

TUGAS AKHIR

**ANALISIS PERBAIKAN TANAH PADA PROYEK PERLUASAN
DERMAGA PETIKEMAS BELAWAN**

*Diajukan untuk memenuhi tugas-tugas
Syarat-syarat untuk memperoleh gelar sarjana
Pada fakultas teknik program studi Teknik Sipil
Universitas Muhammadiyah Sumatera utara*

Diajukan oleh :

MUHAMMAD AZWAR

NPM : 1407210267



**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
2019**



MAJELIS PENDIDIKAN TINGGI
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
FAKULTAS TEKNIK

Jl. Kapten Mukhtar Basri No.3 Medan 20238 Telp. (061) 6623301
Website: <http://www.umsu.ac.id> Email: rektor@umsu.ac.id

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Muhammad Azwar

NPM : 1407210267

Program Studi : Teknik Sipil

Judul Skripsi : Analisis Perbaikan Tanah Pada Proyek Perluasan Dermaga Peti
Kemas Belawan

Bidang Ilmu : Geoteknik.

Disetujui Untuk Disampaikan Kepada
Panitia Ujian

Medan, 23 Maret 2019

Pembimbing I

M.Husin Gultom, ST, MT

Pembimbing II

Dr. Fahrizal Zulkarnain, ST, Msc

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Muhammad Azwar

NPM : 1407210267

Program Studi : Teknik Sipil

Judul Skripsi : Analisis Perbaikan Tanah Pada Proyek Perluasan Dermaga
Peti Kemas Belawan

Bidang ilmu : Geoteknik

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai salah satu syarat yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 12 Maret 2019

Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Pembimbing I / Penguji



M. Husin Gultom, ST, MT

Dosen Pembimbing II/Penguji



Dr. Fahrizal Zulkarnain, ST, MSc

Dosen Pembanding I / Penguji



Ir. Zurkiyah, M.T

Dosen Pembanding II/Penguji



Rizki Efrida, S.T, M.T

Program Studi Teknik Sipil
Ketua,



Dr. Fahrizal Zulkarnain, ST, MSc

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Muhammad Azwar
Tempat /Tanggal Lahir : Tebing Tinggi / 25 April 1990
NPM : 1407210267
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Sipil,

menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan Tugas Akhir saya yang berjudul:

“Analisis Perbaikan Tanah Pada Proyek Perluasan Dermaga Peti Kemas Belawan”,



bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material dan non-material, ataupun segala kemungkinan lain, yang pada hakekatnya bukan merupakan karya tulis Tugas Akhir saya secara orisinal dan otentik.

Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh Tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan/kesarjanaan saya.

Demikian Surat Pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademik di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 12 Maret 2019

Saya yang menyatakan,


TERAI
MPEL
1FAFF842900909

6000
BU RUPIAH
Muhammad Azwar

ABSTRAK

ANALISIS PERBAIKAN TANAH PADA PROYEK PERLUASAN DERMAGA PETI KEMAS BELAWAN

Muhammad Azwar

1407210267

M. Husin Gultom, ST, MT

Dr. Fahrizal Zulkarnain, ST, MSc

Dewasa ini, studi kasus tentang penggunaan metode *preloading* dan *prefabricated vertical drain* sebagai metode perbaikan tanah lunak sudah banyak di temui di proyek-proyek konstruksi di Indonesia. Seiring dengan berkembangnya teknologi di bidang konstruksi, banyak kegiatan konstruksi yang semakin fokus pada perilaku tanah. Tanah merupakan salah satu komponen yang menunjang stabilitas suatu struktur. Tanah sangat erat kaitannya dengan beban sehingga jika suatu struktur dibangun di atas tanah tersebut, diharapkan tidak terjadi kerusakan dikemudian hari. Hasil pemodelan dengan vertical drain, waktu yang dibutuhkan sejak reklamasi pertama untuk mencapai derajat konsolidasi sebesar 90% adalah 540 hari. Hasil analisis konsolidasi menggunakan metode FEM dengan derajat 90% dan tekanan air pori 1 kpa diperoleh penurunan sebesar 8,73 meter. Setelah diakumulasikan ada selisih perbandingan antara metode PVD dan program analitis (*Plaxis*) dengan kohesi ,BH-1= 7.84 kN/m², BH-2=8.33 kN/m², dan BH-3= 1 kN/m². Selisih perbandingan antara penurunan elastis dan penurunan pada program (*Plaxis*) dengan menggunakan parameter tanah dengan sudut geser BH-1= 5 %, BH-2= 6 %, dan BH-3= 29.5 %.

Kata kunci: Perbaikan Tanah, *Konsolidasi*., *Loading test*

ABSTRACT

ANALYSIS OF LAND IMPROVEMENT ON THE CONTAINER DOCK EXPANSION PROJECT

Muhammad Azwar

1407210267

M. Husin Gultom, ST, MT

Dr. Fahrizal Zulkarnain, ST, MSc

Today, case studies on the use of preloading and prefabricated vertical drain methods as a method of soft soil repair have been encountered in many construction projects in Indonesia. Along with the development of technology in the field of construction, many construction activities are increasingly focused on soil behavior. Soil is one component that supports the stability of a structure. Land is very closely related to the load so that if a structure is built on the land, it is expected that no damage will occur in the future. The results of modeling with a vertical drain, the time taken since the first reclamation to reach a consolidation degree of 90% is 540 days. The results of the consolidation analysis using the FEM method with 90% degrees and pore water pressure of 1 kpa obtained a decrease of 8.73 meters. After accumulating there is a difference in comparison between the PVD method and analytical program (Plaxis) with cohesion, BH-1 = 7.84 kN / m², BH-2 = 8.33 kN / m², and BH-3 = 1 kN / m². Difference in comparison between elastic decline and decrease in program (Plaxis) using soil parameters with BH-1 shear angle = 5%, BH-2 = 6%, and BH-3 = 29.5%.

Keywords: Land Improvement, Consolidation, Loading test.

KATA PENGANTAR

Dengan nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan karunia dan nikmat yang tiada terkira. Salah satu dari nikmat tersebut adalah keberhasilan penulis dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini yang berjudul “Analisis Perbaikan Tanah Pada Proyek Perluasan Dermaga Peti Kemas Belawan” sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU), Medan.

Banyak pihak telah membantu dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini, untuk itu penulis menghaturkan rasa terimakasih yang tulus dan dalam kepada:

1. Bapak Muhammad Husin Gultom, ST, MT, selaku Dosen Pembimbing I dan Penguji yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Dr. Fahrizal Zulkarnain, ST, MSc, selaku Dosen Pembimbing II dan Penguji yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Ibu Ir. Zurkiyah, M.T, selaku Dosen Pembimbing I dan Penguji yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini, sekaligus sebagai Ketua Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
4. Ibu Rizki Efrida, S.T, M.T, yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
5. Ibu Hj. Irma Dewi, ST, MSi, selaku Sekretaris Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
6. Bapak Munawar Alfansury Siregar, ST, MT, selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
7. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan ilmu ketekniksipilan kepada penulis.

8. Ayah dan Ibu saya yang telah membesarkan, mendidik, dan memberikan kasih sayang yang sangat besar kepada saya serta senantiasa selalu mendoakan saya untuk dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik.
9. Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
10. Sahabat-sahabat penulis: Agung Trisnas, kelas Geoteknik Malam dan seluruh angkatan 2014 yang tidak mungkin namanya disebut satu per satu.

Laporan Tugas Akhir ini tentunya masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu penulis berharap kritik dan masukan yang konstruktif untuk menjadi bahan pembelajaran berkesinambungan penulis di masa depan. Semoga laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi dunia konstruksi teknik sipil.

Medan, 12 Maret 2019

Muhammad Azwar

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PERNYATAN KEASLIAN SKRIPSI	iii
ABSTRAK	iv
<i>ABSTRACT</i>	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
BAB 1 PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Ruang Lingkup	3
1.4. Tujuan	3
1.5. Manfaat	4
1.6. Metode Pengumpulan Data	4
1.7. Sistematika Penulisan	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	
2.1. Preloading dan Prefabricated Vertical Drain (PVD)	6
2.2. Pengertian Tanah	7
2.3. Klasifikasi Tanah	8
2.4. Tanah Lunak	9
2.5. Teori Penurunan Tanah	10
2.5.1 Penurunan Konsolidasi	12
2.5.2 Parameter untuk Perhitungan Penurunan	14
2.6. Kecepatan dan Waktu Penurunan Konsolidasi	15
2.7. Perbaikan Tanah Lunak	18
2.8. Pra-pembebanan	19
2.9. Prefabricated Vertical Drain (PVD)	20
2.9.1 Pola Pemasangan PVD	22

2.9.2 Jarak Pemasangan PVD	23
2.9.3 Kedalaman PVD	23
2.9.4 Perhitungan Penurunan Konsolidasi	24
2.9.5 Waktu Penurunan Konsolidasi	27
2.10. Stabilitas Lereng	27
2.11. Metode Elemen Hingga	28
2.12. PLAXIS 2D	28
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	
3.1. Diagram Alir Metode Penelitian	33
3.2. Data Umum Proyek	34
3.3. Lokasi Titik Pengeboran	34
3.4. Pengumpulan Data	35
3.5. Analisis Data Tanah	35
3.6. Analisis Parameter Tanah	39
3.7. Menghitung Daya Dukung Dengan Metode Elemen Hingga	43
3.7.1. Pemodelan Geometri	43
3.7.2. Kondisi Batas	43
3.7.3. Input Parameter Tanah	44
3.7.4. Penyusunan Jaring Elemen (<i>Meshing</i>)	45
3.7.5. Kondisi Awal (<i>Initial Condition</i>)	45
3.8. Konfigurasi dan spasivertikal drain	46
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1. Model Reklamasi dan Preloading	48
4.2. Analisa konsolidasi tanpa drainase vertical	53
4.3. Analisa konsolidasi dengan drainase vertikal	55
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1. Kesimpulan	59
5.2. Saran	59
DAFTAR PUSTAKA	61
LAMPIRAN	
DAFTAR RIWAYAT HIDUP	

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Pengelompokkan Jenis Tanah	8
Tabel 2.2	Pengelompokkan Konsistensi Tanah	9
Tabel 2.3	Hubungan faktor waktu dengan derajat konsolidasi	18
Tabel 3.1	Data hasil pengeboran (BH-1)	36
Tabel 3.2	Data hasil pengeboran (BH-2)	37
Tabel 3.3	Data hasil pengeboran (BH-3)	38
Tabel 3.4	Parameter tanah BH-1	40
Tabel 3.5	Parameter tanah BH-2	41
Tabel 3.6	Parameter tanah BH-3	42

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Tampang dermaga	1
Gambar 1.2	Struktur dermaga	2
Gambar 2.1	Grafik waktu pemampatan selama konsolidasi	12
Gambar 2.2	Pra-pembebanan	20
Gambar 2.3	Preloading dengan PVD	21
Gambar 2.4	PVD pola susunan segi empat	22
Gambar 2.5	PVD pola susunan segi tiga	23
Gambar 2.6	Diameter ekivalen	26
Gambar 2.7	Perbedaan 6 titik nodal dengan 15 titik	30
Gambar 3.1	Diagram alir penelitian	33
Gambar 3.2	Lokasi pelabuhan belawan	34
Gambar 3.3	Lokasi titik pengeboran	36
Gambar 3.4	Pemodelan geometri pada program analisis	43
Gambar 3.5	Penetapan kondisi batas pada geometri	44
Gambar 3.6	Input parameter tanah dan pemodelan Mohr-coulomb	44
Gambar 3.7	Penyusunan jarring Mesh	45
Gambar 3.8	Penetapan muka air tanah	46
Gambar 3.9	Hasil perhitungan <i>initial soil stresses</i>	46
Gambar 3.10	Konfigurasi drainase vertical	47
Gambar 3.11	Pola pemasangan drainase vertical	47
Gambar 4.1	Tahapan reklamasi 1	49
Gambar 4.2	Tahapan reklamasi 2	49
Gambar 4.3	Tahapan reklamasi 3	50
Gambar 4.4	Tahapan reklamasi 4	50
Gambar 4.5	Tahapan reklamasi 5	50
Gambar 4.6	Tahapan reklamasi 6	50
Gambar 4.7	Tahapan reklamasi 7	51
Gambar 4.8	Tahapan reklamasi 8	51
Gambar 4.9	Tahapan reklamasi 9	51
Gambar 4.10	Tahapan reklamasi 10	51

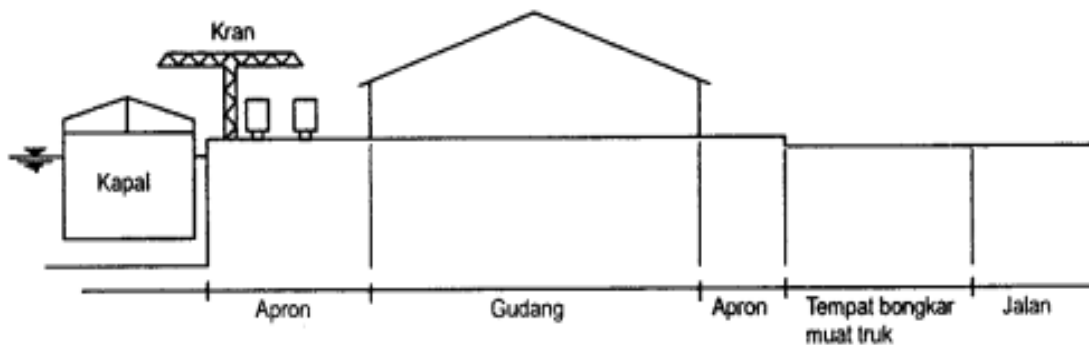
Gambar 4.11	Tahapan reklamasi 1 1	52
Gambar 4.12	Tahapan preloading 1	52
Gambar 4.13	Tahapan preloading 2	52
Gambar 4.14	Tahapan preloading 3	52
Gambar 4.15	Tahapan preloading 4	52
Gambar 4.16	Tahapan preloading 5	53
Gambar 4.17	Tahapan preloading 6	53
Gambar 4.18	Tahapan preloading 7	53
Gambar 4.19	Tahapan preloading 8	53
Gambar 4.20	Deformasi mesh setelah tahapan konsolidasi	54
Gambar 4.21	Total displacement (penurunan)	54
Gambar 4.22	Total displacement vs waktu (preloading)	55
Gambar 4.23	Model geometri reklamasi	55
Gambar 4.24	Model mesh reklamasi, preloading dan vertical	56
Gambar 4.25	Total displacement setelah konsolidasi	57
Gambar 4.26	Total displacement vs waktu (preloading tanpa dan dengan drainase vertical	57
Gambar 4.27	Bidang keruntuhan lereng setelah tahapan reklamasi selesai Sebelum pemasangan drainase vertical	58
Gambar 4.28	Bidang keruntuhan lereng setelah tahapan preloading selesai	58

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

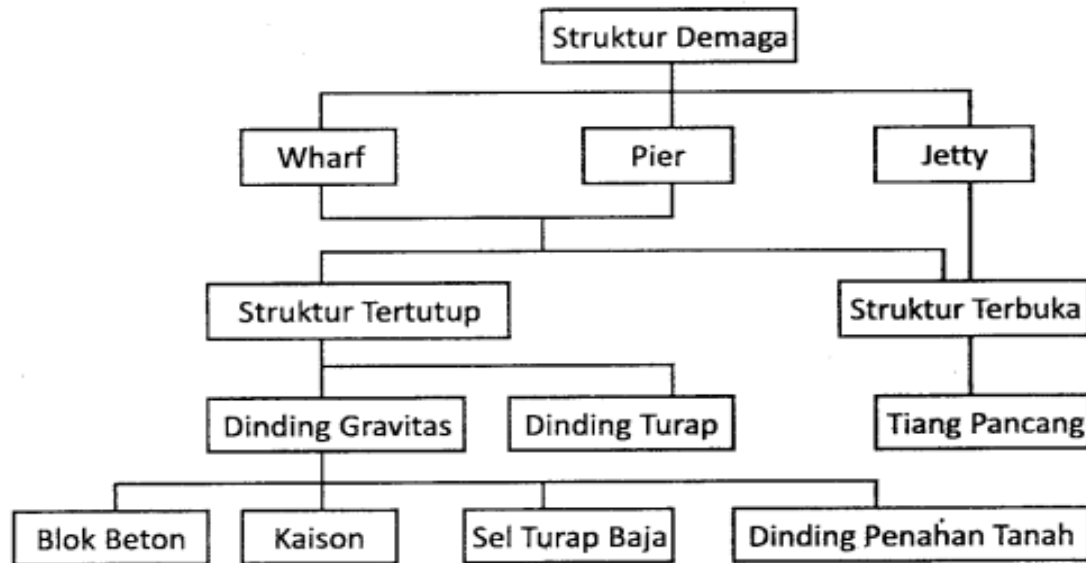
Dermaga adalah suatu bangunan pelabuhan yang digunakan untuk merapat dan menambatkan kapal yang melakukan bongkar muat barang dan menaik-turunkan penumpang. Bentuk dimensi dermaga tergantung pada jenis dan ukuran kapal yang bertambat pada dermaga tersebut. Dermaga harus direncanakan sedemikian rupa sehingga kapal dapat merapat dan bertambat serta melakukan kegiatan di pelabuhan dengan aman, cepat dan lancar. Dibelakang dermaga terdapat apron dan fasilitas jalan. Apron adalah daerah yang terletak antara sisi dermaga dan sisi depan gudang (pada terminal barang umum) atau *container yard* (pada terminal peti kemas), di mana terdapat pengalihan kegiatan angkutan laut (kapal) ke kegiatan angkutan darat (kereta api, truk). Gambar 1.1 adalah contoh tampang dermaga dan halaman dermaga beserta fasilitas yang ada dari pelabuhan barang umum (*general cargo*) (Triatmodjo, 2010).



Gambar 1.1: Tampang Dermaga (Triatmodjo, 2010).

Dermaga dapat dibedakan menjadi tiga tipe yaitu Wharf, Pier dan Jetty seperti ditunjukkan Gambar 2.1. Struktur wharf dan pier bias berupa struktur tertutup atau terbuka, sementara jetty pada umumnya berupa struktur terbuka. Struktur tertutup

bias berupa dinding gravitas dan dinding turap, sedangkan struktur terbuka berupa dermaga yang didukung oleh tiang pancang. Dinding gravitas biasa berupa blok beton, kaison, sel turap baja atau dinding penahan tanah (Kramadibrata, 2002).



Gambar 2.1: Struktur Dermaga (Kramadibrata, 2002).

Analisa serta pemilihan timbunan tanah yang tepat pada dermaga merupakan salah satu faktor penentu dari kekuatan bangunan dermaga itu sendiri. Maka berdasarkan hal tersebut penulis mengangkat judul yaitu Analisis Perbaikan Tanah Pada Proyek Perluasan Dermaga Peti Kemas Belawan.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang dikemukakan di atas, maka permasalahan dalam tugas akhir ini sebagai berikut:

1. Bagaimana hasil perhitungan timbunan tanah yang tepat pada dermaga?
2. Bagaimana hasil perbandingan daya dukung pada masing-masing titik menggunakan metode elemen hingga dengan menggunakan program PLAXIS?
3. Berapakah besar penurunan yang terjadi pada perbaikan tanah untuk 3 titik yang berbeda?

4. Bagaimana hasil perbandingan penurunan dengan metode elemen hingga dengan menggunakan program PLAXIS?

1.3. Ruang Lingkup

Pada pelaksanaan proyek perluasan dermaga peti kemas belawan, terdapat banyak permasalahan yang dapat ditinjau dan dibahas, maka didalam laporan ini sangatlah perlu kiranya diadakan suatu pembatasan masalah. Yang bertujuan menghindari kekaburan serta penyimpangan dari masalah yang dikemukakan sehingga semuanya yang dipaparkan tidak menyimpang dari tujuan semula. Walaupun demikian, hal ini tidaklah berarti akan memperkecil arti dari pokok-pokok masalah yang dibahas disini, melainkan hanya karena keterbatasan belaka. Namun dalam penulisan laporan ini permasalahan yang ditinjau hanya dibatasi pada :

1. Hanya meninjau perbaikan tanah yang baru.
2. Hanya meninjau jenis tanah yang aman digunakan

1.4. Tujuan

Adapun tujuan dari penulisan Tugas Akhir ini adalah:

1. Menghitung besarnya penurunan tanah metode preloading dengan dan tanpa menggunakan PVD berdasarkan analisa menggunakan program PLAXIS.
2. Menghitung lamanya waktu penurunan tanah metode preloading dengan dan tanpa menggunakan PVD berdasarkan analisa menggunakan program PLAXIS .
3. Untuk menganalisis jenis tanah yang sesuai dari segi angka keamanan (SF) dan penurunannya untuk bisa digunakan pada reklamasi pada Dermaga Peti Kemas Belawan.
4. Menentukan pola pemasangan PVD yang paling efisien terhadap waktu penurunan.

