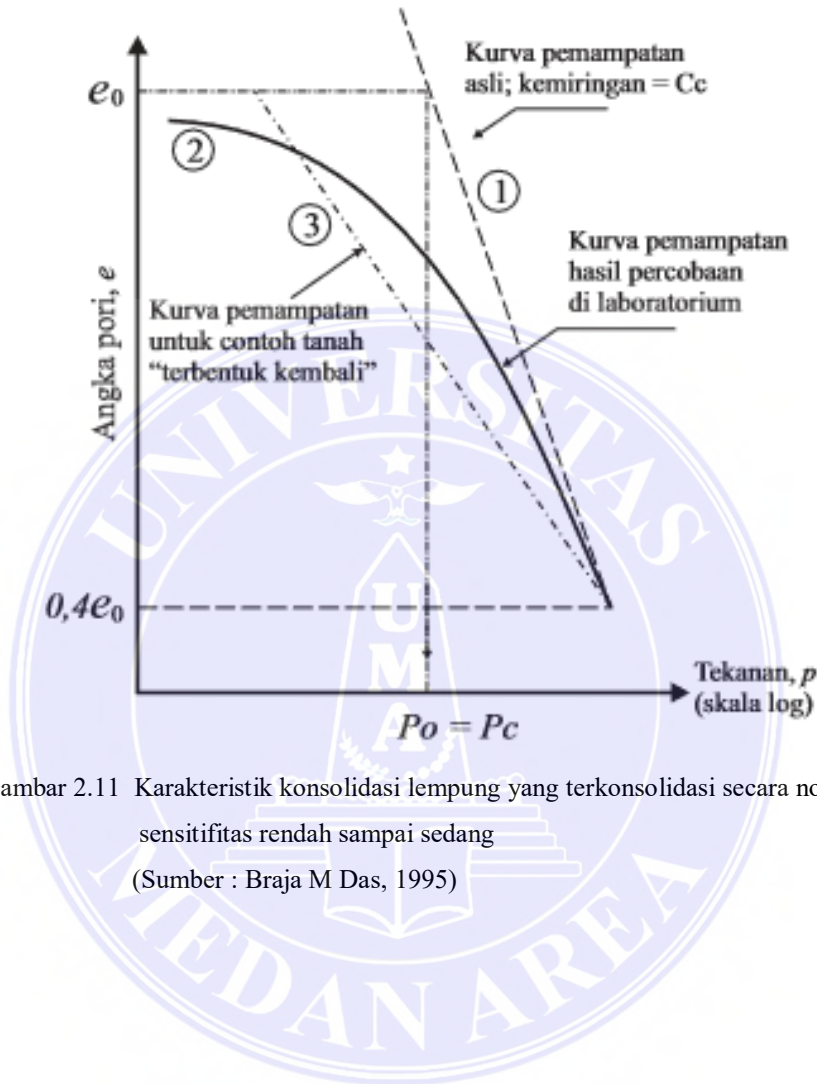
Suatu tanah dikatakan "terbentuk kembali" (*remolded*) apabila struktur dari tanah itu terganggu (*disturbed*). Keadaan ini akan mempengaruhi bentuk grafik yang menunjukkan hubungan antara angka pori dan tekanan dari tanah yang bersangkutan. Untuk suatu tanah lempung yang terkonsolidasi secara normal dengan derajat sensitivitas rendah sampai sedang (Gambar 2.11) serta angka pori e_0 dan tekanan efektif *overburden*

P_o , perubahan angka pori sebagai akibat dari penambahan tegangan di lapangan secara kasar dapat ditunjukkan seperti Kurva 1.

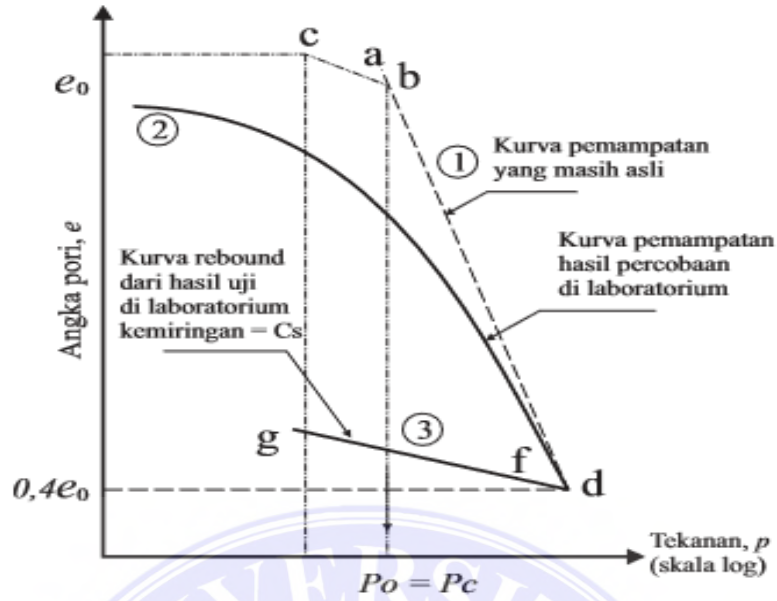
Kurva yang hampir merupakan garis lurus apabila digambar pada kertas semi-logaritma tersebut dinamakan sebagai kurva pemampatan asli (*virgin compression curve*). Tetapi, kurva hasil uji konsolidasi di laboratorium untuk contoh tanah yang struktur tanahnya tidak rusak (*undisturbed*) dari tanah yang sama adalah Kurva 2 yang terletak di sebelah kiri 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 $e = 0,4 e_o$ (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 2.12) serta angka pori e_o dan tekanan efektif *overburden* P_o , 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. Di lapangan, jenis tanah tersebut umumnya

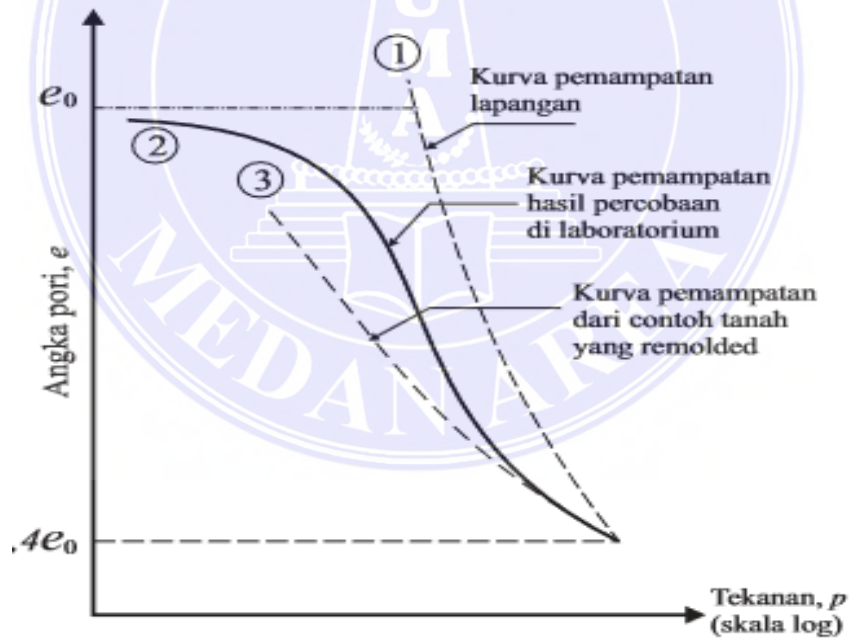
sedikit prakonsolidasi (*preconsolidated*). Karakteristik konsolidasi tanah seperti ini ditunjukkan dalam (Gambar 2.13)



