



TUGAS AKHIR - RC14 1501

**PERENCANAAN PERBAIKAN TANAH DI DASAR LAHAN  
REKLAMASI DAN TANGGUL REKLAMASINYA PADA  
TERMINAL NEW PRIOK, KALIBARU, JAKARTA UTARA**

AHMAD ADAM YULIAN  
NRP. 3111 100 074

Dosen Pembimbing :  
Prof. Ir. Noor Endah, MSc, PhD.  
Putu Tantri Kumalasari, ST, MT

Jurusan Teknik Sipil  
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2015



TUGAS AKHIR - RC14 1501

# **PERENCANAAN PERBAIKAN TANAH DI DASAR LAHAN REKLAMASI DAN TANGGUL REKLAMASINYA PADA TERMINAL NEW PRIOK, KALIBARU, JAKARTA UTARA**

AHMAD ADAM YULIAN  
NRP. 3111 100 074

Dosen Pembimbing :  
Prof. Ir. Noor Endah, MSc, PhD.  
Putu Tantri Kumalasari, ST, MT

Jurusan Teknik Sipil  
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2015



FINAL PROJECT - RC14 1501

**DESIGN OF SOIL IMPROVEMENT IN THE BOTTOM OF  
LAND RECAMATION AND ITS EMBANKMENT  
AT TERMINAL NEW PRIOK, KALIBARU,  
JAKARTA UTARA**

**AHMAD ADAM YULIAN**  
NRP. 3111 100 074

Promotor :  
Prof. Ir. Noor Endah, MSc, PhD.  
Putu Tantri Kumalasari, ST, MT.

Civil Engineering Department  
Faculty of Civil Engineering and Planning  
Sepuluh Nopember Institute of Technology  
Surabaya 2015

**PERENCANAAN PERBAIKAN TANAH DI DASAR  
LAHAN REKLAMASI DAN TANGGUL REKLAMASINYA  
PADA TERMINAL NEW PRIOK, KALIBARU,  
JAKARTA UTARA**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Pada 18 Juni 2015  
Bidang Studi Geoteknik  
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sipil  
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :  
**AHMAD ADAM YULIAN**  
NRP. 3111 100 074

Disetujui Oleh Pembimbing Tugas Akhir :  
Tanggal Ujian : 18 Juni 2015  
Periode Wisuda : September 2015



KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
JURUSAN TEKNIK SIPIL

1. Prof. Ir. Noor Indan MSc, PhD.....(Pembimbing I)  
NIP. 195107081976082001

2. Putu Tanti Kumalasari, ST, MT. ....(Pembimbing II)  
NIP. 198611022014042004

**SURABAYA  
JUNI, 2015**



**PERENCANAAN PERBAIKAN TANAH DI DASAR  
LAHAN REKLAMASI DAN TANGGUL REKLAMASINYA  
PADA TERMINAL NEW PRIOK, KALIBARU,  
JAKARTA UTARA**

**Nama** : Ahmad Adam Yulian  
**NRP** : 3111100074  
**Jurusan** : Teknik Sipil FTSP – ITS  
**Dosen Pembimbing** : Prof. Ir. Noor Endah, MSc, PhD.  
Putu Tantri Kumalasari, ST, MT.

**Abstrak**

*Indonesia Port Company (IPC) atau PELINDO II merupakan salah satu perusahaan Badan Usaha Milik Negara (BUMN) bergerak dalam bidang industri pelabuhan. IPC mendapat banyak tantangan dalam merespon peluang untuk menjadi Perusahaan Pelabuhan Internasional pertama di Indonesia. Tantangan – tantangan tersebut meliputi kemacetan di pelabuhan utama Tanjung Priok dan perubahan dinamika pasar yang semakin membutuhkan efisiensi yang tinggi. IPC telah mengembangkan rencana strategis jangka panjang untuk menjawab tantangan – tantangan tersebut. Salah satu jawabannya adalah dengan dibangunnya Terminal Newpriok. Dengan adanya Terminal Newpriok pada pelabuhan Tanjung Priok akan dapat mengakomodir 18 Juta TEUs per tahun pada tahun 2023. Terminal Newpriok bertempat di Kalibaru Utara, Cilincing, Jakarta Utara. Dalam perencanaannya, area container yard 1B menggunakan lahan reklamasi. Area yang di reklamasi berukuran 900 m x 2050 m. Berdasarkan proses penyelidikan tanah meliputi hasil boring log dan N-SPT, area reklamasi akan dibangun diatas tanah yang sangat lunak. Lapisan tanah lunak mempunyai sifat yang cenderung compressible (mudah memampat), tahanan geser rendah, permeabilitas rendah, dan daya dukung rendah. Kemudian dalam perencanaannya, H final yang akan digunakan adalah 4,5 meter. Hal – hal inilah yang menjadi problem utama*

*dalam perencanaan reklamasi dan harus diatasi dengan dilakukan perbaikan tanah.*

*Perbaikan tanah yang mudah dan ekonomis untuk reklamasi adalah metode preloading. Sistem preloading adalah metode yang digunakan untuk meningkatkan daya dukung tanah dengan memberi beban awal yang dilakukan secara bertahap. Dengan kecilnya permeabilitas tanah lunak dalam mengalirkan air pori, dalam proses perbaikan tanah ini perlu mengkombinasikan antara preloading dengan PVD. Dengan pemasangan PVD akan mempercepat proses konsolidasi primer. Selain permasalahan settlement yang harus diatasi, dalam pelaksanaan reklamasi harus dipertimbangkan stabilitas dan pengaruh arus. Oleh karena itu, selain merencanakan reklamasi perlu direncanakan juga tanggul reklamasi yang berfungsi melindungi tanah timbunan dari terjangkit arus yang dapat menyebabkan kelongsoran pada timbunan tersebut.*

*Tinggi timbunan awal yang dibutuhkan pada Zona A adalah 19,3 m, pada Zona B setinggi 18,3 m, pada Zona C setinggi 19 m dan pada Zona D setinggi 18 m. Timbunan awal tersebut sudah termasuk beban surcharge setinggi 5,5 m yang setara dengan 6 tiers kontainer 20 TEUs dengan  $qs_{surcharge}=9,75 \text{ t/m}^2$ . Dari hasil perhitungan volume didapatkan volume tanah urug yang dibutuhkan pada proyek reklamasi ini adalah 35.958.963 m<sup>3</sup>. Panjang PVD yang dibutuhkan adalah 2.824.625 m atau sebanyak 23 kontainer 40 TEUs. Geotextile yang dibutuhkan adalah 5.250.400 m<sup>2</sup> atau sebanyak 5.251 roll geotextile woven. Kebutuhan micropile adalah 88.500 buah CSP dengan diameter 600 mm. Sedangkan Steel Pipe Piles yang dibutuhkan sebagai sheeppile berjumlah 1.864 buah. Dengan total biaya yang dibutuhkan Rp. 3.462.841.272.690,00*

***Kata kunci: Reklamasi, tanah lunak, pvd, preloading, sheeppile, micropile, geotextile.***

**DESIGN OF SOIL IMPROVEMENT IN THE BOTTOM OF  
LAND RECAMATION AND ITS EMBANKMENT  
AT TERMINAL NEW PRIOK, KALIBARU,  
JAKARTA UTARA**

**Student Name** : Ahmad Adam Yulian  
**NRP** : 3111100074  
**Department** : Civil Engineering FTSP-ITS  
**Promotor** : Prof. Ir. Noor Endah, MSc, PhD.  
Putu Tantri Kumalasari, ST, MT.

**Abstract**

*Indonesia Port Company (IPC) or Pelindo II is one of the Badan Usaha Milik Negara (BUMN) engaged in the port industry. IPC got a lot of challenges in responding to the opportunity to become the first International Port Company in Indonesia. The challenges include congestion at the main port of Tanjung Priok and changing market dynamics are increasingly requiring high efficiency. IPC has developed a long-term strategic plan to address the challenge. One answer is with the construction of Terminal Newpriok. With the Terminal Newpriok at Tanjung Priok port will be able to accommodate 18 million TEUs per year on 2023. Terminal Newpriok housed in North Kalibaru, Cilincing, North Jakarta. In planning, container yard area 1B using reclamation. The reclamation area measuring 900 m x 2050 m. Based on the investigation process of soil includes the results of boring logs and N-SPT, the reclamation area will be built on very soft soil. Soft soil layers have properties that tend to be compressible (easily condenses), low shearing resistance, low permeability, and low carrying capacity. Later in planning, H-finals that will be used is 4.5 meters. All of that is the main problem in planning reclamation and must be addressed by conducting soil improvement.*

*Soil improvement that is easy and economical to reclamation is a method of preloading. Preloading system is a method used to increase the carrying capacity of the land to give*

*the initial load is done gradually. With little permeability in the soft soil pore water flow, soil improvement process is necessary to combine the preloading with PVD. With the installation of PVD will accelerate the process of consolidation of the primary. In addition to settlement problems that must be addressed, in the implementation of reclamation should be considered stability and influence the flow. Therefore, in addition to the reclamation plan should be planned well an embankment that protect land reclamation from the brunt of the current that can cause a landslide on the heap.*

*High initial heap required in Zone A was 19.3 m, in Zone B as high as 18.3 m, in Zone C as high as 19 m and in Zone D as high as 18 m. The initial heap surcharge already included loads as high as 5.5 m which is equivalent to 6 tiers of containers 20 TEU with  $Q$  surcharge = 9.75 t / m<sup>2</sup>. From the volume calculation results obtained fill soil volume needed at this reclamation project is 35,958,963 m<sup>3</sup>. PVD length required is 2,824,625 m or as many as 23 containers of 40 TEUs. Geotextile is needed is 5.2504 million or as much as 5,251 m<sup>2</sup> woven geotextile roll. Micro pile requirement is 88500 pieces with a diameter of 600 mm CSP. While Steel Pipe Piles required as sheet pile amounted to 1,864 units. With a total cost needed Rp. 3.462.841.272.690,00*

***Keywords: Reclamation, soft soil, pvd, preloading, sheetpile, micropile, geotextile.***

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan kepada Allah SWT, kami dapat menyelesaikan laporan tugas akhir dengan judul **Perencanaan Perbaikan Tanah di Bawah Tanggul Reklamasi Sisi Dalam dan Luar serta Lahan Reklamasi pada Terminal New Priok, Kalibaru, Jakarta Utara.**

Tugas Akhir ini merupakan salah satu tugas yang wajib diselesaikan oleh semua mahasiswa Program Studi S1 Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Tidak lupa kami ucapkan terima kasih kepada :

1. Ibu Prof. Ir. Noor Endah M.Sc., Ph.D selaku dosen pembimbing pertama Tugas Akhir yang tidak lelah menemani penulis menyelesaikan Tugas Akhir.
2. Ibu Putu Tantri Kumalasari, S.T, M.T selaku dosen pembimbing kedua Tugas Akhir yang tidak lelah menemani penulis menyelesaikan Tugas Akhir.
3. Teman-teman Teknik Sipil angkatan 2011 yang telah mendukung kami dalam penulisan laporan ini.

Dalam penulisan laporan Tugas Akhir ini, kami menyadari bahwa masih ada kekurangan. Maka kritik dan saran yang bersifat membangun sangat kami harapkan demi kebaikan tugas akhir ini. Semoga laporan ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca, penulis dan semua pihak yang terkait dalam aktivitas tugas akhir.

Surabaya, 3 Juni 2015

Penyusun

**Halaman ini sengaja dikosongkan**



## DAFTAR ISI

Halaman Judul .....	i
<i>Title Page</i> .....	ii
Abstrak .....	iii
<i>Abstract</i> .....	v
Kata Pengantar .....	vii
Daftar Isi .....	ix
Daftar Gambar .....	xi
Daftar Tabel .....	xv
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan Penulisan .....	3
1.4 Ruang Lingkup Pembahasan .....	4
1.5 Manfaat Tugas Akhir .....	4
1.6 Peta Lokasi .....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....	7
2.1 Analisa Data dengan Metode Statistik .....	7
2.1.1 Pembuatan Stratigrafi .....	7
2.1.2 Pemilihan Parameter .....	8
2.2 Karakteristik Tanah Lunak .....	8
2.3 Pemampatan Tanah Lunak .....	10
2.3.1 Pemampatan Konsolidasi (Consolidation Settlement) .....	11
2.3.3 Parameter Tanah untuk Perhitungan Consolidation Settlement ( $S_c$ ) .....	13
2.4 Waktu Konsolidasi .....	16
2.5 Tinggi Timbunan Awal .....	18
2.6 Penentuan Tinggi Kritis .....	18
2.7 Peningkatan Daya Dukung Tanah Metode Preloading .....	19
2.8 Timbunan Bertahap dan Besar Pemampatan .....	21
2.9 Perencanaan Vertical Drain .....	23
2.9.1 Menentukan Kedalaman Vertical Drain .....	24
2.9.2 Menentukan Waktu Konsolidasi Akibat Vertical Drain .....	24

2.9.3 Menghitung Derajat Konsolidasi Rata – Rata .....	29
2.10 Perkuatan Tanggul dengan Turap.....	30
2.10.1 Perencanaan Turap dengan Angker .....	30
2.10.2 Perencanaan Turap tanpa Angker .....	33
2.11 Perencanaan Cerucuk .....	34
2.11.1 Menentukan Tambahan Momen Perlawanan .....	34
2.11.2 Menghitung Momen Lentur Bekerja pada Cerucuk .....	34
2.11.3 Menghitung Gaya Horizontal yang Mampu Ditahan Satu Tiang.....	35
2.11.4 Menentukan Jumlah Cerucuk.....	37
2.12 Perencanaan Geotekstil .....	37
2.13 Perhitungan Stabilitas .....	39
2.14 Beban Peti Kemas (Container) .....	40
BAB III METODOLOGI .....	41
3.1 Bagan Alir .....	41
3.2 Studi Literatur.....	43
3.3 Pengumpulan dan Analisa Data.....	43
3.4 Perencanaan Lahan Reklamasi dan Tanggulnya .....	43
3.5 Perencanaan Perkuatan Tanggul.....	45
3.6 Perhitungan Volume Material .....	45
3.7 Kesimpulan.....	46
BAB IV DATA DAN ANALISA .....	47
4.1 Data Tanah .....	47
4.2 Analisa Parameter Tanah .....	47
4.2.1 Stratigrafi Tanah.....	47
4.2.2 Penentuan Parameter Tanah dengan Metode Statistik.....	49
4.3 Data Tanah Timbunan .....	54
4.4 Data Spesifikasi Bahan.....	54
4.4.1 PVD ( <i>Prefabricated Vertical Drain</i> ).....	54
4.4.2 Sheeppile Baja.....	54
4.4.3 Geotextile .....	55
4.5 Data Beban .....	55

BAB V PERENCANAAN GEOTEKNIK .....	57
5.1 Perhitungan Tinggi Inisial .....	57
5.1.1 Perhitungan Besar Pemampatan .....	57
5.1.2 Perhitungan Tinggi Timbunan Awal (Hinisial) dan Tinggi Timbunan Akhir (Hfinal) .....	59
5.2 Perhitungan Waktu Pemampatan Konsolidasi Natural.....	62
5.3 Perencanaan PVD untuk Mempercepat Pemampatan .....	63
5.3.1 Perhitungan Derajat Konsolidasi Vertikal ( $U_v$ ) .....	63
5.3.2 Perhitungan Derajat Konsolidasi Horizontal ( $U_h$ ) .....	64
5.3.3 Perhitungan Derajat Konsolidasi Rata-Rata ( $\bar{U}$ ) .....	65
5.4 Perhitungan Rate of Settlement .....	66
5.5 Penimbunan Bertahap.....	69
5.5.1 Penentuan Tinggi Timbunan Kritis ( $H_{cr}$ ).....	72
5.5.2 Perhitungan Peningkatan Kohesi Undrained ( $C_u$ ).....	72
5.5.2.1 Menghitung Tegangan di Tiap Lapisan Tanah untuk Derajat Konsolidasi ( $U$ ) 100% .....	73
5.5.2.2 Menghitung Nilai $C_u$ Baru .....	75
5.6 Perencanaan Geotextile sebagai Perkuatan Timbunan .....	75
5.6.1 Perhitungan Geotextile .....	75
5.6.2 Kebutuhan Geotextile .....	76
5.7 Perencanaan Micropile Sebagai Perkuatan Timbunan .....	79
5.8 Perencanaan Sheetpile Baja Berangker .....	83
5.9 Perhitungan Volume Material .....	89
5.9.1 Material Timbunan .....	89
5.9.2 Prefabricated Vertical Drain (PVD) .....	91
5.9.3 Geotextile .....	93
5.9.4 Micropile .....	93
5.9.5 Sheetpile .....	93
5.10 Perhitungan Biaya .....	94
BAB VI KESIMPULAN .....	95
6.1 Kesimpulan.....	95
6.2 Saran .....	97
DAFTAR PUSTAKA.....	xvii
LAMPIRAN .....	99

**Halaman ini sengaja dikosongkan**

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Korelasi N-SPT dan Konsistensi Tanah (untuk tanah dominan lanau dan lempung) .....	9
Tabel 2.2 Korelasi antara $T_v$ dan $U$ .....	17
Tabel 2.3 Ukuran dan Berat Berbagai Jenis Peti Kemas.....	41
Tabel 4.1 Hasil Analisa Statistika.....	51
Tabel 4.2 Parameter Tanah Zona B-3.....	52
Tabel 4.3 Resume Zonifikasi.....	54
Tabel 5.1 Perhitungan Settlement Akibat Variasi Beban .....	60
Tabel 5.2 Parameter Tanah Perhitungan Waktu Konsolidasi....	62
Tabel 5.3 Perhitungan $C_{vgabungan}$ .....	62
Tabel 5.4 Perhitungan $F(n)$ oleh PVD untuk Pola pemasangan segitiga. ....	65
Tabel 5.5 Kecepatan Pemampatan tanpa PVD .....	67
Tabel 5.6 Tegangan Efektif Tanah di Zona A Akibat Penimbunan Akibat Penimbunan $H = 8,00$ mpada $U=100\%$ .....	74
Tabel 5.7 Perubahan Nilai $C_u$ .....	75
Tabel 5.8 Perhitungan Panjang <i>Geotextile</i> pada Zona A.....	78
Tabel 5.9 Perhitungan Tegangan Horizontal .....	85
Tabel 5.10 Gaya dan Momen Akibat Tekanan Aktif .....	86
Tabel 5.11 Gaya dan Momen Akibat Tekanan Pasif.....	86
Tabel 5.12 Gaya dan Momen Akibat Tekanan Aktif .....	88
Tabel 5.13 Gaya dan Momen Akibat Tekanan Pasif.....	88
Tabel 5.14 Perhitungan Volume Tanah Urug Timbunan .....	92
Tabel 5.15 Perhitungan Luas Area Pemasangan PVD .....	93
Tabel 5.16 Perhitungan Panjang Kebutuhan PVD .....	94
Tabel 5.17 Perhitungan Luas Kebutuhan <i>Geotextile</i> .....	94
Tabel 5.18 Perhitungan Biaya .....	96

**Halaman ini sengaja dikosongkan**



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Peta lokasi terminal <i>NewPriok</i> Jakarta .....	5
Gambar 1.2 Layout Pelabuhan Tanjung Priok.....	5
Gambar 1.3 Layout Perencanaan Proyek.....	6
Gambar 1.4 Layout Perencanaan Proyek (blok merah adalah area reklamasi).....	6
Gambar 2.1 Grafik Influence Factor I.....	15
Gambar 2.2 Prinsip Pembebanan Preloading pada Pemampatan Tanah dengan Beban Awal $pf+s>pf$ .....	20
Gambar 2.3 Timbunan diletakkan secara bertahap.....	22
Gambar 2.4 Pemasangan vertical drain pada kedalaman tanah yang compressible.....	24
Gambar 2.5 Pola susun bujur sangkar $D = 1,13 S$ .....	25
Gambar 2.6 Pola susun segitiga $D = 1,05 S$ .....	26
Gambar 2.7 Equivalen diameter untuk PVD .....	28
Gambar 2.8 Gaya-gaya pada diagram tekanan tanah .....	31
Gambar 2.9 Kapasitas ultimit blok anker pada tanah granuler	31
Gambar 2.10 Penentuan lokasi anker .....	33
Gambar 2.11 Asumsi gaya yang diterima cerucuk (NAVFAC DM-7, 1971) .....	33
Gambar 2.12 Mencari Harga $f$ untuk berbagai jenis tanah.....	36
Gambar 2.13 Grafik untuk mencari besar $FM$ .....	37
Gambar 2.14 Penumpukan peti kemas .....	40
Gambar 3.1 Diagram alir .....	42
Gambar 4.1 Layout Lokasi Titik Bor .....	48
Gambar 4.2 Grafik 3D kedalaman tanah lunak .....	48
Gambar 4.3 Zonifikasi ketebalan lapisan tanah lunak .....	49
Gambar 4.4 Plotting parameter tanah menurut kedalaman (a) Berat Jenis Tanah Jenuh, (b) Kadar air, (c) $G_s$ , (d) $C_v$ , (e) $C_c$ , (f) , (g) Liquid Limit, (h) Plasticity Limit.....	50
Gambar 4.5 Zonifikasi berdasarkan ketebalan tanah mampu mampat dan kedalaman seabed.....	53

Gambar 5.1 Grafik Hubungan antara $H_{inisial}$ dan $H_{final}$ pada area.....	60
Gambar 5.2 Perencanaan timbunan reklamasi .....	61
Gambar 5.3 Grafik Hubungan Antara Derajat Konsolidasi ( $U$ ) dan Waktu.....	66
Gambar 5.4 Penentuan Kedalaman Pemasangan PVD Zona A	68
Gambar 5.5 Settlement tiap tahapan timbunan PVD segitiga dengan jarak 1,5 m pada Zona A. ....	71
Gambar 5.6 Sketsa Perkuatan Tanah dengan Geotextile pada Zona A .....	78
Gambar 5.7 Sketsa potongan melintang cerucuk .....	82
Gambar 5.8 Sketsa tampak atas pemasangan cerucuk .....	82
Gambar 5.9 Sketsa penampang tanah pada pemasangan sheet pile berangker.....	83
Gambar 5.10 Diagram tekanan tanah kesamping.....	84
Gambar 5.11 Sketsa letak angker (satuan dalam meter).....	89
Gambar 5.12 Area Reklamasi dan Pembagian Perhitungan.....	90
Gambar 5.13a Potongan a-a (satuan dalam meter).....	90
Gambar 5.13b Potongan b-b (satuan dalam meter) .....	91
Gambar 5.13c Potongan c-c (satuan dalam meter).....	91
Gambar 5.14a Ukuran pemasangan PVD jarak 1 m.....	92
Gambar 5.14b Ukuran pemasangan PVD jarak 1,5 m.....	92



# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Indonesia Port Company (IPC) atau PELINDO II merupakan salah satu perusahaan Badan Usaha Milik Negara (BUMN) bergerak dalam bidang industri pelabuhan. IPC mendapat banyak tantangan dalam merespon peluang untuk menjadi Perusahaan Pelabuhan Internasional pertama di Indonesia. Tantangan – tantangan tersebut meliputi kemacetan di pelabuhan utama Tanjung Priok dan perubahan dinamika pasar yang semakin membutuhkan efisiensi yang tinggi. IPC telah mengembangkan rencana strategis jangka panjang untuk menjawab tantangan – tantangan tersebut. Salah satu jawabannya adalah membangun terminal *New Priok*.

Pembangunan tahap pertama akan dapat menyediakan tambahan kapasitas sekitar 4,5 Juta TEUs, dan akan mulai beroperasi pada tahun 2014. Terminal *New Priok* juga akan meningkatkan kapasitas dan efisiensi dari jaringan logistik nasional Indonesia dengan level produktivitas yang sebanding dengan pelabuhan-pelabuhan besar di dunia dan meningkatkan kemampuan dalam melayani kapal kontainer yang lebih besar. Terminal *New Priok* memungkinkan kapal kontainer kelas EEE melewati Indonesia tanpa perlu *trans-shipment* di pelabuhan lain. Kapal EEE adalah kelas terbesar dari kapal kontainer sampai saat ini, dengan kemampuan membawa hingga 18.000 TEUs.

Terminal *New Priok* bertempat di Kalibaru Utara, Cilincing, Jakarta Utara (Gambar 1.1). Dalam perencanaannya, area *container yard* 1B menggunakan lahan reklamasi yang areanya berukuran 900 m x 2050 m. Material reklamasi

direncanakan diperoleh dari pengerukan di area sekitar proyek; tinggi timbunan yang direncanakan adalah 4,5 meter. Masalah utama yang akan timbul dari pembangunan terminal ini adalah pemampatan tanah yang besar dan daya dukung yang rendah mengingat hasil test tanah menunjukkan bahwa kondisi tanah di area reklamasi tersebut memiliki lapisan tanah yang lunak.

Untuk menangani masalah pemampatan dan daya dukung, perlu dilakukan perbaikan tanah dasar; salah satu metoda yang umum dipakai adalah metode preloading. Sistem preloading adalah metode yang digunakan untuk meningkatkan daya dukung dan menghilangkan pemampatan tanah dengan cara memberi beban awal yang diberikan secara bertahap. Pembebanan ini akan membuat tanah tertekan sehingga air pori tanah akan mengalir keluar lebih cepat sehingga pemampatan konsolidasi cepat berakhir dan daya dukung tanah cepat meningkat. Hanya saja kecilnya permeabilitas tanah lunak dalam mengalirkan air pori menyebabkan perlunya untuk mengkombinasikan preloading dengan PVD. Dengan pemasangan PVD maka proses konsolidasi akan cepat selesai.

Selain permasalahan settlement yang harus diatasi, dalam pelaksanaan reklamasi harus dipertimbangkan stabilitas. Oleh karena itu, selain merencanakan reklamasi perlu direncanakan juga tanggul reklamasi yang berfungsi melindungi tanah timbunan dari terjangan arus yang dapat menyebabkan kelongsoran pada timbunan tersebut. Dari hasil penyelidikan tanah, kedalaman seabed diatas tanggul reklamasi sisi utara reklamasi sangat dalam, mencapai 6 meter. Hal ini menyebabkan perlunya pemasangan perkuatan tanah pada tanggul reklamasi dan mengecek kestabilan

tanggul reklamasi. Jenis perkuatan tanah yang dapat dipilih diantaranya adalah: *micropile*, *sheetpile*, dan *geotextile*.

Untuk itu studi ini merencanakan perbaikan tanah di lahan reklamasi dengan menggunakan metode preloading dan PVD serta merencanakan perkuatan tanah dibawah tanggul reklamasi dengan menggunakan micropile, turap dan geotekstil.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Dari uraian latar belakang diatas, beberapa permasalahan yang perlu dibahas dalam Tugas Akhir ini adalah:

1. Berapa besar settlement yang akan terjadi pada lahan reklamasi dan tanggul reklamasi?
2. Berapa tinggi inisial timbunan pada lahan dan tanggul reklamasi agar tidak terjadi lagi settlement pada saat pengoperasian?
3. Bagaimana perencanaan PVD agar terjadi percepatan settlement pada tanggul dan lahan reklamasi?
4. Bagaimana perkuatan tanah dibawah tanggul agar tanggul tidak mengalami pemampatan lagi dan tidak longsor?
5. Berapa volume material yang dibutuhkan dalam perencanaan reklamasi?
6. Berapa biaya material yang dibutuhkan dalam perencanaan reklamasi?

## **1.3 Tujuan Penulisan**

Penulisan Tugas Akhir ini bertujuan untuk merencanakan perbaikan tanah dasar di lahan reklamasi dan tanggulnya di terminal peti kemas *NewPriok* agar stabil dan tidak mengalami pemampatan lagi saat pengoperasiannya nanti.



#### **1.4 Ruang Lingkup Pembahasan**

Tugas ini dibatasi oleh hal – hal sebagai berikut, yaitu :

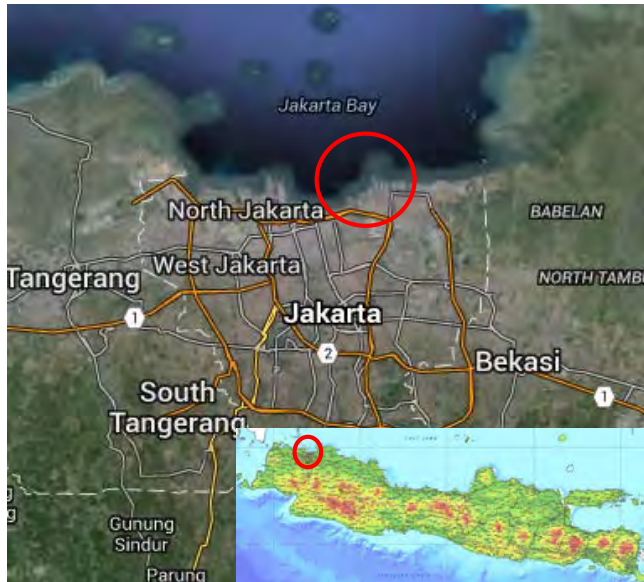
1. Jenis metode perkuatan yang dipakai adalah *micropile*, *sheetpile*, dan *geotextile*.
2. Data yang digunakan adalah data sekunder, yaitu berupa :
  - a. *Layout* area reklamasi
  - b. Peta Bathymetry
  - c. Boring log dan SPT
  - d. Hasil tes laboratorium
3. Tidak mengevaluasi *layout*
4. Tidak melakukan studi perubahan pola arus dan sedimentasi

#### **1.5 Manfaat Tugas Akhir**

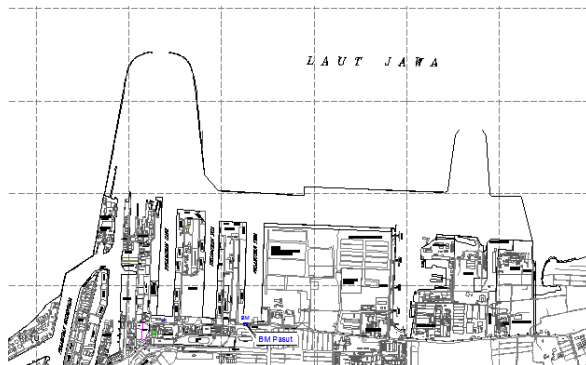
Manfaat dari penulisan laporan tugas akhir ini adalah untuk masukan perencanaan Terminal *Newpriok* agar aman dan tidak terjadi kelongsoran.

#### **1.6 Peta Lokasi**

Terminal *Newpriok* merupakan hasil perluasan pelabuhan Tanjung Priok. Pelabuhan tanjung Priok terletak di Laut Jawa. Berlokasi di Kalibaru Utara, Cilincing, Jakarta Utara. Gambar 1.1 dan 1.2, masing-masing merupakan peta lokasi dan lay out dari area yang akan di reklamasi.



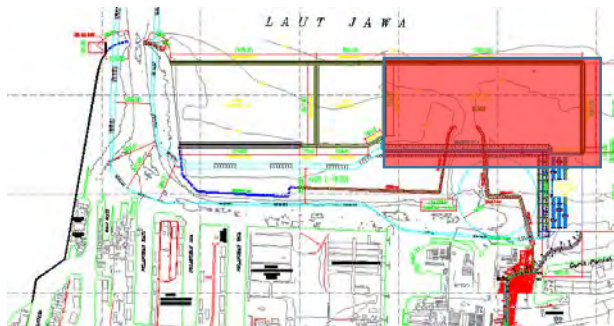
**Gambar 1.1** Peta lokasi terminal NewPriok Jakarta  
(Sumber : Google Maps)



**Gambar 1.2** Layout Pelabuhan Tanjung Priok.  
(Sumber : Google Maps)



**Gambar 1.3** Layout Perencanaan Proyek (blok merah adalah area yang ditinjau)  
(Sumber : PTPP)



**Gambar 1.4** Layout Perencanaan Proyek (blok merah adalah area yang ditinjau)  
(Sumber : PTPP)

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Analisa Data dengan Metode Statistik

#### 2.1.1 Pembuatan Stratigrafi

Stratigrafi tanah dibuat untuk mengetahui kondisi tanah dasar di daerah reklamasi. Sebelum membuat stratigrafi tanah, perlu dilakukan pendekatan statistik sederhana terhadap data-data tanah yang dimiliki. Pendekatan statistik yang digunakan adalah dengan pengambilan keputusan berdasarkan koefisien varian (CV) dari suatu distribusi nilai parameter tanah.

Beberapa persamaan statistik yang digunakan antara lain (ITS,1998)

- Rata – rata

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \quad (2.1)$$

- Standar Deviasi

$$STD = \sqrt{\frac{\sum (x - U)^2}{n}} \quad (2.2)$$

- Koefisien Varian

$$CV = \frac{STD}{U} \times 100\% \quad (2.3)$$

Keterangan :

STD = Standar Deviasi

CV = Koefisien Varian

U = Rata - rata

Dimana distribusi sebaran suatu nilai dapat diterima jika harga koefisien varian (CV) dari sebaran tersebut bernilai lebih kecil atau sama dengan 30%. Apabila nilai koefisien varian (CV) lebih besar dari pada 30%, maka perlu dilakukan pembagian layer tanah sampai nilai CV tersebut kurang dari atau sama dengan 30%.

### 2.1.2 Pemilihan Parameter

Analisa parameter tanah dilakukan untuk mendapatkan parameter yang akan digunakan untuk perencanaan reklamasi tanah. Metode yang digunakan adalah cara statistik dengan selang kepercayaan yang baik, yaitu selang yang pendek dengan derajat kepercayaan yang tinggi, oleh karena itu digunakan selang kepercayaan 90%.

Bentuk umum selang kepercayaan adalah Batas Bawah < (Parameter tanah) < Batas Atas. Dengan menggunakan „probabilitas t“ dan „probabilitas z“ yaitu :

- Probabilitas t digunakan apabila  $n < 30$

$$\bar{X} - t_{(db; \alpha/2)} \frac{s}{\sqrt{n}} < (\mu) < \bar{X} + t_{(db; \alpha/2)} \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (2.4)$$

- Probabilitas z digunakan apabila  $n > 30$

$$\bar{X} - z_{(\alpha/2)} \frac{\sigma}{\sqrt{n}} < (\mu) < \bar{X} + z_{(\alpha/2)} \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (2.5)$$

Dimana :

$\bar{X}$	= rata-rata
db	= derajat kebebasan
$\alpha$	= tingkat kesalahan
s	= Standar deviasi
n	= jumlah data
( $\mu$ )	= nilai parameter tanah

## 2.2 Karakteristik Tanah Lunak

Tanah adalah kumpulan agregat/ butiran mineral alami yang bisa dipisahkan oleh suatu cara mekanik bila agregat tersebut diaduk dalam air. Tanah terdiri dari kumpulan mineral, bahan organik, dan endapan-endapan yang relatif lepas (*loose*) yang terletak diatas batuan dasar (*bad rock*). Menurut K. Terzaghi, tanah terdiri dari butiran-butiran material hasil pelapukan massa batuan *massive*, dimana ukuran butirannya bisa sebesar bongkahan,

berangka, kerikil, pasir, lanau, lempung, dan kontak butirnya tidak tersementasi termasuk bahan organik.

Lapisan tanah yang disebut sebagai lapisan tanah yang lunak adalah lempung (*clay*) atau lanau (*silt*) yang mempunyai harga penetrasi standar (SPT)  $N$  yang lebih kecil dari 4; atau tanah organik seperti gambut yang mempunyai kadar air alamiah yang sangat tinggi. Selain itu terdapat korelasi antara  $N$ -SPT dengan jenis konsistensi tanah yang lain seperti dijelaskan pada tabel 2.1

**Tabel 2.1** Korelasi  $N$ -SPT dan Konsistensi Tanah (untuk tanah dominan lanau dan lempung)

Konsistensi tanah	Taksiran harga kekuatan geser undrained, $C_u$		Taksiran harga SPT, harga $N$	Taksiran harga tahanan conus, $q_c$ (dari Sondir)	
	kPa	ton/m <sup>2</sup>		kg/cm <sup>2</sup>	kPa
Sangat lunak (very soft)	0 – 12.5	0 – 1.25	0 – 2.5	0 – 10	0 – 1000
Lunak (soft)	12.5 – 25	1.25 – 2.5	2.5 – 5	10 – 20	1000 – 2000
Menengah (medium)	25 – 50	2.5 – 5.0	5 – 10	20 – 40	2000 – 4000
Kaku (stiff)	50 – 100	5.0 – 10	10 – 20	40 – 75	4000 – 7500
Sangat kaku (very stiff)	100 – 200	10 – 20	20 – 40	75 – 150	7500 – 15000
Keras (hard)	>200	>20	>40	>150	>15000

(Sumber : Mochtar,2006; revised,2012)



Tanah lempung merupakan jenis tanah berbutir halus dengan ukurannya  $< 2\mu$  atau  $< 5 \mu$  (Mochtar dan Mochtar, 1988).

Tanah lempung merupakan tanah kohesif yang memiliki:

1. Nilai kadar air berkisar antara 30% – 50 % pada kondisi jenuh air.
2. Angka pori berkisar antara 0,9 sampai dengan 1,4 (Braja M.Das, 1985).
3. Berat volume berkisar antara  $0,9 \text{ t/m}^3$  sampai dengan  $1,25 \text{ t/m}^3$  (Braja M.Das, 1985) .
4. *Spesific Gravity* rata – rata berkisar antara 2,70 sampai dengan 2,90.

Tanah lempung memiliki gaya geser yang kecil, kemampuan yang besar, dan koefisien permeabilitas yang kecil. Nilai kekuatan geser tanah lempung lembek ditentukan dari ikatan butiran antar partikel tanah. Tanah lempung lembek merupakan tanah lunak yang mempunyai kadar air yang bervariasi. Apabila tanah lempung lembek diberi beban melampaui daya dukung kritisnya, maka secara langsung akan terjadi pemampatan pada rongga antar partikel tanah dalam jangka waktu yang cukup lama.

Dari permasalahan di atas, secara teknis tanah lempung bersifat kurang menguntungkan untuk mendukung suatu pekerjaan konstruksi. Hal ini seringkali menjadi kendala dalam pelaksanaan suatu pekerjaan konstruksi.

### **2.3 Pemampatan Tanah Lunak**

Pemampatan (*settlement*) pada tanah dasar akan terjadi apabila tanah dasar tersebut menerima penambahan beban di atasnya. Pemampatan tersebut disebabkan oleh adanya deformasi partikel tanah, relokasi partikel, keluarnya air atau udara dari dalam pori, dan sebab-sebab lain. Pada umumnya, pemampatan pada

tanah yang disebabkan oleh pembebanan dapat dibagi dalam dua kelompok besar; yaitu:

1. Pemampatan segera/ *immediate settlement*, merupakan pemampatan akibat perubahan elastis dari tanah kering, basah, dan jenuh air, tanpa adanya perubahan kadar air. Perhitungan *immediate settlement* ini umumnya didasarkan pada teori elastisitas.
2. Pemampatan konsolidasi/ *consolidation settlement*, merupakan pemampatan yang disebabkan oleh keluarnya air dari pori-pori di dalam tanah. Penurunan konsolidasi dibagi lagi menjadi dua bagian, yaitu: konsolidasi primer dan konsolidasi sekunder.

Besarnya amplitudo/ penurunan tanah total menurut Das (1985) adalah:

$$S_t = S_i + S_{cp} + S_{cs} + S_{lat} \quad [2.6]$$

Dimana :

- $S_t$  = total *settlement*
- $S_i$  = *immediate settlement*
- $S_{cp}$  = *consolidation primer settlement*
- $S_{cs}$  = *consolidation secondary settlement*
- $S_{lat}$  = *settlement* akibat pergerakan tanah arah lateral.

Akan tetapi dari kedua pemampatan tersebut diatas yang paling berpengaruh adalah pemampatan konsolidasi.

### 2.3.1 Pemampatan Konsolidasi/ *consolidation settlement* ( $S_c$ )

Pemampatan konsolidasi masih dapat dibagi lagi menjadi dua, yakni:

1. Penurunan akibat konsolidasi primer/ *consolidation primer settlement* ( $S_{cp}$ ), merupakan pemampatan akibat perubahan volume tanah jenuh air sebagai akibat dari keluarnya air dari pori-pori tanah.

2. Penurunan akibat konsolidasi sekunder/ *consolidation secondary settlement* ( $S_{cs}$ ), merupakan pemampatan yang diakibatkan oleh adanya penyesuaian yang bersifat plastis dari butir-butir tanah.

Menurut Wahyudi (1997), besarnya amplitudo penurunan tanah akibat konsolidasi primer tergantung dari kondisi sejarah tanahnya, yaitu *normally consolidated* (NC) atau *overconsolidated* (OC). Berikut rumus-rumus mencari besar pemampatan akibat konsolidasi primer:

- Untuk tanah terkonsolidasi normal (NC-soil)

$$S_c = \frac{C_c \times H}{1 + e_0} \log \left( \frac{p'_o + \Delta p}{p'_o} \right) \quad [2.7]$$

- Untuk tanah terkonsolidasi lebih (OC-soil)

Bila  $(p'_o + \Delta p) \leq p'_o$

$$S_c = \frac{C_c}{1 + e_0} \left[ H \log \left( \frac{p'_o + \Delta p}{p'_o} \right) \right] \quad [2.8]$$

Bila  $(p'_o + \Delta p) > p'_c$

$$S_c = \frac{C_s}{1 + e_0} H \log \frac{p'_c}{p'_o} + \frac{C_c}{1 + e_0} H \log \frac{p'_o + \Delta p}{p'_c} \quad [2.9]$$

Dimana:  $S_c$  = pemampatan konsolidasi pada lapisan tanah yang ditinjau

$H$  = tebal lapisan tanah *compressible*

$e_0$  = angka pori awal (*initial void ratio*)

$C_c$  = indeks kompresi

$C_s$  = indeks mengembang

$\Delta p$  = beban *surcharge*

$p'_o$  = tekanan tanah vertikal efektif dari suatu titik di tengah-tengah lapisan ke-i akibat beban

tanah sendiri di atas titik tersebut di lapangan (*effective overburden pressure*)  
 $p'_c$  = tegangan konsolidasi efektif di masa lampau (*effective past overburden pressure*)

Keterangan tambahan:

Tanah lunak di Indonesia umumnya dapat dianggap sebagai tanah agak terkonsolidasi lebih, dengan harga:

$$p_c = p'_o + f \quad [2.10]$$

Dimana:  $f$  = fluktuasi terbesar muka air tanah

$\Delta p$  = penambahan tegangan vertikal di titik yang ditinjau (di tengah-tengah lapisan) akibat penambahan beban

Pada perhitungan perencanaan ini, jenis pemampatan (*settlement*) yang diperhitungkan adalah *immediate settlement* dan *consolidation primer settlement*.

### 2.3.2 Parameter Tanah untuk Perhitungan *Consolidation*

#### *Settlement* ( $S_c$ )

Menurut Wahyudi (1997) berikut adalah cara menentukan parameter-parameter tanah yang akan digunakan dalam perhitungan *consolidation settlement*:

#### 1. Tebal lapisan *compressible*

Tebal lapisan *compressible* (H) yang diperhitungkan adalah yang masih bisa mengalami konsolidasi primer ( $N-SPT < 30$ ). Karena apabila nilai  $N-SPT > 30$  umumnya dapat dianggap sudah tidak mengalami konsolidasi primer sehingga tidak perlu diperhittungkan lagi sebagai tebal lapisan *compressible* (H).

2. Beban atau *surcharge*

*Surcharge* yang dimaksud adalah besarnya beban yang bekerja di atas permukaan tanah asli (*compressible soil*) dalam satuan tegangan. Persamaan yang digunakan adalah:

$$q_0 = \gamma_{\text{timbunan}} \times H \quad [2.11]$$

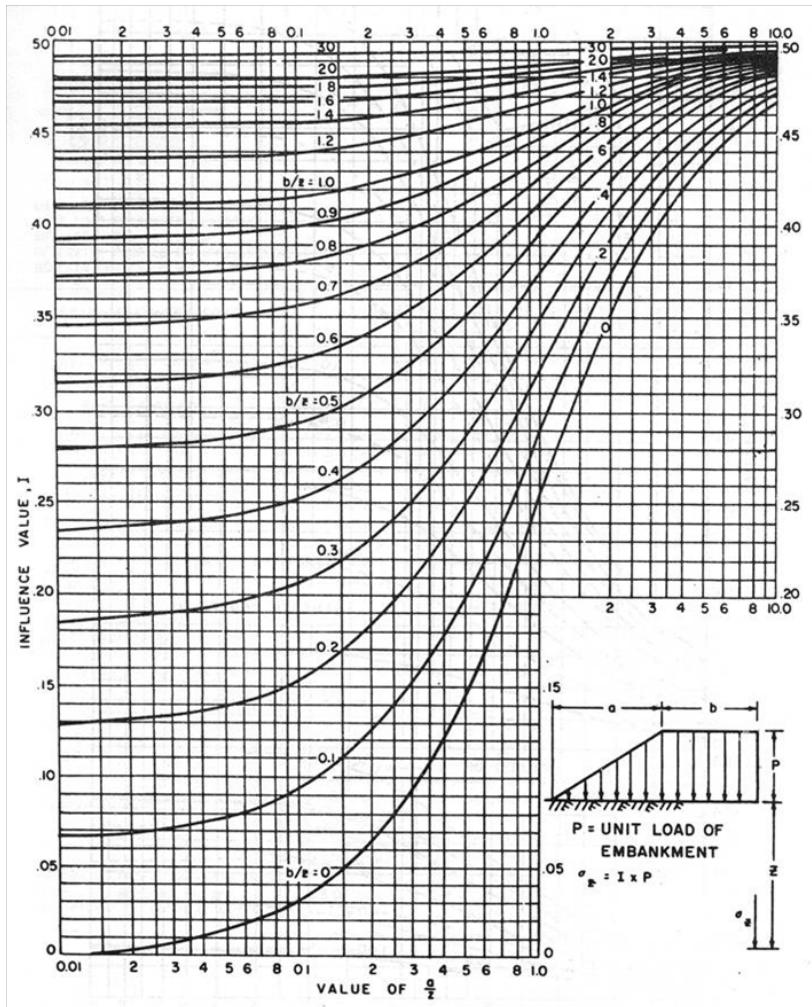
$$\Delta p = I \times q_0 \quad [2.12]$$

Dimana :  $\Delta p$  = beban *surcharge* yang terjadi  
 $I$  = koefisien pengaruh beban terhadap titik yang ditinjau  
 $\gamma_{\text{timbunan}}$  = berat volume *humid* dari tanah timbunan  
 $H$  = tinggi timbunan

Apabila timbunan terendam air, maka digunakan harga  $\gamma_{\text{timbunan}}$  efektif ( $\gamma'_{\text{timbunan}}$ ).

3. Koefisien pengaruh I

Berdasarkan grafik Osterberg (**Gambar 2.1**) besarnya nilai koefisien pengaruh I untuk perhitungan besarnya tegangan vertikal ( $\Delta p$ ) yang diterima oleh suatu titik tinjau tertentu dipengaruhi oleh  $a$ ,  $b$ , dan  $z$  yang merupakan karakteristik geometrik dan bentuk timbunan reklamasi dan kedalaman titik tinjau. Adapun grafik Osterberg tersebut adalah sebagai berikut:



**Gambar 2.1** Grafik Influence Factor I (NAVFAC DM-7, 1970)  
 (sumber : Mochtar, 2000)

4. *Compressible dan Swelling Index*

Harga *compression index* ( $C_c$ ) dan *swelling index* ( $C_s$ ) diperoleh dari hasil tes laboratorium (*consolidation test*).

5. Angka pori (*initial void ratio*)

Angka pori awal ( $e_0$ ) diperoleh dari hasil tes laboratorium (*Volumetric dan Gravimetric*).

6. Tegangan *overburden* efektif ( $p'_0$ )

*Overburden pressure effective* ( $p'_0$ ) adalah tegangan vertikal efektif dari tanah asli. Dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan:

$$p'_0 = \gamma' x h \quad [2.13]$$

Dimana:  $\gamma' = \gamma_{\text{sat}} - \gamma_{\text{air}}$  ( bila berada dibawah permukaan air tanah )

$h$  = setengah dari lapisan lempung yang diperhitungkan.

## 2.4 Waktu Konsolidasi

Penurunan konsolidasi pada tanah lempung yang tebal berlangsung sangat lama. Pada tanah yang tidak dikonsolidasi dengan PVD, pengaliran yang terjadi hanyalah pada arah vertikal saja. Menurut Terzaghi dalam Das (1990), lama waktu konsolidasi ( $t$ ) dapat dicari dengan persamaan berikut:

$$t = \frac{T_v (H_{dr})^2}{C_v} \quad [2.14]$$

Dimana:  $t$  = waktu konsolidasi

$T_v$  = faktor waktu

$H_{dr}$  = panjang aliran air/ *drainage* terpanjang

$C_v$  = koefisien konsolidasi vertical

### 2.4.1 Parameter Tanah untuk Lamanya Pemampatan Konsolidasi

#### a. Faktor Waktu

Faktor waktu  $T_v$  adalah merupakan fungsi langsung dari derajat konsolidasi ( $U\%$ ) dan bentuk dari distribusi tegangan air pori ( $u$ ) di dalam tanah (aliran satu arah atau dua arah). Apabila distribusi tegangan air porinya merata (homogen) maka hubungan  $T_v$  dan  $U$  adalah (Tabel 2.2)

**Tabel 2.2** Korelasi antara  $T_v$  dan  $U$

U(%)	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
$T_v$	0,008	0,031	0,071	0,126	0,197	0,287	0,403	0,567	0,848	$\infty$

#### b. Koefisien Konsolidasi Vertikal ( $C_v$ )

Koefisien konsolidasi vertikal  $C_v$  diperoleh dari grafik korelasi antara besarnya pemampatan tanah dengan waktu ( $t$ ). Berikut adalah persamaan yang dipakai:

$$C_v = \frac{0.197 (H \times 2)^2}{t_{50}} \quad (2.15)$$

Apabila lapisan tanahnya heterogen dan mempunyai beberapa nilai  $C_v$ , maka harga  $C_v$  yang dipakai adalah nilai  $C_v$  gabungan (ABSI,1965)

$$C_{v_{gab}} = \frac{(H_1 + H_2 + \dots + H_n)^2}{\left[ \frac{H_1}{\sqrt{C_{v1}}} + \frac{H_2}{\sqrt{C_{v2}}} + \dots + \frac{H_n}{\sqrt{C_{vn}}} \right]^2} \quad (2.16)$$

dimana:

$$\begin{aligned} h_i &= \text{tebal lapisan } i \\ C_{vi} &= \text{Harga } C_v \text{ lapisan } i \end{aligned}$$

#### c. Panjang aliran *drainage* H ( $H_{dr}$ )

Apabila tebal lapisan lempung (*compressible soil*) kita sebut  $H$ , maka panjang aliran *drainage*  $H_{dr}$  adalah :



- Hdr =  $\frac{1}{2}$  H, bila arah aliran air selama proses konsolidasi adalah dua arah (ke atas dan ke bawah)
- Hdr = H, bila arah aliran *drainage*-nya satu arah (ke atas atau ke bawah). Hal ini terjadi bila di atas atau biasanya di bawah lapisan lempung tersebut merupakan lapisan yang kedap air (*impermeable*)

## 2.5 Tinggi Timbunan Awal ( $H_{\text{inisial}}$ )

Tinggi timbunan awal pada saat pelaksanaan tidak sama dengan tinggi timbunan rencana. Penentuan dari tinggi timbunan rencana pada saat pelaksanaan fisik (dengan memperhatikan adanya pemampatan), dapat dihitung dengan (*Mochtar, 2000*):

$$q_{\text{final}} = q = (H_{\text{inisial}} - S_c) \gamma_{\text{timb}} + S_c \gamma'_{\text{timb}} \quad [2.17]$$

$$q_{\text{final}} = q = (H_{\text{inisial}} \times \gamma_{\text{timb}}) - (S_c \times \gamma_{\text{timb}}) + (S_c \times \gamma'_{\text{timb}}) \quad [2.18]$$

$$H_{\text{inisial}} = \frac{q + (S_c \times \gamma_{\text{timb}}) - (S_c \times \gamma'_{\text{timb}})}{\gamma_{\text{timb}}} \quad [2.19]$$

$$H_{\text{akhir}} = H_{\text{inisial}} - S_c \quad [2.20]$$

Pada timbunan reklamasi, karena ada permukaan air laut setinggi ( $H_w$ ) maka perumusan untuk menentukan tinggi awal timbunan ( $H_{\text{inisial}}$ ) adalah sebagai berikut:

$$q_{\text{final}} = q = ((H_{\text{inisial}} - H_w - S_c) \times \gamma_{\text{timb}}) + (H_w \times \gamma'_{\text{timb}}) + (S_c \times \gamma'_{\text{timb}}) \quad [2.21]$$

$$H_{\text{inisial}} = \frac{q + (S_c + H_w) \times (\gamma_{\text{timb}} - \gamma'_{\text{timb}})}{\gamma_{\text{timb}}} \quad [2.22]$$

## 2.6 Penentuan Tinggi Kritis ( $H_{\text{cr}}$ )

Penentuan tinggi kritis digunakan sebagai beban awal preloading. Untuk muka air yang berada di atas muka tanah, tinggi timbunan kritis beban *preloading* dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$H_{cr} = \frac{C_u}{\gamma_{timbunan}} \quad [2.23]$$

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

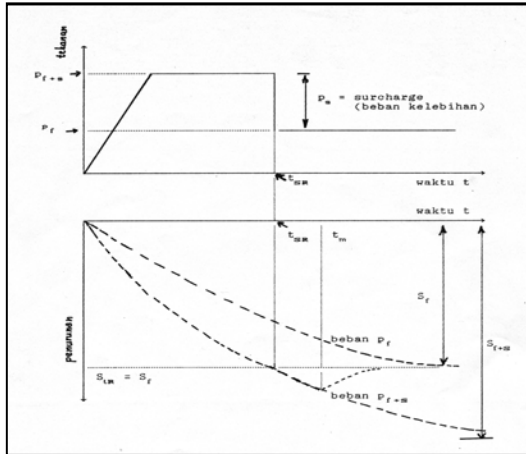
$\gamma_{timbunan}$  = berat volume tanah timbunan ( $t/m^2$ )

$H_{cr}$  = tinggi timbunan kritis (m)

Selain menggunakan persamaan diatas, penentuan  $H_{cr}$  dapat menggunakan program bantu. Dalam perencanaan ini program yang digunakan adalah XSTABLE.

## 2.7 Peningkatan Daya Dukung Tanah dengan Metode *Preloading*

Beban *preloading* yang diletakkan secara bertahap ditentukan berdasarkan besar pemampatan tanah dasar yang akan dihilangkan. Kekuatan geser tanah lempung akan mempengaruhi tinggi timbunan kritis. Sistem *precompression* atau *preloading* ialah metode perbaikan tanah dengan memberikan beban awal yang berlebih  $P_{f+s}$  sedemikian rupa sehingga pada waktu yang pendek  $t_{sr}$  didapatkan penurunan yang sama besarnya dengan total penurunan  $S_f$  dari beban rencana  $P_f$ , sebagaimana terlihat pada **Gambar 2.2**.



**Gambar 2.2** Prinsip Pembebanan *Preloading* pada Pemampatan Tanah dengan Beban Awal  $p_{f+s} > p_f$   
(Sumber: Mochtar, 2000)

Bila pada beban awal  $p_{f+s}$  penurunan  $S_f$  terjadi pada waktu  $t_{sr}$ , beban surcharge  $P_s$  dapat dibongkar. Kemudian dengan asumsi bahwa tanah sudah termampatkan sampai  $S_f$ , beban  $p_f$  tidak lagi menyebabkan penurunan tambahan. Makin besar  $p_{f+s}$  makin pendek waktu  $t_{sr}$ .

Daya dukung tanah dasar meningkat karena adanya pemampatan tanah dasar sebagai akibat adanya beban timbunan yang diletakkan secara bertahap. Beban bertahap dapat diletakkan secara terus menerus sampai dengan tinggi timbunan kritis ( $H_{cr}$ ) dicapai. Dan berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Ardana dan Mochtar (1999) diketahui bahwa ada hubungan antara kekuatan geser *undrained* ( $C_u$ ) dengan tegangan tanah vertikal efektif ( $\sigma'_v$ ). Peningkatan daya dukung tanah akibat pemampatan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

- a. Untuk harga *Plasticity Index*, PI tanah < 120 %  
 $C_u \text{ (kg/cm}^2\text{)} = 0,073 + (0,1899 - 0,0016 \text{ PI}) \sigma_p'$  [2.24]
- b. Untuk harga *Plasticity Index*, PI tanah > 120 %  
 $C_u \text{ (kg/cm}^2\text{)} = 0,073 + (0,0454 - 0,00004 \text{ PI}) \sigma_p'$  [2.25]  
 Dimana harga  $\sigma_p'$  dalam  $\text{kg/cm}^2$

Untuk tanah tanah yang sedang mengalami konsolidasi, harga  $\sigma_p'$  berubah sesuai dengan waktu. Secara umum menurut Ardana dan Mochtar (1999) harga  $\sigma_p'$  dapat dicari dengan cara berikut:

$$\sigma_p' = \left( \frac{p'_0 + \Delta p'}{p'_0} \right)^U \cdot p'_0 \quad [2.26]$$

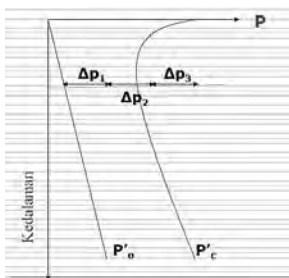
Bila :  $U = 100\% = 1$  , maka  $\sigma_p' = p'_0 + \Delta p'$

$U < 100\%$ , maka  $\sigma_p' < p'_0 + \Delta p'$

## 2.8 Timbunan Bertahap dan Besar Pemampatan

Seperti diketahui bahwa timbunan di lapangan diletakkan lapis demi lapis dengan kecepatan sesuai dengan yang direncanakan. Dengan demikian, formula yang dipergunakan untuk menghitung besar pemampatan konsolidasi perlu disesuaikan dengan besar beban dan pemakaian harga  $C_c$  dan  $C_s$ .

Untuk pembebanan secara bertahap dimana besar beban di setiap tahapan adalah  $\Delta p$ , digunakan persamaan berikut :



1. Bila  $(p'_c + \Delta p_1) \leq p'_c$

$$S_c = \frac{C_s H}{1 + \epsilon_0} \left[ \log \left( \frac{p'_c + \Delta p_1}{p'_0} \right) \right] \quad [2.27]$$

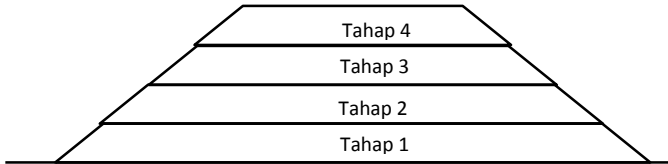
2. Bila  $(p'_c + \Delta p_1 + \Delta p_2) > p'_c$

$$S_c = \frac{C_s H}{1 + \epsilon_0} \log \frac{p'_c}{p'_0 + \Delta p_1} + \frac{C_c H}{1 + \epsilon_0} \log \frac{p'_c + \Delta p_1 + \Delta p_2}{p'_c} \quad [2.28]$$

3. Bila  $(p'_c + \Delta p_1 + \Delta p_2 + \Delta p_3) > p'_c$

$$S_c = \frac{C_c H}{1 + \epsilon_0} \log \frac{p'_c + \Delta p_1 + \Delta p_2 + \Delta p_3}{p'_c} \quad [2.29]$$

- Dimana:
- $S_c$  = pemampatan konsolidasi pada lapisan tanah yang ditinjau
  - $H$  = tebal lapisan tanah *compressible*
  - $e_0$  = angka pori awal (*initial void ratio*)
  - $C_c$  = indeks kompresi
  - $C_s$  = indeks mengembang
  - $\Delta p$  = beban *surcharge*
  - $p'_0$  = tekanan tanah vertikal efektif dari suatu titik di tengah-tengah lapisan ke-i akibat beban tanah sendiri di atas titik tersebut di lapangan (*effective overburden pressure*)
  - $p'_c$  = tegangan konsolidasi efektif di masa lampau (*effective past overburden pressure*)



**Gambar 2.3** Timbunan diletakkan secara bertahap

Besarnya beban preloading yang akan diberikan dapat ditentukan terlebih dahulu, kemudian dibandingkan dengan tinggi timbunan atau beban yang mampu diterima oleh tanah dasar yaitu  $H$  kritis ( $H_{cr}$ ). Apabila ternyata tinggi timbunan sebagai beban preloading yang akan diberikan lebih besar daripada  $H_{cr}$ , maka timbunan tersebut harus diletakkan secara bertahap (*stepped preloading*). Langkah-langkah pemberian beban preloading secara bertahap (*stepped preloading*) adalah sebagai berikut :

1. Menghitung pemampatan yang akan terjadi akibat timbunan setinggi  $H_{cr}$  (beban tahap I)
2. Menghitung besar pemampatan untuk  $U$  rata-rata = 90 % dan waktu yang diperlukannya yaitu  $St_1$  dan  $t_1$ .
3. Menghitung peningkatan daya dukung tanah akibat pemampatan sebesar  $St_1$  dengan menggunakan persamaan 2.24 dan 2.25.
4. Menghitung penambahan tinggi timbunan (beban tahap II) berdasarkan daya dukung tanah yang telah meningkat yang dihitung pada langkah no. 3.
5. Menghitung besar pemampatan akibat beban tahap II untuk  $U$  rata-rata = 90 % dan waktu yang diperlukannya,  $St_2$  dan  $t_2$ .
6. Menghitung peningkatan daya dukung setelah pemampatan akibat beban tahap II terjadi.
7. 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.

## **2.9 Perencanaan *Vertical Drain***

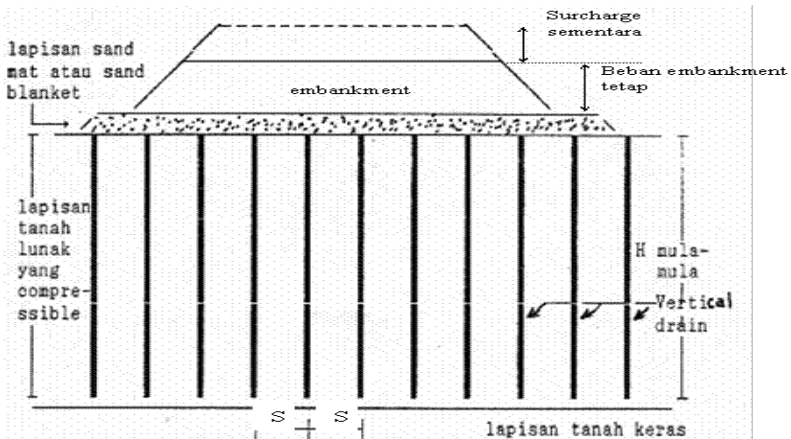
Pada tanah lempung yang mengalami waktu konsolidasi sangat lama diperlukan suatu sistem untuk mempercepat proses konsolidasi. Pada umumnya, percepatan konsolidasi dilakukan dengan memasang tiang-tiang vertikal yang mudah mengalirkan air (*vertical drain*).

*Vertical drain* yang mudah mengalirkan air biasanya berupa *sand drain*/tiang pasir atau dari bahan geosintetis yang dikenal dengan "*wick drain*" atau juga dikenal sebagai *Prefabricated Vertical Drain* (PVD). Pada umumnya PVD banyak

digunakan karena kemudahan dalam pemasangan di lapangan. Tiang-tiang atau lubang-lubang tersebut "dipasang" di dalam tanah pada jarak tertentu sehingga memperpendek jarak aliran drainase air pori (*drainage path*). (Mochtar, 2000).

### 2.9.1 Menentukan Kedalaman *Vertical Drain*

*Vertical drain* perlu dipasang untuk mengatasi penurunan akibat konsolidasi tanah yaitu hingga kedalaman tanah *compressible* dengan nilai N-SPT 10. Sketsa pemasangan *vertical drain* dapat dilihat pada **Gambar 2.3**.



**Gambar 2.4** Pemasangan *vertical drain* pada kedalaman tanah yang *compressible* (sumber: Mochtar, 2000)

### 2.9.2 Menentukan Waktu Konsolidasi Akibat *Vertical Drain*

Penentuan waktu konsolidasi menurut Barron (1948) dengan teori aliran pasir vertikal, menggunakan asumsi teori Terzaghi tentang konsolidasi linier satu dimensi.

$$t = \left( \frac{D^2}{8.C_h} \right) . F(n) . \ln \left( \frac{1}{1 - \bar{U}_h} \right) \quad [2.29]$$

Dimana:  $t$  = waktu untuk menyelesaikan konsolidasi primer

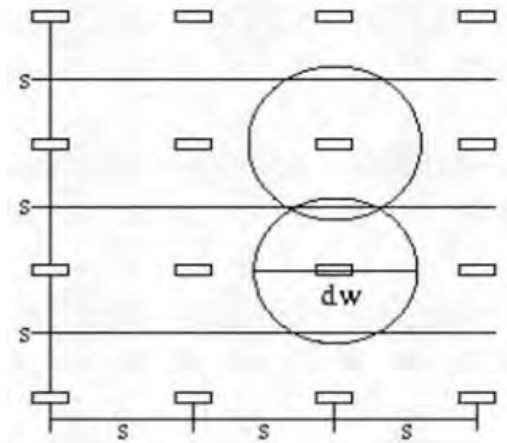
$D$  = diameter ekuivalen dari lingkaran tanah yang merupakan daerah pengaruh PVD

Harga  $D = 1,13 \times S$ , untuk pola susunan bujur sangkar (**Gambar 2.4**)

Harga  $D = 1,05 \times S$ , untuk pola susunan segitiga (**Gambar 2.5**)

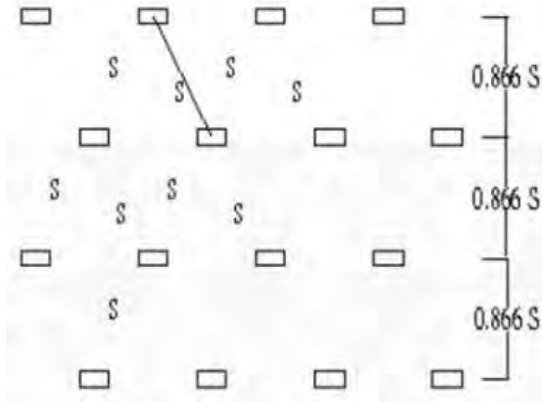
$C_h$  = koefisien konsolidasi tanah arah horizontal

$\bar{U}_h$  = derajat konsolidasi tanah akibat aliran air arah horizontal.



**Gambar 2.5** Pola susun bujur sangkar  $D = 1,13 S$   
(sumber: Mochtar, 2000)





**Gambar 2.6** Pola susun segitiga  $D = 1,05 S$   
(sumber: Mochtar, 2000)

Fungsi  $F(n)$  adalah merupakan fungsi hambatan akibat jarak antara titik pusat PVD. Oleh Hansbo (1979) harga  $F(n)$  didefinisikan sebagai berikut :

$$F(n) = \left( \frac{n^2}{n^2 - 1} \right) \left[ \ln(n) - \left( \frac{3n^2 - 1}{4n^2} \right) \right] \quad [2.30]$$

atau

$$F(n) = \left( \frac{n^2}{n^2 - 1} \right) \left[ \ln(n) - \frac{3}{4} - \left( \frac{1}{4n^2} \right) \right] \quad [2.31]$$

Dimana:  $n = D/d_w$

$d_w =$  diameter ekuivalen dari *vertical drain*

Pada umumnya  $n > 20$  sehingga dapat dianggap  $1/n = 0$  dan

$\left( \frac{n^2}{n^2 - 1} \right) \approx 1$  , jadi:

$$F(n) = \ln(n) - \frac{3}{4} , \text{ atau} \quad [2.32]$$

$$F(n) = \ln \left( \frac{D}{d_w} \right) - \frac{3}{4} \quad [2.33]$$

Hansbo (1979) menentukan waktu konsolidasi dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$t = \left( \frac{D^2}{8.C_h} \right) \cdot (F(n) + Fs + Fr) \cdot \ln \left( \frac{1}{1 - \overline{U}_h} \right) \quad [2.34]$$

Dimana:  $t$  = waktu yang diperlukan untuk mencapai  $\overline{U}_h$

$D$  = diameter equivalen lingkaran PVD

$S$  = jarak antar titik pusat PVD

$C_h$  = koefisien konsolidasi arah horisontal

$$C_h = \frac{k_h}{k_v} \times C_v \quad [2.35]$$

Dimana:  $k_h/k_v$  = perbandingan antara koefisien permeabilitas tanah arah horisontal dan vertikal, untuk tanah lempung yang jenuh air, harga berkisar antara 2-5

$F(n)$  = faktor hambatan disebabkan karena jarak antar PVD

$Fr$  = faktor hambatan akibat pada PVD itu sendiri

$Fs$  = faktor hambatan tanah yang terganggu (*disturbed*)

$\overline{U}_h$  = derajat konsolidasi tanah akibat aliran air arah horisontal

Harga  $Fr$  merupakan faktor tahanan akibat adanya gangguan PVD itu sendiri dan dirumuskan sebagai berikut:

$$Fr = \pi.z.(L - z) \cdot \left( \frac{k_h}{q_w} \right) \quad [2.36]$$

Dimana:  $z$  = kedalaman titik tinjau pada PVD terhadap permukaan tanah

$L$  = panjang drain

$k_h$  = koefisien permeabilitas arah horisontal dalam tanah yang tidak terganggu (*undisturbed*)

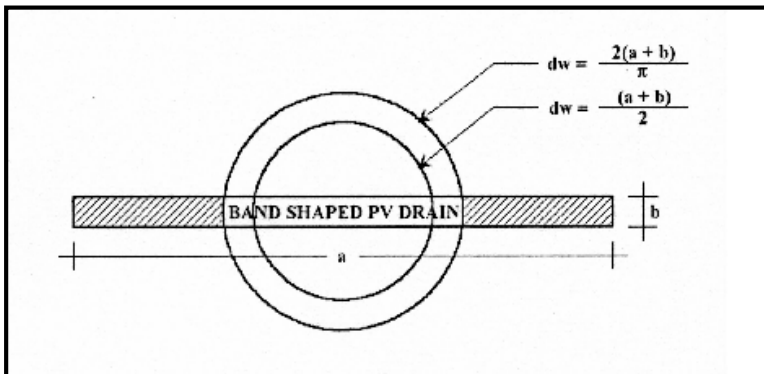
$q_w$  = *discharge capacity* dari drain (tergantung jenis PVD)

$$Fs = \left( \frac{K_h}{K_s} - 1 \right) \cdot \ln \left( \frac{d_s}{d_w} \right) \quad [2.37]$$

Dimana:  $k_s$  = koefisien permeabilitas arah horisontal pada tanah terganggu (*disturbed*)

$d_s$  = diameter tanah yang terganggu (*disturbed*) di sekeliling PVD

$d_w$  = diameter ekuivalen (**Gambar 2.6**)



**Gambar 2.7** Ekuivalen diameter untuk PVD  
(sumber: Mochtar, 2000)

Untuk memudahkan perencanaan maka dapat diasumsikan bahwa  $F(n) = F_s$  dan harga  $F_r$  umumnya kecil dan tidak begitu penting, maka harga  $F_r$  dianggap nol. Dengan memasukkan anggapan-anggapan tersebut, maka **persamaan 2.28** berubah menjadi:

$$t = \left( \frac{D^2}{8.C_h} \right) \cdot (2.F(n)) \cdot \ln \left( \frac{1}{1 - \bar{U}_h} \right) \quad [2.38]$$

Dimana:  $t$  = waktu yang dibutuhkan untuk mencapai  $U_h$   
 $D$  = diameter lingkaran PVD  
 $C_h$  = koefisien konsolidasi aliran horizontal  
 $F(n)$  = faktor hambatan disebabkan jarak antar PVD  
 $\bar{U}_h$  = derajat konsolidasi tanah akibat aliran air arah horizontal

Dengan memasukkan harga  $t$  tertentu, dapat dicari  $\bar{U}_h$  pada bagian lapisan tanah yang dipasang PVD (Mochtar, 2000).