1.5. Manfaat

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat antara lain:

1. Memberikan atau menambah wawasan bagi penulis, terutama dalam penerapan ilmu yang didapat dibangku kuliah dengan menyatukan materi perkuliahan dengan objek permasalahan yang dijadikan materi pembahasan.
2. Hasil penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat sebagai bahan masukan dan referensi bagi pihak yang berkepentingan.
3. Melengkapi tugas dan memenuhi syarat mencapai gelas Sarjana.

1.6. Metode Pengumpulan Data

Dalam penulisan Tugas Akhir ini dilakukan beberapa cara untuk dapat mengumpulkan data yang mendukung agar Tugas Akhir ini dapat diselesaikan dengan baik. Beberapa cara yang dilakukan antara lain:

a. Metode observasi

Untuk memperoleh data yang berhubungan dengan data teknis dan data laboratorium diperoleh dari hasil survey langsung ke lokasi proyek.

b. Pengambilan data

Pengambilan data yang diperlukan dalam perencanaan diperoleh dari pihak maupun instansi yang terkait dalam proyek tersebut.

c. Melakukan studi keperpustakaan

Membaca buku-buku yang berhubungan dengan masalah yang ditinjau untuk penulisan Tugas Akhir ini.

1.7. Sistematika Penulisan

Laporan tugas akhir ini terdiri dari lima bab dengan rincian sebagai berikut:

BAB - 1 PENDAHULUAN

Pada bab ini dibahas mengenai latar belakang, tujuan, manfaat, pembatasan masalah dan metode pengumpulan data.

BAB - 2 TINJAUAN PUSATAKA

Bab ini berisikan tentang teori–teori dasar yang mendukung studi yang digunakan dalam laporan tugas akhir.

BAB - 3 METODOLOGI

Bab ini berisi metodeologi penelitian, pengumpulan dan interpretasi data yang akan digunakan dalam tugas akhir ini.

BAB - 4 ANALISIS DAN PERHITUNGAN

Bab ini berisi tentang analisis dan perhitungan dermaga berdasarkan dari data yang dikumpulkan.

BAB – 5 KESIMPULAN DAN SARAN

Berisi tentang kesimpulan dan saran mengenai studi kasus pada laporan tugas akhir ini.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Preloading dan Prefabricated Vertical Drain (PVD)

Dewasa ini, studi kasus tentang penggunaan metode *preloading* dan *prefabricated vertical drain* sebagai metode perbaikan tanah lunak sudah banyak ditemui di proyek-proyek konstruksi di Indonesia. Beberapa contoh kasus tersebut ialah studi kasus pada runway Bandara Medan Baru dan studi kasus pembangunan Port Royal Terminal di Lubuk Tutung, Kalimantan Timur.

Studi kasus runway Bandara Medan Baru dengan judul “ Analisa Penurunan Pada Tanah Lunak Akibat Timbunan “ disusun oleh Togu Hotlan Pasaribu tahun 2012. Hasil dari studi penelitian tanah berkonsistensi lunak (*soft*) pada proyek Bandara Medan Baru yang menggunakan kombinasi antara *prefabricated vertical drain* dan metode *preloading* terbukti berhasil mempercepat waktu konsolidasi. Untuk jarak spasi antar PVD juga dianalisa guna mengetahui jarak yang paling efektif, disesuaikan dengan kebutuhan waktu konstruksi. Dari hasil analisa dibutuhkan waktu selama 6,82 tahun untuk mencapai konsolidasi 90% dan penurunan yang terjadi sebesar 1,82 meter. Sedangkan waktu konsolidasi 90% dengan PVD jarak 1,2 m adalah selama 75 hari, jarak 1,4 m selama 105 hari, dan jarak 1,6 m selama 135 hari.

Studi kasus pembangunan Port Royal Terminal di Lubuk Tutung, Kalimantan Timur dengan judul “*Analisis Penurunan (Settlement) Tanah Lunak Dengan Prefabricated Vertical Drain (PVD) Menggunakan Program PLAXIS 2D 2012* “ disusun oleh Rudiansyah tahun 2015. Hasil dari studi penelitian tanah lunak yang memanfaatkan metode kombinasi *preloading* dengan *prefabricated vertical drain* (PVD) terbukti berhasil mempercepat waktu penurunan. Analisa juga dilakukan secara manual dan menggunakan program PLAXIS 2D 2012 dengan pemodelan yang berbeda - beda. Dari hasil analisa, model tanah yang paling mendekati hasil

penurunan PVD pola segiempat kondisi *undrained* dengan perhitungan manual ialah model *Soft Soil* dengan selisih 0,154 m. Sedangkan dari segi waktu penurunannya, model yang paling cepat ialah model *Mohr Coulomb* yaitu 118 hari atau ± 4 bulan.

2.2 Pengertian Tanah

Tanah merupakan material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral-mineral padat yang tidak tersementasi (terikat secara kimia) satu sama lain dan dari bahan-bahan organik yang telah melapuk (yang berpartikel padat) disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang-ruang kosong diantara partikel-partikel padat tersebut (Das, 1995).

Seiring dengan berkembangnya teknologi di bidang kontruksi, banyak kegiatan kontruksi yang semakin fokus pada perilaku tanah. Tanah merupakan salah satu komponen yang menunjang stabilitas suatu struktur. Tanah sangat erat kaitannya dengan beban sehingga jika suatu struktur dibangun di atas tanah tersebut, diharapkan tidak terjadi kerusakan dikemudian hari.

Tanah selalu mempunyai peranan yang penting pada suatu lokasi pekerjaan kontruksi. Tanah berfungsi sebagai pondasi pendukung suatu kontruksi atau bahan dari suatu kontruksi itu sendiri seperti jalan raya, jembatan, bangunan gedung, dan yang lainnya. Jadi tanah itu selalu berperan pada setiap pekerjaan teknik sipil. Namun, pada kenyataannya pembangunan suatu kontruksi tidak selalu berada diatas tanah dasar yang relatif baik. Ada kalanya pembangunan suatu kontruksi dibangun di atas tanah yang kurang baik atau biasa disebut tanah lunak (*soft soil*). Oleh karena itu, sifat-sifat dan perilaku tanah menjadi hal yang perlu diperhatikan dalam perencanaan dan pelaksanaan suatu pekerjaan kontruksi.

2.3 Klasifikasi Tanah

Secara umum, klasifikasi tanah adalah pengelompokan berbagai jenis tanah kedalam kelompok yang sesuai dengan sifat teknik dan karakteristiknya. Sistem klasifikasi tanah adalah suatu sistem yang mengatur jenis-jenis tanah yang berbeda beda, tetapi mempunyai sifat-sifat yang serupa ke dalam kelompok-kelompok dan subkelompok.

Klasifikasi ini pada umumnya didasarkan sifat-sifat indeks tanah yang sederhana seperti distribusi ukuran butiran. Untuk menerangkan tentang tanah berdasarkan ukuran-ukuran butirannya, beberapa organisasi telah mengembangkan batasan-batasan ukuran golongan jenis tanah (*soil separate size limits*) (Das.1995).

Adapun pengelompokannya dapat dilihat pada Tabel 2.1 berikut:

Tabel 2.1 Pengelompokan jenis tanah berdasarkan ukuran butir tanah

Nama Golongan	Ukuran butiran (mm)			
	Kerikil (gravel)	Pasir (sand)	Lanau (silt)	Lempung (clay)
<i>Massachussetts Institue of Tecnology (MIT)</i>	>2	2 – 0,06	0,06 – 0,002	<0,002
<i>U.S Departement of Agriculture (USDA)</i>	>2	2 – 0,05	0,05 – 0,002	<0,002
<i>American Association of State Higway and Transportation Officially (AASHTO)</i>	76,2 - 2	2 – 0,075	0,075 – 0,002	<0,002
<i>Unifield Soil Classification System (USCS)</i>	76,2 – 4,75	4,75 – 0,075	Halus (yaitu lanau dan lempung) <0,0075	

Selain itu, tanah juga dapat dikelompokkan konsistensinya berdasarkan hasil penyelidikan tanah di lapangan, salah satunya ialah berdasarkan uji *Standart Penetration Test* (N-SPT). Untuk mengelompokkan konsistensi tanah berdasarkan nilai SPT dapat dilihat pada Tabel 2.2 di bawah ini :

Tabel 2.2 Pengelompokkan konsistensi tanah berdasarkan nilai SPT

<i>Cohesionless Soil</i>		<i>Cohesive Soil</i>		
<i>Penetration Resistance N (blows/ft)</i>	<i>Relative Density</i>	<i>Penetration Resistance N (blows/ft)</i>	<i>Unconfined Compressive Strength (tons/ft²)</i>	<i>Consistency</i>
0 - 4	<i>Very Loose</i>	<2	<0.25	<i>Very Soft</i>
4 - 10	<i>Loose</i>	2 - 4	0.25 - 0.50	<i>Soft</i>
10 - 30	<i>Medium</i>	4 - 8	0.50 - 1.00	<i>Medium</i>
30 - 50	<i>Dense</i>	8 - 15	1.00 - 2.00	<i>Stiff</i>
>50	<i>Very Dense</i>	15 - 30	2.00 - 4.00	<i>Very Stiff</i>
		>30	>4.00	<i>Hard</i>

2.4 Tanah Lunak

Tanah lunak merupakan tanah yang jika tidak dikenali dan diselidiki secara seksama dapat menyebabkan masalah ketidakstabilan dan penurunan jangka panjang yang tidak dapat ditolerir. Tanah lunak seringkali menjadi permasalahan dalam proyek konstruksi. Hal tersebut dikarenakan tanah lunak memiliki daya dukung dan kuat geser yang rendah. Secara umum, tanah lunak memiliki sifat sebagai berikut :

1. Tanah terdiri dari butiran – butiran yang halus,
2. Memiliki kandungan air yang tinggi,
3. Plastisitas tinggi,
4. Tanah dengan permeabilitas yang rendah,
5. Memiliki daya dukung relatif rendah,
6. Memiliki sifat kompresibilitas yang tinggi,
7. Memiliki sifat kembang susut yang tinggi,

8. Memiliki potensi penurunan konsolidasi yang besar dalam waktu yang cukup lama.

Tanah lunak dibagi dalam tiga tipe, yaitu pasir lepas, lempung lunak, dan gambut. Tanah pasir lepas mempunyai harga pengujian penetrasi standar (*standar penetration test*) N kurang dari 10. Tanah lempung lunak mempunyai harga N yang lebih kecil dari 4 dan tanah organik atau gambut mempunyai kadar air alamiah yang sangat tinggi.

2.5 Teori Penurunan Tanah

Ketika suatu lapisan tanah diberikan beban di atasnya, maka partikel tanah akan mengalami penambahan tegangan, sehingga pada tanah terjadi penurunan (*settlement*). Penurunan tersebut disebabkan oleh adanya deformasi partikel tanah, keluarnya air atau udara dari dalam pori, dan yang lainnya.

Terzaghi (1943) dalam Maspanji (2016), mengasumsikan bahwa beban yang bekerja atau deformasi tanah terjadi pada satu arah vertical saja, hal ini tentu saja berpengaruh terhadap hasil perhitungan penurunan. Pada kondisi sebenarnya, deformasi dapat terjadi ke segala arah, sehingga deformasi yang terjadi akan terdistribusi ke segala arah dan menyebabkan nilai penurunan akan lebih kecil.

Teori konsolidasi satu dimensi Terzaghi (1943) telah lama dipergunakan untuk memprediksi penurunan serta waktu konsolidasi. Teori ini sudah sangat lazim dipergunakan dan dianggap dapat menjelaskan penurunan akibat kompresi dan drainase satu dimensi pada tanah dengan baik (Maspanji, 2016).

Akan tetapi, estimasi penurunan konsolidasi dengan teori Terzaghi memberikan hasil yang jauh lebih besar dari pada penurunan aktual di lapangan (Maspanji, 2016). Hal ini dikarenakan adanya pengabaian dari beberapa faktor terkait dengan metode pelaksanaan penimbunan. Faktor-faktor tersebut ialah perkuatan tanah yang terjadi akibat proses penimbunan bertahap, perubahan tingkat kejenuhan, dan rangkakan.

Pada umumnya penurunan berlangsung dalam satu arah saja yaitu arah vertikal, karena lapisan yang mengalami tambahan beban itu tidak dapat bergerak secara horizontal akibat ditahan oleh tanah disekitarnya (*lateral pressure*) (Santoso, 2010). Secara umum, penurunan pada tanah yang disebabkan oleh pembebanan dapat dibagi menjadi tiga komponen, yaitu :

1. Penurunan Seketika (*Immediate Settlement*)

Penurunan seketika merupakan penurunan yang terjadi seketika saat beban diberikan. Pada tanah jenuh air dan permeabilitas rendah, beban yang bekerja diterima sepenuhnya oleh tegangan air pori. Pada tanah dengan permeabilitas tinggi, tegangan air pori yang terjadi muncul hanya sebentar karena tegangan air pori ini terdisipasi dengan cepat. Deformasi yang terjadi pada tanah tidak disertai perubahan volume.

2. Penurunan Konsolidasi/Primer (*Consolidation Settlement*)

Penurunan konsolidasi adalah penurunan pada tanah kohesif yang diakibatkan terdisipasinya tegangan air berlebih di dalam tanah, dan akhirnya menghasilkan perubahan dari segi volume. Jenis penurunan ini terjadi bersama dengan waktu berlalu. Tegangan air pori berlebih di transfer menuju partikel tanah menjadi tegangan efektif. Saat tegangan air pori berlebih ini = 0, penurunan konsolidasi sudah selesai.

3. Penurunan Rangkak/Sekunder (*Creep/Secondary Settlement*)

Penurunan sekunder merupakan penurunan yang terjadi setelah penurunan konsolidasi. Penurunan ini terjadi seiring dengan waktu berlalu dan biasanya terjadi sangat lama setelah beban mulai bekerja. Penurunan ini terjadi saat semua tegangan air pori berlebih di dalam tanah telah terdisipasi dan saat tegangan efektif yang terjadi berada dalam keadaan konstan.

Dengan demikian, penurunan total dari suatu tanah yang dibebani adalah :

$$S_T = S_i + S_c + S_s \quad (2.1)$$

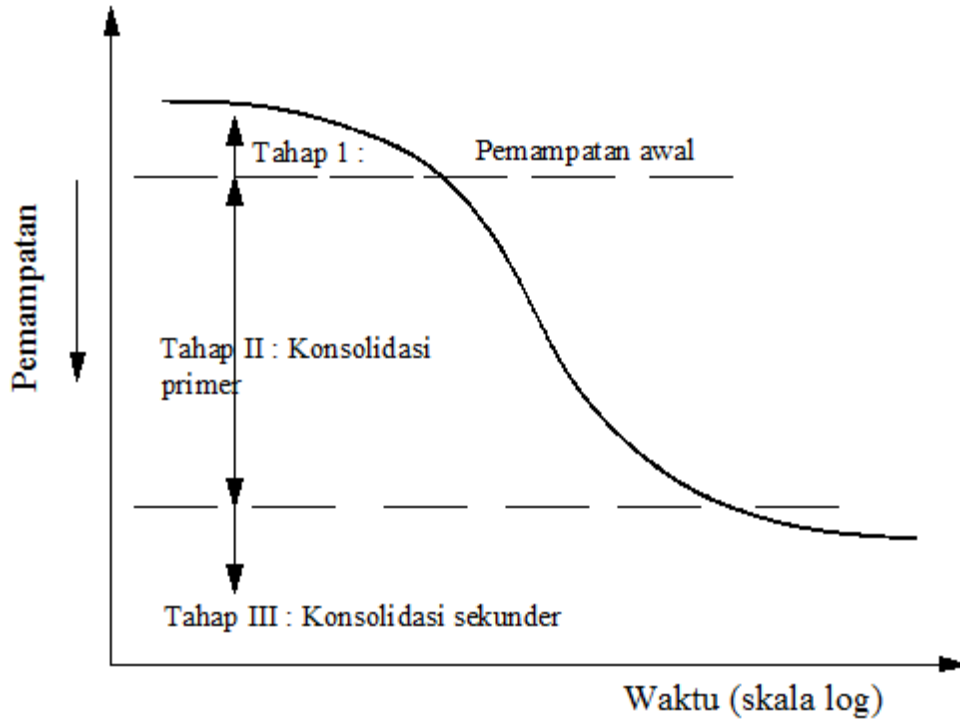
Dimana:

$$S_T = \text{Penurunan Total} \quad (\text{cm})$$

S_i = Penurunan Seketika (*Immediate Settlement*) (cm)

S_c = Penurunan Konsolidasi/Primer (*Consolidation Settlement*) (cm)

S_s = Penurunan Rangkap/Sekunder (*Secondary Settlement*) (cm)



Gambar 2.1 Grafik waktu-pemampatan selama konsolidasi untuk suatu penambahan beban yang diberikan.

2.5.1 Penurunan Konsolidasi/Primer (*Consolidation Settlement*)

Penambahan beban di atas suatu lapisan tanah jenuh air menyebabkan tekanan air pori meningkat dan mengakibatkan air berusaha mengalir keluar dari pori-pori tanah sehingga volumenya akan berkurang. Penurunan tanah tersebut disebut sebagai penurunan konsolidasi/primer.

Besar penurunan konsolidasi untuk jenis tanah lunak sangat bergantung pada sejarah geologis tanah. Tanah pada kedalaman tertentu telah mengalami tegangan efektif pra-konsolidasi, yakni tegangan efektif terbesar yang pernah dialami sebelumnya. Tegangan efektif pra-konsolidasi dapat lebih kecil atau sama

dengan tegangan *overburden* efektif saat ini. Dengan begitu, terdapat dua jenis tanah berdasarkan sejarah tegangan, yaitu :

1. *Normally Consolidated Soil* (NC-Soil), dimana tegangan *overburden* efektif saat ini merupakan tegangan terbesar (maksimum) yang pernah dialami tanah tersebut.
2. *Over Consolidated Soil* (OC-Soil), dimana tegangan *overburden* efektif saat ini lebih kecil dari pada tegangan yang pernah dialami tanah sebelumnya.

Kategori tersebut tergantung dari angka *Over Consolidation Ratio* (OCR), yang didefinisikan dengan persamaan dibawah ini :

$$OCR = P_c/P \quad (2.2)$$

dimana :

P_c = tegangan pra-konsolidasi

P = tegangan vertikal efektif pada saat tanah itu diselidiki

NC-Soil mempunyai angka OCR = 1 dan OC-Soil mempunyai angka OCR \geq 1.

Menurut Das (1995), besar penurunan konsolidasi pada lapisan tanah lempung setebal H dapat dihitung dengan persamaan :

1. untuk NC - Soil

$$S_c = C_c \cdot H / (1 + e_0) \cdot \log P_{o+ \Delta p} / P_o \quad (2.3)$$

2. untuk OC-Soil

bila $P_o + \Delta p < P_c$, maka :

$$S_c = C_s \cdot H / (1 + e_0) \cdot \log P_{o+ \Delta p} / P_o \quad (2.4)$$

bila $P_o + \Delta p > P_c$, maka :

$$S_c = C_s \cdot H / (1 + e_0) \cdot \log P_c / P_o + C_c \cdot H / (1 + e_0) \cdot \log P_{o+ \Delta p} / P_o \quad (2.5)$$

dimana :

S_c = besar penurunan (m)
 H = tebal lapisan tanah yang terkonsolidasi (m)
 C_c = indeks pemampatan (*compression index*)
 C_s = indeks pengembangan (*swelling index*)
 e_0 = angka pori
 P_o = tegangan *overburden* efektif
 Δp = penambahan beban vertikal
 P_c = tegangan pra-konsolidasi

2.5.2 Parameter untuk Perhitungan Penurunan

Dalam menghitung besarnya penurunan suatu lapisan tanah, maka diperlukan parameter-parameternya. Adapun parameter-parameternya ialah sebagai berikut :

1. Tebal Lapisan *Compressible*

Tebal lapisan *compressible* yang diperhitungkan adalah yang memiliki nilai $N\text{-SPT} < 10$ (Winner, 2017).

