

**TUGAS AKHIR**

**PERBANDINGAN PENURUNAN TIMBUNAN TANAH LUNAK  
MEMAKAI METODE ANALITIK, METODE ELEMEN HINGGA DAN  
METODE PVD DI PELABUHAN KUALA TANJUNG**

*(Studi Kasus)*

*Diajukan Untuk Memenuhi Syarat-Syarat Memperoleh  
Gelar Sarjana Teknik Sipil Pada Fakultas Teknik  
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

**Disusun Oleh:**

**MUHAMMAD ARDIANSYAH**

**1607210117**



**UMSU**

Unggul | Cerdas | Terpercaya

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA  
SUMATERA UTARA  
MEDAN  
2021**



**MAJELIS PENDIDIKAN TINGGI PENELITIAN & PENGEMBANGAN**  
**UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA**  
**FAKULTAS TEKNIK**

Jalan Kapten Mukhtar Basri No. 3 Medan 20238 Telp. (061) 6622400 – EXT. 12  
Website : <http://fatek.umsu.ac.id> Email : [fatek@umsu.ac.id](mailto:fatek@umsu.ac.id)

Bila menjawab surat ini agar disebutkan  
Nomor dan tanggalnya

**LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING**

Tugas Akhir ini diajukan oleh :

Nama : Muhammad Ardiansyah

NPM : 1607210117

Program Studi : Teknik Sipil

Judul Skripsi : Perbandingan Penurunan Timbunan Tanah Lunak  
Memakai Metode Analitik, Metode Elemen Hingga dan  
Metode PVD di Pelabuhan Kuala Tanjung

Bidang Ilmu : Transport

DISETUJUI UNTUK DISAMPAIKAN KEPADA  
PANITIA UJIAN SKRIPSI

Medan,

2021

Dosen Pembimbing

  
Fadliansyah S.T.M.T

## HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Muhammad Ardiansyah

NPM : 1607210117

Program Studi : Teknik Sipil

Judul Skripsi : "Perbandingan penurunan timbunan tanah lunak memakai Metode Analitik, Metode Elemen Hingga dan Metode PVD di Pelabuhan Kuala Tanjung"

Bidang Ilmu : Transport

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

Medan,.....

Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Pembimbing



Fadhiansyah S.T M.T

Dosen penguji

Dosen Penguji I

Dosen Penguji II



Ir.Hj.Zurkiyah M.T



Dr. Ade Faisal

Ketua Prodi Teknik Sipil



Dr. Fahrizal Zulkarnain



## ABSTRAK

### **Perbandingan Penurunan Timbunan Tanah Lunak Memakai Metode Analitik, Metode Elemen Hingga dan Metode PVD di Pelabuhan Kuala Tanjung**

*(Studi Kasus)*

Muhammad Ardiansyah

1607210117

Fadliansyah S.T M.T

Indonesia merupakan negara kepulauan terbesar di dunia sehingga memiliki banyak daerah pesisir. Tanah yang berada pada pesisir / pinggir laut cenderung merupakan jenis tanah lunak. Tanah lunak merupakan jenis yang memiliki kuat geser yang rendah, koefisien permeabilitas yang kecil, kompresibilitas yang rendah dan daya dukung tanah yang rendah. Kondisi tersebut menyebabkan tantangan pada konstruksi bangunan di atasnya karena itulah perlu di lakukan perbaikan tanah (*soil improvement*). Penurunan pada konstruksi teknik sipil akibat proses konsolidasi tanah pendukung merupakan salah satu aspek utama dalam bidang geoteknik terutama pada lapisan tanah kohesif lunak. Proses konsolidasi adalah suatu proses disipasi air pori terhadap fungsi waktu. Agar perbaikan tanah pada kawasan Pelabuhan di Kuala Tanjung memiliki efektivitas yang tinggi, perlu diadakannya evaluasi terhadap kinerja perbaikan tanah yang ditinjau oleh instrument geoteknik serta parameter desain yang digunakan menggunakan timbunan, beban timbunan direncanakan dengan ketinggian tertentu agar penurunan konsolidasi dapat tercapai. Stamatopoulos (1985) dalam Yunias (2010) mengatakan tinggi timbunan umumnya berkisar antara 3 – 8 meter dengan penurunan yang akan terjadi umumnya 0,3 – 2 meter. Hasil perhitungan dari tanpa menggunakan PVD diperoleh waktu yang di perbolehkan untuk mencapai derajat konsolidasi 95% adalah 531 hari dengan besar penurunan 2.315 meter. Sedangkan dengan menggunakan PVD yang di pasang dengan pola segitiga dan jarak antar 1.6 meter, waktu yang dibutuhkan adalah 88 hari dengan besar penurunan 2.200 meter. Dari analisa telah di lakukan dapat di simpulkan bahwa penggunaan PVD dapat mempercepat waktu konsolidasi

Kata Kunci: Penurunan, Tanah lunak, Metode elemen hingga, *Prefabricated vertical drain* (PVD)

## **ABSTRACT**

### ***Comparison of Settlement of Soft Soil fill using Analytical Method, The Finite Element Method and The PVD Method at Kuala Tanjung Harbor***

***(Case Study)***

Muhammad Ardiansyah  
1607210117  
Fadliansyah S.T M.T

*Indonesia is the largest archipelago in the world, so it has many coastal areas. Soils that are on the coast / seafront tend to be soft soil types. Soft soil is a type that has low shear strength, small permeability coefficient, low compressibility and low soil bearing capacity. This condition causes challenges in the construction of the buildings above it because it is necessary to do soil improvement. The decline in civil engineering construction due to the consolidation process of supporting soil is one of the main aspects in the geotechnical sector, especially in soft cohesive soil layers. The consolidation process is a process of dissipation of pore water with respect to a time function. In order for soil improvement in the Port area in Kuala Tanjung to have high effectiveness, it is necessary to conduct an evaluation of the soil improvement performance as reviewed by the geotechnical instrument and the design parameters used using embankments, the embankment load is planned at a certain height so that consolidation reduction can be achieved. Stamatopoulos (1985) in Yunias (2010) states that the height of the embankment generally ranges from 3 - 8 meters with the drop that will occur is generally 0.3 - 2 meters. The calculation results from without using PVD obtained that the time allowed to reach the 95% degree of consolidation is 531 days with a large drop of 2,315 meters. Meanwhile, by using a PVD installed with a triangle pattern and a distance of 1.6 meters, the time required is 88 days with a decrease of 2,200 meters. From the analysis that has been done, it can be concluded that the use of PVD can accelerate the consolidation time*

*Keywords: Settlement, Clay soil, Finite element method, Prefabricated vertical drains (PVD)*

## KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Puji syukur kehadiran Allah SWT, atas limpahan Rahmat dan Karunia-Nya, sehingga penulis dapat merampungkan skripsi dengan judul: “Perbandingan Penurunan Timbunan Tanah Lunak Memaki Metode Analitik, Metode Elemen Hingga dan Metode PVD di Pelabuhan Kuala Tanjung (*Studi Kasus*)”. Ini untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan studi serta memperoleh gelar Sarjana Teknik Strata Satu pada program studi teknik sipil di Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Penghargaan dan terima kasih yang setulus-tulusnya kepada kedua orang tua yang telah mencurahkan segenap cinta dan kasih sayang serta perhatian moril maupun materil. Semoga Allah SWT selalu melimpahkan Rahmat, Kesehatan, Karunia dan keberkahan di dunia dan di akhirat atas budi baik yang telah diberikan kepada penulis.

Dalam kesempatan yang berbahagia ini, dengan segenap hati saya mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada berbagai pihak yang telah banyak memberikan pengetahuan dan bimbingan serta saran kepada saya untuk penyusunan laporan ini, terutama kepada :

1. Bapak Fadliansyah S.T M.T Selaku Dosen Pembimbing yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini,
2. Ibu Ir Hj. Zurkiyah M.T, Selaku Dosen Pembimbing I dan Penguji yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir.
3. Bapak Dr. Ade Faisal, Selaku Dosen Pembimbing II dan Penguji yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini sekaligus Wakil Dekan I Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan masukan.

4. Bapak Dr.Fahrizal Zulkarnain S.T M.T Selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
5. Ibu Irma Dewi, S.T, M.T, selaku Sekretaris Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
6. Bapak Munawar Alfansuri Siregar, S.T., M.Sc, Selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
7. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, yang telah banyak memberikan ilmu ketekniksipilan kepada penulis.
8. Bapak/Ibu staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
9. Teristimewa sekali kepada Ayahanda tercinta Kamaludin dan Ibunda tercinta Sri Atun yang telah bersusah payah membesarkan dan memberikan kasih sayangnya yang tidak ternilai kepada penulis.
10. Terimakasih kepada rekan-rekan seperjuangan Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Stambuk 2016.

Terima Kasih kepada semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu. Akhirnya saya mengharapkan semoga laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi kami dan para pembaca. Dan akhirnya kepada Allah SWT. saya serahkan segalanya demi tercapainya keberhasilan yang sepenuhnya.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Medan, Februari 2021

MUHAMAD ARDIANSYAH

NPM.1607210117

## DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	i
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	ii
ABSTRAK	iii
<i>ABSTRACT</i>	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xii
BAB 1 PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	1
1.3 Ruang Lingkup Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	4
1.6 Sistematika Penelitian	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Umum	6
2.1.1 Tanah lunak	7
2.2 Karakteristik Tanah Lunak	7
2.3 Peranan Tanah Pada Bangunan	8
2.4 Konsolidasi	9
2.4.1 Konsolidasi 1-D Terzaghi	10
2.4.2 Koefisien Konsolidasi Arah Vertikal ( $C_v$ )	12
2.4.3 Koefisien Arah Horizontal ( $C_h$ )	13
2.4.4 Koefisien Konsolidasi Arah Vertikal Gabungan ( $C_v$ )	14
2.4.5 Derajat Konsolidasi Arah Vertikal	14
2.4.6 Derajat Konsolidasi Arah Radial	14
2.4.7 Derajat Konsolidasi Rata – Rata	15

2.4.8	Faktor Waktu Konsolidasi Arah Vertikal ( $T_v$ )	16
2.4.9	Faktor Waktu Arah Radial ( $T_r$ )	17
2.5	Parameter Perhitungan Penurunan ( Settlement )	17
2.5.1	Tanah Normally Consolidated ( NC Soil )	18
2.5.2	Tanah Over Consolidated ( OC Soil )	19
2.5.3	Indeks Pemampatan ( $C_c$ )	19
2.5.4	Tegangan Overbudden efektif ( $P_o$ )	20
2.6	Prefabricated Vertical Drains ( PVD )	22
2.6.1	Teori Drainase Vertikal	23
2.6.2	Daerah Pengaruh Pemasangan PVD ( Smearzone )	24
2.6.3	Transformasi tampang PVD	26
2.6.4	Verifikasi Pemodelan Drainase Vertikal	27
2.7	Software 2D Penurunan Sebagai Metode Elemen Hingga	29
2.7.1	Pemodelan Jenis Material Pada Metode Elemen Hingga	30
2.7.2	Model Mohr-Coloumb	30
2.8	Instrumen Geoteknik	35
2.8.1	Settlement Plate	36
2.8.2	Pneumatic Piezometer	37
2.8.3	Water Stand Pipie	38
2.8.4	Inclunometer	38
<b>BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN</b>		
3.1	Bagan Alir	40
3.2	Denah Lokasi proyek	41
3.3	Pengumpulan Data	42
3.4	Teknik Pengumpulan Data	42
<b>BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN</b>		
4.1	Model Timbunan	48
4.2	Analisa dengan Metode 1D Terzaghi	49
4.2.1	Perhitungan Penurunan	49
4.3	Perhitungan derajat konsolidasi secara analitis	51
4.3.1	Derajat konsolidasi tanpa menggunakan PVD	51
4.3.2	Derajat konsolidasi menggunakan PVD	53

4.4 Perhitungan derajat konsolidasi berdasarkan pola dan jarak pemasangan PVD yang bervariasi	56
4.4.1 Derajat konsolidasi dengan pola segitiga dan jarak 1.400 m	56
4.4.2 Derajat konsolidasi dengan pola segitiga dan jarak 1.800 m	58
4.4.3 Derajat konsolidasi dengan pola persegi dan jarak 1.600 m	59
4.5 Verifikasi pemodelan <i>Vertical Drains</i>	62
4.6 Verifikasi pemodelan PVD dengan Metode Elemen Hingga	63
4.7 Analisa <i>Unit Cell</i>	64
4.8 Perhitungan penurunan dan waktu konsolidasi tanah lunak secara Metode Elemen Hingga	68
4.9 Penurunan pada Program FEM 2D	70
4.10 Penurunan pada Program FE dasarkan pembacaan <i>Settlement Plate</i>	72
4.11 Perbandingan besar penurunan yang di hitung secara Analitis, Metode Elemen Hingga dan Pembacaan <i>Settlement Plate</i>	73
4.12 Analisis Tergangan dan Regangan Vertical Efektif Pada Software <i>Finite Element</i>	74
<b>BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN</b>	
5.1 Kesimpulan	77
5.2 Saran	78
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	79
<b>LAMPIRAN</b>	81
<b>DAFTAR RIWAYAT HIDUP</b>	

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Peta Distribusi Soft Clay di Indonesia	1
Gambar 2.1	Peran tanah pada bangunan	9
Gambar 2.2	Syarat tanah pendukung bangunan	9
Gambar 2.3	Alat Konsolidometer	11
Gambar 2.4	Grafik waktu pemampatan selama konsolidasi	12
Gambar 2.5	Macam – macam tipe arah aliran air pori dengan $U_v$ tetap	16
Gambar 2.6	Indeks pemampatan $C_c$	20
Gambar 2.7	Struktur Drainase Vertikal	22
Gambar 2.8	Struktur Drainase vertikal dengan lapisan yang lolos air	22
Gambar 2.9	Skema Permeabilitas pada Tanah Dengan Vertical Drain	23
Gambar 2.10	Bentuk Pola Pemasangan PVD	26
Gambar 2.11	Transformasi tampang vertikal drain	27
Gambar 2.12	Verifikasi bentuk bentuk penampang PVD dalam Pemodelan (a) <i>axysimetri</i> (b) <i>plane strain</i>	29
Gambar 2.13	Garis keruntuhan menurut <i>Mohr-Coloumb</i> dan hukum dari <i>Mohr-Coloumb</i>	31
Gambar 2.14	Detail pemasangan <i>Settlement Plate</i>	36
Gambar 2.15	Detail Pemasangan 3 <i>Pneumatic Piezometer</i> dalam satu lubang Bor	37
Gambar 2.16	Detail Pemasangan <i>Water Stand Pipe</i>	38
Gambar 2.17	Detail Pemasangan <i>Inclinometer</i>	39
Gambar 3.1	Bagan Alir Penelitian	40
Gambar 3.2	Lokasi Proyek Pembangunan Terminal peti kemas di Kuala Tanjung	41
Gambar 3.3	Lokasi Intrument Geoteknik yang terdapat di lapangan	44
Gambar 4.1	Hubungan derajat konsolidasi (95%) terhadap waktu (531 hari) dengan menggunakan metode analitis tanpa menggunakan PVD	53
Gambar 4.2	Hubungan derajat konsolidasi (95%) terhadap waktu (531 hari) dengan menggunakan metode analitis tanpa menggunakan PVD pola segitiga spasi 1.600 m	55

Gambar 4.3	grafik perbandingan lamanya hari untuk mencapai derajat konsolidasi (95%) antara menggunakan PVD dan tanpa menggunakan PVD	56
Gambar 4.4	Hubungan derajat konsolidasi (95%) terhadap waktu (531 hari) dengan menggunakan metode analitis tanpa menggunakan PVD pola segitiga spasi 1.400 m	57
Gambar 4.5	Hubungan derajat konsolidasi (95%) terhadap waktu (109 hari) dengan menggunakan metode analitis tanpa menggunakan PVD pola segitiga spasi 1.800 m	59
Gambar 4.6	Hubungan derajat konsolidasi (95%) terhadap waktu (100 hari) dengan menggunakan metode analitis tanpa menggunakan PVD pola persegi spasi 1.600 m	60
Gambar 4.7	Hubungan derajat konsolidasi (95%) terhadap waktu berdasarkan pola segitiga dan jarak spasi PVD yang bervariasi	61
Gambar 4.8	Hubungan Derajat konsolidasi (95%) terhadap waktu berdasarkan pada jarak 1.600 m dengan pola bervariasi	61
Gambar 4.9	Plan Verifikasi PVD	64
Gambar 4.10	Bentuk Pemodelan dari (a) Axisymmetri dan (b) Plane Strain untuk pengamatan derajat konsolidasi	65
Gambar 4.11	Derajat konsolidasi dan waktu konsolidasi di titik nodal A Pada kondisi axisymmetry dan plane strain	66
Gambar 4.12	Derajat konsolidasi dan waktu konsolidasi di titik nodal B Pada kondisi axisymmetry dan plane strain	66
Gambar 4.13	Derajat konsolidasi dan waktu konsolidasi di titik nodal C Pada kondisi axisymmetry dan plane strain	67
Gambar 4.14	Derajat konsolidasi dan waktu konsolidasi di titik nodal D Pada kondisi axisymmetry dan plane strain	67
Gambar 4.15	Gambar Potongan Tampak samping perencanaan proyek pembangunan <i>Terminal Purpose</i> di Pembangunan Kuala Tanjung	68
Gambar 4.16	Pemodelan geometri proyek <i>Terminal Purpose</i> di kuala Tanjung	69
Gambar 4.17	Mesh Timbunan Terminal Purpose di Kuala Tanjung Dengan titik peninjauan penurunan terhadap waktu	71
Gambar 4.18	Kontur penurunn yang terjadi <i>Output</i> FEM Pembangunan Terminal Purpose di Kuala Tanjung	71
Gambar 4.19	Grafik penurunan di titik nodal A sebesar 2.150 m dengan Waktu 393 Hari	72

Gambar 4.20 Hubungan antara tebal timbunan dengan tanggal Pembacaan SP-03	73
Gambar 4.21 Hubungan antara Penurunan dengan tanggal pembacaan SP-03	73
Gambar 4.22 Grafik perbandingan metode analitis, metode elemen Hinga dan metode pembacaan instrument geoteknik	74
Gambar 4.23 Hubungan Antara Tegangan Terhadap Waktu	75
Gambar 4.24 Hubungan Antara Regangan Terhadap Wak	75

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Skema jenis tanah dan batas batas ukuran butirnya	7
Tabel 2.2	Variasi Faktor Waktu Terhadap Derajat Konsolidasi	16
Tabel 2,3	Hubungan N-SPT dengan berat isi $\gamma$ untuk tanah lempung	33
Tabel 2.4	Nilai dari beberapa peneliti	33
Tabel 2.5	Hubungan Angka <i>Poisson</i> dengan jenis tanah dan konsistensi	34
Tabel 2.6	Nilai Perkiraan Modulus Elastisitas	34
Tabel 3.1	Data SPT <i>Borehole</i> III	42
Tabel 3.2	Parameter tanah ketika model Axisymetris	43
Tabel 3.3	Data Penurunan <i>Settlement Plate</i> (SP)	44
Tabel 3,4	Data PVD	45
Tabel 4.1	Analisa penuruan timbunan 1-D Terzaghi untuk tanah terkonsolidasi normal	50
Tabel 4.2	Analisa penurunan timbunan 1-D Terzaghi untuk tanah terkonsolidasi normal berdasarkan nilai $C_c$ yang sudah dikorelasi dengan persamaan empiris	51
Tabel 4.3	Analisa Derajad konsolidasi arah Verikal tanpa menggunakan PVD	52
Tabel 4.4	Analisa derajad konsolidasi menggunakan PVD dengan pola segitiga dan jarak 1.600 m	55
Tabel 4.5	Analisa Derajad konsolidasi menggunakan PVD dengan pola segitiga dan jarak 1.400 m	57
Tabel 4.6	Analisa Derajad konsolidasi menggunakan PVD dengan pola segitiga dan jarak 1.800 m	58
Tabel 4.7	Analisa Derajad konsolidasi menggunakan PVD dengan pola persegi dan jarak 1.600 m	60
Tabel 4.8	Hubungan derajad konsoldiasi (95%) dan waktu berdasarkan kepada pola segitiga dan persegi serta jarak pemasangan PVD yang bervariasi	62
Tabel 4.9	Geometri untuk <i>Unit Cell</i>	64
Tabel 4.10	Koefisien Permeabilitas unutkan Analisis <i>Unit Cell</i>	65
Tabel 4.11	Parameter tanah ketika model skala penuh	69
Tabel 4.11	Tahapan perhitungan pada pemodelan FEM	70

## DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

e	= Angka Pori
LL	= Liquid Limit
Kh	= Permeabilitas Horizontal
Kr	= Permeabilitas Radial
OCR	= Over Consolidated Ratio
Uav	= Equal Strain Consolidation
PVD	= <i>PreFabricated Vertical Drains</i>

## DAFTAR GAMBAR LAMPIRAN

Gambar L. 1 Lokasi Penelitian	81
Gambar L. 2 Data N-SPT	82
Gambar L.3 Data <i>Settlement Plate 01</i>	83
Gambar L.4 Data <i>Settlement Plate 02</i>	84
Gambar L.5 Data <i>Settlement Plate03</i>	85
Gambar L.6 Data <i>Settlement Plate 04</i>	86
Gambar L.7 Data <i>Settlement Plate 05</i>	87
Gambar L.8 Data <i>Settlement Plate 06</i>	88
Gambar L.9 Data <i>Settlement Plate 07</i>	89
Gambar L.10 Data <i>Settlement Plate 08</i>	90
Gambar L.11 Data <i>Settlement Plate 09</i>	91
Gambar L.12 Data <i>Settlement Plate 10</i>	92
Gambar L.13 Data <i>Settlement Plate 11</i>	93

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan negara kepulauan terbesar di dunia sehingga memiliki banyak daerah pesisir. Tanah yang berada pada pesisir / pinggir laut cenderung merupakan jenis tanah lunak. Seperti yang dapat dilihat pada Gambar 1.1 bahwa mayoritas tanah di wilayah Indonesia merupakan jenis tanah lunak. Tanah lunak merupakan jenis yang memiliki kuat geser yang rendah, koefisien permeabilitas yang kecil, kompresibilitas yang rendah dan daya dukung tanah yang rendah. Kondisi tersebut menyebabkan tantangan pada konstruksi bangunan di atasnya karena itulah perlu di lakukan perbaikan tanah (*soil improvement*).



Gambar 1.1: Peta Distribusi Soft Clay di Indonesia berdasarkan Pedoman Kimprawsil No : PT T-8-2002-B.

Penurunan pada konstruksi teknik sipil akibat proses konsolidasi tanah pendukung merupakan salah satu aspek utama dalam bidang geoteknik terutama pada lapisan tanah kohesif lunak. Proses konsolidasi adalah suatu proses disipasi air pori terhadap fungsi waktu. Pada awalnya teori konsolidasi 1-D ditemukan oleh Terzaghi (1925), dengan menganggap nilai koefisien konsolidasi ( $C_v$ ) yang konstan dan pengaliran yang terjadi satu arah (arah vertikal) selama proses konsolidasi berlangsung. Biot (1941) mengembangkan teori konsolidasi 1-D dari Terzaghi dengan menganggap koefisien konsolidasi ( $C_v$ ), tegangan vertikal efektif dan kelebihan tekanan air pori yang bekerja merupakan fungsi pengaliran yang terjadi selama proses konsolidasi dalam tiga arah (multi dimensional case).

Perbaikan tanah yang umum digunakan ialah *Prefabricated Vertical Drain* (PVD). PVD merupakan pita vertikal sintesis yang ditanamkan ke dalam tanah lunak dimana pita tersebut berfungsi untuk mengalirkan air dan udara di dalam tanah menuju ke permukaan.

Agar perbaikan tanah pada kawasan Pelabuhan di Kuala Tanjung memiliki efektivitas yang tinggi, perlu diadakannya evaluasi terhadap kinerja perbaikan tanah yang ditinjau oleh instrument geoteknik serta parameter desain yang digunakan menggunakan timbunan, beban timbunan direncanakan dengan ketinggian tertentu agar penurunan konsolidasi dapat tercapai. Stamatopoulos (1985) dalam Yunias (2010) mengatakan tinggi timbunan umumnya berkisar antara 3 – 8 meter dengan penurunan yang akan terjadi umumnya 0,3 – 2 meter

## 1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka dapat di rumuskan bagaimana permasalahan yang ada :

1. Bagaimana perbedaan penurunan dan waktu lamanya konsolidasi tanpa PVD dan dengan menggunakan PVD. Menurut metode 1-D Terzaghi dan bagaimana analisa efektif pemberian *spacing* untuk PVD ?
2. Bagaimana perbedaan analisis *unit sell* pengeivalenan permeabilitas tanah model *axisymmetris* dan model *plane straine* ? Kemudian bagaimana analisa penurunan model *Mohr-Coloumb*, dan tegangan dan regangan vertikal efektif

yang terjadi terhadap waktu dengan menggunakan software metode finite element ?