### 2.9.3 Menghitung Derajat Konsolidasi Rata-Rata

Selain konsolidasi horizontal, juga terjadi konsolidasi vertikal ( $\bar{U}_v$ ). Harga  $\bar{U}_v$  dicari dengan menggunakan persamaan Cassagrande (1938) dan Taylor (1948):

- Untuk  $0 < U_v < 60\%$

$$\bar{U}_v = \left( 2 \sqrt{\frac{T_v}{\pi}} \right) \times 100\% \quad [2.39]$$

- Untuk  $U_v > 60\%$

$$\bar{U}_v = (100 - 10^{\bar{a}})\% \quad [2.40]$$

Dimana:

$$\bar{a} = \frac{1,781 - T_v}{0.933} \quad [2.41]$$

$T_v$  = faktor waktu ( dicari dengan menggunakan **persamaan 2.11**)

Derajat konsolidasi rata-rata  $\bar{U}$  dapat dicari dengan menggunakan persamaan Carillo:

$$\bar{U} = \left[ 1 - (1 - \bar{U}_h) \cdot (1 - \bar{U}_v) \right] \times 100\% \quad [2.42]$$

## 2.10 Perkuatan Tanggul dengan Turap

Turap merupakan benda pipih atau datar yang panjang, dipasang secara vertikal dan berfungsi sebagai penahan tanah dan kedap air. Konstruksi turap dapat dibuat dari bahan kayu, beton bertulang dan baja. Setiap bahan yang dipergunakan memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing. Pemilihan jenis turap disesuaikan dengan fungsi pemasangan dan kondisi lokasi pemasangan turap.

### 2.10.1 Perencanaan Turap dengan Angker

Berikut langkah perhitungan turap dengan angker :

1. Menggambar distribusi tekanan tanah aktif dan pasif.

Rumusnya adalah sebagai berikut :

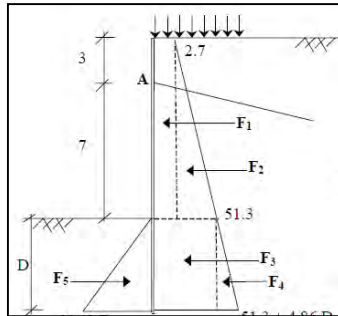
$$\sigma_{h \text{ aktif}} = \sigma_v K_a - 2c\sqrt{K_a} \quad [2.43]$$

$$\sigma_{h \text{ pasif}} = \sigma_v K_p + 2c\sqrt{K_p} \quad [2.44]$$

dimana :

$$K_a = \tan^2 \left( 45 - \frac{\theta}{2} \right) \quad [2.45]$$

$$K_p = \tan^2 \left( 45 + \frac{\theta}{2} \right) \quad [2.46]$$



**Gambar 2.8** Gaya-gaya pada diagram tekanan tanah

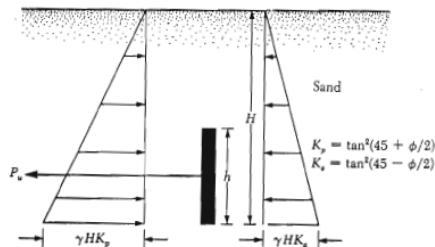
2. Mencari kedalaman *sheetpile* (d).

Kedalaman *sheetpile* diperoleh dari keseimbangan momen yang terjadi terhadap titik A yaitu pemasangan anker.  $\sum M_A = f(d)_A = 0$ . Kedalaman *sheetpile* kemudian dikalikan dengan angka keamanan antara 1,5 s/d 2,0.

3. Menentukan Profil Turap.

Profil turap ditentukan dengan berdasarkan momen maksimum yang terjadi pada *sheetpile*. Momen maksimum didapatkan dari diferensial persamaan Momen kemudian angka yang didapatkan disubstitusikan terhadap persamaan momen.

4. Perencanaan blok anker



**Gambar 2.9** Kapasitas ultimit blok anker pada tanah granuler (Sumber: Das, 1999)

Menurut Teng (1962), apabila nilai  $H/h \leq 1,5$  sampai 2, tinggi papan anker dianggap = H

$$\text{Untuk } B/h \approx \infty; P_u = B (P_p - P_a) \quad [2.47]$$

Untuk  $B/h < 5$ , persamaan untuk menghitung kapasitas ultimit blok anker pendek di dekat tanah untuk tanah granuler sebagai berikut :

$$T \leq B(P_p - P_a) + \frac{1}{3}K_o \gamma (\sqrt{K_p} + \sqrt{K_a}) H^3 \text{tg} \phi \quad [2.48]$$

Dimana :

$$P_p = \frac{1}{2} \gamma H^2 \tan^2 \left( 45 + \frac{\phi}{2} \right) \quad [2.49]$$

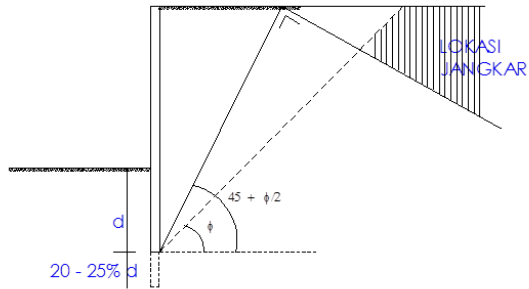
$$P_a = \frac{1}{2} \gamma H^2 \tan^2 \left( 45 - \frac{\phi}{2} \right) \quad [2.50]$$

Dengan :

- T = kapasitas ultimit blok anker
- L = Panjang blok anker
- Pa dan Pp = Tekanan aktif dan pasif total
- Ko = Koefisien tekanan tanah saat diam (diambil = 0,4)
- H = Kedalaman dasar anker terhadap permukaan tanah
- B = Lebar blok anker

#### 5. Menentukan Panjang Baja Anker

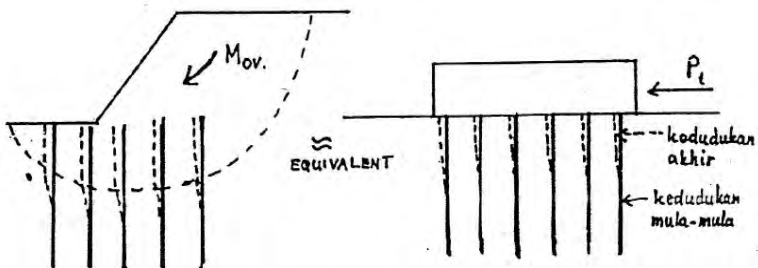
Blok anker harus terletak pada zona tanah yang stabil. Penggambaran zona aman dapat dilihat pada Gambar 2.9.



**Gambar 2.10** Penentuan lokasi angker

### 2.11 Perencanaan Cerucuk

Penggunaan cerucuk dimaksudkan untuk meningkatkan tahanan geser tanah. Apabila tahanan tanah terhadap geser meningkat, maka daya dukung dari tanah tersebut juga akan meningkat. Asumsi yang dipergunakan dalam konstruksi cerucuk dapat dilihat pada **Gambar 2.10**. Pada gambar tersebut kelompok tiang (cerucuk) dengan “rigid cap” pada permukaan tanah menerima gaya horizontal. Gaya horizontal ini adalah merupakan tegangan geser yang terjadi sepanjang bidang gelincir.



**Gambar 2.11** Asumsi gaya yang diterima cerucuk (NAVFAC DM-7, 1971)

(sumber : Mochtar, 2000)



### 2.11.1 Menentukan Tambahan Momen Perlawanan ( $\Delta M_R$ )

Untuk menentukan tambahan momen perlawanan ( $\Delta M_R$ ) yang diperlukan untuk menahan momen dorong akibat adanya beban timbunan dilakukan analisa stabilitas lereng dengan menggunakan program XSTABLE atau PLAXIS. Analisa dilakukan hingga mendapatkan bidang kelongsoran dengan angka keamanan paling kritis. Apabila angka keamanan yang diperoleh dari analisa sama dengan atau kurang dari satu ( $\leq 1$ ) maka diperlukan tambahan momen penahan ( $\Delta M_R$ ) yang harus diberikan untuk mencapai angka keamanan rencana ( $SF_{rencana} > 1$ ) yang diinginkan agar tidak terjadi kelongsoran. Momen tambahan ( $\Delta M_R$ ) dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$\Delta M_R = (SF_{rencana} \times M_p) - M_R \quad [2.51]$$

$$M_p = M_R / SF \quad [2.52]$$

Dimana:  $\Delta M_R$  = momen penahan tambahan yang akan dipikul oleh cerucuk.

$M_R$  = momen penahan atau momen perlawanan

$M_p$  = momen penggerak atau momen dorong

SF = angka keamanan awal (tanpa cerucuk)

$SF_{rencana}$  = angka keamanan yang direncanakan

### 2.11.2 Menghitung Momen Lentur yang Bekerja Pada Cerucuk

Menurut desain manual NAVFAC DM-7 (1971) dalam Mochtar (2000), besarnya momen lentur yang bekerja pada cerucuk didapat dari:

$$M_{p_{maks}} = \frac{\sigma_{max} \text{ bahan} \times I_n}{c} \quad [2.53]$$

Dimana :  $\sigma_{maks}$  = tegangan tarik/ tekan maksimum dari bahan cerucuk

- $I_n$  = momen inersia penampang cerucuk  
 terhadap garis yang melewati penampang  
 $C$  =  $\frac{1}{2} D$   
 $D$  = diameter cerucuk

### 2.11.3 Menghitung Gaya Horizontal yang Mampu Ditahan Satu Tiang

Besarnya gaya maksimal ( $P_{maks}$ ) yang dapat ditahan oleh satu tiang/ cerucuk terjadi apabila nilai  $M_p$  sama dengan nilai momen maksimum lentur bahan cerucuk. Sehingga nilai dari gaya horizontal maksimal yang dapat ditahan oleh satu tiang diperoleh dari persamaan berikut ini (NAVFAC DM-17, 1971):

$$P_{max} (I_{cerucuk}) = \frac{M_{p_{max}} I_{cerucuk}}{T \times F_M} \quad [2.54]$$

$$M_{p_{max}} = \frac{\sigma_{all} \times I}{y} \quad [2.55]$$

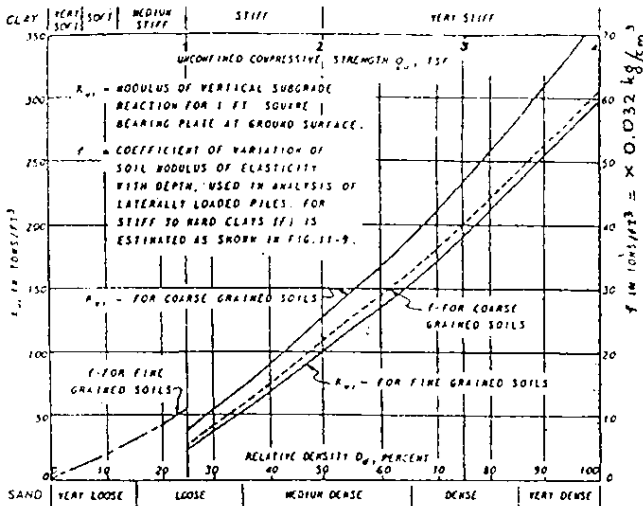
- Dimana:  $P_{maks}$  = gaya horizontal yang diterima cerucuk (kg)
- $M_{p_{maks}}$  = momen lentur yang bekerja pada cerucuk (kg-cm)
- $T$  = faktor kekakuan relative (cm)
- $F_M$  = koefisien momen akibat gaya lateral.  
 Harga  $F_m$  didapat dari **Gambar 2.9** yang merupakan grafik hubungan dari kedalaman ( $z$ ) dengan  $L/T$ . Dimana  $L$  adalah panjang cerucuk yang tertahan di bawah/atas bidang gelincir.
- $\sigma_{all}$  = tegangan lentur ijin bahan cerucuk
- $I$  = momen inersia tiang cerucuk,  $cm^4$

y = jarak antara serat teratas atau terbawah dari penampang cerucuk terhadap garis netral (cm)

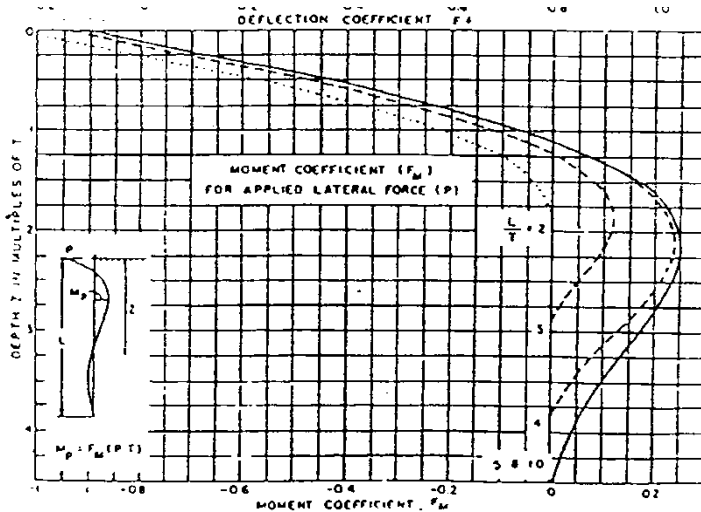
$$T = \left( \frac{EI}{f} \right)^{\frac{1}{5}} \tag{2.56}$$

Dimana: E = modulus elastisitas tiang (cerucuk), kg/cm<sup>2</sup>  
 f = koefisien dari variasi modulus tanah (dapat dicari dari **Gambar 2.8**) yang merupakan grafik hubungan antara f dengan *unconfined compression strength* (qu = 2 Cu).  
 I = momen inersia tiang (cerucuk), cm<sup>4</sup>

$$q_u \text{ tons/ft}^2 = \times 0.977 \text{ kg/cm}^2$$



**Gambar 2.12** Mencari Harga f untuk berbagai jenis tanah (sumber : NAVFAC DM-7, 1971 dalam Mochtar, 2000)



**Gambar 2.13** Grafik untuk mencari besar  $F_M$   
(sumber: NAVFAC DM-7, 1971 dalam Mochtar, 2000)

#### 2.11.4 Menentukan Jumlah Cerucuk

Jumlah cerucuk yang dibutuhkan dapat diperoleh dari rumus berikut:

$$n = \frac{\Delta M_R}{R \times P_{\max 1 \text{ cerucuk}}} \quad [2.57]$$

Dimana:  $R$  = jari-jari kelongsoran (m)

#### 2.12 Perencanaan Geotekstil

Geotekstil dapat digunakan sebagai perkuatan tanah untuk meningkatkan daya dukung tanah dasar di bawah timbunan. Untuk perencanaan stabilitas dari timbunan di atas tanah lunak yang diperkuat dengan geotekstil, ada dua kondisi yang harus ditinjau, yaitu *Internal Stability* dan *Overall Stability*. *Internal Stability* adalah perhitungan kestabilan timbunan/ *embankment* agar tidak

terjadi kelongsoran pada bagian tubuh timbunan itu sendiri. Sedangkan *Overall Stability* adalah kestabilan timbunan bila ditinjau terhadap keruntuhan bidang gelincirnya.

Untuk melakukan perhitungan perencanaan geotekstil, diperlukan data-data yang diperoleh dari hasil *running* program bantu Xstable. Adapun data yang diperlukan adalah, nilai *safety factor* ( $F_0S$ ), momen penahan/ resisten ( $M_R$ ), dan jari-jari kelongsoran ( $R$ ).

1. Mencari momen dorong ( $M_D$ )

$$M_D = \frac{M_R}{F_0S} \quad [2.58]$$

2. Mencari  $\Delta M_R$  dari FS rencana

$$\Delta M_R = FS_{rencana} M_D - M_R \quad [2.59]$$

3. Mencari nilai tegangan izin ( $T_{allow}$ )

$$T_{allow} = T_{ultimate} \left[ \frac{1}{FS_{id} \times FS_{cr} \times FS_{cd} \times FS_{bd}} \right] \quad [2.60]$$

Dimana:  $T_{ultimate}$  = tegangan ultimate pada tipe standar stabilenka geotekstil

$$FS_{id} = 1,1 - 2,0$$

$$FS_{cr} = 2,0 - 3,0$$

$$FS_{cd} = 1,0 - 1,5$$

$$FS_{bd} = 1,0 - 1,3$$

4. Menghitung jumlah kebutuhan geotekstil

$$\Delta M_R \leq T_{allow} \times \sum R_i \quad [2.61]$$

Dimana:  $\sum R_i$  = penjumlahan jarak pasang masing-masing geotekstil terhadap titik pusat jari-jari kelongsoran, hingga nilainya lebih besar dari  $\Delta M_R$  ketika dikalikan  $T_{allow}$ .

5. Perhitungan panjang geotekstil di belakang bidang longsor

$$\tau_i = C + \sigma_N' \tan \delta \quad [2.62]$$

$$L_i = \frac{T_{allow} FS_{rencana}}{2\tau_i E} \quad [2.63]$$

- Dimana:  $\tau_i$  = kuat geser tanah  
 $C$  = kohesi tanah  
 $\sigma_N'$  = tegangan normal tanah  
 $\delta$  =  $2/3 \phi$   
 $\phi$  = sudut tahanan geser tanah  
 $E$  = 0.8

6. Perhitungan panjang geotekstil di depan bidang longsor

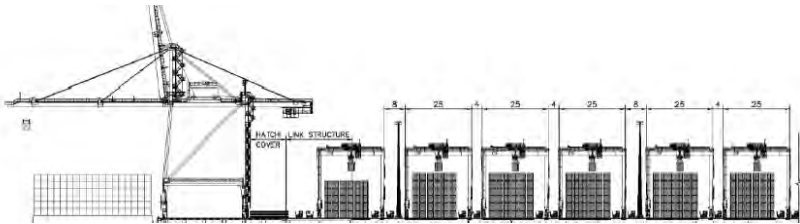
Gambar timbunan, bidang longsor, dan panjang geotekstil di belakang bidang longsor diplot di program AutoCAD selanjutnya diperoleh panjang geotekstil di depan bidang longsor. Kebutuhan panjang total geotekstil diperoleh dari penjumlahan panjang geotekstil di belakang dan di depan bidang longsor.

### 2.13 Perhitungan Stabilitas

Di dalam melaksanakan penimbunan *preloading* misalnya, tidak diperkenankan penimbunan dilakukan sekaligus. Apabila timbunan tersebut terlalu tinggi, maka akan muncul permasalahan baru, yaitu longsor atau *sliding*. Salah satu solusi yang digunakan untuk mencegah agar timbunan itu tidak longsor adalah pelaksanaan penimbunan tanah dilakukan secara bertahap. Untuk itu tinggi timbunan maksimum yang masih tergolong aman terhadap *sliding* harus dicari.

## 2.14 Beban Peti Kemas (*Container*)

Peti kemas adalah peti atau kotak yang memenuhi persyaratan teknis sesuai dengan *International Organization for Standardization* (ISO) sebagai alat atau perangkat pengangkutan barang yang bisa digunakan diberbagai moda, mulai dari moda jalan dengan truk peti kemas, kereta api dan kapal petikemas laut. Dalam perencanaan tumpukan petikemas yang digunakan adalah sejumlah enam tumpukan.



Gambar 2.14 Penumpukan peti kemas.

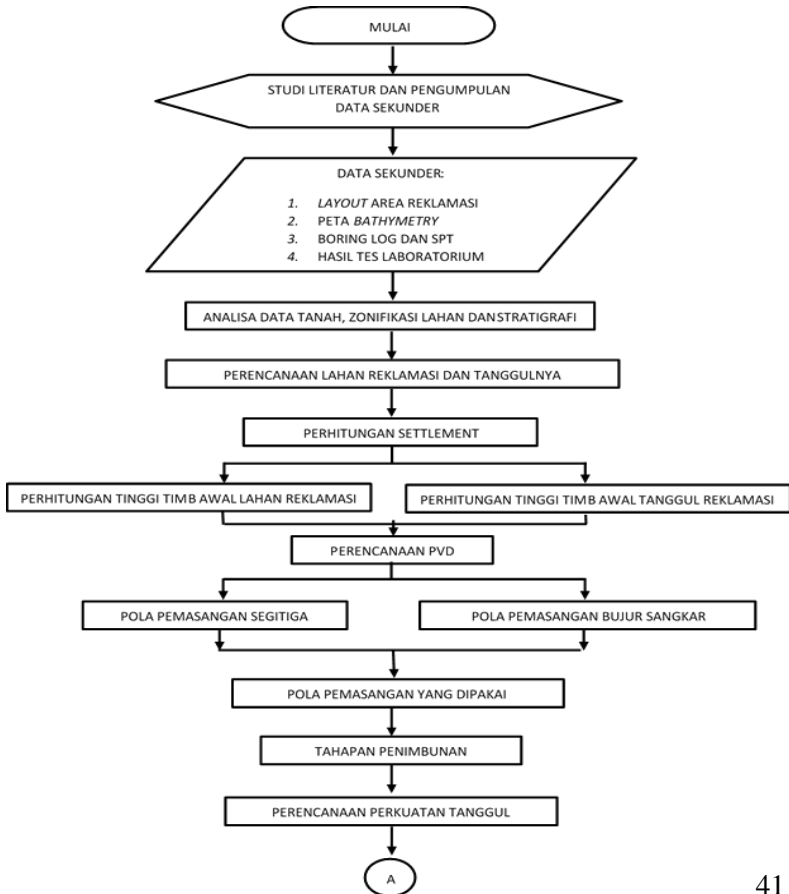
		Peti kemas 20 kaki		Peti kemas 40 kaki		Peti kemas 45 kaki	
		inggris	metrik	inggris	metrik	inggris	metrik
dimensi luar	panjang	19' 10½"	6.058 m	40' 0"	12.192 m	45' 0"	13.716 m
	lebar	8' 0"	2.438 m	8' 0"	2.438 m	8' 0"	2.438 m
	tinggi	8' 6"	2.591 m	8' 6"	2.591 m	9' 6"	2.896 m
dimensi dalam	panjang	18' 10 5/16"	5.758 m	39' 5 45/64"	12.032 m	44' 4"	13.556 m
	lebar	7' 8 19/32"	2.352 m	7' 8 19/32"	2.352 m	7' 8 19/32"	2.352 m
	tinggi	7' 9 57/64"	2.385 m	7' 9 57/64"	2.385 m	8' 9 15/16"	2.698 m
bukaan pintu	width	7' 8 ½"	2.343 m	7' 8 ½"	2.343 m	7' 8 ½"	2.343 m
	tinggi	7' 5 ¾"	2.280 m	7' 5 ¾"	2.280 m	8' 5 49/64"	2.585 m
volume		1,169 ft³	33.1 m³	2,385 ft³	67.5 m³	3,040 ft³	86.1 m³
berat kotor		52,910 lb	24,000 kg	67,200 lb	30,480 kg	67,200 lb	30,480 kg
berat kosong		4,850 lb	2,200 kg	8,380 lb	3,800 kg	10,580 lb	4,800 kg
muatan bersih		48,060 lb	21,800 kg	58,820 lb	26,680 kg	56,620 lb	25,680 kg

Tabel 2.3 Ukuran dan Berat Berbagai Jenis Peti Kemas

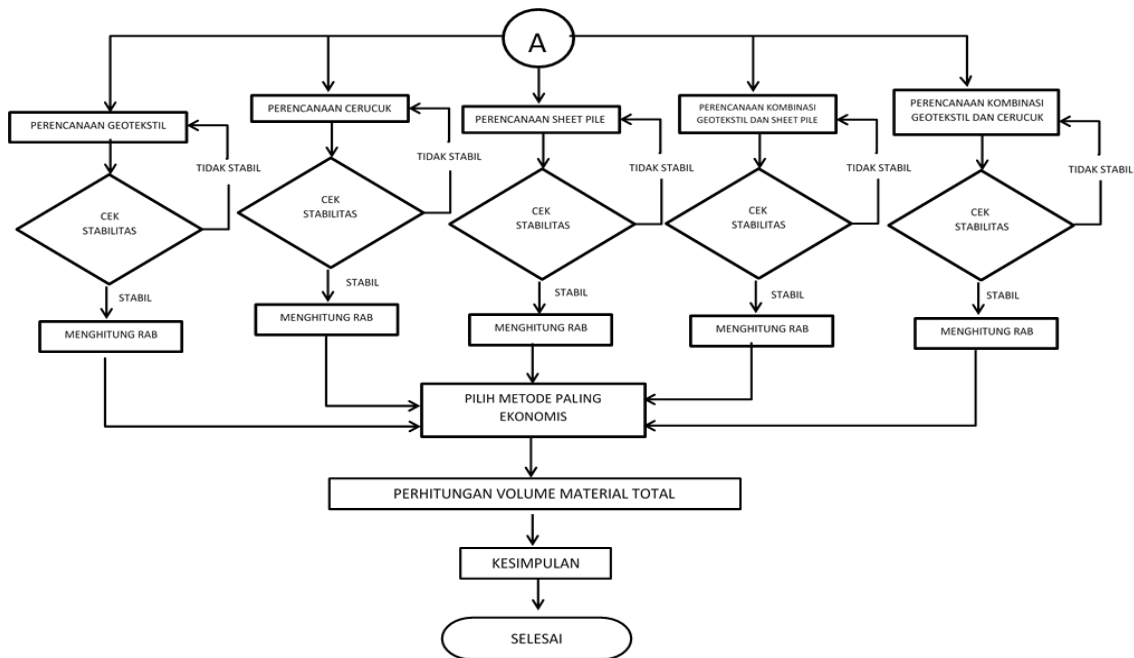
## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Bagan Alir

Berikut ini merupakan diagram alir Perencanaan Perbaikan Tanah di Dasar Lahan Reklamasi dan Tanggul Reklamasinya pada Terminal *New Priok*, Kalibaru, Jakarta Utara. Perencanaan dimulai dari perencanaan perbaikan tanah di dasar lahan reklamasi dan tanggulnya kemudian dilanjutkan dengan perencanaan perkuatan tanggul.







**Gambar 3.2** Diagram Alir

### 3.2 Studi Literatur

Mempelajari konsep-konsep yang digunakan dalam menentukan karakteristik dan parameter tanah, metode percepatan pemampatan konsolidasi, dan perencanaan perkuatan tanggul. Adapun bahan studi yang akan dipakai dalam perencanaan ini adalah :

- a. Analisa Parameter Tanah
- b. Pemampatan Tanah Lunak
- c. Metode *Preloading*
- d. Metode *Prefabricated Vertical Drain*
- e. Metode Perkuatan dengan *Sheet Pile*
- f. Metode Perkuatan dengan Cerucuk
- g. Metode Perkuatan dengan Geotekstil.

### 3.3 Pengumpulan dan Analisa Data

Data-data yang dipakai dalam perencanaan ini adalah data sekunder yang meliputi :

- a. Denah Lokasi
- b. Data tanah, mencakup :
  - *Boring log* dan *Standard Penetration Test (SPT)*
  - Hasil Tes Tanah Laboratorium
- c. Peta Bathymetri
- d. Data perencanaan reklamasi

### 3.4 Perencanaan Lahan Reklamasi dan Tanggulnya

Hal-hal yang perlu diperhitungkan pada perencanaan geoteknis reklamasi adalah :

- a. Perencanaan Timbunan

Timbunan diperlukan dalam perencanaan reklamasi karena elevasi rencana pelabuhan adalah +4,50 m sedangkan elevasi eksisting sebelum konstruksi berada

pada kedalaman antara -4,20 hingga -5,50 m. Sehingga diperlukan timbunan untuk mencapai elevasi rencana.

b. Perencanaan Perbaikan Tanah

Perencanaan perbaikan tanah dasar meliputi :

- Perencanaan Tinggi Timbunan

Tinggi timbunan awal yang diberikan pada saat pelaksanaan penimbunan tidak sama dengan tinggi timbunan rencana. Hal ini dikarenakan tanah dasar yang terbebani timbunan akan mengalami pemampatan, sehingga perlu dilakukan perhitungan untuk menentukan tinggi timbunan pelaksanaan ( $H_{initial}$ ) dengan mempertimbangan pemampatan pada tanah asli. Jika tinggi timbunan awal ( $H_{initial}$ ) dijumlahkan dengan besarnya pemampatan, maka didapatkan tinggi timbunan rencana ( $H_{final}$ ). Perhitungan dilakukan dengan metode *preloading* sistem *surcharge*.

- Perencanaan *Prefabricated Vertical Drain* (PVD)

Perencanaan perbaikan tanah dengan metode PVD bertujuan untuk mempercepat waktu pemampatan tanah. PVD direncanakan dengan membandingkan pola pemasangan segitiga dan segiempat kemudian dipilih pola dan jarak pemasangan yang paling optimal untuk mencapai pemampatan konsolidasi.

c. Perhitungan Pemampatan (*Settlement*)

Perhitungan pemampatan yang terjadi pada lapisan tanah dilakukan setelah dilakukan perbaikan tanah. Pada perencanaan reklamasi ini akan dihitung akibat beban timbunan *surcharge* dan PVD yang diberikan. Perhitungan pemampatan akan dilaksanakan pada setiap tahap pekerjaan agar tidak terjadi kegagalan perencanaan.

d. Perhitungan Waktu Pemampatan

Selain perhitungan besarnya pemampatan pada lapisan tanah dihitung juga lama pemampatan yang akan terjadi akibat perbaikan tanah yang dilakukan. Waktu yang diinginkan adalah waktu yang tercepat sehingga pekerjaan lain akan cepat dilaksanakan pula. Pada perencanaan ini, waktu pemampatan yang direncanakan adalah 6 bulan. Ketika 6 bulan, diharapkan pemampatan lapisan tanah sudah selesai atau minimal 90% selesai.

### 3.5 Perencanaan Perkuatan Tanggul

Pada perencanaan perkuatan tanggul menggunakan cerucuk, *sheet pile* dan geotekstil. Masing – masing perkuatan dihitung kemudian dicek kestabilan nya. Pengecekan tersebut berguna untuk menghindari kegagalan saat pelaksanaan maupun saat pelabuhan telah beroperasi. Kemudian membuat alternatif – alternatif pemilihan dengan menggunakan kombinasi diantara ketiga metode tersebut. Dari banyak alternatif yang sudah ditentukan dipilih alternatif yang memiliki nilai paling ekonomis dari semua alternatif.

### 3.6 Perhitungan Volume Material

Setelah didapatkan hasil berupa jumlah, dimensi, jarak dan kedalaman yang dibutuhkan pada setiap aspek geoteknik, maka akan dianalisa berapa volume material yang diperlukan pada Perencanaan Perbaikan Tanah di Dasar Lahan Reklamasi dan Tanggul Reklamasinya pada Terminal *New Priok*, Kalibaru, Jakarta Utara

### **3.7 Kesimpulan**

Setelah perhitungan perencanaan selesai, maka dapat ditarik kesimpulan apakah perbaikan tanah dengan menggunakan PVD dan *preloading* telah cukup untuk mempercepat konsolidasi dan menaikkan daya dukung tanah dasar. Selain itu juga dapat diketahui apakah tanggul dengan dimensi dan perkuatan yang dipilih telah cukup untuk mengatasi permasalahan kestabilan.

## **BAB IV DATA DAN ANALISA**

### **4.1 Data Tanah**

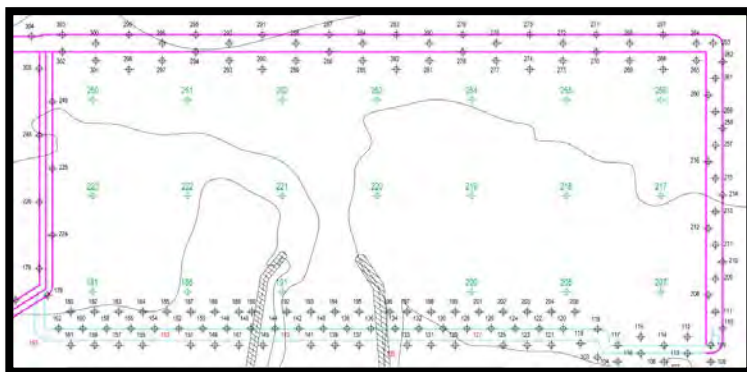
Data tanah yang digunakan dalam Tugas Akhir ini adalah data SPT dan data laboratorium hasil penyelidikan tanah Proyek Pembangunan Terminal Petikemas Kalibaru, Jakarta (Tahap I) yang dilakukan oleh Indonesia Port Company (Pelindo II) pada tahun 2012. Data SPT yang tersedia berjumlah tiga ratus titik data pengeboran, 150 diantaranya berada di dalam lokasi reklamasi yang direncanakan.

Data pengujian laboratorium yang tersedia berjumlah 150 titik data pengeboran yang berada dalam lokasi proyek. Data dianalisa dengan membandingkan jenis tanah dan analisa SPT untuk mendapatkan kedalaman tanah mampu mampat ( $N_{SPT} \leq 10$ ). Letak tanah mampu mampat berkisar antara -15 m LWS hingga -25 m LWS dengan elevasi rencana +4,5 m LWS. Layout titik bor dapat dilihat pada Gambar 4.1. Dengan menggunakan data SPT tersebut, dibuat zonafikasi dari area yang akan direklamasi berdasarkan ketebalan lapisan mampu mampat, seperti ditunjukkan dalam Gambar 4.2 dan 4.3.

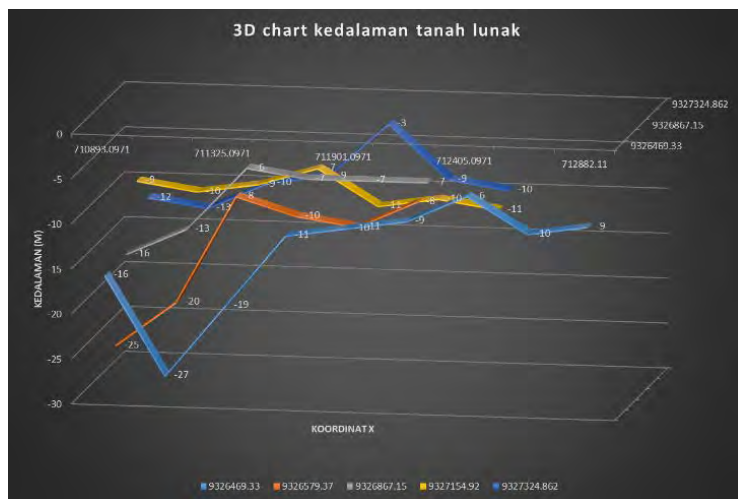
### **4.2 Analisa Parameter Tanah**

#### **4.2.1 Stratigrafi Tanah**

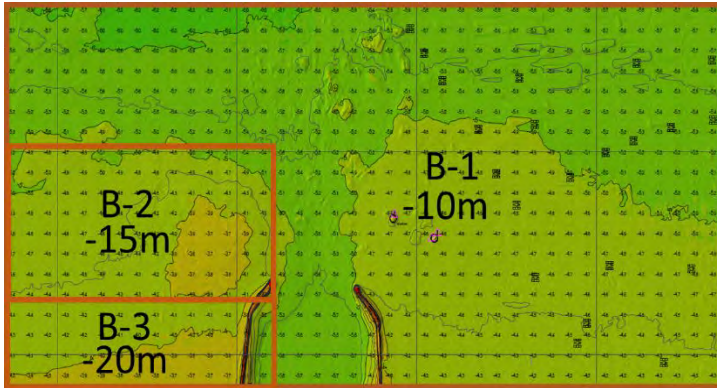
Data parameter tanah tiap titik yang diperoleh dari hasil penyelidikan tanah dianalisis dengan cara membuat stratigrafi tanah dan pengelompokan berdasarkan jenis dan konsistensi tanah. Pembagian lapisan tanah dilakukan setiap ketebalan 1,25 m untuk mendapatkan nilai yang lebih detail. Data akan dibandingkan dengan analisa stratigrafi untuk ditentukan apakah data dapat dianggap seragam sehingga dapat ditentukan parameter tanah menggunakan metode statistik dengan selang kepercayaan 90%.



**Gambar 4.1** Layout Lokasi Titik Bor (PT. PP)



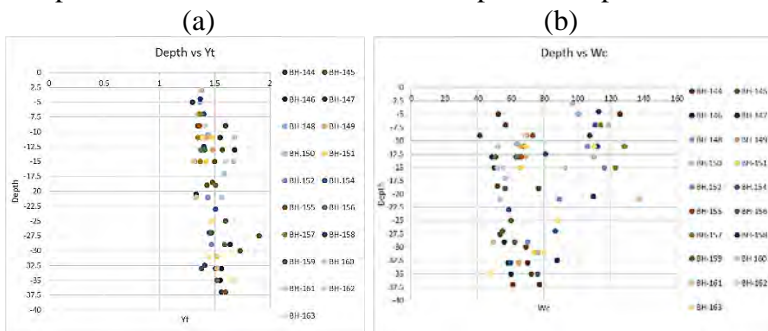
**Gambar 4.2** Grafik 3D kedalaman tanah lunak (Sumber: Hasil analisa)



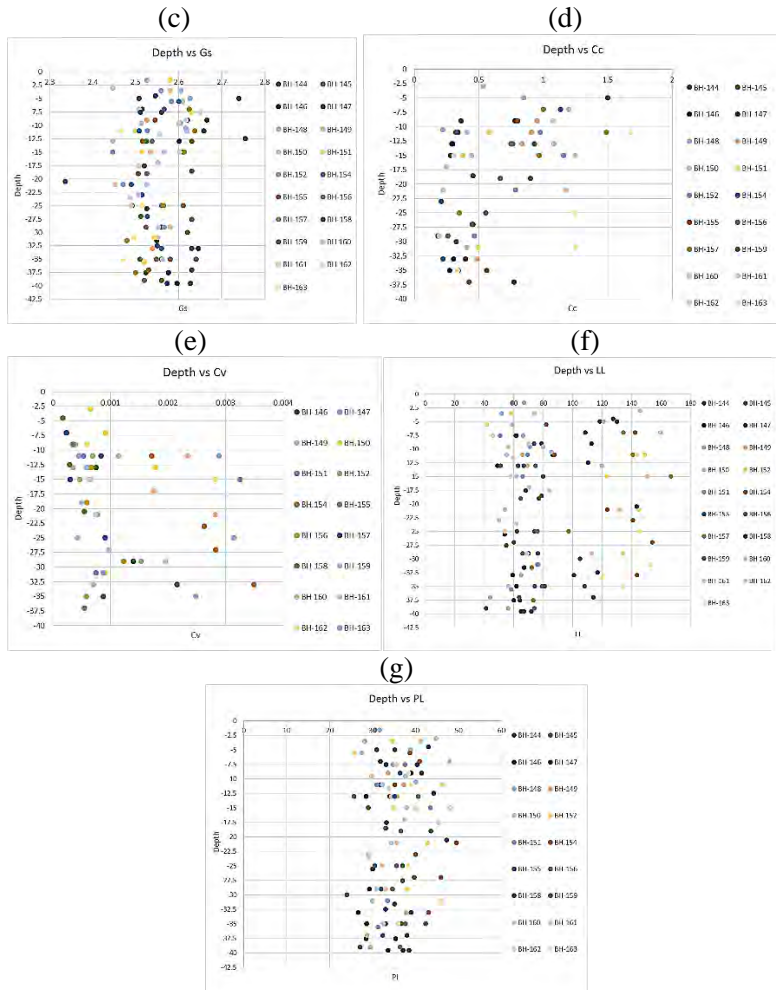
**Gambar 4.3** Zonifikasi ketebalan lapisan tanah lunak  
(Sumber: Hasil analisa)

#### 4.2.2 Penentuan Parameter Tanah Menggunakan Metode Statistik

Analisa parameter tanah dilakukan untuk mendapatkan data tanah yang digunakan untuk perencanaan timbunan reklamasi. Metode yang digunakan adalah cara statistik selang pendek dengan derajat kepercayaan 90%. Dengan menggunakan zonafikasi (Gambar 4.3), masing-masing parameter tanah diplot terhadap kedalamannya seperti diberikan pada Gambar 4.4. Hasil analisa statistika tiap parameter untuk zona B-1 dan B-2 diberikan di Lampiran 1 dan hasil analisa area B-3 dapat dilihat pada Tabel 4.1.







**Gambar 4.4** Plotting parameter tanah menurut kedalaman  
 (a) Berat Jenis Tanah Jenuh, (b) Kadar air, (c) Gs, (d) Cv, (e) Cc,  
 (f) , (g) *Liquid Limit*, (h) *Plasticity Limit*  
 (Sumber: Hasil Analisa)

Setelah melakukan plotting pada grafik. Kemudian dilakukan pengelompokan nilai berdasarkan kedalaman tertentu. Pengelompokan nilai tersebut valid dan tidaknya ditentukan oleh nilai koefisien varian (CV). Dimana distribusi sebaran suatu nilai dapat diterima jika harga koefisien varian (CV) dari sebaran tersebut bernilai lebih kecil atau sama dengan 30%. Apabila nilai koefisien varian (CV) lebih besar dari pada 30%, maka perlu dilakukan pengelompokan layer tanah sampai nilai CV tersebut kurang dari atau sama dengan 30%.

Selanjutnya dilakukan perhitungan batas atas dan batas bawah yang mewakili kelompok data tersebut dengan selang kepercayaan 90% dengan menggunakan Persamaan 2.4. Setelah mendapatkan nilai batas atas dan batas bawah maka dapat ditentukan nilai yang mewakili dari tiap kelompok data. Berikut hasil analisa parameter tanah untuk nilai dari berat jenis tanah jenuh ditampilkan pada Tabel 4.1.

**Tabel 4.1** Hasil Analisa Statistika

Depth	N	Mean	Stdev	Cv	T Tabel	Batas Atas	Batas Bawah
0-7	26	1.387	0.118	0.085	2.064	1.435	1.339
7-21	75	1.550	0.156	0.101	1.993	1.585	1.514
23-30	43	1.603	0.123	0.076	2.020	1.641	1.565
30-40	43	1.555	0.093	0.060	2.020	1.583	1.526

Pemilihan nilai parameter berdasarkan parameter tanah yang dianalisa. Nilai parameter yang mewakili kondisi terjelek dari parameter tanah tersebut maka itu yang dipilih. Dalam perhitungan berat jenis tanah jenuh ini dipilih nilai batas bawah yang mewakili kondisi terjelek. Untuk hasil analisa setiap parameter tanah zona B-3 disajikan pada Tabel 4.2.

**Tabel 4.2** Parameter Tanah Zona B-3

Depth	Yt	Wc	Gs	Cc	Cv	LL	PL	PI	e	
0	-2.5	1.339229	106.2525	2.554835	1.06716	0.000289311	85.4008	33.95042	1.405277	2.93466
-2.5	-5	1.339229	106.2525	2.554835	1.06716	0.000289311	85.4008	33.95042	1.405277	2.93466
-5	-7.5	1.339229	106.2525	2.554835	1.06716	0.000289311	85.4008	33.95042	1.405277	2.93466
-7.5	-10	1.339229	71.40873	2.554835	0.375228	0.000710572	85.4008	33.95042	0.728047	2.269949
-10	-12.5	1.513523	71.40873	2.554835	0.375228	0.000710572	85.4008	35.4416	0.71993	1.893389
-12.5	-15	1.513523	71.40873	2.554835	0.375228	0.000710572	85.4008	35.4416	0.71993	1.893389
-15	-17.5	1.513523	64.15596	2.554835	0.375228	0.000710572	85.4008	35.4416	0.574756	1.770962
-17.5	-20	1.513523	64.15596	2.554835	0.319888	0.000840492	92.4068	35.4416	0.504068	1.770962
-20	-22.5	1.513523	64.15596	2.554835	0.319888	0.000840492	92.4068	35.4416	0.504068	1.770962
-22.5	-25	1.565194	64.15596	2.554835	0.319888	0.000840492	92.4068	34.60061	0.511283	1.679484
-25	-27.5	1.565194	64.15596	2.554835	0.319888	0.000840492	92.4068	34.60061	0.511283	1.679484
-27.5	-30	1.565194	64.15596	2.554835	0.319888	0.000840492	92.4068	34.60061	0.511283	1.679484
-30	-32.5	1.525782	70.80213	2.554835	0.319888	0.000840492	92.4068	34.18871	0.628901	1.859984
-32.5	-35	1.525782	70.80213	2.554835	0.319888	0.000503264	92.4068	34.18871	0.628901	1.859984
-35	-37.5	1.525782	70.80213	2.554835	0.319888	0.000503264	85.2249	34.18871	0.717401	1.859984
-37.5	-40	1.525782	70.80213	2.554835	0.319888	0.000503264	85.2249	34.18871	0.717401	1.859984

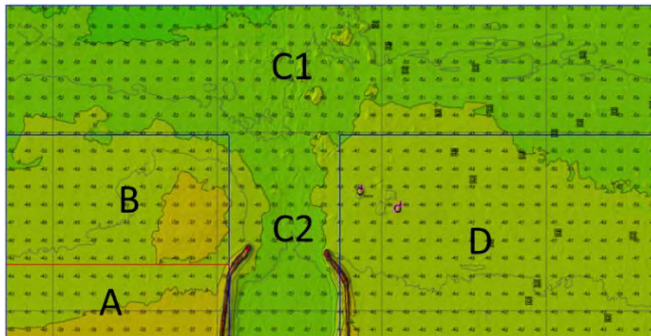
(Sumber: Hasil Analisa)

Dari hasil analisa stratigrafi yang dilakukan, diperoleh hasil bahwa zonafikasi yang dibuat pada Gambar 4.3 perlu dipersempit lagi karena terdapat beberapa variabel yang berbeda. Variabel tersebut tidak hanya ketebalan lapisan tanah mampu mampat saja tapi juga ketebalan dan letak lapisan pasir. Hanya saja, karena tidak didapatkan letak kedalaman lapisan pasir yang sama dalam satu area, maka zonafikasi didasarkan pada ketebalan lapisan tanah mampu mampat dan kedalaman seabed saja seperti ditunjukkan dalam Gambar 4.5. *Resume* profil tanah ketiga zona ditampilkan pada Tabel 4.3.

**Tabel 4.3** Resume Zonifikasi

Nama Zona	Depth		Dimensi	
	Seabed	Soft Soil	Panjang	Lebar
	(m.LWS)	(m.LWS)	(m)	(m)
A	-5	-25	200	700
B	-5	-20	350	700
C1	-6	-16	350	2050
C2	-6	-16	550	350
D	-5	-16	550	1000

(Sumber: Hasil Analisa)



**Gambar 4.5** Zonifikasi berdasarkan ketebalan tanah mampu mampat dan kedalaman seabed

(Sumber: Hasil Analisa)

### 4.3 Data Tanah Timbunan

Material timbunan reklamasi yang digunakan berasal dari daerah dari lokasi proyek. Spesifikasi teknis dari material adalah sebagai berikut :

- Sifat fisik tanah timbunan :

$$\begin{aligned} C &= 0 \\ \gamma_{\text{sat}} &= 2,0 \text{ t/m}^2 \\ \gamma_t &= 1,8 \text{ t/m}^2 \\ \phi &= 30^\circ \end{aligned}$$

- Geometri Timbunan

Tinggi tanah timbunan ( $H_{\text{final}}$ ) direncanakan hingga elevasi +4.5 m LWS dengan luas area timbunan reklamasi 900 x 2050 m<sup>2</sup>

### 4.4 Data Spesifikasi Bahan

#### 4.4.1 PVD (*prefabricated Vertical Drain*)

Jenis PVD yang digunakan pada perencanaan ini adalah CeTeau Drain CT-D812 produksi PT. Teknindo Geosistem Unggul dengan spesifikasi sebagai berikut:

- Weight = 80 g/m
- Thickness (a) = 100 mm
- Width (b) = 5 mm

Spesifikasi selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran 2.

#### 4.4.2 *Sheet pile Baja*

Tipe *sheet pile* = Steel Pipe Piles

Outside Diameter = 1110 mm

Wall thick = 19 mm

Section modulus = (171 x 102) cm<sup>3</sup>

Spesifikasi selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran 3



#### 4.4.3 Geotextile

Perencanaan ini menggunakan STABILENKA *geotextile woven* yang diproduksi Geotech dengan *Tensile Strength* 400 Kn/m'. Spesifikasi selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran 4.

#### 4.5 Data Beban

Reklamasi akan dibebani dengan beban kontainer. Data kontainer dapat dilihat pada Tabel 2.13. Reklamasi direncanakan dapat menahan beban kontainer 20 TEUs (20feet) dengan jumlah 6 tumpuk (6 Tiers).

Kontainer 20 TEUs, 5+1 Tiers ( $q_{\text{surchage}}$  )

$$q_{\text{surchage}} = 6 \times \frac{\text{Berat kontainer}}{\text{Luas alas kontainer}}$$

$$q_{\text{surchage}} = 6 \times \frac{24}{6,058 \times 2,438} \text{ ton/m}^2$$

$$q_{\text{surchage}} = 6 \times 1,625 \text{ ton/m}^2$$

$$q_{\text{surchage}} = 9,75 \text{ ton/m}^2$$

Maka, tinggi timbunan bongkar ( $H_{\text{surchage}}$ ):

$$H_{\text{bongkar}} = \frac{q_{\text{surchage}}}{\gamma_{\text{timb}}} = \frac{9,75 \text{ t/m}^2}{1,8 \text{ t/m}^3} = 5,5 \text{ m}$$

**Halaman ini sengaja dikosongkan**

## BAB V PERENCANAAN GEOTEKNIK

### 5.1 Perhitungan Tinggi Inisial ( $H_{\text{inisial}}$ )

Prakiraan konsolidasi pada perencanaan ini dihitung berdasarkan pemampatan tanah akibat konsolidasi primer (*consolidation primair settlement*) yaitu pada kondisi *normally consolidated* dengan pertimbangan kondisi tanah tidak terpengaruh oleh fluktuasi muka air laut. Dari perhitungan tersebut diperoleh besar pemampatan ( $S_c$ ), tinggi timbunan awal ( $H_{\text{inisial}}$ ) dan tinggi timbunan akhir ( $H_{\text{final}}$ ) untuk perencanaan.

Untuk mendapatkan nilai  $H_{\text{inisial}}$  dilakukan perhitungan pemampatan konsolidasi dengan variasi pemberian beban timbunan ( $q$ ). Berikut variasi beban timbunan yang diberikan pada zona A yang merupakan kombinasi dari beban timbunan dan surcharge yaitu  $q_1 = 10,40 \text{ t/m}^2$ ,  $q_2 = 17,60 \text{ t/m}^2$ ,  $q_3 = 24,80 \text{ t/m}^2$ ,  $q_4 = 32,00 \text{ t/m}^2$ , dan  $q_5 = 39,20 \text{ t/m}^2$ .

#### 5.1.1 Perhitungan Besar Pemampatan (*Settlement*)

Dari hasil analisis data tanah, diperoleh tebal lapisan *compressible* pada tiga zona adalah 10 m pada Zona B-1, 15 m pada Zona B-2 dan 20 m pada Zona 3. Lapisan *compressible* memiliki N-SPT kurang dari 10 dengan jenis konsistensi tanah *very soft* hingga *medium stiff*. Perhitungan *settlement* dapat diperoleh dengan persamaan (2.7). *Settlement* dihitung akibat beban timbunan dan *surcharge*. Berikut ini adalah contoh perhitungan *settlement* pada tanah dasar lapis 1 akibat beban timbunan  $32 \text{ t/m}^2$ . Gambar penampang tanah dapat dilihat pada Lampiran 5.

$h$	$= 1,25 \text{ m}$	$\gamma_w$	$= 1,0 \text{ t/m}^3$
$\gamma_{\text{sat}}$	$= 1,34 \text{ t/m}^3$	$\gamma'$	$= 0,34 \text{ t/m}^3$
$C_c$	$= 1,07$	$\gamma_{\text{sat timb}}$	$= 2,0 \text{ t/m}^3$
$e_o$	$= 2,93$	$\gamma'_{\text{timb}}$	$= 1,0 \text{ t/m}^3$

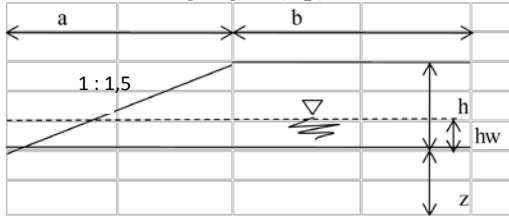


1. Tegangan *overburden* efektif ( $P_o'$ )

Dihitung di tengah lapisan tanah dengan persamaan (2.11)

$$\begin{aligned} P_o' &= \gamma' \times h \\ &= 0,34 \text{ t/m}^3 \times 1,25 \text{ m} \\ &= 0,21 \text{ t/m}^3 \end{aligned}$$

2. Penambahan tegangan ( $\Delta p$ )



$$b = 100 \text{ m}$$

$$z = 0,625 \text{ m}$$

Distribusi tegangan pada lahan reklamasi,  $b/z = 160$  sehingga dari bacaan grafik Gambar 2.2, dipakai faktor distribusi tegangan maksimum  $I = 0.5$ . Karena  $I$  tersebut digunakan untuk setengah timbunan maka perhitungan dengan persamaan (2.12) untuk timbunan total dapat dikali 2.

$$\begin{aligned} \Delta p &= 2 \times I \times q \\ &= 2 \times 0,5 \times 32 \text{ t/m}^3 \\ &= 32 \text{ t/m}^2 \end{aligned}$$

3. Besarnya pemampatan ( $S_c$ )

Dengan menggunakan persamaan (2.7) didapatkan :

$$\begin{aligned} S_{c\sim} &= \frac{H}{1 + e_o} \left[ C_c \log \left( \frac{\sigma_o' + \Delta \sigma}{\sigma_o'} \right) \right] \\ &= \frac{1,25}{1 + 2,93} \left[ 1,07 \log \left( \frac{0,21 + 32}{0,21} \right) \right] \\ &= 0,74 \text{ m} \end{aligned}$$

Total pemampatan yang terjadi dari seluruh layer tanah pada Zona A akibat beban timbunan  $q = 32 \text{ t/m}^2$  adalah sebesar 4,49 m.

### 5.1.2 Perhitungan Tinggi Timbunan Awal ( $H_{\text{inisial}}$ ) dan Tinggi Timbunan Akhir ( $H_{\text{final}}$ )

Tinggi timbunan awal dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan (2.18).

$$H_{\text{inisial}} = \frac{q_{\text{final}} + (S_c + H_w) \times (\gamma_{\text{timb}} - \gamma'_{\text{timb}})}{\gamma_{\text{timb}}}$$

Dimana :

$$S_c \text{ akibat } (q_{\text{timbunan}}) 32 \text{ t/m}^3 = 4,49 \text{ m}$$

$$H_w = 5 \text{ m}$$

$$\gamma_{\text{timbunan}} = 1,8 \text{ ton/m}^2$$

$$\gamma_{\text{sat timb}} = 2,0 \text{ ton/m}^2$$

$$\gamma_w = 1,0 \text{ ton/m}^2$$

$$\gamma'_{\text{timb}} = 1,0 \text{ ton/m}^2$$

Maka :

$$\begin{aligned} H_{\text{inisial timb}} &= \frac{32 + (4,49 + 5) \times (1,8 - 1,0)}{1,8} \\ &= 22 \text{ m} \end{aligned}$$

$H_{\text{surcharge}}$  merupakan tinggi timbunan yang mewakili beban yang akan diberikan pada timbunan. Dalam hal ini  $H_{\text{surcharge}}$  mewakili beban kontainer. Timbunan surcharge akan dibongkar setelah timbunan mengalami pemampatan sebesar yang direncanakan. Sehingga persamaan  $H_{\text{final}}$  adalah sebagai berikut :

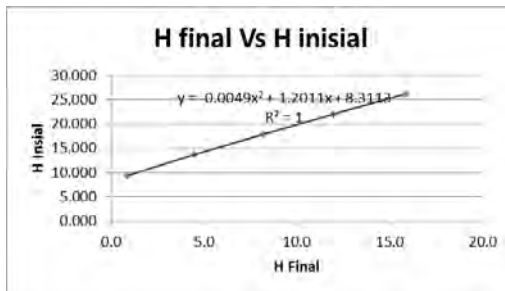
$$\begin{aligned} H_{\text{final}} &= H_{\text{inisial}} - S_c - H_{\text{surcharge}} \\ &= 22 \text{ m} - 4,49 \text{ m} - 5,5 \text{ m} \\ &= 12,01 \text{ m} \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama seperti di atas, selanjutnya dilakukan perhitungan kembali pada 5 zona dengan variasi beban timbunan lain yang sudah ditentukan. Perhitungan *settlement* selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran 6 dan dari perhitungan akibat variasi beban di atas didapat hasil yang disajikan pada Tabel 5.1.

**Tabel 5.1** Perhitungan Settlement Akibat Variasi Beban

Q timb (t/m)	Sc (m)	H inisial (m)	Hkontainer (m)	H final (m)
10.400	2.961	9.316	5.500	0.855
17.600	3.651	13.623	5.500	4.472
24.800	4.128	17.835	5.500	8.207
32.000	4.494	21.997	5.500	12.004
39.200	4.790	26.129	5.500	15.839

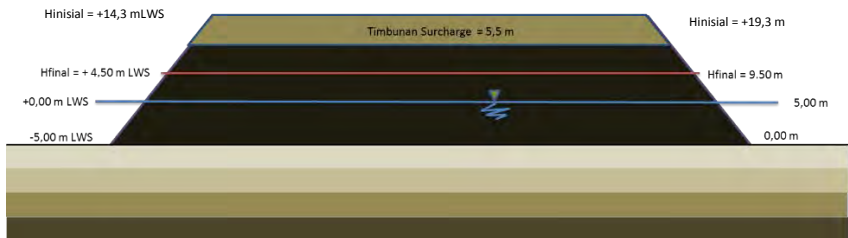
(Sumber: Hasil Analisa)

**Gambar 5.1** Grafik Hubungan antara  $H_{\text{inisial}}$  dan  $H_{\text{final}}$  pada area Zona A (Sumber: Hasil Analisa)

Dengan menggunakan persamaan yang dihasilkan dari grafik pada Gambar 5.1 maka tinggi timbunan awal yang dibutuhkan untuk mencapai tinggi timbunan akhir elevasi 4,5 mLWS atau 9,5m dari dasar laut adalah dihitung sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 H_{\text{inisial}} &= -0,0049x^2 + 1,2011x + 8,3113 \\
 &= -0,0049(9,5)^2 + 1,2011(9,5) + 8,3113 \\
 &= 19,27 \text{ m} = 19,3 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Jadi untuk memperoleh  $H_{\text{final}}$  elevasi +4,5 m pada Zona A harus direncanakan tinggi timbunan awal ( $H_{\text{inisial}}$ ) hingga elevasi 19,3 m dari seabed atau 14,3 m LWS dengan settlement sebesar 4,3 m. Sketsa perencanaan timbunan dapat dilihat pada Gambar 5.2.



**Gambar 5.2** Perencanaan timbunan reklamasi  
(Sumber: Hasil Analisa)

Dengan cara yang sama diperoleh hasil sebagai berikut :

- Pada Zona A diperoleh tinggi inisial setinggi 19,30 m dengan tinggi final 9,50 m dari dasar laut dan settlement sebesar 4,3 m.
- Pada Zona B diperoleh tinggi inisial setinggi 18,30 m dengan tinggi final 9,50 m dari dasar laut dan settlement sebesar 3,3 m.
- Pada Zona C1 diperoleh tinggi inisial setinggi 19,00 m dengan tinggi final 10,50 m dari dasar laut dan settlement sebesar 3 m.
- Pada Zona C2 diperoleh tinggi inisial setinggi 19,00 m dengan tinggi final 10,50 m dari dasar laut dan settlement sebesar 3 m.
- Pada Zona D diperoleh tinggi inisial setinggi 18,00 m dengan tinggi final 9,50 m dari dasar laut dan settlement sebesar 3 m.

## 5.2 Perhitungan Waktu Pemampatan Konsolidasi Natural

Setelah didapatkan besar pemampatan yang terjadi akibat beban timbunan dan beban *surcharge*, dilakukan perhitungan waktu konsolidasi yang dibutuhkan untuk menyelesaikan pemampatan tersebut menggunakan Persamaan (2.14). Hal ini dilakukan untuk menentukan perlu atau tidaknya perbaikan tanah dasar untuk mempercepat waktu pemampatan yang terjadi. Parameter tanah yang dibutuhkan untuk menghitung waktu konsolidasi pada Tabel 5.2. Selengkapnya pada Lampiran 7.

**Tabel 5.2** Parameter Tanah untuk Perhitungan Waktu Konsolidasi

Kedalaman	Tebal lap (m)	$C_v$ (cm <sup>2</sup> /sec)	
0	-2.5	2.5	0.000588601
-2.5	-5	2.5	0.000588601
-5	-7.5	2.5	0.000588601
-7.5	-10	2.5	0.000588601
-10	-12.5	2.5	0.000588601
-12.5	-15	2.5	0.002477897
-15	-17.5	2.5	0.002477897
-17.5	-20	2.5	0.002477897

(Sumber: Hasil Analisa)

Karena setiap lapisan tanah memiliki nilai  $C_v$  masing-masing, maka nilai  $C_v$  yang digunakan adalah nilai gabungan ( $C_{v\text{gabungan}}$ ). Perhitungan  $C_{v\text{gabungan}}$  diperoleh dari Persamaan (2.16) dan dapat dilihat pada Tabel 5.3.

**Tabel 5.3** Perhitungan  $C_{v\text{gabungan}}$

Kedalaman	Tebal lap (m)	$C_v$ (cm <sup>2</sup> /sec)	$\sqrt{C_v}$	H/ $\sqrt{C_v}$	$C_v$ Gab	
0	-2.5	2.5	0.024261099	103.0456	0.000902085	
-2.5	-5	2.5	0.000588601	0.024261099		103.0456
-5	-7.5	2.5	0.000588601	0.024261099		103.0456
-7.5	-10	2.5	0.000588601	0.024261099		103.0456
-10	-12.5	2.5	0.000588601	0.024261099		103.0456
-12.5	-15	2.5	0.002477897	0.049778481		50.2225
-15	-17.5	2.5	0.002477897	0.049778481		50.2225
-17.5	-20	2.5	0.002477897	0.049778481		50.2225

(Sumber: Hasil Analisa)

Dari hasil perhitungan diperoleh nilai  $C_{vgabungan}=0,0009021 \text{ cm}^2/\text{dtk} = 0,05467 \text{ m}^2/\text{minggu} = 2.837 \text{ m}^2/\text{tahun}$ . Dengan  $U = 90\%$  didapat  $T_v = 0,848$  (Berdasarkan Tabel 2.5). Tebal lapisan *drainage* ( $H_{dr}$ ) sebesar 20 m. Sehingga dengan menggunakan Persamaan (2.14), didapatkan waktu konsolidasi sebagai berikut :

$$t = \frac{0.848 \cdot (20)^2}{2.837} = 119.56 \text{ tahun}$$

Karena waktu pemampatan yang lama, yaitu 119,56 tahun, maka dalam perencanaan ini perlu pemasangan *Prefabricated Vertical Drain* (PVD) untuk mempercepat proses konsolidasi.

### 5.3 Perencanaan PVD untuk Mempercepat Pemampatan

Pada perencanaan ini, PVD dipasang sepanjang lapisan tanah yang terkonsolidasi atau hingga lapisan tanah dengan nilai N-SPT 10, yaitu sedalam 20 m. Terdapat dua pola pemasangan PVD yang akan digunakan yaitu pola segitiga dan pola segiempat dengan variasi jarak/spasi sebesar 0,8 m, 1,0 m, 1,25 m, 1,5 m, 1,75 m. Hal ini dilakukan agar mendapatkan jarak pemasangan PVD yang efisien untuk mencapai derajat konsolidasi yang diinginkan.

#### 5.3.1 Perhitungan Derajat Konsolidasi Vertikal ( $U_v$ )

Dalam hal ini besarnya  $U_v$  diasumsikan kurang dari 60% sehingga digunakan persamaan (2.16). Sesuai dengan persamaan tersebut, untuk memperoleh nilai  $U_v$  maka terlebih dahulu perlu mengetahui nilai  $T_v$ . Nilai  $T_v$  didapat dari perumusan (2.18).

$$\begin{aligned} C_{vgabungan} &= 0,0009021 \text{ cm}^2/\text{dtk} \\ t &= 1 \text{ minggu} = 604800 \text{ detik} \\ H_{dr} &= 20 \text{ m} = 2000 \text{ cm} \\ T_v &= \frac{604800 \times 0,0009021}{(2000)^2} = 0,0001364 \end{aligned}$$

$$\bar{U}_v = \left( 2 \sqrt{\frac{0,0001364}{\pi}} \right) \times 100\% = 1,31\% = 0,0131$$

### 5.3.2 Perhitungan Derajat Konsolidasi Horizontal ( $U_h$ )

Derajat konsolidasi horizontal diperoleh dari persamaan (2.32). Dalam perhitungan  $U_h$  dibutuhkan beberapa parameter seperti  $F_{(n)}$ ,  $C_h$ , dan  $D$ . Contoh langkah perhitungan besarnya  $U_h$  untuk PVD dengan pola pemasangan segitiga dengan spasi 1,50 m dan lebar PVD 10 cm sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 C_{vgab} &= 0,000902 \text{ cm}^2/\text{dtk} \\
 K_h/K_v &= 3 \\
 \text{Lebar PVD (a)} &= 100 \text{ mm} \\
 \text{Tebal PVD (b)} &= 5 \text{ mm} \\
 d_w &= 2(a+b)/\pi \\
 &= 2(100+5)/\pi \\
 &= 66,87 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

1. Perhitungan  $F_{(n)}$  untuk pola segitiga dengan  $S = 1,50 \text{ m}$

$$\begin{aligned}
 D &= 1,05 \times S \\
 &= 1,05 \times 1500 \\
 &= 1575 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 n &= D/d_w \\
 &= 1575/66,87 \\
 &= 23,55
 \end{aligned}$$

Perhitungan  $F_{(n)}$  menggunakan persamaan (2.33)

$$\begin{aligned}
 F_{(n)} &= \left( \frac{23,55^2}{23,55^2 - 1} \right) \left[ \ln(23,55) - \frac{3}{4} - \left( \frac{1}{4(23,55)^2} \right) \right] \\
 &= 2,409
 \end{aligned}$$

Perhitungan  $F_{(n)}$  selanjutnya dapat dilihat pada Tabel 5.4.

**Tabel 5.4** Perhitungan F(n) oleh PVD untuk Pola pemasangan segitiga.

Jarak PVD	D	a	b	Dw	n	F(n)
S (m)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)		
0.6	630	100	5	66.8789809	9.42	1.492835
0.7	735	100	5	66.8789809	10.99	1.646986
0.8	840	100	5	66.8789809	12.56	1.780517
0.9	945	100	5	66.8789809	14.13	1.8983
1	1050	100	5	66.8789809	15.7	2.003661
1.1	1155	100	5	66.8789809	17.27	2.098971
1.2	1260	100	5	66.8789809	18.84	2.185982
1.3	1365	100	5	66.8789809	20.41	2.266025
1.4	1470	100	5	66.8789809	21.98	2.340133
1.5	1575	100	5	66.8789809	23.55	2.409126

(Sumber: Hasil Analisa)

## 2. Perhitungan $U_h$

Berikut adalah perhitungan  $U_h$  untuk pola segitiga dengan spasi 1,5 m.

$$D = 1575 \text{ mm}$$

$$F_{(n)} = 2,4091$$

$$t = 1 \text{ minggu}$$

$$C_h = C_v \times (K_h/K_v)$$

$$= 0,05467 \text{ m}^2/\text{minggu} \times (3)$$

$$= 0,164016 \text{ cm}^2/\text{detik}$$

$$U_h = 1 - \left[ \frac{1}{e^{\left[ \frac{1 \times 8 \times 0,164016}{157,5^2 \times 2 \times 2,4091} \right]}} \right] \times 100\% = 10,39\%$$

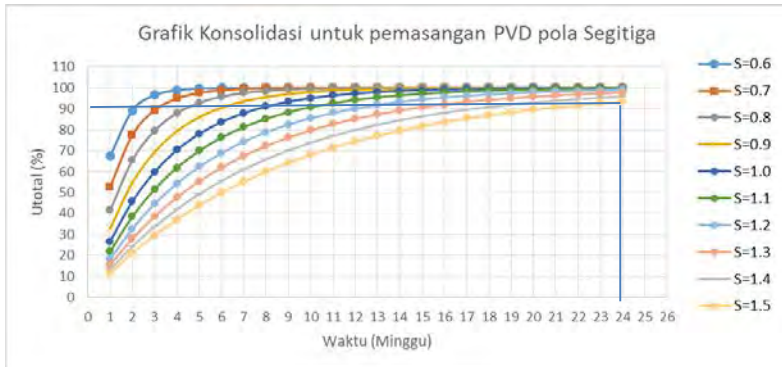
### 5.3.3 Perhitungan Derajat Konsolidasi Rata-Rata ( $\bar{U}$ )

Setelah nilai  $U_v$  dan  $U_h$  didapatkan, selanjutnya perlu dilakukan perhitungan  $\bar{U}$  menggunakan persamaan (2.42). Berikut adalah perhitungan  $\bar{U}$  rata-rata untuk pola pemasangan segitiga dengan spasi 1,50 m.

$$\begin{aligned} \bar{U} &= [1 - (1 - U_h) \cdot (1 - U_v)] \times 100\% \\ &= [1 - (1 - 0,1039) \cdot (1 - 0,0131)] \times 100\% \\ &= 11,57\% \end{aligned}$$



Hasil perhitungan lainnya dengan jarak PVD bervariasi dapat dilihat pada Lampiran 8. Dari perhitungan tersebut dihasilkan grafik hubungan  $U_{rata-rata}$  dengan waktu yang dibutuhkan untuk mencapai derajat konsolidasi ( $\bar{U}$ ) yang dibutuhkan (Gambar 5.3). Dari grafik tersebut dipilih pemasangan PVD pola segitiga dengan jarak pemasangan 1,50 m dan waktu yang diperlukan untuk mencapai derajat konsolidasi 90% adalah 24 minggu. Dengan cara yang sama pada Zona B, C1, C2 dan D diperoleh kebutuhan PVD pola segitiga dengan jarak 1,5 m.