2. Tegangan *Overburden* Efektif (P_o)

Dalam Winner (2017), tegangan *overburden* efektif adalah tegangan vertikal efektif dari tanah asli akibat beban atau lapisan tanah di atas titik tanah asli yang ditinjau. Tegangan *overburden* efektif dapat dihitung dengan persamaan di bawah ini :

$$P_o = \gamma' \cdot H \quad (2.6)$$

dimana :

γ' = berat volume tanah efektif ($\gamma_{\text{sat}} - \gamma_w$) (t/m^3)

H = tebal lapisan tanah yang terkonsolidasi (m)

3. Distribusi Tegangan Tanah (Δp)

Dalam Winner (2017), distribusi tegangan tanah merupakan tambahan tegangan akibat pengaruh beban tambahan diatas tanah yang ditinjau di tengah-tengah lapisan. Distribusi tegangan tanah dapat dihitung dengan persamaan di bawah ini :

$$\Delta p = 2 \cdot q_0 \cdot I \quad (2.7)$$

$$q_0 = \gamma_{\text{timbunan}} \cdot H \quad (2.8)$$

dimana :

Δp = besar distribusi tegangan

q_0 = beban timbunan

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

H = tingg timbunan termasuk *preloading* (m)

I = faktor pengaruh, yang ditunjukkan Gambar 2.2 atau dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$I = \frac{(a+b)}{a} (\alpha_1 + \alpha_2) - \frac{b}{a} (\alpha_2) \quad (2.9)$$

dimana :

a = panjang horizontal kemiringan timbunan (m)

b = lebar setengah timbunan (m)

$\alpha_1 = [\tan^{-1}\{(a+b)/z\} - \tan^{-1}(b/z)]$ (radian)

$\alpha_2 = [\tan^{-1}(b/z)]$ (radian)

2.6 Kecepatan dan Waktu Penurunan Konsolidasi

Perkiraan kecepatan penurunan konsolidasi biasanya dibutuhkan untuk Mengetahui besarnya kecepatan penurunan tanah selama proses konsolidasi berlangsung. Hal ini perlu dipertimbangkan terutama bila penurunan diperkirakan besar. Jika penurunan yang terjadi sangat kecil, maka kecepatan penurunan tidak begitu perlu diperhitungkan karena penurunan sejalan dengan waktunya yang tidak menghasilkan perbedaan yang berarti.

Terzaghi (1925) dalam Das (1995) memperkenalkan teori pertama kali untuk memperhitungkan kecepatan konsolidasi satu dimensi untuk tanah lempung yang jenuh air. Berikut adalah asumsi – asumsi yang digunakan dalam melakukan perhitungan :

1. campuran lempung dan air homogen,
2. tanah benar-benar jenuh,
3. kemampumampatan air diabaikan,
4. kemampumampatan butiran tanah diabaikan,
5. aliran air hanya satu arah saja, yaitu searah pembebanan,
6. hukum Darcy berlaku.

Proses penurunan tanah lunak yang tebal dapat berlangsung dalam waktu yang lama. Perbandingan antara penurunan tanah pada waktu tertentu dengan penurunan total disebut derajat konsolidasi (U). Nilai derajat konsolidasi berkisar antara 0% sampai 100%. Adapun rumus perhitungan derajat konsolidasi adalah:

$$U = s_t/s \times 100\% \quad (2.10)$$

dimana :

U = derajat konsolidasi (%)

s_t = penurunan pada waktu tertentu (m)

S = penurunan total yang terjadi (m)

Untuk faktor waktu (T_v) dapat dilihat pada Tabel 2.3 atau dapat dihitung dengan persamaan di bawah ini :

1. Untuk U antara 0 - 60%

$$T_v = \pi/4 (U\%100)^2 \quad (2.11)$$

2. Untuk U > 60%

$$T_v = 1,781 - 0,933 \log (100 - U\%) \quad (2.12)$$

dimana :

T_v = faktor waktu

U_v = derajat konsolidasi vertikal (%)

Menurut Terzaghi (1943) dalam Das (1995), lamanya waktu penurunan konsolidasi dapat dihitung menggunakan rumus :

$$t = T_v \times H_{dr}^2 / C_v \quad (2.13)$$

dimana :

t = waktu konsolidasi (detik)

T_v = faktor waktu

H_{dr} = panjang aliran air (drainage) (m)

$H_{dr} = H$ bila aliran satu arah

$H_{dr} = \frac{1}{2} H$ bila aliran dua arah

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

Untuk tanah yang memiliki banyak lapis dengan ketebalan yang berbeda -beda, harga C_v gabungan dapat ditentukan dengan rumus berikut :

$$C_v \text{ gabungan} = \frac{(H_1 + H_2 + \dots + H_n)^2}{H_1^2 / C_{v1} + H_2^2 / C_{v2} + \dots + H_n^2 / C_{vn}} \quad (2.14)$$

dimana :

H_1 = tebal lapisan 1 (m)

C_{v1} = nilai C_v pada lapisan 1 ($m^2/detik$)

Nilai - nilai faktor waktu untuk persen penurunan konsolidasi rata-rata yang didasarkan pada teori Terzaghi (1943) dalam Das (1995) tentang konsolidasi satu dimensi dapat dilihat pada tabel di bawah ini :

Tabel 2.3 Hubungan faktor waktu dengan derajat konsolidasi

$U\%$	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	0,568
90	0,848
100	^

2.7 Metode Perbaikan Tanah Lunak

Seperti yang telah di jelaskan pada poin sebelumnya, salah satu permasalahan yang dapat terjadi pada tanah lunak adalah penurunan yang sangat besar dalam waktu yang lama. Untuk menanggulangi masalah tersebut, maka perlu diperlukan suatu solusi berupa perbaikan tanah lunak.

Variasi metode perbaikan tanah sudah sangat berkembang belakangan ini. Setiap metode perbaikan tanah tersebut tentunya harus bertujuan untuk meningkatkan kekuatan dari tanah dan mencegah penurunan yang besar serta kemungkinan kerusakan pada suatu struktur. Pemilihan metode perbaikan tanah tersebut sangat bergantung dari kondisi geologis tanah, karakteristik tanah, biaya yang dikeluarkan untuk perbaikan, pengadaan bahan perbaikan tanah dan pengalaman dalam hal pelaksanaan di lapangan.

Terdapat beberapa metode untuk melakukan perbaikan tanah lunak, tetapi pada Proyek perbaikan dermaga peti kemas ini, metode yang digunakan ialah Metode *preloading* yang dikombinasikan dengan *prefabricated vertical drain* (PVD).

2.8 Pra-pembebanan (*Preloading*)

Pada tanah yang lunak, mudah mampat dan tebal, biasanya diperlukan suatu Metode pembebanan sebelum pelaksanaan konstruksi itu sendiri. Metode itulah yang selama ini dikenal dengan metode pra-pembebanan atau *preloading*. Metode ini berupa tanah yang ditimbun di atas permukaan tanah yang lunak sebagai pengganti beban lalu lintas.

Metode *preloading* ini dimaksudkan untuk mereduksi penurunan konsolidasi primer, yaitu dengan membebani tanah terlebih dahulu sebelum pelaksanaan pekerjaan konstruksi. Setelah total penurunan konsolidasi primer selesai atau sangat kecil, barulah beban tanah dikupas atau dibongkar (*unloading*) dan struktur dibangun di atas tanah tersebut. Gambar metode *preloading* dapat dilihat pada Gambar 2.3.

Keuntungan dari metode *preloading* ini ialah menambah kuat geser tanah dan mengurangi penurunan. Pada pekerjaan timbunan untuk jalan raya, metode *preloading* dapat dilakukan dengan melebihkan tinggi timbunan. Setelah penurunan konsolidasi sangat kecil atau selesai, kemudian kelebihan tinggi timbunan dibongkar (Hardiyatmo,2008).

Untuk tinggi timbunan kritis beban *preloading* dapat dihitung berdasarkan daya dukung tanah lempung mula - mula. Kekuatan geser tanah lempung, dalam hal ini kohesi tanah akan mempengaruhi tinggi timbunan yang akan dipergunakan. daya dukung tanah lempung dalam perencanaan beban *preloading* dihitung sebagai berikut :

$$qu = 2 \times Cu \quad (2.15)$$

$$qu = \gamma_{\text{timbunan}} \times H_{cr} \quad (2.16)$$

maka :

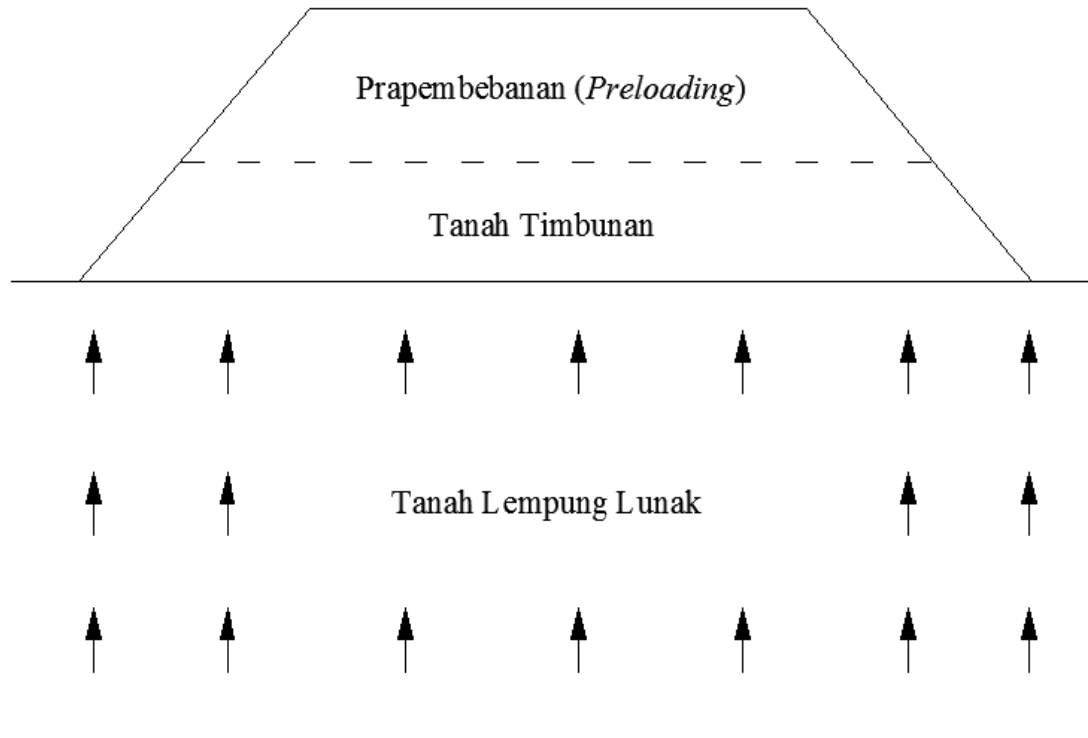
$$H_{cr} = 2 \times cu / \gamma_{\text{timbunan}} \quad (2.17)$$

dimana :

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

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

H_{cr} = tinggi timbunan kritis (m)



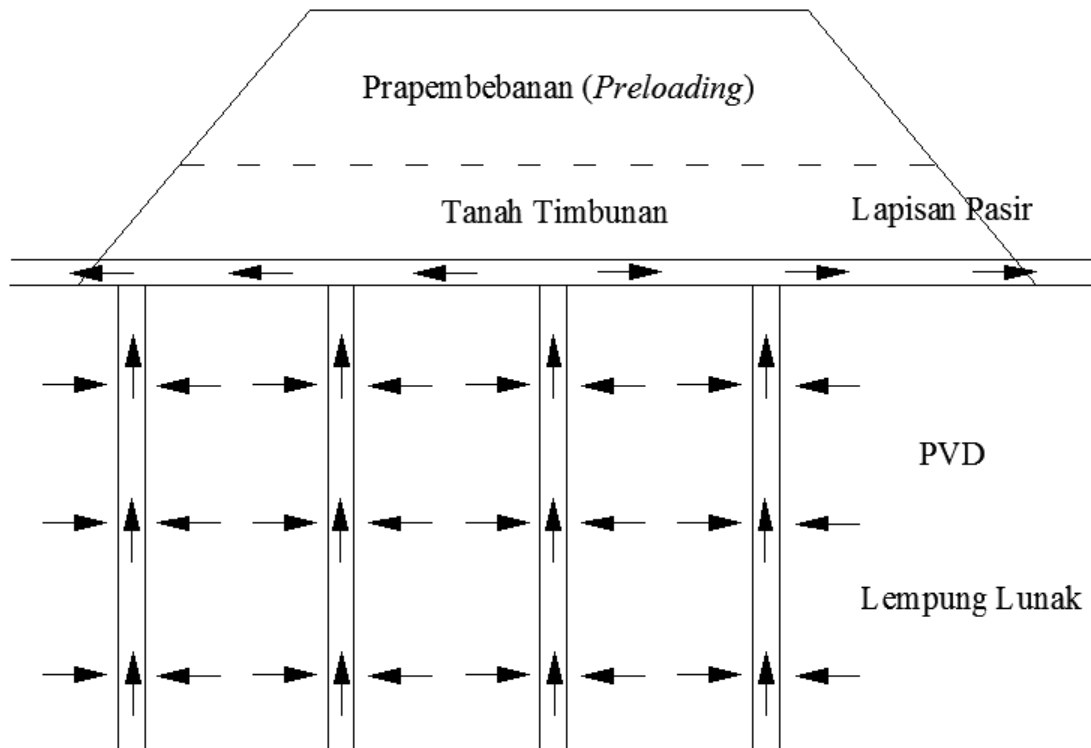
Gambar 2.2 Pra-pembebanan (*preloading*)

2.9 Prefabricated Vertical Drain (PVD)

Sering ditemui dalam pekerjaan konstruksi bahwa metode preloading masih membutuhkan waktu yang cukup lama (umumnya lebih dari satu tahun) padahal proyek tidak dapat menunggu selama itu. Untuk mempercepat proses konsolidasi, dilakukan perbaikan tanah dengan menggunakan *prefabricated vertical drain* (PVD). Cara ini biasa diterapkan pada tanah dimana pemampatan terjadi sebagian besar akibat konsolidasi primer.

Prefabricated vertical drain (PVD) merupakan sistem drainase buatan yang dipasang secara vertical ke dalam lapisan tanah lunak. Sistem drainase vertikal ini

mempunyai bentuk berupa sabuk berpenampang persegi panjang, terdiri dari bagian luar berupa filter yang terbuat dari bahan *synthetic* atau *geotextile*. PVD berperan besar dalam proses konsolidasi. Dengan menggunakan PVD, maka proses konsolidasi dapat berjalan lebih cepat. *Preloading* dengan PVD dapat dilihat pada Gambar 2.3 di bawah ini :



Gambar 2.3 *Preloading* dengan PVD

Untuk analisa penurunan tanah dengan *prefabricated vertical drain* (PVD) dapat menggunakan metode yang diperkenalkan oleh Hansbo (1981) dalam Pasaribu (2012). Analisa hanya ditinjau pada satu titik *stationing* yang dianggap paling kritis, yaitu pada titik BH-02 (STA 20+375) dengan kedalaman tanah lunak mencapai ± 13 m. Sedangkan derajat konsolidasi yang ditargetkan adalah 90% (Das, 1995 dalam Pasaribu, 2012).

2.9.1 Pola Pemasangan PVD

Untuk penentuan titik pemasangan PVD, biasanya digunakan pola-pola tertentu untuk memudahkan pelaksanaan. Pada umumnya, PVD dipasang dengan pola segiempat atau segitiga. Pola pemasangan PVD dapat dilihat pada Gambar 2.4 dan 2.5. Untuk mengetahui daerah pengaruh kerja PVD, maka dapat dihitung dengan persamaan dibawah ini :

1. untuk pola segiempat

$$R = 0,546 \cdot S \text{ atau } D = 1,13 \cdot S \quad (2.18)$$

2. untuk pola segitiga

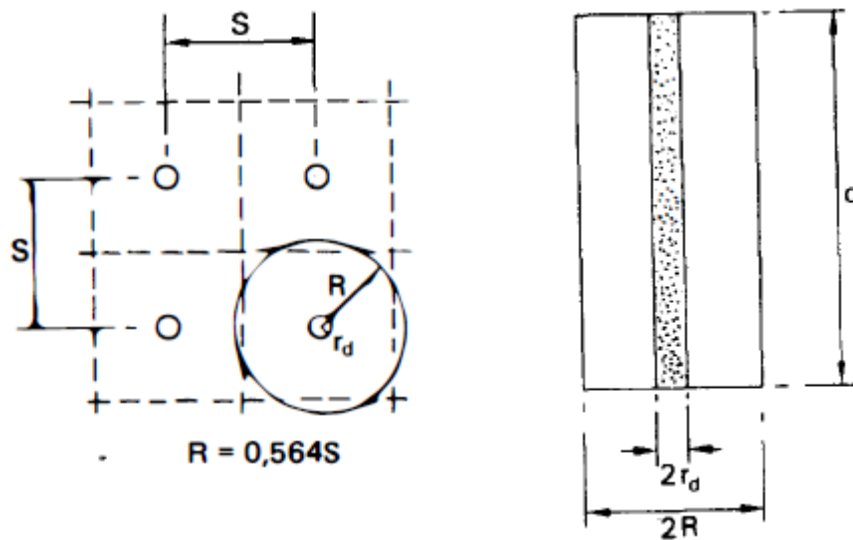
$$R = 0,525 \cdot S \text{ atau } D = 1,05 \cdot S \quad (2.19)$$

dimana :

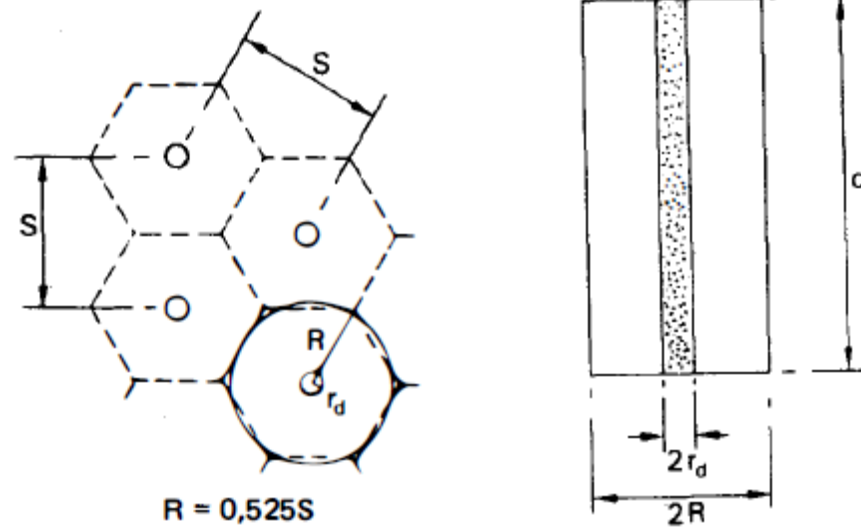
R = jari-jari (m)

D = diameter jangkauan kerja PVD (m)

S = *Spacing* atau jarak antar PVD (m)



Gambar 2.4 PVD pola susunan segiempat



Gambar 2.5 PVD pola susunan segitiga

2.9.2 Jarak Pemasangan PVD

Jarak pemasangan PVD umumnya lebih dari 1 m, akan tetapi menurut Fellenius (2006) dalam Hardiyatmo (2008), jarak pemasangan PVD berkisar diantara :

- untuk lempung homogen : 1 s/d 1,6 m
- untuk lempung berlanau : 1,2 s/d 1,8 m
- untuk tanah-tanah yang lebih kasar : 1,5 s/d 2 m

2.9.3 Kedalaman PVD

Kedalaman PVD adalah sepanjang lapisan tanah yang mengalami konsolidasi. PVD dipasang sepanjang lapisan tanah yang *compressible* ($N-SPT < 10$) atau sedalam lapisan tanah yang masih mengalami pengaruh akibat distribusi tegangan dari beban di atasnya (Winner, 2017). Pada BH-02 STA 20+375, PVD dipasang dengan kedalaman mencapai 13 m dari permukaan tanah timbunan.