3. Bagaimana perbandingan hasil penurunan yang terjadi antara analisis 1-D Terzaghi, data instrumen geoteknik *sattelment palte* (SP), dan software metode finite element (FEM) dengan model Mohr Coloumb ?

### 1.3. Ruang Lingkup Masalah

Ruang Lingkup masalah dari penelitian ini adalah :

1. Data Tanah yang digunakan adalah data sekunder
2. Data yang di pakai adalah data yang berkaitan dengan proyek Terminal Purpose Kuala tanjung berupa Borehole (BorHole) BH-III spesifikasi PVD, spesifikasi geotekstil, dan data pembacaan instrument geoteknik
3. Tidak dilakukan analisis biaya
4. Tidak diperhitungkan adanya flukutansi muka air tanah ketika ada tidaknya terjadi hujan
5. Mengevaluasi dan membandingkan hasil uji metode elemen hingga dengan metode analitik

### 1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini untuk mengetahui

1. Analisis dengan metode 1D
  - 1.1. Analisis 1D Terzaghi waktu lamanya konsolidasi tanpa vertical drain dan dengan vertical drain
  - 1.2. Analisis perbandingan pemberian spacing pada PVD
2. Analisis dengan metode 2D
  - 2.1. Analisis unit sell pengekivalen permeabilitas tanah model *Axisymmetris* ke model *Plan strain*
  - 2.2. Analisa penurunan model Mohr-Coloumb
  - 2.3. Mengetahui tegangan dan regangan vertical efektif yang terjadi terhadap waktu dengan perhitungan metode elemen hingga (FEM) model Mohr-Coloumb

3. Analisis perbandingan model besar penurunan dengan model Mohr-Coloumb dan model yang di bandingkan dengan besaran penurunan pada Settlement Plate

### **1.5. Manfaat Penelitian**

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Sebagai bahan referensi bagi penelitian selanjutnya atau bagi pihak-pihak yang akan melakukan penelitian tentang perbaikan tanah dengan metode Preloading dan PVD
2. Sebagai tinjauan literatur yang diharapkan dapat dievaluasi oleh instansi terkait
3. Sebagai tinjauan Studi bagi penulis agar bisa mengetahui penambahan PVD dalam mempercepat konsolidasi pada tanah lunak

### **1.6. Sistematika Penelitian**

Sistematika pembahasan yang digunakan dalam penyusunan laporan penelitian pengaruh volume lalu lintas terhadap tingkat kebisingan ini adalah :

#### **BAB 1 PENDAHULUAN**

Penjabaran latar belakang, rumusan masalah, tujuan, ruang lingkup, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan

#### **BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA**

Membahas mengenai teori-teori dan literatur yang mendukung dan menjadi bahan penelitian ini

#### **BAB 3 METODE PENELITIAN**

Membahas tentang data dan metode yang digunakan dalam penelitian ini dan bagaimana metode analisa yang akan digunakan dalam mengolah data yang didapat

#### BAB 4 ANALISA DAN PEMBAHASAN

Menyajikan tentang perhitungan besarnya penurunan dan lamanya waktu konsolidasi pada tanah di pembangunan terminal Kuala Tanjung dilakukan secara analitik dan menggunakan metode elemen hingga.

#### BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

Membahas tentang hasil yang sudah di dapat dari pengolahan data yang di dapat dan memberi masukan terhadap evaluasi yang akan di lakukan baik terhadap instansi terkait maupun terhadap peneliti – penelitian selanjutnya.

## **BAB 2**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1. Umum**

Tanah didefinisikan sebagai material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral-mineral padat yang tidak tersementasi (terikat secara kimia) satu sama lain dan dari bahan-bahan organik yang telah melapuk (yang berpartikel padat) disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang-ruang kosong di antara partikel-partikel padat tersebut. Tanah berguna sebagai bahan bangunan pada berbagai macam pekerjaan tekni sipil, di samping itu tanah berfungsi juga sebagai pendukung pondasi dari bangunan (Das, B.M. 1995)

Ukuran partikel tanah sangat beragam dengan variasi yang cukup besar. Tanah umumnya disebut sebagai :

- a. Kerikil (gravel), yaitu kepingan kepingan batuan yang kadang juga partikel mineral quartz dan feldspar.
- b. Pasir (Sand), yaitu sebagian besar mineral quartz dan feldspar.
- c. Lanau (Silt), yaitu sebagian besar fraksi mikroskopis (yang berukuran sangat kecil ) dari tanah yang terdiri dari butiran-butiran quartz yang sangat halus, dan dari pecahan-pecahan mika.
- d. Lempung (clay), yaitu sebagian besar terdiri dari partikel mikroskopis (berukuran sangat kecil) dan sub-mikroskopis (tak dapat dilihat, hanya dengan mikroskop). Berukuran lebih kecil dari 0.002 mm (2 micron).

Nama dan sifat tanah ditentukan atau dipengaruhi oleh: Gradasinya (untuk tanah berbutir kasar), dan batas-batas konsistensinya (untuk tanah berbutir halus). Yang dalam hal ini disebut Sifat Indek Tanah. Gradasi merupakan sifat yang penting untuk tanah berbutir kasar. Tanah terdiri beraneka ragam ukuran butiran dengan perbandingan prosentasi ukuran butiran beraneka ragam. Dengan kata lain distribusi ukuran butiran atau gradasi butiran tidak pernah sama tanah satu dengan tanah yang lain. Dan untuk menganalisa gradasi tanah berbutir kasar digunakan analisa saringan, untuk tanah berbutir halus digunakan cara pengendapan ( Santosa dkk, 1998 ).

Tabel 2.1:Skema jenis tanah dan batas batas ukuran butirnya (Santoso dkk. 1998).

Lempung	Lanau			Pasir			Kerikil		
	halus	medium	Kasar	halus	medium	kasar	halus	medium	Kasar
0.002	0.006	0.02	0.06	0.2	0.6	2	6	20	60

### 2.1.1. Tanah Lunak

Tanah lempung adalah tanah dengan ukuran mikrokonis sampai dengan sub mikrokonis yang berasal dari pelapukan unsur-unsur kimiawi penyusun batuan. Tanah lempung bersifat sangat keras dalam keadaan kering, plastis pada kadar air sedang, sedangkan pada keadaan air yang lebih tinggi tanah lempung akan bersifat lengket (kohesif) dan sangat lunak (Terzaghi, 1987). Sifat-sifat yang dimiliki tanah lempung adalah sebagai berikut (Hardiyatmo, 1992) :

- a. Berukuran butir halus, yaitu kurang dari 0,002mm.
- b. Permeabilitasnya rendah.
- c. Kenaikan air kapiler tinggi.
- d. Bersifat sangat kohesif.
- e. Kadar kembang susut yang tinggi.
- f. Proses konsolidasi lambat.

Tanah lempung merupakan tanah yang terdiri dari partikel-partikel tertentu yang menghasilkan sifat plastis apabila dalam kondisi basah.

### 2.2. Karakteristik Tanah Lunak

Tanah didefinisikan sebagai material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral – mineral padat yang tidak tersedimentasi (terikat secara kimia) satu sama lain dan dari bahan–bahan organik yang melapuk (yang berpartikel padat) disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang–ruang kosong di antara partikel–partikel padat tersebut. Menurut K. Terzaghi, tanah terdiri dari butiranbutiran 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. Tanah lempung merupakan jenis tanah berbutir halus dengan ukurannya  $< 2\mu$  atau  $< 5 \mu$  (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 t/m<sup>3</sup> sampai dengan 1.25 t/m<sup>3</sup> (Das, 1985) .
4. Specific Gravity rata-rata berkisar antara 2.70 sampai dengan 2.90. Tanah lempung memiliki gaya geser yang kecil, kemampatan 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.

### **2.3. Peranan tanah pada bangunan**

Menurut (Kalimantan & Kuswanda, 2016) Tanah memiliki 3 (tiga) peran utama pada bangunan infrastruktur transportasi, yaitu sebagai pendukung, bahan dan beban bangunan infrastruktur transportasi seperti yang ditunjukkan pada gambar Sebagai peran pendukung, tanah harus mempunyai daya dukung yang mampu mendukung bangunan infrastruktur transportasi yang berada di atasnya. Apabila tanah mengalami pemampatan maka penurunan bangunan yang diakibatkannya tidak menyebabkan bangunan infrastruktur transportasi rusak seperti yang diilustrasikan pada Gambar 2.2



Gambar 2.1 : Peran tanah pada bangunan.



Gambar 2.2 : Syarat pendukung bangunan (Kalimantan dan Kuswanda, 2016).

#### 2.4. Konsolidasi

Konsolidasi adalah proses berkurangnya volume atau berkurangnya rongga pori dari tanah jenuh berpermeabilitas rendah akibat pembebanan. dimana prosesnya dipengaruhi oleh kecepatan terperasnya air pori keluar dari rongga tanah. Proses konsolidasi dapat diamati dengan pemasangan piezometer, untuk mencatat perubahan tekanan air pori dengan waktunya. penurunan dapat diukur dengan berpedoman pada titik referensi ketinggian pada tempat tertentu. Bila lapisan tanah jenuh berpermeabilitas rendah dibebani, maka tekanan air pori di dalam tanah tersebut segera bertambah. Perbedaan tekanan air pori pada lapisan tanah, berakibat air mengalir ke lapisan tanah dengan tekanan air pori yang lebih rendah, yang diikuti penurunan tanahnya. Karena penneabilitas tanah yang rendah, proses ini membutuhkan waktu,

Menurut (Craig,1994), Konsolidasi adalah suatu proses pengecilan volume secara perlahan-lahan pada tanah jenuh sempurna dengan permeabilitas rendah akibat pengaliran sebagian air pori. Proses tersebut berlangsung terus sampai kelebihan tegangan air pori yang disebabkan oleh kenaikan tegangan total telah benar-benar hilang.

#### **2.4.1. Konsolidasi 1-D Terzaghi**

Prosedur untuk melakukan uji konsolidasi satu dimensi pertama-tama diperkenalkan oleh *Terzaghi*. Uji tersebut dilakukan di dalam konsolidometer (disebut juga sebagai oedometer). Skema konsolidometer ditunjukkan dalam Gambar 2.3. Contoh tanah diletakkan di dalam cincin logam dengan dua buah batu berpori diletakkan di atas dan di bawah contoh tanah tersebut, ukuran contoh tanah yang digunakan biasanya adalah diameter 2,5 inci (63,5 mm) dan tebal 1 inci (25,4 mm). Pembebanan pada contoh tanah dilakukan dengan cara meletakkan beban pada ujung sebuah balok datar, dan pemampatan (compression) contoh tanah diukur dengan menggunakan skala ukur dengan skala mikrometer. Contoh tanah selalu direndam air selama percobaan. Tiap-tiap beban biasanya diberikan selama 24 jam. Setelah itu, beban dinaikkan sampai dengan dua kali lipat dari sebelumnya, dan pengukuran pemampatan diteruskan.

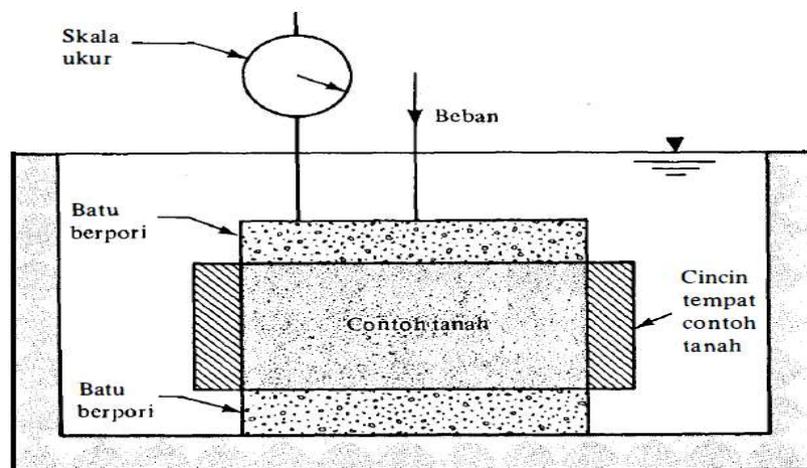
Untuk konsolidasi satu dimensi, *Terzaghi* memberikan cara penentuan distribusi kelebihan tekanan hidrostatis dalam lapisan yang sedang mengalami konsolidasi pada sembarang waktu sesudah bekerjanya beban, beserta derajat konsolidasinya. Beberapa asumsi dalam menganalisa konsolidasi satu dimensi yaitu :

1. Tanah adalah homogen
2. Tanah lempung dalam keadaan jenuh sempurna
3. Partikel padat dan air tidak mudah mampat.
4. Arah pemampatan dan aliran air pori adalah vertikal ( satu dimensi )
5. Regangan kecil
6. Hukum Darcy berlaku pada seluruh gradient hidrolik
7. Koefisien permeabilitas (  $k$  ) dan koefisien pemampatan volume (  $mv$  ) tetap konstan selama prosesnya

8. Ada hubungan khusus yang tak tergantung waktu, antara angka pori dan tegangan efektif

Pada umumnya, bentuk grafik yang menunjukkan hubungan antara pemampatan dan waktu adalah seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 2.4. Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa ada tiga tahapan yang berbeda yang dapat dijalankan sebagai berikut:

- 1) Tahap I : Pemampatan awal (*Initial Compression*), yang pada umumnya adalah disebabkan oleh pembebanan awal (preloading).



Gambar 2.3: Alat Konsolidometer (Das dkk, 1995).

Angka pori akhir pada setiap periode penambahan tekanan (beban) dapat dihitung dari pembacaan arloji pengukur dan begitu pula halnya dengan kadar air (water content) atau berat kering (dry weight) dari contoh tanah pada akhir pengujian. Berdasarkan diagram fase tanah terdapat satu metode perhitungan sebagai berikut :

Kadar air yang diukur pada akhir pengujian =  $W_t$

$$\frac{\Delta e}{\Delta H} = \frac{1+e_0}{H_0} \quad (2.1)$$

dimana :

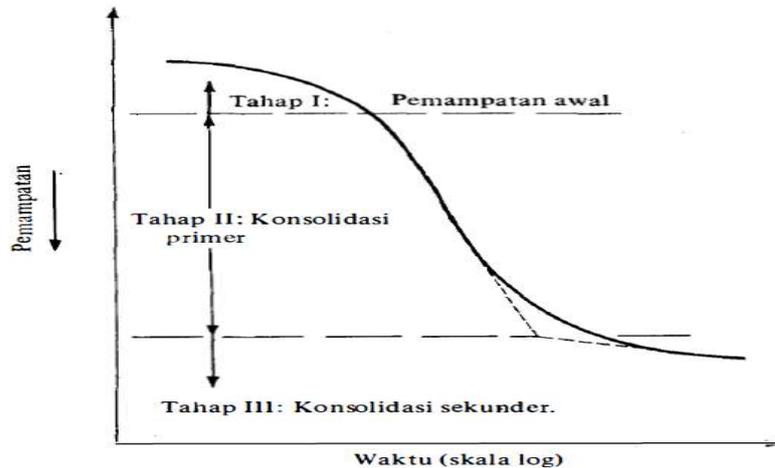
$e_0$  = Angka pori pada awal pengujian

$\Delta e$  = Perubahan angka pori selama pengujian =  $e_1 - e_0$

$H_0$  = Tebal contoh tanah pada awal pengujian

$\Delta H$  = Perubahan tebal selama pengujian

Dengan cara yang sama  $\Delta e$  dapat dihitung sampai akhir periode penambahan beban atau tekanan.



Gambar 2.4: Grafik waktu pemampatan selama konsolidasi untuk suatu penambahan beban yang di berikan. (Das dkk. 1995).

- 2) Tahap II : Konsolidasi primer (*Primary Consolidation*), yaitu periode selama tekanan air pori secara lambat laun dipindahkan ke dalam tegangan efektif, sebagai akibat dari keluarnya air dari pori-pori tanah.
- 3) Tahap III : Konsolidasi sekunder (*Secondary Consolidation*), yang terjadi setelah tekanan air pori hilang seluruhnya. Pemampatan yang terjadi di sini adalah disebabkan oleh penyesuaian yang bersifat plastis dari butir-butir tanah.

#### 2.4.2. Koefisien Konsolidasi Arah Vertikal ( $C_v$ )

Kecepatan penurunan dihitung dengan menggunakan koefisien konsolidasi. Kecepatan penurunan perlu diperhitungkan bila penurunan konsolidasi yang terjadi pada suatu struktur diperkirakan sangat besar. Derajat konsolidasi pada sembarang waktunya, dapat ditentukan dengan menggambarkan grafik penurunan ( $s$ ) versus waktu ( $t$ ) untuk satu beban tertentu yang diterapkan pada alat oedometer. Dengan mengukur penurunan total pada akhir fase konsolidasi. Kemudian dari

data penurunan dan waktunya, sembarang waktu yang menghubungkan dengan derajat konsolidasi rata – rata tertentu ( misalnya  $U = 50 \%$  ) ditentukan. Walaupun fase konsolidasi telah berakhir, yaitu ketika tekanan air porinya telah nol, benda uji di dalam alat oedometer masih terus mengalami penurunan akibat konsolidasi sekunder. Karena itu, tekanan air pori mungkin perlu diukur selama proses pembebanannya atau suatu interpretasi data penurunan dan waktu harus dibuat untuk menentukan kapan konsolidasi telah selesai. Jika sejumlah kecil udara terhisap masuk dalam air pori akibat penurunan tekanan pori dari lokasi aslinya di lapangan, kemungkinan terdapat juga penurunan yang berlangsung cepat, yang bukan bagian dari proses konsolidasi. Karena tinggi awal atau kondisi sebelum adanya konsolidasi harus diinterpretasikan (Hartanto, d. g.). Harga  $C_v$  dapat dicari mempergunakan Pers (2.2) berikut ini :

$$C_v = \frac{T_v \cdot H^2}{t} \quad (2.2)$$

dimana :

$C_v$  = Koefisien konsolidasi vertikal (cm<sup>2</sup>/detik)

$T_v$  = Faktor waktu tergantung dari derajat konsolidasi akibat pengaliran arah vertikal

$t$  = Waktu yang dibutuhkan untuk mencapai derajat konsolidasi (detik)

$H$  = Panjang aliran yang harus ditempuh oleh air pori selama proses konsolidasi (cm)

#### 2.4.3. Koefisien Arah Horizontal ( $C_h$ )

Menurut Muller dan Larsson pada jurnal Aspects on the Modelling of Smearzones Around Vertical Drain untuk material tanah jenis lempung homogen maka nilai konsolidasi horizontal ( $C_h$ ) :

$$C_h = (1 - 2) * C_v \quad (2.3)$$

Dimana :

$C_h$  : Koefisien Konsolidasi Horizontal (cm<sup>2</sup>/detik)

#### 2.4.4. Koefisien Konsolidasi Arah Vertikal Gabungan (Cv)

Cv gabungan didapat dari nilai Cv dan tebal lapisan tanah setiap pengujian yang di dapatkan dari *Borehole*, Pers (2.4) Cv Gabungan sebagai berikut :

$$Cv \text{ gabungan} = \frac{(H1 + H2 + H3 + H4 + H5)^2}{\left[\left(\frac{H1}{\sqrt{Cv}}\right) + \left(\frac{H1}{\sqrt{Cv1}}\right) + \left(\frac{H1}{\sqrt{Cv}}\right) + \left(\frac{H1}{\sqrt{Cv}}\right) + \left(\frac{H1}{\sqrt{Cv5}}\right)\right]} \quad (2.4)$$

#### 2.4.5. Derajat Konsolidasi Arah Vertikal

Menentukan nilai derajat konsolidasi arah vertikal (Uv) dapat dinyatakan dengan dua formula berikut :

- Jika  $Uv < 60 \%$ , Maka  $Uv$  :

$$Uv = \frac{\sqrt{\frac{4Tv}{\pi}}}{\left(1 + \left(\frac{4Tv}{\pi}\right)^{2,28}\right)^{0,179}} \quad (2.5)$$

- Jika  $Uv > 60\%$ , Maka  $Uv$  :

$$Uv = 1 - \frac{8}{\pi^2} \sum_{m=0}^{\infty} \frac{1}{(2m+1)^2} \text{Exp} - \left[\frac{\pi^2 * (2m+1)^2}{4}\right] Tv \quad (2.6)$$

dimana :

$Uv$  = Derajat konsolidasi arah vertikal

$Tv$  = Faktor waktu, tergantung dari derajat konsolidasi arah vertical (UV)

$m$  = Bilangan integer = 0

Exp = Bilangan eksponen = 2,7182818

#### 2.4.6. Derajat Konsolidasi Arah Radial

Dengan Menggunakan metode equal strain consolidation (Baron,1948), maka untuk menentukan nilai derajat konsolidasi arah radial,  $Ur$  :

$$Ur = 1 - \frac{Uav}{Ui} = 1 - \exp\left(\frac{-8Tr}{m}\right) \quad (2.7)$$

dimana :

$Ur$  = Derajat konsolidasi arah radial

$Tr$  = factor waktu radial

$$m = \frac{n^2}{n^2 - Sz^2} \ln \frac{n}{Sz} - \frac{3}{4} + \frac{Sz^2}{4n^2} + \frac{kr}{ks} \left( \frac{n^2 - Sz^2}{n^2} \right) \ln Sz \quad (2.8)$$

$$Sz = \frac{rs}{rw}$$

$$n = \frac{de}{dw}$$

$$\frac{Kr}{Ks} = 2$$

de = Diameter ekivalen

dw = Diameter vertical drain

rs = Jari-jari smear zone

rw = Jari-jari sand drain

ks = Koefisien permeabilitas tanah arah radial pada smear zone = (1-15) kv

kr = Koefisien permeabilitas tanah arah radial = (1-15) kv

#### 2.4.7. Derajat Konsolidasi Rata – Rata

Derajat konsolidasi tahap (U) adalah perbandingan penurunan tanah pada waktu tertentu dengan penurunan total. Persamaan derajat konsolidasi pada tanah yang distabilisasi dengan menggunakan sistem PVD menurut Carrillo (1942) adalah sebagai berikut:

$$U = 1 - (1-Uv) (1-Ur) \quad (2.9)$$

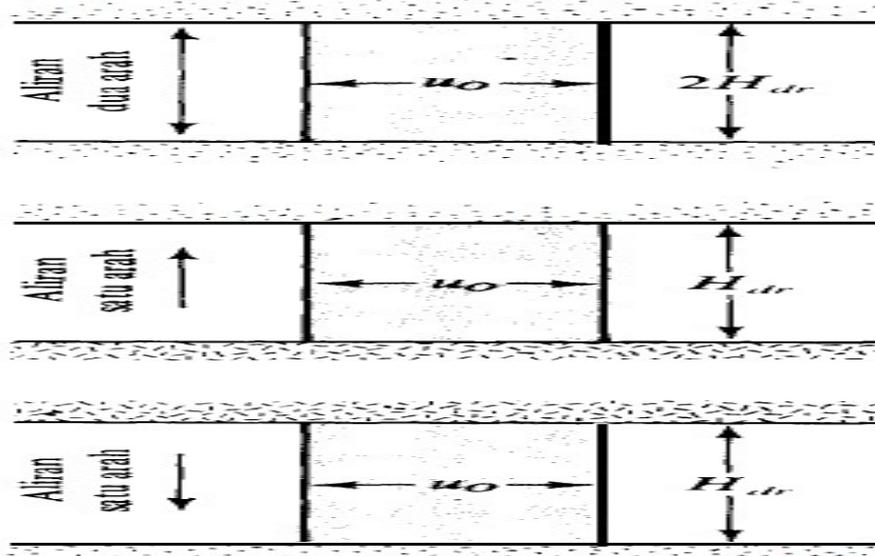
Dimana :

U = Derajat konsolidasi rata-rata

Ur = Derajat konsolidasi arah radial

Uv = Derajat konsolidasi arah vertical

Variasi derajat konsolidasi rata-rata terhadap faktor waktu yang tak berdimensi, diberikan dalam Tabel 2.2, yang berlaku untuk keadaan di mana Uo adalah sama untuk seluruh kedalaman lapisan yang mengalami konsolidasi,



Gambar 2.5: Macam – macam tipe arah aliran air pori dengan  $U_v$  tetap (Das dkk,1995).