**Gambar 5.3** Grafik Hubungan Antara Derajat Konsolidasi ( $U$ ) dan Waktu (Sumber: Hasil Analisa)

#### 5.4 Perhitungan *Rate of Settlement*

Perhitungan *Rate of Settlement* dilakukan untuk menganalisa kedalaman pemasangan PVD. Pada Zona A tinggi timbunan pada saat pemasangan PVD diasumsikan lebih tinggi dari MSL yaitu 5 meter. Sehingga data perencanaan pada Zona A adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 \text{Kedalaman Pemasangan PVD} &= 20 + 5 = 25 \text{ m} \\
 \text{Total Settlement} &= 4,3 \text{ m} \\
 t_{90} &= 119,56 \text{ tahun} \\
 \text{Rate of settlement ijin} &= 1,5 \text{ cm/tahun}
 \end{aligned}$$

$$C_v \text{ rata-rata} = 2,837$$

$$m^2/\text{tahun}$$

$$H_{dr} = 20 \text{ m}$$

Mula-mula akan dihitung pemampatan yang terjadi tanpa pemasangan PVD hingga umur rencana reklamasi. Contoh perhitungan dilakukan untuk Zona A pada tahun pertama. Perhitungannya sebagai berikut :

$$Tv = \frac{Cv \times t}{(H_{dr}^2)} = \frac{2,837 \times 1}{40,85^2} = 0,007093$$

$$Uv = \left(\frac{4Tv}{\pi}\right)^{1/2} \times 100\% = \left(\frac{4 \cdot 0,007093}{\pi}\right)^{1/2} \times 100\% = 9,5 \%$$

$$Sc_{1 \text{ tahun}} = 9,5\% \times 4,30 \text{ m} = 0,4086 \text{ m} = 40,86 \text{ cm}$$

Dengan cara yang sama dilakukan perhitungan pemampatan tanpa pemasangan PVD hingga umur rencana pelabuhan. Perhitungan dapat dilihat pada Tabel 5.5.

**Tabel 5.5** Kecepatan Pemampatan tanpa PVD pada Umur Rencana Container Yard

Tahun ke	Tv	Uv(%)	Settlement, Sc(cm)
1	0.0070925	9.50286876	40.86233568
2	0.014185	13.4390859	57.7880693
3	0.0212775	16.4594515	70.77564151
4	0.02837	19.0057375	81.72467135
5	0.0354625	21.2490605	91.37096029
6	0.042555	23.2771796	100.0918721
7	0.0496475	25.1422275	108.1115782
8	0.05674	26.8781718	115.5761386
9	0.0638325	28.5086063	122.587007
10	0.070925	30.0507096	129.2180513
11	0.0780175	31.5174501	135.5250355
12	0.08511	32.918903	141.551283
13	0.0922025	34.2630806	147.3312465
14	0.099295	35.5564791	152.8928601
15	0.1063875	36.8044525	158.2591456
16	0.11348	38.011475	163.4493427
17	0.1205725	39.1813317	168.4797261
18	0.127665	40.3172577	173.3642079
19	0.1347575	41.4220446	178.1147918
20	0.14185	42.4981211	182.7419206

(Sumber: Hasil Analisa)

Untuk pemampatan sebesar 4,30 m,  $q_{total}$  yang terjadi adalah sebesar  $27,28 \text{ t/m}^2$ . Kemudian dicoba-coba kedalaman PVD yang dipasang. Pada percobaan pertama dicoba kedalaman 5 m sehingga lapisan di bawah PVD adalah  $25 \text{ m} - 6 \text{ m} = 19 \text{ m}$ . Dengan  $q_{total} = 27,28 \text{ t/m}^2$ , pemampatan hingga kedalaman PVD adalah 0,76 m. Sehingga sisa pemampatan di bawah pemasangan PVD =  $4,3 - 0,72 = 3,58$  meter.

Sehingga setelah 5 tahun, settlement yang terjadi di bawah pemasangan PVD adalah :

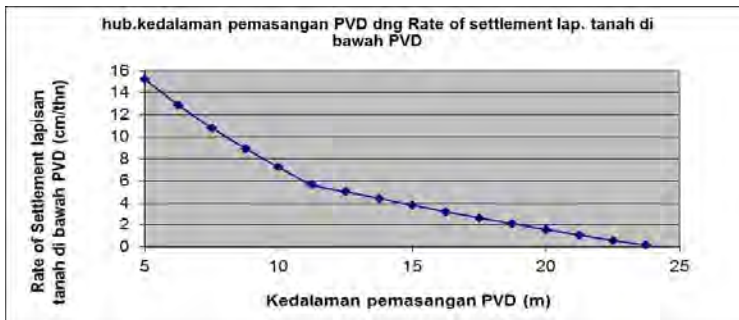
$$Sc_{5 \text{ tahun}} = \text{Sisa Settlement} \times U_v = 3,58 \times 21,25\% = 0,76 \text{ m}$$

Maka rata-rata pemampatan yang terjadi setiap tahunnya adalah :

$$\text{Rate of Sett.} = 0,76 * 100 / 5 = 15,23 \text{ cm/tahun}$$

*Rate of settlement* yang diijinkan adalah 1,5 cm/tahun.

Maka dilakukan coba-coba terhadap kedalaman pemasangan PVD, sehingga dihasilkan grafik yang dapat dilihat pada Gambar 5.4 untuk Zona A. Dari grafik diperoleh hasil bahwa dengan *Rate of settlement* yang diijinkan yaitu sebesar 1,5 cm/tahun, kedalaman PVD pada Zona A adalah 22,5 m. Grafik *Rate of settlement* zona lainnya ada pada lampiran 9.



**Gambar 5.4** Penentuan Kedalaman Pemasangan PVD Zona A

## 5.5 Penimbunan Bertahap

Pelaksanaan penimbunan di lapangan dilakukan secara bertahap dengan menggunakan kecepatan penimbunan 50 cm/minggu. Karena sebelumnya penimbunan sudah diberi perkuatan pada sisi luar, maka tidak perlu dilakukan pengecekan  $H_{kritis}$  terlebih dahulu. Pengurugan pertama akan dilakukan dengan tinggi timbunan yang lebih tinggi dari muka air laut rata-rata (*Mean Sea Level*). Diurug hingga ketinggian sama dengan muka air laut dengan kedalaman seabed -5,00 mLWS.

Dengan tinggi timbunan awal ( $H_{inisial}$ ) yang didapat dari perhitungan pada sub bab 5.1, maka jumlah tahapan penimbunan pada Zona 1 adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} H_{inisial} &= 14,3 \text{ meter LWS} \\ &= 19,3 \text{ meter dari seabed} \\ \text{Kec. tahap timb.} &= 0,5 \text{ m/minggu} = 0,9 \text{ t/m}^3/\text{minggu} \\ \text{Jumlah tahap(n)} &= (14,3/0,5) = 29 \text{ tahap} \end{aligned}$$

Pada tahapan pertama menggunakan persamaan (2.27) untuk menentukan berapa settlement yang terjadi karena pada tahapan pertama nilai  $(p_o' + \Delta p1) \leq p_c'$ . Berikut perhitungan settlement untuk lapisan pertama dibawah timbunan akibat beban bertahap tahapan pertama sebesar 5,9 t/m.

$$S_c = \frac{C_s \cdot H}{1 + e_0} \left[ \log \left( \frac{p_o' + \Delta p1}{p_o'} \right) \right]$$

$$S_c = 0,495 \text{ m}$$

Kemudian dihitung untuk semua lapisan, didapatkan  $S_c$  total untuk tahapan pertama adalah 2,289 m

Pada tahapan kedua menggunakan persamaan (2.28) karena pada tahapan kedua nilai  $(p_o' + \Delta p1 + \Delta p2) > p_c'$ . Berikut perhitungan settlement untuk lapisan pertama dibawah timbunan akibat beban bertahap tahapan kedua dengan penambahan beban sebesar 0,9 t/m.

$$S_c = \frac{C_s \cdot H}{1 + e_0} \log \frac{p'_c}{p'_0 + \Delta p_1} + \frac{C_c \cdot H}{1 + e_0} \log \frac{p'_0 + \Delta p_1 + \Delta p_2}{p'_c}$$

$$S_c = 0,02 \text{ m}$$

Kemudian dihitung untuk semua lapisan, didapatkan  $S_c$  total untuk tahapan kedua sebesar 0,16 m.

Pada tahapan ketiga dan seterusnya, karena nilai  $(p'_0 + \Delta p_1 + \Delta p_2 + \Delta p_3) > p'_c$ , maka perhitungan  $S_c$  menggunakan persamaan (2.29). Berikut perhitungan besar settlement akibat penambahan beban 0,9 t/m pada lapisan pertama dibawah timbunan.

$$S_c = \frac{C_c \cdot H}{1 + e_0} \log \frac{p'_0 + \Delta p_1 + \Delta p_2 + \Delta p_3}{p'_c}$$

$$S_c = 0,0178 \text{ m}$$

Kemudian dihitung untuk semua lapisan, didapatkan  $S_c$  total untuk tahapan kedua sebesar 0,1447 m. Setelah mendapatkan besar settlement pada masing-masing tahapan, selanjutnya derajat konsolidasi per minggu yang sudah didapatkan pada perhitungan PVD dikalikan settlement sesuai umur timbunan. Didapatkan gambar grafik hubungan antara waktu atau tahapan penimbunan dengan Settlement sebagai berikut pada Gambar 5.5:



**Gambar 5.5** Settlement tiap tahapan timbunan PVD segitiga dengan jarak 1,5 m pada Zona A.

Terlihat pada grafik bahwa waktu yang dibutuhkan untuk mencapai settlement 4,3 m pada timbunan bertahap dengan pemasangan PVD pola segitiga jarak 1,5 m adalah 34 minggu. Dengan begitu terdapat penundaan hingga 5 minggu. Akan tetapi pada minggu ke 29, tahapan terakhir timbunan bertahap, sudah dicapai settlement hingga 90% settlement total.

### 5.5.1 Penentuan Tinggi Timbunan Kritis ( $H_{cr}$ )

Tinggi penimbunan harus memperhatikan tinggi timbunan kritis ( $H_{cr}$ ) yang masih mampu dipikul oleh tanah dasar agar timbunan tidak mengalami kelongsoran. Dengan bantuan program bantu XSTABL, diperoleh tinggi timbunan kritis sebesar 8,00 m dengan *Safety Factor* (SF) = 1,241, nilai tersebut lebih kecil dari  $SF_{rencana} = 1,3$ .

Karena tinggi timbunan kritis yang mampu diterima tanah ( $H_{cr}$ ) pada Zona A adalah 8,00 meter maka penimbunan dilaksanakan hingga timbunan berada di atas MSL tanpa menghitung peningkatan nilai  $C_u$  pada tanah dasar. Ketinggian MSL dari dasar laut adalah 5 m, sehingga timbunan awal akan diberikan setinggi MSL yaitu 5 meter. Selanjutnya timbunan akan dilakukan dengan pemadatan dengan kecepatan 0,5 meter/ minggu hingga setinggi Hinisial yaitu 19,3 m.

### 5.5.2 Perhitungan Peningkatan Kohesi *Undrained* ( $C_u$ )

Perhitungan peningkatan nilai  $C_u$  perlu dilakukan untuk menentukan apakah tanah dasar cukup mampu memikul beban timbunan tahapan selanjutnya dengan nilai  $C_u$  yang baru yang diperoleh dari penimbunan sebelumnya. Perhitungan tersebut dilakukan untuk menentukan nilai  $C_u$  pada perencanaan perkuatan tanggul setelah timbunan mencapai H final.

### 5.5.2.1 Menghitung Tegangan di Tiap Lapisan Tanah untuk Derajat Konsolidasi (U) 100%

Perhitungan perubahan tegangan didapat dari :

$$\sigma_1' = P_o + \Delta P_1$$

$$\sigma_2' = \sigma_1' + \Delta P_2$$

Perhitungan di atas dilakukan seterusnya hingga tinggi timbunan kritis. Harga  $P_o$ ,  $\sigma_1'$ ,  $\sigma_2'$  dan seterusnya berbeda-beda untuk setiap kedalaman tanah.

$$\Delta P_1 = 2I \times q$$

Dimana :

Untuk timbunan tidak terendam air

$$q = H_{\text{timb tahap ke-i}} \times \gamma_{\text{timbunan}}$$

Untuk timbunan terendam air

$$q = H_{\text{timb tahap ke-i}} \times (\gamma_{\text{timb}} - \gamma_w)$$

$$I = 0,5$$

Hasil perhitungan perubahan tegangan akibat beban bertahap dari tahap 1 hingga tahap 29 dengan derajat konsolidasi 100% pada Zona A dapat dilihat pada Tabel 5.6.



**Tabel 5.6** Tegangan Efektif Tanah di Zona A Akibat Penimbunan H = 8,00 m (Minggu ke-16) pada U=100%

Tegangan	Po'	o1'	o2'	o3'	o4'	o5'	o6'	o7'	o8'	o9'	o10'	o11'	o12'	o13'	o14'	o15'	o16'
Kedalaman (m)	H = 0 m	H = 0,5 m	H = 0,5 m	H = 0,5 m	H = 0,5 m	H = 0,5 m	H = 0,5 m	H = 0,5 m	H = 0,5 m	H = 0,5 m	H = 0,5 m	H = 0,5 m	H = 0,5 m	H = 0,5 m	H = 0,5 m	H = 0,5 m	H = 0,5 m
0.625	0.21	0.71	1.21	1.71	2.21	2.71	3.21	3.71	4.21	4.71	5.61	6.51	7.41	8.31	9.21	10.11	11.01
1.875	0.64	1.14	1.64	2.14	2.64	3.14	3.64	4.14	4.64	5.14	6.04	6.94	7.84	8.74	9.64	10.54	11.44
3.125	1.06	1.56	2.06	2.56	3.06	3.56	4.06	4.56	5.06	5.56	6.46	7.36	8.26	9.16	10.06	10.96	11.86
4.375	1.48	1.98	2.48	2.98	3.48	3.98	4.48	4.98	5.48	5.98	6.88	7.78	8.68	9.58	10.48	11.38	12.28
5.625	1.91	2.41	2.91	3.41	3.91	4.41	4.91	5.41	5.91	6.41	7.31	8.21	9.11	10.01	10.91	11.81	12.71
6.875	2.33	2.83	3.33	3.83	4.33	4.83	5.33	5.83	6.33	6.83	7.73	8.63	9.53	10.43	11.33	12.23	13.13
8.125	2.76	3.26	3.76	4.26	4.76	5.26	5.76	6.26	6.76	7.26	8.16	9.06	9.96	10.86	11.76	12.66	13.56
9.375	3.18	3.68	4.18	4.68	5.18	5.68	6.18	6.68	7.18	7.68	8.58	9.48	10.38	11.28	12.18	13.08	13.98
10.625	3.71	4.21	4.71	5.21	5.71	6.21	6.71	7.21	7.71	8.21	9.11	10.01	10.91	11.81	12.71	13.61	14.51
11.875	4.36	4.86	5.36	5.86	6.36	6.86	7.36	7.86	8.36	8.86	9.76	10.66	11.56	12.46	13.36	14.26	15.16
13.125	5.00	5.50	6.00	6.50	7.00	7.50	8.00	8.50	9.00	9.50	10.40	11.30	12.20	13.10	14.00	14.90	15.80
14.375	5.64	6.14	6.64	7.14	7.64	8.14	8.64	9.14	9.64	10.14	11.04	11.94	12.84	13.74	14.64	15.54	16.44
15.625	6.28	6.78	7.28	7.78	8.28	8.78	9.28	9.78	10.28	10.78	11.68	12.58	13.48	14.38	15.28	16.18	17.08
16.875	6.92	7.42	7.92	8.42	8.92	9.42	9.92	10.42	10.92	11.42	12.32	13.22	14.12	15.02	15.92	16.82	17.72
18.125	7.56	8.06	8.56	9.06	9.56	10.06	10.56	11.06	11.56	12.06	12.96	13.86	14.76	15.66	16.56	17.46	18.36
19.375	8.21	8.71	9.21	9.71	10.21	10.71	11.21	11.71	12.21	12.71	13.61	14.51	15.41	16.31	17.21	18.11	19.01

(Sumber: Hasil Analisa)

### 5.5.2.2 Menghitung Nilai $C_u$ Baru

Setelah menghitung penambahan tegangan efektif pada derajat konsolidasi <100%, nilai  $C_u$  baru dapat dihitung. Karena harga Plasticity Index (PI) pada tanah ini kurang dari 120% maka  $C_u$  baru dihitung menggunakan Persamaan (2.24). Hasil  $C_u$  baru pada Zona A dapat dilihat di Tabel 5.7. Hasil dari Zona lainnya dapat dilihat pada Lampiran 10.

**Tabel 5.7** Perubahan Nilai  $C_u$  Akibat Penimbunan maksimum 19.3 m (Zona A)

Kedalaman meter	$\Sigma\sigma'$ kg/cm <sup>2</sup>	PI	$C_u$ lama kg/m <sup>2</sup>	$C_u$ baru kg/cm <sup>2</sup>	$C_u$ Pakai kg/cm <sup>2</sup>	$C_u$ pakai kPa
0.625	0.554	70.272	0.064	0.117	0.117	11.664
1.875	0.601	70.272	0.064	0.120	0.120	12.029
3.125	0.645	70.272	0.064	0.124	0.124	12.375
4.375	0.689	70.272	0.064	0.127	0.127	12.716
5.625	0.733	70.272	0.142	0.131	0.142	14.197
6.875	0.776	70.272	0.142	0.134	0.142	14.197
8.125	0.819	70.272	0.142	0.137	0.142	14.197
9.375	0.862	70.272	0.142	0.141	0.142	14.197
10.625	0.916	68.781	0.194	0.147	0.194	19.427
11.875	0.981	68.781	0.194	0.152	0.194	19.427
13.125	1.046	68.781	0.194	0.157	0.194	19.427
14.375	1.111	68.781	0.194	0.162	0.194	19.427
15.625	1.175	68.781	0.204	0.168	0.204	20.375
16.875	1.240	68.781	0.204	0.173	0.204	20.375
18.125	1.304	38.453	0.204	0.241	0.241	24.127
19.375	1.369	38.453	0.204	0.250	0.250	24.956

(Sumber: Hasil Analisa)

## 5.6 Perencanaan *Geotextile* sebagai Perkuatan Timbunan

*Geotextile* digunakan sebagai perkuatan tanah untuk meningkatkan daya dukung tanah dasar di bawah timbunan.

### 5.6.1 Perhitungan *Geotextile*

Pada perencanaan ini digunakan STABILENKA *woven geotextile* dengan *Tensile Strength* ( $T_{ult}$ ) sebesar 400 kN/m.

$$T_{allow} = T_{ultimate} \left[ \frac{1}{FS_{id} \times FS_{cr} \times FS_{cd} \times FS_{bd}} \right]$$

$$\begin{array}{ll} FS_{id} & = 1.1 \\ FS_{cr} & = 2.0 \end{array} \qquad \begin{array}{ll} FS_{cd} & = 1.1 \\ FS_{bd} & = 1.1 \end{array}$$

$$\begin{aligned} T_{allow} &= 400 \left[ \frac{1}{1.1 \times 2 \times 1.1 \times 1.1} \right] \\ &= 150,263 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

### 5.6.2 Kebutuhan *Geotextile*

Dalam perhitungan *geotextile* dibutuhkan nilai SF, jari-jari bidang longsor, momen resisten, koordinat titik pusat bidang longsor, dan momen dorong yang didapat dari hasil analisa program XSTABL. Selanjutnya menghitung kebutuhan *geotextile* untuk timbunan 19,3 m pada Zona A dengan menggunakan nilai  $T_{allow}$  dikali jarak pasang masing-masing *geotextile* terhadap titik pusat jari-jari kelongsoran hingga memenuhi  $\Delta M_R \leq T_{allow} \times \sum R_i$ . Jarak pemasangan *geotextile* yang direncanakan adalah 0,25 m dari dasar timbunan. Panjang *geotextile* di belakang bidang longsor ( $L_E$ ) dapat dihitung dengan persamaan (2.63) dengan nilai efisiensi (E) adalah 80%.

Panjang *geotextile* di depan bidang longsor ( $L_R$ ) dapat dihitung dengan menggambar timbunan, bidang longsor, dan panjang *geotextile* di belakang bidang longsor ( $L_E$ ) pada program bantu gambar. Dari gambar tersebut dapat diperoleh panjang total *geotextile* dari penjumlahan panjang *geotextile* di belakang bidang longsor ( $L_E$ ), di depan bidang longsor ( $L_R$ ). *Geotextile* dipasang pada dasar timbunan untuk memisahkan timbunan dan lapisan tanah dibawahnya karena dikhawatirkan penimbunan pada tanah dasar di laut akan membuat tanah timbunan bercampur dengan tanah dasar. Kemudian setelah timbunan mencapai ringgi di atas muka air laut rata-rata (*mean sea level*) baru perkuatan dengan *geotextile* dapat dilaksanakan. Tentu masih dalam ketinggian

timbunan dibawah  $H_{\text{kritis}}$ . Sehingga timbunan tidak longsor. Gambar pemasangan geotextile dapat dilihat pada Gambar 5.4.

Berikut adalah perhitungan kebutuhan dan panjang *geotextile* pada Zona A :

Dari analisa program bantu XSTABL didapat :

$$SF = 0.65$$

$$R = 40.58 \text{ m}$$

$$M_R = 139800 \text{ kNm}$$

$$M_D = \frac{M_R}{SF} = 215076.92 \text{ kNm}$$

$$SF_{\text{rencana}} = 1.3$$

$$\begin{aligned} \Delta M_R &= (SF_{\text{rencana}} * M_D) - M_R \\ &= 139800,00 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan  $\Delta M_R \leq T_{\text{allow}} \times \sum R_i$ , didapat kebutuhan *geotextile* sebanyak 42 lapis dengan 10 lapis terdiri dari 2 lembar dan 22 lapis masing-masing 1 lembar.

Diketahui :

$$\begin{aligned} \text{Tanah timbunan: } \phi &= 30^\circ \\ C &= 0 \text{ t/m}^2 \\ \gamma_{\text{sat}} &= 2.0 \text{ t/m}^2 \\ \gamma_{\text{timb}} &= 1.8 \text{ t/m}^2 \\ \gamma' &= 1.0 \text{ t/m}^2 \end{aligned}$$

Dengan menggunakan persamaan (2.62) :

$$\tau = C + \sigma' \tan \delta$$

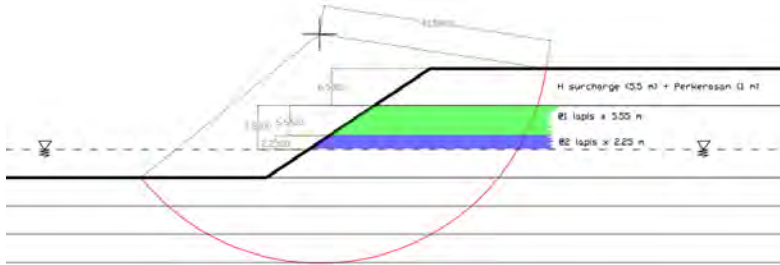
$$\tau_1 \text{ timbunan} = \tau_2 = 0 + \gamma' \cdot h \cdot \tan\left(\frac{2}{3} \cdot 30^\circ\right) = 9,61 \text{ t/m}^2$$

Maka panjang *geotextile* di belakang bidang longsor adalah :

$$L_i = \frac{T_{\text{allow}} SF_{\text{rencana}}}{2\tau_i E}$$

$$L_1 = 0.637 \text{ m}$$

Dari Gambar 5.6 didapatkan panjang *geotextile* di depan bidang longsor adalah 67 m untuk lapis pertama. Tabel panjang pemasangan *geotextile* di lapangan disajikan pada Tabel 5.8. Gambar pemasangan *geotextile* untuk Zona A dan gambar serta perhitungan Zona B, Zona C dan Zona D pada Lampiran 11.



**Gambar 5.6** Sketsa Perkuatan Tanah dengan *Geotextile* pada Zona A (Sumber: Hasil Analisa)

**Tabel 5.8** Perhitungan Panjang *Geotextile* pada Zona A

No	Hi	Ti	tan β	Cu	ov	Ka	oh	t1	t2	Le	Lo	Lr	Ltotal	Total panjang
	m	m		kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>		kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>	m	m	m	m	m
1	14.3	25.39	0.577	0	257.4	0.577	148.610	148.610	23.496	1.419	1.000	40.48	43.000	86.000
2	14.05	25.14	0.577	0	252.9	0.577	146.012	146.012	146.012	0.836	1.000	40.105	42.000	84.000
3	13.8	24.89	0.577	0	248.4	0.577	143.414	143.414	143.414	0.851	1.000	39.73	42.000	84.000
4	13.55	24.64	0.577	0	243.9	0.577	140.816	140.816	140.816	0.867	1.000	39.355	42.000	84.000
5	13.3	24.39	0.577	0	239.4	0.577	138.218	138.218	138.218	0.883	1.000	38.98	41.000	82.000
6	13.05	24.14	0.577	0	234.9	0.577	135.620	135.620	135.620	0.900	1.000	38.605	41.000	82.000
7	12.8	23.89	0.577	0	230.4	0.577	133.022	133.022	133.022	0.918	1.000	38.23	41.000	82.000
8	12.55	23.64	0.577	0	225.9	0.577	130.423	130.423	130.423	0.936	1.000	37.855	40.000	80.000
9	12.3	23.39	0.577	0	221.4	0.577	127.825	127.825	127.825	0.955	1.000	37.48	40.000	80.000
10	12.05	23.14	0.577	0	216.9	0.577	125.227	125.227	125.227	0.975	1.000	37.105	40.000	80.000
11	11.8	22.89	0.577	0	212.4	0.577	122.629	122.629	122.629	0.996	1.000	36.73	39.000	79.000
12	11.55	22.64	0.577	0	207.9	0.577	120.031	120.031	120.031	1.017	1.000	36.355	39.000	79.000
13	11.3	22.39	0.577	0	203.4	0.577	117.433	117.433	117.433	1.040	1.000	35.98	39.000	79.000
14	11.05	22.14	0.577	0	198.9	0.577	114.835	114.835	114.835	1.063	1.000	35.605	38.000	78.000
15	10.8	21.89	0.577	0	194.4	0.577	112.237	112.237	112.237	1.088	1.000	35.23	38.000	78.000
16	10.55	21.64	0.577	0	189.9	0.577	109.639	109.639	109.639	1.114	1.000	34.855	37.000	77.000
17	10.3	21.39	0.577	0	185.4	0.577	107.041	107.041	107.041	1.141	1.000	34.48	37.000	77.000
18	10.05	21.14	0.577	0	180.9	0.577	104.443	104.443	104.443	1.169	1.000	34.105	37.000	77.000
19	9.8	20.89	0.577	0	176.4	0.577	101.845	101.845	101.845	1.199	1.000	33.73	36.000	76.000
20	9.55	20.64	0.577	0	171.9	0.577	99.247	99.247	99.247	1.230	1.000	33.355	36.000	76.000
21	9.3	20.39	0.577	0	167.4	0.577	96.648	96.648	96.648	1.263	1.000	32.98	36.000	76.000
22	9.05	20.14	0.577	0	162.9	0.577	94.050	94.050	94.050	1.298	1.000	32.605	35.000	75.000
23	8.8	19.89	0.577	0	158.4	0.577	91.452	91.452	91.452	1.335	1.000	32.23	35.000	75.000
24	8.55	19.64	0.577	0	153.9	0.577	88.854	88.854	88.854	1.374	1.000	31.855	35.000	75.000
25	8.3	19.39	0.577	0	149.4	0.577	86.256	86.256	86.256	1.415	1.000	31.48	34.000	74.000
26	8.05	19.14	0.577	0	144.9	0.577	83.658	83.658	83.658	1.459	1.000	31.105	34.000	74.000
27	7.8	18.89	0.577	0	140.4	0.577	81.060	81.060	81.060	1.506	1.000	30.73	34.000	74.000
28	7.55	18.64	0.577	0	135.9	0.577	78.462	78.462	78.462	1.556	1.000	30.355	33.000	73.000
29	7.3	18.39	0.577	0	131.4	0.577	75.864	75.864	75.864	1.609	1.000	29.98	33.000	73.000
30	7.05	18.14	0.577	0	126.9	0.577	73.266	73.266	73.266	1.666	1.000	29.605	33.000	73.000
31	6.8	17.89	0.577	0	122.4	0.577	70.668	70.668	70.668	1.728	1.000	29.23	32.000	72.000
32	6.55	17.64	0.577	0	117.9	0.577	68.070	68.070	68.070	1.794	1.000	28.855	32.000	72.000
												total	1194.000	1606.000

(Sumber: Hasil Analisa)

### 5.7 Perencanaan *Micropile* Sebagai Perkuatan Timbunan

Perencanaan perkuatan tanggul digunakan pada sisi luar timbunan bagian utara dan timur. Pada bagian tersebut terdapat zona C1 dan zona D. Penggunaan cerucuk dimaksudkan untuk menaikkan tahanan geser tanah sehingga daya dukung tanah juga meningkat.

Untuk mengetahui kebutuhan cerucuk per meter, terlebih dahulu ditentukan kekuatan satu cerucuk. Kemudian berdasarkan perbandingan dari besarnya momen penggerak dengan momen penahan yang dibutuhkan ditentukan jumlah cerucuk yang diperlukan.

Untuk menghitung kekuatan satu cerucuk, terlebih dahulu harus ditentukan faktor kekuatan relatif (T) dari cerucuk. Direncanakan cerucuk menggunakan Concrete Spun Pile (CSP) WIKA BETON dengan spesifikasi sebagai berikut :

Outside Diameter	= 600 mm
Wall Thick	= 100 mm
Class	= C
Concrete Cross Section	= 1571 cm <sup>2</sup>
Weight	= 393 kg/m
Length	= 16 m
M crack	= 29 Ton.m
M ultimate	= 58 Ton.m
Axial Load	= 229.5 Ton
Modulus Elastisitas (E)	= 250000 kg/cm <sup>2</sup>
Momen Inersia	= 510500 cm <sup>4</sup>

Mencari harga f dengan bantuan Gambar (2.11) (Design Manual, NAVFAC DM-7 1971)

Faktor modulus tanah (f)

$$\begin{aligned} \text{Cu} &= 3 \text{ kN/m}^2 = 0,03 \text{ kg/m}^2 \\ q_u &= 2 \times \text{Cu} = 0,06 \text{ kg/m}^2 \\ &(\text{lihat grafik NAVFAC DM-7 1971}) \\ f &= 1,5 \text{ t/ft}^3 = 1,5 \times 0,032 \text{ kg/cm}^3 = 0,048 \text{ kg/cm}^3 \end{aligned}$$

Dengan persamaan (2.56) dicari nilai T

$$T = \left( \frac{EI}{f} \right)^{\frac{1}{5}} = \left( \frac{250000 \times 510500}{0,048} \right)^{\frac{1}{5}} = 305,45 \text{ cm}$$

Kemudian menghitung panjang total cerucuk dengan menjumlahkan panjang cerucuk diatas bidang longsor (La) dan dibawah bidang longsor (Lb). La dihitung dari titik dasar timbunan hingga titik dasar bidang longsor pada SF min. Sedangkan Panjang Lb dihitung dari titik dasar pada bidang longsor dengan SF min hingga titik dasar pada bidang longsor dengan SF = 1.2.

$$La = 8,11 \text{ m} \quad Lb = 4,01 \text{ m}$$

$$\text{Sehingga, } L_{\text{total}} = 8,11 + 4,01 = 12,12 \text{ m}$$

Koefisien momen akibat gaya lateral

$$Lb/T = 4,01/3,05 = 1,313$$

$$Z = 0 \text{ m}$$

(Dari grafik NAVFAC, DM-7, 1971)

$$F_m = 1$$

Dengan persamaan (2.54) Gaya horizontal (P) yang mampu ditahan oleh satu cerucuk adalah

$$P = \frac{M_{\text{crack}}}{F_m \times T} = \frac{29}{1 \times 3,05} = 9,5 \text{ ton} = 95 \text{ kN}$$

Jumlah cerucuk yang dibutuhkan :

Dengan H inisial 19 m pada zona C, diperoleh :

$$\text{SF min} = 0,411$$

$$\text{MR min} = 50140 \text{ kN.m}$$

$$R = 33 \text{ m}$$

Direncanakan SF = 1,3

$$M_{\text{dorong}} = \text{MR min} / \text{SF min}$$

$$= 121995,13 \text{ kN.m}$$

$$\Delta \text{MR} = M_{\text{dorong}} \times \text{SF} - \text{MR min}$$

$$= 93411,674$$

Mencari nilai  $F_k$ ,

$$F_k = 2.643 \left[ \left( \frac{0.89 + 0.12 \frac{L}{D}}{2.69} \right) \times \left( \frac{0.855 C u^{-0.392}}{2.865} \right) \right]$$

$$F_k = 0,9519$$

$$P_{\max} = P \times F_k$$

$$= 95 \text{ kN} \times 0,9519 = 90,38 \text{ kN}$$

Dengan persamaan (2.57) Jumlah cerucuk ( $n$ ) yang harus dipasang per satuan panjang adalah

$$n = \frac{\Delta MR}{R \times P}$$

$$= 30 \text{ buah / meter tegak lurus gambar}$$

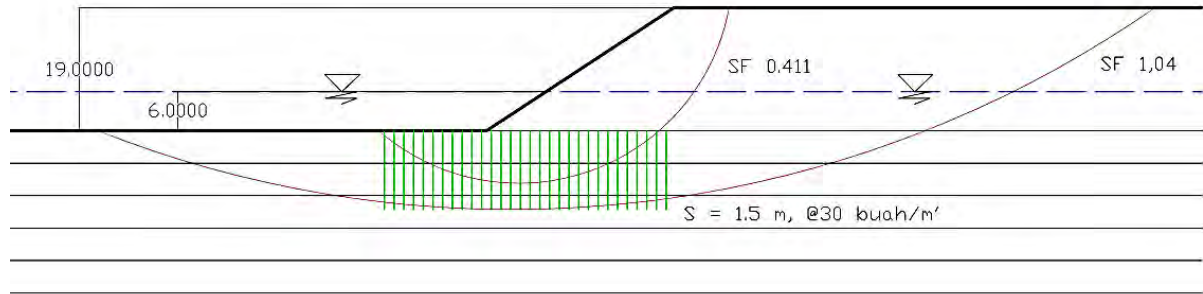
Jarak antar cerucuk ( $S$ ) dihitung sepanjang bidang longsor tetapi tidak sampai depan timbunan.

$$S = \text{Panjang bidang longsor} / n$$

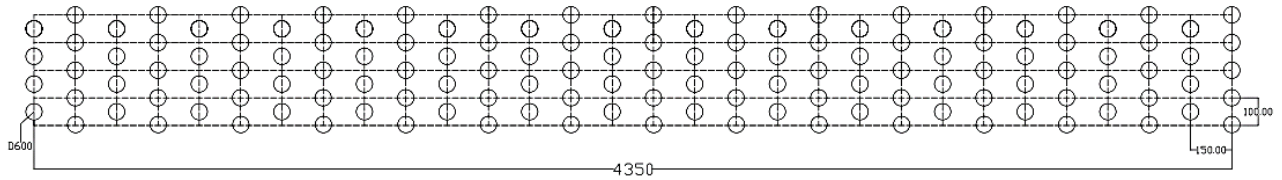
$$= 43,67 / 30$$

$$= 1,5 \text{ m}$$





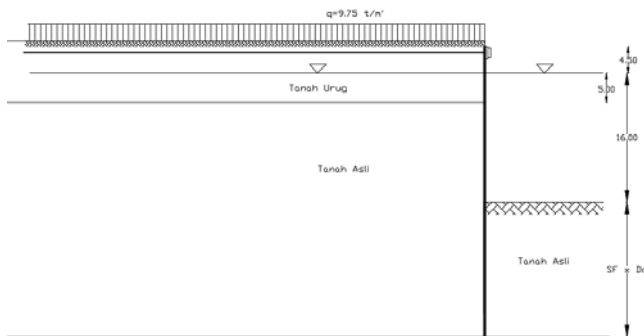
**Gambar 5.7** Sketsa potongan melintang cerucuk



**Gambar 5.8** Sketsa tampak atas pemasangan cerucuk

### 5.8 Perencanaan *Sheetpile* Baja Berangker

Pada perencanaan perkuatan tanah di sisi dermaga digunakan *sheetpile* baja yang dikombinasi dengan angker. *Sheetpile* dipasang setelah proses pemampatan selesai dan timbunan *surcharge* telah dibongkar. Timbunan akan dikeruk hingga kedalaman 16 m. *Sheetpile* direncanakan memikul beban horizontal akibat tanah timbunan setinggi 16 m dan beban kontainer 6 tiers ( $q_{\text{surcharge}}=9,75 \text{ t/m}^2$ ). Gambar sketsa tanah pada Gambar 5.9.



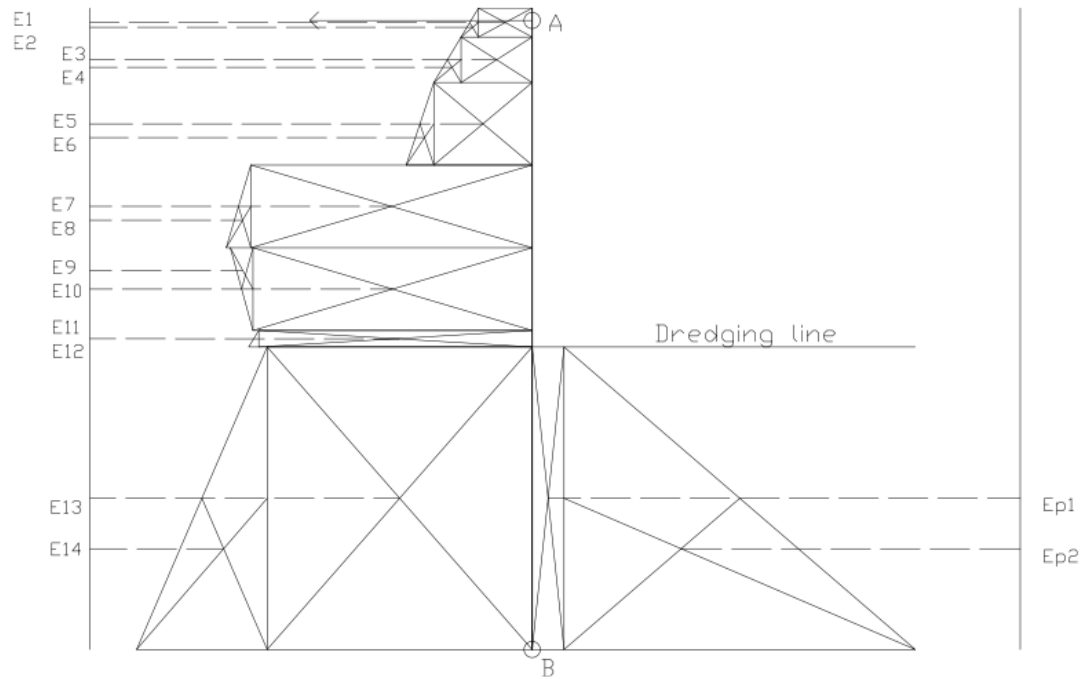
**Gambar 5.9** Sketsa penampang tanah pada pemasangan *sheet pile* berangker (dimensi dalam satuan meter)

Karakteristik tanah urug :

$\gamma$	$= 1,8 \text{ t/m}^3$	$\phi$	$= 30^\circ$
$\gamma'$	$= 1,0 \text{ t/m}^3$	$K_a$	$= 0,33$
$q$	$= 9,75 \text{ t/m}^2$	$K_p$	$= 3,00$
$c$	$= 0 \text{ t/m}^2$		

Berikut tahap desain *sheetpile* dengan angker :

1. Menghitung gaya yang bekerja pada *Sheetpile*; Perhitungan tegangan vertikal dan horizontal diberikan pada Tabel 5.9. Adapun diagram tekanan tanah diberikan pada Gambar 5.10, dan perhitungannya pada Tabel 5.10 serta Tabel 5.11.



**Gambar 5.10** Diagram tekanan tanah kesamping

**Tabel 5.9** Perhitungan Tegangan Horizontal Aktif dan Pasif Tanah pada *Sheetpile*

	Titik	Depth	$\gamma$ (t/m <sup>3</sup> )	Cu (t/m <sup>2</sup> )	$\phi$	Ka	Kp	2c vKa	2c vKp	$\sigma'v$	$\sigma'ha$	Ea	Lengan thd A (m)	Momen thd A (tm)	
E1	AKTIF	1	0	1.8	0	30	0.33	0	0	9.75	3.25	5.69	-0.13	-0.7109375	
E2		2A	1.75	1.8	0	30	0.33	0	0	12.90	4.30	0.92	0.17	0.153125	
E3		2B	1.75	1.8	0	30	0.33	0	0	12.90	4.30	11.83	2.13	25.128125	
E4		3A	2.75	1.8	0	30	0.33	0	0	17.85	5.95	2.27	2.58	5.8609375	
E5		3B	2.75	1	0	30	0.33	0	0	17.85	5.95	29.75	6.00	178.5	
E6		4A	5	1	0	30	0.33	0	0	22.85	7.62	4.17	6.83	28.47222222	
E7		4B	5	0.339229	1.581807	3.84	0.87	2.958386	0	22.85	17.02	85.12	11.00	936.2740195	
E8		5A	5	0.339229	1.581807	3.84	0.87	2.958386	0	24.55	18.51	3.71	11.83	43.87857109	
E9		5B	5	0.339229	1.716122	3.84	0.87	3.20959	0	24.55	18.26	91.28	16.00	1460.414401	
E10		6A	5	0.339229	1.716122	3.84	0.87	3.20959	0	26.24	19.74	-3.71	16.83	-62.4188124	
E11		6B	5	0.339229	1.9183	7.93	0.76	3.339223	0	26.24	16.54	16.54	19.00	314.2598892	
E12		7A	1	0.513523	1.9183	7.93	0.76	3.339223	0	26.76	16.93	0.19	19.17	3.72798249	
E13		7B	1	0.513523	2.561612	7.59	0.77	4.485833	0	26.76	16.03	16.03	Do	0.5Do+19.5	8.015Do+312.585Do
E14		8	Do	0.513523	2.561612	7.59	0.77	4.485833	0	26.76 + 0.51352 Do	16.03 + 0.39 Do	0.20	Do2	0.67Do+19.5	0.134Do+3.84Do2
Ep1	PASIF	9	Do	0.513523	2.561612	7.59	1.304	5.85118	0	5.85	2.925590101	Do	0.5Do+19.5	1.46Do+57.05Do	
Ep2		10	Do	0.513523	2.561612	7.59	1.304	5.85118	0	0.51352 Do	5.85 + 6.52 Do	3.260501605	Do2	0.67Do+19.5	2.18Do+63.58Do2

(Sumber: Hasil Analisa)

**Tabel 5.10** Gaya dan Momen Akibat Tekanan Tanah kesamping Aktif Terhadap Titik A

Nomer	Ea	Lengan thd A (m)	Momen thd A (tm)
E1	5.688	-0.125	-0.711
E2	0.919	0.167	0.153
E3	11.825	2.125	25.128
E4	2.269	2.583	5.861
E5	29.750	6.000	178.500
E6	4.167	6.833	28.472
E7	85.116	11.000	936.274
E8	3.708	11.833	43.879
E9	91.276	16.000	1460.414
E10	3.708	16.833	-62.419
E11	16.540	19.000	314.260
E12	0.195	19.167	3.728
E13	16.030	0.5Do+19.5	8.015Do <sup>2</sup> +312.585Do
E14	0.196847 Do <sup>2</sup>	0.67Do+19.5	0.132Do <sup>3</sup> +3.84Do <sup>2</sup>

$$\sum M_{\text{aktif}} = 0.132 \text{ Do}^3 + 11.8535 \text{ Do}^2 + 312.585 \text{ Do} + 3055.5 \text{ (t.m)}$$

**Tabel 5.11** Gaya dan Momen akibat Tekanan Tanah kesamping Pasif Terhadap Titik A

Nomer	Ep	Lengan thd A (m)	Momen thd A (tm)
Ep1	2.926 Do	0.5Do+19.5	1.46Do <sup>2</sup> +57.05Do
Ep2	3.261 Do <sup>2</sup>	0.67Do+19.5	2.18Do <sup>3</sup> +63.58Do <sup>2</sup>

$$\sum M_{\text{pasif}} = -((1.46 \text{ Do}^2 + 57.05 \text{ Do}) + (2.18\text{Do}^3 + 63.58\text{Do}^2)) \text{ (t.m)}$$

$$\begin{aligned} \sum M_{\text{total}} &= 0.132 \text{ Do}^3 + 11.85 \text{ Do}^2 + 312.59 \text{ Do} + 3055.5 - (2.18\text{Do}^3 \\ &+ 65.043\text{Do}^2 + 57.049\text{Do}) \\ &= -2.20\text{Do}^3 - 57.721\text{Do}^2 + 251.12\text{Do} + 2704.9 \end{aligned}$$

Untuk mendapatkan kedalaman *sheetpile* dalam tanah ( $D_o$ ), momen aktif dan momen pasif dihitung dalam kondisi seimbang  $\sum M_{total} = \sum M_{aktif} + \sum M_{pasif} = 0$ ; maka :

$$= -2.20D_o^3 - 57.721D_o^2 + 251.12D_o + 2704.9$$

Dengan menggunakan cara coba-coba, didapatkan nilai  $D_o = 8.5$  m. Untuk keamanan nilai  $D_o$  dikalikan dengan angka keamanan,  $SF = 2 \cdot D_o = 2 \times 8.5 = 17$  m. Sehingga total panjang turap yang dibutuhkan adalah  $17 + 20.5 = 37.5$  m

## 2. Penentuan Profil *Sheetpile*

Profil *sheetpile* ditentukan dengan menggunakan momen maksimum yang bekerja pada *sheetpile*.

$$\sum M_{total} = -2.20D_o^3 - 57.721D_o^2 + 251.12D_o + 2704.9$$

Letak momen maksimum dapat diperoleh dari hasil diferensial persamaan momen total terhadap  $x$  :

$$\frac{d \sum M_{total}}{dx} = 0$$

$$-6.61x^2 - 115.44x + 251.12 = 0, \text{ atau}$$

$$6.61x^2 + 115.44x - 251.12 = 0$$

Nilai  $x$  diperoleh dengan rumus ABC sebagai berikut :

$$x_{1,2} = \frac{-115,44 \pm \sqrt{103,453^2 - 4,6,61 \cdot (-251,12)}}{2,6,61}$$

Diperoleh :

$$x_1 = 2,61 \text{ m (memenuhi)}$$

$$x_2 = -19,41 \text{ m}$$

Nilai  $x$  yang memenuhi kemudian disubstitusikan pada persamaan  $M_{total}$ .

$$\begin{aligned} \sum M_{total} &= -0,871x^3 - 23,845x^2 + 474,56x + 5473,5 \\ &= -2,05(2,61)^3 - 51,73(2,61)^2 + 312,585(2,61) + 3055,5 \\ &= 3482,5 \text{ tm} = 34825 \text{ KNm} \end{aligned}$$

Digunakan turap baja dengan profil AZ Box Piles dengan  $\bar{\sigma} = 210$  MN. Maka nilai *Widerstands Moment* ( $W$ ) adalah sebagai berikut :

$$W = \frac{\sum M_{total}}{\bar{\sigma}} = \frac{34825}{210 \times 10^3} = 0,0166 \text{ m}^3 = 16600 \text{ cm}^3$$

Digunakan profil Steel Pipe Piles dengan  $W=16600 \text{ cm}^3 > 17442 \text{ cm}^3$ , dengan dimensi :

Outside Diameter	= 2000 mm
Thick	= 25 mm

### 3. Kontrol Defleksi

Dengan menggunakan program bantuan SAP2000 dilakukan pengecekan pada profil yang dipakai apakah memenuhi persyaratan defleksi yang diijinkan yaitu 1 inch atau 2.6 cm. Defleksi yang dihasilkan akibat gaya – gaya yang terjadi pada sheetpile pada kondisi rencana adalah tepat sebesar 2.6 cm. Maka profil *Steel Pipe Piles* dengan diameter 2000 mm dan tebal 25 mm bisa dipakai. Hasil Analisa SAP2000 disajikan pada Lampiran 12.

### 4. Penentuan Diameter Baja Angker

Dari hasil analisa SAP didapat  $T = 203 \text{ ton}$

Angkur dipasang setiap per meter sehingga gaya total yang bekerja pada Blok Angkur 203 ton.

$$\bar{\sigma}_{\text{angker}} = 1000 \text{ kg/cm}^2$$

$$\bar{\sigma}_{\text{angker}} = \frac{T}{A} = \frac{T}{0,25\pi d^2}$$

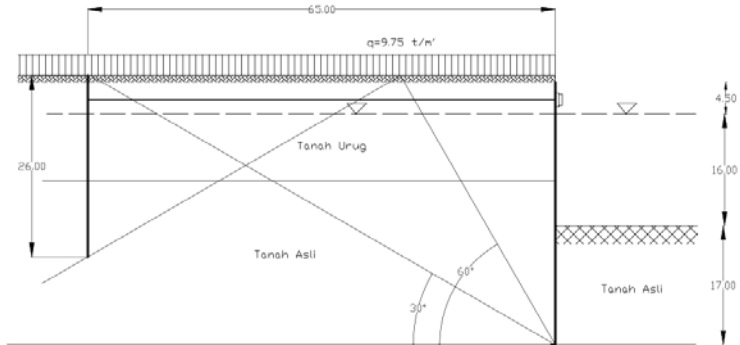
$$1000 = \frac{203.1000}{0,25\pi d^2}$$

$$D = 14 \text{ cm}$$

Maka, diameter baja angker (D) adalah 14 cm.

## 5. Perencanaan Blok Angker

Direncanakan menggunakan pipa baja dengan diameter 1500 mm dan tebal 19 mm yang dipasang pada jarak 65 m dari sheetpile. Pipa baja penahan angkur dipasang hingga kedalaman 26 m. Pipa baja ini di pasang per meter.



**Gambar 5.11** Sketsa letak angker (satuan dalam meter)

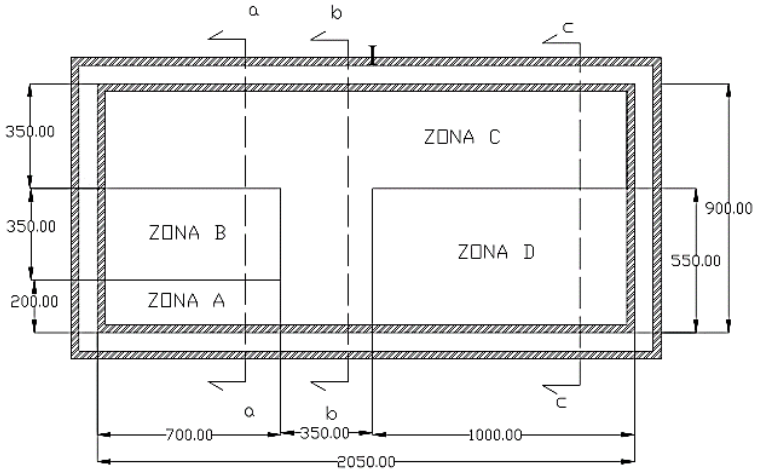
## 5.9 Perhitungan Volume Material

Perhitungan volume material dilakukan untuk menganalisa kebutuhan material yang harus disediakan pada proyek reklamasi. Luas area untuk perhitungan volume dengan geometri yang tidak beraturan dihitung dengan program bantu Autocad. Perhitungan material dilakukan terhadap material reklamasi dan perkuatannya.

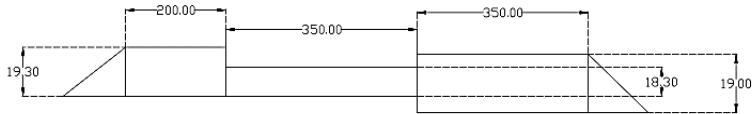
### 5.9.1 Material Timbunan

Material timbunan reklamasi merupakan tanah urug yang di ambil dari beberapa wilayah di Bojanegara, Provinsi Banten. Geometri timbunan bisa dilihat pada Gambar 5.12 dan Gambar 5.13. Kemiringan lereng timbunan ( $z$ ) adalah 1 : 1,5. Perhitungan Volume dapat dilihat pada Tabel 5.12.

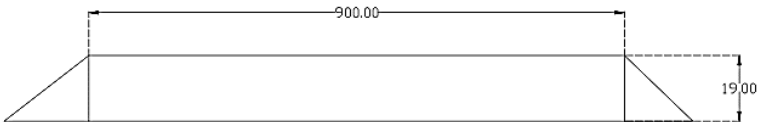




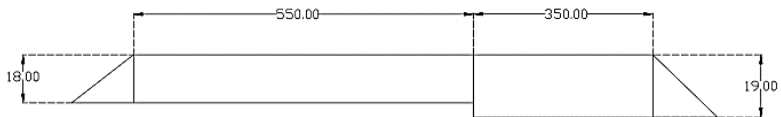
**Gambar 5.12** Area Reklamasi dan Pembagian Perhitungan



**Gambar 5.13a** Potongan a-a (satuan dalam meter)



**Gambar 5.13b** Potongan b-b (satuan dalam meter)



**Gambar 5.13c** Potongan c-c (satuan dalam meter)

**Tabel 5.12** Perhitungan Volume Tanah Urug Timbunan

Ket.	Zona	Luas (m <sup>2</sup> )	Lebar (m <sup>1</sup> )	Volume (m <sup>3</sup> )
Pot. a-a	A	4139,37	700	2.897.557
	B	6405	700	4.483.500
	C	6920,75	700	4.844.525
Pot. b-b	C	1764,51	350	6.174.525
Pot. c-c	C	6920,75	1000	6.920.750
	D	10143	1000	10.143.000
Segitiga I		279,37	900	251.431
Segitiga II		270,75	900	243.675
			TOTAL	35.958.963

(Sumber: Hasil Analisa)

### 5.9.2 Prefabricated Vertical Drain (PVD)

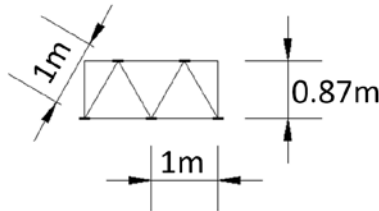
Pemasangan PVD pada zona A dan B dilaksanakan dengan pola segitiga berjarak 1,5 m sedangkan zona C dan D dengan pola segitiga berjarak 1 m. PVD dipasang pada timbunan pada saat elevasi timbunan telah lebih tinggi dari MSL. Karena timbunan masih berada pada elevasi di bawah  $H_{\text{inisial}}$ , lebar timbunan lebih lebar daripada lebar timbunan yang direncanakan. Luasan timbunan pada saat dilakukan pemasangan timbunan dihitung pada Tabel 5.13. Pemasangan PVD ketika tinggi timbunan sedikit lebih tinggi dari elevasi air. Walaupun jarak pemasangan sama yaitu 1 m, karena panjang kedalaman PVD berbeda – beda, maka diperlukan perhitungan area berdasarkan zona kedalaman PVD setelah timbunan sedikit lebih tinggi dari elevasi air.

**Tabel 5.13** Perhitungan Luas Area Pemasangan PVD

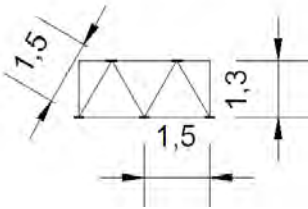
Area	Kedalaman PVD (m)	Panjang (m)	Lebar (m)	Luas (m <sup>2</sup> )
Zona A	22,5	228,95	728,95	166893
Zona B	17,5	350	728,95	255132,5
Zona C1	13,5	2107	378,5	797499,5
Zona C2	13,5	578,5	350	202475
Zona D	12,5	1027	577	592579

(Sumber: Hasil Analisa)

Dari Gambar 5.14a dan Gambar 5.14b diperoleh luasan pemasangan setiap 5 PVD. Pada pemasangan PVD pola segitiga dengan jarak 1 m, diperoleh hasil bahwa terdapat 5 titik pemasangan PVD setiap luasan :  $2 \text{ m} \times 0,87 \text{ m} = 1,74 \text{ m}^2$ . Sedangkan pada pemasangan PVD pola segitiga dengan jarak 1,5 m, diperoleh hasil bahwa terdapat 5 titik pemasangan PVD setiap luasan :  $3 \text{ m} \times 1,3 \text{ m} = 3,9 \text{ m}^2$



**Gambar 5.14a** Ukuran pemasangan PVD jarak 1 m



**Gambar 5.14b** Ukuran pemasangan PVD jarak 1,5 m

Oleh karena itu, kebutuhan PVD dapat dihitung seperti diberikan pada Tabel 5.14.

**Tabel 5.14** Perhitungan Panjang Kebutuhan PVD

Area	Luas Area (m <sup>2</sup> )	Luas pemasangan 5	Jumlah titik pemasangan PVD	Kedalaman PVD (m)	Panjang Kebutuhan PVD (m)
A	B	C	D=B/(C*5)	E	F=D*E
Zona A	166893	3.9	8559	22.5	192569
Zona B	255132.5	3.9	13084	17.5	228965
Zona C1	797499.5	1.74	91667	13.5	1237499
Zona C2	202475	1.74	23273	13.5	314185
Zona D	592579	1.74	68113	12.5	851407
				TOTAL	2824625

(Sumber: Hasil Analisa)

Berdasarkan brosur CE Teau Drain, panjang PVD setiap kontainer 40 TEUs adalah 125.000 m. Oleh karena itu dibutuhkan 23 kontainer PVD.

### 5.9.3 *Geotextile*

Perkuatan dengan *Geotextile* direncanakan hanya pada sisi barat, utara dan timur. Apabila dihitung secara total kebutuhan *geotextile* di semua sisi maka didapatkan 5.250.400 m<sup>2</sup>. Sesuai brosur HUESKER STABILENKA dari Geotech jumlah tersebut sama dengan 5.251 *roll geotextile woven*.

**Tabel 5.15** Perhitungan Luas Kebutuhan *Geotextile*

Area	Geotekstil per meter (m)	Panjang area yang dipasang Geotekstil (m)	Luas (m <sup>2</sup> )
A	B	C	D=B*C
Zona A	1606	200	321200
Zona B	1006	350	352100
Zona C	1387	2750	3814250
Zona D	1387	550	762850
		Total	5250400

### 5.9.4 *Micropile*

Perkuatan dengan *Micropile* direncanakan pada sisi utara dan timur. Perhitungan kebutuhan *micropile* pada bab 5.7 dengan menganggap tidak ada perkuatan *geotextile*. Sehingga perhitungan kebutuhan *micropile* seluruhnya sesuai perhitungan adalah 88.500 buah CSP dengan diameter 600.

### 5.9.5 *Sheetpile*

Berdasarkan perhitungan pada sub bab 5.8 dan 5.9, diperoleh hasil sebagai berikut :

Panjang <i>sheetpile</i> berangker	= 39 m
Panjang angker	= 65.47 m
Dimensi Angker	= 1,75 x 10 m <sup>1</sup>
Tipe <i>sheet pile</i>	= Steel Pipe Piles
Outside Diameter	= 1110 mm
Wall thick	= 19 mm

$$\text{Section modulus} = 171 \times 102 = 17442 \text{ cm}^3$$

Pemasangan *sheetpile* dilaksanakan pada sisi selatan sepanjang 2050 m. Jarak antar angker adalah 2 m. Kebutuhan jumlah ( $n$ ) *sheetpile* dapat diketahui dengan membagi panjang area pemasangan dengan diameter *sheetpile*.

$$n = 2050 / 1.1$$

$$= 1864 \text{ buah}$$

$$L = 39 \text{ m}$$

$$W = 506 \text{ kg/m} = 0.506 \text{ ton}$$

$$W_{\text{total}} = W \times n \times L$$

$$= 506 \times 1864 \times 39$$

$$= 36595.54 \text{ ton}$$

## 5.10 Perhitungan Biaya

Setelah volume tiap item diketahui, kemudian dihitung biaya dengan mengalikan volume dan harga per satuan volume. Berdasarkan hasil perhitungan biaya, perkuatan timbunan dengan menggunakan geotekstil lebih murah dibandingkan dengan cerucuk pada area yang sama. Didapatkan biaya total proyek (material pokok saja) adalah sebesar Rp. 3.462.841.272.690,00

**Tabel 5.16** Perhitungan Biaya

No	Item	Volume Item	Satuan	Harga Rp per Satuan	Harga
1	Urugan Tanah	35958963	m3	Rp80,000.00	Rp2,876,717,040,000.00
2	PVD	2824625	m	Rp17,000.00	Rp48,018,625,000.00
3	Geotekstile				
	Sisi Barat	1158750	m2	Rp30,000.00	Rp34,762,500,000.00
	Sisi Utara	2843350	m2	Rp30,000.00	Rp85,300,500,000.00
	Sisi Timur	1248300	m2	Rp30,000.00	Rp37,449,000,000.00
4	Micropile				
	Sisi Utara	61500	buah	Rp6,700,000.00	Rp412,050,000,000.00
	Sisi Timur	27000	buah	Rp6,700,001.00	Rp180,900,027,000.00
5	Sheetpile	36595.5392	ton	Rp10,400,000.00	Rp380,593,607,680.00
TOTAL					Rp3,462,841,272,680.00

## DAFTAR PUSTAKA

- Das, Braja M. 1988. *Mekanika Tanah: Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknik jilid 1*. Diterjemahkan oleh Noor Endah dan Indrasurya B.M. Surabaya: Erlangga.
- Das, Braja M. 1988. *Mekanika Tanah: Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknik jilid 2*. Diterjemahkan oleh Noor Endah dan Indrasurya B.M. Surabaya: Erlangga.
- Mochtar, Noor Endah. 2012. *Modul Ajar Metode Perbaikan Tanah*. Surabaya: Jurusan Teknik Sipil FTSP-ITS.
- Naval Facilities. 1971. *Design Manual: Foundations, and Earth Structures (NAVFAC DM-7)*. Alexandria: US Department of the Navy.

**Halaman ini sengaja dikosongkan**

## **BAB VI**

### **KESIMPULAN**

#### **6.1 Kesimpulan**

Dalam perencanaan Tugas Akhir ini didapatkan beberapa kesimpulan yaitu :

1. Settlement terjadi dibagi menjadi lima Zona yang memiliki besar settlement yang berbeda. Settlement yang terjadi pada Zona A adalah 4.3 m, pada Zona B 3.3 m, pada Zona C 3 m, dan pada Zona D 3 m.
2. Tinggi timbunan awal yang dibutuhkan pada Zona A adalah 19,3 m, pada Zona B setinggi 18,3 m, pada Zona C setinggi 19 m dan pada Zona D setinggi 18 m. Timbunan awal tersebut sudah termasuk beban *surcharge* setinggi 5,5 m yang setara dengan 6 tiers kontainer 20 TEUs dengan  $q_{\text{surcharge}}=9,75 \text{ t/m}^2$ . Beban *surcharge* akan dibongkar setelah pemampatan mencapai 90% ( $U=90\%$ ). Waktu tersingkat yang dibutuhkan untuk mencapai derajat konsolidasi 90% ( $U=90\%$ ) dari tiga Zona adalah 119,56 tahun pada Zona A. Waktu tersebut sangat lama, sehingga dibutuhkan perencanaan *Prefabricated Vertical Drain* (PVD) untuk percepatan waktu konsolidasi.
3. Dengan kecepatan penimbunan 50 cm/minggu, dan kecepatan penimbunan tersebut dimulai setelah elevasi timbunan sejajar dengan rata rata muka air laut didapatkan waktu yang dibutuhkan untuk penimbunan bertahap pada Zona A adalah 29 minggu, pada Zona B selama 27 minggu, pada Zona C selama 26 minggu dan pada Zona D selama 26 minggu. Sedangkan PVD hanya berfungsi maksimal selama 24 minggu (6 bulan). Sehingga dengan waktu 24 minggu, untuk mencapai derajat konsolidasi 90% ( $U=90\%$ ). Didapatkan pemasangan PVD pola segitiga dengan jarak 1,5 m pada zona A dan B. sedangkan pada zona C dan D didapatkan PVD pemasangan pola segitiga dengan jarak 1 m. Untuk kedalaman PVD pada zona A 22.5 m, pada Zona B 18.75 m, pada Zona C 13.5 m, dan pada Zona D 12.5 m.



4. Dibutuhkan *geotextile* sebanyak 42 lapis untuk Zona A, 32 lapis untuk Zona B dan 37 lapis untuk Zona C dan Zona D. *Geotextile* dipasang dengan jarak layer pemasangan 0,25 m setelah ketinggian  $H_w$  pada masing-masing Zona. Sedangkan untuk perkuatan menggunakan cerucuk hanya digunakan pada sisi utara dan timur, setelah dihitung sesuai dengan hasil program bantu DXSTABL didapatkan kebutuhan cerucuk 30 buah/meter. Sebagai struktur pelindung timbunan pada sisi selatan digunakan *sheetpile* baja. *Sheetpile* dihitung dengan angker. Untuk turap baja dengan angker digunakan Steel Pipe Piles dengan diameter 2000 mm dan dipancang sedalam 37.5 m, dengan panjang angker 65 m berdiameter 28 cm. Angker dipasang setiap *sheetpile* dengan Pipa Baja berdiameter 1500 dan tebal 22 mm yang dipancang sedalam 26 m sebagai profil penahan angkur.
5. Dari hasil perhitungan volume didapatkan volume tanah urug yang dibutuhkan pada proyek reklamasi ini adalah 35.958.963 m<sup>3</sup>. Panjang PVD yang dibutuhkan adalah 2.824.625 m atau sebanyak 23 kontainer 40 TEUs. *Geotextile* yang dibutuhkan adalah 5.250.400 m<sup>2</sup> atau sebanyak 5.251 roll *geotextile woven*. Kebutuhan *micropile* adalah 88.500 buah CSP dengan diameter 600 mm. Sedangkan *Steel Pipe Piles* yang dibutuhkan sebagai *sheetpile* berjumlah 1.864 buah.
6. Berdasarkan hasil perhitungan biaya, perkuatan timbunan dengan menggunakan geotekstil lebih murah dibandingkan dengan cerucuk pada area yang sama. Sehingga *geotextile* dipilih sebagai perkuatan pada sisi utara dan timur. Didapatkan biaya total proyek dari item urugan tanah, PVD, *Geotextile*, dan *Sheetpile* adalah sebesar Rp. 3.462.841.272.680,00

## 6.2 Saran

Setelah dilakukan perhitungan dan analisa, penulis memberikan saran yaitu :

1. Perencanaan perkuatan sheetpile pada area dengan kedalaman dredging line 20,5 m biasanya akan sulit di lapangan. Selain dimensi profil sheetpile yang sangat besar, gaya angkur juga sangat besar. Oleh karena itu pada perkuatan timbunan dengan dredging line sedalam perencanaan Tugas Akhir ini disarankan menggunakan perkuatan lain seperti *Coffer Dam* atau yang lainnya.
2. Penambahan breakwater diperlukan pada area yang tidak ada penambahan area reklamasi lagi (sisi utara dan timur) sehingga dapat meredam gelombang yang mengarah ke timbunan reklamasi.