Gambar 2.11 Karakteristik konsolidasi lempung yang terkonsolidasi secara normal dengan sensitifitas rendah sampai sedang (Sumber : Braja M Das, 1995)



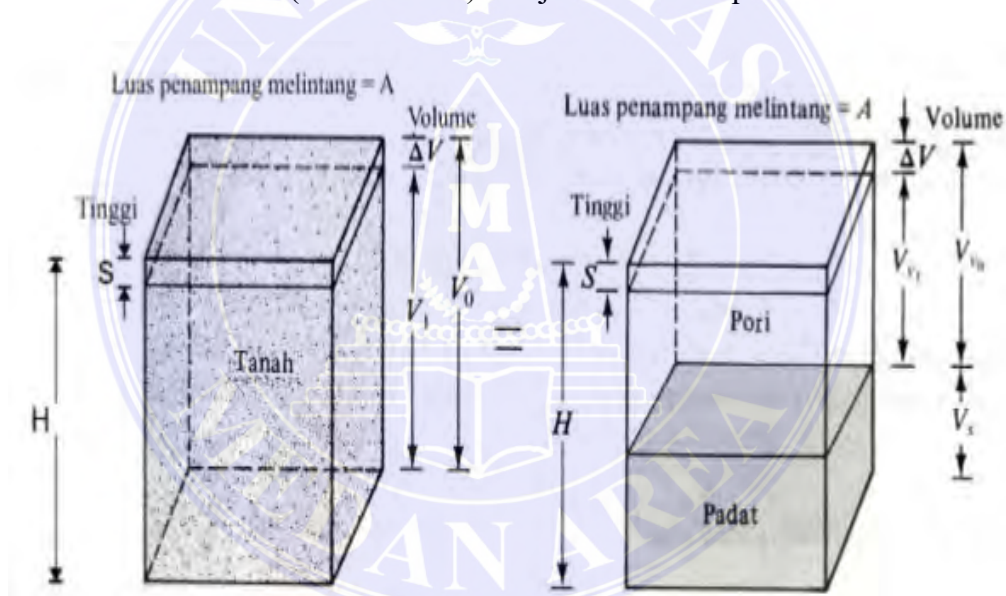
Gambar 2.12 Karakteristik konsolidasi lempung yang terlalu terkonsolidasi (*overconsolidated*) dengan sensitifitas rendah sampai sedang.
(Sumber : Braja M Das, 1995)



Gambar 2.13 Karakteristik konsolidasi lempung yang sensitive
(Sumber : Braja M Das)

2.8.7 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 di lapangan, 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 P_0 . Disebabkan oleh penambahan tekanan sebesar Δp , dianggaplah penurunan konsolidasi primer yang terjadi adalah sebesar S . (Gambar 2.14) menjelaskan kasus penurunan tersebut.



Gambar 2.14 Penurunan yang disebabkan oleh konsolidasi satu dimensi (Sumber : Braja M Das , 1995)

Volume pori dapat ditentukan dengan menggunakan rumus :

$$S\Delta v = V_0 - V_1 = H \cdot A - (H - S) \cdot A = S \cdot A \quad (2.15)$$

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

$$\Delta V = S \cdot A = V_{v0} - V_{v1} \quad (2.16)$$

Dimana V_{v0} dan V_{v1} berturut-turut adalah volume awal dan volume akhir dari pori.

Dari definisi angka pori

$$\Delta V_v = \Delta e \cdot V_s \quad (2.17)$$

Dimana Δe = perubahan angka pori

Tapi

$$V_s = \frac{V_o}{1+e_0} = \frac{AH}{1+e_0} \quad (2.18)$$

dimana e_0 = angka pori awal pada saat volume tanah sama dengan V_o . Jadi dari persamaan-persamaan diatas maka di dapat :

$$\Delta V = S \cdot A = \Delta e \cdot V_s = \frac{AH}{1+e_0} \Delta e \quad (2.19)$$

atau

$$S = H \frac{\Delta e}{1+e_0} \quad (2.20)$$

Untuk lempung yang terkonsolidasi secara normal dimana e versus $\log p$ merupakan garis lurus (Gambar 2.10) maka:

$$\Delta e = C_c [\log(P_0 + \Delta p) - \log P_0] \quad (2.21)$$

dimana C_c = kemiringan kurva Δe versus $\log P_0$ dan didefinisikan sebagai “indeks pemampatan” (*compression index*).

Masukan persamaan maka diperoleh persamaan

$$S = \frac{C_c H}{1+e_0} \log\left(\frac{P_0 + \Delta P}{P_0}\right) \quad (2.22)$$

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

$$S = \sum \frac{C_c H_i}{1+e_0} \log \left(\frac{P_{oi} + \Delta P_i}{P_{oi}} \right) \quad (2.23)$$

Dimana :

S = Penurunan total

H = Tebal lapisan tanah lunak yang memampat (m)

H_i = Sub lapisan i

P_{0 i} = Tekanan efektif *overburden* untuk sub-lapisan i (t/m²)

P_c = tegangan prakonsolidasi efektif (t/m²)

ΔP_i = Penambahan tekanan vertical untuk sub-lapisan i (t/m²)

C_c = Indeks pemampatan (*Compression Index*)

C_s = Indeks pemuaiian (*Swelling Index*)

e₀ = Angka pori awal (*Initial Void Ratio*)

Untuk lempung yang terlalu terkonsolidasi (*overconsolidated*),

(Gambar 2.12) apabila $(P_o + \Delta P) \leq P_c$ lapangan, variasi *e* versus log *p* terletak di sepanjang *cb* dengan kemiringan yang hamper sama dengan kemiringan kurva pantul (*rebound curve*) yang didapat dari uji konsolidasi di laboratorium.