2.9.4 Perhitungan Penurunan Konsolidasi

Untuk perhitungan penurunan tanah dengan PVD dapat dihitung dengan metode Hansbo (1981) dalam Pasaribu (2012). Adapun parameter - parameter nya adalah sebagai berikut :

1. Koefisien konsolidasi horizontal (Ch)

$$Ch = (1/d^2) \cdot Cv \quad (2.20)$$

dimana :

Ch = koefisien konsolidasi horizontal (m²/detik)

Cv = koefisien konsolidasi vertikal (m²/detik)

2. Derajat konsolidasi arah vertikal (Uv)

$$Tv = Cv \cdot t / Hd^2 \quad (2.21)$$

$$Uv = \sqrt{4 \cdot \frac{Tv}{\pi} / (1 + (4 \cdot \frac{Tv}{\pi})^{2.8})^{0.179}} \quad (2.22)$$

dimana :

Tv = faktor waktu vertikal

Cv = koefisien konsolidasi vertikal (m²/detik)

t = waktu ke -n (hari)

Hd = 1/2 kedalaman tanah lunak (m)

Uv = derajat konsolidasi arah vertikal (%)

3. Faktor waktu horisontal (Th)

$$Th = Ch \cdot td^2 \quad (2.23)$$

dimana :

Th = faktor waktu horizontal

Ch = koefisien konsolidasi horizontal (m²/detik)

t = waktu ke-n (hari)

d = diameter jangkauan kerja PVD (m)

4. Derajat konsolidasi arah horizontal (U_h)

Dengan memperhitungkan efek *smear*, persamaan derajat konsolidasi, U_h adalah:

$$U_h = 1 - \exp(-8 \cdot T_h F) \quad (2.24)$$

dimana, $F = F_n + F_s$

$$F_n = \left(\frac{n^2(n^2-1)}{3n^2-1} \right) \cdot \ln(n) - (3n^2-1)(4n^2) \quad (2.25)$$

$$F_s = \left(\frac{k_h k_s}{k_s - 1} \right) \cdot \ln \left(\frac{d_s}{d_w} \right) \quad (2.26)$$

dimana :

U_h = derajat konsolidasi horizontal (%)

T_h = faktor waktu horizontal

F = faktor hambatan

F_n = faktor hambatan disebabkan karena jarak antar PVD

F_s = faktor hambatan tanah yang terganggu

D = diameter jangkauan kerja PVD (m)

1,13 x S untuk pola segiempat

1,05 x S untuk pola segitiga

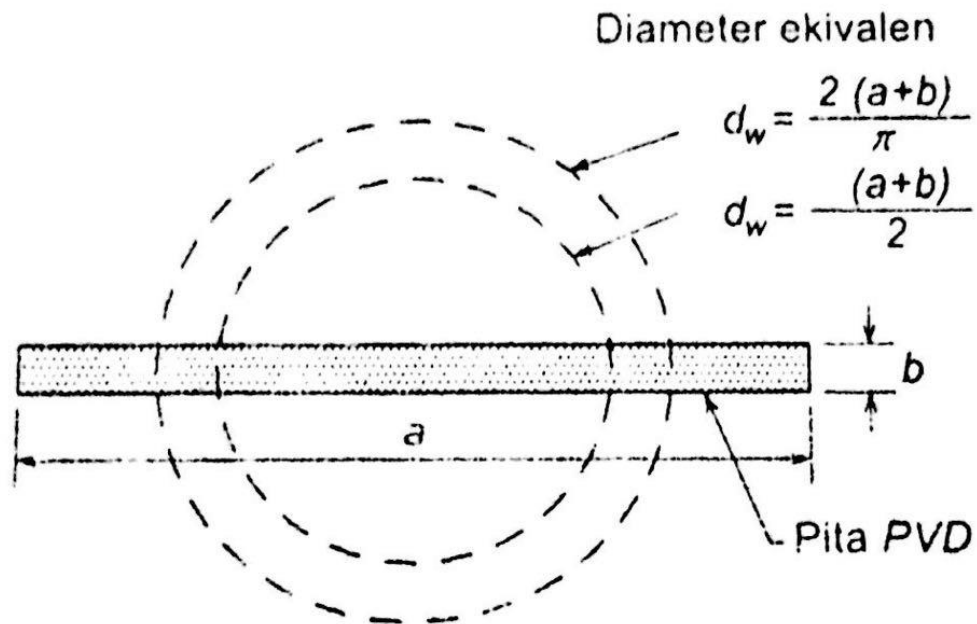
d_w = diameter lingkaran ekivalen PVD (m), ditunjukkan pada Gambar 2.6

k_h/k_s = diasumsikan bernilai 2

k_h = koefisien permeabilitas arah horizontal dalam tanah yang tidak terganggu
(mm/detik)

k_s = koefisien permeabilitas arah horizontal pada tanah sudah terganggu (mm/detik)

d_s = diameter daerah yang terganggu sekeliling PVD (m)



Gambar 2.6 Diameter ekivalen (d_w) PVD

5. Derajat konsolidasi total (U)

Carillo(1942) dalam Pasaribu (2012), mengusulkan persamaan untuk mendapatkan derajat konsolidasi total yang dapat dihitung dengan persamaan di bawah ini :

$$U = 1 - [(1 - U_v) \cdot (1 - U_h)] \tag{2.27}$$

dimana :

U = derajat konsolidasi total (%)

U_v = derajat konsolidasi arah vertikal (%)

U_h = derajat konsolidasi arah horizontal (%)

6. Besar penurunan konsolidasi (S_c) pada waktu ke-n

$$S_c = U \cdot S_{ult} \tag{2.28}$$

dimana :

S_c = besar penurunan (m)

U = derajat konsolidasi total (%)

S_{ult} = besar penurunan tanpa PVD (m)

2.9.5 Waktu Penurunan Konsolidasi

Adapun cara lain untuk menghitung waktu konsolidasi dengan menggunakan PVD dapat dihitung dengan persamaan di bawah ini :

$$t = (D_{28} \cdot C_h) \cdot 2 \cdot F_n \cdot \ln(11 - U_h) \quad (2.29)$$

dimana :

t = waktu yang diperlukan untuk mencapai U_h (detik)

D = diameter jangkauan kerja PVD (m)

1,13 x S untuk pola segiempat

1,05 x S untuk pola segitiga

C_h = koefisien konsolidasi arah horizontal (m²/detik)

F_n = faktor hambatan disebabkan karena jarak antar PVD

U_h = derajat konsolidasi arah horizontal (%)

2.10 Stabilitas Lereng

Stabilitas Lereng merupakan suatu faktor yang sangat penting dalam pekerjaan yang berhubungan dengan penggalian dan penimbunan tanah. Stabilitas lereng ditentukan oleh kekuatan geser yang dimiliki tanah dan tegangan geser yang terjadi akibat gaya luar dan gaya dalam (Ahmad, 2016).

Dalam studi ini, analisa terhadap kestabilan suatu lereng dilakukan pada lereng tanah timbunan (*preloading*) setinggi 2,00 m pada proyek perbaikan tanah pada Dermaga Peti Kemas Belawan. Analisa stabilitas lereng bertujuan untuk mengetahui faktor keamanan dan daerah bidang gelincir lereng tanah timbunan sehingga dapat menentukan sistem keamanan dari lereng tersebut. Analisa dilakukan dengan menggunakan program PLAXIS 8.2 2D.

2.11 Metode Elemen Hingga (FEM)

Analisa dan prediksi penurunan konsolidasi/primer juga dapat dilakukan dengan Metode elemen hingga (*finite element method*). Metode elemen hingga merupakan suatu metode perhitungan berdasarkan konsep diskretisasi, yaitu menyederhanakan sebuah elemen kontinyu menjadi elemen – elemen yang lebih kecil. Dengan begini sebuah sistem yang mempunyai derajat kebebasan tak terhingga dapat didekatkan dengan sejumlah elemen yang mempunyai derajat kebebasan berhingga. Dengan kata lain, metode elemen hingga ini merupakan suatu cara pendekatan analisa struktur kondisi asli dengan profil tanah yang telah dibuat sebelumnya.

Untuk memperoleh hasil yang cukup akurat, maka elemen kontinyu harus disederhanakan menjadi elemen – elemen hingga yang kecil sehingga setiap elemen bias bekerja secara simultan. Metode ini dapat digunakan untuk mengetahui deformasi ataupun tegangan yang terjadi pada suatu elemen yang disebabkan oleh distribusi beban atau gaya (Julius, 2013). Adapun program dari metode elemen hingga yang digunakan dalam kasus ini ialah PLAXIS 2D.

2.12 PLAXIS 2D

PLAXIS 2D adalah sebuah program komputer dua dimensi yang dibuat berdasarkan metode elemen hingga yang digunakan secara khusus untuk melakukan analisa deformasi, penurunan, maupun stabilitas dalam rekayasa geoteknik. Hal ini dilengkapi dengan fitur untuk menangani berbagai aspek struktur geoteknik dan proses konstruksi menggunakan prosedur komputasi yang kuat dan secara teoritis.

Perkembangan program PLAXIS 2D dimulai pada tahun 1987 di Universitas Delft (*Technical University of Delft*) atas inisiatif dari Departemen Tenaga Kerjadan Pengelolaan Sumber Daya Air Belanda (*Dutch Department of Public Works and Water Management*). Tujuan awalnya adalah untuk menciptakan sebuah program komputer berdasarkan metode elemen hingga (FEM) 2D yang mudah digunakan untuk menganalisa tanggul-tanggul yang dibangun di atas tanah lunak di dataran rendah wilayah Holland.

Pada tahun-tahun berikutnya, program PLAXIS 2D dikembangkan lebih lanjut sehingga dapat menganalisa dan menyelesaikan masalah-masalah yang lebih kompleks dalam seluruh aspek perencanaan geoteknik lainnya. Karena aktivitas yang terus berkembang, maka sebuah perusahaan bernama PLAXIS b.v. Kemudian didirikan pada tahun 1993. Pada tahun 1998, dirilis versi pertama PLAXIS untuk Windows.

Dalam program PLAXIS 2D terdapat dua tahap yang paling berpengaruh terhadap hasil keluaran, yaitu tahap pemodelan dan tahap perhitungan. Untuk tahap pemodelannya, program PLAXIS 2D menerapkan metode antar muka grafis yang mudah digunakan sehingga pengguna dapat dengan cepat membuat model geometri dan jaring elemen berdasarkan penampang melintang dari kondisi yang ingin dianalisa.

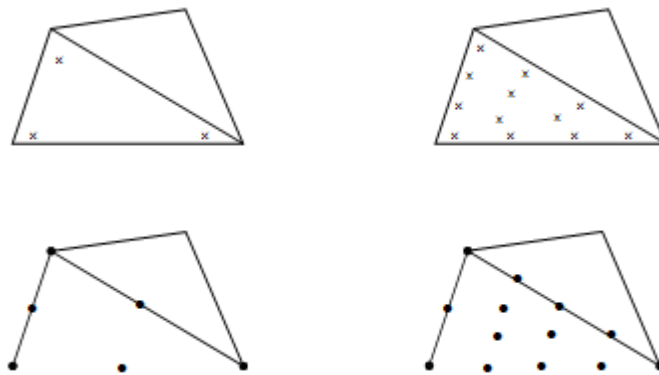
Untuk tahap perhitungannya, program PLAXIS 2D dapat dilakukan secara ini otomatis dengan berdasarkan kepada prosedur numerik. Sedangkan untuk hasil yang keluarannya, PLAXIS 2D dapat menampilkan data – data yang dibutuhkan guna untuk mendesain suatu proyek. Selain itu, terdapat juga menu *curve* yang dapat digunakan untuk membuat kurva dengan meninjau pada beberapa poin tertentu yang juga disebut dengan nodal (Julius, 2013).

Pada program PLAXIS 2D, ada dua cara dalam memodelkan struktur geoteknik, yaitu dengan *plane strain* dan *axisymmetry*. Model *plane strain* biasa digunakan untuk model geometri dengan penampang melintang yang cukup seragam, dengan kondisi tegangan dan pembebanan yang terjadi cukup panjang dalam arah tegak lurus terhadap penampang. Perpindahan dan regangan dalam arah tegak lurus terhadap penampang diasumsikan tidak terjadi atau bernilai nol, akan tetapi tetap diperhitungkan sepenuhnya dalam analisa (Julius, 2013).

Sedangkan untuk model *axisymmetry* biasa digunakan untuk struktur geoteknik berbentuk lingkaran dengan bidang penampang radial yang cukup seragam dan kondisi pembebanan mengelilingi sumbu aksial. Untuk deformasi dan kondisi tegangan diasumsikan tersebar rata mengelilingi arah radial. Dalam model

axisymmetry koordinat (x) menyatakan radius, sedangkan untuk koordinat (y) menyatakan sumbu simetris dalam arah aksial (Julius, 2013).

Elemen tanah pada program PLAXIS 2D dimodelkan berupa elemen segitiga, dimana elemen tersebut dibagi menjadi dua jenis yaitu elemen segitiga dengan 6 titik nodal dan elemen segitiga dengan 15 titik nodal. Hasil analisa elemen hingga dalam program PLAXIS 2D dengan menggunakan 15 titik nodal akan memberikan hasil yang lebih akurat dibandingkan dengan hanya 6 titik nodal. Akan tetapi proses perhitungan dengan 15 titik nodal akan memakan waktu lebih lama karena banyaknya jumlah perhitungan yang dilakukan dibandingkan hanya dengan menggunakan 6 titik nodal (Julius, 2013). Perbedaan 6 titik nodal dengan 15 titik nodal dapat dilihat pada Gambar 2.7 berikut ini :



Gambar 2.7 Perbedaan 6 titik nodal dengan 15 titik nodal (atas *stress points*, bawah *nodes*)

Pada program PLAXIS 2D juga terdapat beberapa jenis pemodelan tanah. Adapun jenis pemodelan tanahnya ialah sebagai berikut :

1. Model *Mohr-Coulomb* (MC)

Model *Mohr-Coulomb* merupakan model elastis-plastis yang terdiri dari lima buah parameter, yaitu E dan ν untuk memodelkan elastisitas tanah; ϕ dan c untuk memodelkan plastisitas tanah dan ψ sebagai sudut dilatansi. Model *Mohr-Coulomb*

merupakan suatu pendekatan “ordo pertama” dari perilaku tanah atau batuan. Model ini disarankan untuk digunakan dalam analisis awal dari masalah yang dihadapi.

2. Model *Jointed-Rock* (JR)

Model *Jointed-Rock* atau model batuan dengan kekar adalah sebuah model elastis plastis anisotropis, yang dikembangkan khusus untuk memodelkan perilaku lapisan batuan yang mempunyai stratifikasi dan arah-arah kekar (*fault*) tertentu.

3. Model *Hardening Soil* (HS)

Model *Hardening Soil* merupakan model tingkat lanjut untuk memodelkan perilaku dari tanah. Seperti pada model *Mohr-Coulomb*, kondisi tegangan batas dideskripsikan oleh sudut geser (φ), kohesi (c), dan sudut dilatansi (ψ). Berbeda dengan model *Mohr-Coulomb*, model *Hardening Soil* mengikut sertakan modulus kekakuan yang bergantung pada tegangan. Hal ini berarti bahwa kekakuan akan semakin meningkat terhadap tegangan.

4. Model *Soft Soil Creep* (SSC)

Model *Soft Soil Creep* merupakan model yang relatif baru yang telah dikembangkan untuk aplikasi masalah penurunan pada pondasi, timbunan dan lain-lain. Untuk masalah terowongan atau galian, model *Soft Soil Creep* tidak dapat menggantikan model *Mohr-Coulomb* yang sederhana. Seperti halnya pada model *Mohr-Coulomb*, kondisi awal tanah yang benar juga merupakan hal yang penting saat menggunakan model *Soft Soil Creep*.

5. Model *Soft Soil* (SS)

Model *Soft Soil* merupakan jenis model *Cam-Clay* yang ditujukan khusus untuk analisis kompresi primer dari tanah lempungan yang terkonsolidasi normal. Meskipun kemampuan dari model ini berada di bawah model *Hardening Soil*,

namun model *Soft Soil* tetap dipertahankan dalam versi 8 karena beberapa pengguna PLAXIS mungkin masih terbiasa dengan model ini dan masih ingin menggunakannya.

Selain itu, dalam memodelkan elemen tanah pada program PLAXIS 2D dapat dilakukan dalam dua kondisi. Adapun kedua kondisi tersebut ialah :

1. Kondisi *drained*

Kondisi *drained* merupakan kondisi untuk tanah yang memiliki permeabilitas besar seperti tanah pasir, tanah yang mengalami pembebanan sangat lambat, serta untuk menstimulasikan perilaku tanah dalam jangka panjang. Kondisi *drained* pada program PLAXIS 2D digunakan untuk mengatur tidak ada kenaikan tekanan air pori (*pore water pressure*) pada material tanah.

2. Kondisi *undrained*

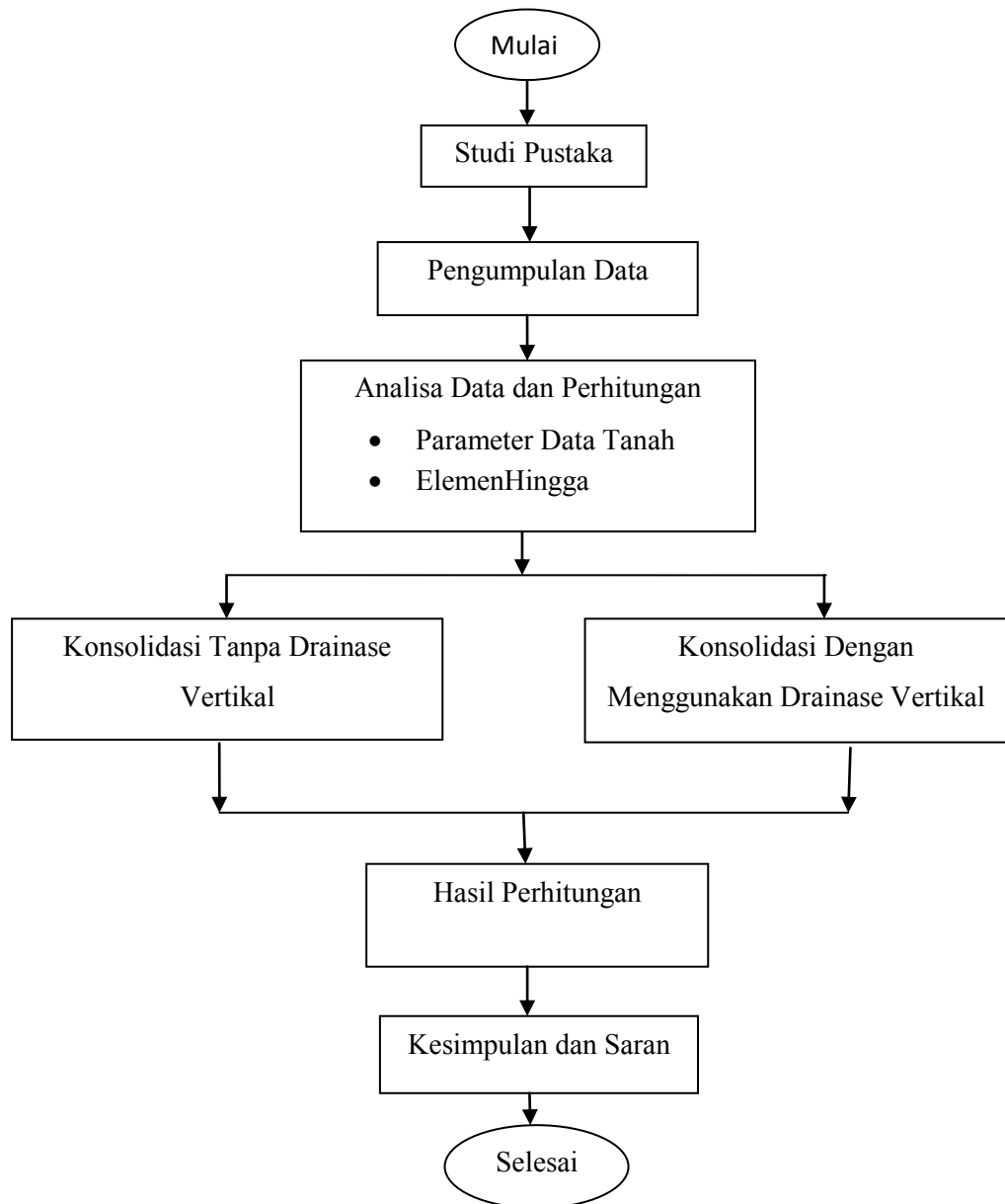
Kondisi *undrained* merupakan kondisi untuk tanah yang memiliki permeabilitas kecil seperti tanah lempung sehingga ketika diberikan *excess pore water pressure* tidak langsung terdisipasi atau teralirkan. Kondisi *undrained* pada program PLAXIS 2D digunakan untuk mengatur timbulnya kenaikan tekanan air pori (*excess pore water pressure*) pada material tanah.

BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1. Diagram Alir Penelitian

Tahapan penelitian ini dilaksanakan secara sistematis seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.1:



Gambar 3.1: Diagram alir penelitian

3.2. Data Umum Proyek

Data umum dari proyek pembangunan Dermaga Peti Kemas Belawan Sumatera Utara adalah:

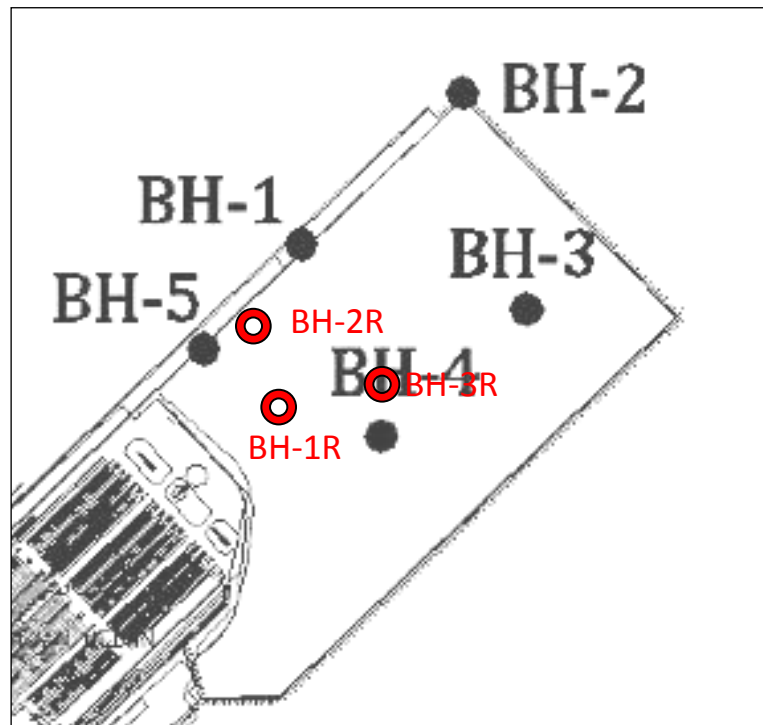
1. Nama Proyek : Pengembangan Dermaga Peti Kemas Belawan
2. Lokasi Proyek : Jl. Ujung Baru, Bagan Deli, Kota Medan
3. Kontraktor Pelaksana: *PT. RAYAKONSULT - PT. DETA DECON - PT. SEAL INDONESIA*
4. Denah Lokasi dapat dilihat pada Gambar 3.2



Gambar 3.2 Lokasi Pelabuhan Belawan

3.3. Lokasi Titik Pengeboran

Dari data yang diperoleh dari pihak kontraktor, penulis memilih 3 titik pengeboran yaitu pada area kolam pelabuhan untuk dermaga, Area reklamasi dan area perbatasan dengan proyek phase-II Gambar 3.3 dan Gambar 3.4.



Gambar 3.3: Lokasi titik pengeboran BH-1R, BH-2R dan BH-3R.

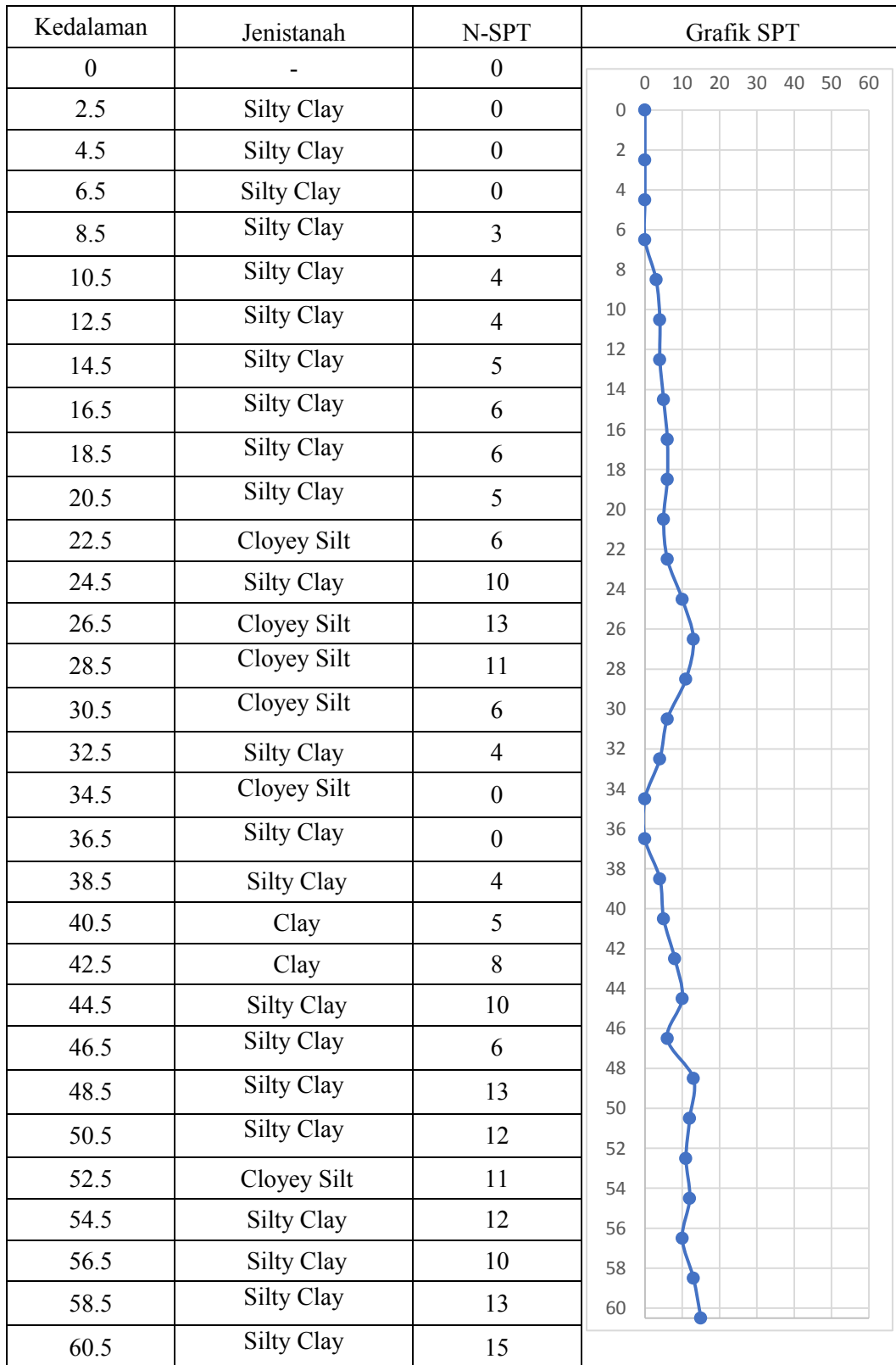
3.4. Pengumpulan Data

Data yang digunakan pada tugas akhir ini, keseluruhannya merupakan data sekunder. Data sekunder dalam penelitian ini meliputi data tanah yang merupakan hasil dari pengujian *Standard Penetration Test* (SPT).

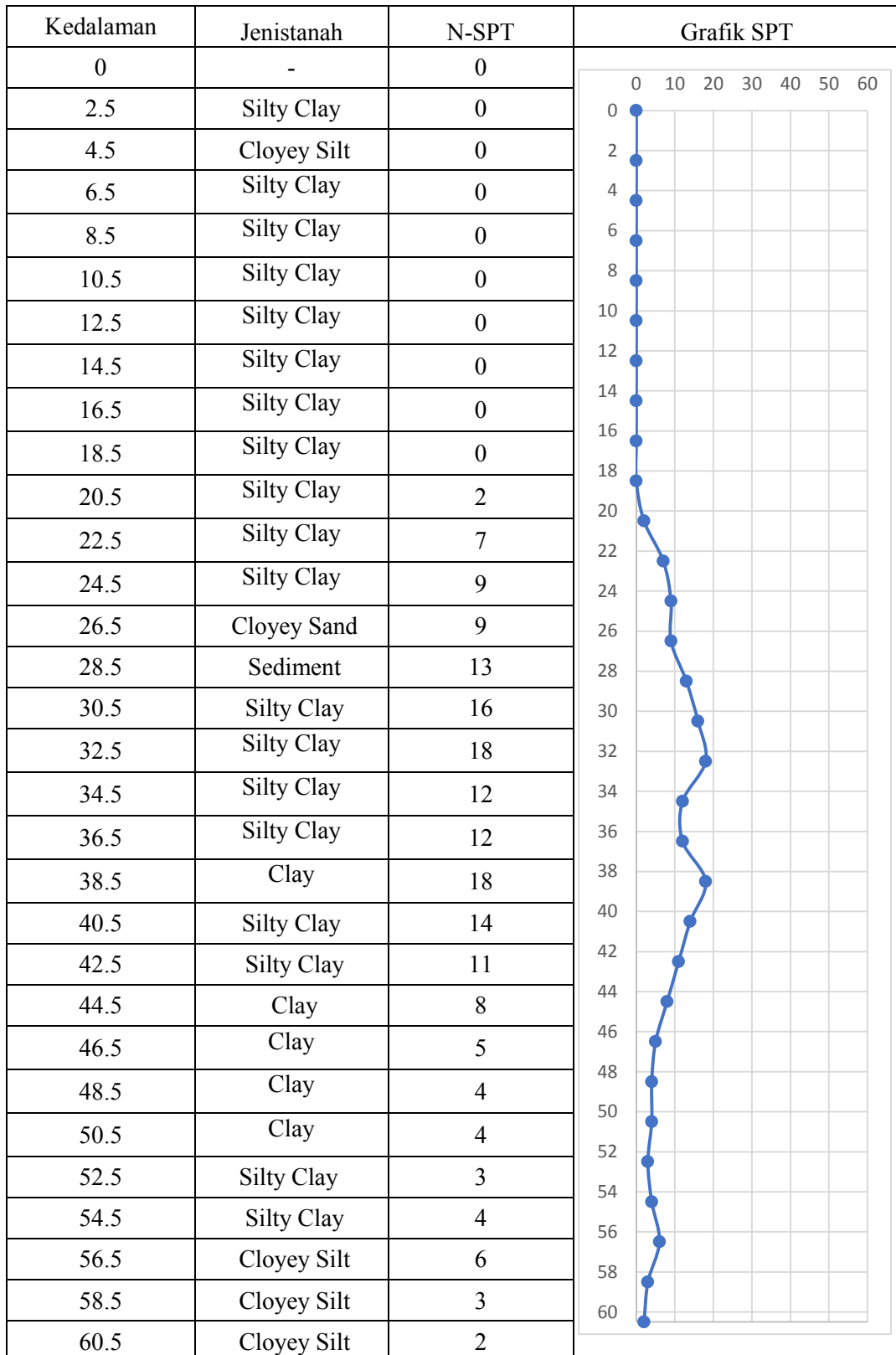
3.5. Analisis Data Tanah

Data propertis material dalam penelitian ini adalah data yang diperoleh dari pihak kontraktor yang menangani pekerjaan perbaikan tanah pada proyek perluasan dermaga petikemas Belawan. Data lapangan yang dimaksud ialah data uji penetrasi standar (SPT) sedalam 60 m (Tabel 3.1 - 3.3) yang terletak dalam kawasan Dermaga Peti Kemas Belawan.

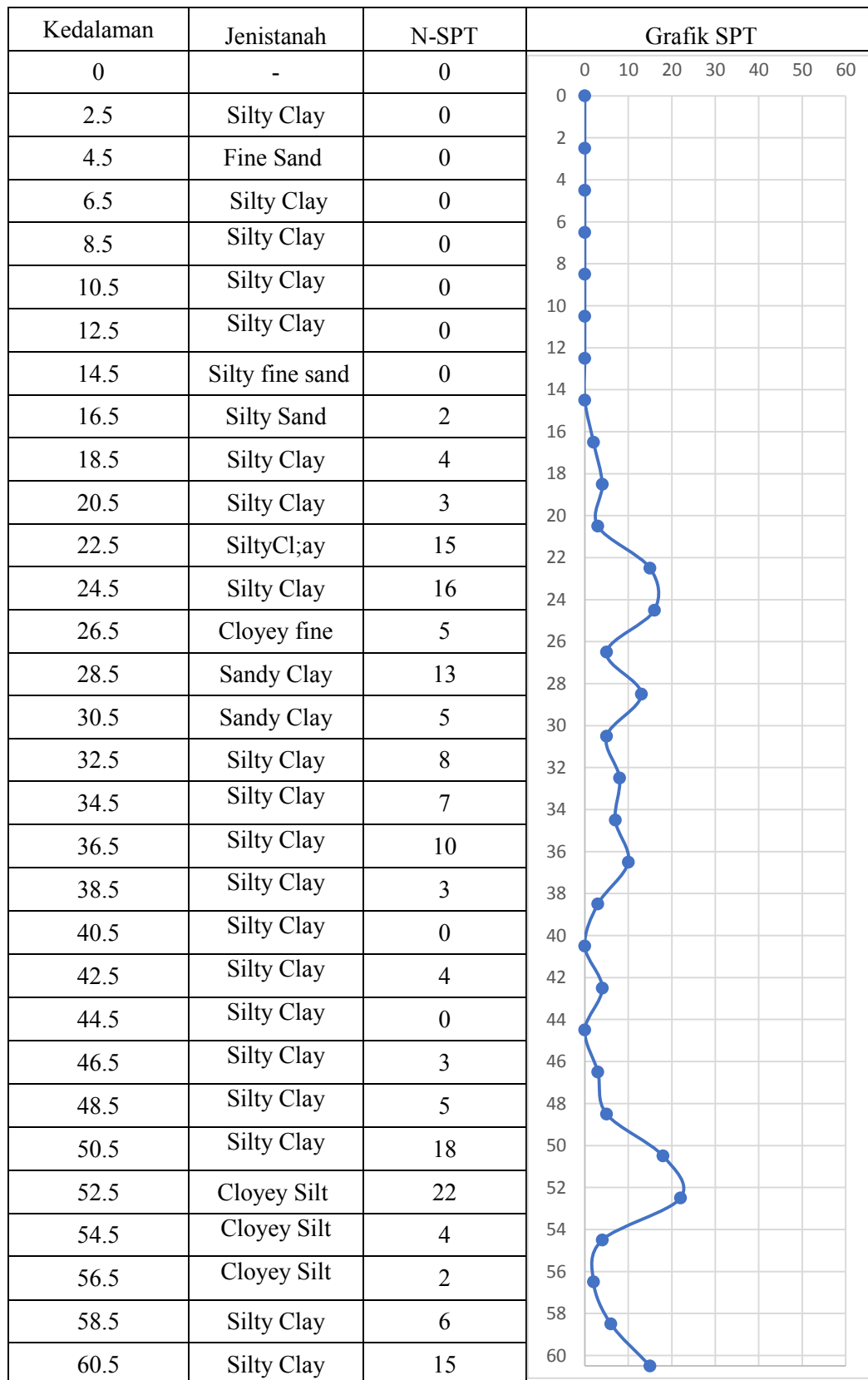
Tabel 3.1 Data hasil pengeboran (BH-1R)



Tabel 3.2 Data hasil pengeboran (BH-2R)



Tabel 3.3 Data hasil pengeboran (BH-3R)



3.6. Analisis Parameter Tanah

Metode yang digunakan pada pemodelan ini adalah *MohrCoulomb*. Pada model ini diasumsikan perilaku tanah bersifat plastis sempurna. Adapun parameter yang dibutuhkan dalam pemodelan ini yaitu, Modulus Young E (*stiffness modulus*), *Poisson's ratio* (ν), sudut geser dalam (ϕ), kohesi (c), sudut dilatasi (Ψ) berat isi tanah (γ).

Parameter tanah dari hasil uji SPT dan laboratorium ini di ambil dari penyelidikan tanah yang dilaksanakan oleh PT. Waskita Karya (persero). Karena keterbatasan data, maka sebagian parameter tanah pada lapisan tertentu ditentukan berdasarkan korelasikan nilai N-SPT dan juga jenis tanah pada lapisan.

1. Untuk koefisien rembesan (k_x , k_y) diambil dari nilai koefisien *permeabilita* tanah pada berbagai jenis tanah.
2. Untuk modulus elastisitas (E) diambil dari nilai perkiraan modulus elastisitas tanah dapat dilihat pada Tabel 2.3 dan Tabel 2.4, yaitu dengan cara mengkorelasikan nilai SPT dan konsistensi tanah terhadap modulus elastisitas. Nilai modulus elastisitas di konversikan kedalam satuan kN/m^2 .
3. Untuk angka poisson (ν), diambil dari hubungan jenis tanah, konsistensi dan poisson ratio (ν).
4. Untuk sudut geser dalam (ϕ) nilai diambil dengan cara mengkorelasikan nilai N-SPT.
5. Berat isi tanah kering (γ_{dry}) diambil dari korelasi antara jenis tanah dengan berat isi tanah kering.
6. Berat isi tanah jenuh (γ_{sat}) dihitung dengan menjumlahkan nilai berat isi kering (γ_{dry}) dengan 9.8.
7. Untuk nilai kohesi (c) diperoleh dari percobaan laboratorium yang dilakukan oleh pihak kontraktor.
8. Sudut Dilatasi diperoleh dengan menggunakan nilai data SPT.

Untuk hasil korelasi nilai parameter tanah dengan data SPT dapat dilihat dalam Tabel 3.4–3.6.

Tabel 3.4 Parameter Tanah BH-1.

No.	Parameter	simbol	Lapisan						satuan
			Lap 1	Lap 2	Lap 3	Lap 4	Lap 5	Lap 6	
1	Konsistensi	-	Lunak ke sedang	Sedang ke padat	Sangat padat	Sangat padat	Sangat padat	Sangat padat	-
2	Model material	-	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb	-
3	Jenis perilaku	-	Terdrainase	Terdrainase	Terdrainase	Terdrainase	Terdrainase	Terdrainase	-
4	Berat isi tanah di atas garis freatik	Γ_{dry}	11.50	14.50	18	18	18	18	kN/m ³
5	Berat isi tanah di bawah garis freatik	γ_{sat}	21.3	24.3	27.8	27.8	27.8	27.8	kN/m ³
6	Permeabilitas arah horizontal	K_x	1.150E-13	1.150E-09	1.150E-09	1.150E-09	1.150E-09	1.150E-09	m/hari
7	Permeabilitas arah vertical	K_y	1.150E-13	1.150E-09	1.150E-09	1.150E-09	1.150E-09	1.150E-09	m/hari
8	Modulus Young	E	4929.7	26165.6	44126.5	44126.5	44126.5	44126.5	kN/m ²
9	Angka Poisson	ν	0.4	0.35	0.2	0.2	0.2	0.2	-
10	Kohesi	c	7.84	1	1	1	1	1	kN/m ²
11	sudut geser dalam	ϕ	5	37	41	41	41	41	°
12	sudut dilatasi	ψ	0	7	11	11	11	11	°

Tabel 3.5. Parameter Tanah BH-2.

No.	Parameter	simbol	Lapisan						Satuan
			Lap 1	Lap 2	Lap 3	Lap 4	Lap 5	Lap 6	
1	Konsistensi	-	Lunak	Sedang ke padat	Sangat padat	Sangat padat	Sangat padat	Sangat padat	-
2	Model material	-	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb	-
3	Jenis perilaku	-	Terdrainase	Terdrainase	Terdrainase	Terdrainase	Terdrainase	Terdrainase	-
4	Berat isi tanah di atas garis freatik	Γ_{dry}	11.50	14.50	18	18	18	18	kN/m ³
5	Berat isi tanah di bawah garis freatik	γ_{sat}	21.3	24.3	27.8	27.8	27.8	27.8	kN/m ³
6	Permeabilitas arah horizontal	K_x	1.150E-13	1.150E-09	1.150E-09	1.150E-09	1.150E-09	1.150E-09	m/hari
7	Permeabilitas arah vertical	K_y	1.150E-13	1.150E-09	1.150E-09	1.150E-09	1.150E-09	1.150E-09	m/hari
8	Modulus Young	E	6446.6	26544.8	44126.5	44126.5	44126.5	44126.5	kN/m ²
9	Angka Poisson	ν	0.4	0.35	0.3	0.2	0.2	0.2	-
10	Kohesi	c	8.33	1	1	1	1	1	kN/m ²
11	sudut geser dalam	ϕ	6	37	41	41	41	41	°
12	sudut dilatasi	ψ	0	7	11	11	11	11	°

Tabel 3.6. Parameter Tanah BH-3.