**Halaman ini sengaja dikosongkan**

## Lampiran 1 Hasil Analisa Statistika Setiap Parameter Area B-1, B-2 dan B-3

Tabel 1. Hasil analisa statistik parameter tanah Zona B-1

Data Tanah B-1	C1	C2	D								
Depth	Yt	Wc	Gs	Cc	Cv	LL	PL	LI	e	Cs	
0	-2.5	1.365063	90.69289	2.56493	0.939835	0.000421	104.2229	35.34353	0.80357	2.583086	0.29
-2.5	-5	1.365063	90.69289	2.56493	0.939835	0.000421	104.2229	35.34353	0.80357	2.583086	0.29
-5	-7.5	1.365063	90.69289	2.56493	0.939835	0.000421	104.2229	32.49647	0.811367	2.583086	0.29
-7.5	-10	1.508226	58.73704	2.56493	0.225051	0.000421	104.2229	32.49647	0.365843	1.699526	0.22
-10	-12.5	1.588058	58.73704	2.56493	0.225051	0.000421	104.2229	32.49647	0.365843	1.56382	0.21
-12.5	-15	1.588058	44.93948	2.56493	0.205635	0.000557	73.89431	34.82592	0.258868	1.340971	0.13
-15	-17.5	1.453212	44.93948	2.56493	0.205635	0.000557	73.89431	34.82592	0.258868	1.558193	0.15
-17.5	-20	1.453212	44.93948	2.56493	0.205635	0.000557	73.89431	34.82592	0.258868	1.558193	0.15
-20	-22.5	1.453212	48.9775	2.56493	0.205635	0.000557	73.89431	34.82592	0.362226	1.629465	0.15
-22.5	-25	1.542091	48.9775	2.56493	0.205635	0.000557	73.89431	34.82592	0.362226	1.477913	0.14

Tabel 2. Hasil analisa statistik parameter tanah Zona B-2

Data Tanah B-2	B										
Depth	Yt	Wc	Gs	Cc	Cv	LL	PL	LI	e	Cs	
0	-2.5	1.355972	94.62432	2.565847	0.885804	0.000546	92.49294	30.97854	1.034648	2.682792	0.28
-2.5	-5	1.355972	94.62432	2.565847	0.885804	0.000546	92.49294	30.97854	1.034648	2.682792	0.28
-5	-7.5	1.355972	94.62432	2.565847	0.758125	0.003151	80.57745	30.97854	1.283209	2.682792	0.26
-7.5	-10	1.482375	45.24421	2.550284	0.297098	0.000633	80.57745	30.97854	0.287621	1.498788	0.16
-10	-12.5	1.482375	45.24421	2.550284	0.297098	0.001073	80.57745	31.2579	0.283585	1.498788	0.16
-12.5	-15	1.482375	55.27263	2.550284	0.297098	0.001073	78.61191	31.2579	0.507132	1.671318	0.16
-15	-17.5	1.53773	55.27263	2.550284	0.297098	0.001073	78.61191	31.2579	0.507132	1.575155	0.16
-17.5	-20	1.53773	54.3465	2.518536	0.297098	0.001073	75.43815	31.2579	0.5226	1.527929	0.15
-20	-22.5	1.53773	54.3465	2.554601	0.297098	0.001073	75.43815	36.24088	0.46191	1.564128	0.15
-22.5	-25	1.53773	54.3465	2.555972	0.297098	0.001073	75.43815	36.24088	0.46191	1.565505	0.15

Tabel 3. Hasil analisa statistik nilai parameter tanah Zona B-3

Data Tanah B-3	A										
Depth	Yt	Wc	Gs	Cc	Cv	LL	PL	LI	e	Cs	
0	-2.5	1.339229	106.2525	2.554835	1.06716	0.000589	104.2229	33.95042	1.028882	2.93466	0.33
-2.5	-5	1.339229	106.2525	2.554835	1.06716	0.000589	104.2229	33.95042	1.028882	2.93466	0.33
-5	-7.5	1.339229	106.2525	2.554835	1.06716	0.000589	104.2229	33.95042	1.028882	2.93466	0.33
-7.5	-10	1.339229	71.40873	2.554835	0.375228	0.000589	104.2229	33.95042	0.533044	2.269949	0.26
-10	-12.5	1.513523	71.40873	2.554835	0.375228	0.000589	104.2229	35.4416	0.52292	1.893389	0.23
-12.5	-15	1.513523	71.40873	2.554835	0.375228	0.002478	104.2229	35.4416	0.52292	1.893389	0.23
-15	-17.5	1.513523	64.15596	2.554835	0.375228	0.002478	104.2229	35.4416	0.417474	1.770962	0.22
-17.5	-20	1.513523	64.15596	2.554835	0.319888	0.002478	73.89431	35.4416	0.746745	1.770962	0.16
-20	-22.5	1.513523	64.15596	2.554835	0.319888	0.002478	73.89431	35.4416	0.746745	1.770962	0.16
-22.5	-25	1.565194	64.15596	2.554835	0.319888	0.002478	73.89431	34.60061	0.752165	1.679484	0.15

## Lampiran 2 Brosur Spesifikasi Cerucuk Yang Dipakai

Specification of Material			
Item	Reference	Description	Specification
Aggregate	ASTM C33 - 1999 NI 2 PBI - 1971	Standard Specification for Concrete Aggregates Indonesian Concrete Code	
Cement	SNI 15-2049 - 2004	Portland Cement	Standard product type I Special order : type II or V
Admixture	ASTM C494 - 1985	Standard Specification for Chemical Admixture for Concrete	Type F : water reducing admixtures
Concrete	SNI 03-2847-2002	Indonesian Concrete Code	Compressive Strength at: 28 days : 600 kg/cm <sup>2</sup> (cube)
PC Wire	JIS G 3536 - 1999	Uncoated Stress-Relieved Steel Wire and Strand for Prestressed Concrete	SWPD 1
PC Bar	JIS G 3137 - 1994	Small Size Deformed Steel Bars for Prestressed Concrete	SBPDL 1275/1420
Spiral Wire Joint Plate	JIS G 3532 - 2000 JIS G 3101 - 2004	Low Carbon Steel Wire Rolled Steel for General Structure	SWMA / SWMP SS-400
Welding	ANSI / AWS D1.1 - 1990	Structural Welding Code-Steel	AWS A 5.1 / E 6013 NIKKO STEEL RB 26 / RD 260, LION 26, or equivalent

Classification								
Outside Diameter (mm)	Wall Thickness (mm)	Class	Concrete Cross Section (cm <sup>2</sup> )	Unit Weight (Kg/m)	Length (m)	Bending Moment		Allowable Axial Load (Ton)
						Crack (Ton.m)	Ultimate (Ton.m)	
300	60	A2 A3 B C	452	113	6 - 13	2.50	3.75	72.60
						3.00	4.50	70.75
						3.50	6.30	67.50
						4.00	8.00	65.40
350	65	A1 A3 B C	582	145	6 - 15	3.50	5.25	93.10
						4.20	6.30	89.50
						5.00	9.00	86.40
						6.00	12.00	85.00
400	75	A2 A3 B C	766	191	6 - 16	5.50	8.25	121.10
						6.50	9.75	117.60
						7.50	13.50	114.40
						9.00	18.00	111.50
450	80	A1 A2 A3 B C	930	232	6 - 16	7.50	11.25	149.50
						8.50	12.75	145.80
						10.00	15.00	143.80
						11.00	19.80	139.10
						12.50	25.00	134.90
500	90	A1 A2 A3 B C	1159	290	6 - 16	10.50	15.75	185.30
						12.50	18.75	181.70
						14.00	21.00	178.20
						15.00	27.00	174.90 →
						17.00	34.00	169.00
600	100	A1 A2 A3 B C	1571	393	6 - 16	17.00	25.50	252.70
						19.00	28.50	249.00
						22.00	33.00	243.20
						25.00	45.00	238.30
						29.00	58.00	229.50

### Lampiran 3 Brosur Spesifikasi tipe *sheetpile* yang digunakan

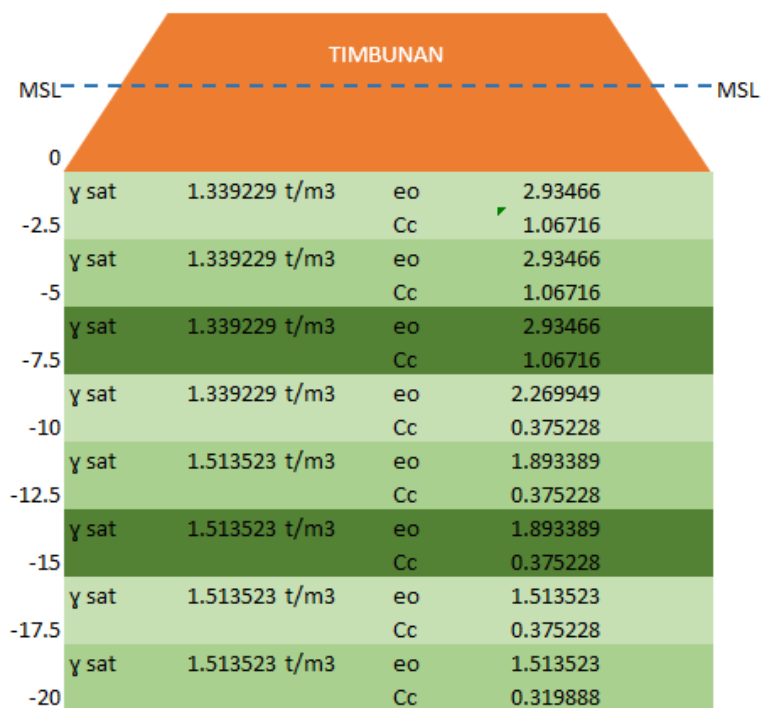
● Measurement and weight

Outside D (mm)	Wall t (mm)	Cross Sectional A (cm <sup>2</sup> )	Weight W (kg/ml)	Remarks			
				Moment of inertia I (cm <sup>4</sup> )	Modulus of Section Z (cm <sup>3</sup> )	Radius of Gyration (cm <sup>2</sup> )	Superficial Area Per Meter (m <sup>2</sup> /ml)
1110	14	477.4	375	704 x 103	138 x 102	38.4	3.46
	16	544.9	428	800 x 103	146 x 102	38.3	3.46
	19	645.3	506	943 x 103	171 x 102	38.2	3.46
1117.6	14	485.4	381	739 x 103	132 x 102	39	3.51
	16	553.7	435	840 x 103	150 x 102	39	3.51
	19	655.8	515	990 x 103	177 x 102	38.8	3.51
1200	14	521.6	409	917 x 103	153 x 102	41.9	3.77
	16	595.1	467	104 x 104	174 x 102	41.9	3.77
	19	704.9	553	123 x 104	205 x 102	41.8	3.77
1219.2	22	814.2	639	141 x 104	235 x 102	41.7	3.77
	14	530.1	416	963 x 103	158 x 102	42.6	3.83
	16	604.8	475	109 x 104	180 x 102	42.5	3.83
1300	19	716.4	562	129 x 104	212 x 102	42.4	3.83
	22	827.4	650	148 x 104	242 x 102	42.3	3.83
	16	645.4	507	133 x 104	205 x 102	45.4	4.08
1320.8	19	764.6	600	157 x 104	241 x 102	45.3	4.08
	22	883.3	693	180 x 104	278 x 102	45.2	4.08
	16	655.9	515	140 x 104	211 x 102	46.1	4.15
1400	19	777	610	165 x 104	249 x 102	46	4.15
	22	987.7	765	199 x 104	287 x 102	45.9	4.15
	16	695.7	546	167 x 104	238 x 102	48.9	4.4
1422.4	19	824.3	647	197 x 104	281 x 102	48.8	4.4
	22	952.4	748	226 x 104	323 x 102	48.7	4.4
	16	706.9	555	175 x 104	245 x 102	49.7	4.47
1500	19	837.7	658	206 x 104	290 x 102	49.6	4.47
	22	967.9	760	237 x 104	334 x 102	49.5	4.47
	19	884	694	242 x 104	323 x 102	52.4	4.71
1524	22	1021.5	802	279 x 104	372 x 102	52.3	4.71
	25	1158.5	909	315 x 104	420 x 102	52.2	4.71
	19	899.3	705	254 x 104	334 x 102	53.2	4.79
1600	22	1036.1	815	292 x 104	384 x 102	53.1	4.79
	25	1177.3	924	331 x 104	434 x 102	53	4.79
	16	796.2	625	250 x 104	312 x 102	56	5.03
1625.6	19	943.7	741	295 x 104	369 x 102	55.9	5.03
	22	1090.6	856	340 x 104	424 x 102	55.8	5.03
	25	1237	971	384 x 104	480 x 102	55.7	5.03
1800	16	809.1	635	262 x 104	322 x 102	56.9	5.11
	19	959	753	309 x 104	381 x 102	56.8	5.11
	22	1108.3	870	356 x 104	438 x 102	56.7	5.11
2000	25	1257.1	987	403 x 104	495 x 102	56.6	5.11
	19	1063.1	834	422 x 104	468 x 102	63	5.65
	22	1228.9	965	486 x 104	540 x 102	62.9	5.65
	25	1394.1	1094	549 x 104	610 x 102	62.8	5.65
	22	1367.1	1073	669 x 104	669 x 102	69.9	6.28
	25	1551.2	1218	756 x 104	756 x 102	69.8	6.28

## Lampiran 4 Brosur Spesifikasi tipe *Geotextile* yang Digunakan

PRODUCT			100g/60	120g/60	150g/60	200g/60	300g/60	400g/60	600g/60	800g/60	1000g/60
MECHANICAL	TEST	UNIT									
Ultimate tensile strength Longitudinal Transverse	EN ISO 10.319	kN/m	≥ 100 ≥ 60	≥ 120 ≥ 120	≥ 150 ≥ 45	≥ 200 ≥ 45	≥ 300 ≥ 45	≥ 400 ≥ 60	≥ 600 ≥ 60	≥ 800 ≥ 60	≥ 1000 ≥ 100
Tensile strength @ 6% strain ; Longitudinal	EN ISO 10.319	kN/m	≥ 80	—	≥ 85	≥ 120	≥ 180	≥ 230	≥ 320	≥ 460	≥ 600
Strain @ nominal tensile Strength ; longitudinal Transverse	EN ISO 10.319	%	≤ 10 ≤ 20	≤ 10 ≤ 10	≤ 10 ≤ 20	≤ 10 ≤ 20	≤ 10 ≤ 20	≤ 10 ≤ 20	≤ 10 ≤ 20	≤ 10 ≤ 20	≤ 10 ≤ 20
Creep after two years @ 50% stress ratio		%	1	1	1	1	1	1	1	1	1
HYDRAULIC											
Permeability index normal to plane Tolerance		m/s	15x10 <sup>-4</sup> - 3x10 <sup>-4</sup>	7x10 <sup>-4</sup> -1x10 <sup>-4</sup>	5x10 <sup>-4</sup> -2x10 <sup>-4</sup>	5x10 <sup>-4</sup> -2x10 <sup>-4</sup>	3x10 <sup>-4</sup> -1x10 <sup>-4</sup>	3x10 <sup>-4</sup> -1x10 <sup>-4</sup>	5x10 <sup>-4</sup> -2x10 <sup>-4</sup>	4x10 <sup>-4</sup> -1x10 <sup>-4</sup>	3x10 <sup>-4</sup> -1x10 <sup>-4</sup>
PHYSICAL											
Weight	EN ISO 9684	g / m <sup>2</sup>	~230	~400	~330	~390	~520	~605	~1010	~1360	~1800
PACKAGING											
Roll width x length	NA	m	5x300	5 x 300	5 x 300	5 x 300	5 x 300	5 x 200	5 x 200	5 x 100	5x100

**Lampiran 5** Gambar penampang tanah Zona A



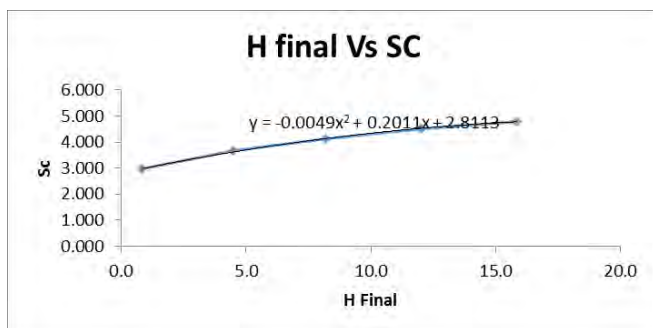


## Lampiran 6 Settlement dan Grafik hubungan Sc, Hinisial, Hfinal

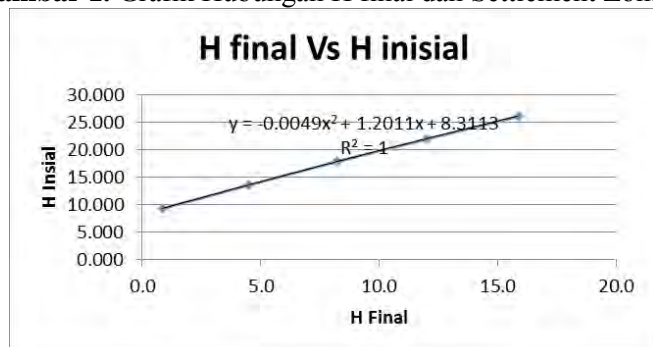
### Zona A

**Tabel 4.** Hasil Analisa H final, H inisial, dan Settlement Zona A

H timb (m)	Q timb (t/m)	Sc (m)	H inisial (m)	Hkontainer (m)	H final (m)
8.000	10.400	2.961	9.316	5.500	0.855
12.000	17.600	3.651	13.623	5.500	4.472
16.000	24.800	4.128	17.835	5.500	8.207
20.000	32.000	4.494	21.997	5.500	12.004
24.000	39.200	4.790	26.129	5.500	15.839



**Gambar 1.** Grafik Hubungan H final dan Settlement Zona A

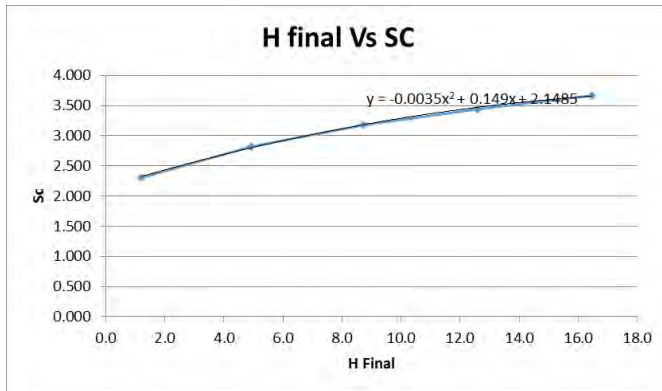


**Gambar 2.** Grafik Hubungan H final dan H inisial Zona A

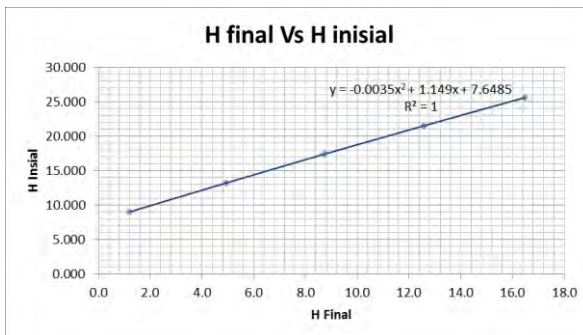
## Zona B

**Tabel 5.** Hasil Analisa H final, H inisial, dan Settlement Zona B

H timb (m)	Q timb (m)	Sc (m)	H inisial (m)	H kontainer (m)	H final
8.000	10.400	2.311	9.027	5.500	1.216
12.000	17.600	2.826	13.256	5.500	4.930
16.000	24.800	3.179	17.413	5.500	8.734
20.000	32.000	3.448	21.532	5.500	12.585
24.000	39.200	3.665	25.629	5.500	16.464



**Gambar 3.** Grafik Hubungan H final dan Settlement Zona B

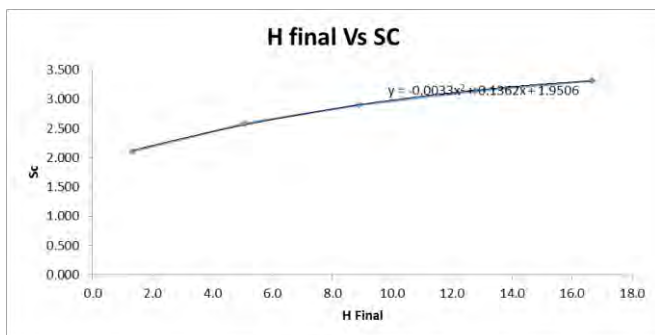


**Gambar 4.** Grafik Hubungan H final dan H inisial Zona B

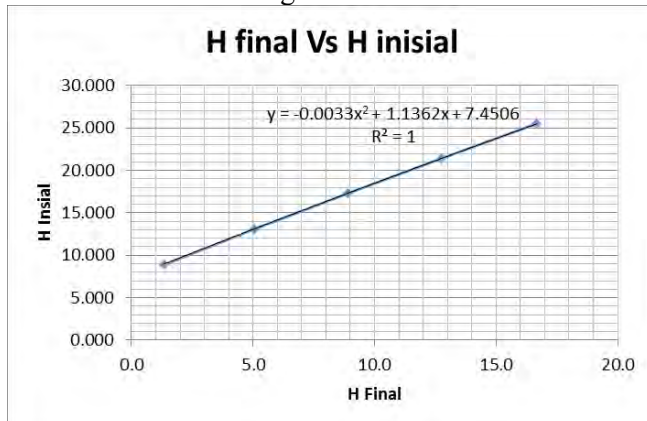
## Zona C

**Tabel 5.** Hasil Analisa H final, H inisial, dan Settlement Zona C

H timb (m)	Q timb (m)	Sc (m)	H inisial (m)	Hkontainer (m)	H final
8.000	9.600	2.112	8.939	5.500	1.327
12.000	16.800	2.584	13.149	5.500	5.064
16.000	24.000	2.898	17.288	5.500	8.890
20.000	31.200	3.132	21.392	5.500	12.760
24.000	38.400	3.320	25.476	5.500	16.655



**Gambar 5.** Grafik Hubungan H final dan Settlement Zona C

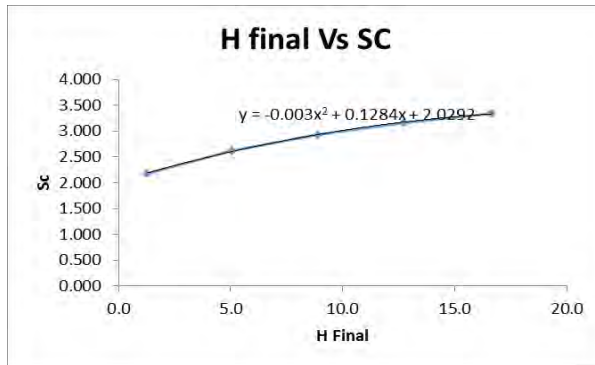


**Gambar 6.** Grafik Hubungan H final dan H inisial Zona C

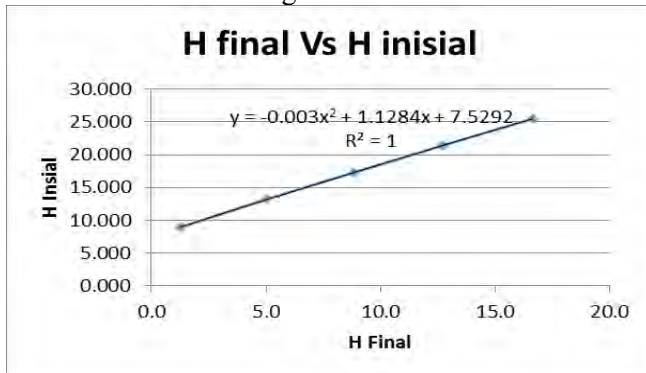
## Zona D

**Tabel 5.** Hasil Analisa H final, H inisial, dan Settlement Zona D

H timb (m)	Q timb (m)	Sc (m)	H inisial (m)	H kontainer (m)	H final
8.000	10.400	2.178	8.968	5.500	1.290
12.000	17.600	2.625	13.167	5.500	5.042
16.000	24.800	2.927	17.301	5.500	8.874
20.000	32.000	3.155	21.402	5.500	12.747
24.000	39.200	3.339	25.484	5.500	16.645



**Gambar 7.** Grafik Hubungan H final dan Settlement Zona d



**Gambar 8.** Grafik Hubungan H final dan H inisial Zona D

## Lampiran 7 Parameter tanah untuk menghitung waktu konsolidasi

### Zona B

Kedalaman	Tebal lap (m)	Cv (cm2/sec)	Z (m)	ysat (t/m3)	eo	Cc	Cs	$\sqrt{Cv}$	H/VcV	
0	-2.5	2.5	0.000545851	1.25	1.35597183	2.682791895	0.885804	0.08858	0.023363458	107.004709
-2.5	-5	2.5	0.000545851	3.75	1.35597183	2.682791895	0.885804	0.08858	0.023363458	107.004709
-5	-7.5	2.5	0.003151467	6.25	1.35597183	2.682791895	0.758125	0.075812	0.05613793	44.5331701
-7.5	-10	2.5	0.000632655	8.75	1.48237457	1.498788199	0.297098	0.02971	0.025152636	99.3931594
-10	-12.5	2.5	0.001072865	11.25	1.48237457	1.498788199	0.297098	0.02971	0.032754622	76.32510676
-12.5	-15	2.5	0.001072865	13.75	1.48237457	1.671317668	0.297098	0.02971	0.032754622	76.32510676
$\Sigma H$	15							$\Sigma \frac{Hn}{\sqrt{Cv}}$	510.585961	

$$Cv_{gabungan} = 0.000863068 \text{ cm}^2/\text{dt} = 0.052198324 \text{ m}^2/\text{minggu} = 2.714312868 \text{ m}^2/\text{th}$$

$$Ch = 2.5 C_v = 0.002589203 \text{ cm}^2/\text{dt} = 0.156594973 \text{ m}^2/\text{minggu} = 8.142938605 \text{ m}^2/\text{th}$$

Tv90% 0.848 (dari Braja M. Das, 1985)

Hdr 15 m

t90% 3655.289748 minggu **70.29403** tahun

Sc 3.300

t (tahun)	Tv	Uv (%)	Sc(m)
1	0.012	12%	0.41
2	0.024	18%	0.58
3	0.036	21%	0.71
4	0.048	25%	0.82
5	0.060	28%	0.91

### Zona C dan D

Kedalaman	Tebal lap (m)	Cv (cm2/sec)	Z (m)	γsat (t/m3)	eo	Cc	Cs	$\sqrt{C_v}$	H/VCv
0	-2.5	2.5	1.25	1.36506343	2.583085999	0.939835	0.093983	0.020528007	121.7848379
-2.5	-5	2.5	3.75	1.36506343	2.583085999	0.939835	0.093983	0.020528007	121.7848379
-5	-7.5	2.5	6.25	1.36506343	2.583085999	0.939835	0.093983	0.020528007	121.7848379
-7.5	-10	2.5	8.75	1.50822575	1.699525792	0.225051	0.022505	0.020528007	121.7848379

 $\sum H$ 

10

 $\sum \frac{Hn}{\sqrt{C_v}}$ 

487.1393517

$$\begin{aligned} \text{Cvgabungan} &= 0.000421399 \text{ cm}^2/\text{dt} = 0.025486216 \text{ m}^2/\text{minggu} = 1.325283218 \text{ m}^2/\text{th} \\ \text{Ch} &= 2 \cdot 5 \cdot \text{Cv} = 0.001264197 \text{ cm}^2/\text{dt} = 0.076458647 \text{ m}^2/\text{minggu} = 3.975849654 \text{ m}^2/\text{th} \end{aligned}$$

Tv90% 0.848 (dari Braja M. Das, 1985)

Hdr 10 m

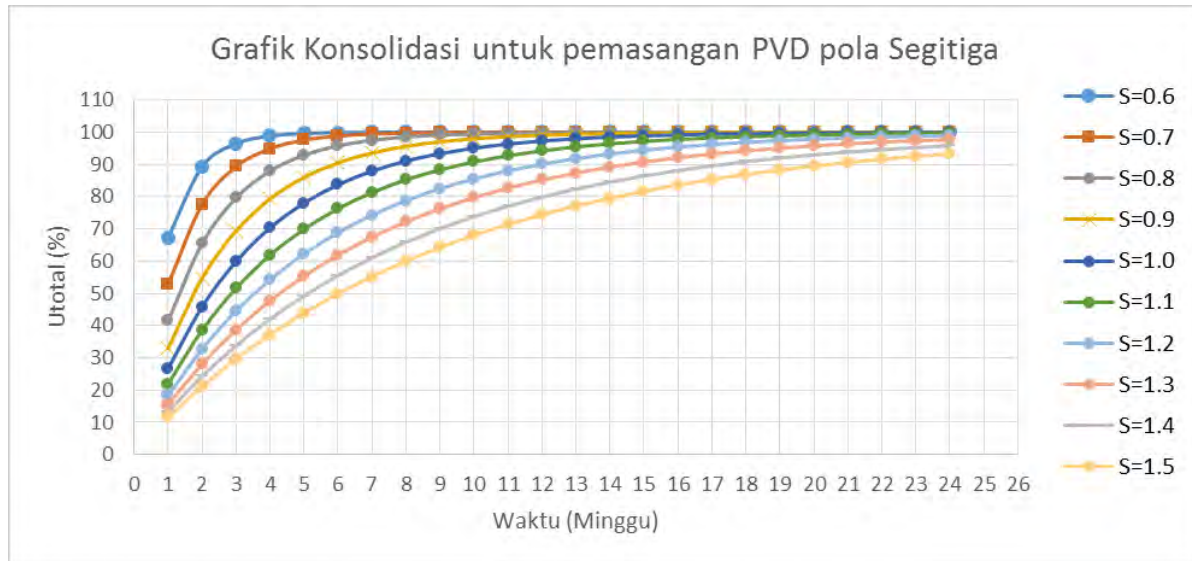
t90% 3327.288794 minggu **63.98632** tahun

Sc

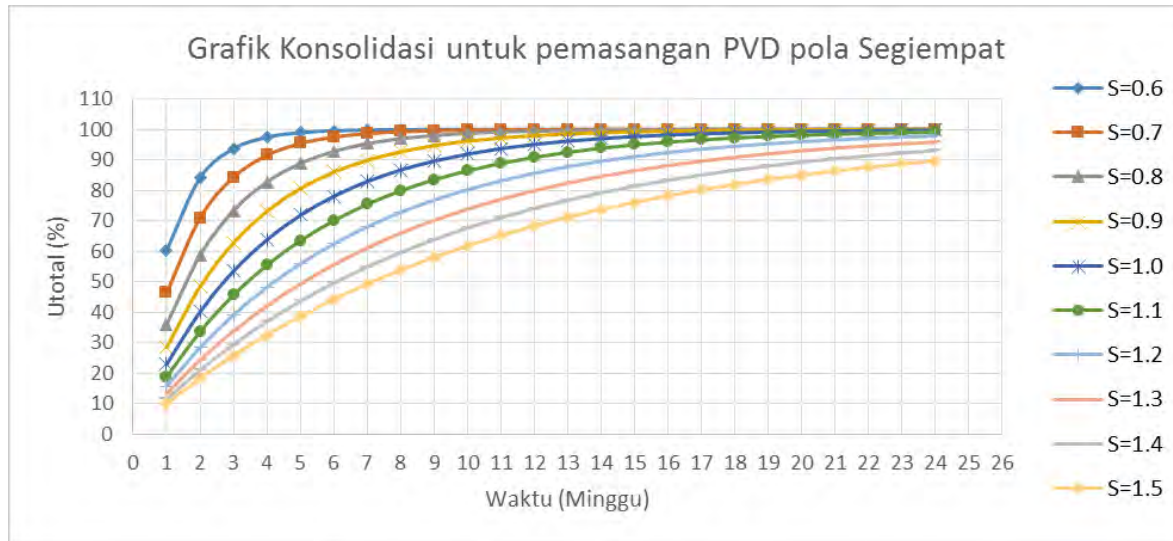
3.000

t (tahun)	Tv	Uv (%)	Sc(m)
1	0.013	13%	0.39
2	0.027	18%	0.55
3	0.040	22%	0.67
4	0.053	26%	0.78
5	0.066	29%	0.87

**Lampiran 8 Grafik** Perhitungan PVD dengan pola dan jarak bervariasi  
Zona A

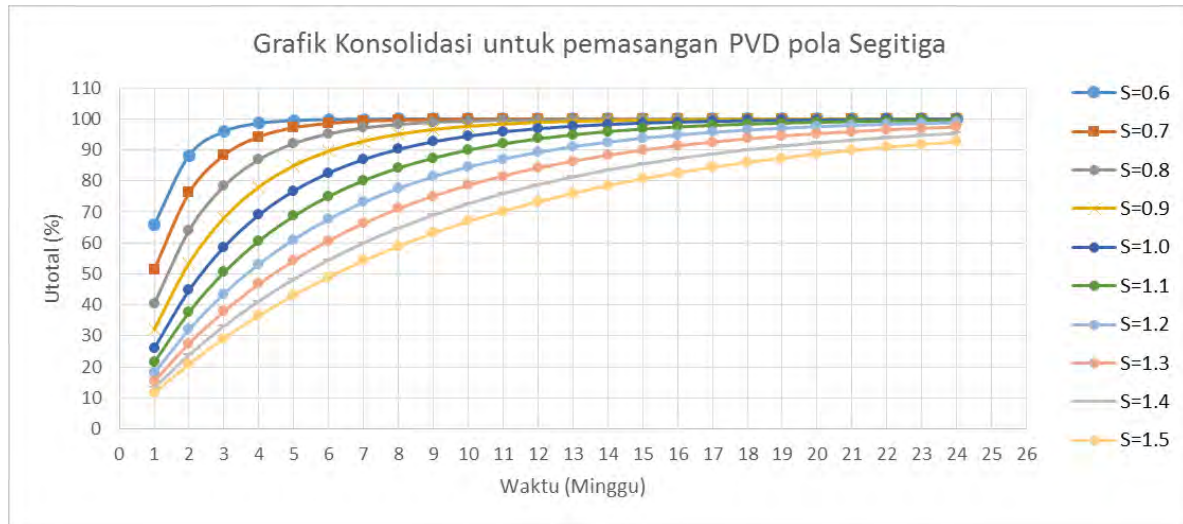


## Zona A

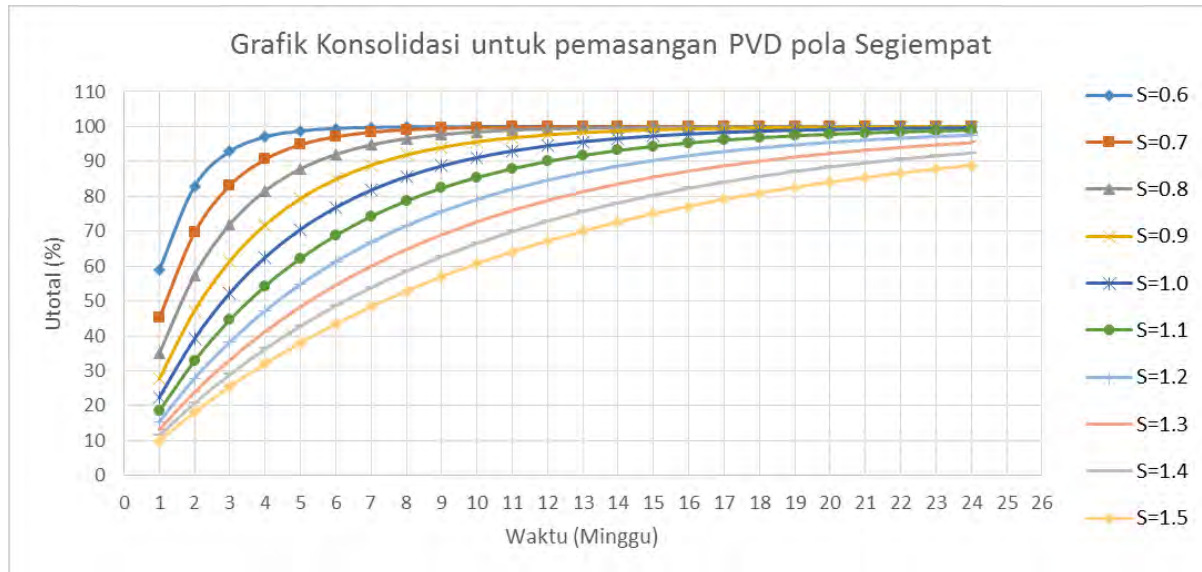




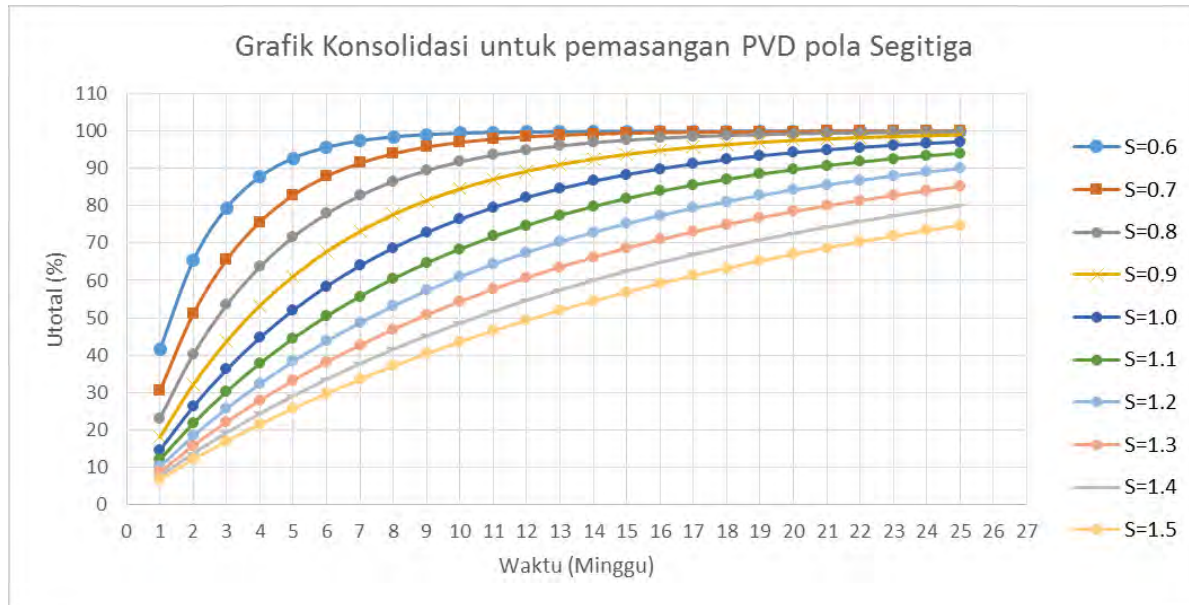
## Zona B



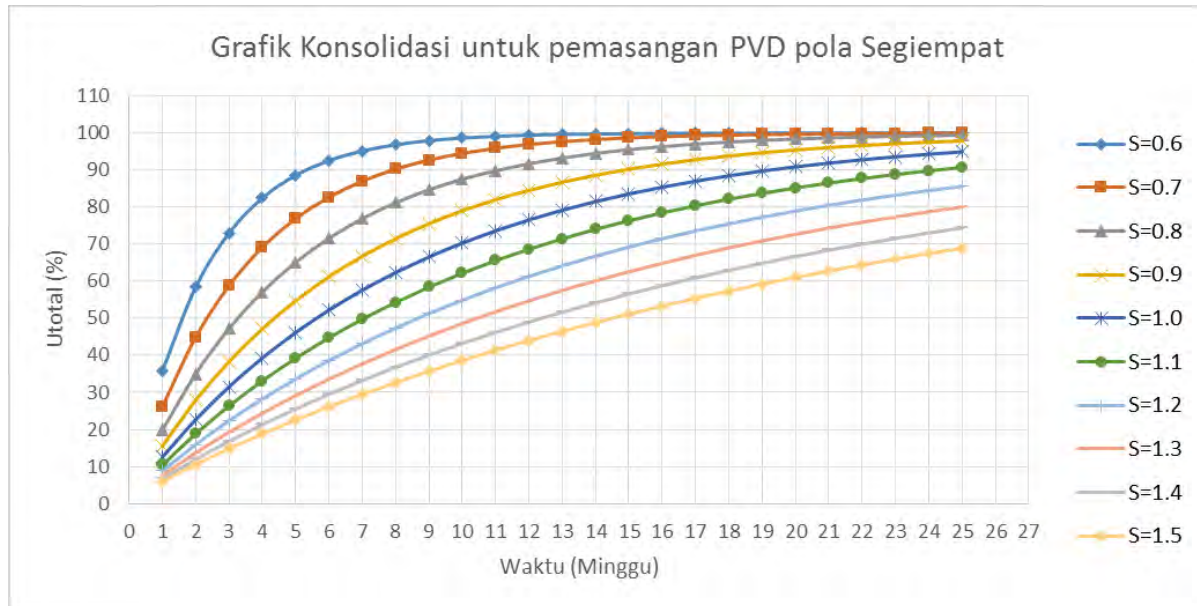
## Zona B



## Zona C dan D

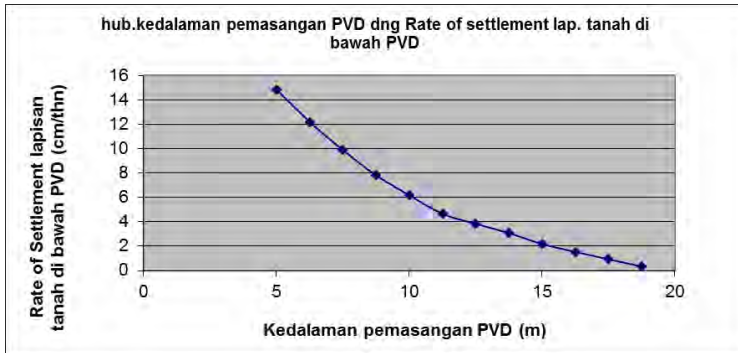


## Zona C dan D

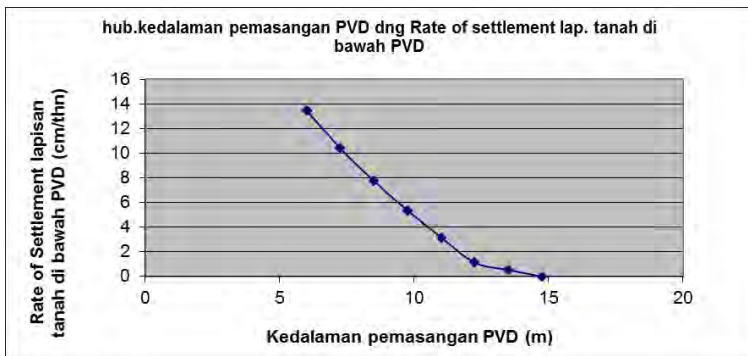


## Lampiran 9 Grafik *Rate of Settlement*

### Zona B



### Zona C dan D



## Lampiran 10 Peningkatan Cu

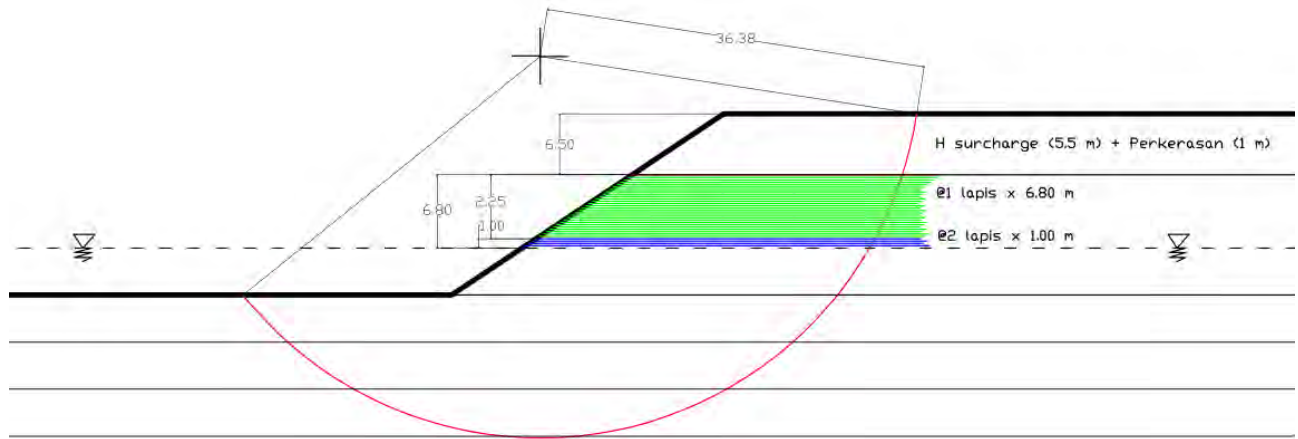
### Zona B

Kedalaman	$\Sigma\sigma'$	PI	Cu lama	Cu baru	Cu Pakai	Cu pakai
meter	kg/cm <sup>2</sup>		kg/m <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kPa
0.625	1.010	61.514	0.020	0.166	0.166	16.617
1.875	1.057	61.514	0.020	0.170	0.170	17.049
3.125	1.103	61.514	0.020	0.175	0.175	17.469
4.375	1.148	61.514	0.020	0.179	0.179	17.886
5.625	1.194	49.599	0.204	0.206	0.206	20.576
6.875	1.239	49.599	0.204	0.211	0.211	21.075
8.125	1.292	49.599	0.204	0.217	0.217	21.662
9.375	1.353	49.599	0.204	0.223	0.223	22.336
10.625	1.414	49.320	0.214	0.231	0.231	23.073
11.875	1.478	49.320	0.214	0.238	0.238	23.786
13.125	1.545	49.320	0.214	0.245	0.245	24.538
14.375	1.613	49.320	0.214	0.253	0.253	25.289

### Zona C

Kedalaman	$\Sigma\sigma'$	PI	Cu lama	Cu baru	Cu Pakai	Cu pakai
meter	kg/cm <sup>2</sup>		kg/m <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kPa
0.625	1.010	68.879	0.030	0.154	0.154	15.427
1.875	1.057	68.879	0.030	0.158	0.158	15.804
3.125	1.103	68.879	0.030	0.162	0.162	16.170
4.375	1.148	68.879	0.030	0.165	0.165	16.533
5.625	1.194	71.726	0.032	0.164	0.164	16.350
6.875	1.239	71.726	0.032	0.167	0.167	16.690
8.125	1.292	71.726	0.032	0.171	0.171	17.089
9.375	1.353	71.726	0.032	0.175	0.175	17.547
10.625	1.414	71.726	0.176	0.180	0.180	18.005
11.875	1.478	71.726	0.176	0.185	0.185	18.488
13.125	1.545	71.726	0.224	0.190	0.224	22.400
14.375	1.613	71.726	0.224	0.195	0.224	22.400

**Lampiran 11** Sketsa Geotekstil dan perhitungan  
Zona B

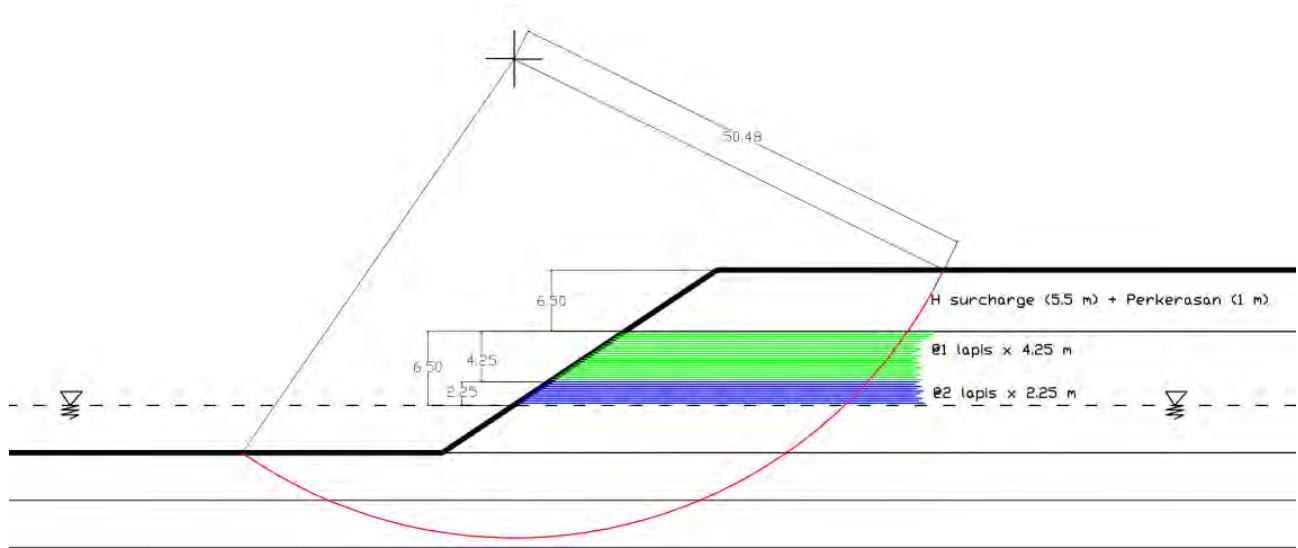


H	Ti	Jumlah	$\Delta MR$	$\Delta MR$
		lapis		komulatif
0	26.31	2	7906.837	7906.837
0.25	26.06	2	7831.705	15738.54
0.5	25.81	2	7756.574	23495.12
0.75	25.56	2	7681.443	31176.56
1	25.31	2	7606.311	38782.87
1.25	25.06	1	3765.59	42548.46
1.5	24.81	1	3728.024	46276.48
1.75	24.56	1	3690.458	49966.94
2	24.31	1	3652.893	53619.83
2.25	24.06	1	3615.327	57235.16
2.5	23.81	1	3577.761	60812.92
2.75	23.56	1	3540.195	64353.12
3	23.31	1	3502.63	67855.75
3.25	23.06	1	3465.064	71320.81
3.5	22.81	1	3427.498	74748.31
3.75	22.56	1	3389.932	78138.24
4	22.31	1	3352.367	81490.61
4.25	22.06	1	3314.801	84805.41
4.5	21.81	1	3277.235	88082.64
4.75	21.56	1	3239.669	91322.31
5	21.31	1	3202.104	94524.42
5.25	21.06	1	3164.538	97688.96
5.5	20.81	1	3126.972	100815.9
5.75	20.56	1	3089.406	103905.3
6	20.31	1	3051.841	106957.2
6.25	20.06	1	3014.275	109971.5
6.5	19.81	1	2976.709	112948.2



No	Hi	Ti	tan θ	Cu	ov	Ka	oh	t1	t2	Le	Lo	Lr	L total	Lx Jumlah Lapis
	m	m		kN/m2	kN/m2		kN/m2	kN/m2	kN/m2	m	m	m	m	m
1	13.3	26.31	0.577	0	239.4	0.577	138.218	138.218	17.565	1.567	1.000	32.98	36.000	72.000
2	13.05	26.06	0.577	0	234.9	0.577	135.620	135.620	135.620	0.900	1.000	32.605	35.000	70.000
3	12.8	25.81	0.577	0	230.4	0.577	133.022	133.022	133.022	0.918	1.000	32.23	35.000	70.000
4	12.55	25.56	0.577	0	225.9	0.577	130.423	130.423	130.423	0.936	1.000	31.855	34.000	68.000
5	12.3	25.31	0.577	0	221.4	0.577	127.825	127.825	127.825	0.955	1.000	31.48	34.000	68.000
6	12.05	25.06	0.577	0	216.9	0.577	125.227	125.227	125.227	0.975	1.000	31.105	34.000	68.000
7	11.8	24.81	0.577	0	212.4	0.577	122.629	122.629	122.629	0.996	1.000	30.73	33.000	66.000
8	11.55	24.56	0.577	0	207.9	0.577	120.031	120.031	120.031	1.017	1.000	30.355	33.000	66.000
9	11.3	24.31	0.577	0	203.4	0.577	117.433	117.433	117.433	1.040	1.000	29.98	33.000	66.000
10	11.05	24.06	0.577	0	198.9	0.577	114.835	114.835	114.835	1.063	1.000	29.605	32.000	64.000
11	10.8	23.81	0.577	0	194.4	0.577	112.237	112.237	112.237	1.088	1.000	29.23	32.000	64.000
12	10.55	23.56	0.577	0	189.9	0.577	109.639	109.639	109.639	1.114	1.000	28.855	31.000	62.000
13	10.3	23.31	0.577	0	185.4	0.577	107.041	107.041	107.041	1.141	1.000	28.48	31.000	62.000
14	10.05	23.06	0.577	0	180.9	0.577	104.443	104.443	104.443	1.169	1.000	28.105	31.000	62.000
15	9.8	22.81	0.577	0	176.4	0.577	101.845	101.845	101.845	1.199	1.000	27.73	30.000	60.000
16	9.55	22.56	0.577	0	171.9	0.577	99.247	99.247	99.247	1.230	1.000	27.355	30.000	60.000
17	9.3	22.31	0.577	0	167.4	0.577	96.648	96.648	96.648	1.263	1.000	26.98	30.000	60.000
18	9.05	22.06	0.577	0	162.9	0.577	94.050	94.050	94.050	1.298	1.000	26.605	29.000	58.000
19	8.8	21.81	0.577	0	158.4	0.577	91.452	91.452	91.452	1.335	1.000	26.23	29.000	58.000
20	8.55	21.56	0.577	0	153.9	0.577	88.854	88.854	88.854	1.374	1.000	25.855	29.000	58.000
21	8.3	21.31	0.577	0	149.4	0.577	86.256	86.256	86.256	1.415	1.000	25.48	28.000	56.000
22	8.05	21.06	0.577	0	144.9	0.577	83.658	83.658	83.658	1.459	1.000	25.105	28.000	56.000
23	7.8	20.81	0.577	0	140.4	0.577	81.060	81.060	81.060	1.506	1.000	24.73	28.000	56.000
24	7.55	20.56	0.577	0	135.9	0.577	78.462	78.462	78.462	1.556	1.000	24.355	27.000	54.000
25	7.3	20.31	0.577	0	131.4	0.577	75.864	75.864	75.864	1.609	1.000	23.98	27.000	54.000
26	7.05	20.06	0.577	0	126.9	0.577	73.266	73.266	73.266	1.666	1.000	23.605	27.000	54.000
27	6.8	19.81	0.577	0	122.4	0.577	70.668	70.668	70.668	1.728	1.000	23.23	26.000	52.000
												total	832.000	1006.000

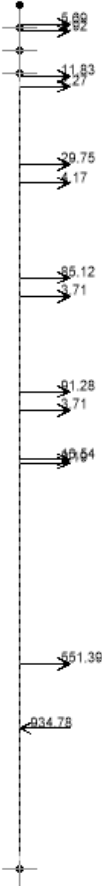
## Zona C dan D



H	Ti	Jumlah	$\Delta MR$	$\Delta MR$
		lapis		komulatif
0	41.52	2	12477.84	12477.83621
0.25	41.27	2	12402.7	24880.54095
0.5	41.02	2	12327.57	37208.1142
0.75	40.77	2	12252.44	49460.55597
1	40.52	2	12177.31	61637.86627
1.25	40.27	2	12102.18	73740.04508
1.5	40.02	2	12027.05	85767.09241
1.75	39.77	2	11951.92	97719.00826
2	39.52	2	11876.78	109595.7926
2.25	39.27	2	11801.65	121397.4455
2.5	39.02	1	5863.261	127260.7062
2.75	38.77	1	5825.695	133086.4012
3	38.52	1	5788.129	138874.5304
3.25	38.27	1	5750.563	144625.0939
3.5	38.02	1	5712.998	150338.0917
3.75	37.77	1	5675.432	156013.5237
4	37.52	1	5637.866	161651.3899
4.25	37.27	1	5600.301	167251.6905
4.5	37.02	1	5562.735	172814.4252
4.75	36.77	1	5525.169	178339.5943
5	36.52	1	5487.603	183827.1976
5.25	36.27	1	5450.038	189277.2352
5.5	36.02	1	5412.472	194689.707
5.75	35.77	1	5374.906	200064.6131
6	35.52	1	5337.34	205401.9534
6.25	35.27	1	5299.775	210701.728
6.5	35.02	1	5262.209	215963.9369

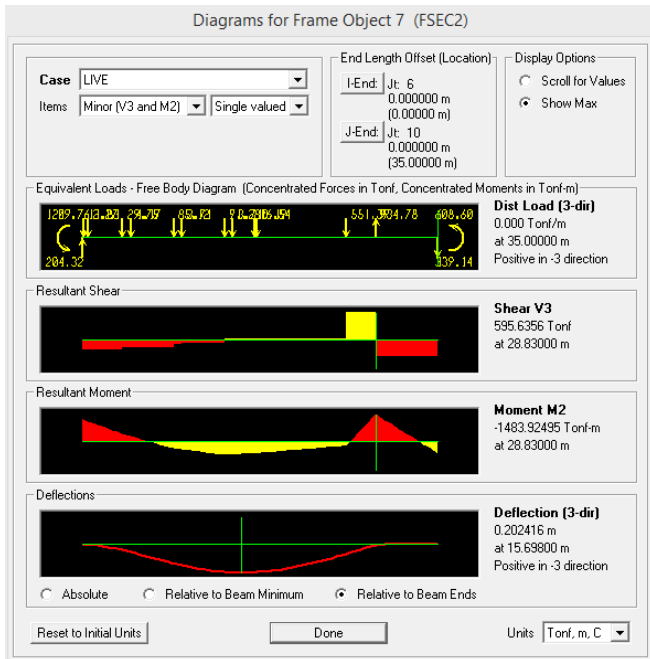
No	Hi m	Ti m	tan $\theta$	Cu kN/m <sup>2</sup>	$\sigma_v$ kN/m <sup>2</sup>	Ka	oh kN/m <sup>2</sup>	$\tau_1$ kN/m <sup>2</sup>	$\tau_2$ kN/m <sup>2</sup>	Le m	Lo m	Lr m	L total m	L x Jumlah lapis m
1	13	41.52	0.577	0	234	0.577	135.100	135.100	12.889	1.650	1.000	38.75	42.000	84.000
2	12.75	41.27	0.577	0	229.5	0.577	132.502	132.502	132.502	0.921	1.000	38.375	41.000	82.000
3	12.5	41.02	0.577	0	225	0.577	129.904	129.904	129.904	0.940	1.000	38	40.000	80.000
4	12.25	40.77	0.577	0	220.5	0.577	127.306	127.306	127.306	0.959	1.000	37.625	40.000	80.000
5	12	40.52	0.577	0	216	0.577	124.708	124.708	124.708	0.979	1.000	37.25	40.000	80.000
6	11.75	40.27	0.577	0	211.5	0.577	122.110	122.110	122.110	1.000	1.000	36.875	39.000	78.000
7	11.5	40.02	0.577	0	207	0.577	119.512	119.512	119.512	1.022	1.000	36.5	39.000	78.000
8	11.25	39.77	0.577	0	202.5	0.577	116.913	116.913	116.913	1.044	1.000	36.125	39.000	78.000
9	11	39.52	0.577	0	198	0.577	114.315	114.315	114.315	1.068	1.000	35.75	38.000	76.000
10	10.75	39.27	0.577	0	193.5	0.577	111.717	111.717	111.717	1.093	1.000	35.375	38.000	76.000
11	10.5	39.02	0.577	0	189	0.577	109.119	109.119	109.119	1.119	1.000	35	38.000	38.000
12	10.25	38.77	0.577	0	184.5	0.577	106.521	106.521	106.521	1.146	1.000	34.625	37.000	37.000
13	10	38.52	0.577	0	180	0.577	103.923	103.923	103.923	1.175	1.000	34.25	37.000	37.000
14	9.75	38.27	0.577	0	175.5	0.577	101.325	101.325	101.325	1.205	1.000	33.875	37.000	37.000
15	9.5	38.02	0.577	0	171	0.577	98.727	98.727	98.727	1.237	1.000	33.5	36.000	36.000
16	9.25	37.77	0.577	0	166.5	0.577	96.129	96.129	96.129	1.270	1.000	33.125	36.000	36.000
17	9	37.52	0.577	0	162	0.577	93.531	93.531	93.531	1.305	1.000	32.75	36.000	36.000
18	8.75	37.27	0.577	0	157.5	0.577	90.933	90.933	90.933	1.343	1.000	32.375	35.000	35.000
19	8.5	37.02	0.577	0	153	0.577	88.335	88.335	88.335	1.382	1.000	32	35.000	35.000
20	8.25	36.77	0.577	0	148.5	0.577	85.737	85.737	85.737	1.424	1.000	31.625	35.000	35.000
21	8	36.52	0.577	0	144	0.577	83.138	83.138	83.138	1.468	1.000	31.25	34.000	34.000
22	7.75	36.27	0.577	0	139.5	0.577	80.540	80.540	80.540	1.516	1.000	30.875	34.000	34.000
23	7.5	36.02	0.577	0	135	0.577	77.942	77.942	77.942	1.566	1.000	30.5	34.000	34.000
24	7.25	35.77	0.577	0	130.5	0.577	75.344	75.344	75.344	1.620	1.000	30.125	33.000	33.000
25	7	35.52	0.577	0	126	0.577	72.746	72.746	72.746	1.678	1.000	29.75	33.000	33.000
26	6.75	35.27	0.577	0	121.5	0.577	70.148	70.148	70.148	1.740	1.000	29.375	33.000	33.000
27	6.5	35.02	0.577	0	117	0.577	67.550	67.550	67.550	1.807	1.000	29	32.000	32.000
												total	991.000	1387.000

**Lampiran 12** Hasil Analisa SAP2000 Perhitungan Defleksi Sheetpile



Gambar plot Gaya pada Sheetpile di SAP2000

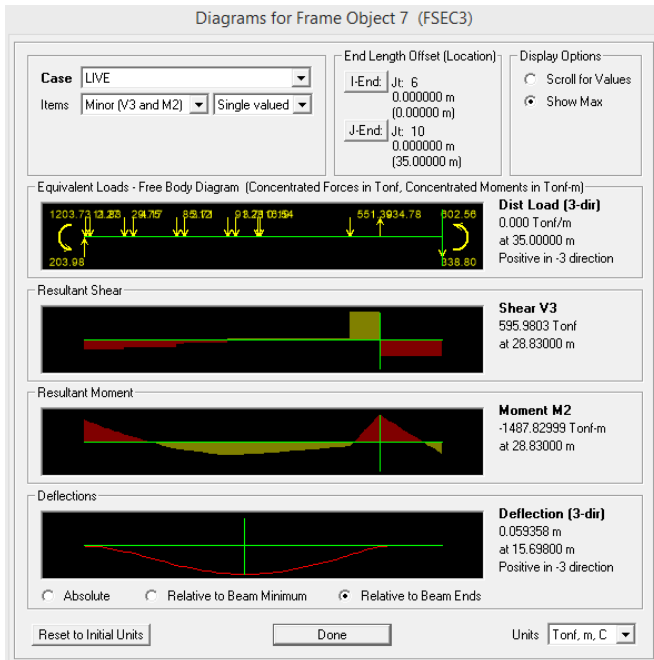
1. Dicoba memakai Pipa Baja dengan **Diameter 1110 mm** dan **thickness 19 mm**



Didapatkan hasil analisa SAP 2000

**Defleksi = 0.2 m = 200 mm**

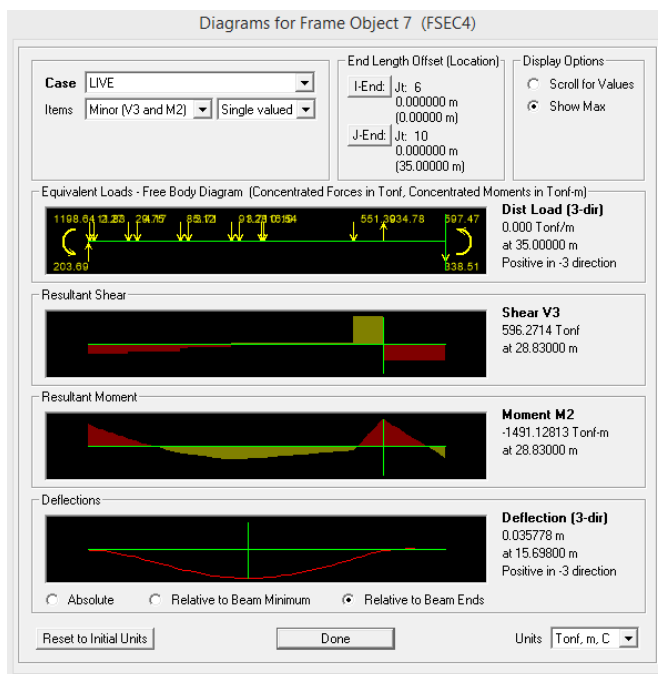
## 2. Dicoba Pipa Baja dengan **Diameter 1524 mm dan thickness 25 mm**



Didapatkan hasil analisa SAP 2000

**Defleksi = 0.06 m = 60 mm**

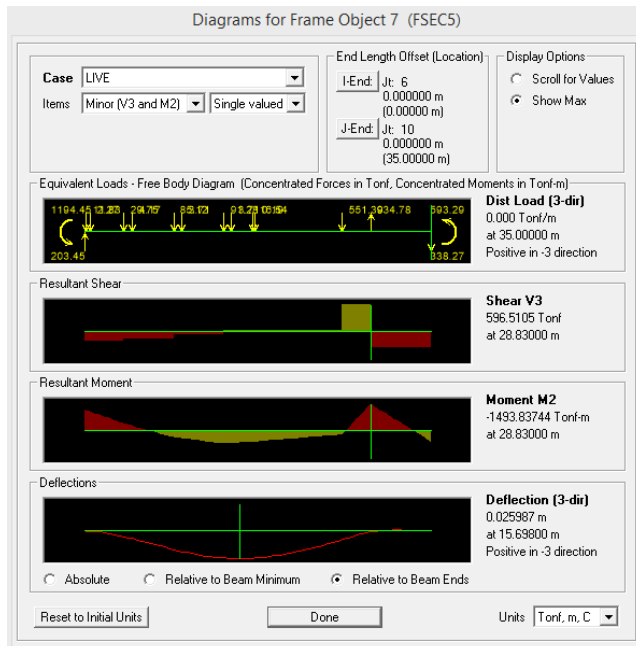
### 3. Dicoba Pipa Baja dengan **Diameter 1800 mm dan thickness 25 mm**



Didapatkan hasil analisa SAP 2000 **Defleksi = 0.036 m = 36 mm**



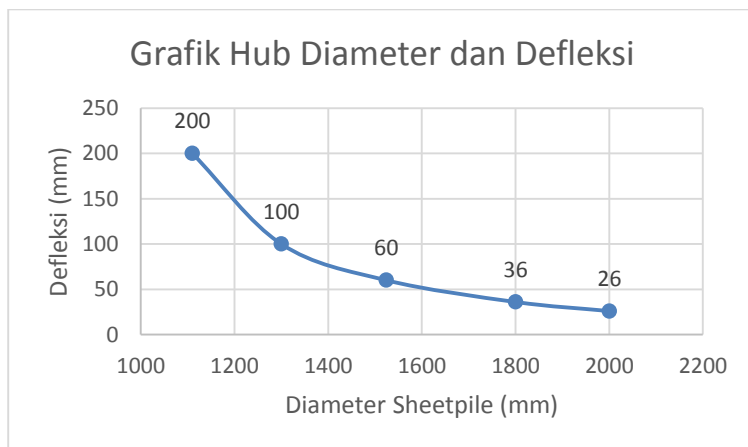
#### 4. Dicoba Pipa Baja dengan **Diameter 2000 mm dan thickness 25 mm**



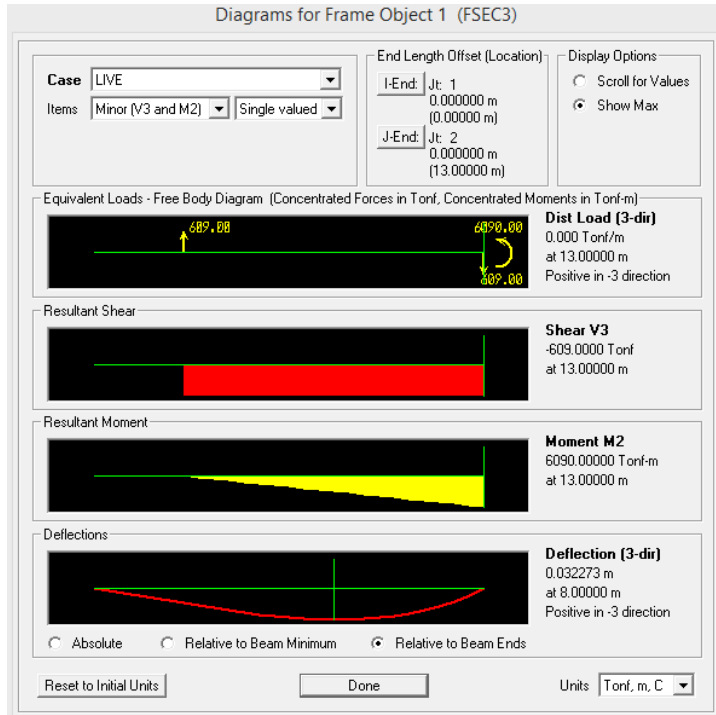
Didapatkan hasil analisa SAP 2000 Defleksi = **0.026 m = 26 mm**

### Rangkuman Hasil Perhitungan

<b>Diameter (mm)</b>	1110	1300	1524	1800	2000
<b>Thickness (mm)</b>	19	22	25	25	25
<b>Moment (Ton.m)</b>	1484	1485	1488	1491	1494
<b>Defleksi (mm)</b>	200	100	60	36	26



### Lampiran 13. Hasil Analisa SAP2000 Perhitungan Defleksi Pipa Baja sebagai Angkur



Dari hasil analisa didapatkan momen sebesar 6090 T.m digunakan profil pipa baja 1500 mm dan *thickness* 22 mm.

**Lampiran 12** Data Tanah, Layout Titik Bor, Stratigrafi dan Bathymetri

**Lampiran Berikut seperti terlampir di halaman selanjutnya**



FINAL PROJECT - RC14 1501

**DESIGN OF SOIL IMPROVEMENT IN THE BOTTOM OF  
LAND RECAMATION AND ITS EMBANKMENT  
AT TERMINAL NEW PRIOK, KALIBARU,  
JAKARTA UTARA**

**AHMAD ADAM YULIAN**  
NRP. 3111 100 074

Promotor :  
Prof. Ir. Noor Endah, MSc, PhD.  
Putu Tantri Kumalasari, ST, MT.

Civil Engineering Department  
Faculty of Civil Engineering and Planning  
Sepuluh Nopember Institute of Technology  
Surabaya 2015

**PERENCANAAN PERBAIKAN TANAH DI DASAR  
LAHAN REKLAMASI DAN TANGGUL REKLAMASINYA  
PADA TERMINAL NEW PRIOK, KALIBARU,  
JAKARTA UTARA**

**Nama** : Ahmad Adam Yulian  
**NRP** : 3111100074  
**Jurusan** : Teknik Sipil FTSP – ITS  
**Dosen Pembimbing** : Prof. Ir. Noor Endah, MSc, PhD.  
Putu Tantri Kumalasari, ST, MT.

**Abstrak**

*Indonesia Port Company (IPC) atau PELINDO II merupakan salah satu perusahaan Badan Usaha Milik Negara (BUMN) bergerak dalam bidang industri pelabuhan. IPC mendapat banyak tantangan dalam merespon peluang untuk menjadi Perusahaan Pelabuhan Internasional pertama di Indonesia. Tantangan – tantangan tersebut meliputi kemacetan di pelabuhan utama Tanjung Priok dan perubahan dinamika pasar yang semakin membutuhkan efisiensi yang tinggi. IPC telah mengembangkan rencana strategis jangka panjang untuk menjawab tantangan – tantangan tersebut. Salah satu jawabannya adalah dengan dibangunnya Terminal Newpriok. Dengan adanya Terminal Newpriok pada pelabuhan Tanjung Priok akan dapat mengakomodir 18 Juta TEUs per tahun pada tahun 2023. Terminal Newpriok bertempat di Kalibaru Utara, Cilincing, Jakarta Utara. Dalam perencanaannya, area container yard 1B menggunakan lahan reklamasi. Area yang di reklamasi berukuran 900 m x 2050 m. Berdasarkan proses penyelidikan tanah meliputi hasil boring log dan N-SPT, area reklamasi akan dibangun diatas tanah yang sangat lunak. Lapisan tanah lunak mempunyai sifat yang cenderung compressible (mudah memampat), tahanan geser rendah, permeabilitas rendah, dan daya dukung rendah. Kemudian dalam perencanaannya, H final yang akan digunakan adalah 4,5 meter. Hal – hal inilah yang menjadi problem utama*

*dalam perencanaan reklamasi dan harus diatasi dengan dilakukan perbaikan tanah.*

*Perbaikan tanah yang mudah dan ekonomis untuk reklamasi adalah metode preloading. Sistem preloading adalah metode yang digunakan untuk meningkatkan daya dukung tanah dengan memberi beban awal yang dilakukan secara bertahap. Dengan kecilnya permeabilitas tanah lunak dalam mengalirkan air pori, dalam proses perbaikan tanah ini perlu mengkombinasikan antara preloading dengan PVD. Dengan pemasangan PVD akan mempercepat proses konsolidasi primer. Selain permasalahan settlement yang harus diatasi, dalam pelaksanaan reklamasi harus dipertimbangkan stabilitas dan pengaruh arus. Oleh karena itu, selain merencanakan reklamasi perlu direncanakan juga tanggul reklamasi yang berfungsi melindungi tanah timbunan dari terjangkit arus yang dapat menyebabkan kelongsoran pada timbunan tersebut.*

*Tinggi timbunan awal yang dibutuhkan pada Zona A adalah 19,3 m, pada Zona B setinggi 18,3 m, pada Zona C setinggi 19 m dan pada Zona D setinggi 18 m. Timbunan awal tersebut sudah termasuk beban surcharge setinggi 5,5 m yang setara dengan 6 tiers kontainer 20 TEUs dengan  $q_{surcharge}=9,75 \text{ t/m}^2$ . Dari hasil perhitungan volume didapatkan volume tanah urug yang dibutuhkan pada proyek reklamasi ini adalah 35.958.963 m<sup>3</sup>. Panjang PVD yang dibutuhkan adalah 2.824.625 m atau sebanyak 23 kontainer 40 TEUs. Geotextile yang dibutuhkan adalah 5.250.400 m<sup>2</sup> atau sebanyak 5.251 roll geotextile woven. Kebutuhan micropile adalah 88.500 buah CSP dengan diameter 600 mm. Sedangkan Steel Pipe Piles yang dibutuhkan sebagai sheeppile berjumlah 1.864 buah. Dengan total biaya yang dibutuhkan Rp. 3.462.841.272.690,00*

***Kata kunci: Reklamasi, tanah lunak, pvd, preloading, sheeppile, micropile, geotextile.***



**DESIGN OF SOIL IMPROVEMENT IN THE BOTTOM OF  
LAND RECAMATION AND ITS EMBANKMENT  
AT TERMINAL NEW PRIOK, KALIBARU,  
JAKARTA UTARA**

**Student Name** : Ahmad Adam Yulian  
**NRP** : 3111100074  
**Department** : Civil Engineering FTSP-ITS  
**Promotor** : Prof. Ir. Noor Endah, MSc, PhD.  
Putu Tantri Kumalasari, ST, MT.