Tabel 2.2: Variasi Faktor waktu terhadap derajat konsolidasi.

$U_{av}$ %	$T_v$
0	0
10	0,008
20	0.031
30	0.071
40	0.126
50	0.197
60	0.287
70	0.403
80	0.567
90	0.848
100	$\infty$

#### 2.4.8. Faktor waktu konsolidasi arah Vertikal ( $T_v$ )

Pada tanah yang tidak dikonsolidasi dengan penggunaan PVD, pengaliran yang terjadi hanyalah pada arah vertikal saja. Perhitungan nilai faktor waktu konsolidasi di lapangan dapat mempergunakan rumus sebagai berikut :

$$T_v = \frac{c_v * t}{H^2} \quad (2.10)$$

dimana :

$T_v$  : Faktor waktu, tergantung dari derajat konsolidasi ( $U$ )

$H$  : Panjang maksimum lintasan drainase (cm)

$C_v$  : Koefisien konsolidasi (cm<sup>2</sup>/detik)

$t$  : Waktu konsolidasi (detik)

#### 2.4.9. Faktor waktu konsolidasi arah Radial ( $T_r$ )

Konsolidasi radial akan terjadi dalam situasi-situasi yang meliputi drainase terhadap suatu sumber pusat, seperti pada suatu *vertical drain* yang dipakai di bawah timbunan untuk mempercepat drainase air pori dengan mengurangi jarak drainase dan karena itu juga mempercepat konsolidasi, berikut untuk menentukan faktor waktu radial ( $T_r$ ) :

$$T_r = \frac{C_h * t}{d_e^2} \quad (2.11)$$

dimana :

$T_r$  : Faktor waktu arah radial

$C_h$  : Koefisien konsolidasi horizontal

$t$  : Waktu konsolidasi

$d_e$  : Diameter ekuivalen pengaruh dari jarak pemasangan antar *vertical drain*

: 1,13 \* jarak antar PVD, untuk pola susunan bujur sangkar

: 1,05 \* jarak antar PVD, untuk pola susunan segitiga

#### 2.5. Parameter perhitungan penurunan (*Settlement*)

Jika lapisan tanah dibebani, maka tanah akan mengalami regangan atau penurunan (*settlement*). Regangan yang terjadi dalam tanah ini disebabkan oleh berubahnya susunan tanah maupun oleh pengurangan rongga pori/air di dalam tanah tersebut. Jumlah dari regangan sepanjang kedalaman lapisan merupakan penurunan total tanah. Penurunan akibat beban adalah jumlah total dari penurunan segera dan penurunan konsolidasi.

Penurunan yang terjadi pada tanah berbutir kasar dan tanah berbutir halus kering atau tidak jenuh terjadi dengan segera sesudah beban bekerja. Penurunan pada kondisi ini disebut penurunan segera (*immediate settlement*). Penuntnan

segera merupakan bentuk penurunan elastis. Dalam praktek, sangat sulit memperkirakan besarnya penurunan segera. Hal ini tidak hanya karena tanah dalam kondisi alam tidak homogen dan anisotropis dengan modulus elastisitas yang bertambah dengan kedalaman, tetapi juga terdapat kesulitan dalam mengevaluasi kondisi tegangan dan regangan yang terjadi di lapisan tanah. Penurunan segera banyak diperhatikan pada fondasi bangunan yang terletak pada tanah granuler atau tanah berbutir kasar.

Sebagian besar penurunan diakibatkan oleh pengurangan angka pori. Hampir semua jenis tanah akan berkurang angka porinya ( $e$ ), bila beban vertikal bertambah dan akan bertambah angka porinya bila bebannya dikurangi. Tambahan tegangan di dalam tanah akibat beban fondasi bangunan akan selalu diikuti oleh regangan yang menghasilkan penurunan pada struktur. (Wardhani, 2015)

Ada beberapa sebab terjadinya penurunan akibat pembebanan yang bekerja di atas tanah:

1. Kegagalan atau keruntuhan geser akibat terlampauinya kapasitas dukung tanah.
2. Kerusakan atau terjadi defleksi yang besar pada fondasi.
3. Distorsi geser (shear distortion) dari tanah pendukungnya.
4. Turunnya tanah akibat perubahan angka pori.

Untuk penurunan konsolidasi berdasarkan teori dari (Terzaghi, 1925) ada 2 jenis pembagian yakni tanah Normally Consolidated (NC Soil) dan Over Consolidated (OC Soil) (Widoanindyawati dkk., 2016)

$$OCR = \frac{P_{c1}}{P_{o1}} \quad (2.12)$$

Bila harga :

- $OCR = 1 \rightarrow$  tanah terkonsolidasi normal (*Normally Consolidated*)
- $OCR = 2 \rightarrow$  tanah terkonsolidasi lebih (*Over Consolidated*)

### 2.5.1. Tanah *Normally Consolidated* ( NC Soil )

Untuk menentukan nilai OCR (Over Consolidated Ratio) dengan persamaan :

$$S_c = \frac{C_c}{1+e} \log\left(\frac{P_{o'}+\Delta P}{P_{o'}}\right) \times H_i \quad (2.13)$$

### 2.5.2. Tanah *Over Consolidated* ( OC Soil )

Tanah *Over Consolidated* ( OC Soil ) adalah tanah dimana tekanan overburden saat ini lebih kecil daripada tekanan prakonsolidasi yang pernah dialami tanah tersebut sebelumnya.

- Digunakan apabila  $P_{o'} + \Delta P < P_{c'}$

$$S_c = \left( \left( \frac{C_s}{1+e_o} \log\left(\frac{P_{o'}+\Delta P}{P_{o'}}\right) \right) \right) \times H_i \quad (2.14)$$

- Digunakan apabila  $P_{o'} + \Delta P > P_{c'}$

$$S_c = \left( \left( \frac{C_s}{1+e_o} \log\left(\frac{P_{o'}+\Delta P}{P_{o'}}\right) \right) \right) \times H_i \quad (2.15)$$

dimana :

$S_c$  = Pemampatan akibat proses konsolidasi (m)

$C_c$  = Indeks kompresi tanah

$C_s$  = Indeks pengembangan tanah

$P_{o'}$  = Tegangan Overbudden efektif awal (t/m<sup>2</sup>)

$P_{c'}$  = Tegangan prakonsolidasi efektif (t/m<sup>2</sup>)

$\Delta P$  = Penambahan tegangan (t/m<sup>2</sup>)

$e_o$  = Angka pori awal

$H$  = Tebal lapisan tanah lunak yang memampat (m)

### 2.5.3. Indeks Pemampatan ( $C_c$ ) (*Compression Index*)

Indeks pemampatan atau indeks kompresi ( $C_c$ ), adalah kemiringan dari bagian lurus grafik e-log p'. Untuk dua titik yang terletak pada bagian lurus dari grafik dalam Gambar 2.16, nilai  $C_c$  dinyatakan oleh Pers (2.16) :

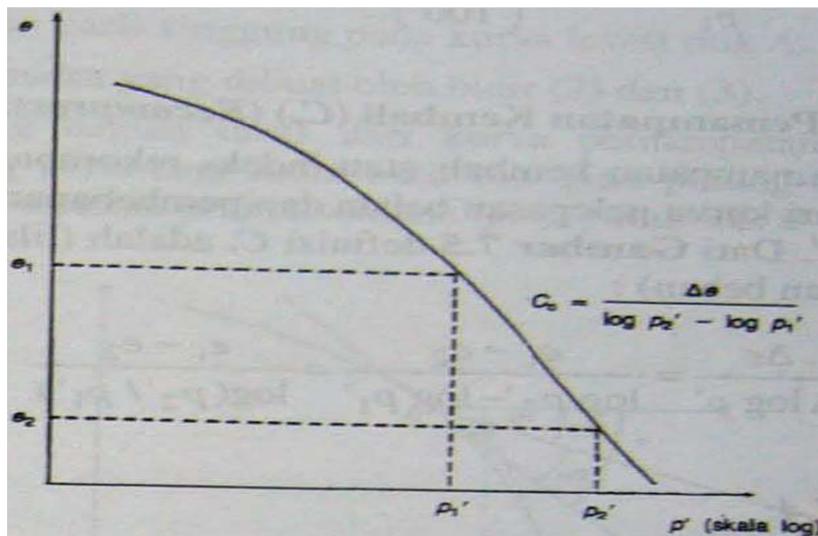
$$C_c = \left( \frac{\Delta e}{\Delta \log p'} = \left( \frac{e_1 - e_2}{\log p'_2 - \log p'_1} \right) = \frac{e_1 - e_2}{\log(p'_2/p'_1)} \right) \quad (2.16)$$

Dari penelitian, untuk tanah nonnally consolidated *Terzaghi* dan *Peck* (1967) mengusulkan nilai  $C_c$  sebagai berikut :

$$C_c = 0.009 (LL - 10) \quad (2.17)$$

*Terzaghi* dan *Peck* juga mengusulkan hubungan yang sama untuk tanah lempung yang di bentuk kembali (*remolded*)

$$C_c = 0.007 (LL - 10) \quad (2.18)$$



Gambar 2.6 : Indeks pemampatan  $C_c$  (Wardhani, 2015).

#### 2.5.4. Tegangan *Overbudden* efektif ( $P_o$ )

Winner (2017) dalam Satindra (2018) menyatakan bahwa tegangan overburden efektif adalah tegangan vertikal efektif dari tanah asli akibat beban atau lapisan tanah di atas titik tanah asli yang ditinjau. Tegangan overburden efektif dapat dihitung dengan Pers (2.19)

$$P_o = \gamma' x H \quad (2.19)$$

Dimana :

$P_o$  = Tegangan *Overbudden* efektif

$\gamma'$  = Berat volume tanah efektif, dan

$H$  = Tebal lapisan tanah

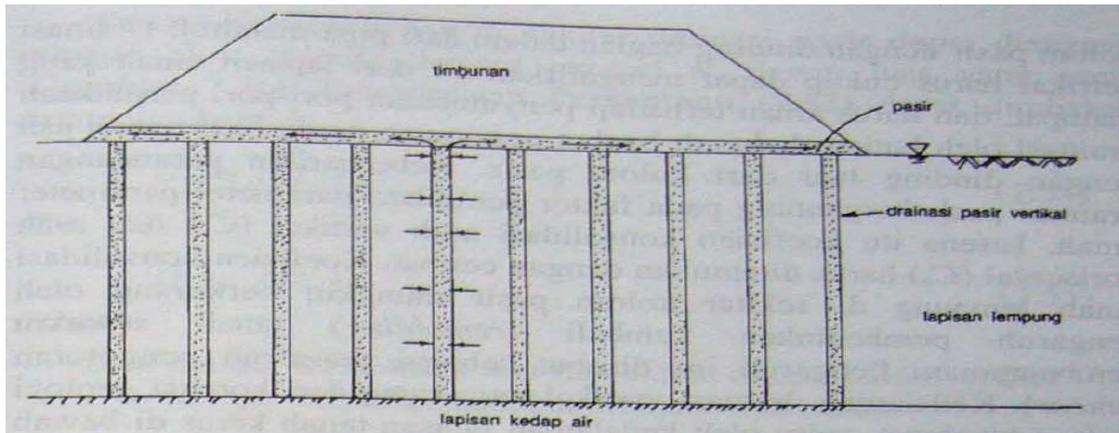
## ***2.6. Prefabricated Vertical Drains (PVD)***

PVD adalah sistem drainase buatan yang dipasang vertikal di dalam lapisan tanah lunak. Sistem drainase vertikal ini mempunyai bentuk berupa sabuk berpenampang persegi panjang, terdiri dari bagian luar berupa penyaring yang terbuat dari bahan sintetik seperti geotextile, kertas atau goni dan bagian dalam yang berfungsi sebagai media aliran air yang terbuat dari plastik atau serabut organik. Kombinasi sistem ini bertujuan untuk memperpendek waktu perbaikan lapisan tanah lempung yang cukup tebal karena dengan penggunaan PVD akan menyebabkan terjadinya aliran air pori arah radial/horizontal selain aliran arah vertikal yang menyebabkan air pori dapat dikeluarkan dengan lebih cepat.

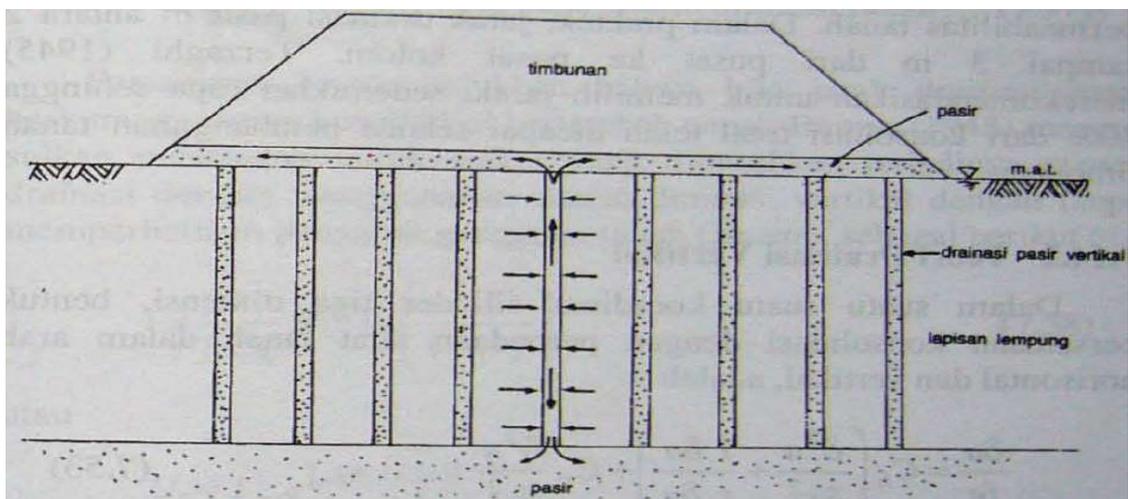
Penerapan PVD ini biasanya dianalisis menggunakan metode elemen hingga untuk peningkatan kinerja tanggul pada tanah lempung lunak. Selanjutnya Basu dkk. melakukan analisis regangan sama (equal strain) dalam rangka meningkatkan konsolidasi dengan mempertimbangkan gangguan tanah di sekitarnya (Aspara & Fitriani, 2016).

Drainase vertikal biasanya terdiri dari lubang bor vertikal yang menembus lapisan lempung jenuh yang relatif tebal, dimana lapisan lempung ini terletak pada lapisan batu, cadas, atau lapisan kedap air lain yang di endapkan melalui proses geologi pada Gambar 2.7. Lubang bor di isi dengan gradasi tertentu. Berat timbunan yang di bangun di atas drainase pasir vertikal menyebabkan tanah yang lunak mampat.

Terkadang drainase pasir vertikal dibangun di atas tanah yang lolos air seperti pasir pada Gambar 2.8. Kondisi ini memberikan kondisi drainase dobel ke arah atas dan bawah, dengan demikian akan lebih mempercepat proses konsolidasi.



Gambar 2.7: Struktur Drainase Vertikal (Wardhani, 2015).



Gambar 2.8: Struktur Drainase vertikal dengan lapisan dasar berupa lapisan yang lolos air (Wardhani, 2015).

### 2.6.1. Teori Drainase Vertikal

Dalam suatu koordinat silinder tiga dimensi, bentuk persamaan konsolidasi dengan perbedaan sifat tanah dalam arah horizontal dan vertikal (Mw dkk., 2015), adalah :

$$\frac{\delta u}{\delta t} = C_h \left( \frac{\delta^2 u}{\delta r^2} + \frac{1}{r} \frac{\delta u}{\delta r} \right) + C_v \frac{\delta^2 u}{\delta z^2} \quad (2.20)$$

Dengan :

U = kelebihan tekanan air pori

t = waktu konsolidasi

r = kordinat silinder radial

z = kordinat silinder aksial

$C_h$  = koefisien konsolidasi horizontal

$C_v$  = koefisien konsolidasi vertikal

Proses konsolidasi bertambah cepat. Barron (1948) mengusulkan persamaan untuk waktu yang dibutuhkan terjadinya proses drainasi dengan menggunakan system drainasi vertikal dengan tanpa memperhatikan pengaruh gangguan tanah (smear), sebagai berikut :

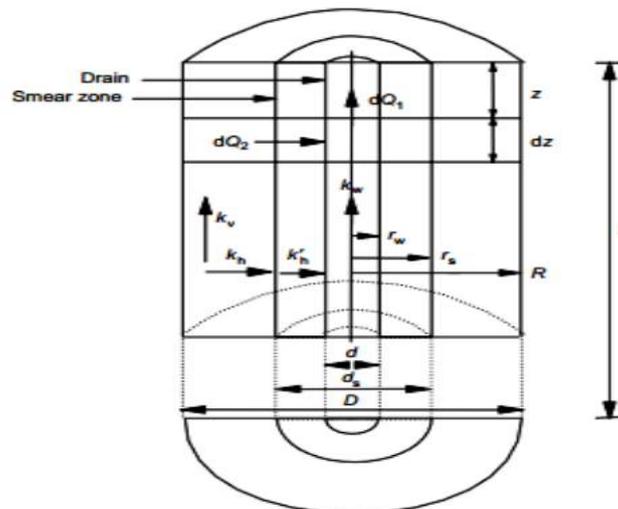
$$t = \frac{D^2}{8 C_h} F(n) \ln \left( \frac{1}{1-U_r} \right) \quad (2.21)$$

Dimana :

$t$  = waktu yang di butuhkan untuk mencapai  $U_r$

$D$  = Diameter silinder yang di pengaruhi oleh drainase vertikal

$F(n) = \ln (D/d) - 0,75$



Gambar 2.9: Skema Permeabilitas pada Tanah Dengan Vertical Drain (Indrarnatna dkk., 2003).

### 2.6.2. Daerah Pengaruh Pemasangan PVD (*Smear Zone*)

Pada pemasangan drainase vertical diasumsikan bahwa sifat-sifat tanah sekelilingnya tidak berubah. Tapi pada kenyataan bahwa pemasangan drainase vertical dapat sedikit mengganggu (*disturb*) tanah, tergantung pada sensifisitas tanahnya (Rowe, 1968). Gangguan pada tanah akibat drainase vertikal seperti

mengurangi permeabilitas tanah yang dapat memperlambat proses konsolidasi. Efek ini disebut dengan *smear*. Solusi yang mungkin di pertahankan. Barron (1948) dan Hansbo (1979, 1981) menganalisa gangguan pada tanah dengan cara diameter annulus, tanah yang di bentuk dengan koefisien permeabilitas lebih rendah  $k_r$  dari  $k_h$  lempung tidak terganggu. (Pasaribu dan Iskandar, 2015). Efek *smear*  $F_s(n)$  di rumuskan sebagai berikut

$$F(s) = \left[ \left( \frac{k_h}{k_r} \right) - 1 \right] \ln(s) \quad (2.22)$$

Diameter ekivalen smear zone dapat ditentukan dari diameter ekivalen PVD dengan koefisien pengali yang ditentukan dari persamaan (Hansbo 1979) berikut:

Untuk pola pemasangan yang berbentuk segitiga maka nilai :

$$d_e = 1,050 S \quad (2.23)$$

Sedangkan untuk pola pemasangan yang berbentuk segiempat maka nilai :

$$d_e = 1,130 S \quad (2.24)$$

dimana :

$$S = \text{jari} - \text{jari PVD}$$

$$d_e = \text{diameter ekivalen (setelah di ubah bentuk lingkaran)}$$

(Holtz and Holm, 1973; Akagi, 1977; Jamiolkowski dkk., 1983; Hansbo, 1986, 1987, 1997; Bergado dkk., 1991, 1993a; Chai and Miura, 1999; Hird and Moseley, 2000; Eriksson et al., 2000; Sathananthan and Indraratna, 2006) 1983; Hansbo 1987 merekomendasikan untuk suatu perencanaan diameter smear zone dapat diestimasi (2-3) kali diameter mandrel dan  $k_h/k_s = 2 - 10$  dapat dilihat pada Pers berikut :

$$ds = (2 - 3)dm \quad (2.25)$$

$$dm = \sqrt{\frac{4 \times Am}{\pi}} \quad (2.26)$$

$$\frac{k_h}{k_s} = 2 - 10 \quad (2.27)$$

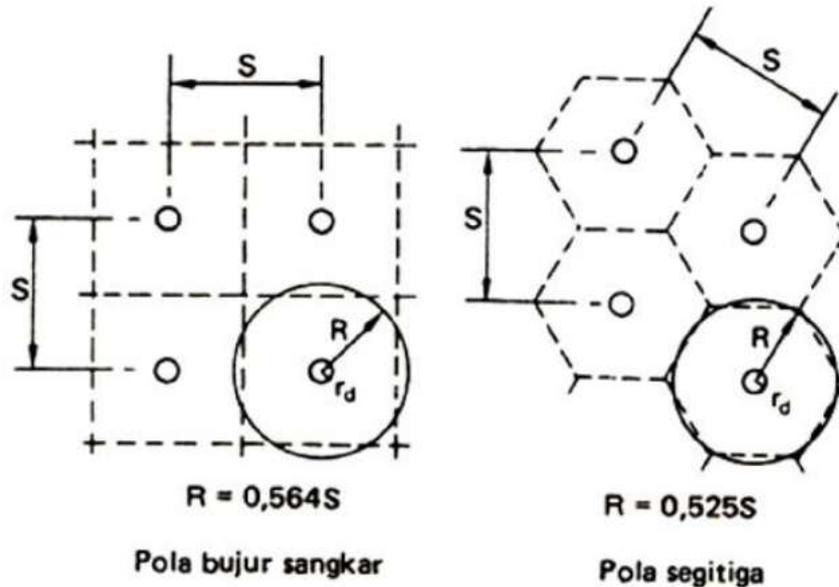
dimana :

$d_m$  = diameter *Mandrel*

$A_m$  = luasan ukuran *Mandrel*

$d_s$  = diameter *smearzone*

$\frac{kh}{ks}$  = equivalent permeabilitas arah horizontal dan *smearzone*



Gambar 2.10: Bentuk Pola Pemasangan PVD (Craig, R.F, 1994 : 254).

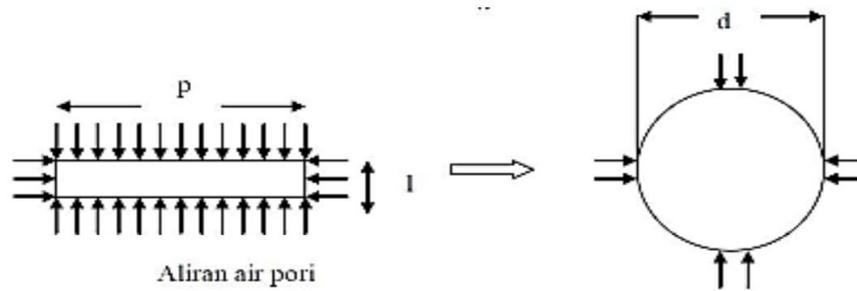
### 2.6.3. Transformasi Tampang PVD

Ukuran dari PVD yang digunakan pada proyek Reklamasi Peti Kemas Pelabuhan Kuala Tanjung adalah 100 mm x 3,3 mm dengan pola pemasangan segitiga. Pada saat dilakukan perhitungan terhadap PVD tersebut maka penampang dari PVD akan dimodelkan berbentuk lingkaran (Gambar 2.11) dengan perhitungan diameter ekuivalen yang diasumsikan sebagai keliling persegi panjang dibagi  $\pi$  (Hansbo,1960). Asumsi tersebut didasarkan pada rumusan di bawah ini:

Keliling lingkaran = keliling persegi panjang

$$\pi d_w = 2(p+l) \quad (2.28)$$

$$d_w = \frac{2(p+l)}{\pi} \quad (2.29)$$



Gambar 2.11: Transformasi tampang vertikal drain (Hird, 1995)

#### 2.6.4. Verifikasi Pemodelan Drainase Vertikal

Koefisien permeabilitas ( $k$ ) merupakan salah satu parameter yang penting pada analisis konsolidasi. Umumnya tanah lempung mempunyai koefisien permeabilitas yang relative kecil dibanding dengan tanah pasir, sehingga proses konsolidasi pada tanah lempung relatif lebih lama dibanding tanah pasir.