Kemiringan kurva pantul, C_s disebut “*indeks pemuaiian*” Jadi:

besarnya penurunan dapat dihitung dengan persamaan

- Bila $(P_o + \Delta P) \leq P_c$ maka :

$$S = \frac{C_s H}{1+e_0} \log \left(\frac{P_o + \Delta P}{P_o} \right) \quad (2.24)$$

- Bila $(P_o + \Delta P) > P_c$ maka:

$$S = \frac{C_s H}{1+e_0} \log \left(\frac{P_o + \Delta P}{P_o} \right) + \frac{C_c H}{1+e_0} \log \left(\frac{P_o + \Delta P}{P_o} \right) \quad (2.25)$$

$(P_0 + \Delta P) \leq P$ lapangan, variasi e versus $\log p$ terletak di sepanjang cb dengan kemiringan yang hamper sama dengan kemiringan kurva pantul (*rebound curve*) yang didapat dari uji konsolidasi di laboratorium.

Kemiringan kurva pantul, C_s disebut “*indeks pemuaian*” Jadi:

$$\Delta e = C_s [\log(P_0 + \Delta p) - \log P_0] \quad (2.26)$$

$$S = \frac{C_s H}{1+e_0} \log\left(\frac{P_0 + \Delta P}{P_0}\right) \quad (2.27)$$

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 dimasukan kedalam Persamaan (2.27) untuk menghitung besar penurunan S .

2.8.8 Indeks Pemampatan (*Compression Index, Cc*)

Indeks pemampatan digunakan untuk menghitung besarnya penurunan yang terjadi di lapangan sebagai akibat dari konsolidasi dapat ditentukan dari kurva yang menunjukkan hubungan antara angka pori dan tekanan seperti ditunjukkan oleh (Gambar 2.13) yang didapat dari uji konsolidasi di laboratorium. Ketika tekanan air pori sama dengan nol, penurunan masih terjadi sebagai akibat dari penyesuaian plastis butiran tanah. Tahap 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 (P_0). Apabila $\frac{\Delta p}{P_0}$ 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:

- Untuk lempung yang struktur tanahnya tak terganggu/belum rusak (*undisturbed*)
 $C_c = 0.009 (LL - 10)$
- Untuk lempung yang terbentuk kembali (*remolded*)
 $C_c = 0.007 (LL - 10)$

Dimanan LL (*Liquid Limid*) = 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). tertera pada Tabel 2.7

Tabel 2.7 Korelasi Empiris Penentuan Nilai Indeks Kompresi, C_c

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
$C_c = 0,01 \omega_n$	Lempung Chicago
$C_c = 0,0115 \omega_n$	Gambut, lanau organik, dan lempung
$C_c = 1,15 (e_o - 0.27)$	Lempung pada umumnya
$C_c = 0,30 (e_o - 0.27)$	Tanah kohesif non organik, lanau, lempung berlanau, lempung
$C_c = 0,75 (e_o - 0.5)$	Tanah berplastisitas rendah
$C_c = 0,208 e_o + 0.0083$	Lempung Chicago
$C_c = 0,156 e_o + 0.0107$	Lempung pada umumnya

(Sumber : Braja M Das, 1995)

2.8.9 Indeks Pemuaian (*Swell Index, Cs*)

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

$$C_s \approx \frac{1}{5} \text{ sampai } \frac{1}{10} C_c.$$

Batas cair (*Liquid Limit*), batas plastis, indeks pemampatan (*Compression Index*), dan indeks pemuaian (*Swell Index*) untuk tanah yang belum rusak strukturnya dapat dilihat pada (Tabel 2.8).

Tabel 2.8 Pemampatan dan Pemuaian Tanah Asli

Tanah	Batas Cair	Batas Plastis	Indeks Pemampatan C_c	Indeks Pemuaian C_s
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

(Sumber: Braja M Das, 1995)



BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Data Umum Lokasi

Lokasi yang dipilih untuk penelitian ini yaitu proyek Reklamasi Belawan.

Belawan Internasional Container Terminal (BICT), merupakan salah satu cabang pelabuhan peti kemas yang berada dibawah pengelolaan management PT. Pelabuhan Indonesia I yang berlokasi di Gabion, Belawan.

Lokasinya yang terletak di Kota Medan, Sumatera Utara dan merupakan salah satu daerah terpenting di Sumatera. Dengan titik koordinat geografisnya yaitu (03°47'LU 98°42'BT / 3,783°LU 98,7°BT). Daerah ini berjarak ± 24 km dari pusat kota Medan. Dengan luas areal lebih dari 200 ribu meter persegi.

Lokasi proyek terbagi menjadi beberapa bagian pekerjaan seperti proses pengerukan, pengerjaan kolam pelabuhan, pendalaman alur kapal dan reklamasi.

Analisa yang dilakukan hanya pada pekerjaan reklamasi saja dengan total luas area reklamasi sekitar 400 m x 405 m.

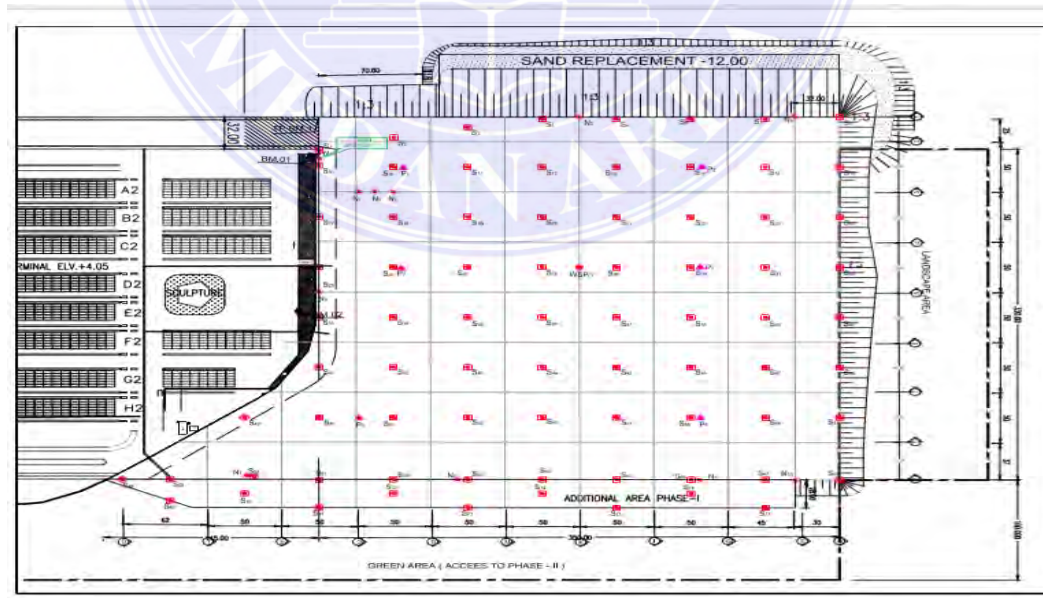


Gambar : 3.1 Lokasi Pekerjaan Reklamasi
(Sumber : Google Earth)

Penelitian akan dilakukan pada lokasi yang bertitik kuning. Pekerjaan proyek akan dibagi menjadi beberapa tahap pekerjaan yaitu pekerjaan pengerukan (*dredging*), pekerjaan pendalaman tempat kapal akan bersandar. Penelitian ini difokuskan pada proses perbaikan tanah yang menggunakan metode pembebanan awal (*preloading*).