**Abstract**

*Indonesia Port Company (IPC) or Pelindo II is one of the Badan Usaha Milik Negara (BUMN) engaged in the port industry. IPC got a lot of challenges in responding to the opportunity to become the first International Port Company in Indonesia. The challenges include congestion at the main port of Tanjung Priok and changing market dynamics are increasingly requiring high efficiency. IPC has developed a long-term strategic plan to address the challenge. One answer is with the construction of Terminal Newpriok. With the Terminal Newpriok at Tanjung Priok port will be able to accommodate 18 million TEUs per year on 2023. Terminal Newpriok housed in North Kalibaru, Cilincing, North Jakarta. In planning, container yard area 1B using reclamation. The reclamation area measuring 900 m x 2050 m. Based on the investigation process of soil includes the results of boring logs and N-SPT, the reclamation area will be built on very soft soil. Soft soil layers have properties that tend to be compressible (easily condenses), low shearing resistance, low permeability, and low carrying capacity. Later in planning, H-finals that will be used is 4.5 meters. All of that is the main problem in planning reclamation and must be addressed by conducting soil improvement.*

*Soil improvement that is easy and economical to reclamation is a method of preloading. Preloading system is a method used to increase the carrying capacity of the land to give*



*the initial load is done gradually. With little permeability in the soft soil pore water flow, soil improvement process is necessary to combine the preloading with PVD. With the installation of PVD will accelerate the process of consolidation of the primary. In addition to settlement problems that must be addressed, in the implementation of reclamation should be considered stability and influence the flow. Therefore, in addition to the reclamation plan should be planned well an embankment that protect land reclamation from the brunt of the current that can cause a landslide on the heap.*

*High initial heap required in Zone A was 19.3 m, in Zone B as high as 18.3 m, in Zone C as high as 19 m and in Zone D as high as 18 m. The initial heap surcharge already included loads as high as 5.5 m which is equivalent to 6 tiers of containers 20 TEU with  $Q$  surcharge = 9.75 t / m<sup>2</sup>. From the volume calculation results obtained fill soil volume needed at this reclamation project is 35,958,963 m<sup>3</sup>. PVD length required is 2,824,625 m or as many as 23 containers of 40 TEUs. Geotextile is needed is 5.2504 million or as much as 5,251 m<sup>2</sup> woven geotextile roll. Micro pile requirement is 88500 pieces with a diameter of 600 mm CSP. While Steel Pipe Piles required as sheet pile amounted to 1,864 units. With a total cost needed Rp. 3.462.841.272.690,00*

***Keywords: Reclamation, soft soil, pvd, preloading, sheetpile, micropile, geotextile.***

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan kepada Allah SWT, kami dapat menyelesaikan laporan tugas akhir dengan judul **Perencanaan Perbaikan Tanah di Bawah Tanggul Reklamasi Sisi Dalam dan Luar serta Lahan Reklamasi pada Terminal New Priok, Kalibaru, Jakarta Utara.**

Tugas Akhir ini merupakan salah satu tugas yang wajib diselesaikan oleh semua mahasiswa Program Studi S1 Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

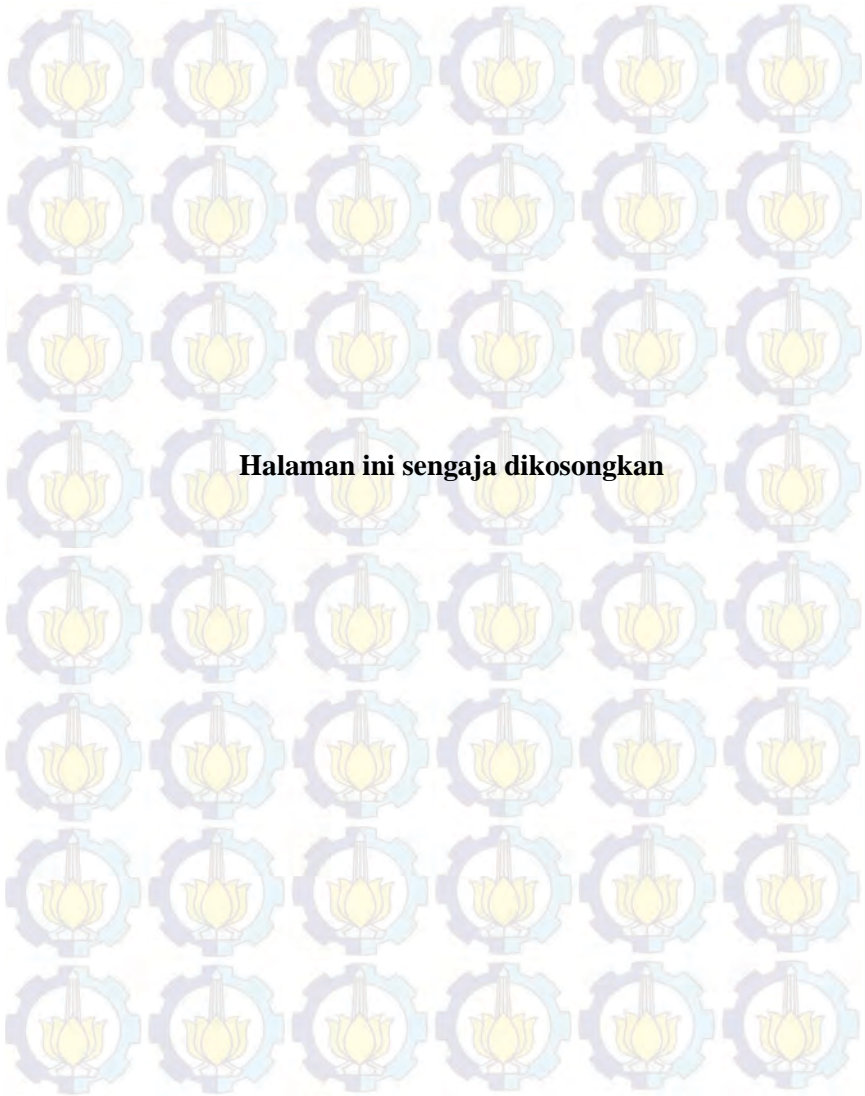
Tidak lupa kami ucapkan terima kasih kepada :

1. Ibu Prof. Ir. Noor Endah M.Sc., Ph.D selaku dosen pembimbing pertama Tugas Akhir yang tidak lelah menemani penulis menyelesaikan Tugas Akhir.
2. Ibu Putu Tantri Kumalasari, S.T, M.T selaku dosen pembimbing kedua Tugas Akhir yang tidak lelah menemani penulis menyelesaikan Tugas Akhir.
3. Teman-teman Teknik Sipil angkatan 2011 yang telah mendukung kami dalam penulisan laporan ini.

Dalam penulisan laporan Tugas Akhir ini, kami menyadari bahwa masih ada kekurangan. Maka kritik dan saran yang bersifat membangun sangat kami harapkan demi kebaikan tugas akhir ini. Semoga laporan ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca, penulis dan semua pihak yang terkait dalam aktivitas tugas akhir.

Surabaya, 3 Juni 2015

Penyusun



## DAFTAR ISI

Halaman Judul .....	i
<i>Title Page</i> .....	ii
Abstrak .....	iii
<i>Abstract</i> .....	v
Kata Pengantar .....	vii
Daftar Isi .....	ix
Daftar Gambar .....	xi
Daftar Tabel .....	xv
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan Penulisan.....	3
1.4 Ruang Lingkup Pembahasan .....	4
1.5 Manfaat Tugas Akhir .....	4
1.6 Peta Lokasi .....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....	7
2.1 Analisa Data dengan Metode Statistik.....	7
2.1.1 Pembuatan Stratigrafi .....	7
2.1.2 Pemilihan Parameter.....	8
2.2 Karakteristik Tanah Lunak .....	8
2.3 Pemampatan Tanah Lunak .....	10
2.3.1 Pemampatan Konsolidasi (Consolidation Settlement)....	11
2.3.3 Parameter Tanah untuk Perhitungan Consolidation Settlement (Sc) .....	13
2.4 Waktu Konsolidasi .....	16
2.5 Tinggi Timbunan Awal .....	18
2.6 Penentuan Tinggi Kritis.....	18
2.7 Peningkatan Daya Dukung Tanah Metode Preloading.....	19
2.8 Timbunan Bertahap dan Besar Pemampatan.....	21
2.9 Perencanaan Vertical Drain .....	23
2.9.1 Menentukan Kedalaman Vertical Drain .....	24
2.9.2 Menentukan Waktu Konsolidasi Akibat Vertical Drain... 24	



2.9.3 Menghitung Derajat Konsolidasi Rata – Rata .....	29
2.10 Perkuatan Tanggul dengan Turap.....	30
2.10.1 Perencanaan Turap dengan Angker .....	30
2.10.2 Perencanaan Turap tanpa Angker.....	33
2.11 Perencanaan Cerucuk .....	34
2.11.1 Menentukan Tambahan Momen Perlawanan .....	34
2.11.2 Menghitung Momen Lentur Bekerja pada Cerucuk .....	34
2.11.3 Menghitung Gaya Horizontal yang Mampu Ditahan Satu Tiang.....	35
2.11.4 Menentukan Jumlah Cerucuk.....	37
2.12 Perencanaan Geotekstil .....	37
2.13 Perhitungan Stabilitas.....	39
2.14 Beban Peti Kemas (Container) .....	40
<b>BAB III METODOLOGI .....</b>	<b>41</b>
3.1 Bagan Alir .....	41
3.2 Studi Literatur.....	43
3.3 Pengumpulan dan Analisa Data.....	43
3.4 Perencanaan Lahan Reklamasi dan Tanggulnya .....	43
3.5 Perencanaan Perkuatan Tanggul.....	45
3.6 Perhitungan Volume Material .....	45
3.7 Kesimpulan.....	46
<b>BAB IV DATA DAN ANALISA .....</b>	<b>47</b>
4.1 Data Tanah .....	47
4.2 Analisa Parameter Tanah .....	47
4.2.1 Stratigrafi Tanah.....	47
4.2.2 Penentuan Parameter Tanah dengan Metode Statistik.....	49
4.3 Data Tanah Timbunan .....	54
4.4 Data Spesifikasi Bahan.....	54
4.4.1 PVD ( <i>Prefabricated Vertical Drain</i> ).....	54
4.4.2 Sheeppile Baja.....	54
4.4.3 Geotextile .....	55
4.5 Data Beban .....	55

BAB V PERENCANAAN GEOTEKNIK .....	57
5.1 Perhitungan Tinggi Inisial .....	57
5.1.1 Perhitungan Besar Pemampatan .....	57
5.1.2 Perhitungan Tinggi Timbunan Awal (Hinisial) dan Tinggi Timbunan Akhir (Hfinal) .....	59
5.2 Perhitungan Waktu Pemampatan Konsolidasi Natural.....	62
5.3 Perencanaan PVD untuk Mempercepat Pemampatan .....	63
5.3.1 Perhitungan Derajat Konsolidasi Vertikal ( $U_v$ ) .....	63
5.3.2 Perhitungan Derajat Konsolidasi Horizontal ( $U_h$ ) .....	64
5.3.3 Perhitungan Derajat Konsolidasi Rata-Rata ( $\bar{U}$ ) .....	65
5.4 Perhitungan Rate of Settlement .....	66
5.5 Penimbunan Bertahap.....	69
5.5.1 Penentuan Tinggi Timbunan Kritis ( $H_{cr}$ ).....	72
5.5.2 Perhitungan Peningkatan Kohesi Undrained ( $C_u$ ).....	72
5.5.2.1 Menghitung Tegangan di Tiap Lapisan Tanah untuk Derajat Konsolidasi ( $U$ ) 100% .....	73
5.5.2.2 Menghitung Nilai $C_u$ Baru .....	75
5.6 Perencanaan Geotextile sebagai Perkuatan Timbunan .....	75
5.6.1 Perhitungan Geotextile .....	75
5.6.2 Kebutuhan Geotextile .....	76
5.7 Perencanaan Micropile Sebagai Perkuatan Timbunan .....	79
5.8 Perencanaan Sheetpile Baja Berangker .....	83
5.9 Perhitungan Volume Material .....	89
5.9.1 Material Timbunan .....	89
5.9.2 Prefabricated Vertical Drain (PVD) .....	91
5.9.3 Geotextile .....	93
5.9.4 Micropile .....	93
5.9.5 Sheetpile .....	93
5.10 Perhitungan Biaya .....	94
BAB VI KESIMPULAN .....	95
6.1 Kesimpulan.....	95
6.2 Saran .....	97
DAFTAR PUSTAKA.....	xvii
LAMPIRAN .....	99

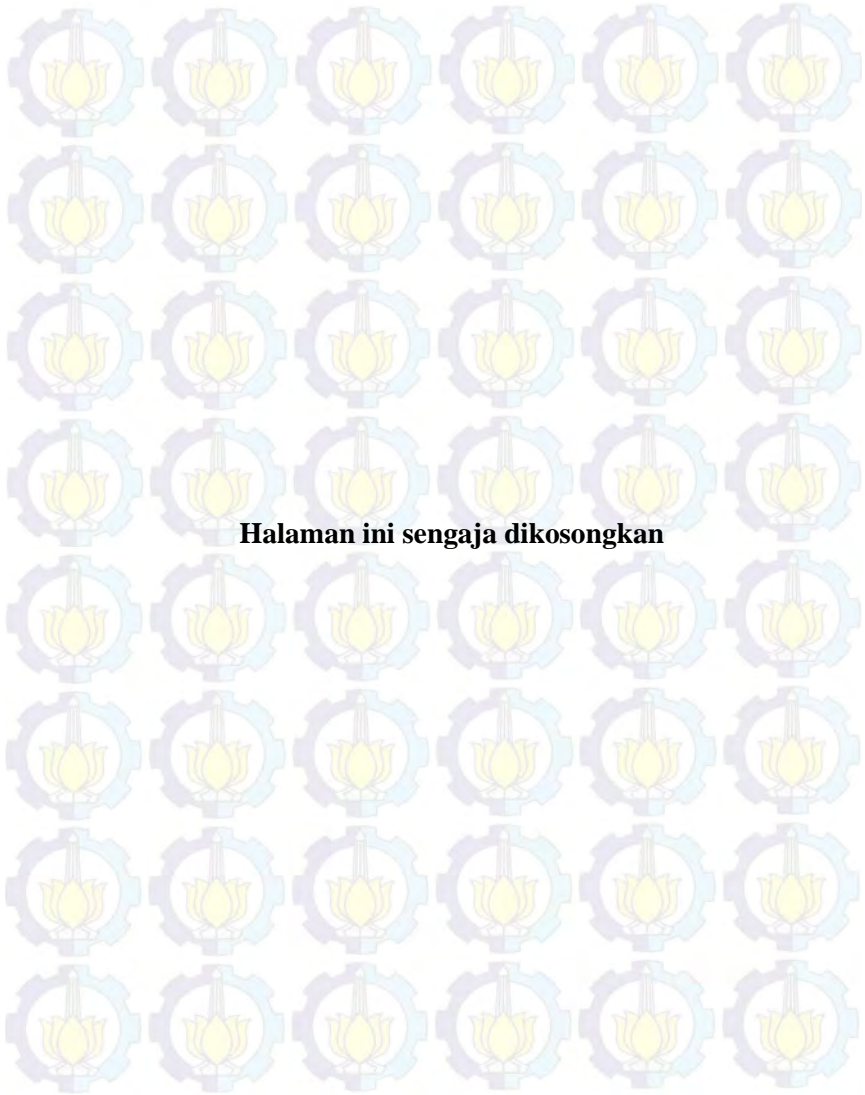


**Halaman ini sengaja dikosongkan**

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Korelasi N-SPT dan Konsistensi Tanah (untuk tanah dominan lanau dan lempung) .....	9
Tabel 2.2 Korelasi antara $T_v$ dan $U$ .....	17
Tabel 2.3 Ukuran dan Berat Berbagai Jenis Peti Kemas.....	41
Tabel 4.1 Hasil Analisa Statistika.....	51
Tabel 4.2 Parameter Tanah Zona B-3.....	52
Tabel 4.3 Resume Zonifikasi.....	54
Tabel 5.1 Perhitungan Settlement Akibat Variasi Beban .....	60
Tabel 5.2 Parameter Tanah Perhitungan Waktu Konsolidasi....	62
Tabel 5.3 Perhitungan $C_{vgabungan}$ .....	62
Tabel 5.4 Perhitungan $F(n)$ oleh PVD untuk Pola pemasangan segitiga. ....	65
Tabel 5.5 Kecepatan Pemampatan tanpa PVD.....	67
Tabel 5.6 Tegangan Efektif Tanah di Zona A Akibat Penimbunan Akibat Penimbunan $H = 8,00$ m pada $U=100\%$ .....	74
Tabel 5.7 Perubahan Nilai $C_u$ .....	75
Tabel 5.8 Perhitungan Panjang <i>Geotextile</i> pada Zona A.....	78
Tabel 5.9 Perhitungan Tegangan Horizontal.....	85
Tabel 5.10 Gaya dan Momen Akibat Tekanan Aktif .....	86
Tabel 5.11 Gaya dan Momen Akibat Tekanan Pasif.....	86
Tabel 5.12 Gaya dan Momen Akibat Tekanan Aktif .....	88
Tabel 5.13 Gaya dan Momen Akibat Tekanan Pasif.....	88
Tabel 5.14 Perhitungan Volume Tanah Urug Timbunan .....	92
Tabel 5.15 Perhitungan Luas Area Pemasangan PVD .....	93
Tabel 5.16 Perhitungan Panjang Kebutuhan PVD .....	94
Tabel 5.17 Perhitungan Luas Kebutuhan <i>Geotextile</i> .....	94
Tabel 5.18 Perhitungan Biaya .....	96





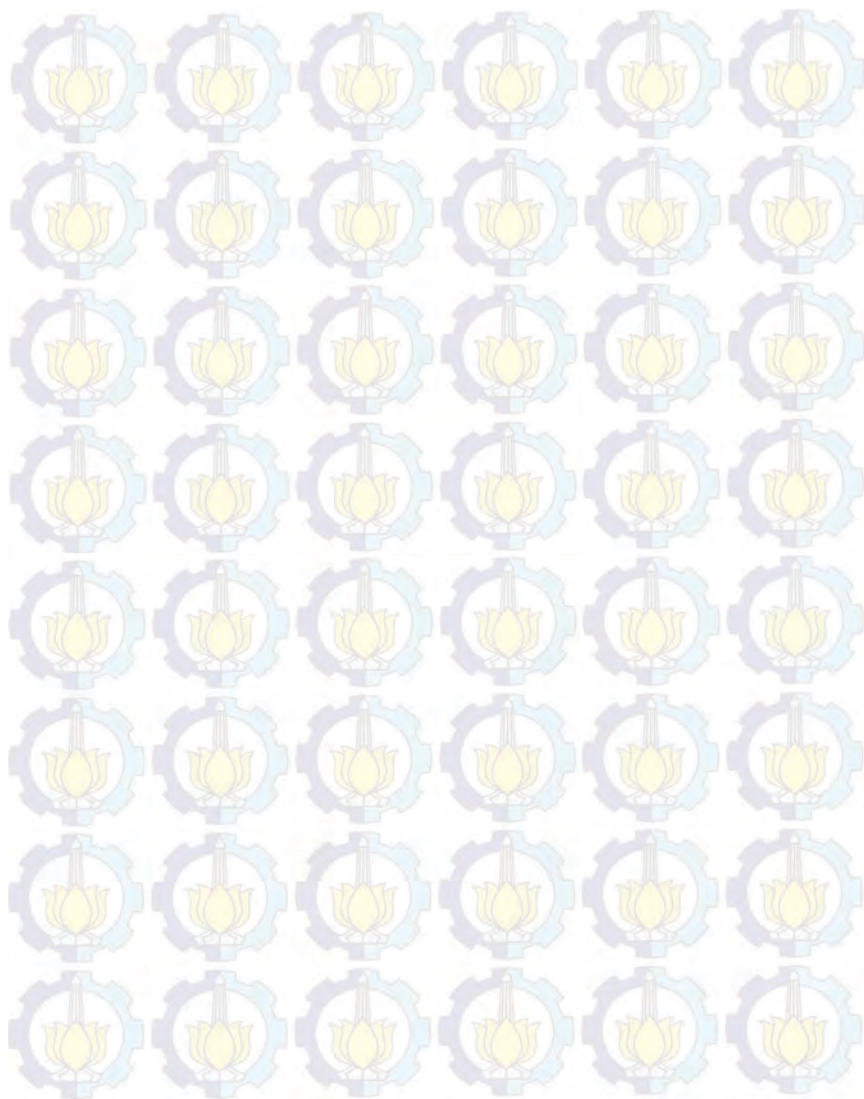
**Halaman ini sengaja dikosongkan**

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Peta lokasi terminal <i>NewPriok</i> Jakarta .....	5
Gambar 1.2	Layout Pelabuhan Tanjung Priok.....	5
Gambar 1.3	Layout Perencanaan Proyek.....	6
Gambar 1.4	Layout Perencanaan Proyek (blok merah adalah area reklamasi).....	6
Gambar 2.1	Grafik Influence Factor I.....	15
Gambar 2.2	Prinsip Pembebanan Preloading pada Pemampatan Tanah dengan Beban Awal $pf+s>pf$ .....	20
Gambar 2.3	Timbunan diletakkan secara bertahap.....	22
Gambar 2.4	Pemasangan vertical drain pada kedalaman tanah yang compressible.....	24
Gambar 2.5	Pola susun bujur sangkar $D = 1,13 S$ .....	25
Gambar 2.6	Pola susun segitiga $D = 1,05 S$ .....	26
Gambar 2.7	Equivalen diameter untuk PVD.....	28
Gambar 2.8	Gaya-gaya pada diagram tekanan tanah .....	31
Gambar 2.9	Kapasitas ultimit blok anker pada tanah granuler	31
Gambar 2.10	Penentuan lokasi anker .....	33
Gambar 2.11	Asumsi gaya yang diterima cerucuk (NAVFAC DM-7, 1971) .....	33
Gambar 2.12	Mencari Harga $f$ untuk berbagai jenis tanah.....	36
Gambar 2.13	Grafik untuk mencari besar $FM$ .....	37
Gambar 2.14	Penumpukan peti kemas .....	40
Gambar 3.1	Diagram alir.....	42
Gambar 4.1	Layout Lokasi Titik Bor .....	48
Gambar 4.2	Grafik 3D kedalaman tanah lunak .....	48
Gambar 4.3	Zonifikasi ketebalan lapisan tanah lunak .....	49
Gambar 4.4	Plotting parameter tanah menurut kedalaman (a) Berat Jenis Tanah Jenuh, (b) Kadar air, (c) $G_s$ , (d) $C_v$ , (e) $C_c$ , (f) , (g) Liquid Limit, (h) Plasticity Limit.....	50
Gambar 4.5	Zonifikasi berdasarkan ketebalan tanah mampu mampat dan kedalaman seabed.....	53

Gambar 5.1 Grafik Hubungan antara $H_{inisial}$ dan $H_{final}$ pada area.....	60
Gambar 5.2 Perencanaan timbunan reklamasi .....	61
Gambar 5.3 Grafik Hubungan Antara Derajat Konsolidasi ( $U$ ) dan Waktu.....	66
Gambar 5.4 Penentuan Kedalaman Pemasangan PVD Zona A	68
Gambar 5.5 Settlement tiap tahapan timbunan PVD segitiga dengan jarak 1,5 m pada Zona A. ....	71
Gambar 5.6 Sketsa Perkuatan Tanah dengan Geotextile pada Zona A .....	78
Gambar 5.7 Sketsa potongan melintang cerucuk .....	82
Gambar 5.8 Sketsa tampak atas pemasangan cerucuk .....	82
Gambar 5.9 Sketsa penampang tanah pada pemasangan sheet pile berangker.....	83
Gambar 5.10 Diagram tekanan tanah kesamping.....	84
Gambar 5.11 Sketsa letak angker (satuan dalam meter).....	89
Gambar 5.12 Area Reklamasi dan Pembagian Perhitungan.....	90
Gambar 5.13a Potongan a-a (satuan dalam meter).....	90
Gambar 5.13b Potongan b-b (satuan dalam meter) .....	91
Gambar 5.13c Potongan c-c (satuan dalam meter).....	91
Gambar 5.14a Ukuran pemasangan PVD jarak 1 m.....	92
Gambar 5.14b Ukuran pemasangan PVD jarak 1,5 m.....	92







## BIODATA PENULIS



Penulis lahir di Sidoarjo pada tanggal 2 Juli 1993, dengan nama lengkap Ahmad Adam Yulian. Penulis merupakan anak pertama dan dari dua bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di SD Negeri 2 Jedongcangkring, SMP Negeri 1 Wonoayu, SMA Negeri 1 Mojosari. Penulis diterima di jurusan Teknik Sipil FTSP ITS Surabaya melalui jalur SNMPTN Tertulis pada tahun 2011 dengan NRP 3111100074. Selama masa perkuliahan penulis mengikuti beberapa organisasi kemahasiswaan ITS. Penulis berharap bisa berkontribusi langsung bagi daerah dan Negara tercinta. Kebahagiaan keluarga sangat penting bagi penulis, oleh karena itu penulis berharap bisa terus membuat mereka tersenyum bahagia. Bagi pembaca yang ingin berdiskusi, memberikan saran dan kritik tentang Tugas Akhir ini dapat disampaikan melalui email [aadamyulian@gmail.com](mailto:aadamyulian@gmail.com).

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Indonesia Port Company (IPC) atau PELINDO II merupakan salah satu perusahaan Badan Usaha Milik Negara (BUMN) bergerak dalam bidang industri pelabuhan. IPC mendapat banyak tantangan dalam merespon peluang untuk menjadi Perusahaan Pelabuhan Internasional pertama di Indonesia. Tantangan – tantangan tersebut meliputi kemacetan di pelabuhan utama Tanjung Priok dan perubahan dinamika pasar yang semakin membutuhkan efisiensi yang tinggi. IPC telah mengembangkan rencana strategis jangka panjang untuk menjawab tantangan – tantangan tersebut. Salah satu jawabannya adalah membangun terminal *New Priok*.

Pembangunan tahap pertama akan dapat menyediakan tambahan kapasitas sekitar 4,5 Juta TEUs, dan akan mulai beroperasi pada tahun 2014. Terminal *New Priok* juga akan meningkatkan kapasitas dan efisiensi dari jaringan logistik nasional Indonesia dengan level produktivitas yang sebanding dengan pelabuhan-pelabuhan besar di dunia dan meningkatkan kemampuan dalam melayani kapal kontainer yang lebih besar. Terminal *New Priok* memungkinkan kapal kontainer kelas EEE melewati Indonesia tanpa perlu *trans-shipment* di pelabuhan lain. Kapal EEE adalah kelas terbesar dari kapal kontainer sampai saat ini, dengan kemampuan membawa hingga 18.000 TEUs.

Terminal *New Priok* bertempat di Kalibaru Utara, Cilincing, Jakarta Utara (Gambar 1.1). Dalam perencanaannya, area *container yard* 1B menggunakan lahan reklamasi yang areanya berukuran 900 m x 2050 m. Material reklamasi

direncanakan diperoleh dari pengerukan di area sekitar proyek; tinggi timbunan yang direncanakan adalah 4,5 meter. Masalah utama yang akan timbul dari pembangunan terminal ini adalah pemampatan tanah yang besar dan daya dukung yang rendah mengingat hasil test tanah menunjukkan bahwa kondisi tanah di area reklamasi tersebut memiliki lapisan tanah yang lunak.

Untuk menangani masalah pemampatan dan daya dukung, perlu dilakukan perbaikan tanah dasar; salah satu metoda yang umum dipakai adalah metode preloading. Sistem preloading adalah metode yang digunakan untuk meningkatkan daya dukung dan menghilangkan pemampatan tanah dengan cara memberi beban awal yang diberikan secara bertahap. Pembebanan ini akan membuat tanah tertekan sehingga air pori tanah akan mengalir keluar lebih cepat sehingga pemampatan konsolidasi cepat berakhir dan daya dukung tanah cepat meningkat. Hanya saja kecilnya permeabilitas tanah lunak dalam mengalirkan air pori menyebabkan perlunya untuk mengkombinasikan preloading dengan PVD. Dengan pemasangan PVD maka proses konsolidasi akan cepat selesai.

Selain permasalahan settlement yang harus diatasi, dalam pelaksanaan reklamasi harus dipertimbangkan stabilitas. Oleh karena itu, selain merencanakan reklamasi perlu direncanakan juga tanggul reklamasi yang berfungsi melindungi tanah timbunan dari terjangan arus yang dapat menyebabkan kelongsoran pada timbunan tersebut. Dari hasil penyelidikan tanah, kedalaman seabed diatas tanggul reklamasi sisi utara reklamasi sangat dalam, mencapai 6 meter. Hal ini menyebabkan perlunya pemasangan perkuatan tanah pada tanggul reklamasi dan mengecek kestabilan



tanggul reklamasi. Jenis perkuatan tanah yang dapat dipilih diantaranya adalah: *micropile*, *sheetpile*, dan *geotextile*.

Untuk itu studi ini merencanakan perbaikan tanah di lahan reklamasi dengan menggunakan metode preloading dan PVD serta merencanakan perkuatan tanah dibawah tanggul reklamasi dengan menggunakan micropile, turap dan geotekstil.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Dari uraian latar belakang diatas, beberapa permasalahan yang perlu dibahas dalam Tugas Akhir ini adalah:

1. Berapa besar settlement yang akan terjadi pada lahan reklamasi dan tanggul reklamasi?
2. Berapa tinggi inisial timbunan pada lahan dan tanggul reklamasi agar tidak terjadi lagi settlement pada saat pengoperasian?
3. Bagaimana perencanaan PVD agar terjadi percepatan settlement pada tanggul dan lahan reklamasi?
4. Bagaimana perkuatan tanah dibawah tanggul agar tanggul tidak mengalami pemampatan lagi dan tidak longsor?
5. Berapa volume material yang dibutuhkan dalam perencanaan reklamasi?
6. Berapa biaya material yang dibutuhkan dalam perencanaan reklamasi?

## **1.3 Tujuan Penulisan**

Penulisan Tugas Akhir ini bertujuan untuk merencanakan perbaikan tanah dasar di lahan reklamasi dan tanggulnya di terminal peti kemas *NewPriok* agar stabil dan tidak mengalami pemampatan lagi saat pengoperasiannya nanti.



#### 1.4 Ruang Lingkup Pembahasan

Tugas ini dibatasi oleh hal – hal sebagai berikut, yaitu :

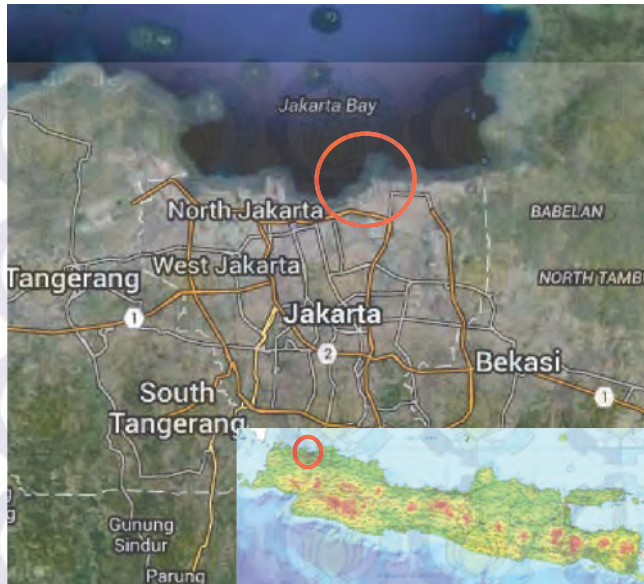
1. Jenis metode perkuatan yang dipakai adalah *micropile*, *sheetpile*, dan *geotextile*.
2. Data yang digunakan adalah data sekunder, yaitu berupa :
  - a. *Layout* area reklamasi
  - b. Peta Bathymetry
  - c. Boring log dan SPT
  - d. Hasil tes laboratorium
3. Tidak mengevaluasi *layout*
4. Tidak melakukan studi perubahan pola arus dan sedimentasi

#### 1.5 Manfaat Tugas Akhir

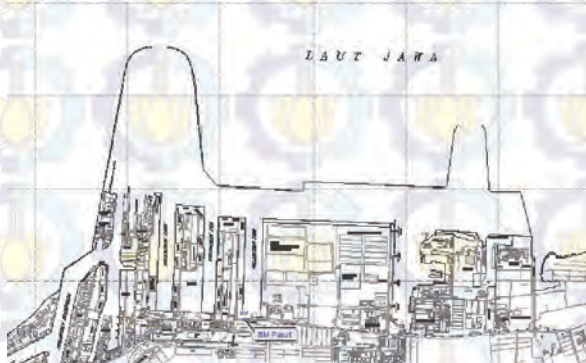
Manfaat dari penulisan laporan tugas akhir ini adalah untuk masukan perencanaan Terminal *Newpriok* agar aman dan tidak terjadi kelongsoran.

#### 1.6 Peta Lokasi

Terminal *Newpriok* merupakan hasil perluasan pelabuhan Tanjung Priok. Pelabuhan Tanjung Priok terletak di Laut Jawa. Berlokasi di Kalibaru Utara, Cilincing, Jakarta Utara. Gambar 1.1 dan 1.2, masing-masing merupakan peta lokasi dan lay out dari area yang akan di reklamasi.



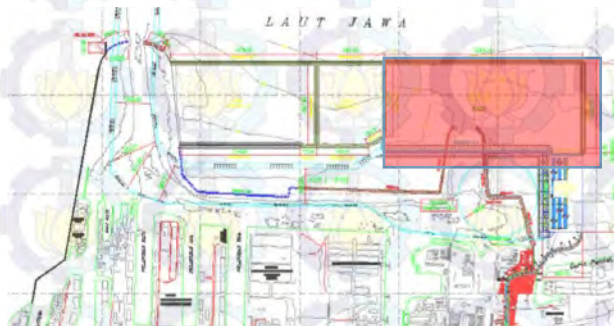
**Gambar 1.1** Peta lokasi terminal NewPriok Jakarta  
(Sumber : Google Maps)



**Gambar 1.2** Layout Pelabuhan Tanjung Priok.  
(Sumber : Google Maps)



**Gambar 1.3** Layout Perencanaan Proyek (blok merah adalah area yang ditinjau)  
(Sumber : PTPP)



**Gambar 1.4** Layout Perencanaan Proyek (blok merah adalah area yang ditinjau)  
(Sumber : PTPP)



## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Analisa Data dengan Metode Statistik

#### 2.1.1 Pembuatan Stratigrafi

Stratigrafi tanah dibuat untuk mengetahui kondisi tanah dasar di daerah reklamasi. Sebelum membuat stratigrafi tanah, perlu dilakukan pendekatan statistik sederhana terhadap data-data tanah yang dimiliki. Pendekatan statistik yang digunakan adalah dengan pengambilan keputusan berdasarkan koefisien varian (CV) dari suatu distribusi nilai parameter tanah.

Beberapa persamaan statistik yang digunakan antara lain (ITS,1998)

- Rata - rata

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X}{n} \quad (2.1)$$

- Standar Deviasi

$$STD = \sqrt{\frac{\sum(x-u)^2}{n}} \quad (2.2)$$

- Koefisien Varian

$$CV = \frac{STD}{U} \times 100\% \quad (2.3)$$

Keterangan :

STD = Standar Deviasi

CV = Koefisien Varian

U = Rata - rata

Dimana distribusi sebaran suatu nilai dapat diterima jika harga koefisien varian (CV) dari sebaran tersebut bernilai lebih kecil atau sama dengan 30%. Apabila nilai koefisien varian (CV) lebih besar dari pada 30%, maka perlu dilakukan pembagian layer tanah sampai nilai CV tersebut kurang dari atau sama dengan 30%.

### 2.1.2 Pemilihan Parameter

Analisa parameter tanah dilakukan untuk mendapatkan parameter yang akan digunakan untuk perencanaan reklamasi tanah. Metode yang digunakan adalah cara statistik dengan selang kepercayaan yang baik, yaitu selang yang pendek dengan derajat kepercayaan yang tinggi, oleh karena itu digunakan selang kepercayaan 90%.

Bentuk umum selang kepercayaan adalah Batas Bawah < (Parameter tanah) < Batas Atas. Dengan menggunakan „probabilitas t“ dan „probabilitas z“ yaitu :

- Probabilitas t digunakan apabila  $n < 30$

$$\bar{X} - t_{(db, \alpha/2)} \frac{s}{\sqrt{n}} < (\mu) < \bar{X} + t_{(db, \alpha/2)} \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (2.4)$$

- Probabilitas z digunakan apabila  $n > 30$

$$\bar{X} - z_{(\alpha/2)} \frac{\sigma}{\sqrt{n}} < (\mu) < \bar{X} + z_{(\alpha/2)} \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (2.5)$$

Dimana :

$\bar{X}$	= rata-rata
db	= derajat kebebasan
$\alpha$	= tingkat kesalahan
s	= Standar deviasi
n	= jumlah data
( $\mu$ )	= nilai parameter tanah

### 2.2 Karakteristik Tanah Lunak

Tanah adalah kumpulan agregat/ butiran mineral alami yang bisa dipisahkan oleh suatu cara mekanik bila agregat tersebut diaduk dalam air. Tanah terdiri dari kumpulan mineral, bahan organik, dan endapan-endapan yang relatif lepas (*loose*) yang terletak diatas batuan dasar (*bad rock*). Menurut K. Terzaghi, tanah terdiri dari butiran-butiran material hasil pelapukan massa batuan *massive*, dimana ukuran butirannya bisa sebesar bongkahan,

berangka, kerikil, pasir, lanau, lempung, dan kontak butirnya tidak tersementasi termasuk bahan organik.

Lapisan tanah yang disebut sebagai lapisan tanah yang lunak adalah lempung (*clay*) atau lanau (*silt*) yang mempunyai harga penetrasi standar (SPT)  $N$  yang lebih kecil dari 4; atau tanah organik seperti gambut yang mempunyai kadar air alamiah yang sangat tinggi. Selain itu terdapat korelasi antara  $N$ -SPT dengan jenis konsistensi tanah yang lain seperti dijelaskan pada tabel 2.1

**Tabel 2.1** Korelasi  $N$ -SPT dan Konsistensi Tanah (untuk tanah dominan lanau dan lempung)

Konsistensi tanah	Taksiran harga kekuatan geser undrained, $C_u$		Taksiran harga SPT, harga $N$	Taksiran harga tahanan conus, $q_c$ (dari Sondir)	
	kPa	ton/m <sup>2</sup>		kg/cm <sup>2</sup>	kPa
Sangat lunak (very soft)	0 – 12.5	0 – 1.25	0 – 2.5	0 – 10	0 – 1000
Lunak (soft)	12.5 – 25	1.25 – 2.5	2.5 – 5	10 – 20	1000 – 2000
Menengah (medium)	25 – 50	2.5 – 5.0	5 – 10	20 – 40	2000 – 4000
Kaku (stiff)	50 – 100	5.0 – 10	10 – 20	40 – 75	4000 – 7500
Sangat kaku (very stiff)	100 – 200	10 – 20	20 – 40	75 – 150	7500 – 15000
Keras (hard)	>200	>20	>40	>150	>15000

(Sumber : Mochtar,2006; revised,2012)



Tanah lempung merupakan jenis tanah berbutir halus dengan ukurannya  $< 2\mu$  atau  $< 5\mu$  (Mochtar dan Mochtar, 1988). Tanah lempung merupakan tanah kohesif yang memiliki:

1. Nilai kadar air berkisar antara 30% – 50 % pada kondisi jenuh air.
2. Angka pori berkisar antara 0,9 sampai dengan 1,4 (Braja M.Das, 1985).
3. Berat volume berkisar antara  $0,9\text{ t/m}^3$  sampai dengan  $1,25\text{ t/m}^3$  (Braja M.Das, 1985) .
4. *Spesific Gravity* rata – rata berkisar antara 2,70 sampai dengan 2,90.

Tanah lempung memiliki gaya geser yang kecil, kemampuan yang besar, dan koefisien permeabilitas yang kecil. Nilai kekuatan geser tanah lempung lembek ditentukan dari ikatan butiran antar partikel tanah. Tanah lempung lembek merupakan tanah lunak yang mempunyai kadar air yang bervariasi. Apabila tanah lempung lembek diberi beban melampaui daya dukung kritisnya, maka secara langsung akan terjadi pemampatan pada rongga antar partikel tanah dalam jangka waktu yang cukup lama.

Dari permasalahan di atas, secara teknis tanah lempung bersifat kurang menguntungkan untuk mendukung suatu pekerjaan konstruksi. Hal ini seringkali menjadi kendala dalam pelaksanaan suatu pekerjaan konstruksi.

### **2.3 Pemampatan Tanah Lunak**

Pemampatan (*settlement*) pada tanah dasar akan terjadi apabila tanah dasar tersebut menerima penambahan beban di atasnya. Pemampatan tersebut disebabkan oleh adanya deformasi partikel tanah, relokasi partikel, keluarnya air atau udara dari dalam pori, dan sebab-sebab lain. Pada umumnya, pemampatan pada

tanah yang disebabkan oleh pembebanan dapat dibagi dalam dua kelompok besar; yaitu:

1. Pemampatan segera/ *immediate settlement*, merupakan pemampatan akibat perubahan elastis dari tanah kering, basah, dan jenuh air, tanpa adanya perubahan kadar air. Perhitungan *immediate settlement* ini umumnya didasarkan pada teori elastisitas.
2. Pemampatan konsolidasi/ *consolidation settlement*, merupakan pemampatan yang disebabkan oleh keluarnya air dari pori-pori di dalam tanah. Penurunan konsolidasi dibagi lagi menjadi dua bagian, yaitu: konsolidasi primer dan konsolidasi sekunder.

Besarnya amplitudo/ penurunan tanah total menurut Das (1985) adalah:

$$S_t = S_i + S_{cp} + S_{cs} + S_{lat} \quad [2.6]$$

Dimana :

- $S_t$  = total *settlement*
- $S_i$  = *immediate settlement*
- $S_{cp}$  = *consolidation primer settlement*
- $S_{cs}$  = *consolidation secondary settlement*
- $S_{lat}$  = *settlement* akibat pergerakan tanah arah lateral.

Akan tetapi dari kedua pemampatan tersebut diatas yang paling berpengaruh adalah pemampatan konsolidasi.

### 2.3.1 Pemampatan Konsolidasi/ *consolidation settlement* ( $S_c$ )

Pemampatan konsolidasi masih dapat dibagi lagi menjadi dua, yakni:

1. Penurunan akibat konsolidasi primer/ *consolidation primer settlement* ( $S_{cp}$ ), merupakan pemampatan akibat perubahan volume tanah jenuh air sebagai akibat dari keluarnya air dari pori-pori tanah.



2. Penurunan akibat konsolidasi sekunder/ *consolidation secondary settlement* ( $S_{cs}$ ), merupakan pemampatan yang diakibatkan oleh adanya penyesuaian yang bersifat plastis dari butir-butir tanah.

Menurut Wahyudi (1997), besarnya amplitudo penurunan tanah akibat konsolidasi primer tergantung dari kondisi sejarah tanahnya, yaitu *normally consolidated* (NC) atau *overconsolidated* (OC). Berikut rumus-rumus mencari besar pemampatan akibat konsolidasi primer:

- Untuk tanah terkonsolidasi normal (NC-soil)

$$S_c = \frac{C_c \times H}{1 + e_0} \log \left( \frac{p'_o + \Delta p}{p'_o} \right) \quad [2.7]$$

- Untuk tanah terkonsolidasi lebih (OC-soil)

Bila  $(p'_o + \Delta p) \leq p'_o$

$$S_c = \frac{C_c}{1 + e_0} \left[ H \log \left( \frac{p'_o + \Delta p}{p'_o} \right) \right] \quad [2.8]$$

Bila  $(p'_o + \Delta p) > p'_c$

$$S_c = \frac{C_s}{1 + e_0} H \log \frac{p'_c}{p'_o} + \frac{C_c}{1 + e_0} H \log \frac{p'_o + \Delta p}{p'_c} \quad [2.9]$$

Dimana:  $S_c$  = pemampatan konsolidasi pada lapisan tanah yang ditinjau

$H$  = tebal lapisan tanah *compressible*

$e_0$  = angka pori awal (*initial void ratio*)

$C_c$  = indeks kompresi

$C_s$  = indeks mengembang

$\Delta p$  = beban *surchage*

$p'_o$  = tekanan tanah vertikal efektif dari suatu titik di tengah-tengah lapisan ke-i akibat beban

tanah sendiri di atas titik tersebut di lapangan (*effective overburden pressure*)

$p'_c$  = tegangan konsolidasi efektif di masa lampau (*effective past overburden pressure*)

Keterangan tambahan:

Tanah lunak di Indonesia umumnya dapat dianggap sebagai tanah agak terkonsolidasi lebih, dengan harga:

$$p_c = p'_o + f \quad [2.10]$$

Dimana:  $f$  = fluktuasi terbesar muka air tanah

$\Delta p$  = penambahan tegangan vertikal di titik yang ditinjau (di tengah-tengah lapisan) akibat penambahan beban

Pada perhitungan perencanaan ini, jenis pemampatan (*settlement*) yang diperhitungkan adalah *immediate settlement* dan *consolidation primer settlement*.

### 2.3.2 Parameter Tanah untuk Perhitungan *Consolidation*

#### *Settlement* ( $S_c$ )

Menurut Wahyudi (1997) berikut adalah cara menentukan parameter-parameter tanah yang akan digunakan dalam perhitungan *consolidation settlement*:

1. Tebal lapisan *compressible*

Tebal lapisan *compressible* (H) yang diperhitungkan adalah yang masih bisa mengalami konsolidasi primer ( $N-SPT < 30$ ). Karena apabila nilai  $N-SPT > 30$  umumnya dapat dianggap sudah tidak mengalami konsolidasi primer sehingga tidak perlu diperhitungkan lagi sebagai tebal lapisan *compressible* (H).

## 2. Beban atau *surcharge*

*Surcharge* yang dimaksud adalah besarnya beban yang bekerja di atas permukaan tanah asli (*compressible soil*) dalam satuan tegangan. Persamaan yang digunakan adalah:

$$q_0 = \gamma_{\text{timbunan}} \times H \quad [2.11]$$

$$\Delta p = I \times q_0 \quad [2.12]$$

Dimana :

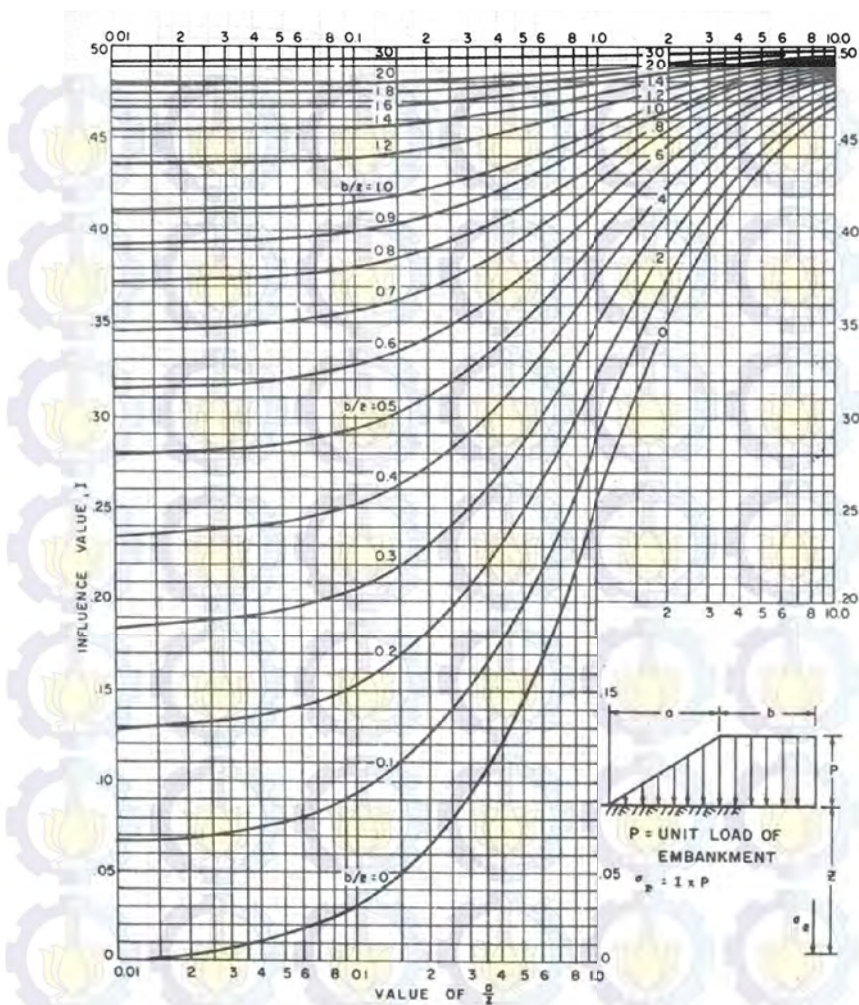
- $\Delta p$  = beban *surcharge* yang terjadi
- $I$  = koefisien pengaruh beban terhadap titik yang ditinjau
- $\gamma_{\text{timbunan}}$  = berat volume *humid* dari tanah timbunan
- $H$  = tinggi timbunan

Apabila timbunan terendam air, maka digunakan harga  $\gamma_{\text{timbunan}}$  efektif ( $\gamma'_{\text{timbunan}}$ ).

## 3. Koefisien pengaruh $I$

Berdasarkan grafik Osterberg (**Gambar 2.1**) besarnya nilai koefisien pengaruh  $I$  untuk perhitungan besarnya tegangan vertikal ( $\Delta p$ ) yang diterima oleh suatu titik tinjau tertentu dipengaruhi oleh  $a$ ,  $b$ , dan  $z$  yang merupakan karakteristik geometrik dan bentuk timbunan reklamasi dan kedalaman titik tinjau. Adapun grafik Osterberg tersebut adalah sebagai berikut:





**Gambar 2.1** Grafik Influence Factor I (NAVFAC DM-7, 1970)  
 (sumber : Mochtar, 2000)

#### 4. *Compressible dan Swelling Index*

Harga *compression index* ( $C_c$ ) dan *swelling index* ( $C_s$ ) diperoleh dari hasil tes laboratorium (*consolidation test*).

#### 5. Angka pori (*initial void ratio*)

Angka pori awal ( $e_0$ ) diperoleh dari hasil tes laboratorium (*Volumetric dan Gravimetric*).

#### 6. Tegangan *overburden* efektif ( $p'_0$ )

*Overburden pressure effective* ( $p'_0$ ) adalah tegangan vertikal efektif dari tanah asli. Dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan:

$$p'_0 = \gamma' \times h \quad [2.13]$$

Dimana:  $\gamma' = \gamma_{\text{sat}} - \gamma_{\text{air}}$  ( bila berada dibawah permukaan air tanah )

$h$  = setengah dari lapisan lempung yang diperhitungkan.

### 2.4 Waktu Konsolidasi

Penurunan konsolidasi pada tanah lempung yang tebal berlangsung sangat lama. Pada tanah yang tidak dikonsolidasi dengan PVD, pengaliran yang terjadi hanyalah pada arah vertikal saja. Menurut Terzaghi dalam Das (1990), lama waktu konsolidasi ( $t$ ) dapat dicari dengan persamaan berikut:

$$t = \frac{T_v (H_{dr})^2}{C_v} \quad [2.14]$$

Dimana:  $t$  = waktu konsolidasi

$T_v$  = faktor waktu

$H_{dr}$  = panjang aliran air/ *drainage* terpanjang

$C_v$  = koefisien konsolidasi vertikal

### 2.4.1 Parameter Tanah untuk Lamanya Pemampatan Konsolidasi

#### a. Faktor Waktu

Faktor waktu  $T_v$  adalah merupakan fungsi langsung dari derajat konsolidasi ( $U\%$ ) dan bentuk dari distribusi tegangan air pori ( $u$ ) di dalam tanah (aliran satu arah atau dua arah). Apabila distribusi tegangan air porinya merata (homogen) maka hubungan  $T_v$  dan  $U$  adalah (Tabel 2.2)

**Tabel 2.2** Korelasi antara  $T_v$  dan  $U$

U(%)	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
$T_v$	0,008	0,031	0,071	0,126	0,197	0,287	0,403	0,567	0,848	$\infty$

#### b. Koefisien Konsolidasi Vertikal ( $C_v$ )

Koefisien konsolidasi vertikal  $C_v$  diperoleh dari grafik korelasi antara besarnya pemampatan tanah dengan waktu ( $t$ ). Berikut adalah persamaan yang dipakai:

$$C_v = \frac{0.197 (H \times 2)^2}{t_{50}} \quad (2.15)$$

Apabila lapisan tanahnya heterogen dan mempunyai beberapa nilai  $C_v$ , maka harga  $C_v$  yang dipakai adalah nilai  $C_v$  gabungan (ABSI,1965)

$$C_{v_{gab}} = \frac{(H_1 + H_2 + \dots + H_n)^2}{\left[ \frac{H_1}{\sqrt{C_{v1}}} + \frac{H_2}{\sqrt{C_{v2}}} + \dots + \frac{H_n}{\sqrt{C_{vn}}} \right]^2} \quad (2.16)$$

dimana:

- $h_i$  = tebal lapisan  $i$
- $C_{vi}$  = Harga  $C_v$  lapisan  $i$

#### c. Panjang aliran *drainage* H (Hdr)

Apabila tebal lapisan lempung (*compressible soil*) kita sebut H, maka panjang aliran *drainage* Hdr adalah :



Hdr =  $\frac{1}{2}$  H, bila arah aliran air selama proses konsolidasi adalah dua arah (ke atas dan ke bawah)

Hdr = H, bila arah aliran *drainage*-nya satu arah (ke atas atau ke bawah). Hal ini terjadi bila di atas atau biasanya di bawah lapisan lempung tersebut merupakan lapisan yang kedap air (*impermeable*)

## 2.5 Tinggi Timbunan Awal ( $H_{\text{inisial}}$ )

Tinggi timbunan awal pada saat pelaksanaan tidak sama dengan tinggi timbunan rencana. Penentuan dari tinggi timbunan rencana pada saat pelaksanaan fisik (dengan memperhatikan adanya pemampatan), dapat dihitung dengan (Mochtar, 2000):

$$q_{\text{final}} = q = (H_{\text{inisial}} - S_c) \gamma_{\text{timb}} + S_c \gamma'_{\text{timb}} \quad [2.17]$$

$$q_{\text{final}} = q = (H_{\text{inisial}} \times \gamma_{\text{timb}}) - (S_c \times \gamma_{\text{timb}}) + (S_c \times \gamma'_{\text{timb}}) \quad [2.18]$$

$$H_{\text{inisial}} = \frac{q + (S_c \times \gamma_{\text{timb}}) - (S_c \times \gamma'_{\text{timb}})}{\gamma_{\text{timb}}} \quad [2.19]$$

$$H_{\text{akhir}} = H_{\text{inisial}} - S_c \quad [2.20]$$

Pada timbunan reklamasi, karena ada permukaan air laut setinggi ( $H_w$ ) maka perumusan untuk menentukan tinggi awal timbunan ( $H_{\text{inisial}}$ ) adalah sebagai berikut:

$$q_{\text{final}} = q = ((H_{\text{inisial}} - H_w - S_c) \times \gamma_{\text{timb}}) + (H_w \times \gamma'_{\text{timb}}) + (S_c \times \gamma'_{\text{timb}}) \quad [2.21]$$

$$H_{\text{inisial}} = \frac{q + (S_c + H_w) \times (\gamma_{\text{timb}} - \gamma'_{\text{timb}})}{\gamma_{\text{timb}}} \quad [2.22]$$

## 2.6 Penentuan Tinggi Kritis ( $H_{\text{cr}}$ )

Penentuan tinggi kritis digunakan sebagai beban awal preloading. Untuk muka air yang berada di atas muka tanah, tinggi timbunan kritis beban *preloading* dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$H_{cr} = \frac{C_u}{\gamma_{\text{timbunan}}} \quad [2.23]$$

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

$\gamma_{\text{timbunan}}$  = berat volume tanah timbunan ( $t/m^2$ )

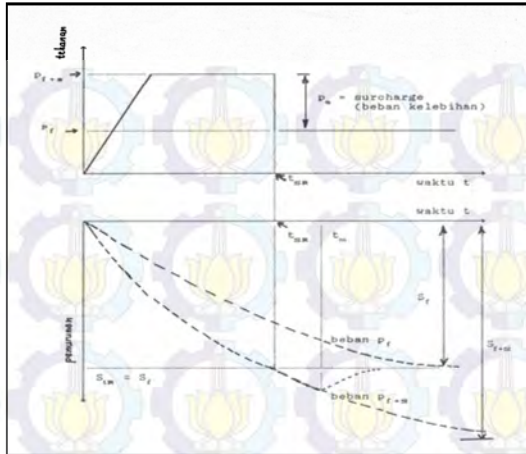
$H_{cr}$  = tinggi timbunan kritis (m)

Selain menggunakan persamaan diatas, penentuan  $H_{cr}$  dapat menggunakan program bantu. Dalam perencanaan ini program yang digunakan adalah XSTABLE.

## 2.7 Peningkatan Daya Dukung Tanah dengan Metode *Preloading*

Beban *preloading* yang diletakkan secara bertahap ditentukan berdasarkan besar pemampatan tanah dasar yang akan dihilangkan. Kekuatan geser tanah lempung akan mempengaruhi tinggi timbunan kritis. Sistem *precompression* atau *preloading* ialah metode perbaikan tanah dengan memberikan beban awal yang berlebih  $P_{f+s}$  sedemikian rupa sehingga pada waktu yang pendek  $t_{sr}$  didapatkan penurunan yang sama besarnya dengan total penurunan  $S_f$  dari beban rencana  $P_f$ , sebagaimana terlihat pada **Gambar 2.2**.





**Gambar 2.2** Prinsip Pembebanan *Preloading* pada Pemampatan Tanah dengan Beban Awal  $p_{f+s} > p_f$   
(Sumber: Mochtar, 2000)

Bila pada beban awal  $p_{f+s}$  penurunan  $S_f$  terjadi pada waktu  $t_{sr}$ , beban surcharge  $P_s$  dapat dibongkar. Kemudian dengan asumsi bahwa tanah sudah termampatkan sampai  $S_f$ , beban  $p_f$  tidak lagi menyebabkan penurunan tambahan. Makin besar  $p_{f+s}$  makin pendek waktu  $t_{sr}$ .

Daya dukung tanah dasar meningkat karena adanya pemampatan tanah dasar sebagai akibat adanya beban timbunan yang diletakkan secara bertahap. Beban bertahap dapat diletakkan secara terus menerus sampai dengan tinggi timbunan kritis ( $H_{cr}$ ) dicapai. Dan berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Ardana dan Mochtar (1999) diketahui bahwa ada hubungan antara kekuatan geser *undrained* ( $C_u$ ) dengan tegangan tanah vertikal efektif ( $\sigma'_v$ ). Peningkatan daya dukung tanah akibat pemampatan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

- a. Untuk harga *Plasticity Index*, PI tanah < 120 %  
 $C_u \text{ (kg/cm}^2\text{)} \equiv 0,073 + (0,1899 - 0,0016 \text{ PI}) \sigma_p'$  [2.24]
- b. Untuk harga *Plasticity Index*, PI tanah > 120 %  
 $C_u \text{ (kg/cm}^2\text{)} = 0,073 + (0,0454 - 0,00004 \text{ PI}) \sigma_p'$  [2.25]  
 Dimana harga  $\sigma_p'$  dalam  $\text{kg/cm}^2$

Untuk tanah tanah yang sedang mengalami konsolidasi, harga  $\sigma_p'$  berubah sesuai dengan waktu. Secara umum menurut Ardana dan Mochtar (1999) harga  $\sigma_p'$  dapat dicari dengan cara berikut:

$$\sigma_p' = \left( \frac{p'_0 + \Delta p'}{p'_0} \right)^U \cdot p'_0 \quad [2.26]$$

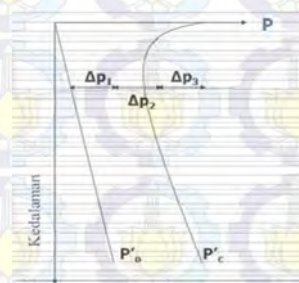
Bila :  $U = 100\% = 1$  , maka  $\sigma_p' = p'_0 + \Delta p'$

$U < 100\%$ , maka  $\sigma_p' < p'_0 + \Delta p'$

## 2.8 Timbunan Bertahap dan Besar Pemampatan

Seperi diketahui bahwa timbunan di lapangan diletakkan lapis demi lapis dengan kecepatan sesuai dengan yang direncanakan. Dengan demikian, formula yang dipergunakan untuk menghitung besar pemampatan konsolidasi perlu disesuaikan dengan besar beban dan pemakaian harga  $C_c$  dan  $C_s$ .

Untuk pembebanan secara bertahap dimana besar beban di setiap tahapan adalah  $\Delta p$ , digunakan persamaan berikut :



1. Bila  $(p'_0 + \Delta p1) \leq p'_c$

$$S_c = \frac{C_s H}{1 + \epsilon_0} \left[ \log \left( \frac{p'_0 + \Delta p1}{p'_0} \right) \right] \quad [2.27]$$

2. Bila  $(p'_0 + \Delta p1 - \Delta p2) > p'_c$

$$S_c = \frac{C_s H}{1 + \epsilon_0} \log \frac{p'_c}{p'_0 + \Delta p1} + \frac{C_c H}{1 + \epsilon_0} \log \frac{p'_0 + \Delta p1 + \Delta p2}{p'_c} \quad [2.28]$$

3. Bila  $(p'_0 + \Delta p1 + \Delta p2 + \Delta p3) > p'_c$

$$S_c = \frac{C_s H}{1 + \epsilon_0} \log \frac{p'_0 + \Delta p1 + \Delta p2 + \Delta p3}{p'_c} \quad [2.29]$$

Dimana:  $S_c$  = pemampatan konsolidasi pada lapisan tanah yang ditinjau

$H$  = tebal lapisan tanah *compressible*

$e_0$  = angka pori awal (*initial void ratio*)

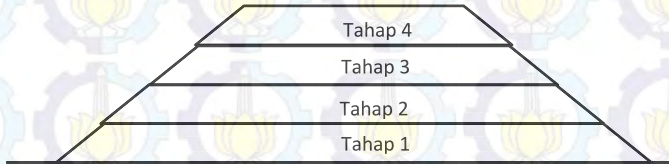
$C_c$  = indeks kompresi

$C_s$  = indeks mengembang

$\Delta p$  = beban *surchage*

$p'_0$  = tekanan tanah vertikal efektif dari suatu titik di tengah-tengah lapisan ke-i akibat beban tanah sendiri di atas titik tersebut di lapangan (*effective overburden pressure*)

$p'_c$  = tegangan konsolidasi efektif di masa lampau (*effective past overburden pressure*)



**Gambar 2.3** Timbunan diletakkan secara bertahap

Besarnya beban preloading yang akan diberikan dapat ditentukan terlebih dahulu, kemudian dibandingkan dengan tinggi timbunan atau beban yang mampu diterima oleh tanah dasar yaitu  $H_{cr}$  kritis ( $H_{cr}$ ). Apabila ternyata tinggi timbunan sebagai beban preloading yang akan diberikan lebih besar daripada  $H_{cr}$ , maka timbunan tersebut harus diletakkan secara bertahap (*stepped preloading*). Langkah-langkah pemberian beban preloading secara bertahap (*stepped preloading*) adalah sebagai berikut :

1. Menghitung pemampatan yang akan terjadi akibat timbunan setinggi  $H_{cr}$  (beban tahap I)
2. Menghitung besar pemampatan untuk  $U$  rata-rata = 90 % dan waktu yang diperlukannya yaitu  $St_1$  dan  $t_1$ .
3. Menghitung peningkatan daya dukung tanah akibat pemampatan sebesar  $St_1$  dengan menggunakan persamaan 2.24 dan 2.25.
4. Menghitung penambahan tinggi timbunan (beban tahap II) berdasarkan daya dukung tanah yang telah meningkat yang dihitung pada langkah no. 3.
5. Menghitung besar pemampatan akibat beban tahap II untuk  $U$  rata-rata = 90 % dan waktu yang diperlukannya,  $St_2$  dan  $t_2$ .
6. Menghitung peningkatan daya dukung setelah pemampatan akibat beban tahap II terjadi.
7. 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.

## **2.9 Perencanaan *Vertical Drain***

Pada tanah lempung yang mengalami waktu konsolidasi sangat lama diperlukan suatu sistem untuk mempercepat proses konsolidasi. Pada umumnya, percepatan konsolidasi dilakukan dengan memasang tiang-tiang vertikal yang mudah mengalirkan air (*vertical drain*).

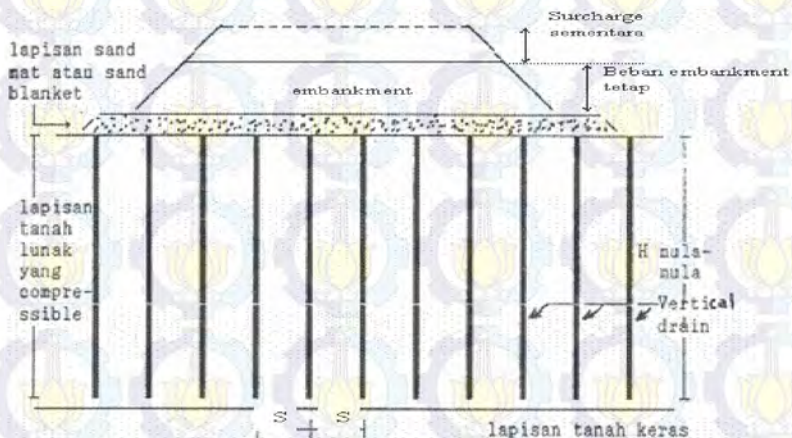
*Vertical drain* yang mudah mengalirkan air biasanya berupa *sand drain*/tiang pasir atau dari bahan geosintetis yang dikenal dengan "*wick drain*" atau juga dikenal sebagai *Prefabricated Vertical Drain* (PVD). Pada umumnya PVD banyak



digunakan karena kemudahan dalam pemasangan di lapangan. Tiang-tiang atau lubang-lubang tersebut "dipasang" di dalam tanah pada jarak tertentu sehingga memperpendek jarak aliran drainase air pori (*drainage path*). (Mochtar, 2000).

### 2.9.1 Menentukan Kedalaman *Vertical Drain*

*Vertical drain* perlu dipasang untuk mengatasi penurunan akibat konsolidasi tanah yaitu hingga kedalaman tanah *compressible* dengan nilai N-SPT 10. Sketsa pemasangan *vertical drain* dapat dilihat pada **Gambar 2.3**.



**Gambar 2.4** Pemasangan *vertical drain* pada kedalaman tanah yang *compressible* (sumber: Mochtar, 2000)

### 2.9.2 Menentukan Waktu Konsolidasi Akibat *Vertical Drain*

Penentuan waktu konsolidasi menurut Barron (1948) dengan teori aliran pasir vertikal, menggunakan asumsi teori Terzaghi tentang konsolidasi linier satu dimensi.

$$t = \left( \frac{D^2}{8.C_h} \right) \cdot F(n) \cdot \ln \left( \frac{1}{1 - \bar{U}_h} \right) \quad [2.29]$$

Dimana:  $t$  = waktu untuk menyelesaikan konsolidasi primer

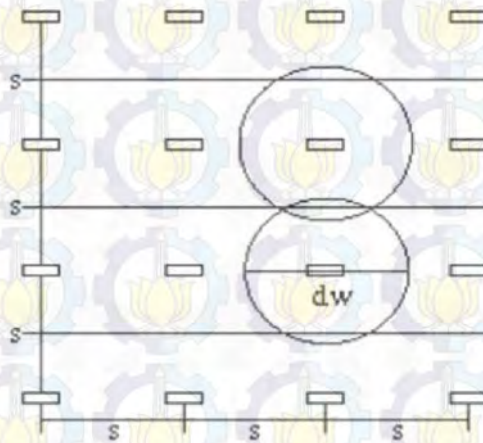
$D$  – diameter ekuivalen dari lingkaran tanah yang merupakan daerah pengaruh PVD

Harga  $D = 1,13 \times S$ , untuk pola susunan bujur sangkar (**Gambar 2.4**)

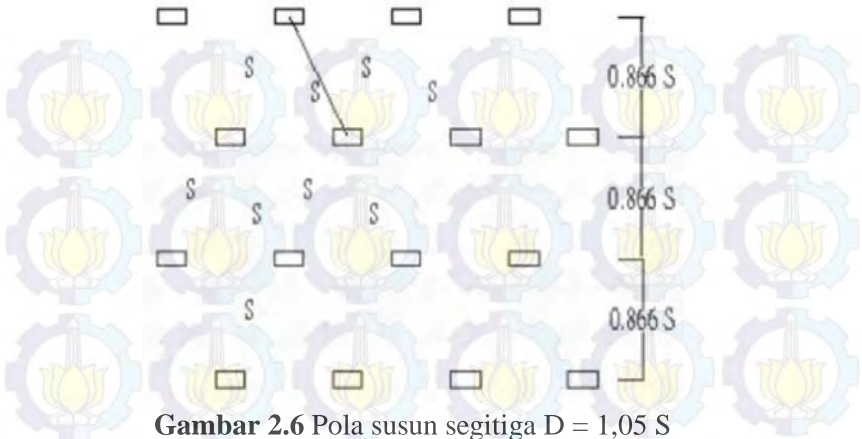
Harga  $D = 1,05 \times S$ , untuk pola susunan segitiga (**Gambar 2.5**)

$C_h$  = koefisien konsolidasi tanah arah horizontal

$\bar{U}_h$  = derajat konsolidasi tanah akibat aliran air arah horizontal.