Untuk mempercepat proses konsolidasi, dibuat suatu konstruksi vertical drain, yang ditanamkan ke lapisan tanah lempung. Pola penanaman vertical drain yang terpasang dilapangan setempat-setempat dengan jarak tertentu, sementara didalam program elemen hingga fasilitas pengimplementasian vertical drain bersifat menerus (plane strain). Untuk dapat mengimplementasikan vertical drain dapat mengimplementasikan vertical drain yang terpasang di lapangan ke dalam program, maka haruslah terlebih dahulu diverifikasi ke dalam bentuk plane strain yang akan menghasilkan koefisien permeabilitas tanah yang baru, selanjutnya dengan koefisien permeabilitas tanah yang baru tersebut proses pengsimulasian pada program elemen hingga (Plaxis) dapat dilakukan. (Utara dkk., 2019)

Menurut Chai, Shen, Miura dan Bergado (2001) metode sederhana dalam pemodelan PVD adalah mengubah nilai permeabilitas vertikal tanah pada area *vertical drain* sebagai kinerja dari PVD. Adapun besar nilai permeabilitas tersebut adalah:

$$k_{ev} = \left( 1 + \frac{2.5 l^2}{\mu D_v^2} \frac{k_h}{k_v} \right) k_v \quad (2.30)$$

dimana :

$k_v$  = koefisien permabilitas *vertical drain*

$k_h$  = koefisien permabilitas horizontal tanah

$k_v$  = koefisien permeabilitas vertikal tanah  
 $l$  = panjang lintasan yang harus dilalui air

Russell, *dkk* (1999) mengekuivalenkan koefisien permeabilitas tanah dari kondisi *axisymetry* menjadi *plane strain* dengan cara menyamakan debit air yang masuk pada kondisi *axisymetry* dengan kondisi *plane strain*. Pengekuivalenan koefisien permeabilitas dilakukan dengan rumusan sebagai berikut:

$$\frac{2B^2}{a} x k_{ax} = R^2 x k_{pl} \left[ \ln \left( \frac{n}{s} \right) + \left( \frac{k_{ax}}{k_s} \right) \ln(s) - \frac{3}{4} \right] \quad (2.31)$$

Dimana :

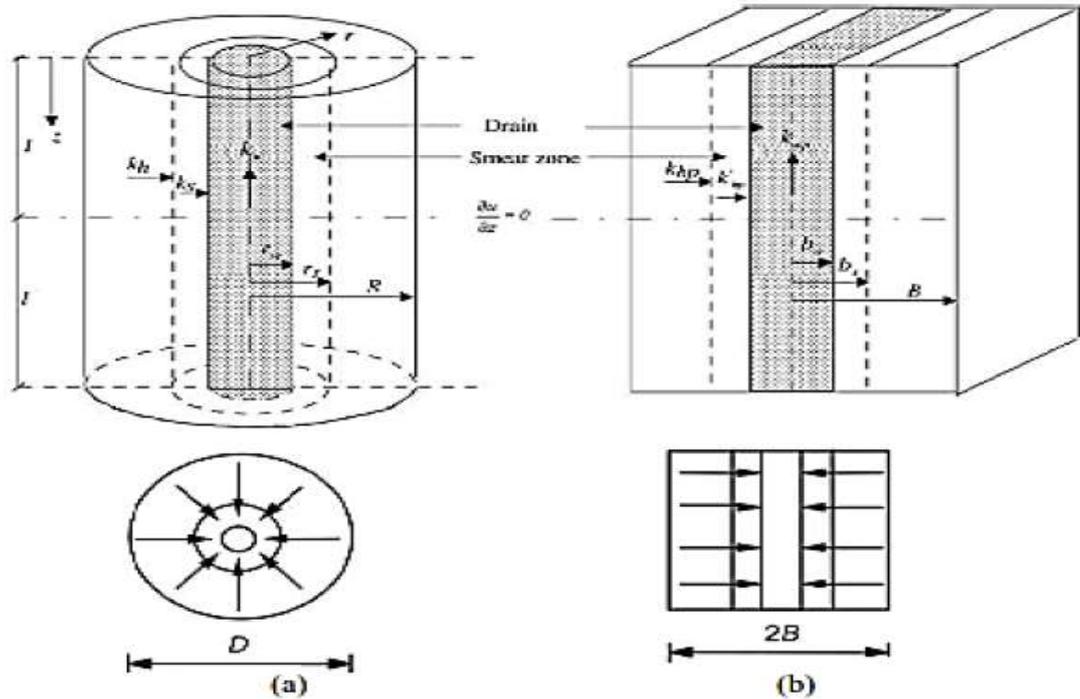
$k_{ax}$  = permeabilitas tanah arah horizontal kondisi *axisymetry*,  
 $k_{pl}$  = permeabilitas tanah arah horizontal kondisi *plane strain*,  
 $k_s$  = permeabilitas tanah pada daerah *smear zone*,  
 $B = \frac{1}{2}$  dari jarak *vertical drain* untuk kondisi *plane strain*  
 $R$  = jari-jari ekuivalen kondisi *axisymetry*

$$S = \frac{r_s}{r_w} \quad (2.32)$$

$$n = \frac{r_e}{r_w} \quad (2.33)$$

Dimana :

$r_s$  = jari – jari semar zona  
 $r_e$  = jari - jari ekuivalen ( setelah penampang diubah menjadi lingkaran )  
 $r_w$  = jari – jari verikal drain



Gambar 2.12: Verifikasi bentuk penampang PVD dalam pemodelan (a) *axisimetri* (b) *plane strain* (Indraratna, 1997).

## 2.7. Software 2D penurunan tanah Sebagai Metode Elemen Hingga

Software 2D adalah salah satu program aplikasi komputer yang menghitung konsolidasi dengan menggunakan teori konsolidasi Biot. Program ini melakukan perhitungan berdasarkan metode elemen hingga yang digunakan secara khusus untuk melakukan analisis deformasi dan stabilitas untuk berbagai aplikasi dalam bidang geoteknik.

Kondisi sesungguhnya dapat dimodelkan dalam regangan bidang maupun secara axisymetris. Program ini menerapkan metode antarmuka grafis yang mudah digunakan sehingga pengguna dapat dengan cepat membuat model geometri dan jaring elemen berdasarkan penampang melintang dari kondisi yang ingin dianalisis. Program ini terdiri dari empat buah sub-program yaitu masukan, perhitungan, keluaran, dan kurva. Kondisi di lapangan yang disimulasikan ke dalam program Plaxis ini bertujuan untuk mengimplementasikan tahapan pelaksanaan di lapangan ke dalam tahapan pengerjaan pada program, dengan harapan pelaksanaan di lapangan dapat didekati sedekat mungkin pada program, sehingga respon yang dihasilkan dari program dapat diasumsikan sebagai

cerminan dari kondisi yang sebenarnya terjadi di lapangan dengan tahapan sebagai berikut:

1. Pembentukan mesh secara keseluruhan meliputi mesh lapisan tanah asli, PVD, dan timbunan.
2. Pendefinisian dan input parameter, meliputi parameter tanah, PVD, dan timbunan.
3. . Initial condition : menyatakan kondisi asli tanah per lapisan dan tinggi muka air tanah
4. Pemotongan tanah asli (clearing and stripping) setebal  $\frac{1}{2}$  meter.
5. Penimbunan dengan pasir sebagai sand blanket setebal  $\frac{1}{2}$  meter.
6. Pemasangan PVD mencapai lapisan tanah kohesif lunak.
7. Penimbunan dengan lempung padat secara bertahap hingga ketinggian timbunan yang ditentukan.

Ada dua kondisi dalam penurunan konsolidasi yang perlu diperhatikan, yaitu kondisi regangan vertikal bebas (*free vertical strain*) dan kondisi regangan vertikal sepadan (*equal vertical strain*). Kondisi regangan vertikal bebas mengasumsikan bahwa tegangan vertikal permukaan adalah konstan dan penurunan/deformasi permukaan tidak seragam selama proses konsolidasi. Sedangkan kondisi regangan vertikal sepadan mengasumsikan bahwa tegangan vertikal permukaan tidak seragam dan penurunan/deformasi permukaan seragam.

### **2.7.1. Pemodelan Jenis Material pada Metode Elemen Hingga**

Di dalam program metode elemen hingga ini ada beberapa jenis pemodelan tanah seperti linear elastic, soft soil model, hardening soil model, dll. Salah satu diantaranya adalah pemodelan Mohr-Coulomb dan Soft Soil.

### **2.7.2. Model Mohr-Coloumb**

Mohr (1980) menyuguhkan sebuah teori tentang keruntuhan pada material yang menyatakan bahwa keruntuhan terjadi pada suatu material akibat kombinasi kritis antara tegangan normal dan geser,. Jadi, hubungan antara tegangan normal dan geser pada sebuah bidang keruntuhan dapat dinyatakan dalam bentuk berikut :

$$\tau_f = f(\sigma) \quad (2.34)$$

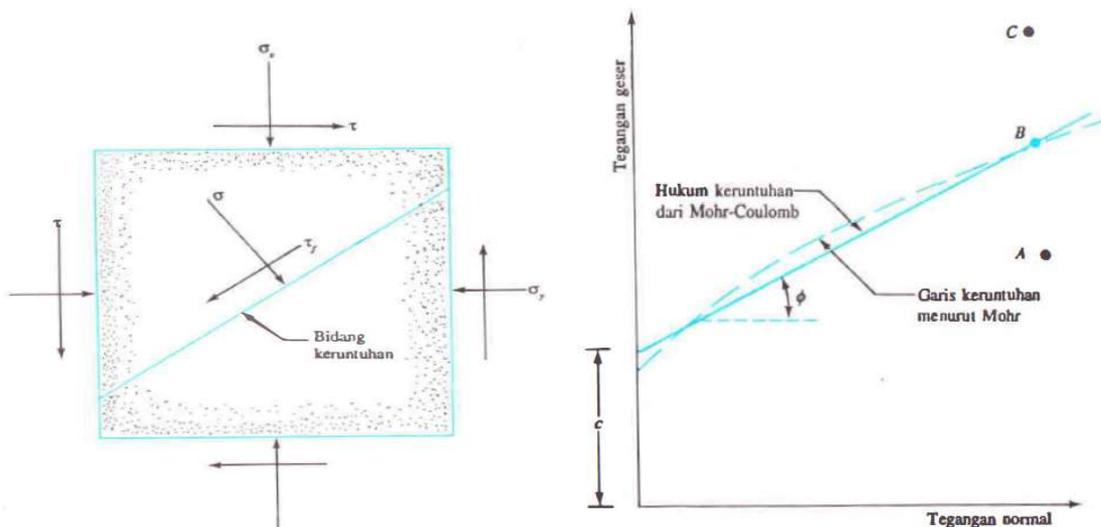
Garis keruntuhan (failure envelope) yang dinyatakan oleh Persamaan (2.35) di atas sebenarnya berbentuk garis lengkung seperti terlihat pada Gambar 2.13. Untuk sebagian besar masalah-masalah mekanika tanah, garis tersebut cukup didekati dengan sebuah garis lurus yang menunjukkan hubungan linear antara tegangan normal dan geser (Coulomb; 1776). Persamaan itu dapat kita tulis sebagai berikut :

$$\tau_f = c + \sigma \tan \phi \quad (2.35)$$

Dengan :

- $\tau$  : tegangan geser
- $c$  : kohesi
- $\phi$  : sudut geser – internal
- $\sigma$  : tegangan normal

Persamaan 2.35 di kenal dengan kriteria keruntuhan *Mohr-Coloumb*, yang merupakan suatu garis lurus seperti pada Gambar 2.13 berikut :



Gambar 2.13: Garis keruntuhan menurut *Mohr-Coloumb* dan hukum dari *Mohr-Coloumb* ( Das, 1995).

Pemodelan *Mohr Coulomb* merupakan pemodelan tanah yang paling umum digunakan. Parameter pemodelan *mohr coulomb* terdiri atas Modulus Young (E), *Poissons ratio* ( $\nu$ ), kohesi (c), sudut geser dalam ( $\phi$ ) dan sudut dilatasi ( $\psi$ ). Pemodelan *mohr coulomb* memiliki kelebihan berupa perhitungan masih relatif sederhana.

Pada tanah jenuh air, besar tegangan normal total pada sebuah titik adalah sama dengan jumlah tegangan efektifnya ditambah dengan tegangan air pori.

$$\sigma = \sigma' + u \quad (2.36)$$

Pemodelan *Mohr-Coulomb* mengasumsikan bahwa perilaku tanah bersifat plastis sempurna (*Linear Elastic Perfectl Plastic Model*), artinya material akan mengalami deformasi elastis sebelum mencapai suatu keruntuhan, bilamana batas elastis telah terlewati barulah material mencapai konsisi plastis, selanjutnya material mengalami keruntuhan.

Beberapa kelebihan dari model ini adalah cukup sederhana (*simple*), *valid* dipakai pada material tanah sehingga paling banyak dipakai dan tersedia pada banyak program komputer. Sedang kekurangan dari model ini  $\sigma_2$  (*intermediate principal stress*) diabaikan

Parameter – parameter yang di gunakan pada saat pemodelan Mohr Coloumb adalah sebagai berikut :

- Berat Volume ( $\gamma$ )

Pada Pemograman Software penurunan berat volume tanah yang diperlukan dalam perhitungan terbagi ke dalam dua jenis yaitu berat volume tanah jenuh dan berat volume kering. Parameter ini akan dipergunakan untuk mendapatkan tegangan *konfining* pada kedalaman tertentu pada kondisi jenuh maupun kondisi kering. Berat volume tanah merupakan perbandingan berat tanah terhadap volume dari tanah tersebut.

Tabel 2.3 :Hubungan N-SPT dengan berat isi  $\gamma$  untuk tanah lempung (kohesif) (Terzaghi and Peck, 1956).

Kepadatan	Nilai N-SPT	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )
<i>Very soft</i>	< 2	16 – 19
<i>Soft</i>	2 – 4	16 – 19
<i>Medium</i>	4 – 8	17 – 20
<i>Stiff</i>	8 – 15	19 – 22
<i>Verry Stiff</i>	15 – 30	19 – 22
<i>Hard</i>	> 30	19 – 22

- Koefisien *Permeabilitas* (k)

Koefisien permeabilitas tanah (k) digunakan untuk mengetahui besarnya rembesan pada permasalahan bendungan, saluran irigasi, tanggul tanah, sumur resapan dan lainnya. Koefisien permeabilitas secara empirik telah banyak diusulkan oleh beberapa pakar antara lain seperti diuraikan pada Tabel 2.5

Tabel 2.4: Nilai dari beberapa peneliti (Fanny Rumintha dan Rudi Iskandar, 2018).

Peneliti	Karakteristik	Nilai k (cm/det)
Bowles (1991)	Lanau kelempungan	$10^{-4} - 10^{-9}$
Das (1995)	Lanau berlempung	0.0001 – 0.00001 kurang dari 0.000001
Perlof & Baron (1976)	Drainase Buruk	$10^{-3} - 10^{-7}$
Cassagrande (1938)	Drainase Buruk	$10^{-4} - 10^{-9}$

- Angka *Poisson*

Angka *poisson* atau *poisson's ratio* merupakan harga perbandingan antara regangan lateral dengan tegangan aksial yang digunakan untuk menghubungkan besar modulus elastisitas ( $E$ ) dengan modulus geser ( $G$ ). Menurut Das (1995), hubungan antara angka *poisson* dengan jenis tanah dan konsistensi tanahnya dapat dilihat pada Tabel 2.6 sebagai berikut ini.

Tabel 2.5: Hubungan Angka *Poisson* dengan jenis tanah (Das ,1995).

Jenis tanah	Angka <i>Poisson</i>
Pasir lepas	0.20-0.40
Pasir agak padat	0.25-0.40
Pasir padat	0.30-0.45
Pasir berlanau	0.20-0.40
Lempung lembek	0.15-0.25
Lempung agak kaku	0.20-0.50

- Modulus Elastisitas (E)

Modulus elastisitas (E) atau bisa disebut modulus *young* merupakan perbandingan antara tegangan yang terjadi terhadap regangan pada pengujian *triaxial test*. Menurut Das (1995), nilai modulus elastisitas tanah juga dapat ditentukan berdasarkan jenis tanahnya yang ditunjukkan pada Tabel 2.7 berikut ini.

Tabel 2.6: Nilai Perkiraan Modulus Elastisitas (Hardiyatmo ,1994).

Macam tanah	E (kg/m <sup>2</sup> )
Lempung	
1. sangat lunak	3.0 – 30
2. lunak	20 – 40
3. sedang	45 – 95
4. berpasir	300 – 425
Pasir	
1. berlanau	50 – 200
2. tidak padat	100 – 200
3. padat	500- 1000
Pasir dan Kerikil	
1. padat	800 – 2000
2. tidak padat	500 – 1400
Lanau	
Loses	150 – 600
Cadas	1400 – 14000

- Sudut geser dalam ( $\Phi$ )

Sudut geser dalam beserta kohesi merupakan parameter yang menentukan kekuatan tanah terhadap deformasi akibat tegangan yang bekerja pada tanah. Nilai dari sudut geser dalam diperoleh dari *engineering properties* tanah, yaitu dengan *triaxial test* dan *direct shear test*.

- Kohesi

Parameter ini di dalam program *plaxis* bersama dengan sudut geser dalam tanah akan menjadi masukan untuk menghitung kekuatan tanah. Ketika dilakukan perhitungan konstruksi akan memunculkan peringatan (*warning*) kepada pengguna apabila tanah telah mengalami keruntuhan (*failure*) ketika dilaksanakan perhitungan. Kohesi memiliki dimensi yang sama dengan tegangan. Kohesi akan cenderung meningkat sesuai dengan kedalaman yang ditinjau. Nilai kohesi dapat diperoleh dari beberapa jenis pengujian antara lain adalah pengujian *triaxial* dan *unconfined compression test*.

- Sudut dilatasi

Sudut dilatasi adalah sudut yang dibentuk bidang horizontal dengan arah pengembangan butiran pada saat butiran menerima tegangan deviatorik. Tanah lempung normal konsolidasi tidak memiliki sudut dilatasi. Tetapi pada tanah pasir, besar sudut ini tergantung pada kepadatan relatif ( $D_r$ ) dan sudut geser dalamnya yang dinyatakan dengan persamaan  $\psi = \phi - 30^\circ$

## 2.8 Instrumen Geoteknik

Instrumen geoteknik adalah perangkat geoteknik untuk mempelajari perilaku tanah yang berupa penurunan tanah, tekanan air pori, kuat geser tanah, deformasi lateral pada permukaan tanah, yang dipasang sebelum proses penimbunan dilakukan.

Keberhasilan pekerjaan perbaikan tanah, dengan menggunakan PVD dan geotekstil terutama dengan teknik penimbunan secara bertahap, sangat bergantung pada data pengamatan perilaku dan kondisi tanah. Data pengamatan berguna untuk memberikan peringatan awal bila timbunan dalam kondisi kritis terhadap keruntuhan timbunan. Data pengamatan juga memungkinkan bisa diambilnya

keputusan yang berkaitan dengan kinerja PVD, perubahan pada desain, dan lain lain selama proses penimbunan berlangsung. Oleh sebab itu, pengamatan perilaku dan kondisi tanah pada saat konstruksi menjadi hal yang penting.

Instrumen geoteknik yang di gunakan sebagai data primer yang di pasang untuk mengamati kondisi dan perilaku tanah saat penimbunan berlangsung adalah *settlement plate*, *piezometer*, dan *water stand pipe* sedangkan *inclinometer*

### **2.8.1 *Settlement plate***

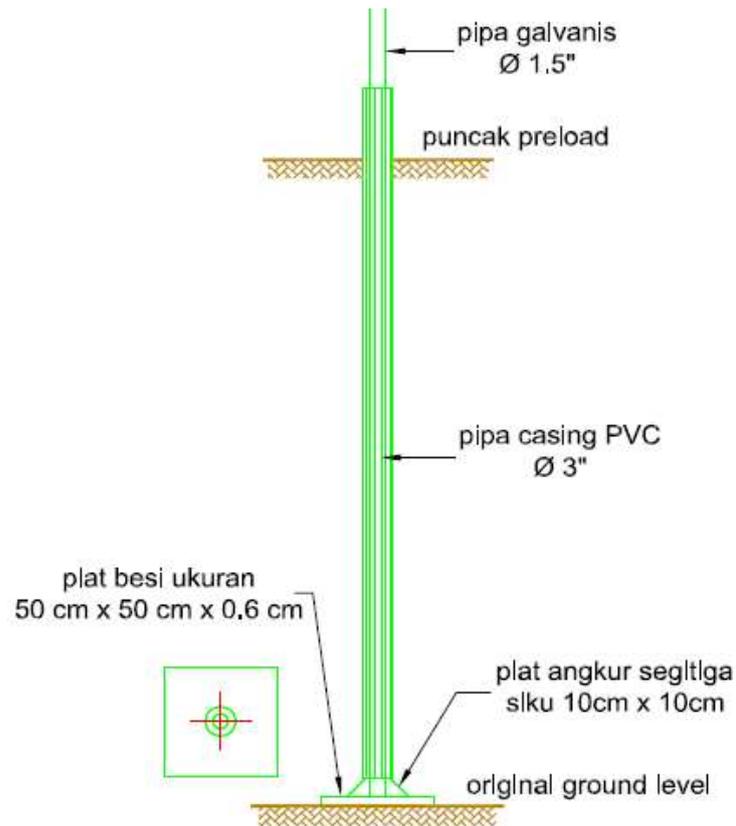
Settlement plate merupakan instrument geoteknik yang berfungsi untuk memonitoring proses penurunan tanah. Settlement plate terdiri dari beberapa bagian yaitu plat besi berukuran 50 x 50 x 1 cm, pipa besi, pipa paralon dan waterpass dengan pemasangan alat berada di tengah timbunan atau area dimana akan terjadi penurunan maksimum. Settlement plate memonitoring nilai penurunan tanah yang timbul akibat Preloading, sehingga proses penurunan tanah yang terjadi aman dari sliding atau longsor. Settlement plate dapat dinyatakan tidak aman apabila grafik penurunan yang terbaca terjadi fluktuasi yang sangat ekstrem(Lilabsari dkk., 2018). Dari bacaan Settlement Plate dapat pula diketahui nilai derajat konsolidasi dengan membandingkan besar penurunan aktual pada waktu tertentu terhadap penurunan total atau sesuai dengan :

$$Uv - Sc = \frac{St}{Sc} \quad (2.37)$$

Dengan :

St = penurunan konsolidasi dari bacaan *Settlement Plate* pada waktu t

Sc = penurunan total

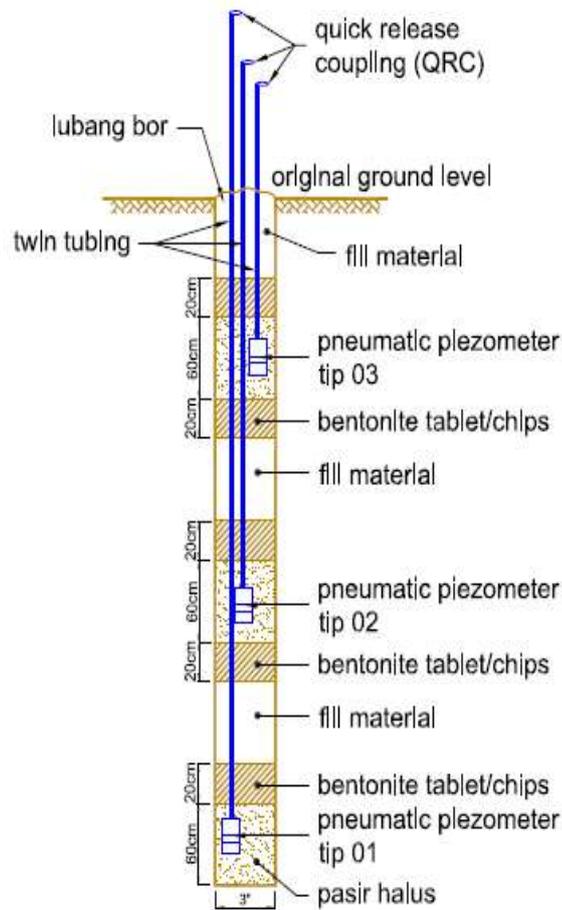


Gambar 2.14 Detail pemasangan *Settlement Plate*.