Gambar : 3.2 Lokasi Pekerjaan Reklamasi
(Sumber : Google Earth)



Gambar : 3.3 Lay Out Lokasi Pekerjaan Reklamasi
(Sumber : Data Lapangan)

3.2. Metode Analisis Data

Ada beberapa tahapan dalam proses penulisan Tugas Akhir ini, beberapa tahapan pelaksanaan yang dikerjakan penulis untuk mencapai tujuan dari penelitian ini (dirangkum pada Bab I), yaitu :

Tahapan pertama : Mengumpulkan berbagai jenis literatur dalam bentuk buku maupun tulisan ilmiah yang berhubungan dengan Tugas Akhir ini.

Tahapan kedua : Mengumpulkan data-data yang dibutuhkan dalam Tugas Akhir ini, data-data tersebut didapatkan dari pihak kontraktor (PT. Waskita Karya), konsultan (PT.Seal Indonesia dan PT. Deta Decon).

Tahapan ketiga : Melakukan analisa antara data-data yang telah diperoleh di lapangan dengan buku ataupun literatur yang berkaitan dengan penulisan Tugas Akhir ini.

Tahapan keempat : Pada tahap ini dilakukan kegiatan menghitung besar penurunan dan membandingkan waktu konsolidasi pada tanah sebelum dilakukan perbaikan atau sesudah dilakukan perbaikan secara pembebanan awal (*preloading*).

3.3. Pengumpulan Data

Dalam penulisan Tugas Akhir ini, lokasi yang ditinjau proyek Reklamasi Belawan, Belawan Internasional Container Terminal (BICT). Lokasi ini termasuk salah satu daerah yang terindikasi sebagai tanah lunak (*soft soil*). Untuk mendukung penulisan Tugas Akhir ini, penulis memperoleh data-data yang diperlukan dari proyek reklamasi.

Data-data tersebut adalah sebagai berikut: data *Standard Penetration Test* (SPT), data penyelidikan sifat fisis maupun properties tanah di laboratorium, stratifikasi tanah dan juga gambar lay out lokasi yang diperoleh dari konsultan perencana atau kontraktor.

Selain itu juga untuk kelengkapan kajian pustaka, penulis menggunakan beberapa buku literatur dan hasil penelitian sebelumnya.

3.3.1 Data Titik Koordinat

Hasil investigasi tanah di laboratorium dapat diperoleh dengan menggunakan tanah yang didapatkan dari pengeboran tanah di lapangan. Sampel tanah yang digunakan terdiri dari dua yaitu tanah terganggu (*disturbed soil*) dan tanah tak terganggu (*undisturbed soil*).

Koordinat titik penyelidikan tentang kondisi tanah di proyek reklamasi disajikan pada tabel dibawah :

Tabel 3.1 Titik-titik Koordinat

No	Titik X	Titik Y	Elevasi (m)	Kedalaman Rencana (m)
BH-01	468963.916	419633.816	-3.336	60
BH-02	468863.206	419754.464	-2.950	60

Sumber : Data Lapangan

Dari hasil penyelidikan geoteknik diperoleh beberapa ringkasan mengenai stratifikasi tanah (lapisan tanah) di proyek reklamasi sebagai berikut :

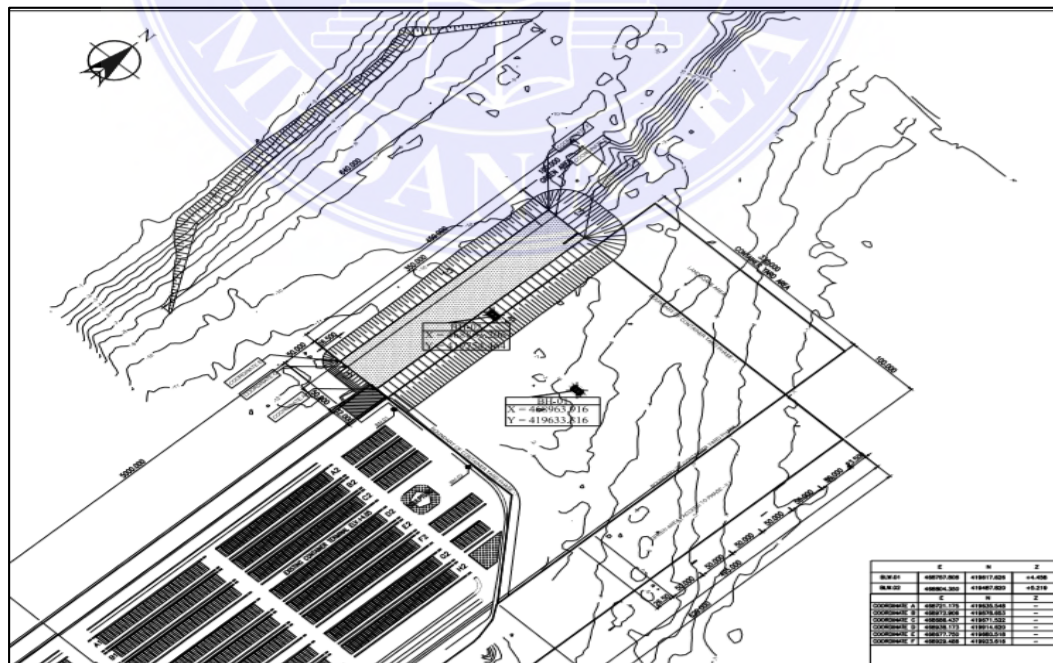
- Kondisi lapisan tanah di titik BH-01 dominan tanah lempung kelanauan berwarna abu-abu yang sifat tanahnya sangat lunak dengan kedalaman hingga -14 m, dengan nilai N-SPT antara 0 – 5.

Dibawah nya sampai kedalaman 60 m, terdapat lapisan lempung kelanauan dengan nilai N-SPT antara 6 – 15 dengan konsistensi kaku sedang.

- Kondisi lapisan tanah di titik BH-02 dominan tanah lempung kelanauan berwarna abu-abu yang sifat tanah nya sangat lunak dengan kedalaman hingga -20 m, dengan nilai N-SPT antara 0 – 2. Dikedalaman -22 m sampai -26 m merupakan lapisan tanah lempung kelanauan dengan konsistensi sedang dengan N-SPT 7 – 9.

Dilapisan tanah dengan kedalaman -44 m, merupakan lapisan tanah lempung kelanauan dengan konsistensi kaku sedang dan kaku dengan nilai N-SPT antara 11 – 18.

Dilapisan tanah bawah nya hingga kedalaman -60 m, merupakan lapisan tanah lempung kelanauan dan lempung lunak berwarna hitam dengan N-SPT antara 2 – 6.