**Gambar 2.5** Pola susun bujur sangkar  $D = 1,13 S$   
(sumber: Mochtar, 2000)



**Gambar 2.6** Pola susun segitiga  $D = 1,05 S$   
(sumber: Mochtar, 2000)

Fungsi  $F(n)$  adalah merupakan fungsi hambatan akibat jarak antara titik pusat PVD. Oleh Hansbo (1979) harga  $F(n)$  didefinisikan sebagai berikut :

$$F(n) = \left( \frac{n^2}{n^2 - 1} \right) \left[ \ln(n) - \left( \frac{3n^2 - 1}{4n^2} \right) \right] \quad [2.30]$$

atau

$$F(n) = \left( \frac{n^2}{n^2 - 1} \right) \left[ \ln(n) - \frac{3}{4} - \left( \frac{1}{4n^2} \right) \right] \quad [2.31]$$

Dimana:  $n = D/d_w$   
 $d_w$  = diameter ekuivalen dari *vertical drain*

Pada umumnya  $n > 20$  sehingga dapat dianggap  $1/n = 0$  dan

$\left( \frac{n^2}{n^2 - 1} \right) \approx 1$  , jadi:

$$F(n) = \ln(n) - \frac{3}{4} , \text{ atau} \quad [2.32]$$

$$F(n) = \ln\left(\frac{D}{dw}\right) - \frac{3}{4} \quad [2.33]$$

Hansbo (1979) menentukan waktu konsolidasi dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$t = \left(\frac{D^2}{8.C_h}\right) \cdot (F(n) + Fs + Fr) \cdot \ln\left(\frac{1}{1 - \bar{U}_h}\right) \quad [2.34]$$

Dimana:  $t$  = waktu yang diperlukan untuk mencapai  $\bar{U}_h$

$D$  = diameter equivalen lingkaran PVD

$S$  = jarak antar titik pusat PVD

$C_h$  = koefisien konsolidasi arah horisontal

$$C_h = \frac{k_h}{k_v} \times C_v \quad [2.35]$$

Dimana:  $k_h/k_v$  = perbandingan antara koefisien permeabilitas tanah arah horisontal dan vertikal, untuk tanah lempung yang jenuh air, harga berkisar antara 2-5

$F(n)$  = faktor hambatan disebabkan karena jarak antar PVD

$Fr$  = faktor hambatan akibat pada PVD itu sendiri

$Fs$  = faktor hambatan tanah yang terganggu (*disturbed*)

$\bar{U}_h$  = derajat konsolidasi tanah akibat aliran air arah horisontal

Harga  $Fr$  merupakan faktor tahanan akibat adanya gangguan PVD itu sendiri dan dirumuskan sebagai berikut:



$$Fr = \pi.z.(L - z) \cdot \left( \frac{k_h}{q_w} \right) \quad [2.36]$$

Dimana:  $z$  = kedalaman titik tinjau pada PVD terhadap permukaan tanah

$L$  = panjang drain

$k_h$  = koefisien permeabilitas arah horisontal dalam tanah yang tidak terganggu (*undisturbed*)

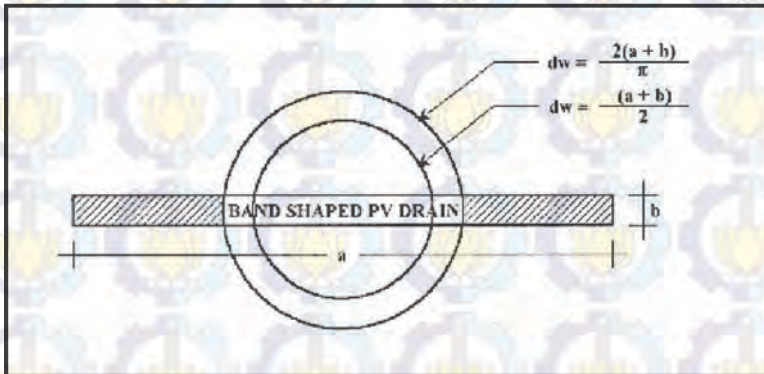
$q_w$  = *discharge capacity* dari drain (tergantung jenis PVD)

$$Fs = \left( \frac{K_h}{K_s} - 1 \right) \cdot \ln \left( \frac{d_s}{d_w} \right) \quad [2.37]$$

Dimana:  $k_s$  = koefisien permeabilitas arah horisontal pada tanah terganggu (*disturbed*)

$d_s$  = diameter tanah yang terganggu (*disturbed*) di sekeliling PVD

$d_w$  = diameter ekuivalen (**Gambar 2.6**)



**Gambar 2.7** Ekuivalen diameter untuk PVD  
(sumber: Mochtar, 2000)

Untuk memudahkan perencanaan maka dapat diasumsikan bahwa  $F(n) = F_s$  dan harga  $F_r$  umumnya kecil dan tidak begitu penting, maka harga  $F_r$  dianggap nol. Dengan memasukkan anggapan-anggapan tersebut, maka **persamaan 2.28** berubah menjadi:

$$t = \left( \frac{D^2}{8.C_h} \right) \cdot (2.F(n)) \cdot \ln \left( \frac{1}{1 - \bar{U}_h} \right) \quad [2.38]$$

Dimana:  $t$  = waktu yang dibutuhkan untuk mencapai  $U_h$   
 $D$  = diameter lingkaran PVD  
 $C_h$  = koefisien konsolidasi aliran horizontal  
 $F(n)$  = faktor hambatan disebabkan jarak antar PVD  
 $\bar{U}_h$  = derajat konsolidasi tanah akibat aliran air arah horizontal

Dengan memasukkan harga  $t$  tertentu, dapat dicari  $\bar{U}_h$  pada bagian lapisan tanah yang dipasang PVD (Mochtar, 2000).

### 2.9.3 Menghitung Derajat Konsolidasi Rata-Rata

Selain konsolidasi horizontal, juga terjadi konsolidasi vertikal ( $\bar{U}_v$ ). Harga  $\bar{U}_v$  dicari dengan menggunakan persamaan Cassagrande (1938) dan Taylor (1948):

- Untuk  $0 < U_v < 60\%$

$$\bar{U}_v = \left( 2 \sqrt{\frac{T_v}{\pi}} \right) \times 100\% \quad [2.39]$$

- Untuk  $U_v > 60\%$

$$\bar{U}_v = (100 - 10^{\bar{a}})\% \quad [2.40]$$

Dimana:

$$\bar{a} = \frac{1,781 - T_v}{0,933} \quad [2.41]$$

$T_v$  = faktor waktu ( dicari dengan menggunakan **persamaan 2.11**)

Derajat konsolidasi rata-rata  $\bar{U}$  dapat dicari dengan menggunakan persamaan Carillo:

$$\bar{U} = \left[ 1 - (1 - \bar{U}_h) \cdot (1 - \bar{U}_v) \right] \times 100\% \quad [2.42]$$

## 2.10 Perkuatan Tanggul dengan Turap

Turap merupakan benda pipih atau datar yang panjang, dipasang secara vertikal dan berfungsi sebagai penahan tanah dan kedap air. Konstruksi turap dapat dibuat dari bahan kayu, beton bertulang dan baja. Setiap bahan yang dipergunakan memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing. Pemilihan jenis turap disesuaikan dengan fungsi pemasangan dan kondisi lokasi pemasangan turap.

### 2.10.1 Perencanaan Turap dengan Angker

Berikut langkah perhitungan turap dengan angker :

1. Menggambar distribusi tekanan tanah aktif dan pasif.

Rumusnya adalah sebagai berikut :

$$\sigma_{h \text{ aktif}} = \sigma_v K_a - 2c\sqrt{K_a} \quad [2.43]$$

$$\sigma_{h \text{ pasif}} = \sigma_v K_p + 2c\sqrt{K_p} \quad [2.44]$$

dimana :

$$K_a = \tan^2 \left( 45 - \frac{\theta}{2} \right) \quad [2.45]$$

$$K_p = \tan^2 \left( 45 + \frac{\theta}{2} \right) \quad [2.46]$$





Menurut Teng (1962), apabila nilai  $H/h \leq 1,5$  sampai 2, tinggi papan anker dianggap = H

$$\text{Untuk } B/h \approx \infty; P_u = B (P_p - P_a) \quad [2.47]$$

Untuk  $B/h < 5$ , persamaan untuk menghitung kapasitas ultimit blok anker pendek di dekat tanah untuk tanah granuler sebagai berikut :

$$T \leq B(P_p - P_a) + \frac{1}{3} K_o \gamma (\sqrt{K_p} + \sqrt{K_a}) H^3 \text{tg} \phi \quad [2.48]$$

Dimana :

$$P_p = \frac{1}{2} \gamma H^2 \tan^2 \left( 45 + \frac{\phi}{2} \right) \quad [2.49]$$

$$P_a = \frac{1}{2} \gamma H^2 \tan^2 \left( 45 - \frac{\phi}{2} \right) \quad [2.50]$$

Dengan :

T = kapasitas ultimit blok anker

L = Panjang blok anker

Pa dan Pp = Tekanan aktif dan pasif total

Ko = Koefisien tekanan tanah saat diam  
(diambil = 0,4)

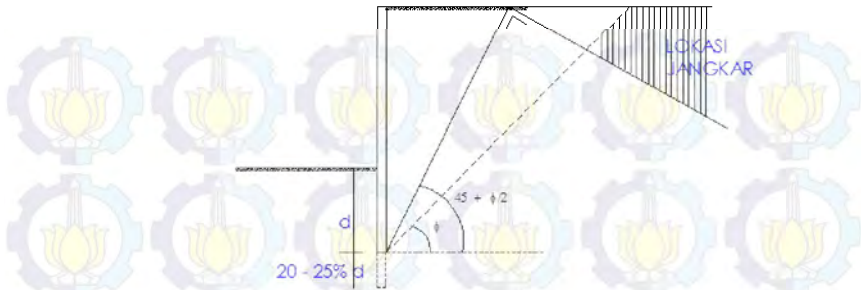
H = Kedalaman dasar anker terhadap permukaan tanah

B = Lebar blok anker

#### 5. Menentukan Panjang Baja Anker

Blok anker harus terletak pada zona tanah yang stabil.

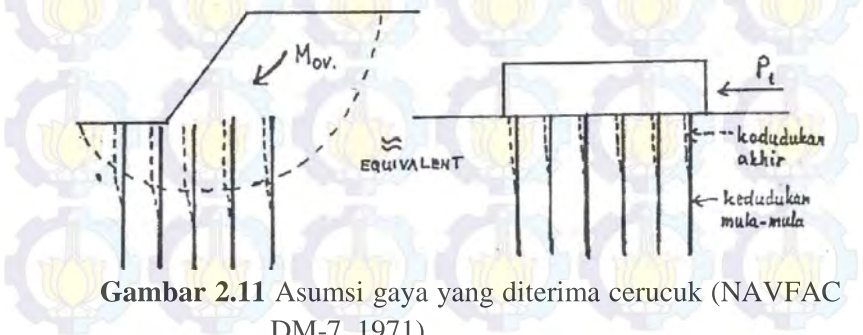
Penggambaran zona aman dapat dilihat pada Gambar 2.9.



**Gambar 2.10** Penentuan lokasi anker

### 2.11 Perencanaan Cerucuk

Penggunaan cerucuk dimaksudkan untuk meningkatkan tahanan geser tanah. Apabila tahanan tanah terhadap geser meningkat, maka daya dukung dari tanah tersebut juga akan meningkat. Asumsi yang dipergunakan dalam konstruksi cerucuk dapat dilihat pada **Gambar 2.10**. Pada gambar tersebut kelompok tiang (cerucuk) dengan “rigid cap” pada permukaan tanah menerima gaya horizontal. Gaya horizontal ini adalah merupakan tegangan geser yang terjadi sepanjang bidang gelincir.



**Gambar 2.11** Asumsi gaya yang diterima cerucuk (NAVFAC DM-7, 1971)

(sumber : Mochtar, 2000)

### 2.11.1 Menentukan Tambahan Momen Perlawanan ( $\Delta M_R$ )

Untuk menentukan tambahan momen perlawanan ( $\Delta M_R$ ) yang diperlukan untuk menahan momen dorong akibat adanya beban timbunan dilakukan analisa stabilitas lereng dengan menggunakan program XSTABLE atau PLAXIS. Analisa dilakukan hingga mendapatkan bidang kelongsoran dengan angka keamanan paling kritis. Apabila angka keamanan yang diperoleh dari analisa sama dengan atau kurang dari satu ( $\leq 1$ ) maka diperlukan tambahan momen penahan ( $\Delta M_R$ ) yang harus diberikan untuk mencapai angka keamanan rencana ( $SF_{rencana} > 1$ ) yang diinginkan agar tidak terjadi kelongsoran.

Momen tambahan ( $\Delta M_R$ ) dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$\Delta M_R = (SF_{rencana} \times M_p) - M_R \quad [2.51]$$

$$M_p = M_R / SF \quad [2.52]$$

Dimana:  $\Delta M_R$  = momen penahan tambahan yang akan dipikul oleh cerucuk.

$M_R$  = momen penahan atau momen perlawanan

$M_p$  = momen penggerak atau momen dorong

SF = angka keamanan awal (tanpa cerucuk)

$SF_{rencana}$  = angka keamanan yang direncanakan

### 2.11.2 Menghitung Momen Lentur yang Bekerja Pada Cerucuk

Menurut desain manual NAVFAC DM-7 (1971) dalam Mochtar (2000), besarnya momen lentur yang bekerja pada cerucuk didapat dari:

$$M_{p_{maks}} = \frac{\sigma_{max\ bahan} \times I_n}{c} \quad [2.53]$$

Dimana :  $\sigma_{maks}$  = tegangan tarik/ tekan maksimum dari bahan cerucuk

- $I_n$  = momen inersia penampang cerucuk  
 terhadap garis yang melewati penampang  
 $C$  =  $\frac{1}{2} D$   
 $D$  = diameter cerucuk

### 2.11.3 Menghitung Gaya Horizontal yang Mampu Ditahan Satu Tiang

Besarnya gaya maksimal ( $P_{maks}$ ) yang dapat ditahan oleh satu tiang/ cerucuk terjadi apabila nilai  $M_p$  sama dengan nilai momen maksimum lentur bahan cerucuk. Sehingga nilai dari gaya horizontal maksimal yang dapat ditahan oleh satu tiang diperoleh dari persamaan berikut ini (NAVFAC DM-17, 1971):

$$P_{max} (1cerucuk) = \frac{M_{p_{max}} 1cerucuk}{T \times F_M} \quad [2.54]$$

$$M_{p_{max}} = \frac{\sigma_{all} \times I}{y} \quad [2.55]$$

Dimana:  $P_{maks}$  = gaya horizontal yang diterima cerucuk (kg)

$M_{p_{maks}}$  = momen lentur yang bekerja pada cerucuk (kg-cm)

$T$  = faktor kekakuan relative (cm)

$F_M$  = koefisien momen akibat gaya lateral.

Harga  $F_m$  didapat dari **Gambar 2.9** yang merupakan grafik hubungan dari kedalaman ( $z$ ) dengan  $L/T$ . Dimana  $L$  adalah panjang cerucuk yang tertahan di bawah/atas bidang gelincir.

$\sigma_{all}$  = tegangan lentur ijin bahan cerucuk

$I$  = momen inersia tiang cerucuk,  $cm^4$

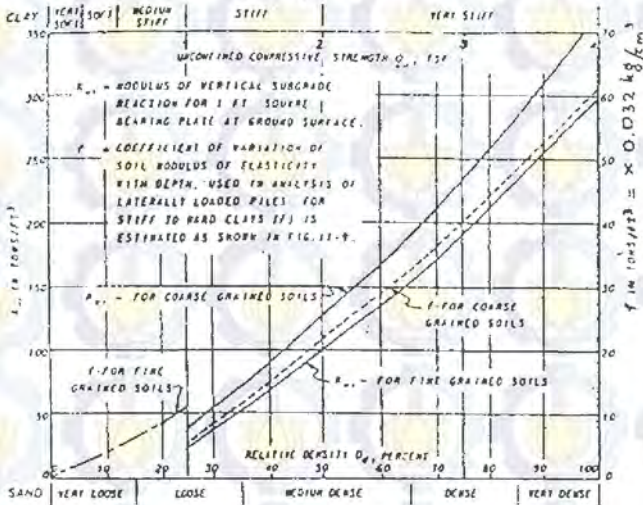


y = jarak antara serat teratas atau terbawah dari penampang cerucuk terhadap garis netral (cm)

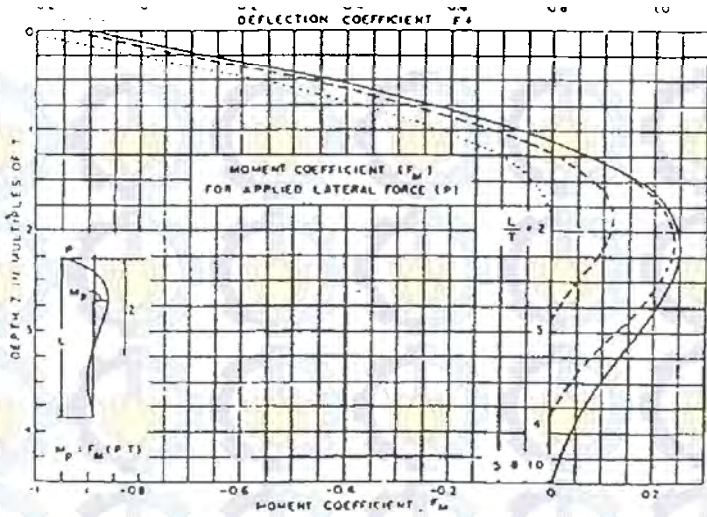
$$T = \left( \frac{EI}{f} \right)^{\frac{1}{5}} \quad [2.56]$$

Dimana: E = modulus elastisitas tiang (cerucuk), kg/cm<sup>2</sup>  
 f = koefisien dari variasi modulus tanah (dapat dicari dari **Gambar 2.8**) yang merupakan grafik hubungan antara f dengan *unconfined compression strength* (qu = 2 Cu).  
 I = momen inersia tiang (cerucuk), cm<sup>4</sup>

$$q_u \text{ tons/ft}^2 = \times 0.977 \text{ kg/cm}^2$$



**Gambar 2.12** Mencari Harga f untuk berbagai jenis tanah (sumber : NAVFAC DM-7, 1971 dalam Mochtar, 2000)



**Gambar 2.13** Grafik untuk mencari besar F<sub>M</sub>  
 (sumber: NAVFAC DM-7, 1971 dalam Mochtar, 2000)

**2.11.4 Menentukan Jumlah Cerucuk**

Jumlah cerucuk yang dibutuhkan dapat diperoleh dari rumus berikut:

$$n = \frac{\Delta M_R}{R \times P_{\max 1 \text{ cerucuk}}} \quad [2.57]$$

Dimana: R – jari-jari kelongsoran (m)

**2.12 Perencanaan Geotekstil**

Geotekstil dapat digunakan sebagai perkuatan tanah untuk meningkatkan daya dukung tanah dasar di bawah timbunan. Untuk perencanaan stabilitas dari timbunan di atas tanah lunak yang diperkuat dengan geotekstil, ada dua kondisi yang harus ditinjau, yaitu *Internal Stability* dan *Overall Stability*. *Internal Stability* adalah perhitungan kestabilan timbunan/ *embankment* agar tidak

terjadi kelongsoran pada bagian tubuh timbunan itu sendiri. Sedangkan *Overall Stability* adalah kestabilan timbunan bila ditinjau terhadap keruntuhan bidang gelincirnya.

Untuk melakukan perhitungan perencanaan geotekstil, diperlukan data-data yang diperoleh dari hasil *running* program bantu Xstable. Adapun data yang diperlukan adalah, nilai *safety factor* ( $F_0S$ ), momen penahan/ resisten ( $M_R$ ), dan jari-jari kelongsoran ( $R$ ).

1. Mencari momen dorong ( $M_D$ )

$$M_D = \frac{M_R}{F_0S} \quad [2.58]$$

2. Mencari  $\Delta M_R$  dari FS rencana

$$\Delta M_R = FS_{rencana} M_D - M_R \quad [2.59]$$

3. Mencari nilai tegangan izin ( $T_{allow}$ )

$$T_{allow} = T_{ultimate} \left[ \frac{1}{FS_{id} \times FS_{cr} \times FS_{cd} \times FS_{bd}} \right] \quad [2.60]$$

Dimana:  $T_{ultimate}$  = tegangan ultimate pada tipe standar stabilenka geotekstil

$$FS_{id} = 1,1 - 2,0$$

$$FS_{cr} = 2,0 - 3,0$$

$$FS_{cd} = 1,0 - 1,5$$

$$FS_{bd} = 1,0 - 1,3$$

4. Menghitung jumlah kebutuhan geotekstil

$$\Delta M_R \leq T_{allow} \times \sum R_i \quad [2.61]$$

Dimana:  $\sum R_i$  = penjumlahan jarak pasang masing-masing geotekstil terhadap titik pusat jari-jari kelongsoran, hingga nilainya lebih besar dari  $\Delta M_R$  ketika dikalikan  $T_{allow}$ .



### 5. Perhitungan panjang geotekstil di belakang bidang longsor

$$\tau_i = C + \sigma_N' \tan \delta \quad [2.62]$$

$$L_i = \frac{T_{allow} FS_{rencana}}{2\tau_i E} \quad [2.63]$$

Dimana:  $\tau_i$  = kuat geser tanah  
 $C$  = kohesi tanah  
 $\sigma_N'$  = tegangan normal tanah  
 $\delta$  =  $2/3 \phi$   
 $\phi$  = sudut tahanan geser tanah  
 $E$  = 0.8

### 6. Perhitungan panjang geotekstil di depan bidang longsor

Gambar timbunan, bidang longsor, dan panjang geotekstil di belakang bidang longsor diplot di program AutoCAD selanjutnya diperoleh panjang geotekstil di depan bidang longsor. Kebutuhan panjang total geotekstil diperoleh dari penjumlahan panjang geotekstil di belakang dan di depan bidang longsor.

### 2.13 Perhitungan Stabilitas

Di dalam melaksanakan penimbunan *preloading* misalnya, tidak diperkenankan penimbunan dilakukan sekaligus. Apabila timbunan tersebut terlalu tinggi, maka akan muncul permasalahan baru, yaitu longsor atau *sliding*. Salah satu solusi yang digunakan untuk mencegah agar timbunan itu tidak longsor adalah pelaksanaan penimbunan tanah dilakukan secara bertahap. Untuk itu tinggi timbunan maksimum yang masih tergolong aman terhadap *sliding* harus dicari.

## 2.14 Beban Peti Kemas (*Container*)

Peti kemas adalah peti atau kotak yang memenuhi persyaratan teknis sesuai dengan *International Organization for Standardization* (ISO) sebagai alat atau perangkat pengangkutan barang yang bisa digunakan diberbagai moda, mulai dari moda jalan dengan truk peti kemas, kereta api dan kapal petikemas laut. Dalam perencanaan tumpukan petikemas yang digunakan adalah sejumlah enam tumpukan.



Gambar 2.14 Penumpukan peti kemas.

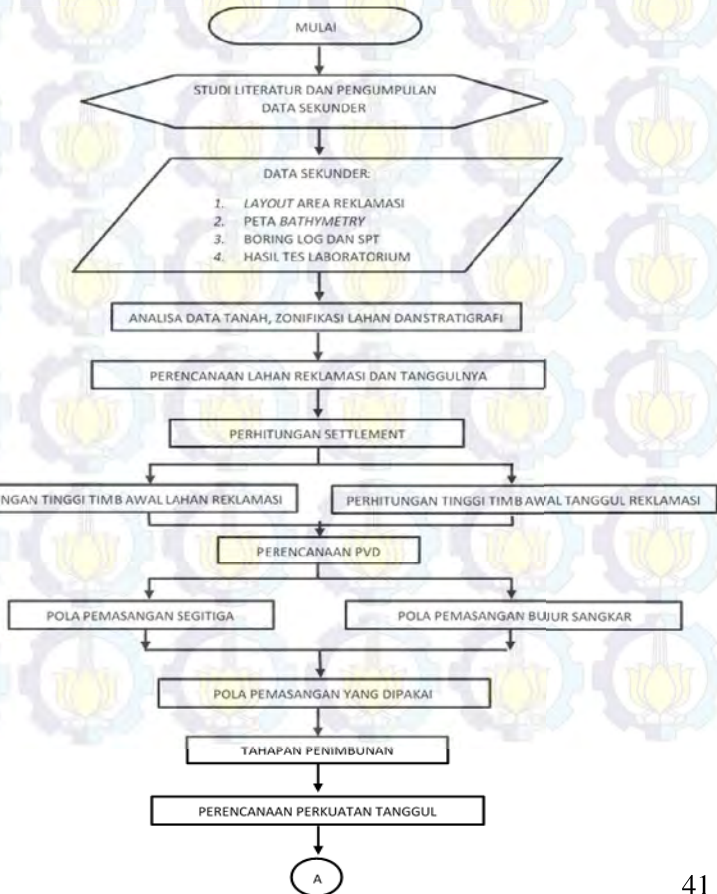
		Peti kemas 20 kaki		Peti kemas 40 kaki		Peti kemas 45 kaki	
		inggris	metrik	inggris	metrik	inggris	metrik
dimensi luar	panjang	19' 10½"	6.058 m	40' 0"	12.192 m	45' 0"	13.716 m
	lebar	8' 0"	2.438 m	8' 0"	2.438 m	8' 0"	2.438 m
	tinggi	8' 6"	2.591 m	8' 6"	2.591 m	9' 6"	2.896 m
dimensi dalam	panjang	18' 10 5/16"	5.758 m	39' 5 45/64"	12.032 m	44' 4"	13.556 m
	lebar	7' 8 19/32"	2.352 m	7' 8 19/32"	2.352 m	7' 8 19/32"	2.352 m
	tinggi	7' 9 57/64"	2.385 m	7' 9 57/64"	2.385 m	8' 9 15/16"	2.698 m
bukaan pintu	width	7' 8 ½"	2.343 m	7' 8 ½"	2.343 m	7' 8 ½"	2.343 m
	tinggi	7' 5 ¾"	2.280 m	7' 5 ¾"	2.280 m	8' 5 49/64"	2.585 m
volume		1,169 ft³	33.1 m³	2,385 ft³	67.5 m³	3,040 ft³	86.1 m³
berat kotor		52,910 lb	24,000 kg	67,200 lb	30,480 kg	67,200 lb	30,480 kg
berat kosong		4,850 lb	2,200 kg	8,380 lb	3,800 kg	10,580 lb	4,800 kg
muatan bersih		48,060 lb	21,800 kg	58,820 lb	26,680 kg	56,620 lb	25,680 kg

Tabel 2.3 Ukuran dan Berat Berbagai Jenis Peti Kemas

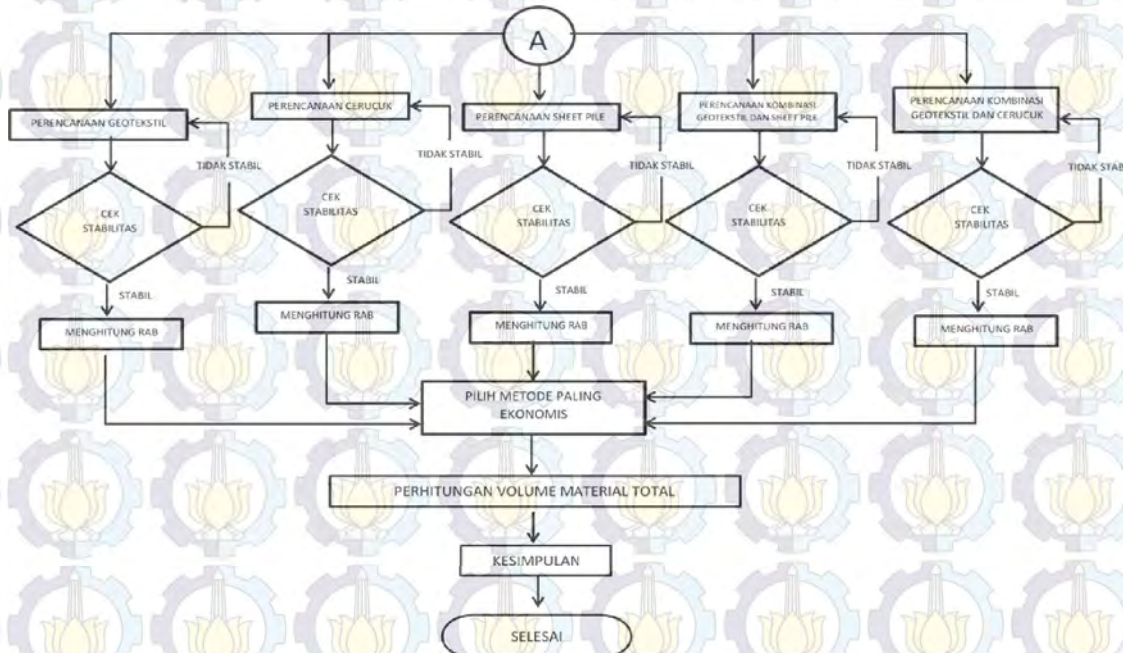
## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Bagan Alir

Berikut ini merupakan diagram alir Perencanaan Perbaikan Tanah di Dasar Lahan Reklamasi dan Tanggul Reklamasinya pada Terminal *New Priok*, Kalibaru, Jakarta Utara. Perencanaan dimulai dari perencanaan perbaikan tanah di dasar lahan reklamasi dan tanggulnya kemudian dilanjutkan dengan perencanaan perkuatan tanggul.







Gambar 3.2 Diagram Alir

### 3.2 Studi Literatur

Mempelajari konsep-konsep yang digunakan dalam menentukan karakteristik dan parameter tanah, metode percepatan pemampatan konsolidasi, dan perencanaan perkuatan tanggul. Adapun bahan studi yang akan dipakai dalam perencanaan ini adalah :

- a. Analisa Parameter Tanah
- b. Pemampatan Tanah Lunak
- c. Metode *Preloading*
- d. Metode *Prefabricated Vertical Drain*
- e. Metode Perkuatan dengan *Sheet Pile*
- f. Metode Perkuatan dengan Cerucuk
- g. Metode Perkuatan dengan Geotekstil.

### 3.3 Pengumpulan dan Analisa Data

Data-data yang dipakai dalam perencanaan ini adalah data sekunder yang meliputi :

- a. Denah Lokasi
- b. Data tanah, mencakup :
  - *Boring log* dan *Standard Penetration Test (SPT)*
  - Hasil Tes Tanah Laboratorium
- c. Peta Bathymetri
- d. Data perencanaan reklamasi

### 3.4 Perencanaan Lahan Reklamasi dan Tanggulnya

Hal-hal yang perlu diperhitungkan pada perencanaan geoteknis reklamasi adalah :

- a. Perencanaan Timbunan  
Timbunan diperlukan dalam perencanaan reklamasi karena elevasi rencana pelabuhan adalah +4,50 m sedangkan elevasi eksisting sebelum konstruksi berada



pada kedalaman antara -4,20 hingga -5,50 m. Sehingga diperlukan timbunan untuk mencapai elevasi rencana.

b. Perencanaan Perbaikan Tanah

Perencanaan perbaikan tanah dasar meliputi :

- Perencanaan Tinggi Timbunan

Tinggi timbunan awal yang diberikan pada saat pelaksanaan penimbunan tidak sama dengan tinggi timbunan rencana. Hal ini dikarenakan tanah dasar yang terbebani timbunan akan mengalami pemampatan, sehingga perlu dilakukan perhitungan untuk menentukan tinggi timbunan pelaksanaan ( $H_{initial}$ ) dengan mempertimbangan pemampatan pada tanah asli. Jika tinggi timbunan awal ( $H_{initial}$ ) dijumlahkan dengan besarnya pemampatan, maka didapatkan tinggi timbunan rencana ( $H_{final}$ ). Perhitungan dilakukan dengan metode *preloading* sistem *surcharge*.

- Perencanaan *Prefabricated Vertical Drain* (PVD)

Perencanaan perbaikan tanah dengan metode PVD bertujuan untuk mempercepat waktu pemampatan tanah. PVD direncanakan dengan membandingkan pola pemasangan segitiga dan segiempat kemudian dipilih pola dan jarak pemasangan yang paling optimal untuk mencapai pemampatan konsolidasi.

c. Perhitungan Pemampatan (*Settlement*)

Perhitungan pemampatan yang terjadi pada lapisan tanah dilakukan setelah dilakukan perbaikan tanah. Pada perencanaan reklamasi ini akan dihitung akibat beban timbunan *surcharge* dan PVD yang diberikan. Perhitungan pemampatan akan dilaksanakan pada setiap tahap pekerjaan agar tidak terjadi kegagalan perencanaan.

d. Perhitungan Waktu Pemampatan

Selain perhitungan besarnya pemampatan pada lapisan tanah dihitung juga lama pemampatan yang akan terjadi akibat perbaikan tanah yang dilakukan. Waktu yang diinginkan adalah waktu yang tercepat sehingga pekerjaan lain akan cepat dilaksanakan pula. Pada perencanaan ini, waktu pemampatan yang direncanakan adalah 6 bulan. Ketika 6 bulan, diharapkan pemampatan lapisan tanah sudah selesai atau minimal 90% selesai.

### 3.5 Perencanaan Perkuatan Tanggul

Pada perencanaan perkuatan tanggul menggunakan cerucuk, *sheet pile* dan geotekstil. Masing – masing perkuatan dihitung kemudian dicek kestabilan nya. Pengecekan tersebut berguna untuk menghindari kegagalan saat pelaksanaan maupun saat pelabuhan telah beroperasi. Kemudian membuat alternatif – alternatif pemilihan dengan menggunakan kombinasi diantara ketiga metode tersebut. Dari banyak alternatif yang sudah ditentukan dipilih alternatif yang memiliki nilai paling ekonomis dari semua alternatif.

### 3.6 Perhitungan Volume Material

Setelah didapatkan hasil berupa jumlah, dimensi, jarak dan kedalaman yang dibutuhkan pada setiap aspek geoteknik, maka akan dianalisa berapa volume material yang diperlukan pada Perencanaan Perbaikan Tanah di Dasar Lahan Reklamasi dan Tanggul Reklamasinya pada Terminal New Priok, Kalibaru, Jakarta Utara

### 3.7 Kesimpulan

Setelah perhitungan perencanaan selesai, maka dapat ditarik kesimpulan apakah perbaikan tanah dengan menggunakan PVD dan *preloading* telah cukup untuk mempercepat konsolidasi dan menaikkan daya dukung tanah dasar. Selain itu juga dapat diketahui apakah tanggul dengan dimensi dan kekuatan yang dipilih telah cukup untuk mengatasi permasalahan kestabilan.





## **BAB IV DATA DAN ANALISA**

### **4.1 Data Tanah**

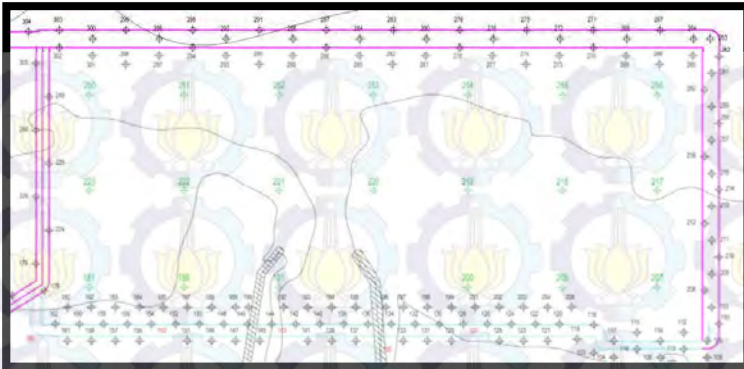
Data tanah yang digunakan dalam Tugas Akhir ini adalah data SPT dan data laboratorium hasil penyelidikan tanah Proyek Pembangunan Terminal Petikemas Kalibaru, Jakarta (Tahap I) yang dilakukan oleh Indonesia Port Company (Pelindo II) pada tahun 2012. Data SPT yang tersedia berjumlah tiga ratus titik data pengeboran, 150 diantaranya berada di dalam lokasi reklamasi yang direncanakan.

Data pengujian laboratorium yang tersedia berjumlah 150 titik data pengeboran yang berada dalam lokasi proyek. Data dianalisa dengan membandingkan jenis tanah dan analisa SPT untuk mendapatkan kedalaman tanah mampu mampat ( $N_{SPT} \leq 10$ ). Letak tanah mampu mampat berkisar antara -15 m LWS hingga -25 m LWS dengan elevasi rencana +4,5 m LWS. Layout titik bor dapat dilihat pada Gambar 4.1. Dengan menggunakan data SPT tersebut, dibuat zonafikasi dari area yang akan direklamasi berdasarkan ketebalan lapisan mampu mampat, seperti ditunjukkan dalam Gambar 4.2 dan 4.3.

### **4.2 Analisa Parameter Tanah**

#### **4.2.1 Stratigrafi Tanah**

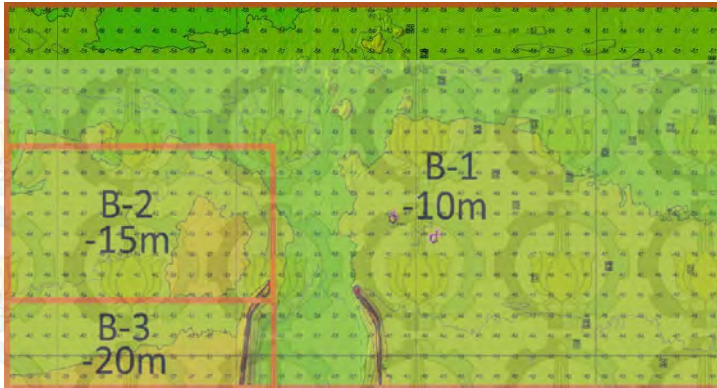
Data parameter tanah tiap titik yang diperoleh dari hasil penyelidikan tanah dianalisis dengan cara membuat stratigrafi tanah dan pengelompokan berdasarkan jenis dan konsistensi tanah. Pembagian lapisan tanah dilakukan setiap ketebalan 1,25 m untuk mendapatkan nilai yang lebih detail. Data akan dibandingkan dengan analisa stratigrafi untuk ditentukan apakah data dapat dianggap seragam sehingga dapat ditentukan parameter tanah menggunakan metode statistik dengan selang kepercayaan 90%.



**Gambar 4.1** Layout Lokasi Titik Bor  
(PT. PP)



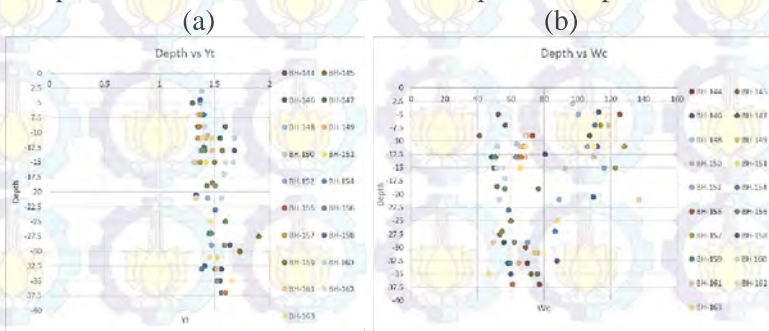
**Gambar 4.2** Grafik 3D kedalaman tanah lunak  
(Sumber: Hasil analisa)



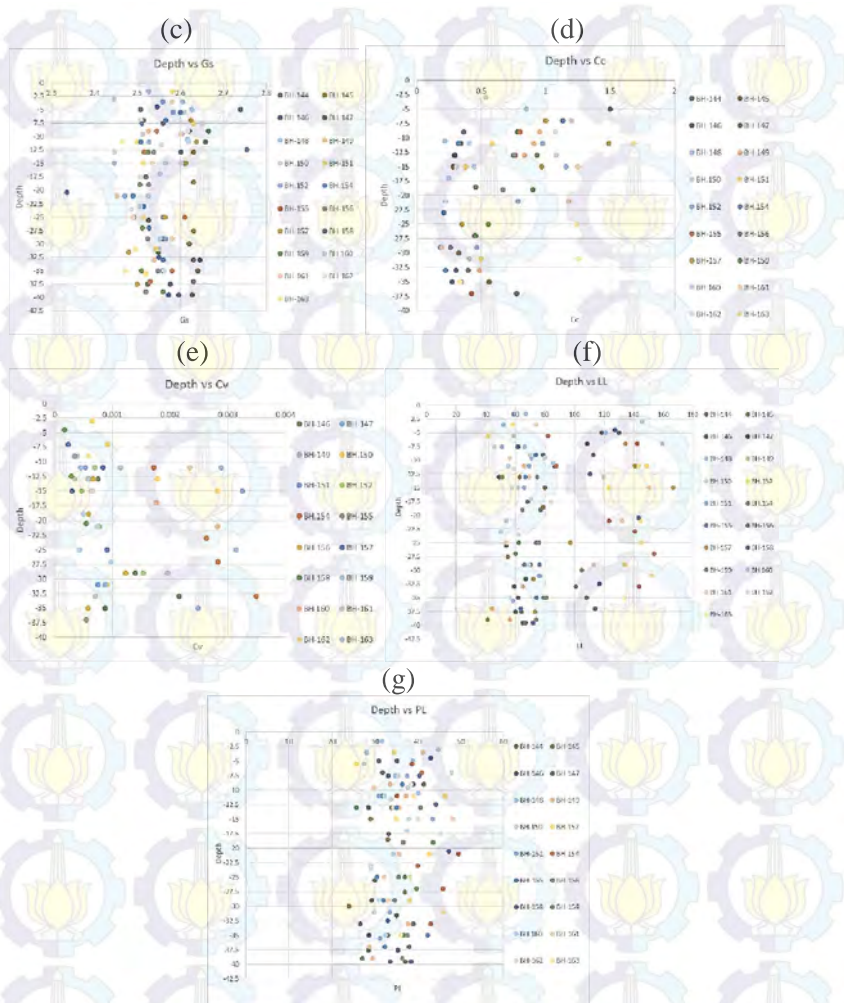
**Gambar 4.3** Zonifikasi ketebalan lapisan tanah lunak  
(Sumber: Hasil analisa)

#### 4.2.2 Penentuan Parameter Tanah Menggunakan Metode Statistik

Analisa parameter tanah dilakukan untuk mendapatkan data tanah yang digunakan untuk perencanaan timbunan reklamasi. Metode yang digunakan adalah cara statistik selang pendek dengan derajat kepercayaan 90%. Dengan menggunakan zonifikasi (Gambar 4.3), masing-masing parameter tanah diplot terhadap kedalamannya seperti diberikan pada Gambar 4.4. Hasil analisa statistika tiap parameter untuk zona B-1 dan B-2 diberikan di Lampiran 1 dan hasil analisa area B-3 dapat dilihat pada Tabel 4.1.







**Gambar 4.4** Plotting parameter tanah menurut kedalaman  
 (a) Berat Jenis Tanah Jenuh, (b) Kadar air, (c) Gs, (d) Cv, (e) Cc,  
 (f) , (g) *Liquid Limit*, (h) *Plasticity Limit*  
 (Sumber: Hasil Analisa)

Setelah melakukan plotting pada grafik. Kemudian dilakukan pengelompokan nilai berdasarkan kedalaman tertentu. Pengelompokan nilai tersebut valid dan tidaknya ditentukan oleh nilai koefisien varian (CV). Dimana distribusi sebaran suatu nilai dapat diterima jika harga koefisien varian (CV) dari sebaran tersebut bernilai lebih kecil atau sama dengan 30%. Apabila nilai koefisien varian (CV) lebih besar dari pada 30%, maka perlu dilakukan pengelompokan layer tanah sampai nilai CV tersebut kurang dari atau sama dengan 30%.

Selanjutnya dilakukan perhitungan batas atas dan batas bawah yang mewakili kelompok data tersebut dengan selang kepercayaan 90% dengan menggunakan Persamaan 2.4. Setelah mendapatkan nilai batas atas dan batas bawah maka dapat ditentukan nilai yang mewakili dari tiap kelompok data. Berikut hasil analisa parameter tanah untuk nilai dari berat jenis tanah jenuh ditampilkan pada Tabel 4.1.

**Tabel 4.1** Hasil Analisa Statistika

Depth	N	Mean	Stdev	Cv	T Tabel	Batas Atas	Batas Bawah
0-7	26	1.387	0.118	0.085	2.064	1.435	1.339
7-21	75	1.550	0.156	0.101	1.993	1.585	1.514
23-30	43	1.603	0.123	0.076	2.020	1.641	1.565
30-40	43	1.555	0.093	0.060	2.020	1.583	1.526

Pemilihan nilai parameter berdasarkan parameter tanah yang dianalisa. Nilai parameter yang mewakili kondisi terjelek dari parameter tanah tersebut maka itu yang dipilih. Dalam perhitungan berat jenis tanah jenuh ini dipilih nilai batas bawah yang mewakili kondisi terjelek. Untuk hasil analisa setiap parameter tanah zona B-3 disajikan pada Tabel 4.2.



**Tabel 4.2** Parameter Tanah Zona B-3

Depth		Yt	Wc	Gs	Cc	Cv	LL	PL	PI	e
0	-2.5	1.339229	106.2525	2.554835	1.06716	0.000289311	85.4008	33.95042	1.405277	2.93466
-2.5	-5	1.339229	106.2525	2.554835	1.06716	0.000289311	85.4008	33.95042	1.405277	2.93466
-5	-7.5	1.339229	106.2525	2.554835	1.06716	0.000289311	85.4008	33.95042	1.405277	2.93466
-7.5	-10	1.339229	71.40873	2.554835	0.375228	0.000710572	85.4008	33.95042	0.728047	2.269949
-10	-12.5	1.513523	71.40873	2.554835	0.375228	0.000710572	85.4008	35.4416	0.71993	1.893389
-12.5	-15	1.513523	71.40873	2.554835	0.375228	0.000710572	85.4008	35.4416	0.71993	1.893389
-15	-17.5	1.513523	64.15596	2.554835	0.375228	0.000710572	85.4008	35.4416	0.574756	1.770962
-17.5	-20	1.513523	64.15596	2.554835	0.319888	0.000840492	92.4068	35.4416	0.504068	1.770962
-20	-22.5	1.513523	64.15596	2.554835	0.319888	0.000840492	92.4068	35.4416	0.504068	1.770962
-22.5	-25	1.565194	64.15596	2.554835	0.319888	0.000840492	92.4068	34.60061	0.511283	1.679484
-25	-27.5	1.565194	64.15596	2.554835	0.319888	0.000840492	92.4068	34.60061	0.511283	1.679484
-27.5	-30	1.565194	64.15596	2.554835	0.319888	0.000840492	92.4068	34.60061	0.511283	1.679484
-30	-32.5	1.525782	70.80213	2.554835	0.319888	0.000840492	92.4068	34.18871	0.628901	1.859984
-32.5	-35	1.525782	70.80213	2.554835	0.319888	0.000503264	92.4068	34.18871	0.628901	1.859984
-35	-37.5	1.525782	70.80213	2.554835	0.319888	0.000503264	85.2249	34.18871	0.717401	1.859984
-37.5	-40	1.525782	70.80213	2.554835	0.319888	0.000503264	85.2249	34.18871	0.717401	1.859984

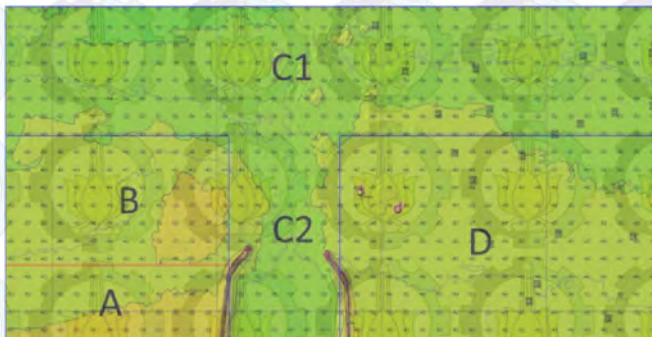
(Sumber: Hasil Analisa)

Dari hasil analisa stratigrafi yang dilakukan, diperoleh hasil bahwa zonafikasi yang dibuat pada Gambar 4.3 perlu dipersempit lagi karena terdapat beberapa variabel yang berbeda. Variabel tersebut tidak hanya ketebalan lapisan tanah mampu mampat saja tapi juga ketebalan dan letak lapisan pasir. Hanya saja, karena tidak didapatkan letak kedalaman lapisan pasir yang sama dalam satu area, maka zonafikasi didasarkan pada ketebalan lapisan tanah mampu mampat dan kedalaman seabed saja seperti ditunjukkan dalam Gambar 4.5. *Resume* profil tanah ketiga zona ditampilkan pada Tabel 4.3.

**Tabel 4.3** Resume Zonifikasi

Nama Zona	Depth		Dimensi	
	Seabed	Soft Soil	Panjang	Lebar
	(m.LWS)	(m.LWS)	(m)	(m)
A	-5	-25	200	700
B	-5	-20	350	700
C1	-6	-16	350	2050
C2	-6	-16	550	350
D	-5	-16	550	1000

(Sumber: Hasil Analisa)



**Gambar 4.5** Zonifikasi berdasarkan ketebalan tanah mampu mampat dan kedalaman seabed

(Sumber: Hasil Analisa)

### 4.3 Data Tanah Timbunan

Material timbunan reklamasi yang digunakan berasal dari daerah dari lokasi proyek. Spesifikasi teknis dari material adalah sebagai berikut :

- Sifat fisik tanah timbunan :

$$C = 0$$

$$\gamma_{\text{sat}} = 2,0 \text{ t/m}^2$$

$$\gamma_t = 1,8 \text{ t/m}^2$$

$$\phi = 30^\circ$$

- Geometri Timbunan

Tinggi tanah timbunan ( $H_{\text{final}}$ ) direncanakan hingga elevasi +4.5 m LWS dengan luas area timbunan reklamasi 900 x 2050 m<sup>2</sup>

### 4.4 Data Spesifikasi Bahan

#### 4.4.1 PVD (*prefabricated Vertical Drain*)

Jenis PVD yang digunakan pada perencanaan ini adalah CeTeau Drain CT-D812 produksi PT. Teknindo Geosistem Unggul dengan spesifikasi sebagai berikut:

- Weight = 80 g/m
- Thickness (a) = 100 mm
- Width (b) = 5 mm

Spesifikasi selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran 2.

#### 4.4.2 *Sheet pile Baja*

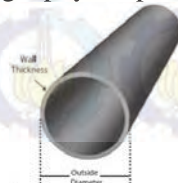
Tipe *sheet pile* – Steel Pipe Piles

Outside Diameter = 1110 mm

Wall thick = 19 mm

Section modulus – (171 x 102) cm<sup>3</sup>

Spesifikasi selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran 3





#### 4.4.3 Geotextile

Perencanaan ini menggunakan STABILENKA *geotextile woven* yang diproduksi Geotech dengan *Tensile Strength* 400 Kn/m'. Spesifikasi selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran 4.

#### 4.5 Data Beban

Reklamasi akan dibebani dengan beban kontainer. Data kontainer dapat dilihat pada Tabel 2.13. Reklamasi direncanakan dapat menahan beban kontainer 20 TEUs (20feet) dengan jumlah 6 tumpuk (6 Tiers).

Kontainer 20 TEUs, 5+1 Tiers ( $q_{\text{surcharge}}$ )

$$q_{\text{surcharge}} = 6 \times \frac{\text{Berat kontainer}}{\text{Luas alas kontainer}}$$

$$q_{\text{surcharge}} = 6 \times \frac{24}{6,058 \times 2,438} \text{ ton/m}^2$$

$$q_{\text{surcharge}} = 6 \times 1,625 \text{ ton/m}^2$$

$$q_{\text{surcharge}} = 9,75 \text{ ton/m}^2$$

Maka, tinggi timbunan bongkar ( $H_{\text{surcharge}}$ ):

$$H_{\text{bongkar}} = \frac{q_{\text{surcharge}}}{\gamma_{\text{timb}}} = \frac{9,75 \text{ t/m}^2}{1,8 \text{ t/m}^3} = 5,5 \text{ m}$$



**Halaman ini sengaja dikosongkan**

## BAB V PERENCANAAN GEOTEKNIK

### 5.1 Perhitungan Tinggi Inisial ( $H_{\text{inisial}}$ )

Prakiraan konsolidasi pada perencanaan ini dihitung berdasarkan pemampatan tanah akibat konsolidasi primer (*consolidation primair settlement*) yaitu pada kondisi *normally consolidated* dengan pertimbangan kondisi tanah tidak terpengaruh oleh fluktuasi muka air laut. Dari perhitungan tersebut diperoleh besar pemampatan ( $S_c$ ), tinggi timbunan awal ( $H_{\text{inisial}}$ ) dan tinggi timbunan akhir ( $H_{\text{final}}$ ) untuk perencanaan.

Untuk mendapatkan nilai  $H_{\text{inisial}}$  dilakukan perhitungan pemampatan konsolidasi dengan variasi pemberian beban timbunan ( $q$ ). Berikut variasi beban timbunan yang diberikan pada zona A yang merupakan kombinasi dari beban timbunan dan surcharge yaitu  $q_1 = 10,40 \text{ t/m}^2$ ,  $q_2 = 17,60 \text{ t/m}^2$ ,  $q_3 = 24,80 \text{ t/m}^2$ ,  $q_4 = 32,00 \text{ t/m}^2$ , dan  $q_5 = 39,20 \text{ t/m}^2$ .

#### 5.1.1 Perhitungan Besar Pemampatan (*Settlement*)

Dari hasil analisis data tanah, diperoleh tebal lapisan *compressible* pada tiga zona adalah 10 m pada Zona B-1, 15 m pada Zona B-2 dan 20 m pada Zona 3. Lapisan *compressible* memiliki N-SPT kurang dari 10 dengan jenis konsistensi tanah *very soft* hingga *medium stiff*. Perhitungan *settlement* dapat diperoleh dengan persamaan (2.7). *Settlement* dihitung akibat beban timbunan dan *surcharge*. Berikut ini adalah contoh perhitungan *settlement* pada tanah dasar lapis 1 akibat beban timbunan  $32 \text{ t/m}^2$ .

Gambar penampang tanah dapat dilihat pada Lampiran 5.

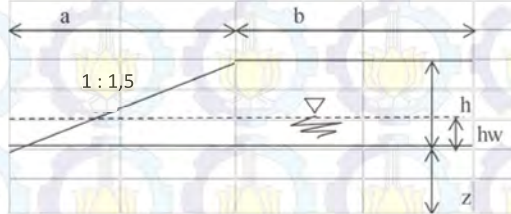
$h$	$= 1,25 \text{ m}$	$\gamma_w$	$= 1,0 \text{ t/m}^3$
$\gamma_{\text{sat}}$	$= 1,34 \text{ t/m}^3$	$\gamma'$	$= 0,34 \text{ t/m}^3$
$C_c$	$= 1,07$	$\gamma_{\text{sat timb}}$	$= 2,0 \text{ t/m}^3$
$e_o$	$= 2,93$	$\gamma'_{\text{timb}}$	$= 1,0 \text{ t/m}^3$

1. Tegangan *overburden* efektif ( $P'o$ )

Dihitung di tengah lapisan tanah dengan persamaan (2.11)

$$\begin{aligned} P'o &= \gamma' \times h \\ &= 0,34 \text{ t/m}^3 \times 1,25 \text{ m} \\ &= 0,21 \text{ t/m}^3 \end{aligned}$$

2. Penambahan tegangan ( $\Delta p$ )



$$\begin{aligned} b &= 100 \text{ m} \\ z &= 0,625 \text{ m} \end{aligned}$$

Distribusi tegangan pada lahan reklamasi,  $b/z = 160$  sehingga dari bacaan grafik Gambar 2.2, dipakai faktor distribusi tegangan maksimum  $I = 0.5$ . Karena  $I$  tersebut digunakan untuk setengah timbunan maka perhitungan dengan persamaan (2.12) untuk timbunan total dapat dikali 2.

$$\begin{aligned} \Delta p &= 2 \times I \times q \\ &= 2 \times 0,5 \times 32 \text{ t/m}^3 \\ &= 32 \text{ t/m}^2 \end{aligned}$$

3. Besarnya pemampatan ( $S_c$ )

Dengan menggunakan persamaan (2.7) didapatkan :

$$\begin{aligned} S_{c\sim} &= \frac{H}{1 + e_o} \left[ C_c \log \left( \frac{\sigma_o' + \Delta \sigma}{\sigma_o'} \right) \right] \\ &= \frac{1,25}{1 + 2,93} \left[ 1,07 \log \left( \frac{0,21 + 32}{0,21} \right) \right] \\ &= 0,74 \text{ m} \end{aligned}$$

Total pemampatan yang terjadi dari seluruh layer tanah pada Zona A akibat beban timbunan  $q = 32 \text{ t/m}^2$  adalah sebesar 4,49 m.



### 5.1.2 Perhitungan Tinggi Timbunan Awal ( $H_{\text{inisial}}$ ) dan Tinggi Timbunan Akhir ( $H_{\text{final}}$ )

Tinggi timbunan awal dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan (2.18).

$$H_{\text{inisial}} = \frac{q_{\text{final}} + (S_c + H_w) \times (\gamma_{\text{timb}} - \gamma'_{\text{timb}})}{\gamma_{\text{timb}}}$$

Dimana :

$$S_c \text{ akibat } (q_{\text{timbunan}}) 32 \text{ t/m}^3 = 4,49 \text{ m}$$

$$H_w = 5 \text{ m}$$

$$\gamma_{\text{timbunan}} = 1,8 \text{ ton/m}^2$$

$$\gamma_{\text{sat timb}} = 2,0 \text{ ton/m}^2$$

$$\gamma_w = 1,0 \text{ ton/m}^2$$

$$\gamma'_{\text{timb}} = 1,0 \text{ ton/m}^2$$

Maka :

$$H_{\text{inisial timb}} = \frac{32 + (4,49 + 5) \times (1,8 - 1,0)}{1,8} - 22 \text{ m}$$

$H_{\text{surchage}}$  merupakan tinggi timbunan yang mewakili beban yang akan diberikan pada timbunan. Dalam hal ini  $H_{\text{surchage}}$  mewakili beban kontainer. Timbunan surcharge akan dibongkar setelah timbunan mengalami pemampatan sebesar yang direncanakan. Sehingga persamaan  $H_{\text{final}}$  adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} H_{\text{final}} &= H_{\text{inisial}} - S_c - H_{\text{surchage}} \\ &= 22 \text{ m} - 4,49 \text{ m} - 5,5 \text{ m} \\ &= 12,01 \text{ m} \end{aligned}$$

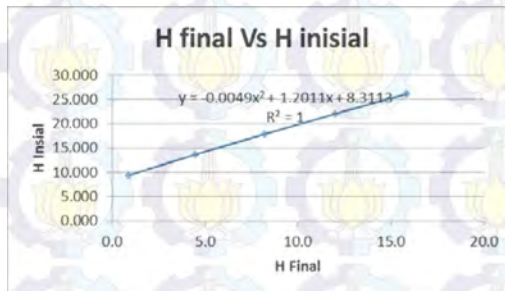
Dengan cara yang sama seperti di atas, selanjutnya dilakukan perhitungan kembali pada 5 zona dengan variasi beban timbunan lain yang sudah ditentukan. Perhitungan *settlement* selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran 6 dan dari perhitungan akibat variasi beban di atas didapat hasil yang disajikan pada Tabel 5.1.



**Tabel 5.1** Perhitungan Settlement Akibat Variasi Beban

Q timb (t/m)	Sc (m)	H inisial (m)	Hkontainer (m)	H final (m)
10.400	2.961	9.316	5.500	0.855
17.600	3.651	13.623	5.500	4.472
24.800	4.128	17.835	5.500	8.207
32.000	4.494	21.997	5.500	12.004
39.200	4.790	26.129	5.500	15.839

(Sumber: Hasil Analisa)

**Gambar 5.1** Grafik Hubungan antara  $H_{\text{inisial}}$  dan  $H_{\text{final}}$  pada area Zona A (Sumber: Hasil Analisa)

Dengan menggunakan persamaan yang dihasilkan dari grafik pada Gambar 5.1 maka tinggi timbunan awal yang dibutuhkan untuk mencapai tinggi timbunan akhir elevasi 4,5 m LWS atau 9,5 m dari dasar laut adalah dihitung sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 H_{\text{inisial}} &= -0,0049x^2 + 1,2011x + 8,3113 \\
 &= -0,0049(9,5)^2 + 1,2011(9,5) + 8,3113 \\
 &= 19,27 \text{ m} = 19,3 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Jadi untuk memperoleh  $H_{\text{final}}$  elevasi +4,5 m pada Zona A harus direncanakan tinggi timbunan awal ( $H_{\text{inisial}}$ ) hingga elevasi 19,3 m dari seabed atau 14,3 m LWS dengan settlement sebesar 4,3 m. Sketsa perencanaan timbunan dapat dilihat pada Gambar 5.2.



**Gambar 5.2** Perencanaan timbunan reklamasi  
(Sumber: Hasil Analisa)

Dengan cara yang sama diperoleh hasil sebagai berikut :

- Pada Zona A diperoleh tinggi inisial setinggi 19,30 m dengan tinggi final 9,50 m dari dasar laut dan settlement sebesar 4,3 m.
- Pada Zona B diperoleh tinggi inisial setinggi 18,30 m dengan tinggi final 9,50 m dari dasar laut dan settlement sebesar 3,3 m.
- Pada Zona C1 diperoleh tinggi inisial setinggi 19,00 m dengan tinggi final 10,50 m dari dasar laut dan settlement sebesar 3 m.
- Pada Zona C2 diperoleh tinggi inisial setinggi 19,00 m dengan tinggi final 10,50 m dari dasar laut dan settlement sebesar 3 m.
- Pada Zona D diperoleh tinggi inisial setinggi 18,00 m dengan tinggi final 9,50 m dari dasar laut dan settlement sebesar 3 m.

## 5.2 Perhitungan Waktu Pemampatan Konsolidasi Natural

Setelah didapatkan besar pemampatan yang terjadi akibat beban timbunan dan beban *surcharge*, dilakukan perhitungan waktu konsolidasi yang dibutuhkan untuk menyelesaikan pemampatan tersebut menggunakan Persamaan (2.14). Hal ini dilakukan untuk menentukan perlu atau tidaknya perbaikan tanah dasar untuk mempercepat waktu pemampatan yang terjadi. Parameter tanah yang dibutuhkan untuk menghitung waktu konsolidasi pada Tabel 5.2. Selengkapnya pada Lampiran 7.

**Tabel 5.2** Parameter Tanah untuk Perhitungan Waktu Konsolidasi

Kedalaman	Tebal lap (m)	$C_v$ (cm <sup>2</sup> /sec)
0 -2.5	2.5	0.000588601
-2.5 -5	2.5	0.000588601
-5 -7.5	2.5	0.000588601
-7.5 -10	2.5	0.000588601
-10 -12.5	2.5	0.000588601
-12.5 -15	2.5	0.002477897
-15 -17.5	2.5	0.002477897
-17.5 -20	2.5	0.002477897

(Sumber: Hasil Analisa)

Karena setiap lapisan tanah memiliki nilai  $C_v$  masing-masing, maka nilai  $C_v$  yang digunakan adalah nilai gabungan ( $C_{vgabungan}$ ). Perhitungan  $C_{vgabungan}$  diperoleh dari Persamaan (2.16) dan dapat dilihat pada Tabel 5.3.

**Tabel 5.3** Perhitungan  $C_{vgabungan}$

Kedalaman	Tebal lap (m)	$C_v$ (cm <sup>2</sup> /sec)	$\sqrt{C_v}$	H/ $\sqrt{C_v}$	$C_v$ Gab
0 -2.5	2.5	0.000588601	0.024261099	103.0456	0.000902085
-2.5 -5	2.5	0.000588601	0.024261099	103.0456	
-5 -7.5	2.5	0.000588601	0.024261099	103.0456	
-7.5 -10	2.5	0.000588601	0.024261099	103.0456	
-10 -12.5	2.5	0.000588601	0.024261099	103.0456	
-12.5 -15	2.5	0.002477897	0.049778481	50.2225	
-15 -17.5	2.5	0.002477897	0.049778481	50.2225	
-17.5 -20	2.5	0.002477897	0.049778481	50.2225	

(Sumber: Hasil Analisa)

Dari hasil perhitungan diperoleh nilai  $C_{vgabungan} = 0,0009021 \text{ cm}^2/\text{dtk} = 0,05467 \text{ m}^2/\text{minggu} = 2.837 \text{ m}^2/\text{tahun}$ . Dengan  $U = 90\%$  didapat  $T_v = 0,848$  (Berdasarkan Tabel 2.5). Tebal lapisan *drainage* ( $H_{dr}$ ) sebesar 20 m. Sehingga dengan menggunakan Persamaan (2.14), didapatkan waktu konsolidasi sebagai berikut :

$$t = \frac{0.848 \cdot (20)^2}{2.837} = 119.56 \text{ tahun}$$

Karena waktu pemampatan yang lama, yaitu 119,56 tahun, maka dalam perencanaan ini perlu pemasangan *Prefabricated Vertical Drain* (PVD) untuk mempercepat proses konsolidasi.

### 5.3 Perencanaan PVD untuk Mempercepat Pemampatan

Pada perencanaan ini, PVD dipasang sepanjang lapisan tanah yang terkonsolidasi atau hingga lapisan tanah dengan nilai N-SPT 10, yaitu sedalam 20 m. Terdapat dua pola pemasangan PVD yang akan digunakan yaitu pola segitiga dan pola segiempat dengan variasi jarak/spasi sebesar 0,8 m, 1,0 m, 1,25 m, 1,5 m, 1,75 m. Hal ini dilakukan agar mendapatkan jarak pemasangan PVD yang efisien untuk mencapai derajat konsolidasi yang diinginkan.

#### 5.3.1 Perhitungan Derajat Konsolidasi Vertikal ( $U_v$ )

Dalam hal ini besarnya  $U_v$  diasumsikan kurang dari 60% sehingga digunakan persamaan (2.16). Sesuai dengan persamaan tersebut, untuk memperoleh nilai  $U_v$  maka terlebih dahulu perlu mengetahui nilai  $T_v$ . Nilai  $T_v$  didapat dari perumusan (2.18).

$$C_{vgabungan} = 0,0009021 \text{ cm}^2/\text{dtk}$$

$$t = 1 \text{ minggu} = 604800 \text{ detik}$$

$$H_{dr} = 20 \text{ m} = 2000 \text{ cm}$$

$$T_v = \frac{604800 \times 0,0009021}{(2000)^2} = 0,0001364$$

$$\bar{U}_v = \left( 2 \sqrt{\frac{0,0001364}{\pi}} \right) \times 100\% = 1,31\% = 0,0131$$



### 5.3.2 Perhitungan Derajat Konsolidasi Horizontal ( $U_h$ )

Derajat konsolidasi horizontal diperoleh dari persamaan (2.32). Dalam perhitungan  $U_h$  dibutuhkan beberapa parameter seperti  $F_{(n)}$ ,  $C_h$ , dan  $D$ . Contoh langkah perhitungan besarnya  $U_h$  untuk PVD dengan pola pemasangan segitiga dengan spasi 1,50 m dan lebar PVD 10 cm sebagai berikut :

$$C_{vgab} = 0,000902 \text{ cm}^2/\text{dtk}$$

$$K_h/K_v = 3$$

$$\text{Lebar PVD (a)} = 100 \text{ mm}$$

$$\text{Tebal PVD (b)} = 5 \text{ mm}$$

$$d_w = 2(a+b)/\pi$$

$$= 2(100+5)/\pi$$

$$= 66,87 \text{ mm}$$

1. Perhitungan  $F_{(n)}$  untuk pola segitiga dengan  $S = 1,50 \text{ m}$

$$D = 1,05 \times S$$

$$= 1,05 \times 1500$$

$$= 1575 \text{ mm}$$

$$n = D/d_w$$

$$= 1575/66,87$$

$$= 23,55$$

Perhitungan  $F_{(n)}$  menggunakan persamaan (2.33)

$$F_{(n)} = \left( \frac{23,55^2}{23,55^2 - 1} \right) \left[ \ln(23,55) - \frac{3}{4} - \left( \frac{1}{4(23,55)^2} \right) \right]$$

$$= 2,409$$

Perhitungan  $F_{(n)}$  selanjutnya dapat dilihat pada Tabel 5.4.

**Tabel 5.4** Perhitungan  $F(n)$  oleh PVD untuk Pola pemasangan segitiga.

Jarak PVD	D	a	b	Dw	n	F(n)
S (m)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)		
0.6	630	100	5	66.8789809	9.42	1.492835
0.7	735	100	5	66.8789809	10.99	1.646986
0.8	840	100	5	66.8789809	12.56	1.780517
0.9	945	100	5	66.8789809	14.13	1.8983
1	1050	100	5	66.8789809	15.7	2.003661
1.1	1155	100	5	66.8789809	17.27	2.098971
1.2	1260	100	5	66.8789809	18.84	2.185982
1.3	1365	100	5	66.8789809	20.41	2.266025
1.4	1470	100	5	66.8789809	21.98	2.340133
1.5	1575	100	5	66.8789809	23.55	2.409126

(Sumber: Hasil Analisa)

## 2. Perhitungan $U_h$

Berikut adalah perhitungan  $U_h$  untuk pola segitiga dengan spasi 1,5 m.

$$D = 1575 \text{ mm}$$

$$F(n) = 2,4091$$

$$t = 1 \text{ minggu}$$

$$C_h = C_v \times (K_h/K_v)$$

$$= 0,05467 \text{ m}^2/\text{minggu} \times (3)$$

$$= 0,164016 \text{ cm}^2/\text{detik}$$

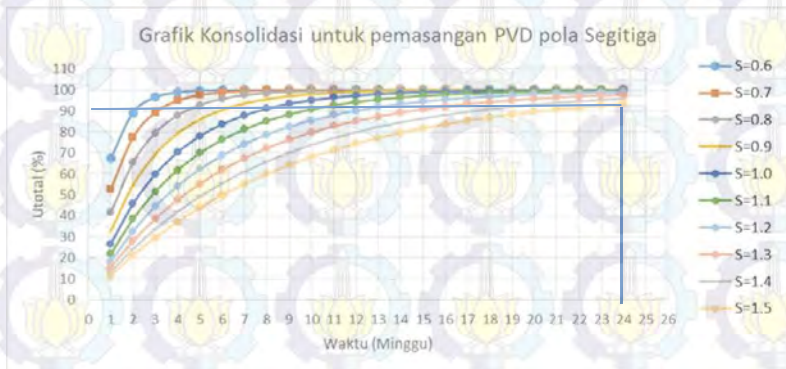
$$U_h = 1 - \left[ \frac{1}{e^{\left[ \frac{1 \times 8 \times 0,164016}{157,5^2 \times 2 \times 2,4091} \right]}} \right] \times 100\% = 10,39\%$$

### 5.3.3 Perhitungan Derajat Konsolidasi Rata-Rata ( $\bar{U}$ )

Setelah nilai  $U_v$  dan  $U_h$  didapatkan, selanjutnya perlu dilakukan perhitungan  $\bar{U}$  menggunakan persamaan (2.42). Berikut adalah perhitungan  $\bar{U}$  rata-rata untuk pola pemasangan segitiga dengan spasi 1,50 m.

$$\begin{aligned} \bar{U} &= [1 - (1 - U_h) \cdot (1 - U_v)] \times 100\% \\ &= [1 - (1 - 0,1039) \cdot (1 - 0,0131)] \times 100\% \\ &= 11,57\% \end{aligned}$$

Hasil perhitungan lainnya dengan jarak PVD bervariasi dapat dilihat pada Lampiran 8. Dari perhitungan tersebut dihasilkan grafik hubungan  $U_{rata-rata}$  dengan waktu yang dibutuhkan untuk mencapai derajat konsolidasi ( $\bar{U}$ ) yang dibutuhkan (Gambar 5.3). Dari grafik tersebut dipilih pemasangan PVD pola segitiga dengan jarak pemasangan 1,50 m dan waktu yang diperlukan untuk mencapai derajat konsolidasi 90% adalah 24 minggu. Dengan cara yang sama pada Zona B, C1, C2 dan D diperoleh kebutuhan PVD pola segitiga dengan jarak 1,5 m.