### 2.8.2 *Pneumatic Piezometer*

Piezometer merupakan alat yang berfungsi untuk mengetahui perubahan air pori pada tanah dasar. Piezometer terbagi menjadi beberapa bagian yaitu casing, tip Piezomete, filter sand, bentonite tablet dan grouting.

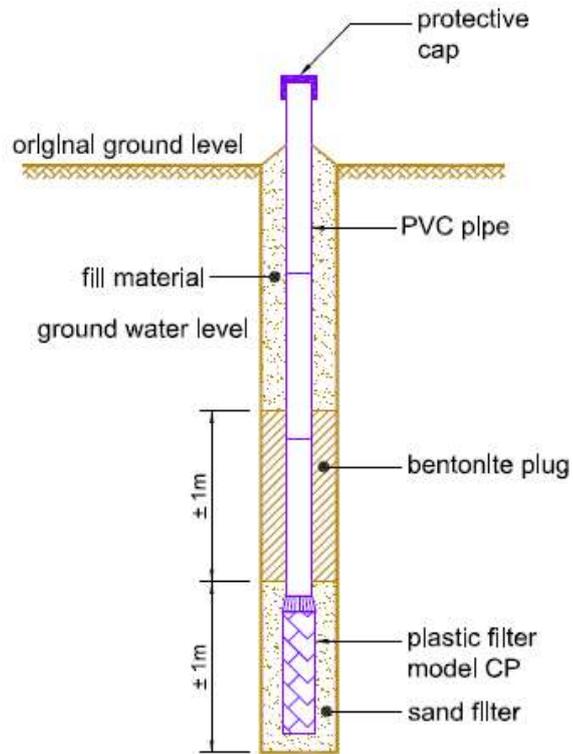
*Piezometer* berfungsi untuk memantau kenaikan tekanan eksese air pori selama pelaksanaan pekerjaan perbaikan tanah dengan menggunakan kombinasi *preloading* dan *vertical drains*. Di samping itu juga berfungsi sebagai pengukur disipasi tekanan air pori terhadap waktu. Pemasangan *piezometer* umumnya di tengah-tengah timbunan dan ditempatkan pada lapisan tanah lempung lunak dengan kedalaman yang bervariasi.



Gambar 2.15 Detail Pemasangan 3 *Pneumatic Piezometer* dalam satu lubang Bor.

### 2.8.3 *Water Stand Pipe*

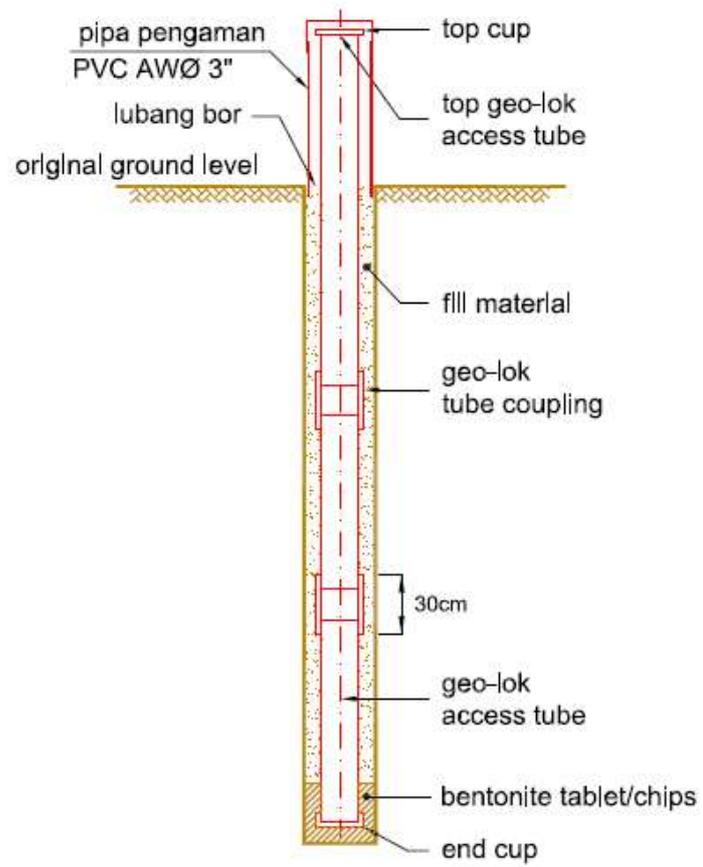
*Water stand pipe* (WSP) digunakan untuk memonitor elevasi dari muka air tanah pada saat dan setelah penimbunan. *Water stand pipe* dipasang pada as timbunan berdekatan dengan *piezometer*. Di lapangan *water stand pipe* dilakukan pembacaan setiap dua hari sekali.



Gambar 2.16 Detail Pemasangan *Water Stand Pipe*.

#### 2.8.4 *Inclinometer*

Inclinometer merupakan satu unit instrument geoteknik yang digunakan untuk memantau pergerakan lateral tanah yang terjadi dibawa permukaan. Alat ini berfungsi untuk mengetahui kemungkinan terjadinya sliding atau keruntuhan pada timbunan.

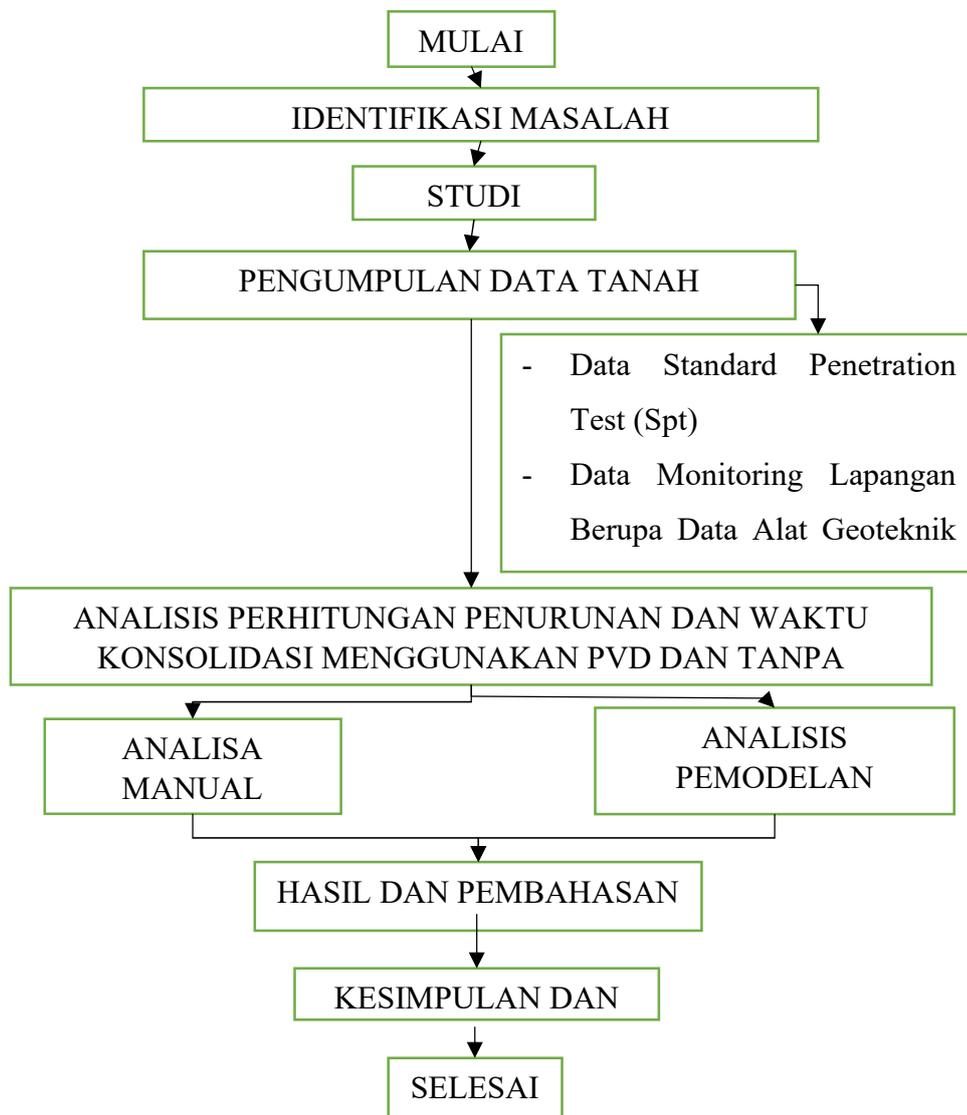


Gambar 2.17 Detail Pemasangan *Inclinometer*.

**BAB 3**  
**METODE PENELITIAN**

**3.1 Bagan alir**

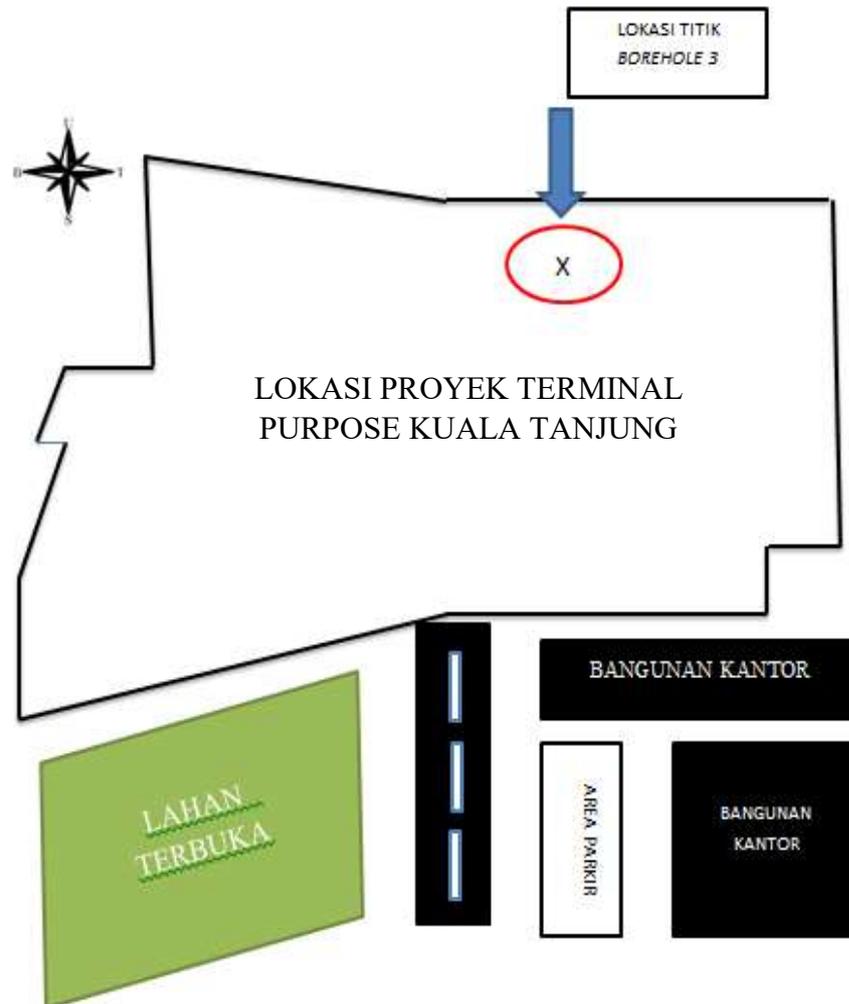
Tahapan-tahapan penulisan penelitian tersebut dapat di rangkum dalam bagan alir penelitian yang dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 : Bagan alir penelitian.

### 3.2 Lokasi penelitian

Denah lokasi proyek yang di bahas dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



Gambar 3.2: Lokasi Proyek Pembangunan Terminal *Purpose* Pelabuhan Kuala Tanjung.

Secara geografis letak Terminal Purpose Pelabuhan Kuala Tanjung, Kuala Tanjung, Sei Suka Kuala Tanjung., Batu bara, Kabupaten Batu Bara, Sumatra Utara berlokasi yang berbatasan dengan wilayah yaitu (Gambar 3.1) :

1. Sebelah Utara : Selat Malaka
2. Sebelah Timur : Tower Listrik Inalum
3. Sebelah Barat : Kantor Pelindo 1 Kuala Tanjung
4. Sebelah Selatan : Kantor PT. INALUM

### 3.3 Pengumpulan data

Metode pengumpulan data yang digunakan dalam penulisan penelitian pada proyek Pembangunan Terminal *Purpose* Pelabuhan Kuala Tanjung Provinsi Sumatera Utara meliputi:

1. Mengumpulkan berbagai jenis literatur dalam bentuk buku maupun tulisan ilmiah yang berhubungan dengan tugas akhir ini.
2. Mengumpulkan data sekunder seperti :
  - a. Data Standard Penetratin Test (SPT) dan Data *Bore hole 3*
  - b. Data instrumen lapangan
  - c. Data pada saat Program FEM 2D
  - d. Data PVD

#### 3.3.1. Data SPT dan Data Bore Hole 3

Data ini diperoleh dengan cara melakukan interpolasi data N-SPT, dan data dapat dilihat pada Tabel .3.1

Tabel 3.1: Data SPT *Borehole 3*.

Depth	M.A.T	Description	Consistency	N-SPT
0		Sandy Clay, Grey , Low Plasticity, High Moisture Content	Very Soft	1
0.5				
1				
1.5				
2			Very Soft	1
2.5				
3				
3.5				
4		Clay , Grey , Low Plasticity, Medium Moisture Content	Soft	2
4.5				
5				
5.5			Very Soft	1
6				
6.5				
7				
7.5				
8				
8.5		Very Soft	1	
9				

### 3.3.2. Data Pada Saat Pemograman FEM 2D

Data borehole ini meliputi data – data tanah lunak yang berada di sekitar titik tinjau

Tabel 3.2: Parameter tanah ketika model Axisymetris.

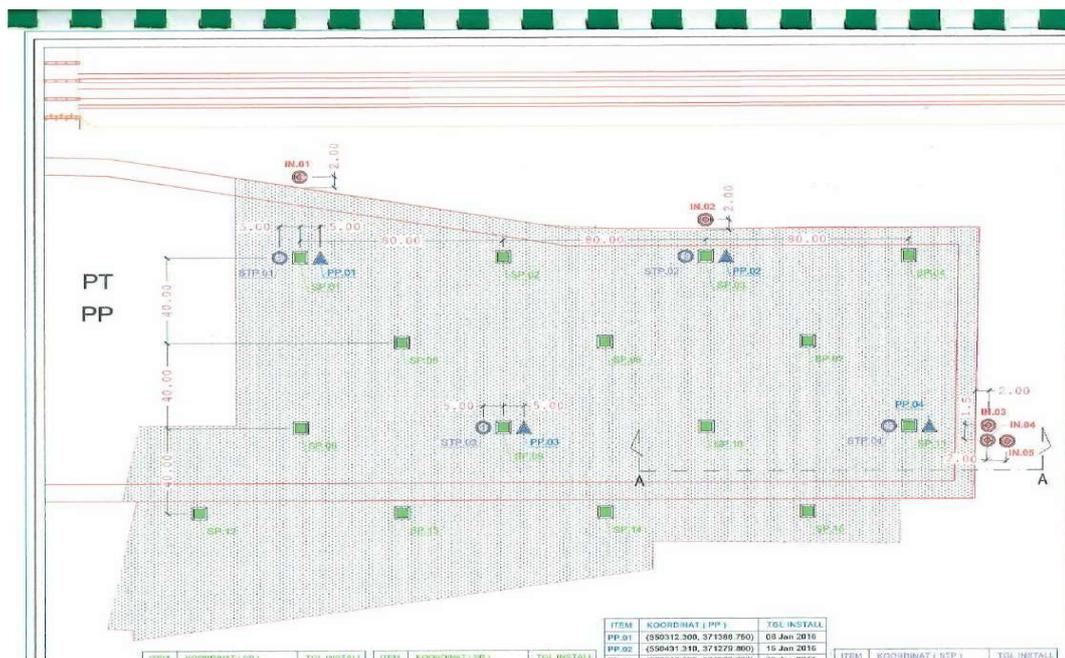
Parameter	Kedalaman					
	0 – 4	4 – 9	9 – 13	0 - 9		
Jenis tanah	Sandy clay	Clay	Sandy Clay	PVD	Timbunan	Sand Blanket
Tipe	Undrained	Undrained	Undrained	Drained	Drained	Drained
N-SPT	2	3	5			
$\gamma_{sat}$ (kN/m <sup>3</sup> )	15.8	16	16	19	18	18
$\gamma_{dry}$ (kN/m <sup>3</sup> )	10	10	10	10	10	10
Kohesi (kN/m <sup>2</sup> )	10	10	10	5	10	5
Sudut geser ( $\varphi$ )	25	25	25	25	30	30
E (kN/m <sup>2</sup> )	2000	5000	1000	5000	7000	1000
Kx	0.000864	0.00864	0.001728	77.000	8.64	8.64
Ky	0.000432	0.00432	0.000864	77.000	8.64	8.64
Poison Ratio ( $\mu$ )	0.3	0.25	0.3	0.2	0.3	0.3

### 3.3.3. Data Lokasi *Instrument* Geoteknik

Data ini dapat diperoleh dari pihak konsultan pengawas berupa data settlement plate, gambar lokasi titik borehole dan instrument, layout potongan memanjang dari lokasi peninjauan

Tabel 3.3: Data Penurunan *Settlement Plate* (SP).

DATE	DAY	DATUM ELEVATIO N + (m)	PLATE ELEVATIO N + (m)	SETTLEMEN T PER DAY (mm)	SETTLEMEN T CUMULATIVE (mm)	PRELOAD ELEVATIO N + (m)	PRELOAD HEIGHT (m)
8-Jan-16	IR	5.106	3.108	0	0	3.548	0.440
11-Feb-16	26	4.660	2.659	-4	-292	3.817	1.158
11-Mar-16	55	4.472	2.471	-8	-480	4.031	1.560
11-Apr-16	86	5.152	2.151	-10	-800	4.882	2.731
11-May-16	116	7.382	1.684	-10	-1267	6.030	4.346
11-Jun-16	147	7.008	1.310	-5	-1641	6.121	4.811
11-Jul-16	177	6.811	1.113	0	-1838	5.940	4.827
11-Aug-16	208	6.600	0.902	0	-2049	5.823	4.921
11-Sep-16	239	6.456	0.758	-3	-2193	5.767	5.009
11-Oct-16	269	6.366	0.668	0	-2283	5.573	4.905
11-Nov-16	300	6.290	0.592	-5	-2359	6.026	4.753
11-Dec-16	330	6.228	0.530	0	-2421	5.456	4.926



Gambar 3.3: Lokasi *Instrument* Geoteknik yang terdapat di lapangan.

Pada data ini *Instrument* yang akan di pakai pada penelitian ini yaitu instrument yang berdekatan dengan lokasi Borehole 3 yaitu data SP 03 (*Settlement Plate*)

### 3.3.4 Data PVD

Data ini diperoleh dari lapangan menurut pengamatan dari pihak konsultan pengawas, dengan data terdapat pada Tabel .3.4

Tabel 3.4: Data PVD.

Jarak Pemasangan	1.600	m
Pola Pemasangan	Segitiga	
Diameter ekiv. (de)	1.680	m
Jari-jari ekiv. (re)	0.8400	m
Lebar PVD	10.0000	Cm
Tebal PVD	0.5000	Cm
Diam.sumuran (dw)	0.0669	m
Jari-jari sumu. Ekiv (rw)	0.0334	m
Panjang Mandrail	12.0000	cm
Lebar Mandrail	6.0000	cm
Luas Mandrail	72.0000	Cm
Diameter mandrail (dm)	9.5770	cm
Diameter smear zone (ds)	0.2873	m
Jari-jari smear zone (rs)	0.1437	m

### 3.4 Teknik pengumpulan data

Dalam penulisan tugas akhir ini, penulis melakukan beberapa tahapan pelaksanaan sehingga tercapai maksud dan tujuan dari penelitian. Seperti yang dirangkum pada Bab 1. Untuk memudahkan tercapainya tujuan tersebut, maka penulis melakukan tahapan–tahapan sebagai berikut :

1. Tahap pertama

Mengumpulkan berbagai jenis literatur dalam bentuk buku maupun tulisan ilmiah yang berhubungan dengan tugas akhir ini.

2. Tahap kedua

Mengumpulkan data yang diperlukan untuk penulisan tugas akhir, yang di dapatkan dari Pihak (PT.Waskita)

3. Tahap ketiga

Melakukan analisa antara data yang diperoleh dari lapangan dengan buku dan jenis literatur lainnya yang berhubungan dengan penulisan tugas akhir ini.

- a. Meverifikasi pemodelan PVD dengan cara mencari nilai faktor pengecil koefisien permeabilitas tanah arah radial pada konsisi plane strain (K<sub>rpl</sub>), sehingga koefisien permeabilitas pada kondisi axisymmetry dan plane strain sama jika menggunakan metode elemen hingga.

Tahap pelaksanaan :

- Kondisi *Axisymmetry*
    - Pengambilan daerah pengaruh untuk satu unit PVD
    - Menghitung daerah pengaruh satu unit (r<sub>1</sub>) PVD
    - Membuat jari jari ekuivalen (r<sub>0</sub>) satu unit daerah pengaruh *Vertical drain*
    - Mencari keliling satu unit PVD yang digunakan di lapangan
    - Mencari ukuran *mandrel* yang digunakan di lapangan
    - Mencari daerah terganggu (*Smearzone*) akibat pengaruh pemasangan *mandrel*
    - Membuat zona daerah terganggu akibat adanya *mandrel* dan jari jari *smearzone*
    - Memasukan parameter tanah
    - Modelkan dengan kondisi *axisymmetry*
    - Aktifkan *vertical drain*
    - Lakukan tahapan penimbunan
    - Daerah peninjauan untuk kondisi *Axisymmetry*
    - Tentukan derajat konsolidasi vs waktu pada setiap titik peninjauan
  - Kondisi *Plane strain*
    - Buat mesh kondisi *Plane Strain*
    - Modelkan lapisan tanahnya , muka air tanah
    - Modelkan PVD dan *smearzone*
    - Masukan parameter tanah
    - Aktifkan *vertical drain*
    - Lakukan tahapan penimbunan
    - Ambil daerah peninjauan untuk kondisi *Plane Strain*
    - Tentukan derajat konsolidasi vs waktu pada setiap titik peninjauan
- b. Menganalisis dengan menggunakan metode elemen hingga untuk mendapatkan berapa lama waktu yang di butuhkan sehingga derajat

konsolidasi ( $U$ ) mencapai 95% dengan kondisi tanah antara menggunakan PVD dan *GeoTekstil*

- c. Menganalisis dengan menggunakan metode analitik untuk mendapatkan berapa lama waktu yang dibutuhkan sehingga derajat konsolidasi ( $U$ ) = 95%, dengan kondisi tanah antara menggunakan PVD & geotextile serta tanpa menggunakan PVD & geotextile.
  - d. Kedua hasil dari langkah B & langkah C dibandingkan dengan hasil pengamatan di lapangan
4. Tahap keempat
- a. Pada tahap ini dilakukan kegiatan menghitung dan membandingkan dampak dari jarak pemasangan antara PVD dengan variasi, 1,5 m, 1,6 m dengan ketentuan pola pemasangan segitiga menggunakan metode analitik
  - b. Pada tahap ini dilakukan kegiatan menghitung dan membandingkan dampak dari pola pemasangan segitiga dan pola persegi dengan ketentuan jarak pemasangan 1,6 m menggunakan metode analitik

## BAB 4

### ANALISA DAN PEMBAHSAN

#### 4.1 Model Timbunan

Berdasarkan data tanah hasil penyelidikan geoteknik (BH – 03) yang telah dilakukan dapat dilakukan pemodelan reklamasi dan preloading untuk mengetahui besarnya penurunan konsolidasi yang akan terjadi. Pemodelan reklamasi dan preloading ini dilakukan dengan model finite element method (FEM) dengan bantuan perangkat lunak FEM 2D. Material timbunan yaitu pasir laut untuk reklamasi di ambil dari lokasi quarry yang telah di survey dan dilakukan uji laboratorium.