Gambar : 3.4 Lay Out Boring Reklamasi
(Sumber : Data Lapangan)

3.3.2 Data *Standart Penetration Test* (SPT)

Pada pekerjaan reklamasi ini, dilakukan penyelidikan tanah dengan pengujian SPT (*Standart Penetration Test*) sehingga dapat diketahui karakteristik serta daya dukung tanah nya.

Penulis menganalisa kondisi tanah eksisting berdasarkan data tanah *Bore Hole-2* (BH-02) yang mewakili kondisi tanah disekitarnya. Berdasarkan hasil Boring Log pada BH-2 dapat disimpulkan bahwa karakteristik tanah pada lokasi adalah buruk. Jenis tanah didominasi oleh lempung. Adapun deskripsi tanah dapat dilihat pada tabel resume 3.2 (a) dan (b), gambar hasil boring log dapat dilihat pada daftar lampiran.

Tabel Resume 3.2 (a) Data SPT BH-02

Bore Log BH-02				
Depth (m)	Description	Colour	Kadar air	Plasticity
0,00 – 2,10	Top soil- Pasir berlempung organic	Abu-abu gelap	-	
2,10 – 5,90	Lempung berpasir sedikit organic	Abu-abu	Tinggi	Rendah
5,90 – 10,25	Lempung lunak	Abu-abu gelap	Tinggi	Rendah
10,25 - 17,75	Lempung lunak	Abu-abu	Sedang ke tinggi	Rendah
17,75 – 19,8	Pasir berlempung	Abu-abu	Tinggi	Rendah
19,6 – 21,70	Lempung berlanau	Abu-abu kebiruan	Sedang	Sedang
21,70 - 26,40	Lempung lunak	Abu-abu gelap	Sedang ke tinggi	Rendah
26,40 - 33,60	Lempung lunak	Abu-abu gelap	Sedang ke tinggi	Sedang

Sumber : Data Lapangan SPT BH-02

Tabel Resume 3.2 (b) Data SPT BH-02 Lanjutan

Bore Log BH-02 Lanjutan				
Depth (m)	Description	Colour	Kadar air	Plasticity
33,60 – 36,75	Lempung organik	Abu-abu gelap	Sedang ke tinggi	Rendah
36,75 – 41,55	Lempung lunak	Abu-abu	Sedang	Sedang
41,55 – 43,25	Lempung	Abu-abu	Rendah	Sedang
43,25 – 45,80	Pasir berlempung	Abu-abu gelap	Sedang	Rendah
45,80 – 48,70	Lempung berpasir	Abu-abu cerah	Rendah	Rendah
48,70 – 52,60	Pasir berlempung	Abu-abu gelap	Rendah	Rendah
52,60 – 55,70	Lempung berpasir	Abu-abu	Rendah	Rendah
55,70 – 60,45	Pasir berlempung	Abu-abu gelap	Rendah	Rendah

Sumber : Data Lapangan SPT BH-02 Lanjutan

Jika ditinjau dari SNI 1726-2002 tentang Standart Perencanaan Ketahanan Gempa untuk struktur bangunan gedung, tanah dikelompokkan menjadi 3 jenis utama yang didasarkan pada nilai pendekatan kecepatan rambat gelombang geser, N-SPT dan kuat geser *undrained* (S_u).

Jenis tanah yang dimaksud yaitu :

- Tanah keras ($N-SPT \geq 50$), / ($S_u \geq 1,0$)
- Tanah sedang ($15 \leq N-SPT \leq 50$), / ($0,5 \leq S_u \leq 1,0$)
- Tanah lunak ($N-SPT \leq 15$), / ($S_u \leq 0,5$)

Berdasarkan hasil uji SPT di lokasi penelitian, diperoleh N-SPT mencapai kedalaman hingga 60 meter. Bervariasi dengan rata-rata antara 5 sampe 12 pukulan per 30 cm, ini menunjukkan bahwa jenis tanah dilokasi penelitian didominasi oleh tanah lunak.

Untuk keperluan perencanaan timbunan maka survey lokasi quarry perlu dilakukan di beberapa titik. Setelah survey dilakukan, maka sampel yang telah diambil dari lubang pengeboran berupa tanah tidak terganggu (US=*Undisturbed Sample*) dan contoh tanah yang terganggu (DS=*Disturbed Sampel*).

3.3.3 Data Properties Tanah

Pembagian jenis tanah di sesuaikan juga berdasarkan dari lapisan stratifikasi tanah yang di peroleh dari hasil penyelidikan tanah langsung di lapangan.

Untuk memudahkan pembagian jenis tanah, pelapisan tanah dibagi menjadi 10 lapisan tanah. Sedangkan parameter tanah yang di gunakan dalam pemodelan reklamasi dan *preloading* di ambil dari hasil penyelidikan tanah yang dilakukan dari hasil korelasi N-SPT.

Parameter-parameter tanah yang dimaksud disajikan di dalam bentuk tabel-tabel dibawah ini.

Tabel 3.3 Parameter Tanah Dasar

Uraian	Sat	JENIS TANAH			
		Sandy Clay	Clay 1	Sandy Silt	Organic
Tipe		Undrained	Undrained	Undrained	Undrained
γ sat	kN/m^3	14,6	14,6	14,6	10,3
γ unsat	kN/m^3	7,85	7,85	7,85	2,17
E	kN/m^2	2000	3000	3000	3000
Sudut geser (φ)		12,4	12,4	12,4	20,8
Kohesi (c)	kN/m^2	0,792	0,792	0,792	4,319
Kx	m/day	5,425E-04	5,425E-04	5,425E-04	2,182E-01
Ky	m/day	5,425E-04	5,425E-04	5,425E-04	2,182E-01
Poisson rasion (μ)		0,35	0,35	0,35	0,35

Sumber : Data Lapangan

Tabel 3.4 Parameter Tanah Dasar (lanjutan)

Uraian	Sat	JENIS TANAH			
		Clay 2	Clayey Silt 1	Clay 3	Clayey Silt 2
Type		Undrained	Undrained	Undrained	Undrained
γ sat	kN/m^3	15,1	15,1	18,4	15,1
γ unsat	kN/m^3	8,88	8,88	13,88	8,88
E	kN/m^2	4000	8000	11000	22000
Sudut geser (ϕ)		10	15	10	5
Kohesi (c)	kN/m^2	14,1	14,1	14,1	14,1
Kx	m/day	5,425E-04	5,425E-04	5,425E-04	5,425E-04
Ky	m/day	5,425E-04	5,425E-04	5,425E-04	5,425E-04
Poisson rasion (μ)		0,35	0,3	0,3	0,2

Sumber : Data Lapangan

Tabel 3.5 Parameter Tanah Dasar (lanjutan)