**Gambar 5.3** Grafik Hubungan Antara Derajat Konsolidasi ( $U$ ) dan Waktu (Sumber: Hasil Analisa)

#### 5.4 Perhitungan *Rate of Settlement*

Perhitungan *Rate of Settlement* dilakukan untuk menganalisa kedalaman pemasangan PVD. Pada Zona A tinggi timbunan pada saat pemasangan PVD diasumsikan lebih tinggi dari MSL yaitu 5 meter. Sehingga data perencanaan pada Zona A adalah sebagai berikut :

Kedalaman Pemasangan PVD	= 20 + 5 = 25 m
Total <i>Settlement</i>	= 4,3 m
$t_{90}$	= 119,56 tahun
<i>Rate of settlement</i> ijin	= 1,5 cm/tahun



$$C_v \text{ rata-rata} = 2,837 \text{ m}^2/\text{tahun}$$

$$H_{dr} = 20 \text{ m}$$

Mula-mula akan dihitung pemampatan yang terjadi tanpa pemasangan PVD hingga umur rencana reklamasi. Contoh perhitungan dilakukan untuk Zona A pada tahun pertama. Perhitungannya sebagai berikut :

$$T_v = \frac{C_v \times t}{(H_{dr}^2)} = \frac{2,837 \times 1}{40,85^2} = 0,007093$$

$$U_v = \left(\frac{4T_v}{\pi}\right)^{1/2} \times 100\% = \left(\frac{4 \times 0,007093}{\pi}\right)^{1/2} \times 100\% = 9,5 \%$$

$$S_{c1 \text{ tahun}} = 9,5\% \times 4,30 \text{ m} = 0,4086 \text{ m} = 40,86 \text{ cm}$$

Dengan cara yang sama dilakukan perhitungan pemampatan tanpa pemasangan PVD hingga umur rencana pelabuhan. Perhitungan dapat dilihat pada Tabel 5.5.

**Tabel 5.5** Kecepatan Pemampatan tanpa PVD pada Umur Rencana Container Yard

Tahun ke	Tv	Uv(%)	Settlement, Sc(cm)
1	0.0070925	9.50286876	40.86233568
2	0.014185	13.4390859	57.7880693
3	0.0212775	16.4594515	70.77564151
4	0.02837	19.0057375	81.72467135
5	0.0354625	21.2490605	91.37096029
6	0.042555	23.2771796	100.0918721
7	0.0496475	25.1422275	108.1115782
8	0.05674	26.8781718	115.5761386
9	0.0638325	28.5086063	122.587007
10	0.070925	30.0507096	129.2180513
11	0.0780175	31.5174501	135.5250355
12	0.08511	32.918903	141.551283
13	0.0922025	34.2630806	147.3312465
14	0.099295	35.5564791	152.8928601
15	0.1063875	36.8044525	158.2591456
16	0.11348	38.011475	163.4493427
17	0.1205725	39.1813317	168.4797261
18	0.127665	40.3172577	173.3642079
19	0.1347575	41.4220446	178.1147918
20	0.14185	42.4981211	182.7419206

(Sumber: Hasil Analisa)



Untuk pemampatan sebesar 4,30 m,  $q_{total}$  yang terjadi adalah sebesar  $27,28 \text{ t/m}^2$ . Kemudian dicoba-coba kedalaman PVD yang dipasang. Pada percobaan pertama dicoba kedalaman 5 m sehingga lapisan di bawah PVD adalah  $25 \text{ m} - 6 \text{ m} = 19 \text{ m}$ . Dengan  $q_{total} = 27,28 \text{ t/m}^2$ , pemampatan hingga kedalaman PVD adalah 0,76 m. Sehingga sisa pemampatan di bawah pemasangan PVD =  $4,3 - 0,72 = 3,58$  meter.

Sehingga setelah 5 tahun, settlement yang terjadi di bawah pemasangan PVD adalah :

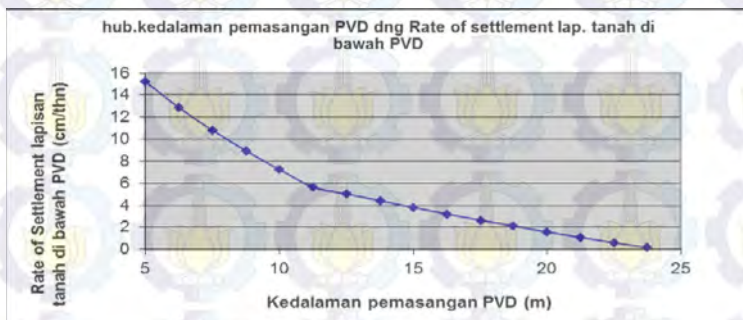
$$Sc_{5 \text{ tahun}} = \text{Sisa Settlement} \times U_v = 3,58 \times 21,25\% = 0,76 \text{ m}$$

Maka rata-rata pemampatan yang terjadi setiap tahunnya adalah :

$$\text{Rate of Sett.} = 0,76 * 100 / 5 = 15,23 \text{ cm/tahun}$$

*Rate of settlement* yang diijinkan adalah 1,5 cm/tahun.

Maka dilakukan coba-coba terhadap kedalaman pemasangan PVD, sehingga dihasilkan grafik yang dapat dilihat pada Gambar 5.4 untuk Zona A. Dari grafik diperoleh hasil bahwa dengan *Rate of settlement* yang diijinkan yaitu sebesar 1,5 cm/tahun, kedalaman PVD pada Zona A adalah 22,5 m. Grafik *Rate of settlement* zona lainnya ada pada lampiran 9.



**Gambar 5.4** Penentuan Kedalaman Pemasangan PVD Zona A

## 5.5 Penimbunan Bertahap

Pelaksanaan penimbunan di lapangan dilakukan secara bertahap dengan menggunakan kecepatan penimbunan 50 cm/minggu. Karena sebelumnya penimbunan sudah diberi perkuatan pada sisi luar, maka tidak perlu dilakukan pengecekan  $H_{kritis}$  terlebih dahulu. Pengurugan pertama akan dilakukan dengan tinggi timbunan yang lebih tinggi dari muka air laut rata-rata (*Mean Sea Level*). Diurug hingga ketinggian sama dengan muka air laut dengan kedalaman seabed -5,00 mLWS.

Dengan tinggi timbunan awal ( $H_{inisial}$ ) yang didapat dari perhitungan pada sub bab 5.1, maka jumlah tahapan penimbunan pada Zona 1 adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} H_{inisial} &= 14,3 \text{ meter LWS} \\ &- 19,3 \text{ meter dari seabed} \\ \text{Kec. tahap timb.} &= 0,5 \text{ m/minggu} = 0,9 \text{ t/m}^3/\text{minggu} \\ \text{Jumlah tahap(n)} &= (14,3/0,5) = 29 \text{ tahap} \end{aligned}$$

Pada tahapan pertama menggunakan persamaan (2.27) untuk menentukan berapa settlement yang terjadi karena pada tahapan pertama nilai  $(p_0' + \Delta p1) \leq p_c'$ . Berikut perhitungan settlement untuk lapisan pertama dibawah timbunan akibat beban bertahap tahapan pertama sebesar 5,9 t/m.

$$S_c = \frac{C_s \cdot H}{1 + e_0} \left[ \log \left( \frac{p_0' + \Delta p1}{p_0'} \right) \right]$$

$$S_c = 0,495 \text{ m}$$

Kemudian dihitung untuk semua lapisan, didapatkan  $S_c$  total untuk tahapan pertama adalah 2,289 m

Pada tahapan kedua menggunakan persamaan (2.28) karena pada tahapan kedua nilai  $(p_0' + \Delta p1 + \Delta p2) > p_c'$ . Berikut perhitungan settlement untuk lapisan pertama dibawah timbunan akibat beban bertahap tahapan kedua dengan penambahan beban sebesar 0,9 t/m.

$$S_c = \frac{C_s \cdot H}{1 + e_0} \log \frac{p'_c}{p'_0 + \Delta p_1} + \frac{C_c \cdot H}{1 + e_0} \log \frac{p'_0 + \Delta p_1 + \Delta p_2}{p'_c}$$

$$S_c = 0,02 \text{ m}$$

Kemudian dihitung untuk semua lapisan, didapatkan  $S_c$  total untuk tahapan kedua sebesar 0,16 m.

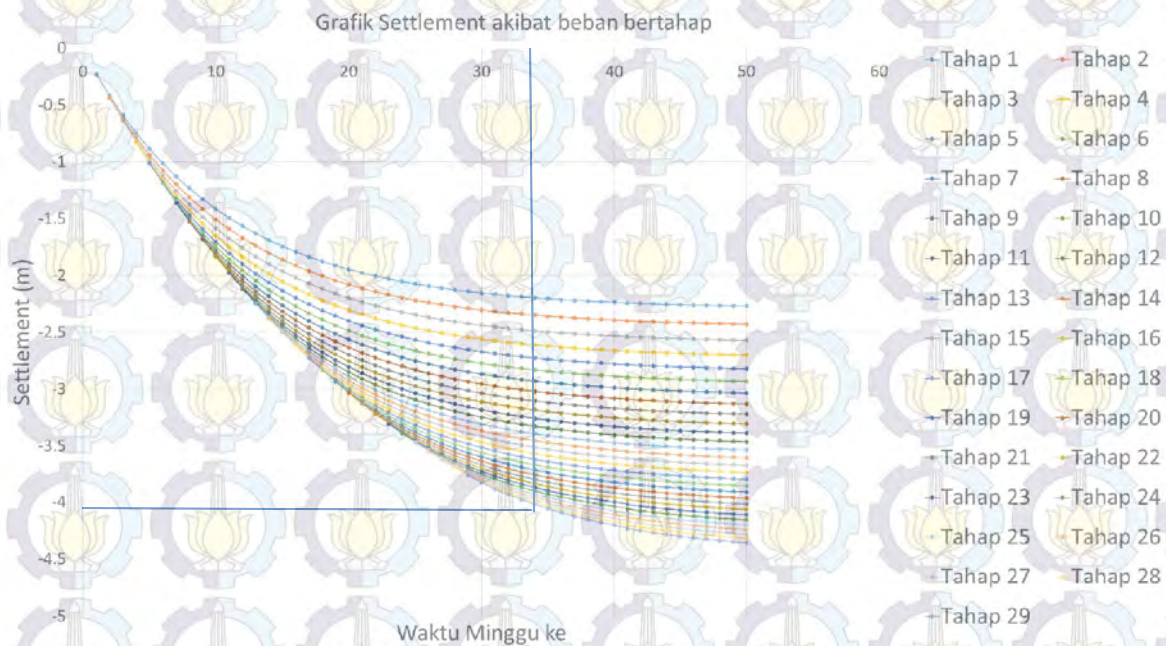
Pada tahapan ketiga dan seterusnya, karena nilai  $(p'_0 + \Delta p_1 + \Delta p_2 + \Delta p_3) > p'_c$ , maka perhitungan  $S_c$  menggunakan persamaan (2.29). Berikut perhitungan besar settlement akibat penambahan beban 0,9 t/m pada lapisan pertama dibawah timbunan.

$$S_c = \frac{C_c \cdot H}{1 + e_0} \log \frac{p'_0 + \Delta p_1 + \Delta p_2 + \Delta p_3}{p'_c}$$

$$S_c = 0,0178 \text{ m}$$

Kemudian dihitung untuk semua lapisan, didapatkan  $S_c$  total untuk tahapan kedua sebesar 0,1447 m. Setelah mendapatkan besar settlement pada masing-masing tahapan, selanjutnya derajat konsolidasi per minggu yang sudah didapatkan pada perhitungan PVD dikalikan settlement sesuai umur timbunan. Didapatkan gambar grafik hubungan antara waktu atau tahapan penimbunan dengan Settlement sebagai berikut pada Gambar 5.5:





**Gambar 5.5** Settlement tiap tahapan timbunan PVD segitiga dengan jarak 1,5 m pada Zona A.

Terlihat pada grafik bahwa waktu yang dibutuhkan untuk mencapai settlement 4,3 m pada timbunan bertahap dengan pemasangan PVD pola segitiga jarak 1,5 m adalah 34 minggu. Dengan begitu terdapat penundaan hingga 5 minggu. Akan tetapi pada minggu ke 29, tahapan terakhir timbunan bertahap, sudah dicapai settlement hingga 90% settlement total.

### 5.5.1 Penentuan Tinggi Timbunan Kritis ( $H_{cr}$ )

Tinggi penimbunan harus memperhatikan tinggi timbunan kritis ( $H_{cr}$ ) yang masih mampu dipikul oleh tanah dasar agar timbunan tidak mengalami kelongsoran. Dengan bantuan program bantu XSTABL, diperoleh tinggi timbunan kritis sebesar 8,00 m dengan *Safety Factor* (SF) = 1,241, nilai tersebut lebih kecil dari  $SF_{rencana} = 1,3$ .

Karena tinggi timbunan kritis yang mampu diterima tanah ( $H_{cr}$ ) pada Zona A adalah 8,00 meter maka penimbunan dilaksanakan hingga timbunan berada di atas MSL tanpa menghitung peningkatan nilai  $C_u$  pada tanah dasar. Ketinggian MSL dari dasar laut adalah 5 m, sehingga timbunan awal akan diberikan setinggi MSL yaitu 5 meter. Selanjutnya timbunan akan dilakukan dengan pemadatan dengan kecepatan 0,5 meter/ minggu hingga setinggi Hinisial yaitu 19,3 m.

### 5.5.2 Perhitungan Peningkatan Koehsi *Undrained* ( $C_u$ )

Perhitungan peningkatan nilai  $C_u$  perlu dilakukan untuk menentukan apakah tanah dasar cukup mampu memikul beban timbunan tahapan selanjutnya dengan nilai  $C_u$  yang baru yang diperoleh dari penimbunan sebelumnya. Perhitungan tersebut dilakukan untuk menentukan nilai  $C_u$  pada perencanaan perkuatan tanggul setelah timbunan mencapai H final.

### 5.5.2.1 Menghitung Tegangan di Tiap Lapisan Tanah untuk Derajat Konsolidasi (U) 100%

Perhitungan perubahan tegangan didapat dari :

$$\sigma_1' = P_o + \Delta P_1$$

$$\sigma_2' = \sigma_1' + \Delta P_2$$

Perhitungan di atas dilakukan seterusnya hingga tinggi timbunan kritis. Harga  $P_o$ ,  $\sigma_1'$ ,  $\sigma_2'$  dan seterusnya berbeda-beda untuk setiap kedalaman tanah.

$$\Delta P_1 = 2I \times q$$

Dimana :

Untuk timbunan tidak terendam air

$$q = H_{\text{timb tahap ke-i}} \times \gamma_{\text{timbunan}}$$

Untuk timbunan terendam air

$$q = H_{\text{timb tahap ke-i}} \times (\gamma_{\text{timb}} - \gamma_w)$$

$$I = 0,5$$

Hasil perhitungan perubahan tegangan akibat beban bertahap dari tahap 1 hingga tahap 29 dengan derajat konsolidasi 100% pada Zona A dapat dilihat pada Tabel 5.6.



**Tabel 5.6** Tegangan Efektif Tanah di Zona A Akibat Penimbunan  $H = 8,00$  m (Minggu ke-16) pada  $U=100\%$

Tegangan	Po'	$\sigma_1'$	$\sigma_2'$	$\sigma_3'$	$\sigma_4'$	$\sigma_5'$	$\sigma_6'$	$\sigma_7'$	$\sigma_8'$	$\sigma_9'$	$\sigma_{10}'$	$\sigma_{11}'$	$\sigma_{12}'$	$\sigma_{13}'$	$\sigma_{14}'$	$\sigma_{15}'$	$\sigma_{16}'$
Kedalaman (m)	ton/m <sup>2</sup>	ton/m <sup>2</sup>	ton/m <sup>2</sup>	ton/m <sup>2</sup>	ton/m <sup>2</sup>	ton/m <sup>2</sup>	ton/m <sup>2</sup>	ton/m <sup>2</sup>	ton/m <sup>2</sup>	ton/m <sup>2</sup>	ton/m <sup>2</sup>	ton/m <sup>2</sup>	ton/m <sup>2</sup>	ton/m <sup>2</sup>	ton/m <sup>2</sup>	ton/m <sup>2</sup>	ton/m <sup>2</sup>
	H = 0 m	H = 0,5 m	H = 0,5 m	H = 0,5 m	H = 0,5 m	H = 0,5 m	H = 0,5 m	H = 0,5 m	H = 0,5 m	H = 0,5 m	H = 0,5 m	H = 0,5 m	H = 0,5 m	H = 0,5 m	H = 0,5 m	H = 0,5 m	H = 0,5 m
0.625	0.21	0.71	1.21	1.71	2.21	2.71	3.21	3.71	4.21	4.71	5.61	6.51	7.41	8.31	9.21	10.11	11.01
1.875	0.64	1.14	1.64	2.14	2.64	3.14	3.64	4.14	4.64	5.14	6.04	6.94	7.84	8.74	9.64	10.54	11.44
3.125	1.06	1.56	2.06	2.56	3.06	3.56	4.06	4.56	5.06	5.56	6.46	7.36	8.26	9.16	10.06	10.96	11.86
4.375	1.48	1.98	2.48	2.98	3.48	3.98	4.48	4.98	5.48	5.98	6.88	7.78	8.68	9.58	10.48	11.38	12.28
5.625	1.91	2.41	2.91	3.41	3.91	4.41	4.91	5.41	5.91	6.41	7.31	8.21	9.11	10.01	10.91	11.81	12.71
6.875	2.33	2.83	3.33	3.83	4.33	4.83	5.33	5.83	6.33	6.83	7.73	8.63	9.53	10.43	11.33	12.23	13.13
8.125	2.76	3.26	3.76	4.26	4.76	5.26	5.76	6.26	6.76	7.26	8.16	9.06	9.96	10.86	11.76	12.66	13.56
9.375	3.18	3.68	4.18	4.68	5.18	5.68	6.18	6.68	7.18	7.68	8.58	9.48	10.38	11.28	12.18	13.08	13.98
10.625	3.71	4.21	4.71	5.21	5.71	6.21	6.71	7.21	7.71	8.21	9.11	10.01	10.91	11.81	12.71	13.61	14.51
11.875	4.36	4.86	5.36	5.86	6.36	6.86	7.36	7.86	8.36	8.86	9.76	10.66	11.56	12.46	13.36	14.26	15.16
13.125	5.00	5.50	6.00	6.50	7.00	7.50	8.00	8.50	9.00	9.50	10.40	11.30	12.20	13.10	14.00	14.90	15.80
14.375	5.64	6.14	6.64	7.14	7.64	8.14	8.64	9.14	9.64	10.14	11.04	11.94	12.84	13.74	14.64	15.54	16.44
15.625	6.28	6.78	7.28	7.78	8.28	8.78	9.28	9.78	10.28	10.78	11.68	12.58	13.48	14.38	15.28	16.18	17.08
16.875	6.92	7.42	7.92	8.42	8.92	9.42	9.92	10.42	10.92	11.42	12.32	13.22	14.12	15.02	15.92	16.82	17.72
18.125	7.56	8.06	8.56	9.06	9.56	10.06	10.56	11.06	11.56	12.06	12.96	13.86	14.76	15.66	16.56	17.46	18.36
19.375	8.21	8.71	9.21	9.71	10.21	10.71	11.21	11.71	12.21	12.71	13.61	14.51	15.41	16.31	17.21	18.11	19.01

(Sumber: Hasil Analisa)



### 5.5.2.2 Menghitung Nilai $C_u$ Baru

Setelah menghitung penambahan tegangan efektif pada derajat konsolidasi <100%, nilai  $C_u$  baru dapat dihitung. Karena harga Plasticity Index (PI) pada tanah ini kurang dari 120% maka  $C_u$  baru dihitung menggunakan Persamaan (2.24). Hasil  $C_u$  baru pada Zona A dapat dilihat di Tabel 5.7. Hasil dari Zona lainnya dapat dilihat pada Lampiran 10.

**Tabel 5.7** Perubahan Nilai  $C_u$  Akibat Penimbunan maksimum 19.3 m (Zona A)

Kedalaman meter	$\Sigma\sigma'$ kg/cm <sup>2</sup>	PI	$C_u$ lama kg/m <sup>2</sup>	$C_u$ baru kg/cm <sup>2</sup>	$C_u$ Pakai kg/cm <sup>2</sup>	$C_u$ pakai kPa
0.625	0.554	70.272	0.064	0.117	0.117	11.664
1.875	0.601	70.272	0.064	0.120	0.120	12.029
3.125	0.645	70.272	0.064	0.124	0.124	12.375
4.375	0.689	70.272	0.064	0.127	0.127	12.716
5.625	0.733	70.272	0.142	0.131	0.142	14.197
6.875	0.776	70.272	0.142	0.134	0.142	14.197
8.125	0.819	70.272	0.142	0.137	0.142	14.197
9.375	0.862	70.272	0.142	0.141	0.142	14.197
10.625	0.916	68.781	0.194	0.147	0.194	19.427
11.875	0.981	68.781	0.194	0.152	0.194	19.427
13.125	1.046	68.781	0.194	0.157	0.194	19.427
14.375	1.111	68.781	0.194	0.162	0.194	19.427
15.625	1.175	68.781	0.204	0.168	0.204	20.375
16.875	1.240	68.781	0.204	0.173	0.204	20.375
18.125	1.304	38.453	0.204	0.241	0.241	24.127
19.375	1.369	38.453	0.204	0.250	0.250	24.956

(Sumber: Hasil Analisa)

## 5.6 Perencanaan Geotextile sebagai Perkuatan Timbunan

Geotextile digunakan sebagai perkuatan tanah untuk meningkatkan daya dukung tanah dasar di bawah timbunan.

### 5.6.1 Perhitungan Geotextile

Pada perencanaan ini digunakan STABILENKA woven geotextile dengan Tensile Strength ( $T_{ult}$ ) sebesar 400 kN/m.

$$T_{allow} = T_{ultimate} \left[ \frac{1}{FS_{id} \times FS_{cr} \times FS_{cd} \times FS_{bd}} \right]$$

$$\begin{aligned} FS_{id} &= 1.1 \\ FS_{cr} &= 2.0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} FS_{cd} &= 1.1 \\ FS_{bd} &= 1.1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_{allow} &= 400 \left[ \frac{1}{1.1 \times 2 \times 1.1 \times 1.1} \right] \\ &= 150,263 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

### 5.6.2 Kebutuhan *Geotextile*

Dalam perhitungan *geotextile* dibutuhkan nilai SF, jari-jari bidang longsor, momen resisten, koordinat titik pusat bidang longsor, dan momen dorong yang didapat dari hasil analisa program XSTABL. Selanjutnya menghitung kebutuhan *geotextile* untuk timbunan 19,3 m pada Zona A dengan menggunakan nilai  $T_{allow}$  dikali jarak pasang masing-masing *geotextile* terhadap titik pusat jari-jari kelongsoran hingga memenuhi  $\Delta M_R \leq T_{allow} \times \sum R_i$ . Jarak pemasangan *geotextile* yang direncanakan adalah 0,25 m dari dasar timbunan. Panjang *geotextile* di belakang bidang longsor ( $L_E$ ) dapat dihitung dengan persamaan (2.63) dengan nilai efisiensi (E) adalah 80%.

Panjang *geotextile* di depan bidang longsor ( $L_R$ ) dapat dihitung dengan menggambar timbunan, bidang longsor, dan panjang *geotextile* di belakang bidang longsor ( $L_E$ ) pada program bantu gambar. Dari gambar tersebut dapat diperoleh panjang total *geotextile* dari penjumlahan panjang *geotextile* di belakang bidang longsor ( $L_E$ ), di depan bidang longsor ( $L_R$ ). *Geotextile* dipasang pada dasar timbunan untuk memisahkan timbunan dan lapisan tanah dibawahnya karena dikhawatirkan penimbunan pada tanah dasar di laut akan membuat tanah timbunan bercampur dengan tanah dasar. Kemudian setelah timbunan mencapai ringgi di atas muka air laut rata-rata (*mean sea level*) baru perkuatan dengan *geotextile* dapat dilaksanakan. Tentu masih dalam ketinggian

timbunan dibawah  $H_{kritis}$ . Sehingga timbunan tidak longsor. Gambar pemasangan geotextile dapat dilihat pada Gambar 5.4.

Berikut adalah perhitungan kebutuhan dan panjang *geotextile* pada Zona A :

Dari analisa program bantu XSTABL didapat :

$$SF = 0.65$$

$$R = 40.58 \text{ m}$$

$$M_R = 139800 \text{ kNm}$$

$$M_D = \frac{M_R}{SF} = 215076.92 \text{ kNm}$$

$$SF_{rencana} = 1.3$$

$$\Delta M_R = (SF_{rencana} * M_D) - M_R \\ = 139800.00 \text{ kNm}$$

Dari hasil perhitungan  $\Delta M_R \leq T_{allow} \times \sum R_i$ , didapat kebutuhan *geotextile* sebanyak 42 lapis dengan 10 lapis terdiri dari 2 lembar dan 22 lapis masing-masing 1 lembar.

Diketahui :

$$\text{Tanah timbunan: } \phi = 30^\circ$$

$$C = 0 \text{ t/m}^2$$

$$\gamma_{sat} = 2.0 \text{ t/m}^2$$

$$\gamma_{timb} = 1.8 \text{ t/m}^2$$

$$\gamma' = 1.0 \text{ t/m}^2$$

Dengan menggunakan persamaan (2.62) :

$$\tau = C + \sigma' \tan \delta$$

$$\tau_1 \text{ timbunan} = \tau_2 = 0 + \gamma' \cdot h \cdot \tan\left(\frac{2}{3} \cdot 30^\circ\right) = 9,61 \text{ t/m}^2$$

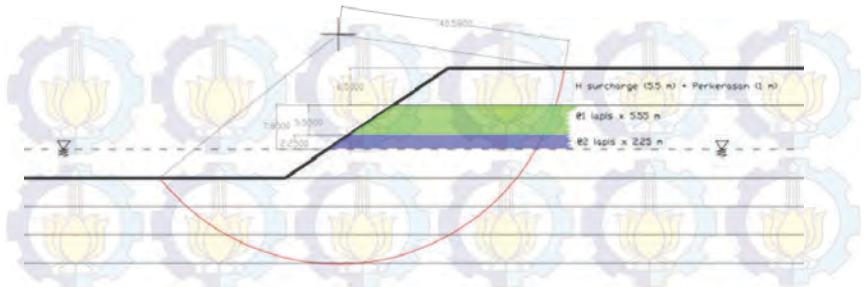
Maka panjang geotextile di belakang bidang longsor adalah :

$$L_i = \frac{T_{allow} SF_{rencana}}{2\tau_i E}$$

$$L_1 = 0.637 \text{ m}$$

Dari Gambar 5.6 didapatkan panjang geotextile di depan bidang longsor adalah 67 m untuk lapis pertama. Tabel panjang pemasangan geotextile di lapangan disajikan pada Tabel 5.8. Gambar pemasangan geotextile untuk Zona A dan gambar serta perhitungan Zona B, Zona C dan Zona D pada Lampiran 11.





**Gambar 5.6** Sketsa Perkuatan Tanah dengan *Geotextile* pada Zona A (Sumber: Hasil Analisa)

**Tabel 5.8** Perhitungan Panjang *Geotextile* pada Zona A

No	Hi	Ti	tan θ	Cu	ov	Ka	oh	τ1	τ2	Le	Lo	Lr	Ltotal	Total panjang
	m	m		kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>		kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>	m	m	m	m	m
1	14.3	25.39	0.577	0	257.4	0.577	148.610	148.610	23.496	1.419	1.000	40.48	43.000	86.000
2	14.05	25.14	0.577	0	252.9	0.577	146.012	146.012	146.012	0.836	1.000	40.105	42.000	84.000
3	13.8	24.89	0.577	0	248.4	0.577	143.414	143.414	143.414	0.851	1.000	39.73	42.000	84.000
4	13.55	24.64	0.577	0	243.9	0.577	140.816	140.816	140.816	0.867	1.000	39.355	42.000	84.000
5	13.3	24.39	0.577	0	239.4	0.577	138.218	138.218	138.218	0.883	1.000	38.98	41.000	82.000
6	13.05	24.14	0.577	0	234.9	0.577	135.620	135.620	135.620	0.900	1.000	38.605	41.000	82.000
7	12.8	23.89	0.577	0	230.4	0.577	133.022	133.022	133.022	0.918	1.000	38.23	41.000	82.000
8	12.55	23.64	0.577	0	225.9	0.577	130.423	130.423	130.423	0.936	1.000	37.855	40.000	80.000
9	12.3	23.39	0.577	0	221.4	0.577	127.825	127.825	127.825	0.955	1.000	37.48	40.000	80.000
10	12.05	23.14	0.577	0	216.9	0.577	125.227	125.227	125.227	0.975	1.000	37.105	40.000	80.000
11	11.8	22.89	0.577	0	212.4	0.577	122.629	122.629	122.629	0.996	1.000	36.73	39.000	79.000
12	11.55	22.64	0.577	0	207.9	0.577	120.031	120.031	120.031	1.017	1.000	36.355	39.000	79.000
13	11.3	22.39	0.577	0	203.4	0.577	117.433	117.433	117.433	1.040	1.000	35.98	39.000	79.000
14	11.05	22.14	0.577	0	198.9	0.577	114.835	114.835	114.835	1.063	1.000	35.605	38.000	78.000
15	10.8	21.89	0.577	0	194.4	0.577	112.237	112.237	112.237	1.088	1.000	35.23	38.000	78.000
16	10.55	21.64	0.577	0	189.9	0.577	109.639	109.639	109.639	1.114	1.000	34.855	37.000	77.000
17	10.3	21.39	0.577	0	185.4	0.577	107.041	107.041	107.041	1.141	1.000	34.48	37.000	77.000
18	10.05	21.14	0.577	0	180.9	0.577	104.443	104.443	104.443	1.169	1.000	34.105	37.000	77.000
19	9.8	20.89	0.577	0	176.4	0.577	101.845	101.845	101.845	1.199	1.000	33.73	36.000	76.000
20	9.55	20.64	0.577	0	171.9	0.577	99.247	99.247	99.247	1.230	1.000	33.355	36.000	76.000
21	9.3	20.39	0.577	0	167.4	0.577	96.648	96.648	96.648	1.263	1.000	32.98	36.000	76.000
22	9.05	20.14	0.577	0	162.9	0.577	94.050	94.050	94.050	1.298	1.000	32.605	35.000	75.000
23	8.8	19.89	0.577	0	158.4	0.577	91.452	91.452	91.452	1.335	1.000	32.23	35.000	75.000
24	8.55	19.64	0.577	0	153.9	0.577	88.854	88.854	88.854	1.374	1.000	31.855	35.000	75.000
25	8.3	19.39	0.577	0	149.4	0.577	86.256	86.256	86.256	1.415	1.000	31.48	34.000	74.000
26	8.05	19.14	0.577	0	144.9	0.577	83.658	83.658	83.658	1.459	1.000	31.105	34.000	74.000
27	7.8	18.89	0.577	0	140.4	0.577	81.060	81.060	81.060	1.506	1.000	30.73	34.000	74.000
28	7.55	18.64	0.577	0	135.9	0.577	78.462	78.462	78.462	1.556	1.000	30.355	33.000	73.000
29	7.3	18.39	0.577	0	131.4	0.577	75.864	75.864	75.864	1.609	1.000	29.98	33.000	73.000
30	7.05	18.14	0.577	0	126.9	0.577	73.266	73.266	73.266	1.666	1.000	29.605	33.000	73.000
31	6.8	17.89	0.577	0	122.4	0.577	70.668	70.668	70.668	1.728	1.000	29.23	32.000	72.000
32	6.55	17.64	0.577	0	117.9	0.577	68.070	68.070	68.070	1.794	1.000	28.855	32.000	72.000
												total	1194.000	1606.000

(Sumber: Hasil Analisa)

### 5.7 Perencanaan *Micropile* Sebagai Perkuatan Timbunan

Perencanaan perkuatan tanggul digunakan pada sisi luar timbunan bagian utara dan timur. Pada bagian tersebut terdapat zona C1 dan zona D. Penggunaan cerucuk dimaksudkan untuk menaikkan tahanan geser tanah sehingga daya dukung tanah juga meningkat.

Untuk mengetahui kebutuhan cerucuk per meter, terlebih dahulu ditentukan kekuatan satu cerucuk. Kemudian berdasarkan perbandingan dari besarnya momen penggerak dengan momen penahan yang dibutuhkan ditentukan jumlah cerucuk yang diperlukan.

Untuk menghitung kekuatan satu cerucuk, terlebih dahulu harus ditentukan faktor kekuatan relatif (T) dari cerucuk. Direncanakan cerucuk menggunakan Concrete Spun Pile (CSP) WIKA BETON dengan spesifikasi sebagai berikut :

Outside Diameter	= 600 mm
Wall Thick	= 100 mm
Class	= C
Concrete Cross Section	= 1571 cm <sup>2</sup>
Weight	= 393 kg/m
Length	= 16 m
M crack	= 29 Ton.m
M ultimate	= 58 Ton.m
Axial Load	= 229.5 Ton
Modulus Elastisitas (E)	= 250000 kg/cm <sup>2</sup>
Momen Inersia	= 510500 cm <sup>4</sup>

Mencari harga f dengan bantuan Gambar (2.11) (Design Manual, NAVFAC DM-7 1971)

Faktor modulus tanah (f)

$$C_u = 3 \text{ kN/m}^2 = 0,03 \text{ kg/m}^2$$

$$q_u = 2 \times C_u = 0,06 \text{ kg/m}^2$$

(lihat grafik NAVFAC DM-7 1971)

$$f = 1,5 \text{ t/ft}^3 = 1,5 \times 0,032 \text{ kg/cm}^3 = 0,048 \text{ kg/cm}^3$$

Dengan persamaan (2.56) dicari nilai T

$$T = \left( \frac{EI}{f} \right)^{\frac{1}{5}} = \left( \frac{250000 \times 510500}{0,048} \right)^{\frac{1}{5}} = 305,45 \text{ cm}$$

Kemudian menghitung panjang total cerucuk dengan menjumlahkan panjang cerucuk diatas bidang longsor (La) dan dibawah bidang longsor (Lb). La dihitung dari titik dasar timbunan hingga titik dasar bidang longsor pada SF min. Sedangkan Panjang Lb dihitung dari titik dasar pada bidang longsor dengan SF min hingga titik dasar pada bidang longsor dengan SF = 1.2.

$$La = 8,11 \text{ m} \quad Lb = 4,01 \text{ m}$$

$$\text{Sehingga, } L_{\text{total}} = 8,11 + 4,01 = 12,12 \text{ m}$$

Koefisien momen akibat gaya lateral

$$Lb/T = 4,01/3,05 = 1,313$$

$$Z = 0 \text{ m}$$

(Dari grafik NAVFAC, DM-7, 1971)

$$F_m = 1$$

Dengan persamaan (2.54) Gaya horizontal (P) yang mampu ditahan oleh satu cerucuk adalah

$$P = \frac{M_{\text{crack}}}{F_m \times T} = \frac{29}{1 \times 3,05} = 9,5 \text{ ton} = 95 \text{ kN}$$

Jumlah cerucuk yang dibutuhkan :

Dengan H inisial 19 m pada zona C, diperoleh :

$$\text{SF min} = 0,411$$

$$\text{MR min} = 50140 \text{ kN.m}$$

$$R = 33 \text{ m}$$

Direncanakan SF = 1,3

$$\text{M dorong} = \text{MR min} / \text{SF min}$$

$$= 121995,13 \text{ kN.m}$$

$$\Delta \text{MR} = \text{M dorong} \times \text{SF} - \text{MR min}$$

$$= 93411,674$$

Mencari nilai  $F_k$ ,

$$F_k = 2.643 \left[ \left( \frac{0.89 + 0.12 \frac{L}{D}}{2.69} \right) \times \left( \frac{0.855 C_u^{-0.392}}{2.865} \right) \right]$$

$$F_k = 0,9519$$

$$P_{max} = P \times F_k$$

$$= 95 \text{ kN} \times 0,9519 = 90,38 \text{ kN}$$

Dengan persamaan (2.57) Jumlah cerucuk ( $n$ ) yang harus dipasang per satuan panjang adalah

$$n = \frac{\Delta MR}{R \times P}$$

$$= 30 \text{ buah / meter tegak lurus gambar}$$

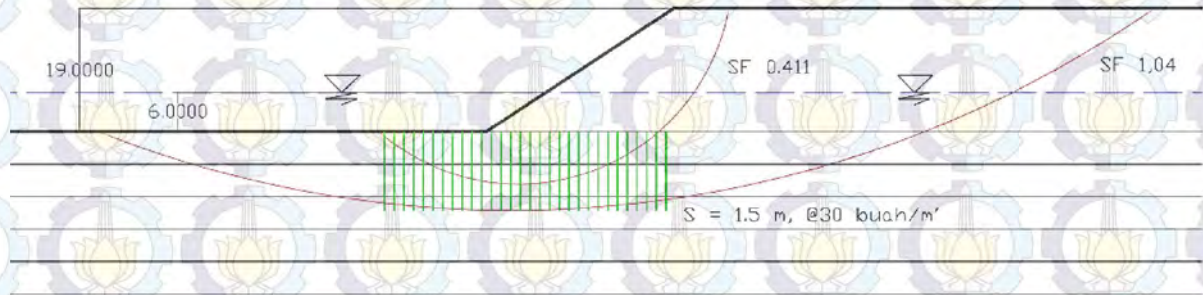
Jarak antar cerucuk ( $S$ ) dihitung sepanjang bidang longsor tetapi tidak sampai depan timbunan.

$$S = \text{Panjang bidang longsor} / n$$

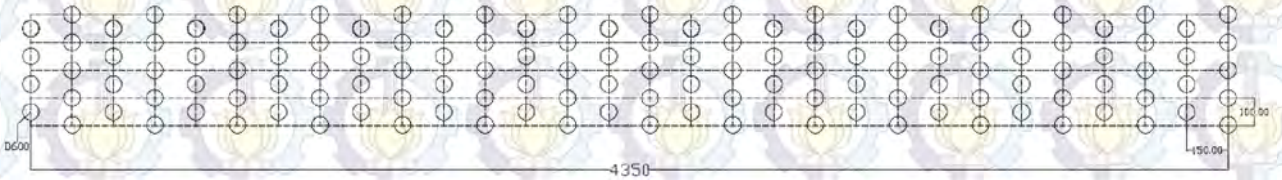
$$= 43,67 / 30$$

$$= 1,5 \text{ m}$$





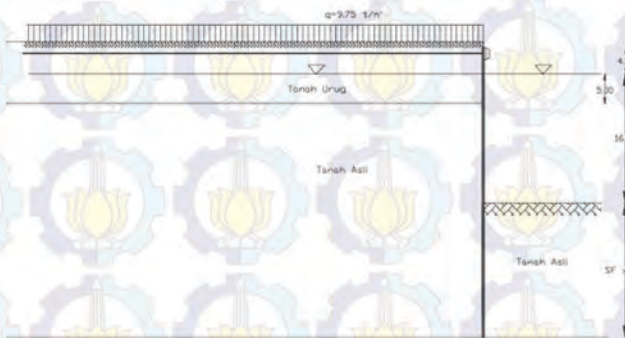
**Gambar 5.7** Sketsa potongan melintang cerucuk



**Gambar 5.8** Sketsa tampak atas pemasangan cerucuk

### 5.8 Perencanaan *Sheetpile* Baja Berangker

Pada perencanaan perkuatan tanah di sisi dermaga digunakan *sheetpile* baja yang dikombinasi dengan angker. *Sheetpile* dipasang setelah proses pemampatan selesai dan timbunan *surcharge* telah dibongkar. Timbunan akan dikeruk hingga kedalaman 16 m. *Sheetpile* direncanakan memikul beban horizontal akibat tanah timbunan setinggi 16 m dan beban kontainer 6 tiers ( $q_{\text{surcharge}}=9,75 \text{ t/m}^2$ ). Gambar sketsa tanah pada Gambar 5.9.



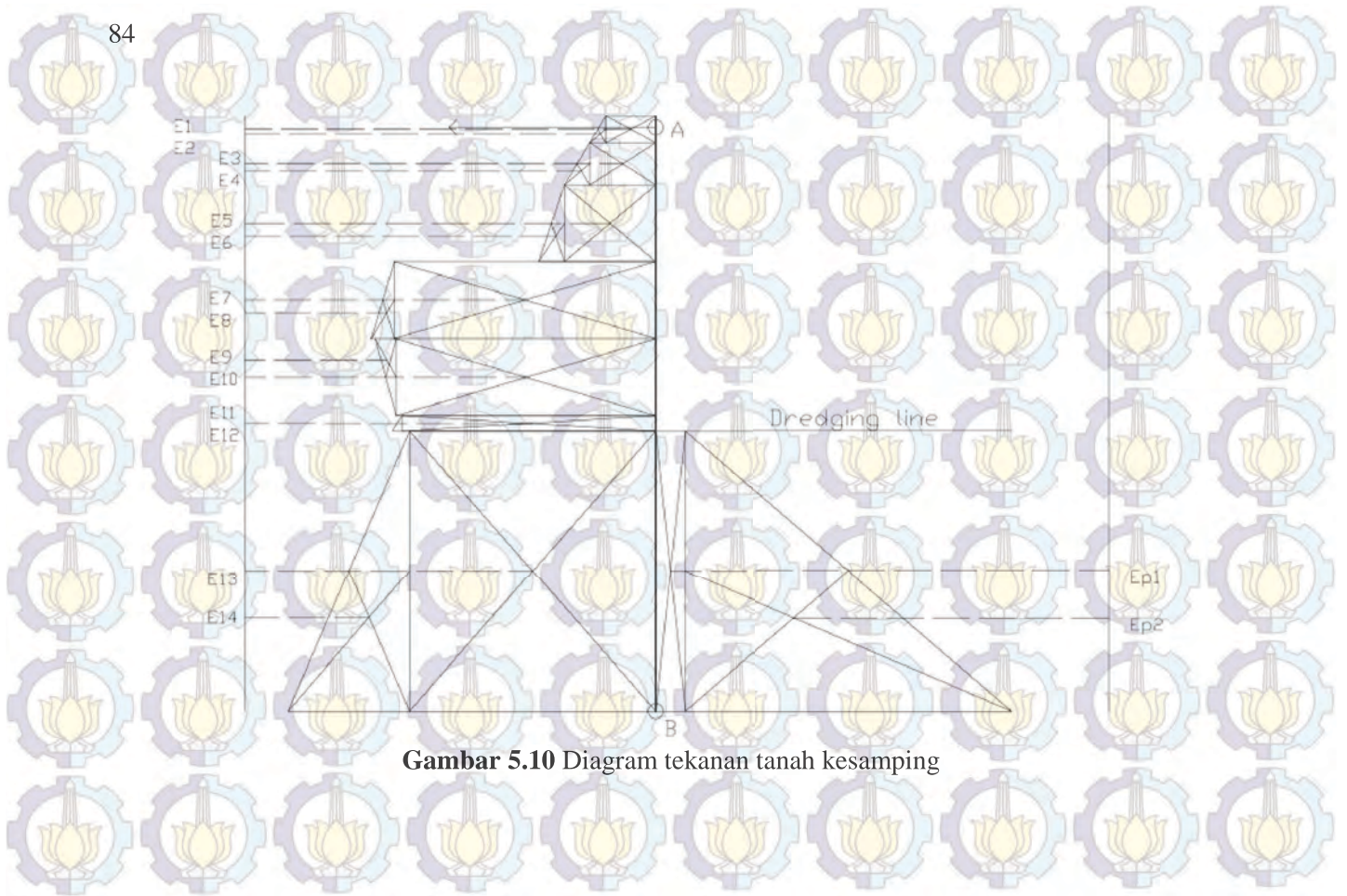
**Gambar 5.9** Sketsa penampang tanah pada pemasangan *sheet pile* berangker (dimensi dalam satuan meter)

Karakteristik tanah urug :

$\gamma$	$= 1,8 \text{ t/m}^3$	$\phi$	$= 30^\circ$
$\gamma'$	$= 1,0 \text{ t/m}^3$	$K_a$	$= 0,33$
$q$	$= 9,75 \text{ t/m}^2$	$K_p$	$= 3,00$
$c$	$= 0 \text{ t/m}^2$		

Berikut tahap desain *sheetpile* dengan angker :

1. Menghitung gaya yang bekerja pada *Sheetpile*; Perhitungan tegangan vertikal dan horizontal diberikan pada Tabel 5.9. Adapun diagram tekanan tanah diberikan pada Gambar 5.10, dan perhitungannya pada Tabel 5.10 serta Tabel 5.11.



**Gambar 5.10** Diagram tekanan tanah kesamping



**Tabel 5.9** Perhitungan Tegangan Horizontal Aktif dan Pasif Tanah pada *Sheetpile*

	Titik	Depth	$\gamma$ (t/m <sup>3</sup> )	Cu (t/m <sup>2</sup> )	$\phi$	Ka	Kp	2c vKa	2c vKp	$\sigma'v$	$\sigma'ha$	Ea	Lengan thd A (m)	Momen thd A (tm)
E1	1	0	1.8	0	30	0.33		0		9.75	3.25	5.69	-0.13	-0.7109375
E2	2A	1.75	1.8	0	30	0.33		0		12.90	4.30	0.92	0.17	0.153125
E3	2B	1.75	1.8	0	30	0.33		0		12.90	4.30	11.83	2.13	25.128125
E4	3A	2.75	1.8	0	30	0.33		0		17.85	5.95	2.27	2.58	5.8609375
E5	3B	2.75	1	0	30	0.33		0		17.85	5.95	29.75	6.00	178.5
E6	4A	5	1	0	30	0.33		0		22.85	7.62	4.17	6.83	28.47222222
E7	4B	5	0.339229	1.581807	3.84	0.87		2.958386		22.85	17.02	85.12	11.00	936.2740195
E8	5A	5	0.339229	1.581807	3.84	0.87		2.958386		24.55	18.51	3.71	11.83	43.87857109
E9	5B	5	0.339229	1.716122	3.84	0.87		3.20959		24.55	18.26	91.28	16.00	1460.414401
E10	6A	5	0.339229	1.716122	3.84	0.87		3.20959		26.24	19.74	-3.71	16.83	-62.4188124
E11	6B	5	0.339229	1.9183	7.93	0.76		3.339223		26.24	16.54	16.54	19.00	314.2598892
E12	7A	1	0.513523	1.9183	7.93	0.76		3.339223		26.76	16.93	0.19	19.17	3.72798249
E13	7B	1	0.513523	2.561612	7.59	0.77		4.485833		26.76	16.03	16.03	Do	0.5Do+19.5
E14	8	Do	0.513523	2.561612	7.59	0.77		4.485833		26.76 + 0.51352 Do	16.03 + 0.39 Do	0.20	Do2	0.67Do+19.5
Ep1	9	Do	0.513523	2.561612	7.59		1.304		5.85118		5.85	2.925590101	Do	0.5Do+19.5
Ep2	10	Do	0.513523	2.561612	7.59		1.304		5.85118		0.51352 Do	5.85 + 6.52 Do	3.260501605	Do2

(Sumber: Hasil Analisa)

**Tabel 5.10** Gaya dan Momen Akibat Tekanan Tanah kesamping Aktif Terhadap Titik A

Nomer	Ea	Lengan thd A (m)	Momen thd A (tm)
E1	5.688	-0.125	-0.711
E2	0.919	0.167	0.153
E3	11.825	2.125	25.128
E4	2.269	2.583	5.861
E5	29.750	6.000	178.500
E6	4.167	6.833	28.472
E7	85.116	11.000	936.274
E8	3.708	11.833	43.879
E9	91.276	16.000	1460.414
E10	3.708	16.833	-62.419
E11	16.540	19.000	314.260
E12	0.195	19.167	3.728
E13	16.030	0.5Do+19.5	8.015Do <sup>2</sup> +312.585Do
E14	0.196847 Do <sup>2</sup>	0.67Do+19.5	0.132Do <sup>3</sup> +3.84Do <sup>2</sup>

$$\sum M_{\text{aktif}} = 0.132 \text{ Do}^3 + 11.8535 \text{ Do}^2 + 312.585 \text{ Do} + 3055.5 \text{ (t.m)}$$

**Tabel 5.11** Gaya dan Momen akibat Tekanan Tanah kesamping Pasif Terhadap Titik A

Nomer	Ep	Lengan thd A (m)	Momen thd A (tm)
Ep1	2.926 Do	0.5Do+19.5	1.46Do <sup>2</sup> +57.05Do
Ep2	3.261 Do <sup>2</sup>	0.67Do+19.5	2.18Do <sup>3</sup> +63.58Do <sup>2</sup>

$$\sum M_{\text{pasif}} = -((1.46 \text{ Do}^2 + 57.05 \text{ Do}) + (2.18 \text{ Do}^3 + 63.58 \text{ Do}^2)) \text{ (t.m)}$$

$$\begin{aligned} \sum M_{\text{total}} &= 0.132 \text{ Do}^3 + 11.85 \text{ Do}^2 + 312.59 \text{ Do} + 3055.5 - (2.18 \text{ Do}^3 \\ &+ 65.043 \text{ Do}^2 + 57.049 \text{ Do}) \\ &- 2.20 \text{ Do}^3 - 57.721 \text{ Do}^2 + 251.12 \text{ Do} + 2704.9 \end{aligned}$$

Untuk mendapatkan kedalaman *sheetpile* dalam tanah ( $D_o$ ), momen aktif dan momen pasif dihitung dalam kondisi seimbang

$$\sum M_{total} = \sum M_{aktif} + \sum M_{pasif} = 0; \text{ maka :}$$

$$-2.20D_o^3 - 57.721D_o^2 + 251.12D_o + 2704.9$$

Dengan menggunakan cara coba-coba, didapatkan nilai  $D_o = 8.5$  m. Untuk keamanan nilai  $D_o$  dikalikan dengan angka keamanan,  $SF = 2$ .  $D_o = 2 \times 8.5 = 17$  m. Sehingga total panjang turap yang dibutuhkan adalah  $17 + 20.5 = 37.5$  m

## 2. Penentuan Profil *Sheetpile*

Profil *sheetpile* ditentukan dengan menggunakan momen maksimum yang bekerja pada *sheetpile*.

$$\sum M_{total} = -2.20D_o^3 - 57.721D_o^2 + 251.12D_o + 2704.9$$

Letak momen maksimum dapat diperoleh dari hasil diferensial persamaan momen total terhadap  $x$  :

$$\frac{d \sum M_{total}}{dx} = 0$$

$$-6.61x^2 - 115.44x + 251.12 = 0, \text{ atau}$$

$$6.61x^2 + 115.44x - 251.12 = 0$$

Nilai  $x$  diperoleh dengan rumus ABC sebagai berikut :

$$x_{1,2} = \frac{-115,44 \pm \sqrt{103,453^2 - 4,6,61.(-251,12)}}{2,6,61}$$

Diperoleh :

$$x_1 = 2,61 \text{ m (memenuhi)}$$

$$x_2 = -19,41 \text{ m}$$

Nilai  $x$  yang memenuhi kemudian disubstitusikan pada persamaan  $M_{total}$ .

$$\begin{aligned} \sum M_{total} &= -0,871x^3 - 23,845x^2 + 474,56x + 5473,5 \\ &= -2,05(2,61)^3 - 51,73(2,61)^2 + 312,585(2,61) + 3055,5 \\ &= 3482,5 \text{ tm} = 34825 \text{ KNm} \end{aligned}$$

Digunakan turap baja dengan profil AZ Box Piles dengan  $\bar{\sigma} = 210$  MN. Maka nilai *Widerstands Moment* ( $W$ ) adalah sebagai berikut :

$$W = \frac{\sum M_{total}}{\bar{\sigma}} = \frac{34825}{210 \times 10^3} = 0,166 \text{ m}^3 = 16600 \text{ cm}^3$$



Digunakan profil Steel Pipe Piles dengan  $W=16600 \text{ cm}^3 > 17442 \text{ cm}^3$ , dengan dimensi :

Outside Diameter – 2000 mm  
Thick = 25 mm

### 3. Kontrol Defleksi

Dengan menggunakan program bantuan SAP2000 dilakukan pengecekan pada profil yang dipakai apakah memenuhi persyaratan defleksi yang diijinkan yaitu 1 inch atau 2.6 cm. Defleksi yang dihasilkan akibat gaya – gaya yang terjadi pada sheetpile pada kondisi rencana adalah tepat sebesar 2.6 cm. Maka profil *Steel Pipe Piles* dengan diameter 2000 mm dan tebal 25 mm bisa dipakai. Hasil Analisa SAP2000 disajikan pada Lampiran 12.

### 4. Penentuan Diameter Baja Angker

Dari hasil analisa SAP didapat  $T = 203 \text{ ton}$

Angkur dipasang setiap per meter sehingga gaya total yang bekerja pada Blok Angkur 203 ton.

$$\bar{\sigma}_{\text{angker}} = 1000 \text{ kg/cm}^2$$

$$\bar{\sigma}_{\text{angker}} = \frac{T}{A} = \frac{T}{0,25\pi d^2}$$

$$1000 = \frac{203.1000}{0,25\pi d^2}$$

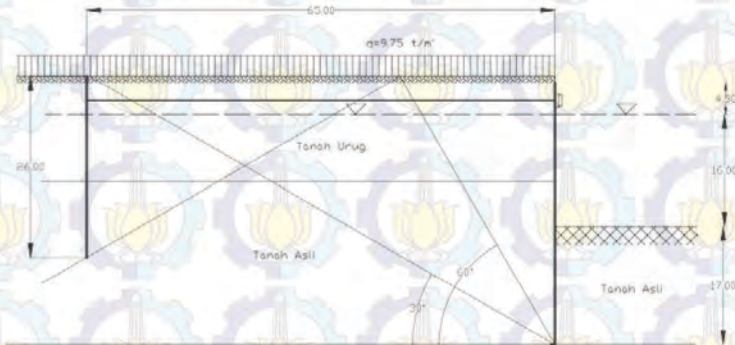
$$D = 14 \text{ cm}$$

Maka, diameter baja angker (D) adalah 14 cm.



## 5. Perencanaan Blok Angker

Direncanakan menggunakan pipa baja dengan diameter 1500 mm dan tebal 19 mm yang dipasang pada jarak 65 m dari sheetpile. Pipa baja penahan angkur dipasang hingga kedalaman 26 m. Pipa baja ini di pasang per meter.



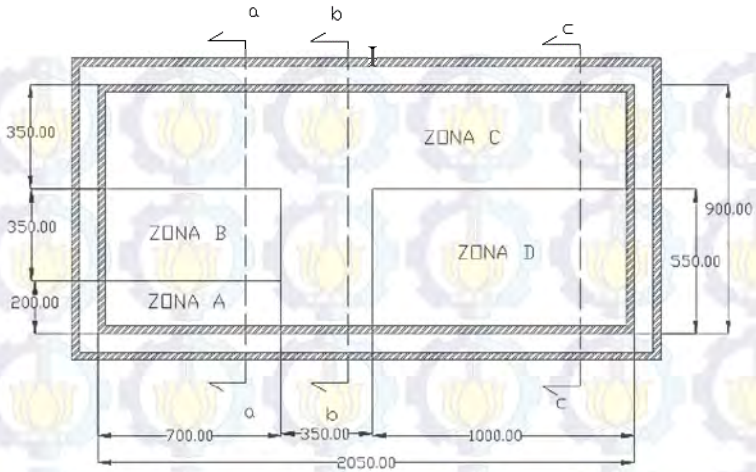
**Gambar 5.11** Sketsa letak angker (satuan dalam meter)

## 5.9 Perhitungan Volume Material

Perhitungan volume material dilakukan untuk menganalisa kebutuhan material yang harus disediakan pada proyek reklamasi. Luas area untuk perhitungan volume dengan geometri yang tidak beraturan dihitung dengan program bantu Autocad. Perhitungan material dilakukan terhadap material reklamasi dan perkuatannya.

### 5.9.1 Material Timbunan

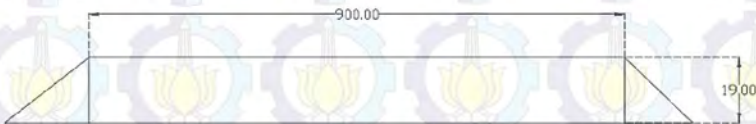
Material timbunan reklamasi merupakan tanah urug yang di ambil dari beberapa wilayah di Bojanegara, Provinsi Banten. Geometri timbunan bisa dilihat pada Gambar 5.12 dan Gambar 5.13. Kemiringan lereng timbunan ( $z$ ) adalah 1 : 1,5. Perhitungan Volume dapat dilihat pada Tabel 5.12.



**Gambar 5.12** Area Reklamasi dan Pembagian Perhitungan



**Gambar 5.13a** Potongan a-a (satuan dalam meter)



**Gambar 5.13b** Potongan b-b (satuan dalam meter)



**Gambar 5.13c** Potongan c-c (satuan dalam meter)

**Tabel 5.12** Perhitungan Volume Tanah Urug Timbunan

Ket.	Zona	Luas (m <sup>2</sup> )	Lebar (m <sup>1</sup> )	Volume (m <sup>3</sup> )
Pot. a-a	A	4139,37	700	2.897.557
	B	6405	700	4.483.500
	C	6920,75	700	4.844.525
Pot. b-b	C	1764,51	350	6.174.525
Pot. c-c	C	6920,75	1000	6.920.750
	D	10143	1000	10.143.000
Segitiga I		279,37	900	251.431
Segitiga II		270,75	900	243.675
			TOTAL	35.958.963

(Sumber: Hasil Analisa)

### 5.9.2 Prefabricated Vertical Drain (PVD)

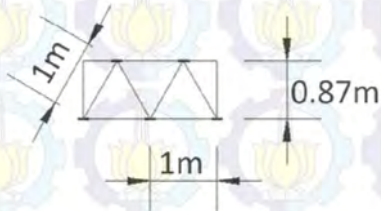
Pemasangan PVD pada zona A dan B dilaksanakan dengan pola segitiga berjarak 1,5 m sedangkan zona C dan D dengan pola segitiga berjarak 1 m. PVD dipasang pada timbunan pada saat elevasi timbunan telah lebih tinggi dari MSL. Karena timbunan masih berada pada elevasi di bawah  $H_{\text{inisial}}$ , lebar timbunan lebih lebar daripada lebar timbunan yang direncanakan. Luasan timbunan pada saat dilakukan pemasangan timbunan dihitung pada Tabel 5.13. Pemasangan PVD ketika tinggi timbunan sedikit lebih tinggi dari elevasi air. Walaupun jarak pemasangan sama yaitu 1 m, karena panjang kedalaman PVD berbeda – beda, maka diperlukan perhitungan area berdasarkan zona kedalaman PVD setelah timbunan sedikit lebih tinggi dari elevasi air.

**Tabel 5.13** Perhitungan Luas Area Pemasangan PVD

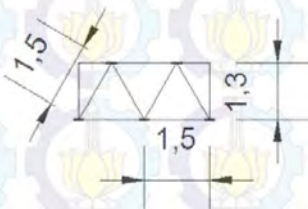
Area	Kedalaman PVD (m)	Panjang (m)	Lebar (m)	Luas (m <sup>2</sup> )
Zona A	22,5	228,95	728,95	166893
Zona B	17,5	350	728,95	255132,5
Zona C1	13,5	2107	378,5	797499,5
Zona C2	13,5	578,5	350	202475
Zona D	12,5	1027	577	592579

(Sumber: Hasil Analisa)

Dari Gambar 5.14a dan Gambar 5.14b diperoleh luasan pemasangan setiap 5 PVD. Pada pemasangan PVD pola segitiga dengan jarak 1 m, diperoleh hasil bahwa terdapat 5 titik pemasangan PVD setiap luasan :  $2 \text{ m} \times 0,87 \text{ m} = 1,74 \text{ m}^2$ . Sedangkan pada pemasangan PVD pola segitiga dengan jarak 1,5 m, diperoleh hasil bahwa terdapat 5 titik pemasangan PVD setiap luasan :  $3 \text{ m} \times 1,3 \text{ m} = 3,9 \text{ m}^2$



**Gambar 5.14a** Ukuran pemasangan PVD jarak 1 m



**Gambar 5.14b** Ukuran pemasangan PVD jarak 1,5 m

Oleh karena itu, kebutuhan PVD dapat dihitung seperti diberikan pada Tabel 5.14.

**Tabel 5.14** Perhitungan Panjang Kebutuhan PVD

Area	Luas Area (m <sup>2</sup> )	Luas pemasangan 5	Jumlah titik pemasangan PVD	Kedalaman PVD (m)	Panjang Kebutuhan PVD (m)
A	B	C	$D=B/(C*5)$	E	$F=D*E$
Zona A	166893	3.9	8559	22.5	192569
Zona B	255132.5	3.9	13084	17.5	228965
Zona C1	797499.5	1.74	91667	13.5	1237499
Zona C2	202475	1.74	23273	13.5	314185
Zona D	592579	1.74	68113	12.5	851407
				TOTAL	2824625

(Sumber: Hasil Analisa)



Berdasarkan brosur CE Teau Drain, panjang PVD setiap kontainer 40 TEUs adalah 125.000 m. Oleh karena itu dibutuhkan 23 kontainer PVD.

### 5.9.3 *Geotextile*

Perkuatan dengan *Geotextile* direncanakan hanya pada sisi barat, utara dan timur. Apabila dihitung secara total kebutuhan *geotextile* di semua sisi maka didapatkan 5.250.400 m<sup>2</sup>. Sesuai brosur HUESKER STABILENKA dari Geotech jumlah tersebut sama dengan 5.251 roll *geotextile woven*.

**Table 5.15** Perhitungan Luas Kebutuhan *Geotextile*

Area	Geotekstil per meter (m)	Panjang area yang dipasang Geotekstil (m)	Luas (m <sup>2</sup> )
A	B	C	D=B*C
Zona A	1606	200	321200
Zona B	1006	350	352100
Zona C	1387	2750	3814250
Zona D	1387	550	762850
		Total	5250400

### 5.9.4 *Micropile*

Perkuatan dengan *Micropile* direncanakan pada sisi utara dan timur. Perhitungan kebutuhan *micropile* pada bab 5.7 dengan menganggap tidak ada perkuatan *geotextile*. Sehingga perhitungan kebutuhan *micropile* seluruhnya sesuai perhitungan adalah 88.500 buah CSP dengan diameter 600.

### 5.9.5 *Sheetpile*

Berdasarkan perhitungan pada sub bab 5.8 dan 5.9, diperoleh hasil sebagai berikut :

Panjang <i>sheetpile</i> berangker	– 39 m
Panjang anker	– 65.47 m
Dimensi Angker	– 1,75 x 10 m <sup>l</sup>
Tipe <i>sheet pile</i>	= Steel Pipe Piles
Outside Diameter	= 1110 mm
Wall thick	= 19 mm

$$\text{Section modulus} = 171 \times 102 = 17442 \text{ cm}^3$$

Pemasangan *sheetpile* dilaksanakan pada sisi selatan sepanjang 2050 m. Jarak antar angker adalah 2 m. Kebutuhan jumlah (n) *sheetpile* dapat diketahui dengan membagi panjang area pemasangan dengan diameter *sheetpile*.

$$\begin{aligned} n &= 2050 / 1.1 \\ &= 1864 \text{ buah} \\ L &= 39 \text{ m} \\ W &= 506 \text{ kg/m} = 0.506 \text{ ton} \\ W_{\text{total}} &= W \times n \times L \\ &= 506 \times 1864 \times 39 \\ &= 36595.54 \text{ ton} \end{aligned}$$

### 5.10 Perhitungan Biaya

Setelah volume tiap item diketahui, kemudian dihitung biaya dengan mengalikan volume dan harga per satuan volume. Berdasarkan hasil perhitungan biaya, perkuatan timbunan dengan menggunakan geotekstil lebih murah dibandingkan dengan cerucuk pada area yang sama. Didapatkan biaya total proyek (material pokok saja) adalah sebesar Rp. 3.462.841.272.690,00

**Tabel 5.16** Perhitungan Biaya

No	Item	Volume Item	Satuan	Harga Rp per Satuan	Harga
1	Urugan Tanah	35958963	m3	Rp80,000.00	Rp2,876,717,040,000.00
2	PVD	2824625	m	Rp17,000.00	Rp48,018,625,000.00
3	Geotekstile				
	Sisi Barat	1158750	m2	Rp30,000.00	Rp34,762,500,000.00
	Sisi Utara	2843350	m2	Rp30,000.00	Rp85,300,500,000.00
	Sisi Timur	1248300	m2	Rp30,000.00	Rp37,449,000,000.00
4	Micropile				
	Sisi Utara	61500	buah	Rp6,700,000.00	Rp412,050,000,000.00
	Sisi Timur	27000	buah	Rp6,700,001.00	Rp180,900,027,000.00
5	Sheetpile	36595.5392	ton	Rp10,400,000.00	Rp380,593,607,680.00
TOTAL					Rp3,462,841,272,680.00

## DAFTAR PUSTAKA

Das, Braja M. 1988. *Mekanika Tanah: Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknik jilid 1*. Diterjemahkan oleh Noor Endah dan Indrasurya B.M. Surabaya: Erlangga.

Das, Braja M. 1988. *Mekanika Tanah: Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknik jilid 2*. Diterjemahkan oleh Noor Endah dan Indrasurya B.M. Surabaya: Erlangga.

Mochtar, Noor Endah. 2012. *Modul Ajar Metode Perbaikan Tanah*. Surabaya: Jurusan Teknik Sipil FTSP-ITS.

Naval Facilities. 1971. *Design Manual: Foundations, and Earth Structures (NAVFAC DM-7)*. Alexandria: US Department of the Navy.





**Halaman ini sengaja dikosongkan**

## BAB VI KESIMPULAN

### 6.1 Kesimpulan

Dalam perencanaan Tugas Akhir ini didapatkan beberapa kesimpulan yaitu :

1. Settlement terjadi dibagi menjadi lima Zona yang memiliki besar settlement yang berbeda. Settlement yang terjadi pada Zona A adalah 4.3 m, pada Zona B 3.3 m, pada Zona C 3 m, dan pada Zona D 3 m.
2. Tinggi timbunan awal yang dibutuhkan pada Zona A adalah 19,3 m, pada Zona B setinggi 18,3 m, pada Zona C setinggi 19 m dan pada Zona D setinggi 18 m. Timbunan awal tersebut sudah termasuk beban *surcharge* setinggi 5,5 m yang setara dengan 6 tiers kontainer 20 TEUs dengan  $q_{\text{surcharge}}=9,75 \text{ t/m}^2$ . Beban *surcharge* akan dibongkar setelah pemampatan mencapai 90% ( $U=90\%$ ). Waktu tersingkat yang dibutuhkan untuk mencapai derajat konsolidasi 90% ( $U=90\%$ ) dari tiga Zona adalah 119,56 tahun pada Zona A. Waktu tersebut sangat lama, sehingga dibutuhkan perencanaan *Prefabricated Vertical Drain* (PVD) untuk percepatan waktu konsolidasi.
3. Dengan kecepatan penimbunan 50 cm/minggu, dan kecepatan penimbunan tersebut dimulai setelah elevasi timbunan sejajar dengan rata rata muka air laut didapatkan waktu yang dibutuhkan untuk penimbunan bertahap pada Zona A adalah 29 minggu, pada Zona B selama 27 minggu, pada Zona C selama 26 minggu dan pada Zona D selama 26 minggu. Sedangkan PVD hanya berfungsi maksimal selama 24 minggu (6 bulan). Sehingga dengan waktu 24 minggu, untuk mencapai derajat konsolidasi 90% ( $U=90\%$ ). Didapatkan pemasangan PVD pola segitiga dengan jarak 1,5 m pada zona A dan B. sedangkan pada zona C dan D didapatkan PVD pemasangan pola segitiga dengan jarak 1 m. Untuk kedalaman PVD pada zona A 22.5 m, pada Zona B 18.75 m, pada Zona C 13.5 m, dan pada Zona D 12.5 m.

4. Dibutuhkan *geotextile* sebanyak 42 lapis untuk Zona A, 32 lapis untuk Zona B dan 37 lapis untuk Zona C dan Zona D. *Geotextile* dipasang dengan jarak layer pemasangan 0,25 m setelah ketinggian  $H_w$  pada masing-masing Zona. Sedangkan untuk perkuatan menggunakan cerucuk hanya digunakan pada sisi utara dan timur, setelah dihitung sesuai dengan hasil program bantu DXSTABL didapatkan kebutuhan cerucuk 30 buah/meter. Sebagai struktur pelindung timbunan pada sisi selatan digunakan *sheetpile* baja. *Sheetpile* dihitung dengan angker. Untuk turap baja dengan angker digunakan Steel Pipe Piles dengan diameter 2000 mm dan dipancang sedalam 37.5 m, dengan panjang angker 65 m berdiameter 28 cm. Angker dipasang setiap *sheetpile* dengan Pipa Baja berdiameter 1500 dan tebal 22 mm yang dipancang sedalam 26 m sebagai profil penahan angkur.
5. Dari hasil perhitungan volume didapatkan volume tanah urug yang dibutuhkan pada proyek reklamasi ini adalah 35.958.963 m<sup>3</sup>. Panjang PVD yang dibutuhkan adalah 2.824.625 m atau sebanyak 23 kontainer 40 TEUs. *Geotextile* yang dibutuhkan adalah 5.250.400 m<sup>2</sup> atau sebanyak 5.251 roll *geotextile woven*. Kebutuhan *micropile* adalah 88.500 buah CSP dengan diameter 600 mm. Sedangkan *Steel Pipe Piles* yang dibutuhkan sebagai *sheetpile* berjumlah 1.864 buah.
6. Berdasarkan hasil perhitungan biaya, perkuatan timbunan dengan menggunakan geotekstil lebih murah dibandingkan dengan cerucuk pada area yang sama. Sehingga *geotextile* dipilih sebagai perkuatan pada sisi utara dan timur. Didapatkan biaya total proyek dari item urugan tanah, PVD, *Geotextile*, dan *Sheetpile* adalah sebesar Rp. 3.462.841.272.680,00

## 6.2 Saran

Setelah dilakukan perhitungan dan analisa, penulis memberikan saran yaitu :

1. Perencanaan perkuatan sheetpile pada area dengan kedalaman dredging line 20,5 m biasanya akan sulit di lapangan. Selain dimensi profil sheetpile yang sangat besar, gaya angkur juga sangat besar. Oleh karena itu pada perkuatan timbunan dengan dredging line sedalam perencanaan Tugas Akhir ini disarankan menggunakan perkuatan lain seperti *Coffer Dam* atau yang lainnya.
2. Penambahan breakwater diperlukan pada area yang tidak ada penambahan area reklamasi lagi (sisi utara dan timur) sehingga dapat meredam gelombang yang mengarah ke timbunan reklamasi.