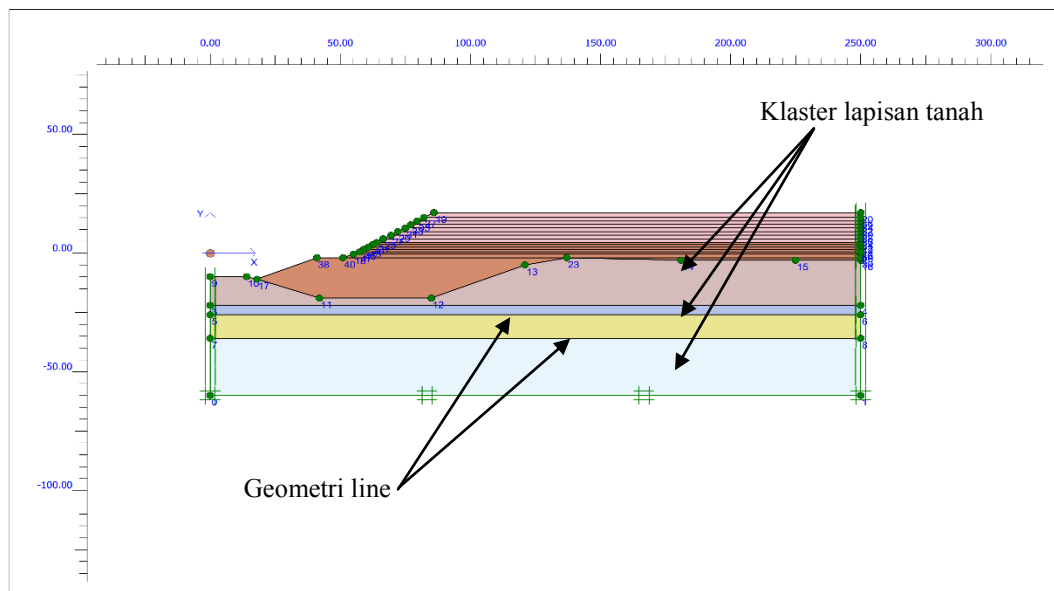
No.	Parameter	simbol	Lapisan						satuan
			Lap 1	Lap 2	Lap 3	Lap 4	Lap 5	Lap 6	
1	Konsistensi	-	Lunak	Sedang kepdat	Padat	Sangat padat	Sangat padat	Sangat padat	-
2	Model material	-	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb	-
3	Jenis perilaku	-	Terdrainase	Terdrainase	Terdrainase	Terdrainase	Terdrainase	Terdrainase	-
4	Berat isi tanah di atas garis freatik	Γ_{dry}	14.50	18	18	18	18	18	kN/m ³
5	Berat isi tanah di bawah garis freatik	γ_{sat}	24.3	27.8	27.8	27.8	27.8	27.8	kN/m ³
6	Permeabilitas arah horizontal	K_x	1.150E-09	1.150E-07	1.150E-07	1.150E-07	1.150E-07	1.150E-07	m/hari
7	Permeabilitas arah vertical	K_y	1.150E-09	1.150E-07	1.150E-07	1.150E-07	1.150E-07	1.150E-07	m/hari
8	Modulus Young	E	7244.8	36578	44126.5	44126.5	44126.5	44126.5	kN/m ²
9	Angka Poisson	ν	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	-
10	Kohesi	c	1	1	1	1	1	1	kN/m ²
11	sudut geser dalam	ϕ	29.5	40.5	42	42	42	41	°
12	sudut dilatasi	ψ	0	10.5	12	12	12	12	°

3.7. Menghitung Daya Dukung Dengan Metode Elemen Hingga

Perhitungan daya dukung dan penurunan dengan metode elemen hingga menggunakan bantuan program analisis, yang menggunakan data parameter tanah.

3.7.1. Pemodelan Geometri

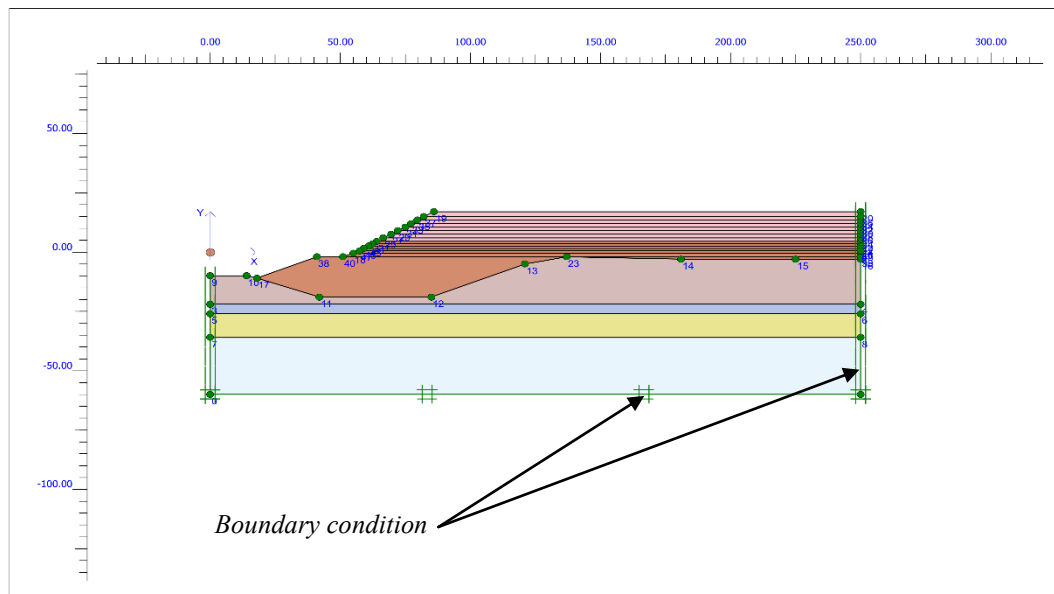
Pembuatan sebuah model elemen hingga dimulai dengan pembuatan geometrik dari model, yang merupakan gambaran dari masalah yang ingin dianalisis. Pada penelitian ini dimodelkan klaster dengan kedalaman kontur geometrik adalah 60 m, sedangkan untuk lebar kontur geometri menggunakan *regangan bidang* 250 m (Gambar 3.4).



Gambar 3.4: Pemodelan geometri pada program analisis.

3.7.2. Kondisi Batas (*Boundary Condition*)

Dengan mengklik tombol standar fixities pada toolbar, plaxis kemudian akan membentuk jepit penuh pada dasar geometri dan kondisi rol pada sisi vertikal ($u_x = 0$; $u_y = \text{bebas}$). Jepit pada arah tertentu akan ditampilkan pada layar berupa dua garis paralel yang tegak lurus terhadap arah yang dijepit. Karena itu rol akan berupa dua garis vertikal sejajar dan jepit penuh akan berupa dua pasang garis vertikal sejajar yang bersilangan (Bakker dkk., 2007) (Gambar 3.5).



Gambar 3.5: Penetapan kondisi batas pada geometri.

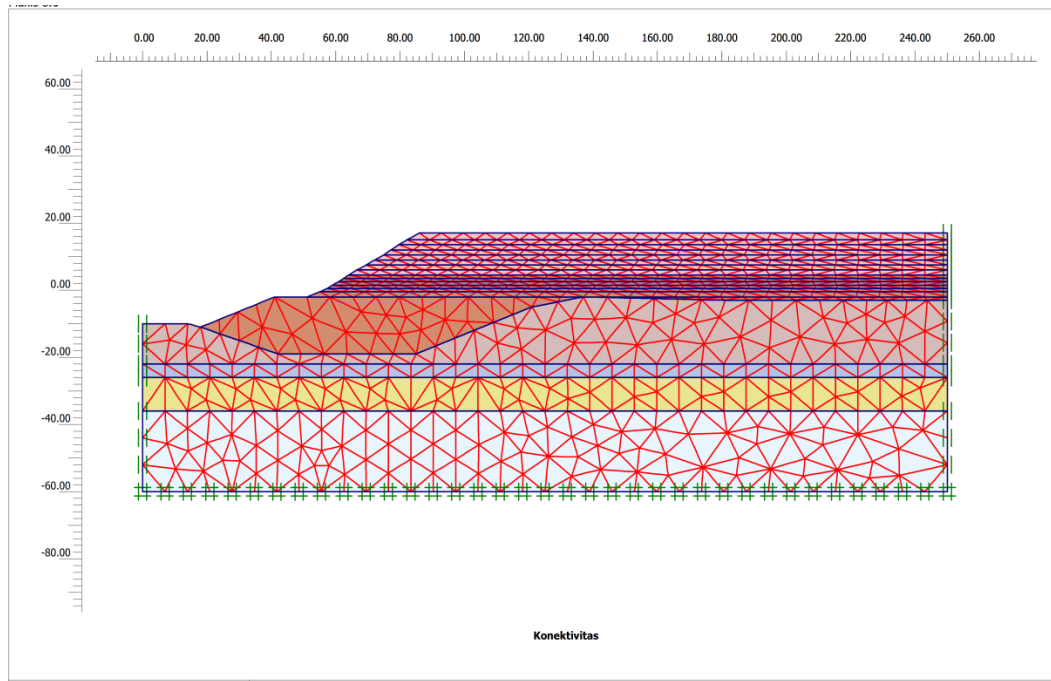
3.7.3. Input Parameter Tanah

Parameter material *Mohr-Coulomb* yang merupakan pemodelan dengan kondisi elastis-plastis terdiri dari beberapa parameter (Gambar 3.6) yakni *Modulus Young* (E) dan *Poisson Rasio* (ν), kohesif (c), sudut gesek dalam (ϕ), sudut dilatasi (ψ), berat jenis kering (γ_{dry}), berat jenis jenuh (γ_{sat}), dan juga permeabilitas (K).

Gambar 3.6: Input parameter tanah dan pemodelan Mohr-coulomb.

3.7.4. PenyusunanJaringElemen(*Meshing*)

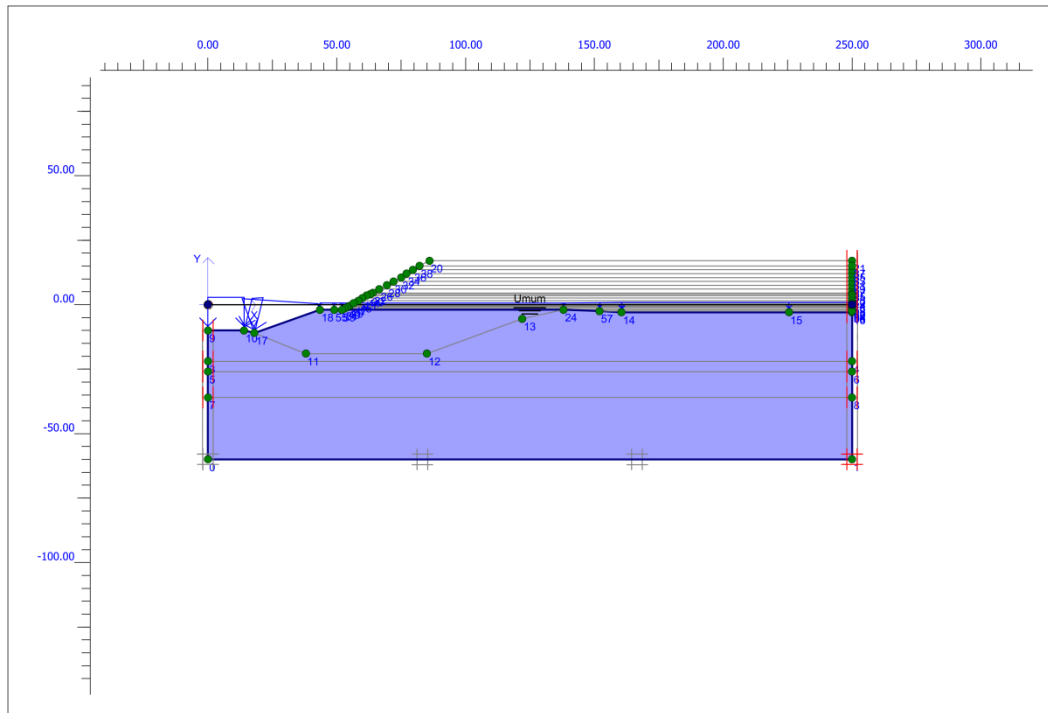
Geometridisusunmenjadi jaring elemen yang lebih kecil untuk melakukan hitungan. Hasil dari proses *meshing* dapat dilihat pada Gambar 3.7 sebagai berikut:



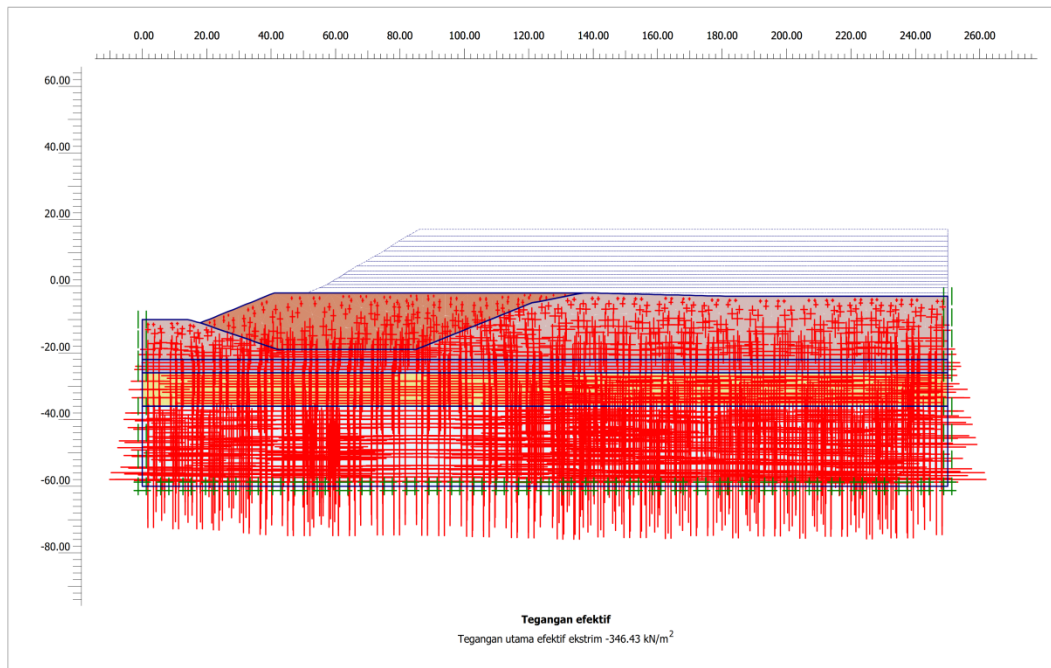
Gambar 3.7: Penyusunan jaring Mesh.

3.7.5. Muka Air Tanah dan KondisiAwal (*Initial Condition*)

Muka air tanah ditentukan pada elevasi 0,00 sebelum melakukan *initial condition*. Kondisi awal didefinisikan untuk menghitung tekanan air pori awal (*initial condition*) dan tegangan awal (*initial soil stress*) seperti Gambar 3.8 dan 3.9.



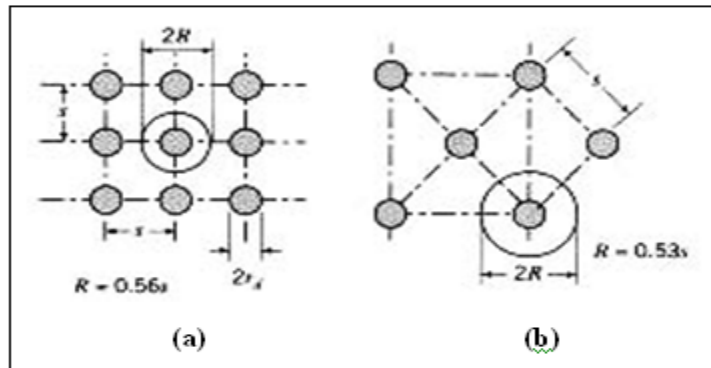
Gambar 3.8: Penetapan muka air tanah.



Gambar 3.9: Hasil perhitungan *initial soil stresses*.

3.7.6. Konfigurasi drain pasivertikal

Terdapat 2 jenis konfigurasi vertical drain:



Gambar 3.10: Konfigurasi drainse vertikal (a) pola bujur sangkar, (b) pola triangular

Dari pola pemasangan drainase vertikal tersebut dipilih yang paling efektif: konfigurasi bujursangkar:

$$S = 1.8 n rd$$

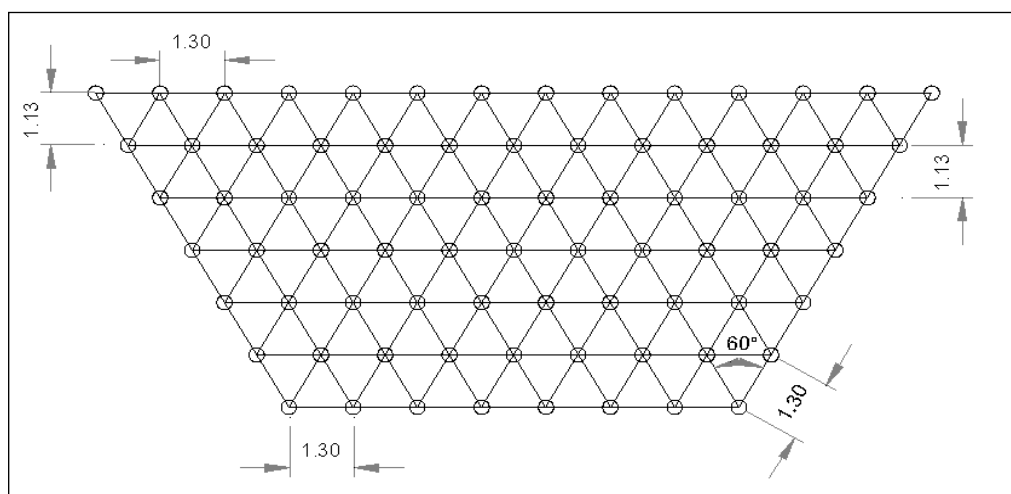
$$S = 1.8 \times 20 \times 3.34 = 120.24 \text{ cm} \approx 1.2 \text{ m}$$

konfigurasi triangular:

$$S = 1.9 n rd$$

$$S = 1.9 \times 20 \times 3.34 = 126.92 \text{ cm} \approx 1.3 \text{ m}$$

sehingga dipergunakan konfigurasi triangular dengan spasi 1.3m, dalamnya vertical drain direncanakan sampai pada kedalaman dimana nilai $N_{spt} > 15$ yaitu $\pm 40\text{m}$. Konfigurasi drainse vertikal detilnya disajikan dalam gambar berikut.



Gambar 3.11: Pola pemasangan drainase vertikal.

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Model Reklamasi dan Preloading

Berdasarkan data tanah hasil penyelidikan geoteknik (BH-1R, BH-2R dan BH-3R) yang telah dilakukan dapat dilakukan pemodelan reklamasi dan preloading untuk mengetahui besarnya penurunan konsolidasi yang akan terjadi. Pemodelan reklamasi dan preloading ini dilakukan dengan model *finite element method* (FEM) dengan bantuan perangkat lunak Plaxis 2D.

Material timbunan yaitu pasir laut untuk reklamasi dan preloading di ambil dari lokasi quarry yang telah di survey dan dilakukan uji laboratorium, dengan parameter tanah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} Y_{\text{unsat}} &= 14 \text{ kN/m}^3 \text{ (diatas permukaan air)} \\ Y_{\text{sat}} &= 16 \text{ kN/m}^3 \text{ (dibawah permukaan air)} \\ C &= 5 \text{ kN/m}^2 \\ \Phi &= 35^\circ \end{aligned}$$

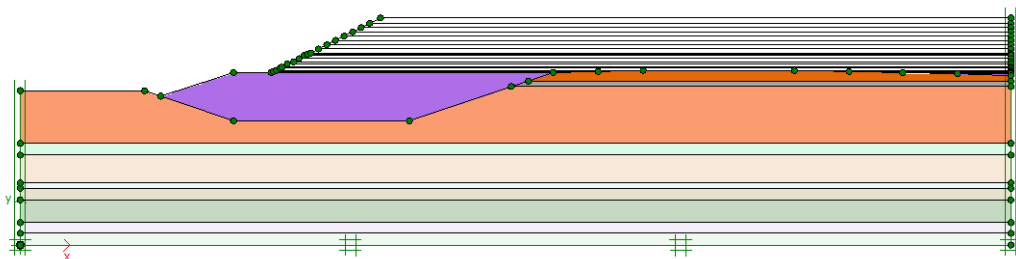
Perlapisan tanah yang dimodelkan juga berdasarkan stratifikasi (perlapisan tanah) dari hasil penyelidikan tanah di lapangan. Untuk memudahkan pemodelan, perlapisan tanah eksisting yang dimodelkan disederhanakan menjadi 10 lapisan tanah. Sedangkan parameter tanah yang digunakan dalam pemodelan reklamasi dan preloading ini diambil dari hasil penyelidikan hasil uji laboratorium maupun hasil korelasi pengujian lapangan (korelasi N-SPT).