Uraian	Sat	JENIS TANAH		
		Silt Clay 3	silt Clay 4	Timbunan
Type		Undrained	Undrained	Drained
γ sat	kN/m^3	16	16	18,5
γ unsat	kN/m^3	14	14	13,9
E	kN/m^2	10000	2500	100000
Sudut geser (ϕ)		10	12,5	33,1
Kohesi (c)	kN/m^2	75	18,75	42
Kx	m/day	5,425E-04	5,425E-04	1
Ky	m/day	5,425E-04	5,425E-04	1
Poisson rasion (μ)		0,35	0,35	0,3

Sumber : Data Lapangan

Berikut ini data resume hasil pengujian tanah dan survei di laboratorium dari hasil pengeboran tanah di lapangan (Data Laboratory Test Result BH-02)

Tabel 3.6 (BH-02) Hasil Tes Laboratorium

Uraian	Sat	BH-02			
		4,56-5,00	14,50-15,00	25,50-26,00	43,50-44,0
Tipe		US	US	US	US
Density					
γ_m	kN/m^3	16,30	13,10	15,30	18,80
γ_d		11,60	5,83	8,79	11,03
Gs		2,59	1,60	2,63	2,69
n		0,55	0,77	0,67	0,59
Sr	%	85	95	98	98
Wn	%	41	125	74	52
Atterberg limits					
LL	%	49	116	95	43
PL		26	37	31	18
IP		23	79	63	26
Particle Size (PSD)					
Gravel	%	1	1	0	5
Sand		54	17	5	25
Silt		34	58	65	64
Clay		11	24	30	18
Passing Slave #200	%	48	62	95	70
Triaxial					
c		50,5	5,30	29,2	16,9
ϕ	kN/m^3	13,8	14,7	13,3	21,7
c'		43,0	6,10	28,0	15,4
ϕ'		20,8	24,0	20,7	27,8
Coef Permeability					
	Cm/s	1,774E-05	7,619E-07	5,502E-07	1,906E-06
Consolidation					
e0		1,380	3,390	2,170	1,74
cc		0,289	1,165	1,276	0,880

Sumber : Data Lapangan

3.3.4 Tahapan Reklamasi dan *Preloading*

Berdasarkan info pelaksanaan dilapangan, material timbunan pada pekerjaan reklamasi ini adalah tanah pasir yang diambil dari sisa preloading pada pekerjaan fase 1. Tahapan pengerjaan reklamasi dan *preloading*, dilakukan guna mengetahui besar penurunan konsolidasi yang terjadi.

Berdasarkan kemampuan tanah dalam menerima beban dari luar dan perkiraan waktu proses konsolidasi, tahapan reklamsi dan *preloading* dilakukan sebagai berikut ini:

- Reklamasi 1 setinggi 2,00 meter selama 45 hari
- Reklamasi 2 setinggi 2,00 meter selama 45 hari
- Preloading 1 setinggi 2,00 meter selama 45 hari
- Preloading 2 setinggi 2,00 meter selama 45 hari
- Preloading 3 setinggi 2,00 meter selama 45 hari
- Preloading 4 setinggi 1,00 meter selama 45 hari

Sehingga tinggi total timbunan pada reklamasi dan *preloading* pada perbaikan tanah dasar yaitu setinggi 11 meter, selama 270 hari.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa dan pembahasan pada bab-bab sebelumnya yang berkaitan dengan konsolidasi 1-D Teori Terzhagi, dapat disimpulkan bahwa :

1. Dari hasil analisis dengan Teori Terzhagi tentang konsolidasi 1-D dengan tinggi timbunan 11 mLWS, lama waktu yang dibutuhkan hingga mencapai derajat konsolidasi 95% yaitu 51,2 tahun (penurunan secara alamiah dengan stabil), sedangkan setelah dilakukan perbaikan hanya 358 hari
2. Penurunan primer yang terjadi akibat pembebanan awal (*preloading*) yang dihitung secara analisis dengan menggunakan persamaan konsolidasi 1-D Terzaghi didapatkan total penurunan sebesar 8,76 meter
3. Penurunan primer yang terjadi setelah menggunakan persamaan konsolidasi 1-D Terzaghi, yang dimana nilai C_c yang digunakan adalah C_c equivalensi, didapat total penurunan sebesar 8,26 meter sedangkan realisasi penurunan dilapangan sebesar 8,09 meter.
4. Dari kedua metode analisis perhitungan yang dilakukan, yang mendekati realisasi penurunan dilapangan adalah dengan menggunakan C_c empiris, dimana selisih penurunan hanya 0,17 m.

5.2. Saran

Berdasarkan hasil – hasil perhitungan analitis dari Tugas Akhir ini, penulis menyarankan beberapa hal berikut dibawah ini :

1. Untuk mendapatkan data yang lebih akurat sebaiknya dilakukan pengujian SPT tanah sebanyak mungkin, agar hasil pengujian yang diperoleh dapat menggambarkan kondisi lapangan sebenarnya.
2. Sebaiknya lamanya waktu proses penimbunan di tambah dari waktu perencanaannya agar kekuatan tanah dasar semakin baik dalam menopang beban.