**Halaman ini sengaja dikosongkan**

## Lampiran 1 Hasil Analisa Statistika Setiap Parameter Area B-1, B-2 dan B-3

Tabel 1. Hasil analisa statistik parameter tanah Zona B-1

Data Tanah B-1		C1	C2	D							
Depth	Yt	Wc	Gs	Cc	Cv	LL	PL	LI	e	Cs	
0	-2.5	1.365063	90.69289	2.56493	0.939835	0.000421	104.2229	35.34353	0.80357	2.583086	0.29
-2.5	-5	1.365063	90.69289	2.56493	0.939835	0.000421	104.2229	35.34353	0.80357	2.583086	0.29
-5	-7.5	1.365063	90.69289	2.56493	0.939835	0.000421	104.2229	32.49647	0.811367	2.583086	0.29
-7.5	-10	1.508226	58.73704	2.56493	0.225051	0.000421	104.2229	32.49647	0.365843	1.699526	0.22
-10	-12.5	1.588058	58.73704	2.56493	0.225051	0.000421	104.2229	32.49647	0.365843	1.56382	0.21
-12.5	-15	1.588058	44.93948	2.56493	0.205635	0.000557	73.89431	34.82592	0.258868	1.340971	0.13
-15	-17.5	1.453212	44.93948	2.56493	0.205635	0.000557	73.89431	34.82592	0.258868	1.558193	0.15
-17.5	-20	1.453212	44.93948	2.56493	0.205635	0.000557	73.89431	34.82592	0.258868	1.558193	0.15
-20	-22.5	1.453212	48.9775	2.56493	0.205635	0.000557	73.89431	34.82592	0.362226	1.629465	0.15
-22.5	-25	1.542091	48.9775	2.56493	0.205635	0.000557	73.89431	34.82592	0.362226	1.477913	0.14

Tabel 2. Hasil analisa statistik parameter tanah Zona B-2

Data Tanah B-2		B									
Depth	Yt	Wc	Gs	Cc	Cv	LL	PL	LI	e	Cs	
0	-2.5	1.355972	94.62432	2.565847	0.885804	0.000546	92.49294	30.97854	1.034648	2.682792	0.28
-2.5	-5	1.355972	94.62432	2.565847	0.885804	0.000546	92.49294	30.97854	1.034648	2.682792	0.28
-5	-7.5	1.355972	94.62432	2.565847	0.758125	0.003151	80.57745	30.97854	1.283209	2.682792	0.26
-7.5	-10	1.482375	45.24421	2.550284	0.297098	0.000633	80.57745	30.97854	0.287621	1.498788	0.16
-10	-12.5	1.482375	45.24421	2.550284	0.297098	0.001073	80.57745	31.2579	0.283585	1.498788	0.16
-12.5	-15	1.482375	55.27263	2.550284	0.297098	0.001073	78.61191	31.2579	0.507132	1.671318	0.16
-15	-17.5	1.53773	55.27263	2.550284	0.297098	0.001073	78.61191	31.2579	0.507132	1.575155	0.16
-17.5	-20	1.53773	54.3465	2.518536	0.297098	0.001073	75.43815	31.2579	0.5226	1.527929	0.15
-20	-22.5	1.53773	54.3465	2.554601	0.297098	0.001073	75.43815	36.24088	0.46191	1.564128	0.15
-22.5	-25	1.53773	54.3465	2.555972	0.297098	0.001073	75.43815	36.24088	0.46191	1.565505	0.15

Tabel 3. Hasil analisa statistik nilai parameter tanah Zona B-3

Data Tanah B-3		A									
Depth	Yt	Wc	Gs	Cc	Cv	LL	PL	LI	e	Cs	
0	-2.5	1.339229	106.2525	2.554835	1.06716	0.000589	104.2229	33.95042	1.028882	2.93466	0.33
-2.5	-5	1.339229	106.2525	2.554835	1.06716	0.000589	104.2229	33.95042	1.028882	2.93466	0.33
-5	-7.5	1.339229	106.2525	2.554835	1.06716	0.000589	104.2229	33.95042	1.028882	2.93466	0.33
-7.5	-10	1.339229	71.40873	2.554835	0.375228	0.000589	104.2229	33.95042	0.533044	2.269949	0.26
-10	-12.5	1.513523	71.40873	2.554835	0.375228	0.000589	104.2229	35.4416	0.52292	1.893389	0.23
-12.5	-15	1.513523	71.40873	2.554835	0.375228	0.002478	104.2229	35.4416	0.52292	1.893389	0.23
-15	-17.5	1.513523	64.15596	2.554835	0.375228	0.002478	104.2229	35.4416	0.417474	1.770962	0.22
-17.5	-20	1.513523	64.15596	2.554835	0.319888	0.002478	73.89431	35.4416	0.746745	1.770962	0.16
-20	-22.5	1.513523	64.15596	2.554835	0.319888	0.002478	73.89431	35.4416	0.746745	1.770962	0.16
-22.5	-25	1.565194	64.15596	2.554835	0.319888	0.002478	73.89431	34.60061	0.752165	1.679484	0.15

## Lampiran 2 Brosur Spesifikasi Cerucuk Yang Dipakai

Specification of Material			
Item	Reference	Description	Specification
Aggregate	ASTM C33 - 1999 NI-Z-PBI - 1971	Standard Specification for Concrete Aggregates Indonesian Concrete Code	
Cement	SNI 15-2049 - 2004	Portland Cement	Standard product type I Special order : type II or V
Admixture	ASTM C494 - 1985	Standard Specification for Chemical Admixture for Concrete	Type F : water reducing admixtures
Concrete	SNI 03-2847-2002	Indonesian Concrete Code	Compressive Strength at: 28 days : 600 kgf/cm <sup>2</sup> (cube)
PC Wire	JIS G 3536 - 1999	Uncoated Stress-Relieved Steel Wire and Strand for Prestressed Concrete	SWPD 1
PC Bar	JIS G 3137 - 1994	Small Size Deformed Steel Bars for Prestressed Concrete	SBPDL 1275/1420
Spiral Wire	JIS G 3532 - 2000	Low Carbon Steel Wire	SWMA / SWMP
Joint Plate	JIS G 3101 - 2004	Rolled Steel for General Structure	SS-400
Welding	ANSI / AWS D1.1 - 1990	Structural Welding Code-Steel	AWS A 5.1 / E 6013 NIKKO STEEL RB 26 / RD 260, LION 26, or equivalent

Classification								
Outside Diameter (mm)	Wall Thickness (mm)	Class	Concrete Cross Section (cm <sup>2</sup> )	Unit Weight (Kg/m)	Length (m)	Bending Moment Crack (Ton.m)	Ultimate (Ton.m)	Allowable Axial Load (Ton)
300	60	A2	452	113	6 - 13	2.50	3.75	72.60
		A3				3.00	4.50	70.75
		B				3.50	6.30	67.50
		C				4.00	8.00	65.40
350	65	A1	582	145	6 - 15	3.50	5.25	93.10
		A3				4.20	6.30	89.50
		B				5.00	9.00	86.40
		C				6.00	12.00	85.00
400	75	A2	766	191	6 - 16	5.50	8.25	121.10
		A3				6.50	9.75	117.60
		B				7.50	13.50	114.40
		C				9.00	18.00	111.50
450	80	A1	930	232	6 - 16	7.50	11.25	149.50
		A2				8.50	12.75	145.80
		A3				10.00	15.00	143.80
		B				11.00	19.80	139.10
C	12.50	25.00	134.90					
500	90	A1	1159	290	6 - 16	10.50	15.75	185.50
		A2				12.50	18.75	181.70
		A3				14.00	21.00	178.20
		B				15.00	27.00	174.90
C	17.00	34.00	169.00					
600	100	A1	1571	393	6 - 16	17.00	25.50	252.70
		A2				19.00	28.50	249.00
		A3				22.00	33.00	243.20
		B				25.00	45.00	238.30
C	29.00	58.00	229.50					



### Lampiran 3 Brosur Spesifikasi tipe *sheetpile* yang digunakan

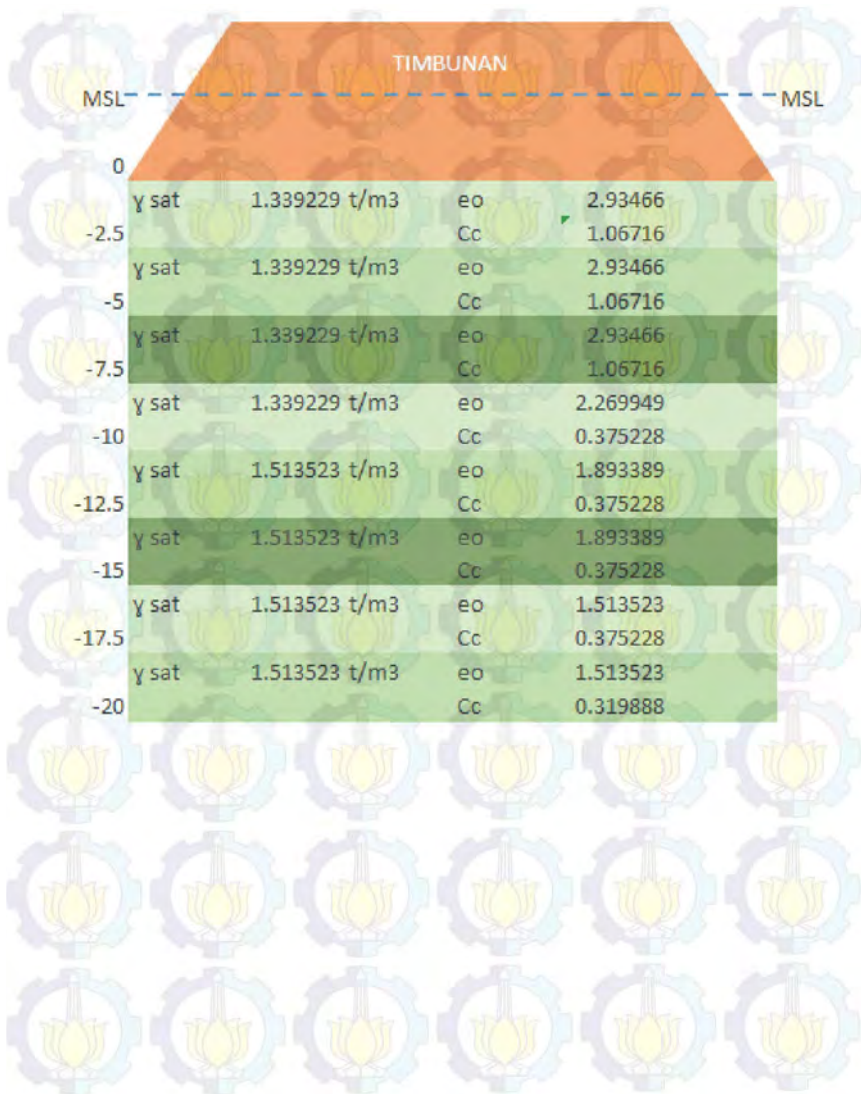
Measurement and weight

Outside D [mm]	Wall t [mm]	Cross Sectional A [cm <sup>2</sup> ]	Weight W [kg/m]	Remarks			Superficial Area Per Meter [m <sup>2</sup> /m]
				Moment of inertia [cm <sup>4</sup> ]	Modulus of Section Z [cm <sup>3</sup> ]	Radius of Gyration [cm]	
1110	14	477.2	375	704 x 103	138 x 102	38.4	3.23
	16	544.9	428	800 x 103	148 x 102	38.3	3.46
	19	645.3	506	943 x 103	171 x 102	38.2	3.66
1117.4	14	485.4	381	739 x 103	132 x 102	39	3.51
	16	552.7	435	840 x 103	150 x 102	39	3.51
	19	655.8	519	990 x 103	177 x 102	38.8	3.51
1200	14	521.6	409	817 x 103	153 x 102	41.9	3.77
	16	595.1	467	104 x 104	174 x 102	41.9	3.77
	19	704.9	553	123 x 104	205 x 102	41.8	3.77
1219.2	22	814.2	629	141 x 104	235 x 102	41.7	3.77
	14	530.1	416	843 x 103	158 x 102	42.6	3.82
	16	604.8	475	109 x 104	180 x 102	42.5	3.82
1300	19	716.4	562	129 x 104	212 x 102	42.4	3.82
	22	827.4	650	148 x 104	240 x 102	42.3	3.82
	16	645.4	507	133 x 104	205 x 102	45.4	4.08
1320.8	19	744.6	600	159 x 104	241 x 102	45.3	4.08
	22	883.3	693	180 x 104	278 x 102	45.2	4.08
	16	655.9	518	140 x 104	211 x 102	46.1	4.15
1400	19	777	610	165 x 104	249 x 102	46	4.15
	22	929.7	705	189 x 104	287 x 102	45.9	4.15
	16	695.7	544	167 x 104	238 x 102	48.9	4.4
1422.4	19	824.3	647	197 x 104	281 x 102	48.8	4.4
	22	952.4	748	226 x 104	323 x 102	48.7	4.4
	16	706.9	555	175 x 104	245 x 102	49.7	4.47
1500	19	837.7	658	206 x 104	290 x 102	49.6	4.47
	22	967.9	760	237 x 104	334 x 102	49.5	4.47
	19	694	554	242 x 104	323 x 102	52.4	4.71
1524	22	1021.5	802	279 x 104	372 x 102	52.3	4.71
	25	1158.5	909	315 x 104	420 x 102	52.2	4.71
	19	848.3	705	254 x 104	334 x 102	53.2	4.79
1600	22	1036.1	815	273 x 104	384 x 102	53.1	4.79
	25	1177.3	924	331 x 104	434 x 102	53	4.79
	16	794.2	625	250 x 104	312 x 102	54	5.03
1625.6	19	943.7	741	295 x 104	369 x 102	55.9	5.03
	22	1090.6	856	340 x 104	424 x 102	55.8	5.03
	25	1227	971	384 x 104	480 x 102	55.7	5.03
1800	16	809.1	636	262 x 104	322 x 102	56.9	5.11
	19	959	753	309 x 104	381 x 102	56.8	5.11
	22	1108.3	870	356 x 104	438 x 102	56.7	5.11
2000	25	1257.1	987	403 x 104	495 x 102	56.6	5.11
	19	1063.1	834	422 x 104	468 x 102	61	5.65
	22	1228.9	955	485 x 104	540 x 102	62.9	5.65
2000	25	1394.1	1094	549 x 104	610 x 102	62.8	5.65
	22	1367.1	1073	649 x 104	669 x 102	67.9	6.29
	25	1551.2	1218	756 x 104	756 x 102	69.9	6.29

## Lampiran 4 Brosur Spesifikasi tipe *Geotextile* yang Digunakan

PRODUCT			100/300	120/330	150/375	200/420	300/465	400/510	600/660	800/720	1000/1080
MECHANICAL	TEST	UNIT									
Ultimate tensile strength Longitudinal Transverse	EN ISO 10.319	kN/m	≥ 100 ≥ 50	≥ 120 ≥ 120	≥ 150 ≥ 45	≥ 200 ≥ 45	≥ 300 ≥ 45	≥ 400 ≥ 50	≥ 600 ≥ 50	≥ 800 ≥ 50	≥ 1000 ≥ 100
Tensile strength @ 6% strain ; Longitudinal	EN ISO 10.319	kN/m	≥ 80	—	≥ 85	≥ 120	≥ 180	≥ 230	≥ 320	≥ 460	≥ 600
Strain @ nominal tensile Strength ; longitudinal Transverse	EN ISO 10.319	%	≤ 10 ≤ 20	≤ 10 ≤ 10	≤ 10 ≤ 20	≤ 10 ≤ 20	≤ 10 ≤ 20	≤ 10 ≤ 20	≤ 10 ≤ 20	≤ 10 ≤ 20	≤ 10 ≤ 20
Creep after two years @ 50% stress ratio		%	1	1	1	1	1	1	1	1	1
HYDRAULIC											
Permeability index normal to plane Tolerance		m/s	15x10 <sup>-9</sup> + 3x10 <sup>-4</sup>	7x10 <sup>-9</sup> -1x10 <sup>-4</sup>	5x10 <sup>-9</sup> -2x10 <sup>-4</sup>	5x10 <sup>-9</sup> -2x10 <sup>-4</sup>	3x10 <sup>-9</sup> -1x10 <sup>-4</sup>	3x10 <sup>-9</sup> -1x10 <sup>-4</sup>	5x10 <sup>-9</sup> -2x10 <sup>-4</sup>	4x10 <sup>-9</sup> -1x10 <sup>-4</sup>	3x10 <sup>-9</sup> -1x10 <sup>-4</sup>
PHYSICAL											
Weight	EN ISO 9954	g / m <sup>2</sup>	~230	~400	~330	~390	~520	~606	~1010	~1380	~1800
SIZES / DIMENSIONS											
Roll width x length	NA	m	5x300	5 x 300	5 x 300	5 x 300	5 x 300	5 x 200	5 x 200	5 x 100	5x100

**Lampiran 5** Gambar penampang tanah Zona A



## Lampiran 6 Settlement dan Grafik hubungan Sc, Hinisial, Hfinal

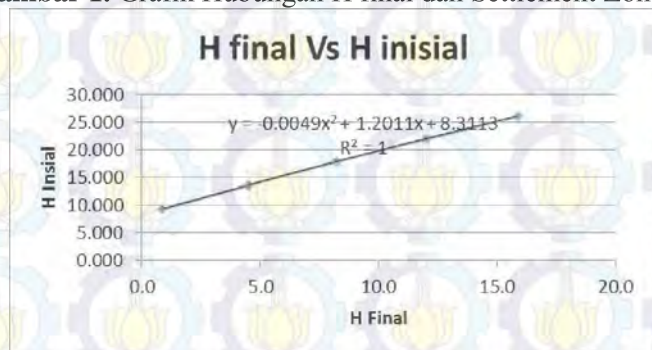
### Zona A

**Tabel 4.** Hasil Analisa H final, H inisial, dan Settlement Zona A

H timb (m)	Q timb (t/m)	Sc (m)	H inisial (m)	Hkontainer (m)	H final (m)
8.000	10.400	2.961	9.316	5.500	0.855
12.000	17.600	3.651	13.623	5.500	4.472
16.000	24.800	4.128	17.835	5.500	8.207
20.000	32.000	4.494	21.997	5.500	12.004
24.000	39.200	4.790	26.129	5.500	15.839



**Gambar 1.** Grafik Hubungan H final dan Settlement Zona A



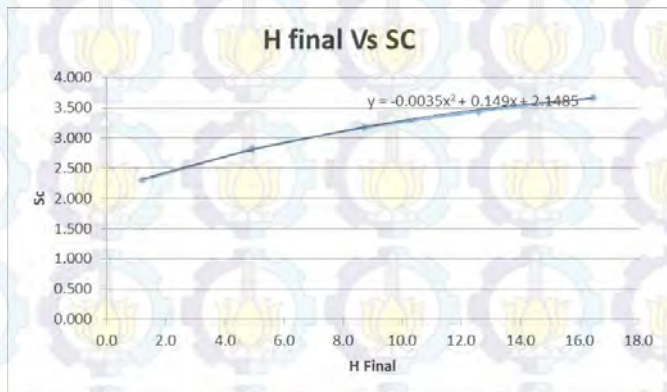
**Gambar 2.** Grafik Hubungan H final dan H inisial Zona A



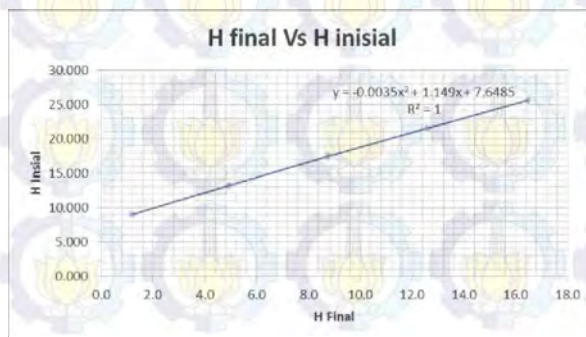
## Zona B

**Tabel 5.** Hasil Analisa H final, H inisial, dan Settlement Zona B

H timb (m)	Q timb (m)	Sc (m)	H inisial (m)	H kontainer (m)	H final
8.000	10.400	2.311	9.027	5.500	1.216
12.000	17.600	2.826	13.256	5.500	4.930
16.000	24.800	3.179	17.413	5.500	8.734
20.000	32.000	3.448	21.532	5.500	12.585
24.000	39.200	3.665	25.629	5.500	16.464



**Gambar 3.** Grafik Hubungan H final dan Settlement Zona B

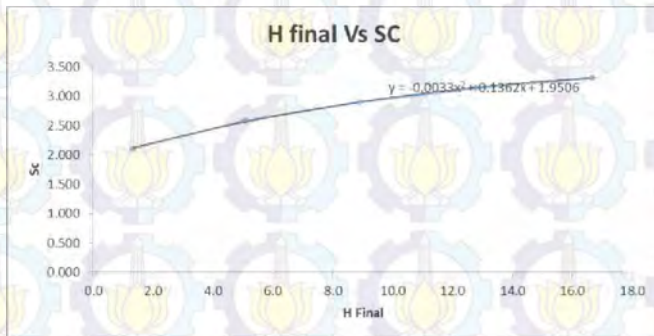


**Gambar 4.** Grafik Hubungan H final dan H inisial Zona B

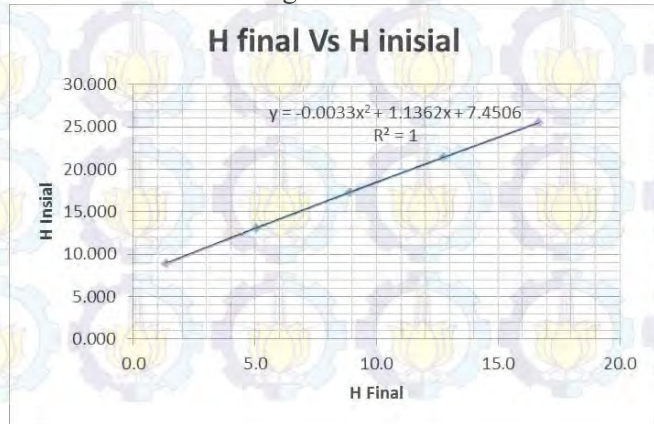
## Zona C

**Tabel 5.** Hasil Analisa H final, H inisial, dan Settlement Zona C

H timb (m)	Q timb (m)	Sc (m)	H inisial (m)	Hkontainer (m)	H final
8.000	9.600	2.112	8.939	5.500	1.327
12.000	16.800	2.584	13.149	5.500	5.064
16.000	24.000	2.898	17.288	5.500	8.890
20.000	31.200	3.132	21.392	5.500	12.760
24.000	38.400	3.320	25.476	5.500	16.655



**Gambar 5.** Grafik Hubungan H final dan Settlement Zona C

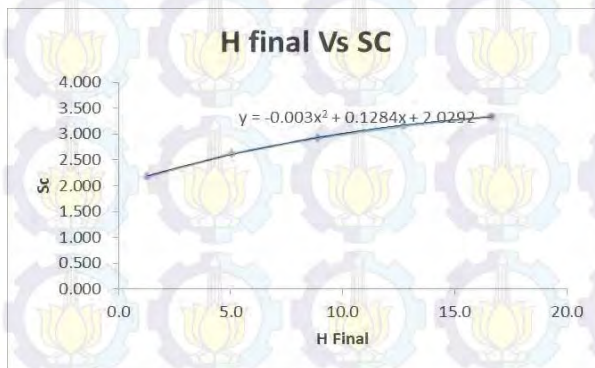


**Gambar 6.** Grafik Hubungan H final dan H inisial Zona C

## Zona D

**Tabel 5.** Hasil Analisa H final, H inisial, dan Settlement Zona D

H timb (m)	Q timb (m)	Sc (m)	H inisial (m)	H kontainer (m)	H final
8.000	10.400	2.178	8.968	5.500	1.290
12.000	17.600	2.625	13.167	5.500	5.042
16.000	24.800	2.927	17.301	5.500	8.874
20.000	32.000	3.155	21.402	5.500	12.747
24.000	39.200	3.339	25.484	5.500	16.645



**Gambar 7.** Grafik Hubungan H final dan Settlement Zona d



**Gambar 8.** Grafik Hubungan H final dan H inisial Zona D



## Lampiran 7 Parameter tanah untuk menghitung waktu konsolidasi

### Zona B

Kedalaman	Tebal lap (m)	Cv (cm <sup>2</sup> /sec)	Z (m)	ysat (t/m <sup>3</sup> )	eo	Cc	Cs	$\sqrt{Cv}$	H/VcV	
0	-2.5	2.5	0.000545851	1.25	1.35597183	2.682791895	0.885804	0.08858	0.023363458	107.004709
-2.5	-5	2.5	0.000545851	3.75	1.35597183	2.682791895	0.885804	0.08858	0.023363458	107.004709
-5	-7.5	2.5	0.003151467	6.25	1.35597183	2.682791895	0.758125	0.075812	0.05613793	44.5331701
-7.5	-10	2.5	0.000632655	8.75	1.48237457	1.498788199	0.297098	0.02971	0.025152636	99.3931594
-10	-12.5	2.5	0.001072865	11.25	1.48237457	1.498788199	0.297098	0.02971	0.032754622	76.32510676
-12.5	-15	2.5	0.001072865	13.75	1.48237457	1.671317668	0.297098	0.02971	0.032754622	76.32510676

$\sum H$

15

$\sum \frac{Hn}{\sqrt{Cv}}$

510.585961

$$Cv_{gabungan} = 0.000863068 \text{ cm}^2/\text{dt} = 0.052198324 \text{ m}^2/\text{minggu} = 2.714312868 \text{ m}^2/\text{th}$$

$$Ch = 2.5 Cv = 0.002589203 \text{ cm}^2/\text{dt} = 0.156594973 \text{ m}^2/\text{minggu} = 8.142938605 \text{ m}^2/\text{th}$$

Tv90% = 0.848 (dari Braja M. Das, 1985)

Hdr = 15 m

t90% = 3655.289748 minggu = **70.29403** tahun

Sc

3.300

t (tahun)	Tv	Uv (%)	Sc(m)
1	0.012	12%	0.41
2	0.024	18%	0.58
3	0.036	21%	0.71
4	0.048	25%	0.82
5	0.060	28%	0.91

## Zona C dan D

Kedalaman	Tebal lap (m)	Cv (cm <sup>2</sup> /sec)	Z (m)	γ <sub>sat</sub> (t/m <sup>3</sup> )	eo	Cc	Cs	$\sqrt{C_v}$	H/√Cv
0	-2.5	2.5	1.25	1.36506343	2.583085999	0.939835	0.093983	0.020528007	121.7848379
-2.5	-5	2.5	3.75	1.36506343	2.583085999	0.939835	0.093983	0.020528007	121.7848379
-5	-7.5	2.5	6.25	1.36506343	2.583085999	0.939835	0.093983	0.020528007	121.7848379
-7.5	-10	2.5	8.75	1.50822575	1.699525792	0.225051	0.022505	0.020528007	121.7848379

$$\sum H$$

10

$$\sum \frac{Hn}{\sqrt{C_v}}$$

487.1393517

$$\begin{aligned} \text{Cvgabungan} &= 0.000421399 \text{ cm}^2/\text{dt} = 0.025486216 \text{ m}^2/\text{minggu} = 1.325283218 \text{ m}^2/\text{th} \\ \text{Ch}=2-5 \text{ Cv} &= 0.001264197 \text{ cm}^2/\text{dt} = 0.076458647 \text{ m}^2/\text{minggu} = 3.975849654 \text{ m}^2/\text{th} \end{aligned}$$

Tv90% 0.848 (dari Braja M. Das, 1985)

Hdr 10 m

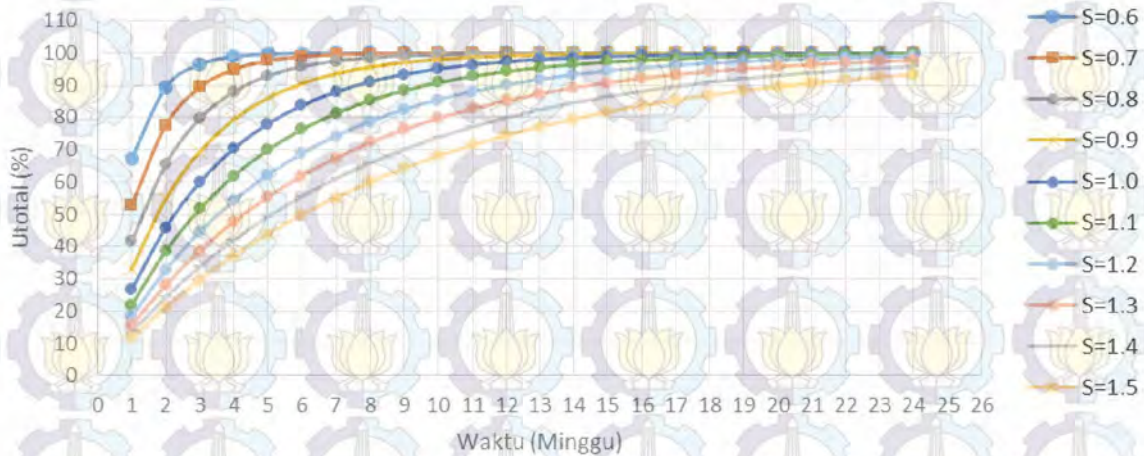
t90% 3327.288794 minggu 63.98632 tahun

Sc 3.000

t (tahun)	Tv	Uv (%)	Sc(m)
1	0.013	13%	0.39
2	0.027	18%	0.55
3	0.040	22%	0.67
4	0.053	26%	0.78
5	0.066	29%	0.87

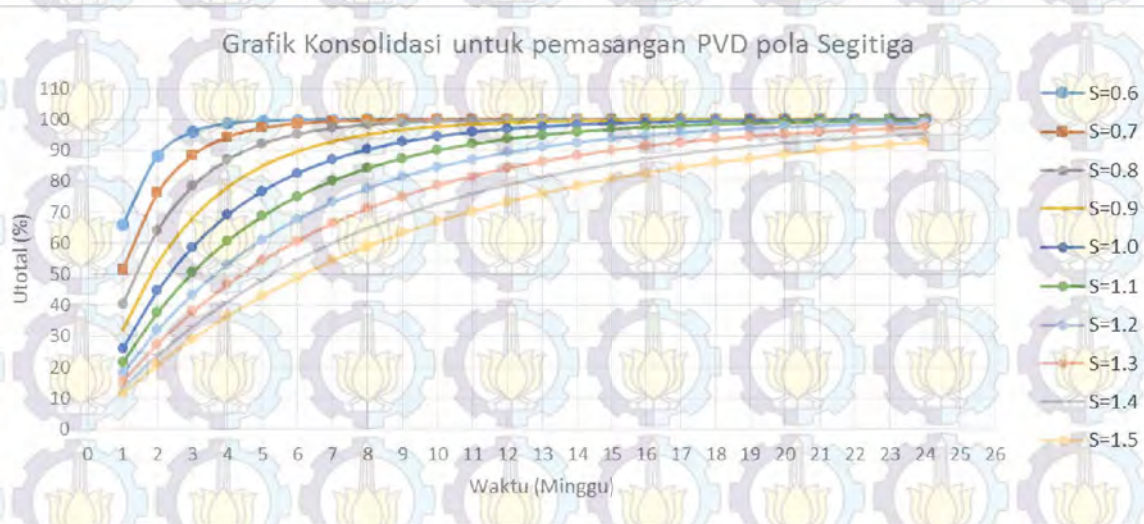
Lampiran 8 Grafik Perhitungan PVD dengan pola dan jarak bervariasi  
Zona A

Grafik Konsolidasi untuk pemasangan PVD pola Segitiga



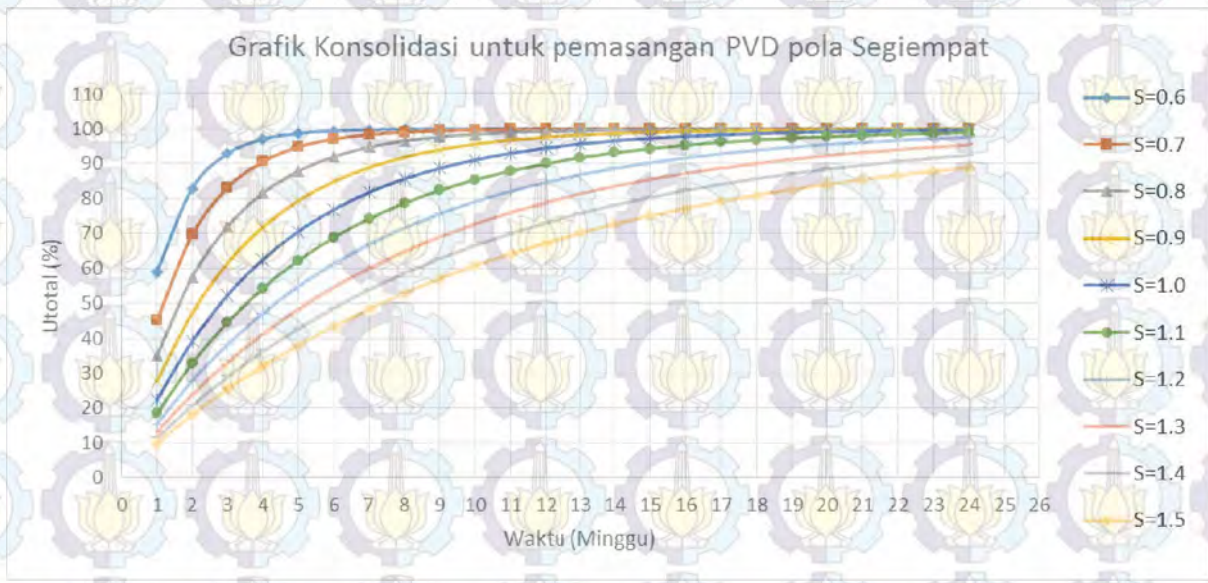






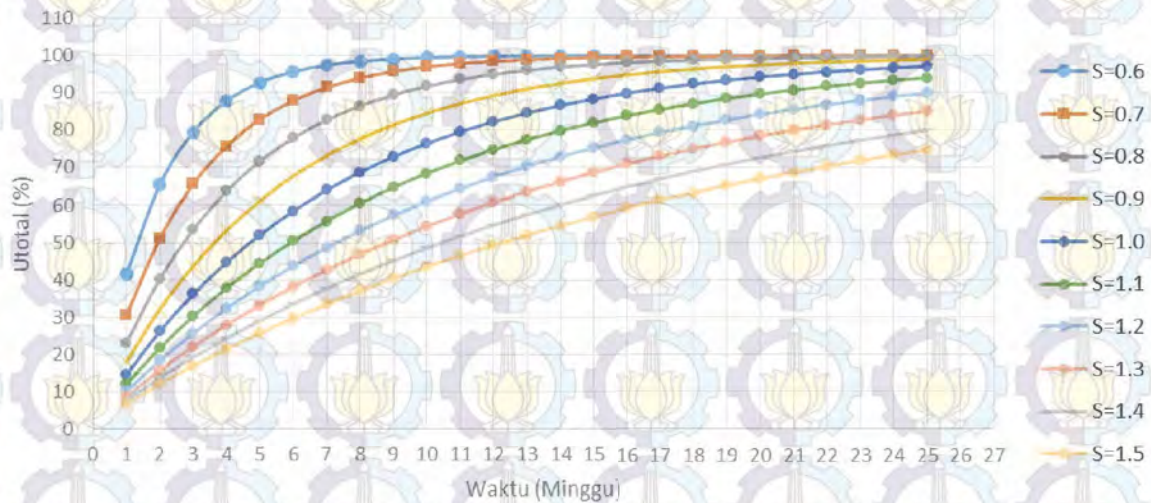


Zona B



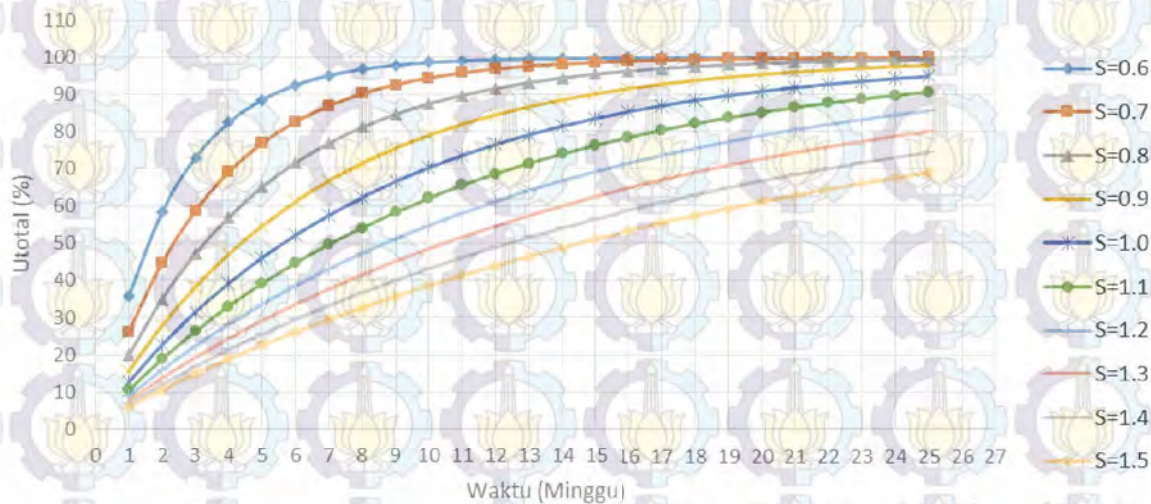


Grafik Konsolidasi untuk pemasangan PVD pola Segitiga



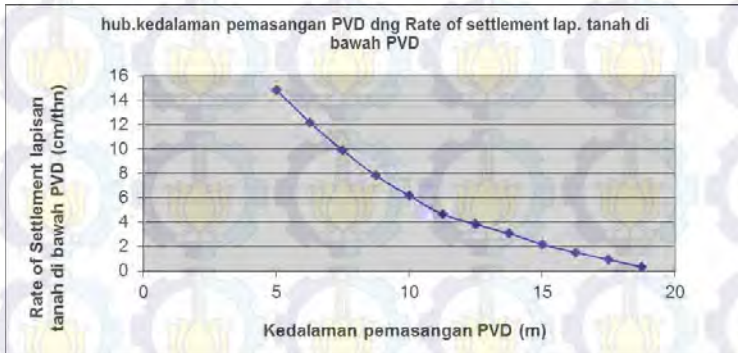
Zona C dan D

Grafik Konsolidasi untuk pemasangan PVD pola Segiempat

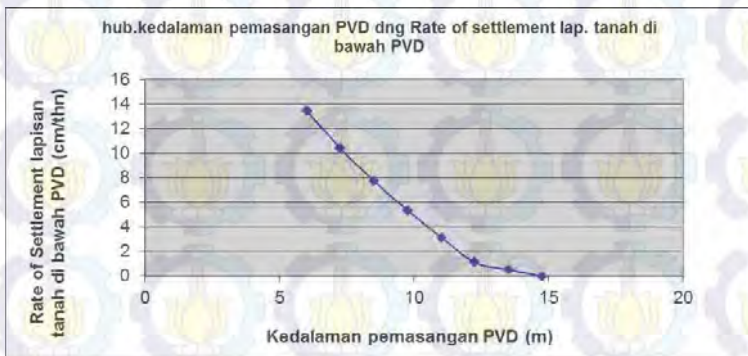


## Lampiran 9 Grafik *Rate of Settlement*

### Zona B



### Zona C dan D





## Lampiran 10 Peningkatan Cu

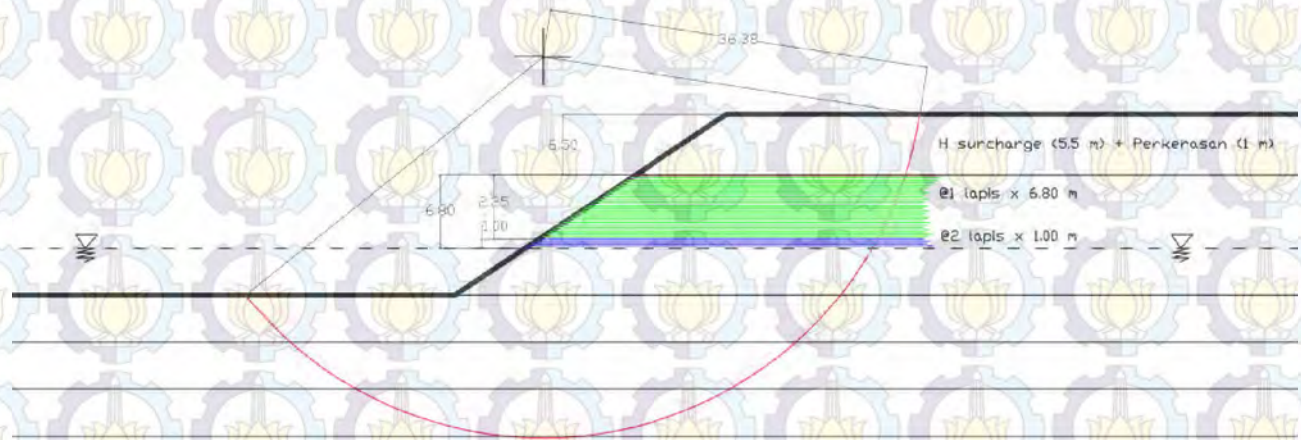
### Zona B

Kedalaman	$\Sigma\sigma'$	PI	Cu lama	Cu baru	Cu Pakai	Cu pakai
meter	kg/cm <sup>2</sup>		kg/m <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kPa
0.625	1.010	61.514	0.020	0.166	0.166	16.617
1.875	1.057	61.514	0.020	0.170	0.170	17.049
3.125	1.103	61.514	0.020	0.175	0.175	17.469
4.375	1.148	61.514	0.020	0.179	0.179	17.886
5.625	1.194	49.599	0.204	0.206	0.206	20.576
6.875	1.239	49.599	0.204	0.211	0.211	21.075
8.125	1.292	49.599	0.204	0.217	0.217	21.662
9.375	1.353	49.599	0.204	0.223	0.223	22.336
10.625	1.414	49.320	0.214	0.231	0.231	23.073
11.875	1.478	49.320	0.214	0.238	0.238	23.786
13.125	1.545	49.320	0.214	0.245	0.245	24.538
14.375	1.613	49.320	0.214	0.253	0.253	25.289

### Zona C

Kedalaman	$\Sigma\sigma'$	PI	Cu lama	Cu baru	Cu Pakai	Cu pakai
meter	kg/cm <sup>2</sup>		kg/m <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kPa
0.625	1.010	68.879	0.030	0.154	0.154	15.427
1.875	1.057	68.879	0.030	0.158	0.158	15.804
3.125	1.103	68.879	0.030	0.162	0.162	16.170
4.375	1.148	68.879	0.030	0.165	0.165	16.533
5.625	1.194	71.726	0.032	0.164	0.164	16.350
6.875	1.239	71.726	0.032	0.167	0.167	16.690
8.125	1.292	71.726	0.032	0.171	0.171	17.089
9.375	1.353	71.726	0.032	0.175	0.175	17.547
10.625	1.414	71.726	0.176	0.180	0.180	18.005
11.875	1.478	71.726	0.176	0.185	0.185	18.488
13.125	1.545	71.726	0.224	0.190	0.224	22.400
14.375	1.613	71.726	0.224	0.195	0.224	22.400

**Lampiran 11** Sketsa Geotekstil dan perhitungan  
Zona B

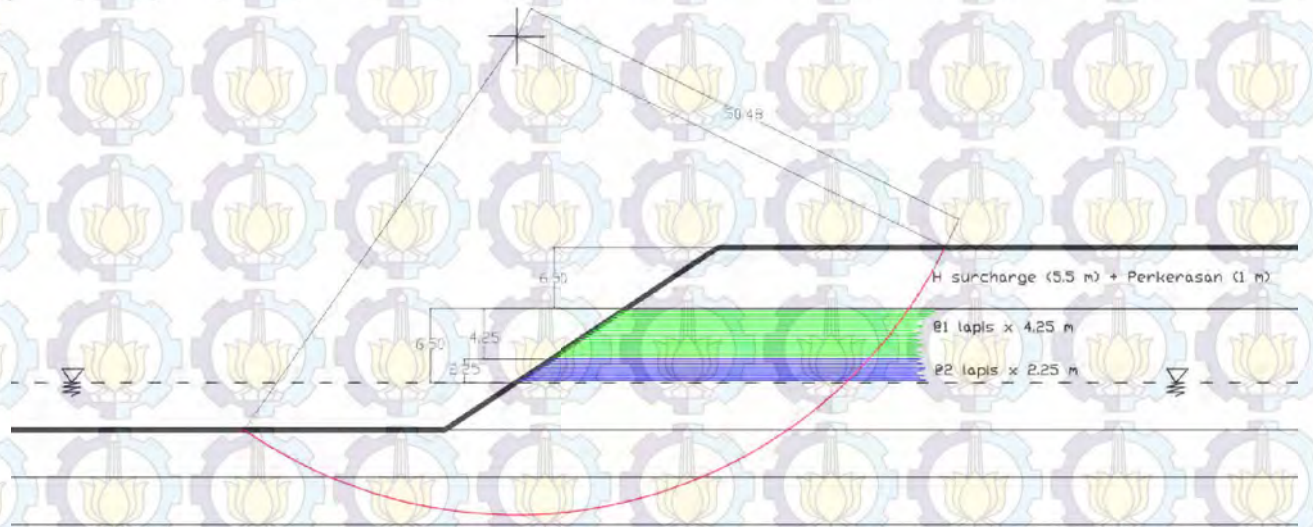


H	Ti	Jumlah	$\Delta MR$	$\Delta MR$
		lapis		komulatif
0	26.31	2	7906.837	7906.837
0.25	26.06	2	7831.705	15738.54
0.5	25.81	2	7756.574	23495.12
0.75	25.56	2	7681.443	31176.56
1	25.31	2	7606.311	38782.87
1.25	25.06	1	3765.59	42548.46
1.5	24.81	1	3728.024	46276.48
1.75	24.56	1	3690.458	49966.94
2	24.31	1	3652.893	53619.83
2.25	24.06	1	3615.327	57235.16
2.5	23.81	1	3577.761	60812.92
2.75	23.56	1	3540.195	64353.12
3	23.31	1	3502.63	67855.75
3.25	23.06	1	3465.064	71320.81
3.5	22.81	1	3427.498	74748.31
3.75	22.56	1	3389.932	78138.24
4	22.31	1	3352.367	81490.61
4.25	22.06	1	3314.801	84805.41
4.5	21.81	1	3277.235	88082.64
4.75	21.56	1	3239.669	91322.31
5	21.31	1	3202.104	94524.42
5.25	21.06	1	3164.538	97688.96
5.5	20.81	1	3126.972	100815.9
5.75	20.56	1	3089.406	103905.3
6	20.31	1	3051.841	106957.2
6.25	20.06	1	3014.275	109971.5
6.5	19.81	1	2976.709	112948.2



No	H <sub>i</sub> m	T <sub>i</sub> m	tan θ	Cu kN/m <sup>2</sup>	ov kN/m <sup>2</sup>	Ka	oh kN/m <sup>2</sup>	t <sub>1</sub> kN/m <sup>2</sup>	t <sub>2</sub> kN/m <sup>2</sup>	Le m	Lo m	L <sub>r</sub> m	L total m	Lx Jumlah Lapis m
1	13.3	26.31	0.577	0	239.4	0.577	138.218	138.218	17.565	1.567	1.000	32.98	36.000	72.000
2	13.05	26.06	0.577	0	234.9	0.577	135.620	135.620	135.620	0.900	1.000	32.605	35.000	70.000
3	12.8	25.81	0.577	0	230.4	0.577	133.022	133.022	133.022	0.918	1.000	32.23	35.000	70.000
4	12.55	25.56	0.577	0	225.9	0.577	130.423	130.423	130.423	0.936	1.000	31.855	34.000	68.000
5	12.3	25.31	0.577	0	221.4	0.577	127.825	127.825	127.825	0.955	1.000	31.48	34.000	68.000
6	12.05	25.06	0.577	0	216.9	0.577	125.227	125.227	125.227	0.975	1.000	31.105	34.000	68.000
7	11.8	24.81	0.577	0	212.4	0.577	122.629	122.629	122.629	0.996	1.000	30.73	33.000	66.000
8	11.55	24.56	0.577	0	207.9	0.577	120.031	120.031	120.031	1.017	1.000	30.355	33.000	66.000
9	11.3	24.31	0.577	0	203.4	0.577	117.433	117.433	117.433	1.040	1.000	29.98	33.000	66.000
10	11.05	24.06	0.577	0	198.9	0.577	114.835	114.835	114.835	1.063	1.000	29.605	32.000	64.000
11	10.8	23.81	0.577	0	194.4	0.577	112.237	112.237	112.237	1.088	1.000	29.23	32.000	64.000
12	10.55	23.56	0.577	0	189.9	0.577	109.639	109.639	109.639	1.114	1.000	28.855	31.000	62.000
13	10.3	23.31	0.577	0	185.4	0.577	107.041	107.041	107.041	1.141	1.000	28.48	31.000	62.000
14	10.05	23.06	0.577	0	180.9	0.577	104.443	104.443	104.443	1.169	1.000	28.105	31.000	62.000
15	9.8	22.81	0.577	0	176.4	0.577	101.845	101.845	101.845	1.199	1.000	27.73	30.000	60.000
16	9.55	22.56	0.577	0	171.9	0.577	99.247	99.247	99.247	1.230	1.000	27.355	30.000	60.000
17	9.3	22.31	0.577	0	167.4	0.577	96.648	96.648	96.648	1.263	1.000	26.98	30.000	60.000
18	9.05	22.06	0.577	0	162.9	0.577	94.050	94.050	94.050	1.298	1.000	26.605	29.000	58.000
19	8.8	21.81	0.577	0	158.4	0.577	91.452	91.452	91.452	1.335	1.000	26.23	29.000	58.000
20	8.55	21.56	0.577	0	153.9	0.577	88.854	88.854	88.854	1.374	1.000	25.855	29.000	58.000
21	8.3	21.31	0.577	0	149.4	0.577	86.256	86.256	86.256	1.415	1.000	25.48	28.000	56.000
22	8.05	21.06	0.577	0	144.9	0.577	83.658	83.658	83.658	1.459	1.000	25.105	28.000	56.000
23	7.8	20.81	0.577	0	140.4	0.577	81.060	81.060	81.060	1.506	1.000	24.73	28.000	56.000
24	7.55	20.56	0.577	0	135.9	0.577	78.462	78.462	78.462	1.556	1.000	24.355	27.000	54.000
25	7.3	20.31	0.577	0	131.4	0.577	75.864	75.864	75.864	1.609	1.000	23.98	27.000	54.000
26	7.05	20.06	0.577	0	126.9	0.577	73.266	73.266	73.266	1.666	1.000	23.605	27.000	54.000
27	6.8	19.81	0.577	0	122.4	0.577	70.668	70.668	70.668	1.728	1.000	23.23	26.000	52.000
												total	832.000	1006.000

# Zona C dan D

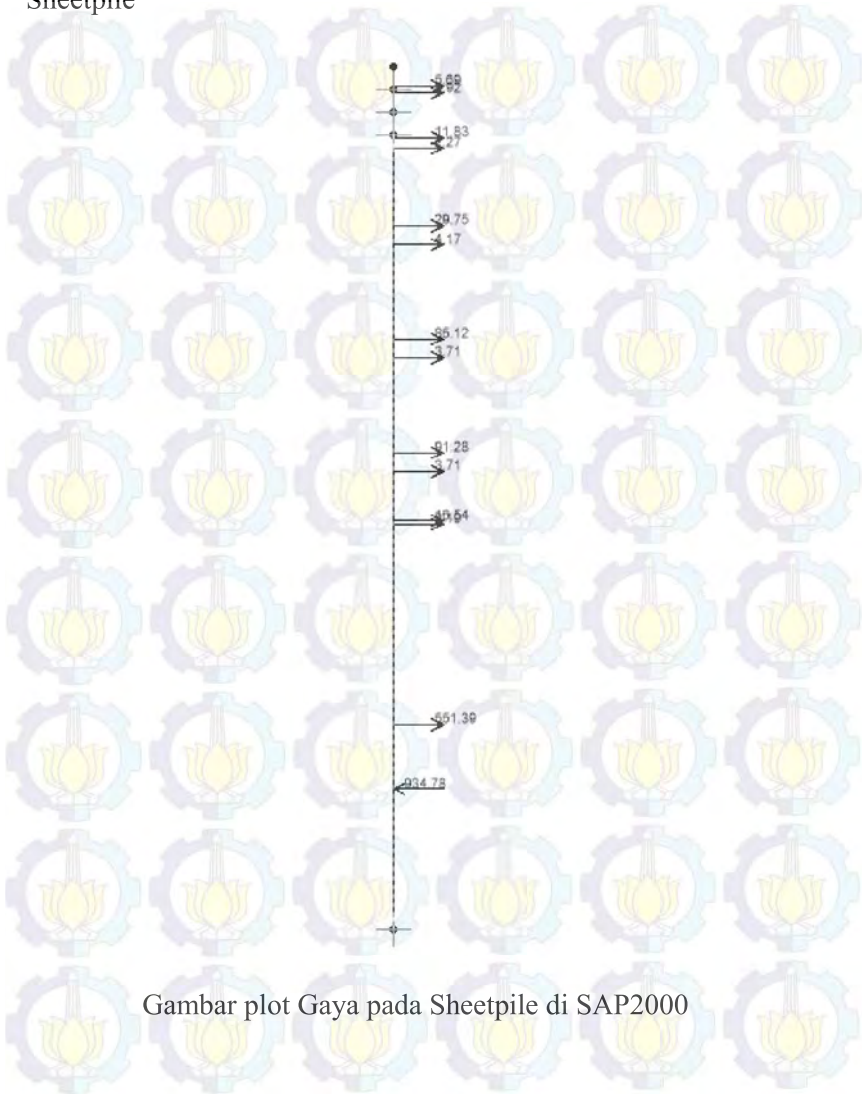


H	Ti	Jumlah lapis	$\Delta MR$	$\Delta MR$ komulatif
0	41.52	2	12477.84	12477.83621
0.25	41.27	2	12402.7	24880.54095
0.5	41.02	2	12327.57	37208.1142
0.75	40.77	2	12252.44	49460.55597
1	40.52	2	12177.31	61637.86627
1.25	40.27	2	12102.18	73740.04508
1.5	40.02	2	12027.05	85767.09241
1.75	39.77	2	11951.92	97719.00826
2	39.52	2	11876.78	109595.7926
2.25	39.27	2	11801.65	121397.4455
2.5	39.02	1	5863.261	127260.7062
2.75	38.77	1	5825.695	133086.4012
3	38.52	1	5788.129	138874.5304
3.25	38.27	1	5750.563	144625.0939
3.5	38.02	1	5712.998	150338.0917
3.75	37.77	1	5675.432	156013.5237
4	37.52	1	5637.866	161651.3899
4.25	37.27	1	5600.301	167251.6905
4.5	37.02	1	5562.735	172814.4252
4.75	36.77	1	5525.169	178339.5943
5	36.52	1	5487.603	183827.1976
5.25	36.27	1	5450.038	189277.2352
5.5	36.02	1	5412.472	194689.707
5.75	35.77	1	5374.906	200064.6131
6	35.52	1	5337.34	205401.9534
6.25	35.27	1	5299.775	210701.728
6.5	35.02	1	5262.209	215963.9369



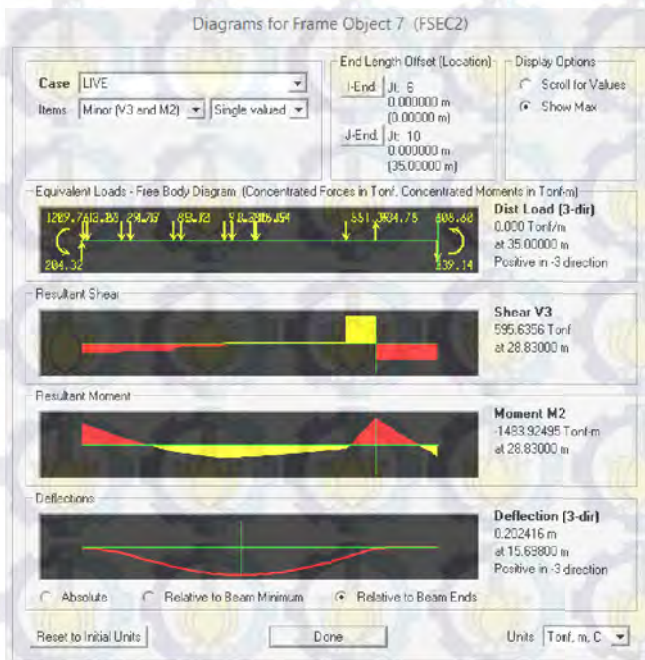
No	Hi m	Ti m	tan $\theta$	Cu kN/m <sup>2</sup>	$\sigma_v$ kN/m <sup>2</sup>	Ka	oh kN/m <sup>2</sup>	$\tau_1$ kN/m <sup>2</sup>	$\tau_2$ kN/m <sup>2</sup>	Le m	Lo m	Lr m	L total m	L x Jumlah lapis m
1	13	41.52	0.577	0	234	0.577	135.100	135.100	12.889	1.650	1.000	38.75	42.000	84.000
2	12.75	41.27	0.577	0	229.5	0.577	132.502	132.502	132.502	0.921	1.000	38.375	41.000	82.000
3	12.5	41.02	0.577	0	225	0.577	129.904	129.904	129.904	0.940	1.000	38	40.000	80.000
4	12.25	40.77	0.577	0	220.5	0.577	127.306	127.306	127.306	0.959	1.000	37.625	40.000	80.000
5	12	40.52	0.577	0	216	0.577	124.708	124.708	124.708	0.979	1.000	37.25	40.000	80.000
6	11.75	40.27	0.577	0	211.5	0.577	122.110	122.110	122.110	1.000	1.000	36.875	39.000	78.000
7	11.5	40.02	0.577	0	207	0.577	119.512	119.512	119.512	1.022	1.000	36.5	39.000	78.000
8	11.25	39.77	0.577	0	202.5	0.577	116.913	116.913	116.913	1.044	1.000	36.125	39.000	78.000
9	11	39.52	0.577	0	198	0.577	114.315	114.315	114.315	1.068	1.000	35.75	38.000	76.000
10	10.75	39.27	0.577	0	193.5	0.577	111.717	111.717	111.717	1.093	1.000	35.375	38.000	76.000
11	10.5	39.02	0.577	0	189	0.577	109.119	109.119	109.119	1.119	1.000	35	38.000	38.000
12	10.25	38.77	0.577	0	184.5	0.577	106.521	106.521	106.521	1.146	1.000	34.625	37.000	37.000
13	10	38.52	0.577	0	180	0.577	103.923	103.923	103.923	1.175	1.000	34.25	37.000	37.000
14	9.75	38.27	0.577	0	175.5	0.577	101.325	101.325	101.325	1.205	1.000	33.875	37.000	37.000
15	9.5	38.02	0.577	0	171	0.577	98.727	98.727	98.727	1.237	1.000	33.5	36.000	36.000
16	9.25	37.77	0.577	0	166.5	0.577	96.129	96.129	96.129	1.270	1.000	33.125	36.000	36.000
17	9	37.52	0.577	0	162	0.577	93.531	93.531	93.531	1.305	1.000	32.75	36.000	36.000
18	8.75	37.27	0.577	0	157.5	0.577	90.933	90.933	90.933	1.343	1.000	32.375	35.000	35.000
19	8.5	37.02	0.577	0	153	0.577	88.335	88.335	88.335	1.382	1.000	32	35.000	35.000
20	8.25	36.77	0.577	0	148.5	0.577	85.737	85.737	85.737	1.424	1.000	31.625	35.000	35.000
21	8	36.52	0.577	0	144	0.577	83.138	83.138	83.138	1.468	1.000	31.25	34.000	34.000
22	7.75	36.27	0.577	0	139.5	0.577	80.540	80.540	80.540	1.516	1.000	30.875	34.000	34.000
23	7.5	36.02	0.577	0	135	0.577	77.942	77.942	77.942	1.566	1.000	30.5	34.000	34.000
24	7.25	35.77	0.577	0	130.5	0.577	75.344	75.344	75.344	1.620	1.000	30.125	33.000	33.000
25	7	35.52	0.577	0	126	0.577	72.746	72.746	72.746	1.678	1.000	29.75	33.000	33.000
26	6.75	35.27	0.577	0	121.5	0.577	70.148	70.148	70.148	1.740	1.000	29.375	33.000	33.000
27	6.5	35.02	0.577	0	117	0.577	67.550	67.550	67.550	1.807	1.000	29	32.000	32.000
												total	991.000	1387.000

**Lampiran 12** Hasil Analisa SAP2000 Perhitungan Defleksi Sheetpile



Gambar plot Gaya pada Sheetpile di SAP2000

1. Dicoba memakai Pipa Baja dengan **Diameter 1110 mm**  
dan **thickness 19 mm**



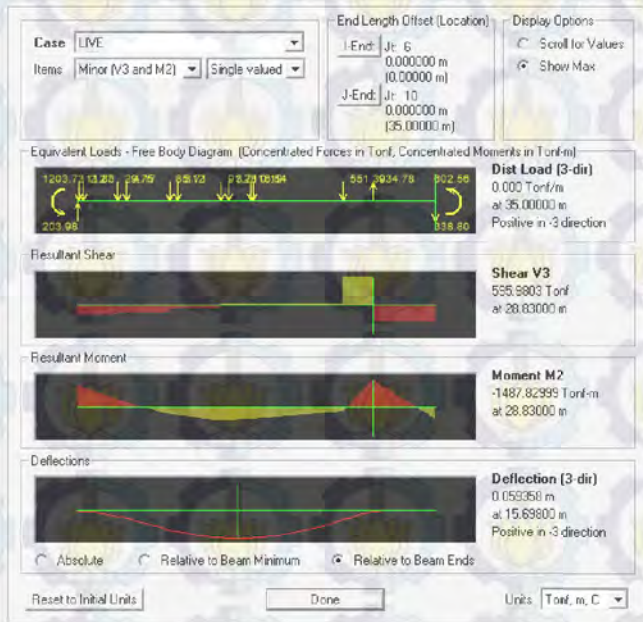
Didapatkan hasil analisa SAP 2000

**Defleksi = 0.2 m = 200 mm**



## 2. Dicoba Pipa Baja dengan **Diameter 1524 mm dan thickness 25 mm**

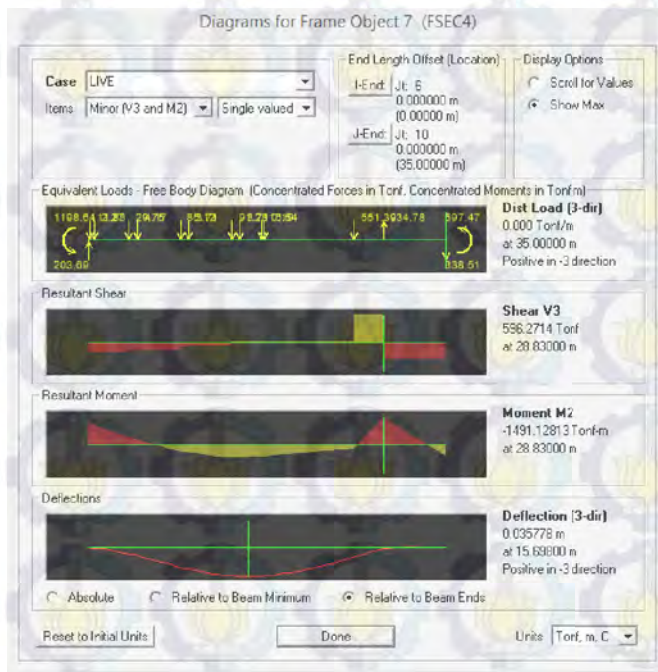
Diagrams for Frame Object 7 (FSEC3)



Didapatkan hasil analisa SAP 2000

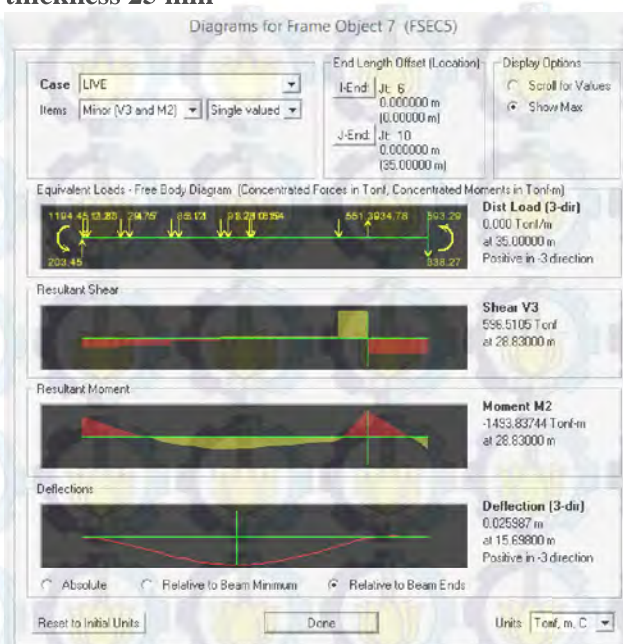
**Defleksi = 0.06 m = 60 mm**

### 3. Dicoba Pipa Baja dengan **Diameter 1800 mm dan thickness 25 mm**



Didapatkan hasil analisa SAP 2000 **Defleksi = 0.036 m = 36 mm**

#### 4. Dicoba Pipa Baja dengan **Diameter 2000 mm dan thickness 25 mm**

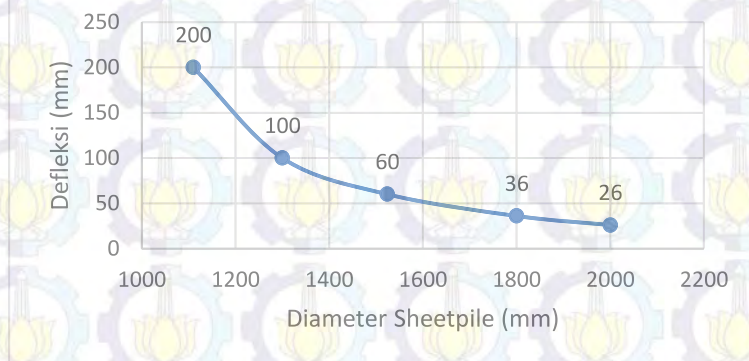


Didapatkan hasil analisa SAP 2000 Defleksi =  $0.026 \text{ m} = 26 \text{ mm}$

### Rangkuman Hasil Perhitungan

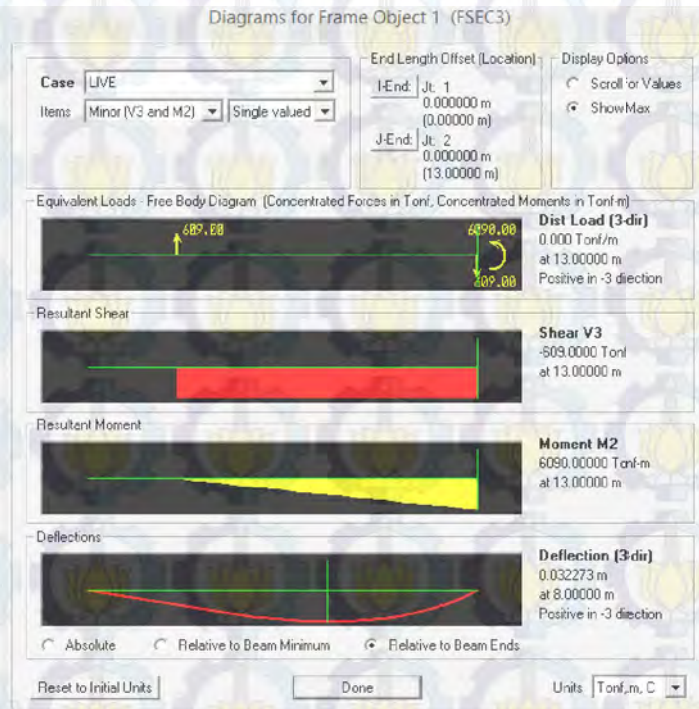
<b>Diameter (mm)</b>	1110	1300	1524	1800	2000
<b>Thickness (mm)</b>	19	22	25	25	25
<b>Moment (Ton.m)</b>	1484	1485	1488	1491	1494
<b>Defleksi (mm)</b>	200	100	60	36	26

Grafik Hub Diameter dan Defleksi





### Lampiran 13. Hasil Analisa SAP2000 Perhitungan Defleksi Pipa Baja sebagai Angkur



Dari hasil analisa didapatkan momen sebesar 6090 T.m digunakan profil pipa baja 1500 mm dan *thickness* 22 mm.

**Lampiran 12** Data Tanah, Layout Titik Bor, Stratigrafi dan Bathymetri

**Lampiran Berikut seperti terlampir di halaman selanjutnya**





## **BIODATA PENULIS**



Penulis lahir di Sidoarjo pada tanggal 2 Juli 1993, dengan nama lengkap Ahmad Adam Yulian. Penulis merupakan anak pertama dan dari dua bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di SD Negeri 2 Jedongcangkring, SMP Negeri 1 Wonoayu, SMA Negeri 1 Mojosari. Penulis diterima di jurusan Teknik Sipil FTSP ITS Surabaya melalui jalur SNMPTN Tertulis pada tahun 2011 dengan NRP 3111100074. Selama masa perkuliahan penulis mengikuti beberapa organisasi kemahasiswaan ITS. Penulis berharap bisa berkontribusi langsung bagi daerah dan Negara tercinta. Kebahagiaan keluarga sangat penting bagi penulis, oleh karena itu penulis berharap bisa terus membuat mereka tersenyum bahagia. Bagi pembaca yang ingin berdiskusi, memberikan saran dan kritik tentang Tugas Akhir ini dapat disampaikan melalui email [aadamyulian@gmail.com](mailto:aadamyulian@gmail.com).