Berdasarkan kemampuan tanah dalam menerima beban luar dan perkiraan waktu kerja serta proses konsolidasi maka diperkirakan tahapan reklamasi dan preloading yang dilakukan dalam pemodelan di kedua area ini adalah sebagai berikut:

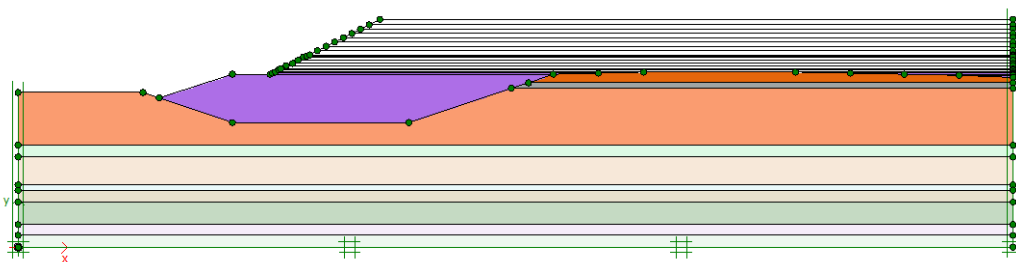
- Reklamasi 1 setinggi 0,5 m, selama 15 hari.
- Reklamasi 2 setinggi 0,5 m, selama 15 hari.
- Reklamasi 3 setinggi 0,5 m, selama 15 hari.
- Reklamasi 4 setinggi 0,5 m, selama 15 hari.
- Reklamasi 5 setinggi 0,5 m, selama 15 hari.
- Reklamasi 6 setinggi 1,0 m, selama 30 hari.

- Reklamasi 7 setinggi 1,0 m, selama 30 hari.
- Reklamasi 8 setinggi 1,0 m, selama 30 hari.
- Reklamasi 9 setinggi 1,0 m, selama 30 hari.
- Reklamasi 10 setinggi 0,5 m, selama 15 hari.
- Reklamasi 11 setinggi 0,5 m, selama 15 hari.
- Preloading 1 setinggi 1,5 m, selama 40 hari.
- Preloading 2 setinggi 1,5 m, selama 40 hari.
- Preloading 3 setinggi 1,5 m, selama 40 hari..
- Preloading 4 setinggi 1,5 m, selama 40 hari.
- Preloading 5 setinggi 1,5 m, selama 40 hari.
- Preloading 6 setinggi 1,5 m, selama 40 hari.
- Preloading 7 setinggi 1,5 m, selama 40 hari.
- Preloading 8 setinggi 2,0 m, selama 40 hari.

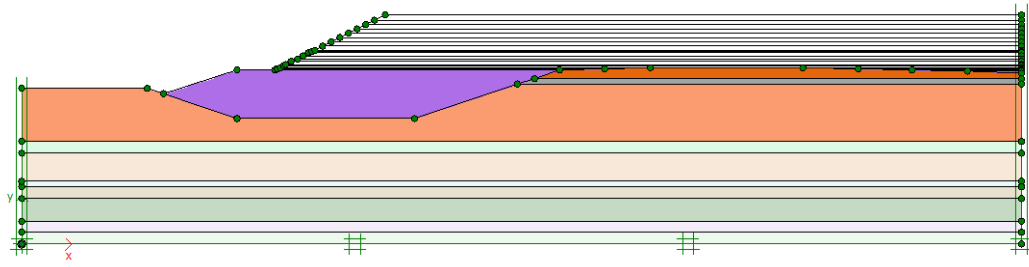
Tahapan reklamasi dan preloading di atas dimodelkan dalam *stage construction* di Plaxis sebagai berikut:



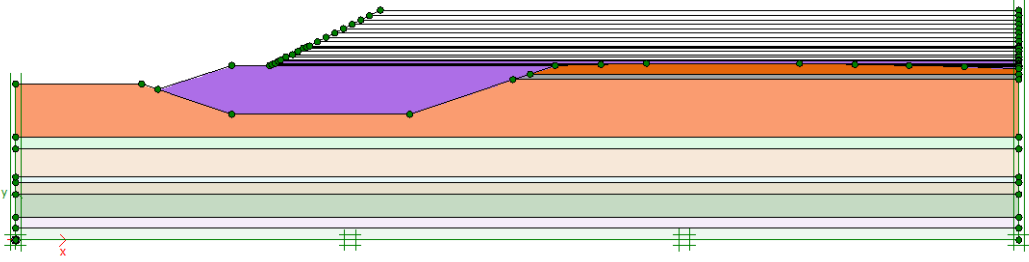
Gambar 4.1: Tahapan reklamasi 1 setinggi 0,5 m.



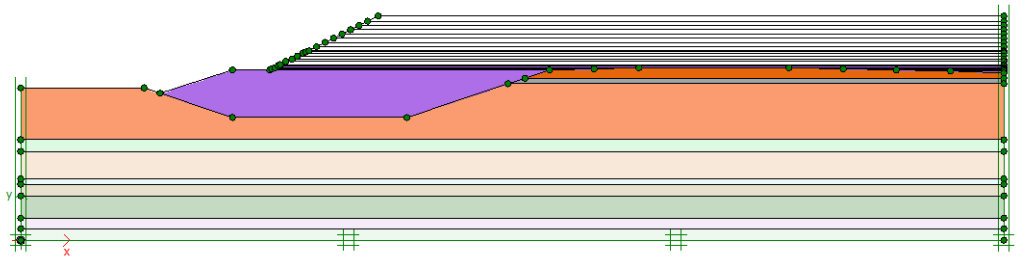
Gambar 4.2: Tahapan reklamasi 2 setinggi 0,5 m.



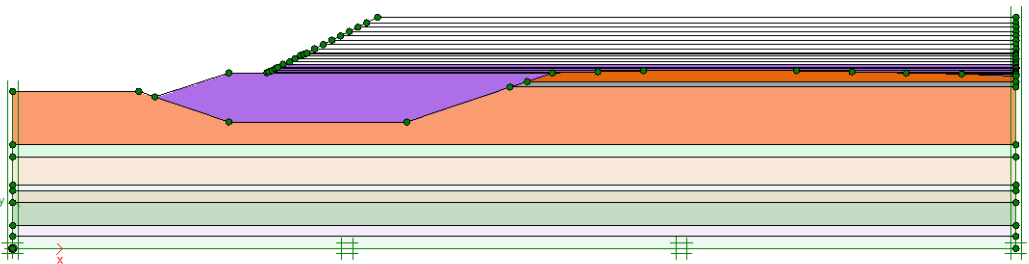
Gambar 4.3: Tahapan reklamasi 3 setinggi 0,5 m.



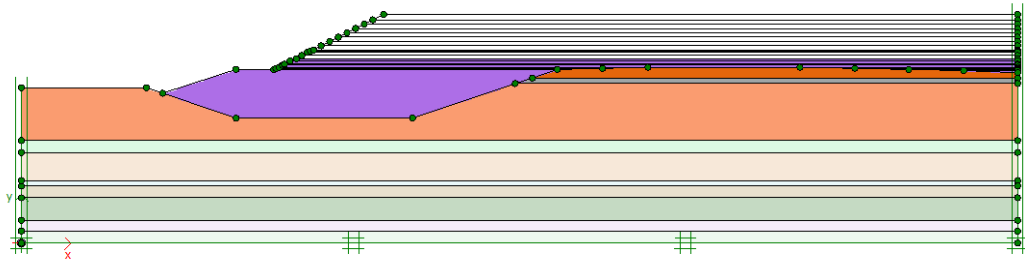
Gambar 4.4: Tahapan reklamasi 4 setinggi 0,5 m.



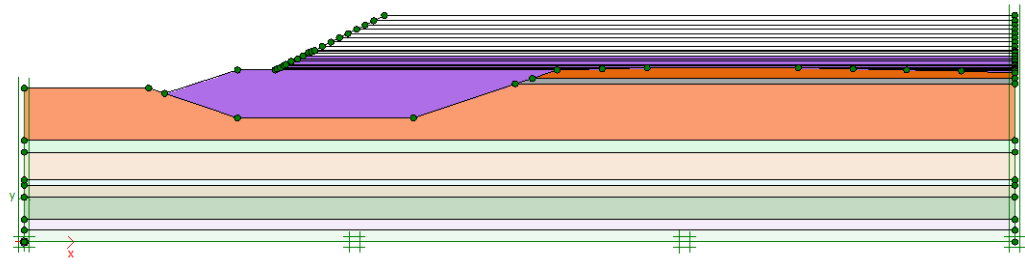
Gambar 4.5: Tahapan reklamasi 5 setinggi 0,5 m.



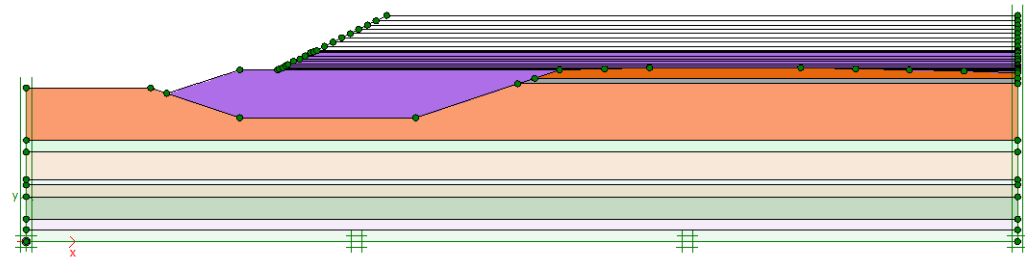
Gambar 4.6: Tahapan reklamasi 6 setinggi 1,0 m.



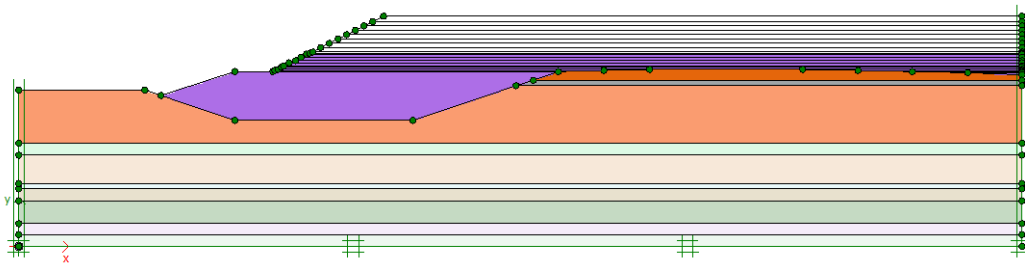
Gambar 4.7: Tahapan reklamasi 7 setinggi 1,0 m.



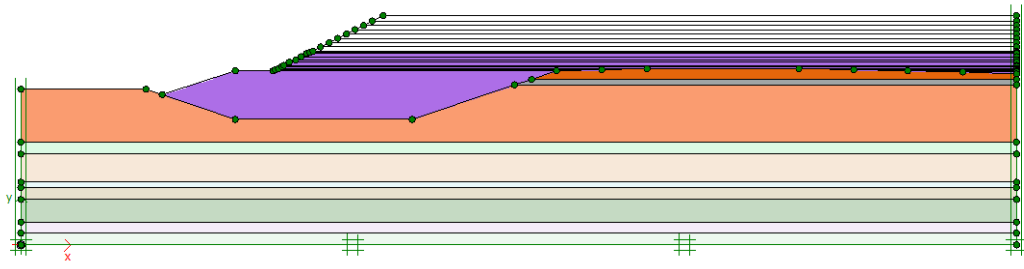
Gambar 4.8: Tahapan reklamasi 8 setinggi 1,0 m.



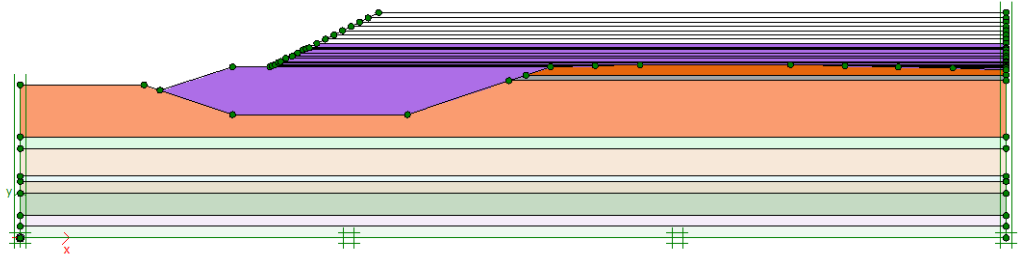
Gambar 4.9: Tahapan reklamasi 9 setinggi 1,0 m.



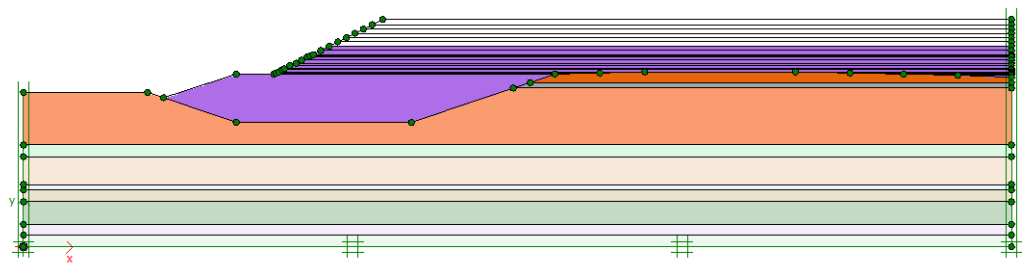
Gambar 4.10: Tahapan reklamasi 10 setinggi 0,5 m.



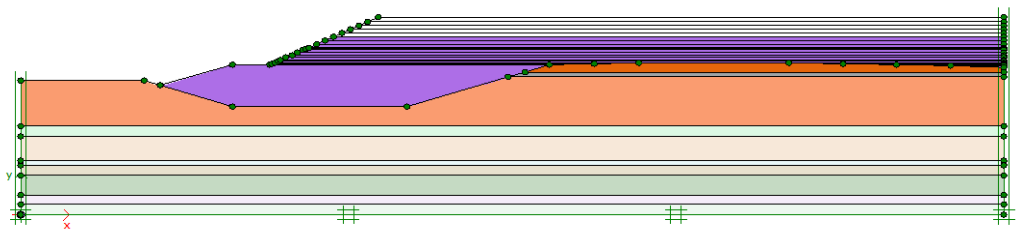
Gambar 4.11: Tahapan reklamasi 11 setinggi 0,5 m.



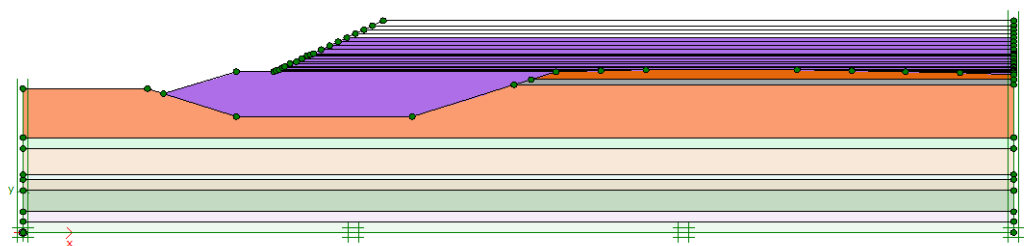
Gambar 4.12: Tahapan preloading 1 setinggi 1,5 m.



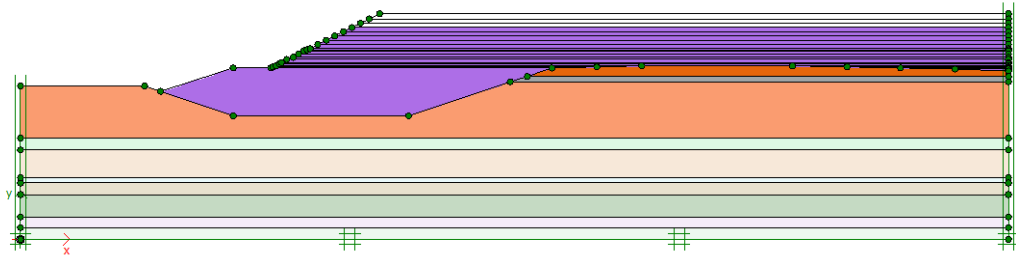
Gambar 4.13: Tahapan preloading 2 setinggi 1,5 m.



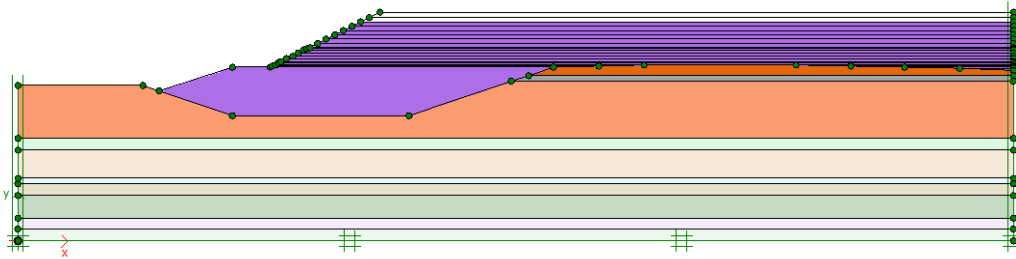
Gambar 4.14: Tahapan preloading 3 setinggi 1,5 m.



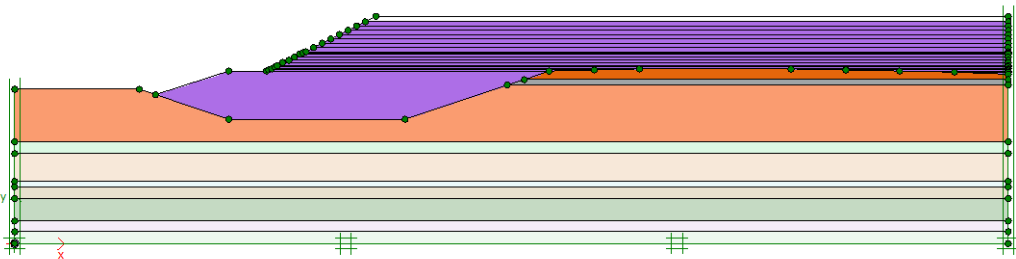
Gambar 4.15: Tahapan preloading 4 setinggi 1,5 m.



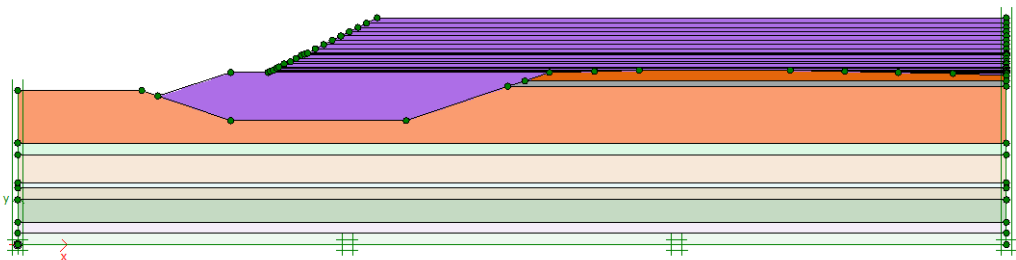
Gambar 4.16: Tahapan preloading 5 setinggi 1,5 m.



Gambar 4.17: Tahapan preloading 6 setinggi 1,5 m.



Gambar 4.18: Tahapan preloading 7 setinggi 1,5 m.

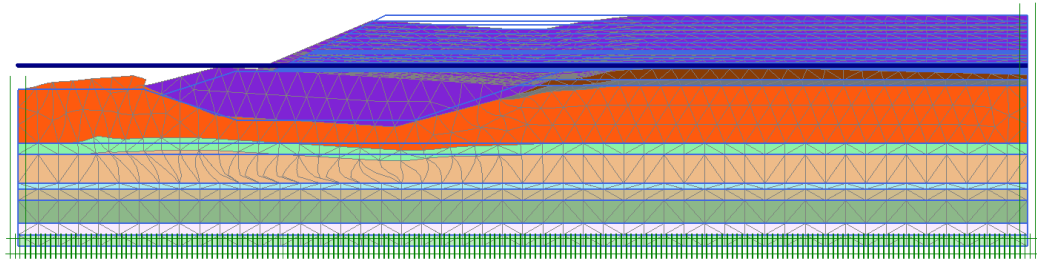


Gambar 4.19: Tahapan preloading 8 setinggi 2,0 m.