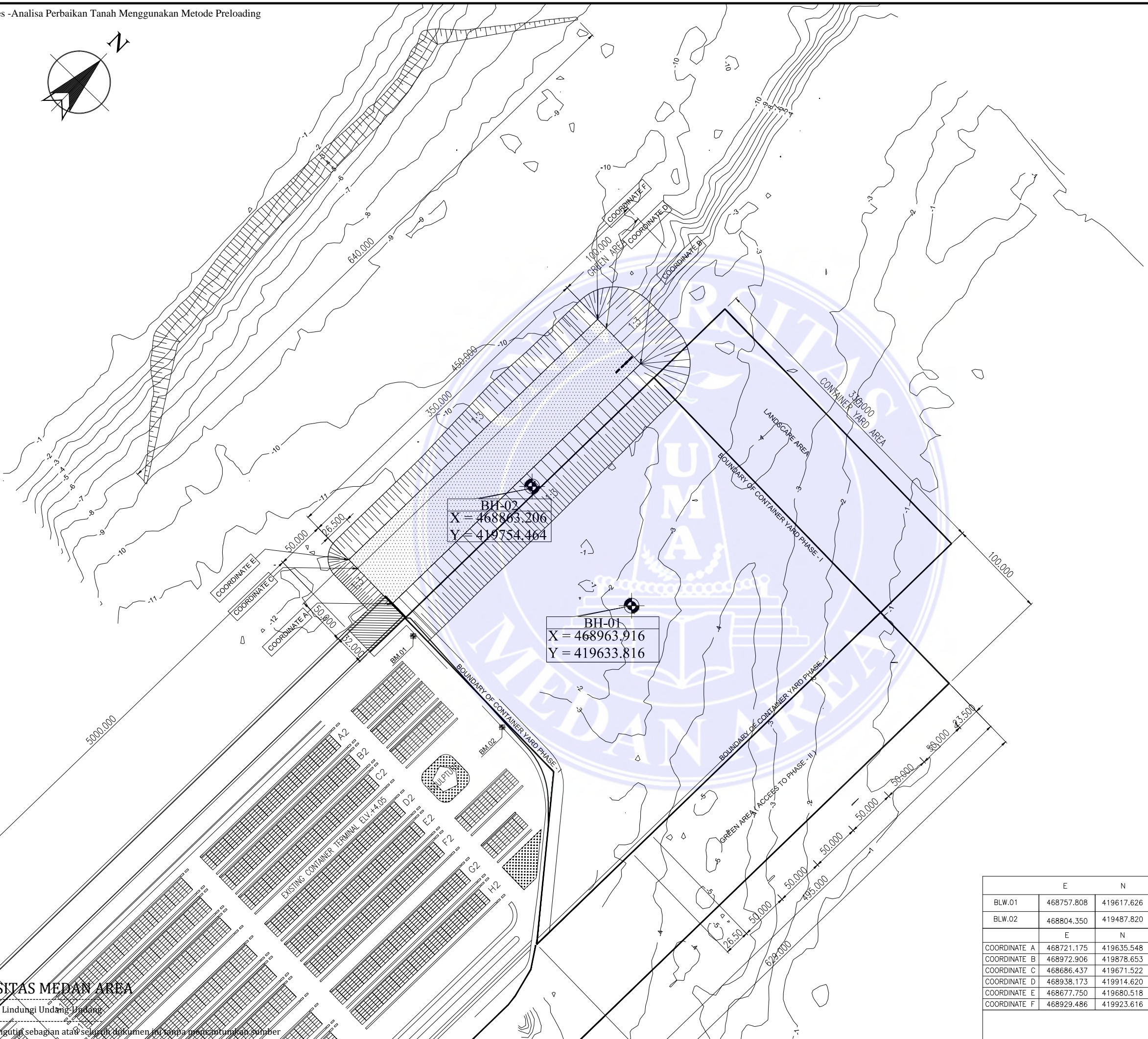
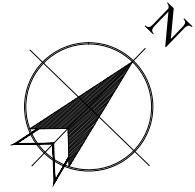


DAFTAR PUSTAKA

- Barimbing, Fanny Rumintha. 2017. “ *Analisa Penurunan dan Waktu Konsolidasi Tanah Lunak Menggunakan Metode Preloading dan PVD*”. Universitas Sumatera Utara.
- Darwis, H. 2018. *Dasar-dasar Mekanika Tanah*. Makassar: Pena Indis
- Das, Braja M. 1995. *Mekanika Tanah 1 (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis)*. Diterjemahkan: Endah Noor, Indrasurya B Mochtar. Jakarta: Erlangga
- Das, Braja M. 1995. *Mekanika Tanah 2 (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis)*. Diterjemahkan : Endah Noor, Indrasurya B Mochtar. Jakarta: Erlangga
- Das, Braja M. 1985. *Advanced Soil Mechanics*. New York: Mc Graw-Hill Book Company
- Hardiyatmo, Hary Christady. 2002. *Teknik Pondasi 1*. Yogyakarta: Betta Offset
- HS, Sardjono. 1991. *Pondasi Tiang Pancang*. Surabaya: Sinar Wijaya
- Lambe, T. William dan Robert V. Whitman. 1969. *Soil Mechanics*. New York : John Wiley and Sons
- Nakazawa, Kazuto dkk. 2000. *Soil Mechanics and Foundation Engineering*. Diterjemahkan: L. Taulu dkk. Jakarta: Prandnya Paramita
- Pasaribu, Hotlan Togu. 2010 “ *Analisa Penurunan Pada Tanah Lunak Akibat Timbunan* “.Universitas Sumatera Utara.
- Surbakti, Rudianto. 2017.”*Perencanaan Perbaikan Tanah dengan Metode Kombinasi Pra-Pembebanan dan Pre-Fabricated Vertical Drain (PVD)*. Universitas Medan Area.

LAMPIRAN- LAMPIRAN





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



MINISTRY OF TRANSPORTATION
DEVELOPMENT OF BELAWAN PORT PROJECT - PHASE I
UNDER ISLAMIC DEVELOPMENT BANK (IDB)
FINANCING ASSISTANCE IND-0133



PROJECT MANAGEMENT AND SUPERVISION CONSULTANT
JOIN VENTURE (JV)
PT. RAYAKONSULT - PT. DETA DECON - PT. SEAL INDONESIA

APPROVED BY _____ CHECK AND CORRECTION BY _____

SONY H. SALEH
TEAM LEADER

AHLI GEOTEKNIK



CONTRACTOR
PT. WASKITA KARYA (persero) TBK

POSITION	NAME	SIGNATURE
Project Manager	Wahyu Baranto	<i>[Signature]</i>
Site Manager	Amran	<i>[Signature]</i>
Drafter	Rudianto S	<i>[Signature]</i>

PROJECT:
THE DEVELOPMENT OF BELAWAN
PORT PROJECT - PHASE 1

SHOP DRAWING

NOTICE

REVISION			
NO.	DATE	NOTIFICATION	APPROVAL

DRAWING GROUP
SOIL INVESTIGATION

SHEET TITLE
LAY OUT BORING REKLAMASI

Document Accepted 27/6/22

	E	N	Z
BLW.01	468757.808	419617.626	+4.458
BLW.02	468804.350	419487.820	+5.219
	E	N	Z
COORDINATE A	468721.175	419635.548	-
COORDINATE B	468972.906	419878.653	-
COORDINATE C	468686.437	419671.522	-
COORDINATE D	468938.173	419914.620	-
COORDINATE E	468677.750	419680.518	-
COORDINATE F	468929.486	419923.616	-

DRAWING NO	SCALE	NO. OF SHEET	TOTAL NO. OF SHEET
	1:2000	01	



MINISTRY OF TRANSPORTATION
DEVELOPMENT OF BELAWAN PORT PROJECT - PHASE I
UNDER ISLAMIC DEVELOPMENT BANK (IDB)
FINANCING ASSISTANCE IND-0133



PROJECT MANAGEMENT AND SUPERVISION CONSULTANT
JOIN VENTURE (JV)
PT. RAYAKONSULT - PT. DETA DECON - PT. SEAL INDONESIA

APPROVED BY CHECK AND CORRECTION BY

SONY H. SALEH
TEAM LEADER

AHLI GEOTEKNIK



CONTRACTOR
PT. WASKITA KARYA (persero) TBK

POSITION	NAME	SIGNATURE
Project Manager	Wahyu Baranto	<i>Wahyu Baranto</i>
Site Manager	Amran	<i>Amran</i>
Drafter	Rudianto S	<i>Rudianto S</i>