Perlapisan tanah yang dimodelkan juga berdasarkan stratifikasi (perlapisan tanah) dari hasil penyelidikan tanah di lapangan. Untuk memudahkan pemodelan, perlapisan tanah eksisting yang dimodelkan disederhanakan menjadi 3 lapisan tanah. Sedangkan parameter tanah yang digunakan dalam pemodelan reklamasi ini diambil dari hasil penyelidikan hasil uji laboratorium maupun hasil korelasi pengujian lapangan (korelasi N-SPT).

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

- Sand Blanket setinggi 1.000 m
- Timbunan 1 setinggi 1.917 m
- Timbunan 2 setinggi 0.917 m
- Timbunan 3 setinggi 1.481 m
- Timbunan 4 setinggi 2.118 m
- Timbunan 5 setinggi 0.966 m
- Timbunan 6 setinggi 0.346 m
- Timbunan 7 setinggi 0.677 m
- Timbunan 8 setinggi 1.621 m
- Timbunan 9 setinggi 1.192 m
- Timbunan 10 setinggi 1.566 m

- Timbunan 11 setinggi 0.338 m

## 4.2 Analisa dengan metode 1D Terzaghi

### 4.2.1 Perhitungan penurunan

Pada analisa ini diasumsikan hanya lapisan tanah asli yang akan mengalami penurunan. Perhitungan dilakukan dengan menggunakan prinsip penurunan dari persamaan normally consolidated 1-D Terzaghi. Dengan  $H$  = Tebal lapisan,  $Z$  = Tebal Lapisan Tanah lunak di ambil per 0.50,  $Y$  = Berat tanah efektif,  $C_c$  = indeks kompresi tanah dapat di lihat pada Pers (2.17),  $e_o$  = angka pori awal di dapat di data Laboraturium,  $P_o$  = Tekanan Overbudden dapat dihitung dengan Pers (2.19)

$$\begin{aligned} H &= 9.000 \text{ m} \\ Z &= 8,75 \text{ m} \\ Y &= 16.13 \text{ kN/m}^3 \\ C_c &= 0.234 \\ e_o &= 1.096 \\ P_o &= 22,97 \end{aligned}$$

$\Delta P$  merupakan tegangan yang didapat dari beban tambahan yaitu dari sand blanket dan timbunan, dapat dicari dengan mengalikan  $\gamma$  masing-masing material terhadap ketebalan masing-masing material,  $\Delta P$  dapat di cari dengan menggunakan persamaan  $\Delta P = (\gamma_{\text{sand blanket}} * Z_{\text{sand blanket}}) + (\gamma_{\text{timbunan}} * Z_{\text{timbunan}})$ .

Dari data-data di atas, dihitung besar penurunan  $S_c$  (Pemampumampatan penurunan tanah) yang terjadi pada lapisan tanah lunak dan sudah di akumulasikan dengan Pers (2.15). Hasil perhitungan penurunan konsolidasi primer ditampilkan pada Tabel 4.1.

$$S_c = \frac{0.233 \times 4}{1 + 1.096} \text{Log} \left( \frac{22.97 + 8.75}{22.97} \right) = 3.132 \text{ m}$$

Tabel 4.1: Analisa penurunan timbunan 1-D Terzaghi untuk tanah terkonsolidasi normal.

Kedalaman Tanah Lunak			Tebal Tanah Lunak	Z	γ (kN/m <sup>3</sup> )	Yair (kN/m <sup>3</sup> )	P0'	ΔP (kN/m <sup>2</sup> )	P0'+ ΔP (kN/m <sup>2</sup> )	Cc	eo	Sc (m)
0.00	-	0.50	0.50	0.25	16.13	10	1.53	38.75	40.28	0.234	1.10	0.040
0.50	-	1.00	0.50	0.75	16.13	10	4.59	38.75	43.34	0.234	1.10	0.081
1.00	-	1.50	0.50	1.25	16.13	10	7.66	38.75	46.41	0.234	1.10	0.109
1.50	-	2.00	0.50	1.75	16.13	10	10.72	38.75	49.47	0.234	1.10	0.130
2.00	-	2.50	0.50	2.25	16.13	10	13.78	38.75	52.53	0.234	1.10	0.146
2.50	-	3.00	0.50	2.75	16.13	10	16.84	38.75	55.59	0.234	1.10	0.159
3.00	-	3.50	0.50	3.25	16.13	10	19.91	38.75	58.66	0.234	1.10	0.170
3.50	-	4.00	0.50	3.75	16.13	10	22.97	38.75	61.72	0.234	1.10	0.179
4.00	-	4.50	0.50	4.25	16.13	10	26.03	38.75	64.78	0.234	1.10	0.188
4.50	-	5.00	0.50	4.75	16.13	10	29.10	38.75	67.85	0.234	1.10	0.195
5.00		5.50	0.50	5.25	16.13	10	32.16	38.75	70.91	0.234	1.10	0.201
5.50		6.00	0.50	5.75	16.13	10	35.22	38.75	73.97	0.234	1.10	0.206
6.00		6.50	0.50	6.25	16.13	10	38.28	38.75	77.03	0.234	1.10	0.211
6.50		7.00	0.50	6.75	16.13	10	41.35	38.75	80.10	0.234	1.10	0.216
7.00		7.50	0.50	7.25	16.13	10	44.41	38.75	83.16	0.234	1.10	0.220
7.50		8.00	0.50	7.75	16.13	10	47.47	38.75	86.22	0.234	1.10	0.224
8.00		8.50	0.50	8.25	16.13	10	50.53	38.75	89.28	0.234	1.10	0.227
8.50		9.00	0.50	8.75	16.13	10	53.60	38.75	92.35	0.234	1.10	0.230
Total Penurunan Konsolidasi Setelah di Berikan Beban Timbunan												3.132

Dengan total penurunan konsolidasi primer sebesar 3.132 m, dilakukan perhitungan penurunan konsolidasi dengan nilai compression index (Cc) yang dikorelasi dengan menggunakan Persamaan (2.17) dan Persamaan (2.18), sebagai berikut :

$$C_c = 0.009 \times (50.21 - 10) = 0.360$$

Tabel 4.2: Analisa penurunan timbunan 1-D Terzaghi untuk tanah terkonsolidasi normal berdasarkan nilai  $C_c$  yang sudah dikorelasi dengan persamaan empiris.

Kedalaman Tanah Lunak		Tebal Tanah Lunak	Z	$\gamma$ ( $\text{kN/m}^3$ )	$\gamma_{air}$ ( $\text{kN/m}^3$ )	$P_0'$	$\Delta P$ ( $\text{kN/m}^2$ )	$P_0' + \Delta P$ ( $\text{kN/m}^2$ )	$C_c$	$e_0$	$S_c$ (m)	
0.00	-	0.50	0.50	0.25	16.13	10	1.53	38.75	40.28	0.182	1.10	0.031
0.50	-	1.00	0.50	0.75	16.13	10	4.59	38.75	43.34	0.182	1.10	0.063
1.00	-	1.50	0.50	1.25	16.13	10	7.66	38.75	46.41	0.182	1.10	0.085
1.50	-	2.00	0.50	1.75	16.13	10	10.72	38.75	49.47	0.182	1.10	0.101
2.00	-	2.50	0.50	2.25	16.13	10	13.78	38.75	52.53	0.182	1.10	0.113
2.50	-	3.00	0.50	2.75	16.13	10	16.84	38.75	55.59	0.182	1.10	0.124
3.00	-	3.50	0.50	3.25	16.13	10	19.91	38.75	58.66	0.182	1.10	0.132
3.50	-	4.00	0.50	3.75	16.13	10	22.97	38.75	61.72	0.182	1.10	0.140
4.00	-	4.50	0.50	4.25	16.13	10	26.03	38.75	64.78	0.182	1.10	0.146
4.50	-	5.00	0.50	4.75	16.13	10	29.10	38.75	67.85	0.182	1.10	0.151
5.00		5.50	0.50	5.25	16.13	10	32.16	38.75	70.91	0.182	1.10	0.156
5.50		6.00	0.50	5.75	16.13	10	35.22	38.75	73.97	0.182	1.10	0.161
6.00		6.50	0.50	6.25	16.13	10	38.28	38.75	77.03	0.182	1.10	0.164
6.50		7.00	0.50	6.75	16.13	10	41.35	38.75	80.10	0.182	1.10	0.168
7.00		7.50	0.50	7.25	16.13	10	44.41	38.75	83.16	0.182	1.10	0.171
7.50		8.00	0.50	7.75	16.13	10	47.47	38.75	86.22	0.182	1.10	0.174
8.00		8.50	0.50	8.25	16.13	10	50.53	38.75	89.28	0.182	1.10	0.177
8.50		9.00	0.50	8.75	16.13	10	53.60	38.75	92.35	0.182	1.10	0.179
Total Penurunan Konsolidasi Setelah di Berikan Beban Timbunan											2.436	

Total penurunan konsolidasi primer yang didapat dengan menggunakan  $C_c$  empiris adalah sebesar 2.436 m. Terdapat selisih 0.696 m diantara Tabel 4.1. dan Tabel 4.2. Perbedaan total penurunan konsolidasi primer tersebut disebabkan akibat nilai  $C_c$  yang diperoleh dari laboratorium berbeda dengan nilai  $C_c$  yang diperoleh dari persamaan empiris. Semakin besar nilai  $C_c$  maka penurunan yang dihasilkan pun semakin besar, karena  $C_c$  berbanding lurus dengan besar penurunan.

### 4.3 Perhitungan derajat konsolidasi secara analitis

#### 4.3.1 Derajat konsolidasi tanpa menggunakan PVD

Untuk menghitung lamanya waktu yang dibutuhkan untuk mencapai derajat konsolidasi 95% tanpa menggunakan PVD, perhitungan dilakukan dengan menggunakan metode konsolidasi 1D Terzaghi. Perhitungan diambil untuk waktu,  $t = 1$  hari:

$$C_v = 0.0050 \text{ m}^2/\text{hari}$$

Hdr = 4,5 m

Untuk menghitung faktor waktu ( $T_v$ ) digunakan Persamaan (2.10)

$$T_v \frac{0.050 \times 1}{4.5} = 0.096$$

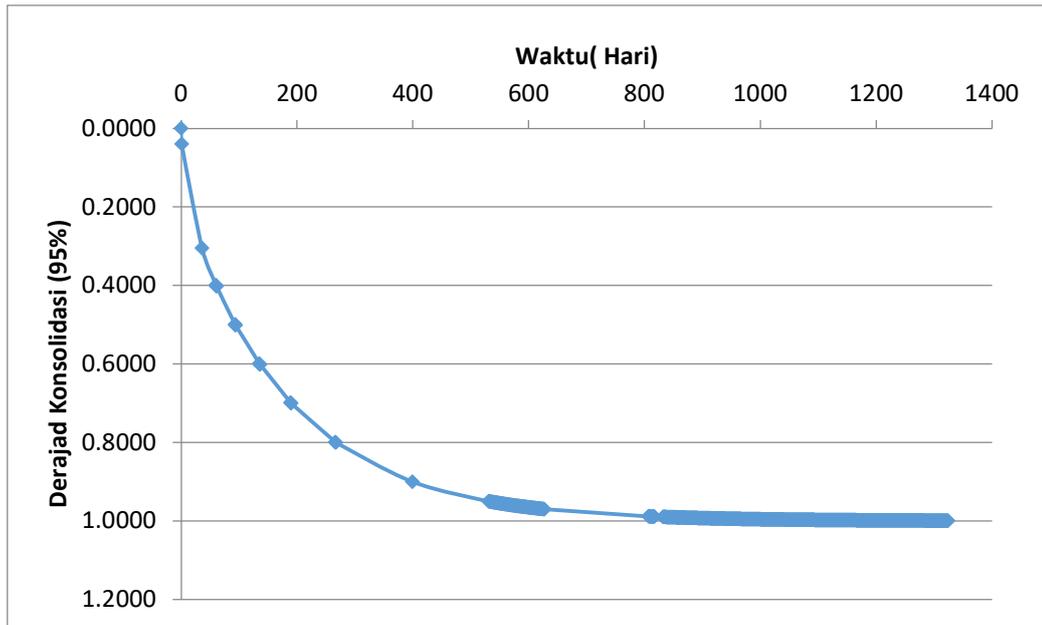
Untuk derajat konsolidasi arah vertical ( $U_v$ ) digunakan Persamaan (2.5) atau Persamaan (2.6),

$$U_v = \frac{\sqrt{\frac{4 \cdot 0.0050}{\pi}}}{\left(1 + \left(\frac{4 \cdot 0.0050}{\pi}\right)^{2,28}\right)^{0,179}} = 0.039$$

Hasil analisa derajat konsolidasi tanpa menggunakan PVD ditampilkan pada tabel 4.3 dan gambar 4.1

Tabel 4.3 :Analisa Derajat konsolidasi arah Verikal tanpa menggunakan PVD.

t (hari)	$T_v$	$U_v$	Penurunan (m)
0	0.00000	0.0000	0.000
1	0.00085	0.0394	0.096
2	0.00171	0.0452	0.110
4	0.00341	0.0564	0.137
5	0.00427	0.0618	0.151
6	0.00512	0.0671	0.163
7	0.00597	0.0722	0.176
8	0.00683	0.0773	0.188
9	0.00768	0.0822	0.200
10	0.00853	0.0870	0.212
40	0.03413	0.1956	0.477
80	0.06827	0.2884	0.702
551	0.47019	0.7454	1.816
609	0.51968	0.7747	1.887
1000	0.85333	0.9011	2.195
1324	1.12981	0.950	2.314



Gambar 4.1: Hubungan derajat konsolidasi (95%) terhadap waktu (1.324 hari) dengan menggunakan metode analitis tanpa menggunakan PVD.

#### 4.3.2 Derajat konsolidasi dengan menggunakan PVD

Untuk menghitung lamanya waktu yang dibutuhkan untuk mencapai derajat konsolidasi 95% dengan menggunakan PVD yang dipasang dengan pola segitiga dan jarak pemasangan adalah 1.600 m, perhitungan dilakukan dengan menggunakan teori konsolidasi dengan drainase vertikal oleh Barron.

Contoh perhitungan diambil untuk waktu,  $t = 1$  hari:

$$C_v = 0.0020 \text{ m}^2/\text{hari}$$

$$H_{dr} = 4.5 \text{ m}$$

Untuk menghitung faktor waktu vertical ( $T_v$ ) digunakan Pers (2.10)

$$T_v = \frac{0.0050x}{4.5^2} = 0.002$$

Untuk menghitung derajat konsolidasi arah vertical ( $U_v$ ) digunakan Pers (2.5) atau (2.6)

$$U_v = \frac{\sqrt{\frac{4 \cdot 0.0020}{\pi}}}{\left(1 + \left(\frac{4 \cdot 0.0020}{\pi}\right)^{2,28}\right)^{0,179}} = 0.045$$

Dilakukan pula perhitungan faktor waktu radial ( $T_r$ ) dengan menggunakan Pers (2.11), dimana nilai  $C_h$  dihitung dengan Pers (2.3) dan nilai  $D_e$  dihitung dengan Pers (2.26) karena pemasangan PVD dilakukan dengan pola segitiga.

$$C_v = 0.0020 \text{ cm}^2/\text{detik} = 0.0173 \text{ m}^2/\text{detik}$$

$$C_h = 1 \times 0.0173 = 0.0173$$

$$D_e = 1.05 \times 1.600 = 1.6800$$

$$T_r = \frac{0.0173x}{1.6800^2} = 0.0061$$

Masukkan ke Pers (2.7) untuk menentukan nilai derajat konsolidasi arah radial ( $U_r$ ), dimana nilai  $m$  dihitung dengan Pers (2.8)

$$m = 4.6414$$

$$U_r = 1 - \exp\left(\frac{-8 \times 0.0061}{4.6414}\right) = 0.011$$

Perhitungan derajat konsolidasi pada tanah yang distabilisasi dengan menggunakan PVD dapat dihitung dengan Pers (2.9)

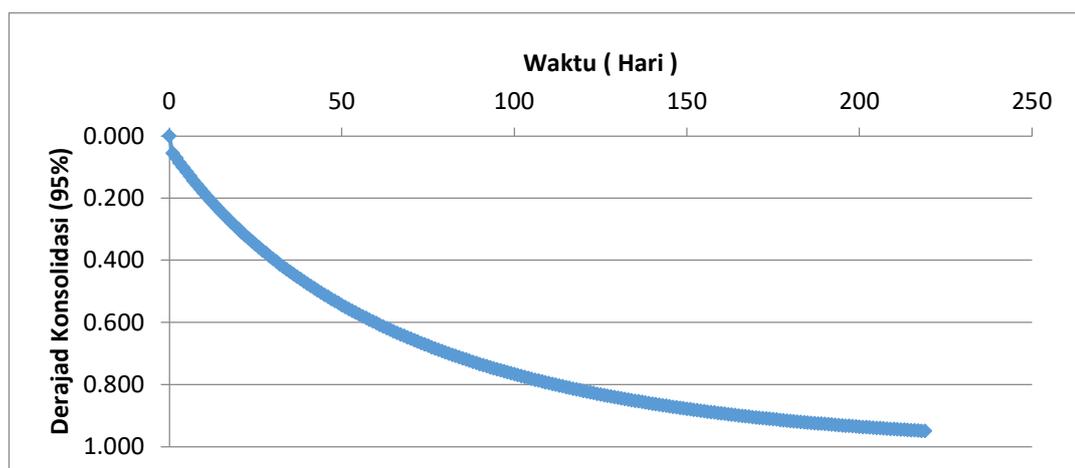
$$U = 1 - (1 - 0.955)(1 - 0.989) = 0.055$$

Hasil analisa derajat konsolidasi dengan menggunakan PVD yang dipasang dengan pola segitiga dan jarak pemasangan adalah 1.600 m ditampilkan pada Tabel 4.4 dan Gambar 4.2.

Tabel 4.4: Analisa derajat konsolidasi menggunakan PVD dengan pola segitiga dan jarak 1.600 m.

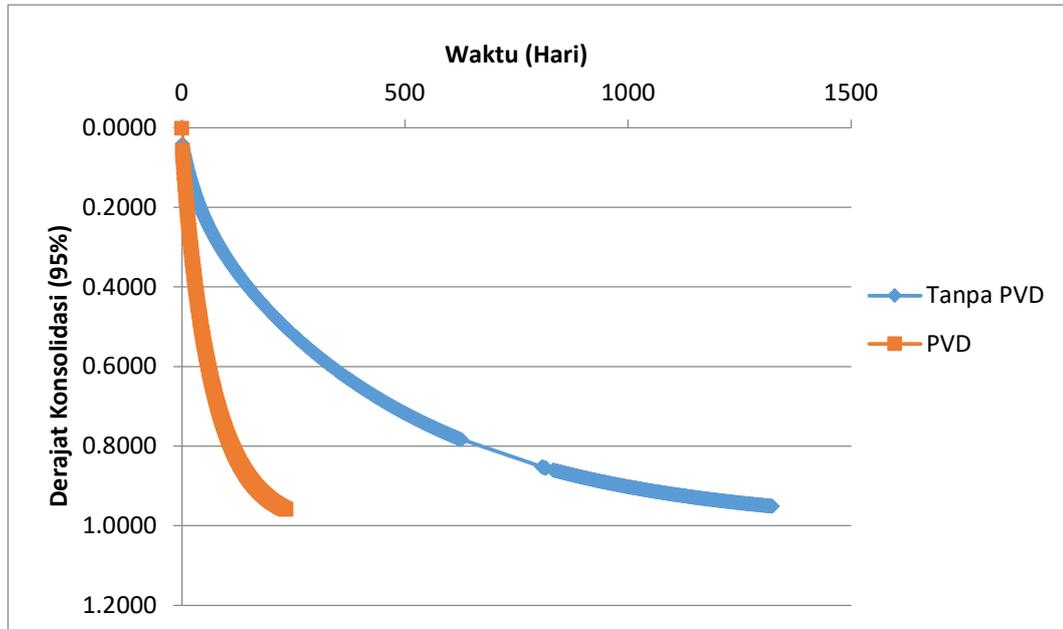
t (Days)	$T_v$	$U_v$	$1-U_v$	$T_r$	$U_r=1-e^{-\frac{c}{8T_r/m}}$	$(1-U_r)$	$U=1-(1-U_v)*(1-U_r)$	Sc (m)
0	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000
1	0.001	0.045	0.955	0.006	0.011	0.989	0.055	0.128
2	0.002	0.051	0.949	0.012	0.021	0.979	0.071	0.164
7	0.006	0.077	0.923	0.043	0.072	0.928	0.143	0.332
9	0.008	0.087	0.913	0.055	0.091	0.909	0.170	0.394
10	0.009	0.092	0.908	0.061	0.101	0.899	0.183	0.424
50	0.043	0.225	0.775	0.306	0.412	0.588	0.544	1.260
180	0.154	0.441	0.559	1.102	0.852	0.148	0.917	2.124
216	0.184	0.484	0.516	1.322	0.899	0.101	0.948	2.194
217	0.185	0.485	0.515	1.329	0.900	0.100	0.949	2.196
218	0.186	0.486	0.514	1.335	0.901	0.099	0.949	2.197
219	0.187	0.487	0.513	1.341	0.902	0.098	0.950	2.199

Dari Tabel 4.4. dapat dilihat bahwa waktu yang dibutuhkan untuk mencapai derajat konsolidasi 95% dengan penggunaan PVD yang dipasang dengan jarak 1.600 m dan pola segitiga adalah 219 hari.



Gambar 4.2.: Hubungan derajat konsolidasi (95%) terhadap waktu (219 hari) dengan menggunakan metode analitis dengan menggunakan PVD pola segitiga spasi 1.600 m.

Gambar 4.3. menunjukkan perbandingan lamanya hari untuk mencapai derajat konsolidasi ( $U$ ) = 95%, antara penggunaan PVD dan tanpa PVD. Dari grafik tersebut diperoleh perbedaan waktu yang sangat besar untuk mencapai derajat konsolidasi 95%.



Gambar 4.3: Grafik perbandingan lamanya hari untuk mencapai derajat konsolidasi (95%) antara menggunakan PVD dan tanpa menggunakan PVD.

#### 4.4 Perhitungan derajat konsolidasi berdasarkan pola dan jarak pemasangan PVD yang bervariasi

##### 4.4.1 Derajat konsolidasi dengan pola segitiga dan jarak PVD 1.400 m

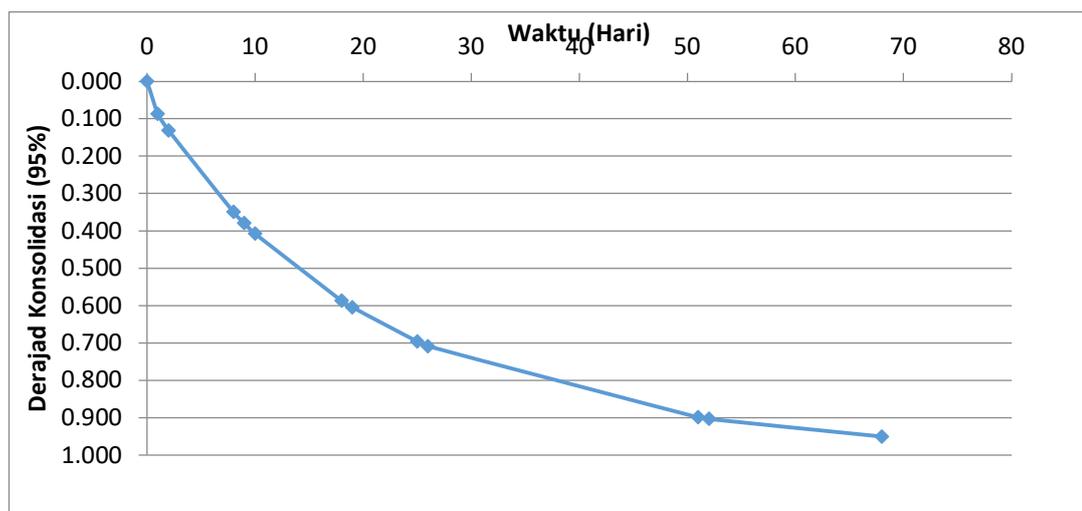
Dilakukan perhitungan yang sama seperti yang ditunjukkan pada bagian 4.3.2. Tetapi nilai  $D_e$  yang digunakan berbeda dikarenakan jarak pemasangan PVD yang berbeda pula. Digunakan Persamaan (2.26) untuk menentukan nilai  $D_e$ ,

$$D_e = 1.050 \times 1.400 = 1.470 \text{ m}$$

Dengan nilai  $D_e$  yang baru dilakukan perhitungan derajat konsolidasi. Hasil analisa derajat konsolidasi dengan menggunakan PVD yang dipasang dengan pola segitiga dan jarak pemasangan adalah 1.400 m ditampilkan pada Tabel 4.5. dan Gambar 4.4.