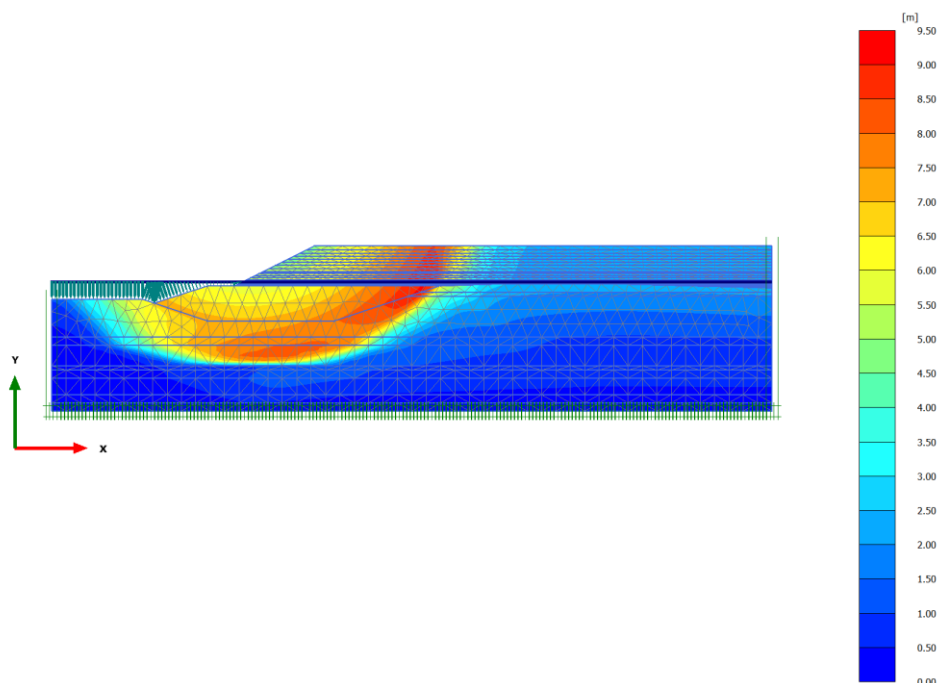
4.2. Analisa Konsolidasi Tanpa Drainase Vertikal

Analisa konsolidasi juga dilakukan dengan model FEM dengan Plaxis, dengan melanjutkan tahapan reklamasi dan preloading dengan tahapan konsolidasi hingga derajat konsolidasi 90% atau tekanan air pori sebesar 1 kPa. Berikut adalah hasil dari hasil analisis konsolidasi dengan tahapan

reklamasi dan preloading dimana penurunan total maksimumnya adalah sebesar 8,73 meter.

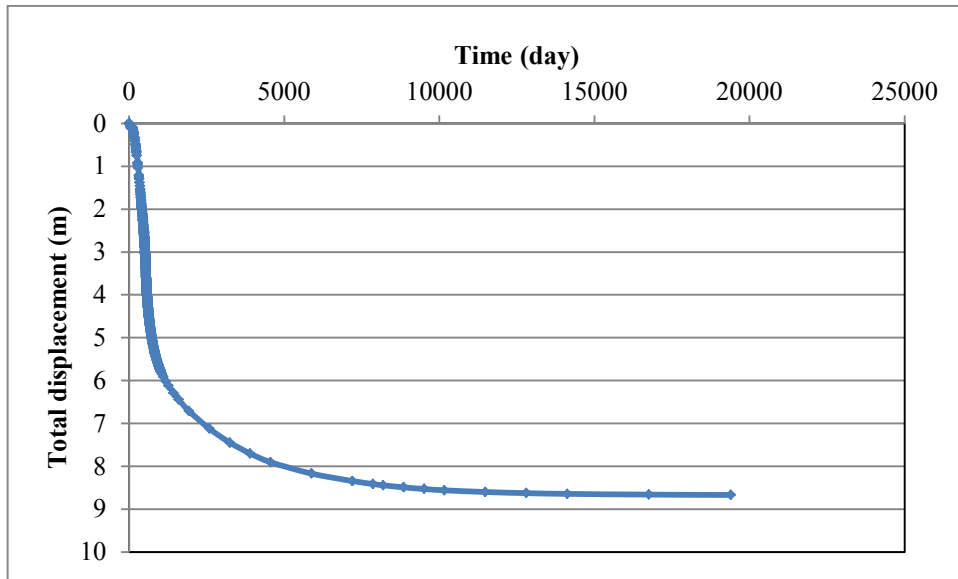


Gambar 4.20: Deformasi mesh setelah tahapan konsolidasi



Gambar 4.21: Total displacement (penurunan) setelah tahapan konsolidasi.

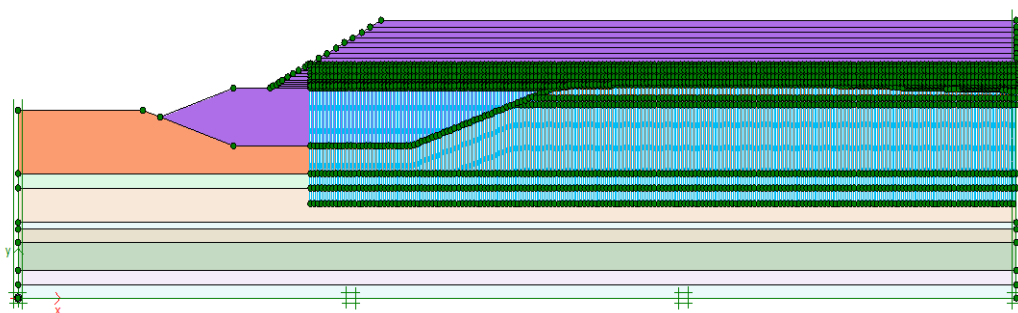
Dari hasil analisis konsolidasi menggunakan metode FEM, dengan derajat konsolidasi rencana 90% atau dalam Plaxis batasannya adalah apabila sudah tercapai tekanan air pori sebesar 1 kPa diperoleh lamanya waktu konsolidasi 19405 hari atau 53 tahun. Grafik hubungan besarnya penurunan konsolidasi dan waktu konsolidasi disajikan dalam Gambar 4.23.



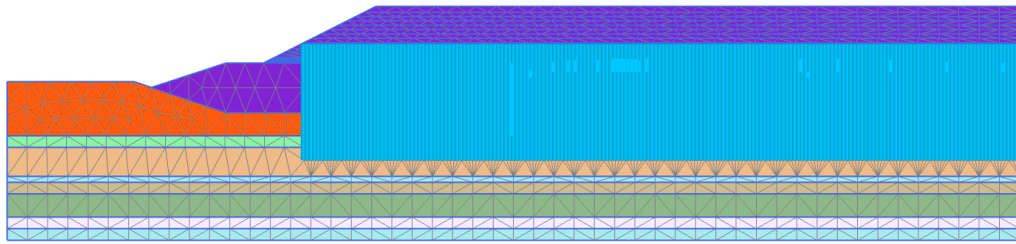
Gambar 4.22: Total displacement (penurunan) vs waktu (dengan preloading).

4.3. Analisa Konsolidasi Dengan Drainase Vertikal

Penggunaan drainase vertikal dimaksudkan untuk mempercepat proses konsolidasi sehingga waktu yang dibutuhkan untuk mencapai derajat konsolidasi sebesar 90% lebih cepat. Hasil perencanaan drainase vertikal ini lalu dimodelkan dalam model reklamasi dan preloading dengan FEM yang telah dilakukan. Model geometri dengan adanya penambahan drainase vertikal pada saat preloading disajikan dalam gambar berikut. Dipergunakan konfigurasi triangular dengan spasi 1.3m, dalamnya vertical drain direncanakan sampai pada kedalaman dimana nilai $N_{spt} > 15$ yaitu $\pm 40m$.



Gambar 4.23: Model geometri reklamasi, preloading dan drainase vertikal.

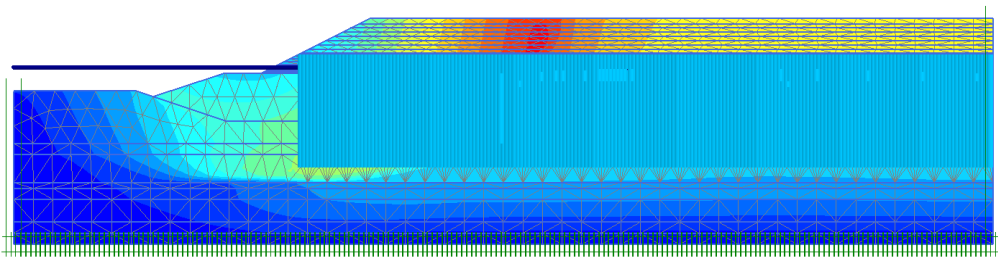


Gambar 4.24: Model mesh reklamasi, preloading dan drainase vertikal.

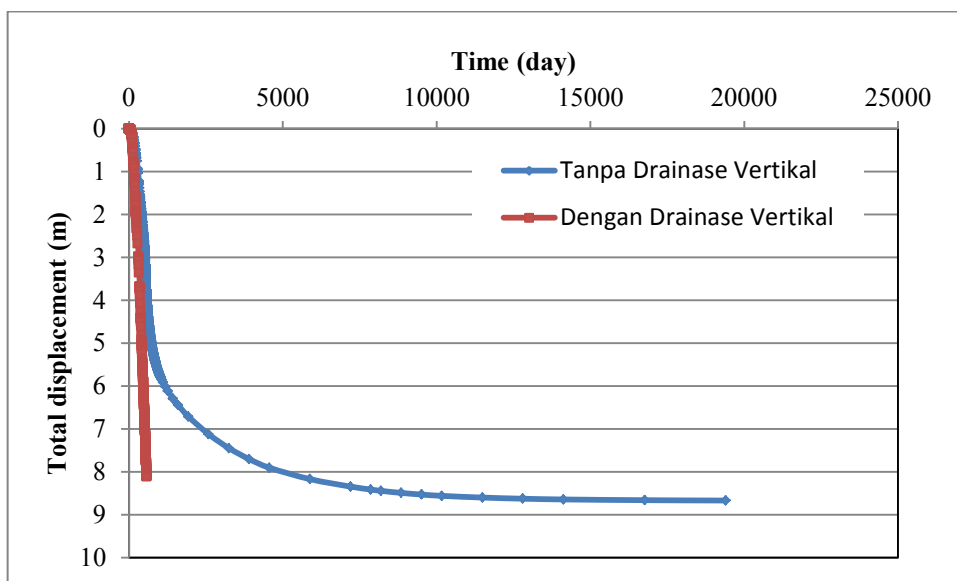
Pemasangan drainase vertikal dilakukan setelah tahap reklamasi setelah mencapai elevasi +4,5 hingga +5,0 m, sehingga tahapan pemodelannya menjadi:

- Reklamasi 1 setinggi 0,5 m, selama 15 hari.
- Reklamasi 2 setinggi 0,5 m, selama 15 hari.
- Reklamasi 3 setinggi 0,5 m, selama 15 hari.
- Reklamasi 4 setinggi 0,5 m, selama 15 hari.
- Reklamasi 5 setinggi 0,5 m, selama 15 hari.
- Reklamasi 6 setinggi 1,0 m, selama 30 hari.
- Reklamasi 7 setinggi 1,0 m, selama 30 hari.
- Reklamasi 8 setinggi 1,0 m, selama 30 hari.
- Reklamasi 9 setinggi 1,0 m, selama 30 hari.
- Reklamasi 10 setinggi 0,5 m, selama 15 hari.
- Reklamasi 11 setinggi 0,5 m, selama 15 hari.
- Pemasangan drainase vertikal
- Preloading 1 setinggi 1,5 m, selama 40 hari.
- Preloading 2 setinggi 1,5 m, selama 40 hari.
- Preloading 3 setinggi 1,5 m, selama 40 hari..
- Preloading 4 setinggi 1,5 m, selama 40 hari.
- Preloading 5 setinggi 1,5 m, selama 40 hari.
- Preloading 6 setinggi 1,5 m, selama 40 hari.
- Preloading 7 setinggi 1,5 m, selama 40 hari.
- Preloading 8 setinggi 2,0 m, selama 40 hari.

Hasil pemodelan dengan tahapan reklamasi, preloading dan drainase vertikal disajikan dalam gambar berikut.

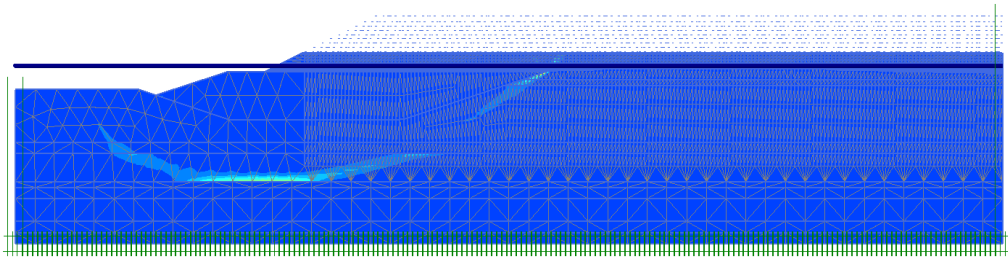


Gambar 4.25: Total displacement (penurunan) setelah tahapan konsolidasi (preloading dengan drainase vertikal)

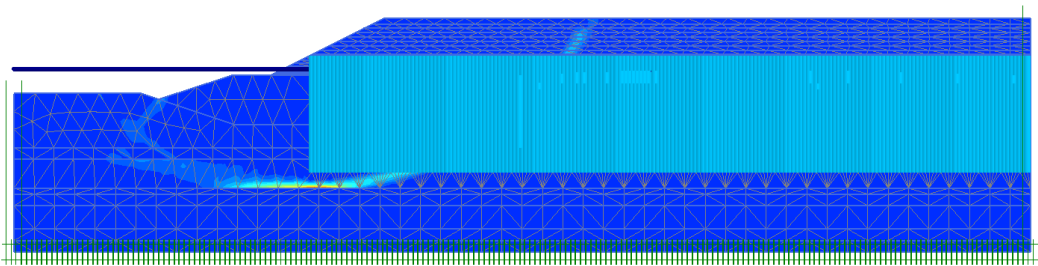


Gambar 4.26: Total displacement (penurunan) vs waktu (preloading tanpa dan dengan drainase vertikal)

Dari hasil pemodelan dengan vertikal drain, waktu yang dibutuhkan sejak reklamasi yang pertama hingga preloading yang terakhir untuk mencapai derajat konsolidasi sebesar 90% adalah 540 hari atau sekitar 18 bulan termasuk waktu yang dibutuhkan untuk proses konsolidasi ini selama 99 hari setelah proses preloading terakhir selesai.



Gambar 4.27: Bidang keruntuhan lereng setelah tahapan reklamasi selesai sebelum pemasangan drainase vertikal.



Gambar 4.28: Bidang keruntuhan lereng setelah tahapan preloading selesai.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Dari hasil analisis, dapat di ambil kesimpulan:

1. Hasil pemodelan dengan vertical drain, waktu yang dibutuhkan sejak reklamasi pertama untuk mencapai derajat konsolidasi sebesar 90% adalah 540 hari.
2. Setelah diakumulasikan ada selisih perbandingan antara metode PVD dan program analitis (*Plaxis*) dengan kohesi ,BH-1= 7.84 kN/m², BH-2=8.33 kN/m², dan BH-3= 1 kN/m².
3. Hasil analisis konsolidasi menggunakan metode FEM dengan derajat 90% dan tekanan air pori 1 kpa diperoleh penurunan sebesar 8,73 meter.
4. Selisih perbandingan antara penurunan elastis dan penurunan pada program (*Plaxis*) dengan menggunakan parameter tanah dengan sudut geser BH-1= 5 %, BH-2= 6 %, dan BH-3= 29.5 %.

5.2. Saran

Berdasarkan dari pengkajian hasil penelitian penulis juga bermaksud memberikan beberapa saran yang berkaitan dengan perencanaan pondasi mudah mudahan dapat bermanfaat bagi peneliti selanjutnya.

1. Untuk mendapatkan hasil perhitungan kapasitas daya dukung yang baik di perlukan ketelitian dalam menginput data SPT dan mempunyai kemampuan dasar mekanika tanah yang kuat.
2. Dalam merencanakan pondasi dengan menggunakan *software* plaxis harus teliti dalam menginput data tanah seperti jenis tanah dan parameter tanah dan gunakan lisensi *software* yang asli untuk hasil yang maksimal.
3. Dalam perancangan dan pelaksanaan suatu pondasi kemungkinan besar akan di temui berbagai permasalahan yang kompleks yang berbeda antar kondisi tanah, sehingga seorang perencana ,diharapkan memiliki "*feeling engineering*" yang di dukung oleh pengetahuan yang luas dan pengalaman

yang di dapatkan di lapangan hingga tercipta seorang *engineer* yang tanggap,tangguh dan menghasilkan karya yang baik dan berguna.

Demikian kesimpulan dan saran yang dapat penulis ambil dari Tugas Akhir ini,penulis mengucapkan banyak terima kasih atas koreksi dan pemasukan dari pembaca,serta tak lupa penulis meminta maaf mengingat banyaknya keterbatasan dalam hal pengumpulan data, pengetahuan ataupun kesalahan pada perencanaan Tugas Akhir ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Das, B. M. (2007) *Principles of Foundation Engineering, SI*, Seventh, Edition United States of America: Cengage Learning.
- Das, B. M. (2007) *Principles of Foundation Engineering*, Sixth Edition, North America: Nelson.
- Das, B. M. (1995) *Mekanika Tanah (Prinsi-prinsip Rekayasa Geoteknik)*, Jilid 1, Jakarta: Erlangga.
- Hardiyatmo, H. C. (2002) *Mekanika Tanah I*, Edisi Ketiga, Yogyakarta: Gajah Mada University Press.
- Hardiyatmo, H. C. (2002) *Mekanika Tanah II*, Edisi Ketiga, Yogyakarta: Gajah Mada University Press.
- Hardiyatmo, H. C. (1996) *Teknik Pondasi I*, Jakarta: PT.Gramedia Pustaka Utama.
- Hardiyatmo, H. C. (2008) *Teknik Pondasi II*, Edisi Keempat, Jakarta: PT.Gramedia Pustaka Utama.
- SNI 4153.(2008) *Cara Uji Penetrasi Lapangan Dengan SPT*.
- SNI 2827. (2008) *Cara Uji Penetrasi Lapangan Dengan Alat Sondir*.
- Sosrodarsono, S. dan Nakazawa, K. (2000) *Mekanika Tanah Dan Teknik Pondasi*, Jakarta: PT.Pradnya Paramita.
- Harianto, E. (2007) *Analisa Daya Dukung Pondasi Tiang Bor Menggunakan Software Shaft1 Dan Uji Beban Statis (Studi Kasus Tiang Uji TP-4 Dan TP-5 Pada Proyek Grand Indonesia Di Jakarta)*. Tugas Akhir S1 Unniversitas Katolik Soegijapranata.
- Poulos, H. G. dan Davis, E. H. (1980) *Pile Foundation Analysis And Design*, Rainbow Bridge Book Co.

Soedarmo, G. D. dan Purnomo, J. E. (1993) *Mekanika Tanah 1*, Malang: Kanisius.

Bridge Menagemen System. (1992) *Desain Of Pile Foundation*, Indonesia dan Australia.

Bakker, K. J, dkk. (2007) *Plaxis Tutorial Manual*, 2D Version 8, Delft,Netherlands:Plaxis b.v.

LAMPIRAN



DAFTAR RIWAYAT HIDUP

DATA DIRI PESERTA

Nama Lengkap : Muhammad Azwar
Panggilan : Azwar
Tempat, Tanggal Lahir : TebingTinggi, 25 April 1990
Jenis Kelamin : Laki-laki
Alamat : Jl. Budi Utomo No.100 Medan
Agama : Islam

Nama Orang Tua
Ayah : Muhsin
Ibu : Mira
No.HP : 082364488320
E-Mail : aazwar424@gmail.com

RIWAYAT PENDIDIKAN

Nomor Pokok Mahasiswa : 1407210267
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Sipil
Perguruan Tinggi : Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
Alamat Perguruan Tinggi : Jl. Kapten Mughtar Basri BA. No. 3 Medan 20238

No	Tingkat Pendidikan	Nama dan Tempat	Tahun Kelulusan
1	SD	SD N 162107	2003
2	SMP	SMP N 5 TebingTinggi	2006
3	SMA	SMA N 2 TebingTinggi	2009
4	Melanjutkan kuliah di Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Tahun 2014 sampai selesai.		