PROJECT:
THE DEVELOPMENT OF BELAWAN
PORT PROJECT - PHASE 1

SHOP DRAWING

NOTICE

KETERANGAN :

- : INCLINOMETER (N)
- : SETTLEMENT PLATE (S)
- : PIEZOMETER (P)
- : WATER STAND PIPE (WSP)

NO.	DATE	REVISION	
		NOTIFICATION	APPROVAL
01.	15-04-2018	- Penambahan Settlement Plate Area Dekat Cause Way - Pemindahan Inclinometer N1, N2, N3, N4, N5, N6 dan N10. - Penambahan Water Stand Pipe	

DRAWING GROUP

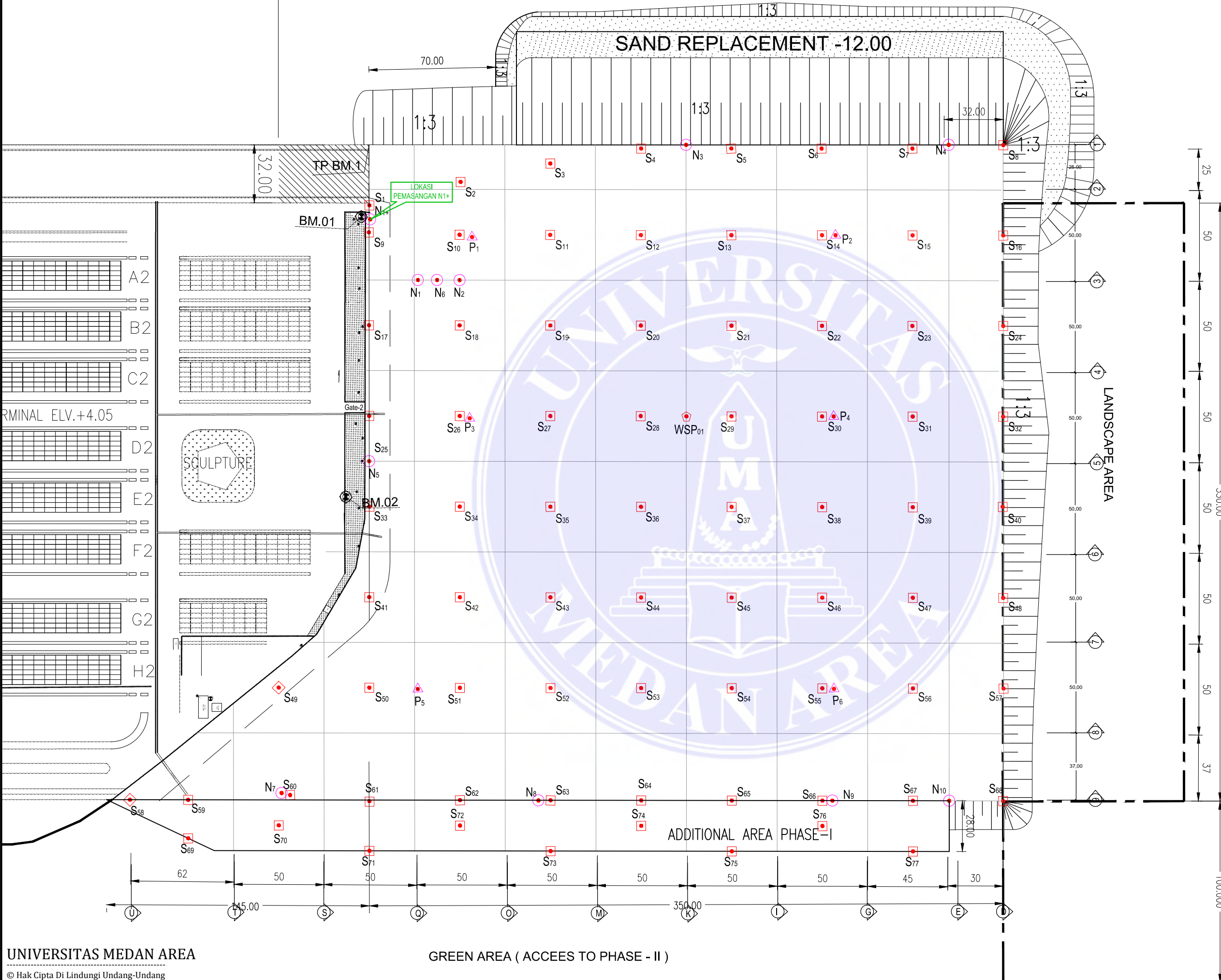
SOIL IMPROVEMENT

SHEET TITLE

LAYOUT INSTRUMENT OF MONITORING

Document Accepted 27/6/22

DRAWING NO	SCALE	NO. OF SHEET	TOTAL NO. OF SHEET
SD-BLW-SIMP-REV-001	1 : 2000	1	1



UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

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

FOTO DOKUMENTASI



Gambar : Determination of Bench Mark Points



Gambar : Dredging Temporary Acces Channel



Gambar : Dredging Sand Key Area



Gambar : Dredging Temporary Acces Channel

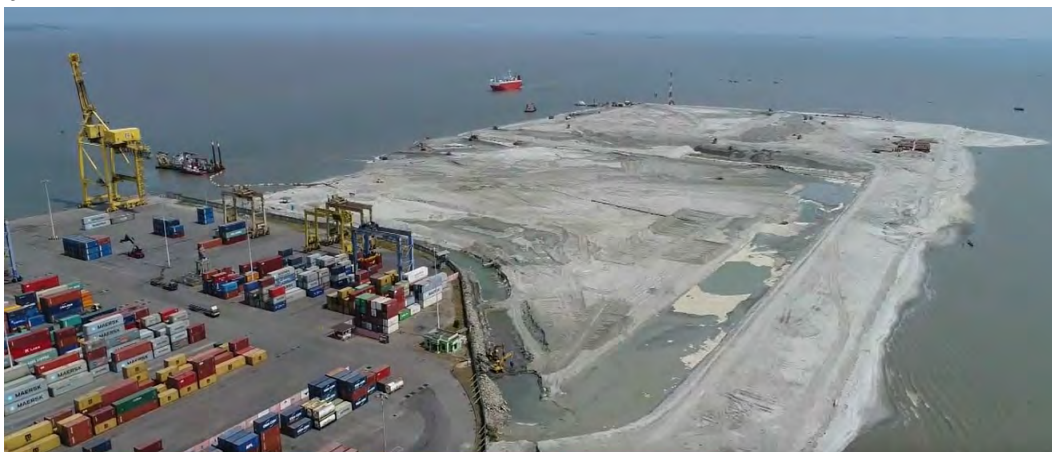


Gambar : Reclamation Work



Gambar : Reclamation Work

b



Gambar : Reclamation Area



Gambar : Soil Improvement Work



Gambar : Preloading Work



Gambar : Cutting Preloading



Gambar : Cutting Preloading



Gambar : Reclamation Area