Tabel 4.5 :Analisa Derajat konsolidasi menggunakan PVD dengan pola segitiga dan jarak 1.400 m.

t	$T_v$	$U_v$	$1-U_v$	$T_r$	$U_r=1-e^{-\frac{c}{8T_r/m}}$	$(1-U_r)$	$U=1-(1-U_v)*(1-U_r)$	$S_c$
(Days)								(m)
0	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000
1	0.001	0.045	0.955	0.008	0.014	0.986	0.059	0.136
2	0.002	0.051	0.949	0.016	0.028	0.972	0.078	0.180
8	0.007	0.082	0.918	0.064	0.108	0.892	0.182	0.420
9	0.008	0.087	0.913	0.072	0.121	0.879	0.197	0.457
10	0.009	0.092	0.908	0.080	0.134	0.866	0.213	0.493
18	0.015	0.126	0.874	0.144	0.227	0.773	0.325	0.752
100	0.085	0.327	0.673	0.800	0.762	0.238	0.839	1.943
160	0.137	0.416	0.584	1.279	0.899	0.101	0.941	2.179
161	0.137	0.417	0.583	1.287	0.901	0.099	0.942	2.181
162	0.138	0.419	0.581	1.295	0.902	0.098	0.943	2.183
167	0.143	0.425	0.575	1.335	0.909	0.091	0.948	2.194
168	0.143	0.426	0.574	1.343	0.910	0.090	0.948	2.196
169	0.144	0.428	0.572	1.351	0.911	0.089	0.949	2.198
170	0.145	0.429	0.571	1.359	0.913	0.087	0.950	2.199



Gambar 4.4: Hubungan derajat konsolidasi (95%) terhadap waktu (170 hari) dengan metode analitis menggunakan PVD pola segitiga dengan spasi 1.400 m.

#### 4.4.2 Derajat konsolidasi dengan pola segitiga dan jarak PVD

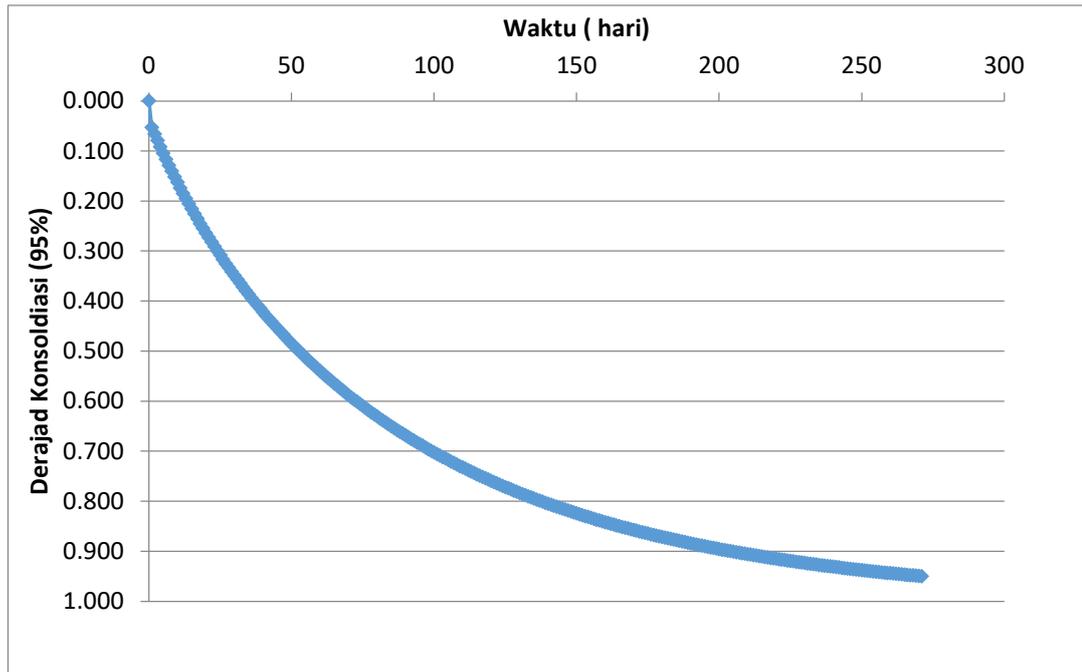
Dilakukan perhitungan yang sama seperti yang ditunjukkan pada bagian 4.3.2. Tetapi nilai  $D_e$  yang digunakan berbeda dikarenakan jarak pemasangan PVD yang berbeda pula. Digunakan Pers (2.26) untuk menentukan nilai  $D_e$ ,

$$D_e = 1.050 \times 1.800 = 1.890 \text{ m}$$

Dengan nilai  $D_e$  yang baru dilakukan perhitungan derajat konsolidasi. Hasil analisa derajat konsolidasi dengan menggunakan PVD yang dipasang dengan pola segitiga dan jarak pemasangan adalah 1.800 m ditampilkan pada Tabel 4.6. dan Gambar 4.5 .Tabel 4.6. Analisa derajat konsolidasi menggunakan PVD dengan pola segitiga dan jarak 1.800 m

Tabel 4.6: Analisa derajat konsolidasi menggunakan PVD dengan pola segitiga dan jarak 1.800.

<b>t</b>	<b><math>T_v</math></b>	<b><math>U_v</math></b>	<b><math>1-U_v</math></b>	<b><math>T_r</math></b>	<b><math>U_r=1-e^{-\frac{c}{8T_r/m}}</math></b>	<b><math>(1-U_r)</math></b>	<b><math>U=1-(1-U_v)*(1-U_r)</math></b>	<b><math>S_c</math></b>
<b>(Days)</b>								<b>(m)</b>
0	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000
1	0.001	0.045	0.955	0.005	0.008	0.992	0.053	0.123
2	0.002	0.051	0.949	0.010	0.016	0.984	0.066	0.153
3	0.003	0.056	0.944	0.015	0.024	0.976	0.079	0.183
11	0.009	0.096	0.904	0.053	0.086	0.914	0.174	0.402
50	0.043	0.225	0.775	0.242	0.335	0.665	0.484	1.122
99	0.084	0.325	0.675	0.479	0.554	0.446	0.699	1.618
100	0.085	0.327	0.673	0.484	0.558	0.442	0.702	1.625
120	0.102	0.359	0.641	0.580	0.624	0.376	0.759	1.757
150	0.128	0.402	0.598	0.726	0.706	0.294	0.824	1.908
220	0.188	0.488	0.512	1.064	0.834	0.166	0.915	2.118
270	0.230	0.540	0.460	1.306	0.889	0.111	0.949	2.197
271	0.231	0.541	0.459	1.311	0.890	0.110	0.950	2.199



Gambar 4.5: Hubungan derajat konsolidasi (95%) terhadap waktu (271 Hari) dengan metode analitis menggunakan pola segitiga jarak 1.800 m.

#### 4.4.3 Analisa derajat konsolidasi dengan pola persegi dan jarak PVD 1.600m

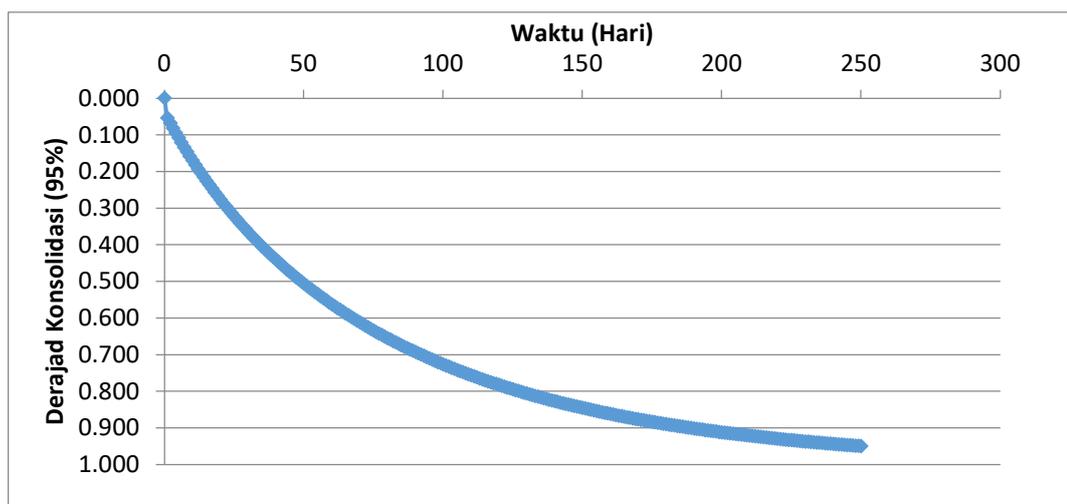
Dilakukan perhitungan yang sama seperti yang ditunjukkan pada bagian 4.3.2. Tetapi nilai  $D_e$  yang digunakan berbeda dikarenakan jarak pemasangan PVD yang berbeda pula. Digunakan Pers (2.26) untuk menentukan nilai  $D_e$ ,

$$D_e = 1.130 \times 1.600 = 1.808 \text{ m}$$

Dengan nilai  $D_e$  yang baru dilakukan perhitungan derajat konsolidasi. Hasil analisa derajat konsolidasi dengan menggunakan PVD yang dipasang dengan pola persegi dan jarak pemasangan adalah 1.600 m ditampilkan pada Tabel 4.7. dan Gambar 4.6.

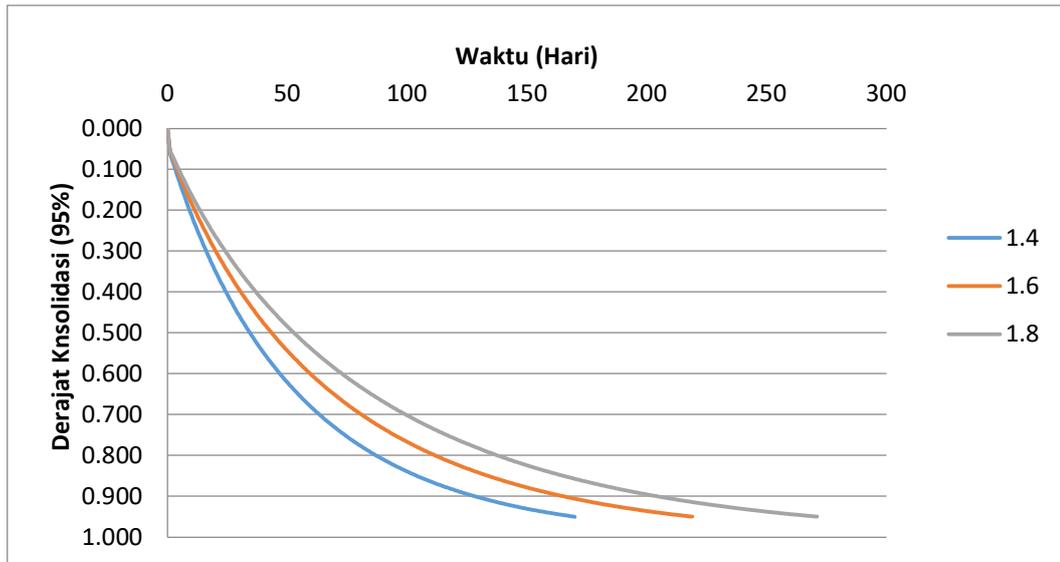
Tabel 4.7: Analisa derajat konsolidasi (95%) menggunakan PVD dengan pola persegi dan jarak 1.600 m.

t (Days)	$T_v$	$U_v$	$1-U_v$	$T_r$	$U_r=1-e^{-\frac{c}{8T_r/m}}$	$(1-U_r)$	$U=1-(1-U_v)*(1-U_r)$	$S_c$ (m)
0	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000
1	0.001	0.045	0.955	0.005	0.009	0.991	0.054	0.125
10	0.009	0.092	0.908	0.053	0.086	0.914	0.170	0.393
50	0.043	0.225	0.775	0.264	0.363	0.637	0.506	1.171
100	0.085	0.327	0.673	0.529	0.594	0.406	0.726	1.682
130	0.111	0.374	0.626	0.687	0.690	0.310	0.806	1.866
179	0.153	0.440	0.560	0.946	0.801	0.199	0.888	2.057
220	0.188	0.488	0.512	1.163	0.862	0.138	0.929	2.152
233	0.199	0.502	0.498	1.232	0.877	0.123	0.939	2.174
238	0.203	0.508	0.492	1.258	0.883	0.117	0.942	2.181
239	0.204	0.509	0.491	1.263	0.884	0.116	0.943	2.183
240	0.205	0.510	0.490	1.269	0.885	0.115	0.944	2.184
241	0.206	0.511	0.489	1.274	0.886	0.114	0.944	2.186
249	0.212	0.519	0.481	1.316	0.894	0.106	0.949	2.197
250	0.213	0.520	0.480	1.322	0.895	0.105	0.950	2.198

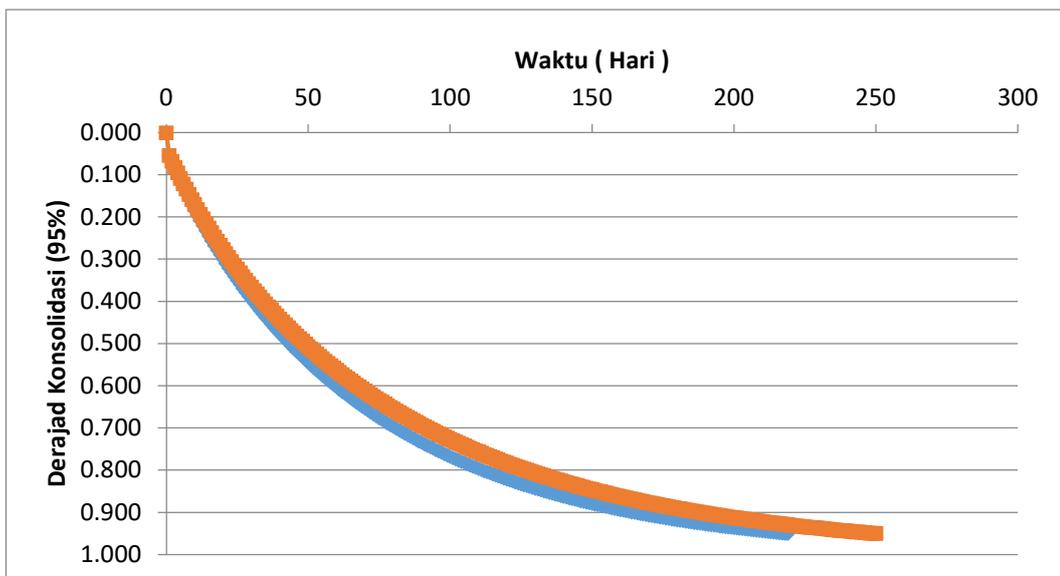


Gambar 4.6: Hubungan derajat konsolidasi (95%) terhadap waktu (250 Hari) dengan metode analitis menggunakan PVD pola persegi dengan jarak 1.600 m.

Gambar 4.7. menunjukkan grafik derajat konsolidasi terhadap waktu dengan penggunaan PVD berdasarkan pola pemasangan segitiga dan variasi jarak pemasangan antar PVD (1.4 m, 1.6 m, dan 1.8 m). Sedangkan Gambar 4.8. menunjukkan grafik waktu terhadap derajat konsolidasi dengan penggunaan PVD berdasarkan jarak pemasangan antar PVD 1.6 meter dan pola pemasangan yang bervariasi (segitiga dan persegi).



Gambar 4.7: Hubungan derajat konsolidasi (95%) terhadap waktu berdasarkan pola segitiga dan jarak spasi PVD yang bervariasi.



Gambar 4.8: Hubungan Derajat konsolidasi (95%) terhadap waktu berdasarkan pada jarak 1.600 m dengan pola bervariasi.

Tabel 4.8: Hubungan derajat konsolidasi (95%) dan waktu berdasarkan kepada pola segitiga dan persegi serta jarak pemasangan PVD yang bervariasi.

Variasi pemasangan PVD		U = 95%
		Hari
Segitiga	1.6	219
	1.4	170
	1.8	271
Persegi	1.6	250

Berdasarkan Gambar 4.7 Gambar 4.8 dan Tabel 4.8 dapat disimpulkan bahwa semakin dekat jarak pemasangan PVD maka jarak tempuh air akan semakin pendek sehingga waktu yang dibutuhkan juga semakin cepat.

#### 4.5 Verifikasi pemodelan *Vercikal Drains*

Pada Bab II, telah dijelaskan beberapa cara pengekuivalenan vertical drain yang dipasang setempat-setempat menjadi menerus (plane strain). Pada Tugas Akhir ini verifikasi pengekuivalenan dilakukan dengan cara:

1. Di ambil (satu) segmen *Vertikal Drain* yang terpasang di lapangan ukuran 160 x 160 cm<sup>2</sup>
2. Menentukan jari – jari ekivalen PVD dengan Pers (2.31) dan Pers (2.32)

$$dw = \frac{2(10+0.500)}{\pi} = 0.0699 \text{ m}$$

$$rw = \frac{0.0699}{2} = 0.0334 \text{ m}$$

3. Menentukan diameter *mandrel* dengan Pers (2.28)

$$dm = \sqrt{\frac{4(72.000)}{\pi}} = 9.5770 \text{ cm}$$

4. Menentukan jari jari ekivalen Smear Zone dengan Pers (2.27)

$$ds = 3 \times 9.5770 = 28.7311 \text{ cm}$$

$$rs = \frac{28.7311}{2} = 0.1437 \text{ m}$$

5. Menentukan jari-jari ekuivalen zona pengaruh PVD, dengan Persamaan (2.25)

$$de = 1.05 \times 160 = 168 \text{ cm}$$

$$re = \frac{168}{2} = 84 \text{ cm}$$

6. Menentukan setengah ukuran vertical drain untuk kondisi axisymmetry Data  
Jarak pemasangan antar PVD = 160 \* 160 cm

$$R = \sqrt{\frac{160 \times 160}{\pi}} = 90.300 \text{ cm}$$

Dengan menggunakan data parameter yang ada, maka dilakukan analisis untuk mendapatkan faktor koefisiensi ekuivalensi dari permeabilitas tanah untuk model axisymmetry kepada permeabilitas tanah model plane strain. Yaitu menggunakan Pers (2.33) yaitu menurut D.Russell,dkk, 1995:

Dengan :

- $B = 0.800 \text{ m}$
- $R = 0.903 \text{ m}$
- $S = \frac{rs}{rw} = \frac{0.1437}{0.0334} = 4.296$
- $n = \frac{re}{rw} = \frac{0.8400}{0.00334} = 25.120$
- $K_S = \frac{Kx}{s}$

Maka :

- $\frac{2(0.800)^2}{3} \times kax = (0.903)^2 \times kpl \left[ \ln \left( \frac{25.120}{4.296} \right) + \left( \frac{kax}{ks} \right) \ln (4.296) - \frac{3}{4} \right]$

$$\text{Diperoleh hasil } Krpl = \frac{Krax}{2.5}$$

#### 4.6 Verifikasi pemodelan PVD dengan Metode Elemen Hingga

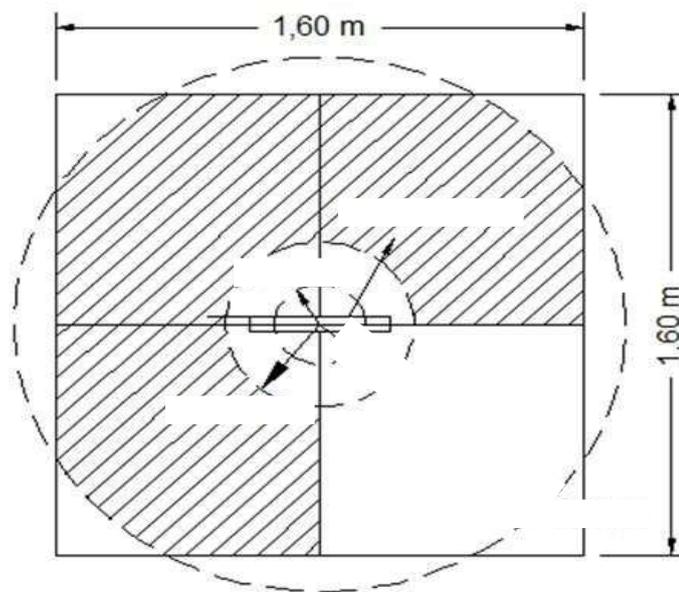
Pada Tugas Akhir ini proses verifikasi pengekuivalenan dapat dilakukan beberapa tahapan yang dilakukan, tahap pertama yaitu proses ekuivalensi kondisi lapangan ke kondisi pemodelan axisymmetry yang ditunjukkan pada Gambar 4.11(a). Analisa dibuat seperempat dari luasan daerah pengaruh PVD yang dimodelkan dalam kondisi axisymmetry dan Gambar 4.11(b) menunjukkan pemodelan axisymmetry yang diubah menjadi plane strain. Tahap kedua ini dibuat dengan melakukan penyamaan (trial) grafik derajat konsolidasi koefisien permeabilitas kondisi axisymmetry ke kondisi plane strain.

Proses ekuivalensi atau verifikasi PVD pada kondisi lapangan ke kondisi pemodelan axisymmetry dapat dilihat pada Gambar 4.10.

#### 4.7 Analisa *Unit Sell*

Dilapangan pola penanaman PVD dilakukan secara setempat-setempat dengan jarak yang tertentu, sedangkan pada program FEM pengimplementasian PVD bersifat menerus (plan strain). Untuk itu terlebih dahulu dilakukan verifikasi ke dalam bentuk unit *sell axisymetris* dengan koefisien permeabilitas kondisi *axisymetris* dan kemudian menyamakan debit air yang sama dengan kondisi plan strain dalam bentuk unit *sell plan strain*.

Disaat pemasangan PVD pada tanah lunak dengan menggunakan mandrel akan membuat tanah disekeliling mandrel terganggu atau disebut *smear zone*. Ketergangguan pada tanah tersebut menyebabkan nilai permeabilitas pada daerah *smear zone* memiliki nilai permeabilitas yang kecil, oleh karena itu pada analisis numerik pengaruh dari mandrel harus diperhitungkan.



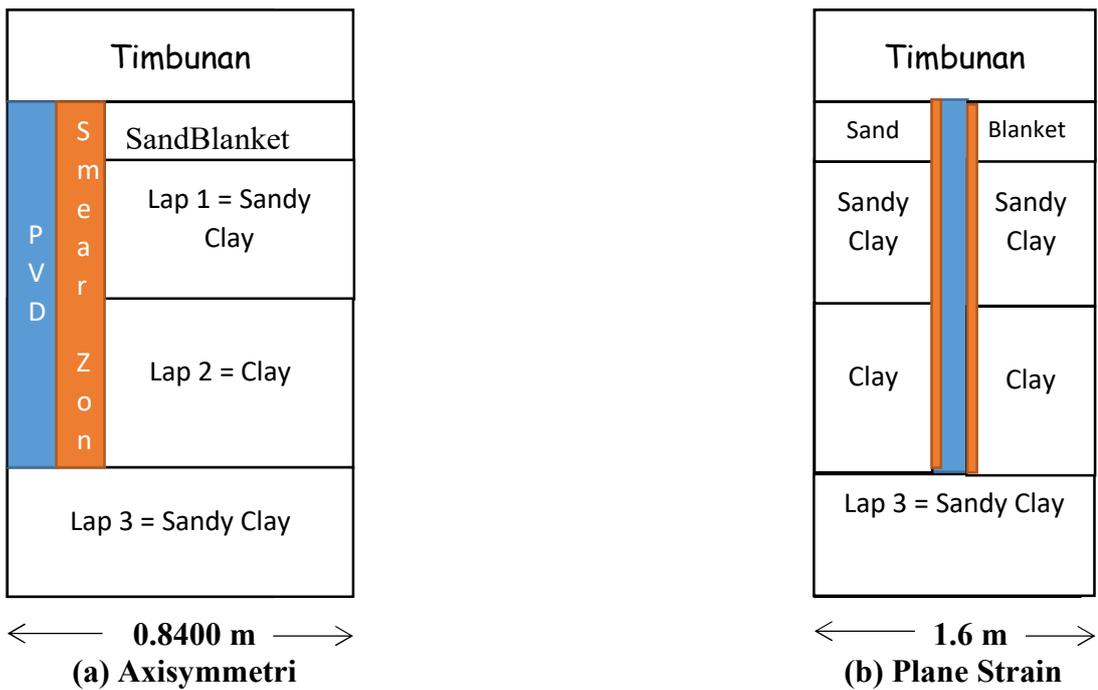
Gambar 4.9: *Plan* verifikasi PVD.

Tabel 4.9: Geometri untuk Analisis *Unit Sell*.

Kedalaman (m)	rw	rs	Re	Dw	ds	de
9	0.0334	0.1437	0.8400	0.699	0.287	1.680

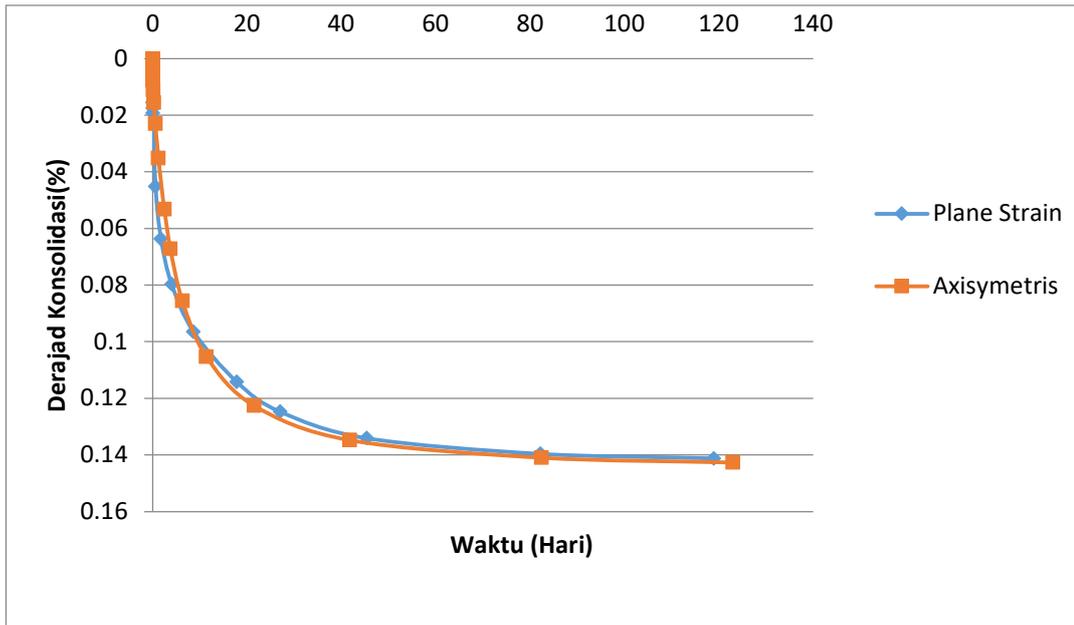
Tabel 4.10: Koefisien Permeabilitas untuk Analisis *Unit Sell*.

Material	Kondisi Axisymmetris		Kondisi Plane Strain		Keterangan
	Kx (mm/hari)	Ky (mm/hari)	Kx (mm/hari)	Ky (mm/hari)	
Sandy Clay	8.640x10-4	4320x10-4	2.980E-04	1.490E-04	Non Smear
Smear Zone 0-4 – 0-9	4.320E-04	2.160E-04	–	–	Smear = krs=kr/2)
	4.320E-03	2.160E-03	–	–	
Clay	8640x10-3	4320x10-3	2.980E-03	1.490E-03	Non Smear
Smear Zone 0-4 – 0-9	–	–	1.030E-04	5.140E-05	Smear = krs=kr/2. 9)
	–	–	1.030E-03	5.140E-04	

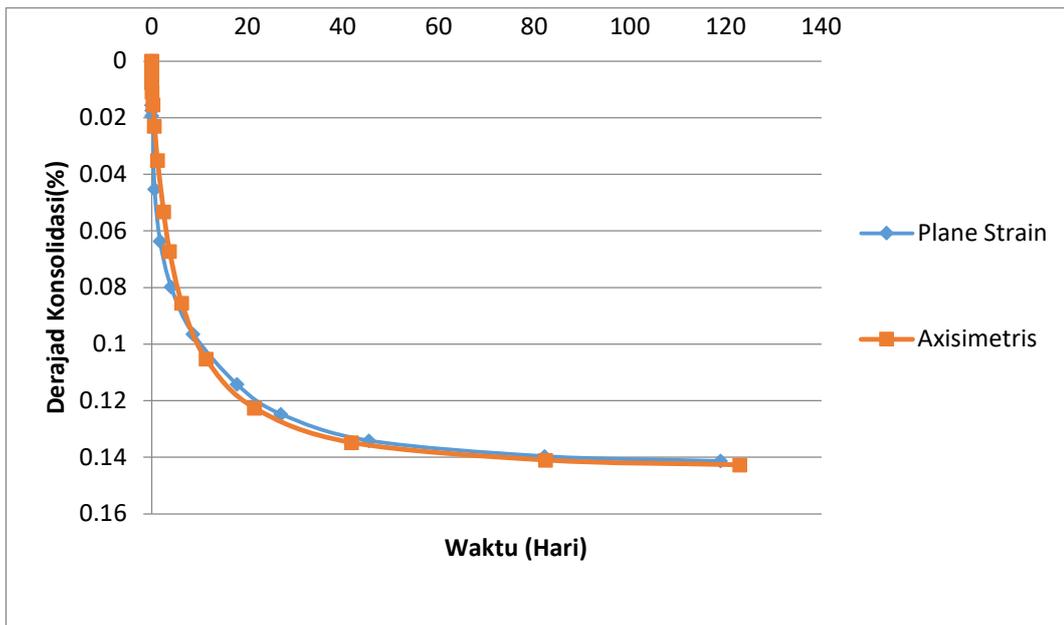


Gambar 4.10: Bentuk Pemodelan dari (a) Axisymmetri dan (b) Plane Strain untuk pengamatan derajat konsolidasi.

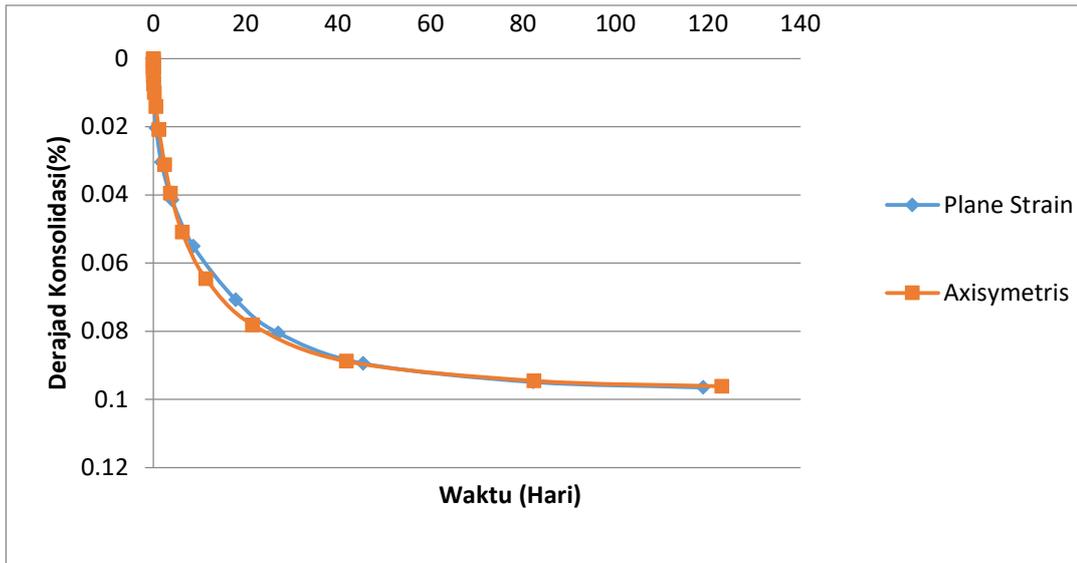
Perbandingan nilai permeabilitas axisymmetry ( $k_{ax}$ ) dan permeabilitas plane strain ( $k_{pl}$ ) yang diperoleh ditunjukkan pada Gambar 4.11. sampai Gambar 4.14. yang merupakan hubungan antara derajat konsolidasi terhadap waktu di bawah ini:



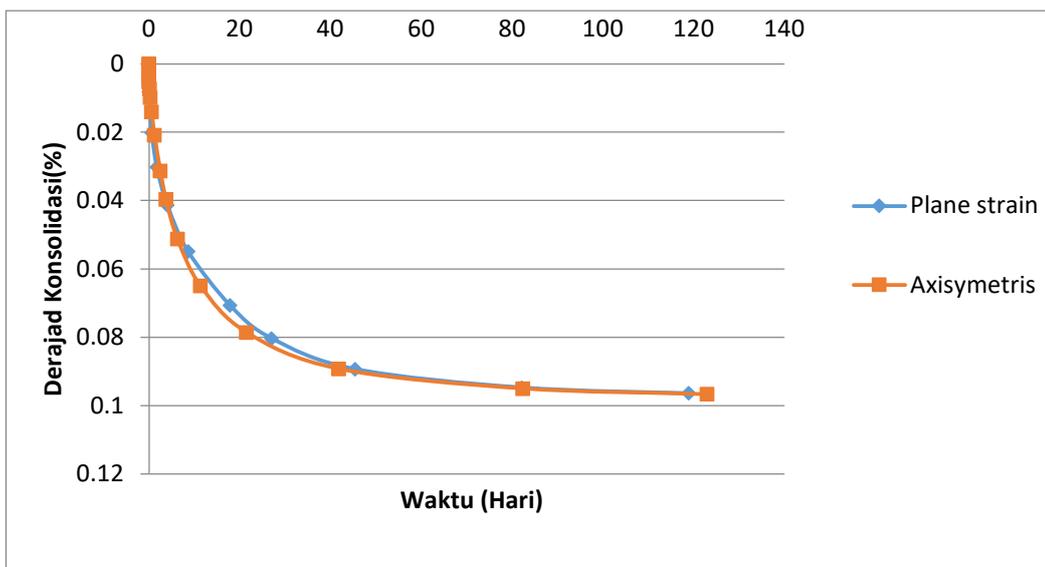
Gambar 4.11: Derajat konsolidasi dan waktu konsolidasi di titik nodal A pada kondisi axisymmetry dan plane strain.



Gambar 4.12: Derajat konsolidasi dan waktu konsolidasi di titik nodal B pada kondisi axisymmetry dan plane strain.



Gambar 4.13: Derajat konsolidasi dan waktu konsolidasi di titik nodal C pada kondisi axisymmetry dan plane strain.

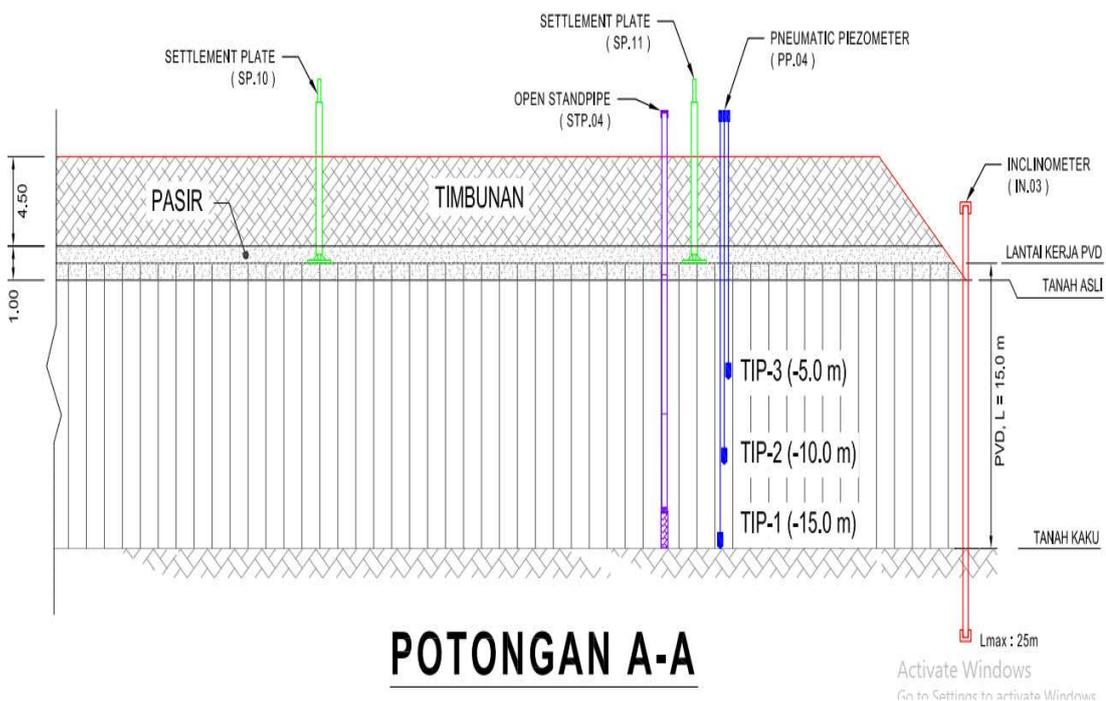


Gambar 4.14: Derajat konsolidasi dan waktu konsolidasi di titik nodal D pada kondisi axisymmetry dan plane strain.

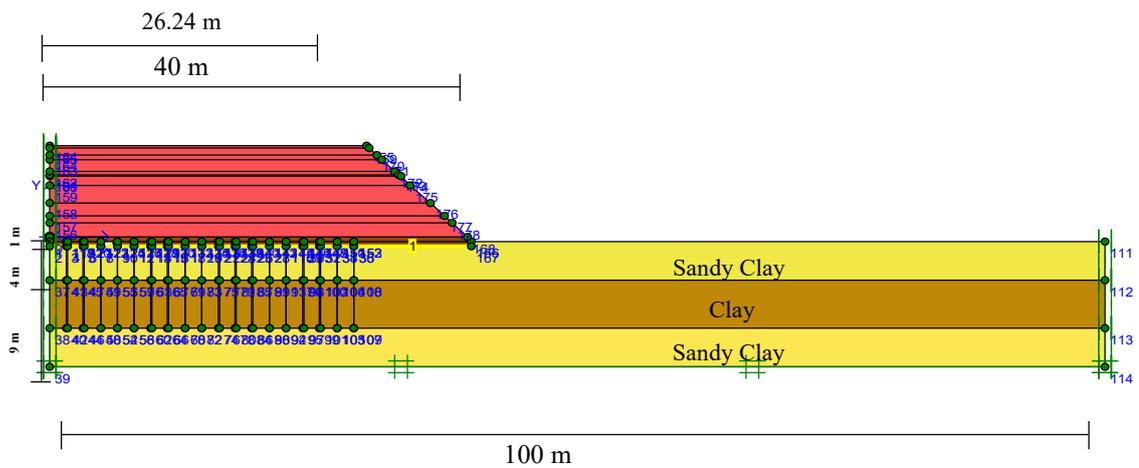
Dari Gambar 4.11. sampai Gambar 4.14. di atas menunjukkan bahwa laju konsolidasi plane strain dan axisymmetry menunjukkan grafik yang hampir sama. Hal ini berarti bahwa kondisi pemodelan plane strain sudah mewakili keadaan axisymmetry untuk kemudian dilanjutkan ke pemodelan sebenarnya, yaitu model skala penuh.

#### 4.8 Perhitungan penurunan dan waktu konsolidasi tanah lunak secara Metode Elemen Hingga

Pada sub-bab ini perhitungan besarnya penurunan dan waktu konsolidasi tanah lunak pada proyek Pembangunan *Terminal Purpose* di pembangunan Kuala Tanjung akan dihitung dengan menggunakan program Metode Elemen Hingga dengan kondisi tanah yang juga digunakan pada perhitungan secara analitis. Penampang melintang dari proyek Pembangunan *Terminal Purpose* di pembangunan Kuala Tanjung ditunjukkan dalam Gambar 4.15. Berdasarkan gambar tersebut dibuatlah suatu model geometri yang ditampilkan pada Gambar 4.15.



Gambar 4.15: Gambar Potongan Tampak samping perencanaan proyek pembangunan *Terminal Purpose* di Pembangunan Kuala Tanjung.



Gambar 4.16: Pemodelan geometri proyek *Terminal Purpose* di Kuala Tanjung.

Tabel 4.11: Parameter tanah ketika model skala penuh.

Parameter	Kedalaman					
	0 – 4	4 – 9	9 – 13	0 - 9		
Jenis tanah	Sandy clay	Clay	Sandy Clay	PVD	Timbunan	Sand Blanket
Tipe	Undrained	Undrained	Undrained	Drained	Drained	Drained
N-SPT	2	3	5			
$\gamma_{sat}$ (kN/m <sup>3</sup> )	15.8	16	16	19	18	18
$\gamma_{dry}$ (kN/m <sup>3</sup> )	10	10	10	10	10	10
Kohesi (kN/m <sup>2</sup> )	10	10	10	5	10	5
Sudut geser ( $\phi$ )	25	25	25	25	30	30
E (kN/m <sup>2</sup> )	3000	1000	1000	1000	7000	1000
Kx	0.000298	0.00298	0.001728	77.000	8.64	8.64
Ky	0.000149	0.00149	0.000864	77.000	8.64	8.64
Poison Ratio ( $\mu$ )	0.3	0.25	0.3	0.2	0.3	0.3

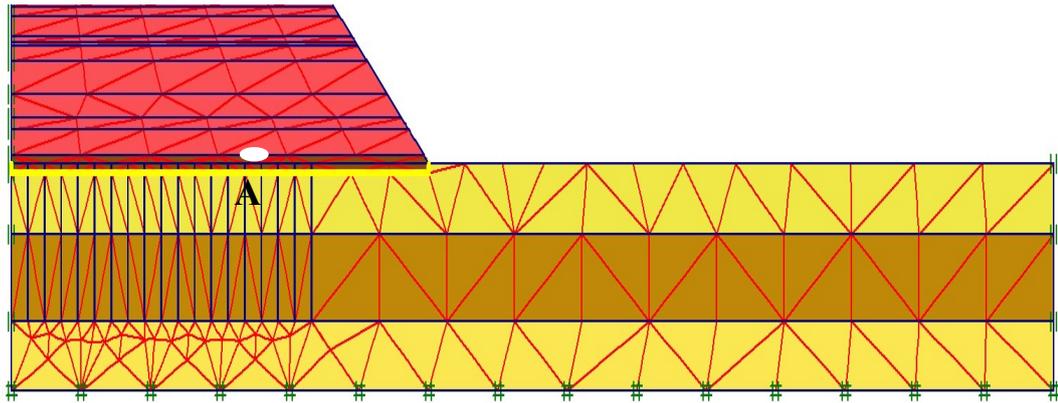
Tabel 4.12 : Tahapan perhitungan pada pemodelan FEM.

Identifikasi	No. tahap	Mulai dari	Perhitungan	Masukan pembebanan	Waktu	Air	Pertama	Terakhir
Tahap awal	0	0	N/A	N/A	0.00 hari	0	0	0
GALIAN	1	0	Analisa plastis	Tahapan konstruksi	0.00 hari	1	1	3
GEOTEKSTIL	2	1	Analisa plastis	Tahapan konstruksi	0.00 hari	2	4	7
SB 1	3	2	Analisa plastis	Tahapan konstruksi	1.00 hari	3	8	9
KONSOLIDASI	4	3	Analisa konsolidasi	Tahapan konstruksi	30.00 hari	3	10	11
SB2	5	4	Analisa plastis	Tahapan konstruksi	1.00 hari	5	12	14
KONSOLIDASI	6	5	Analisa konsolidasi	Tahapan konstruksi	30.00 hari	5	15	16
PVD	7	6	Analisa plastis	Tahapan konstruksi	2.00 hari	7	17	18
BEBAN 1	8	7	Analisa plastis	Tahapan konstruksi	1.00 hari	8	19	23
KONSOLIDASI	9	8	Analisa konsolidasi	Tahapan konstruksi	26.00 hari	8	24	24
BEBAN 2	10	9	Analisa plastis	Tahapan konstruksi	1.00 hari	10	25	28
KONSOLIDASI	11	10	Analisa konsolidasi	Tahapan konstruksi	29.00 hari	10	29	31
BEBAN 3	12	11	Analisa plastis	Tahapan konstruksi	1.00 hari	12	32	36
KONSOLIDASI	13	12	Analisa konsolidasi	Tahapan konstruksi	31.00 hari	12	37	40
BEBAN 4	14	13	Analisa plastis	Tahapan konstruksi	1.00 hari	14	41	45
KONSOLIDASI	15	14	Analisa konsolidasi	Tahapan konstruksi	30.00 hari	14	46	50
BEBAN 5	16	15	Analisa plastis	Tahapan konstruksi	1.00 hari	16	51	54
KONSOLIDASI	17	16	Analisa konsolidasi	Tahapan konstruksi	31.00 hari	16	55	57
BEBAN 6	18	17	Analisa plastis	Tahapan konstruksi	1.00 hari	18	58	59
KONSOLIDASI	19	18	Analisa konsolidasi	Tahapan konstruksi	30.00 hari	18	60	61
BEBAN 7	20	19	Analisa plastis	Tahapan konstruksi	1.00 hari	20	62	63
KONSOLIDASI	21	20	Analisa konsolidasi	Tahapan konstruksi	31.00 hari	20	64	65
BEBAN 8	22	21	Analisa plastis	Tahapan konstruksi	1.00 hari	22	66	71
KONSOLIDASI	23	22	Analisa konsolidasi	Tahapan konstruksi	31.00 hari	22	72	73
BEBAN 9	24	23	Analisa plastis	Tahapan konstruksi	1.00 hari	24	74	75
KONSOLIDASI	25	24	Analisa konsolidasi	Tahapan konstruksi	30.00 hari	24	76	77
BEBAN 10	26	25	Analisa plastis	Tahapan konstruksi	1.00 hari	26	78	79
KONSOLIDASI	27	26	Analisa konsolidasi	Tahapan konstruksi	31.00 hari	26	80	81
BEBAN 11	28	27	Analisa plastis	Tahapan konstruksi	1.00 hari	28	82	83
KONSOLIDASI	29	28	Analisa konsolidasi	Tahapan konstruksi	30.00 hari	28	84	85
SF	30	29	Reduksi phi-c	Peningkatan faktor pengali	0.00 hari	28	86	185

Tabel 4.11. hampir sama dengan Tabel 3.2. yang membedakan adalah nilai parameter  $K_x$  yang berada pada daerah smear zone. Dimana  $K_x$  pada parameter skala penuh yang berada pada daerah smear zone dibagi 2.5 terhadap parameter  $K_x$  pada kondisi axisymmetry Nilai ini diambil dari hasil pengekuivalenan yang telah dihitung pada sub-bab 4.5 dan Tabel 4.11 tahapan perhitungan yang akan dilakukan pada pemodelan FEM

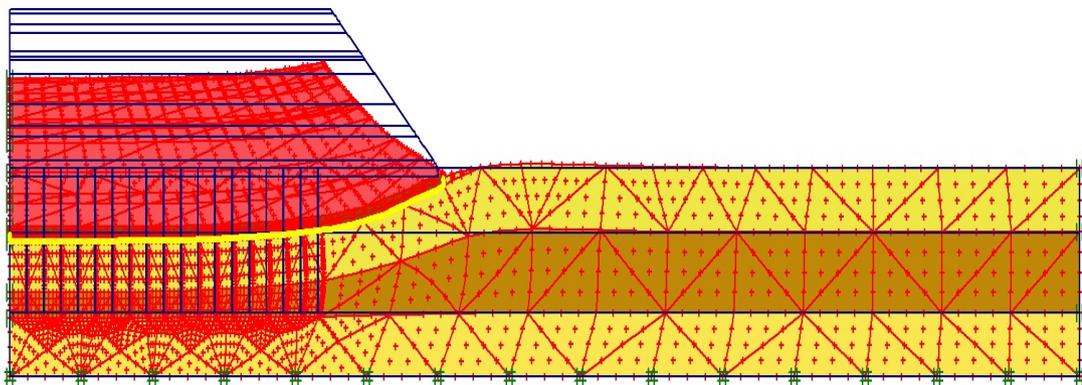
#### 4.9. Penurunan Pada Program FEM 2D

Pada gambar 4.16. menunjukkan mesh titik peninjauan penurunan terhadap waktu, dimana titik nodal A (diposisikan kira-kira disebelah kanan tepat dipemasangan settlement plate di lapangan).



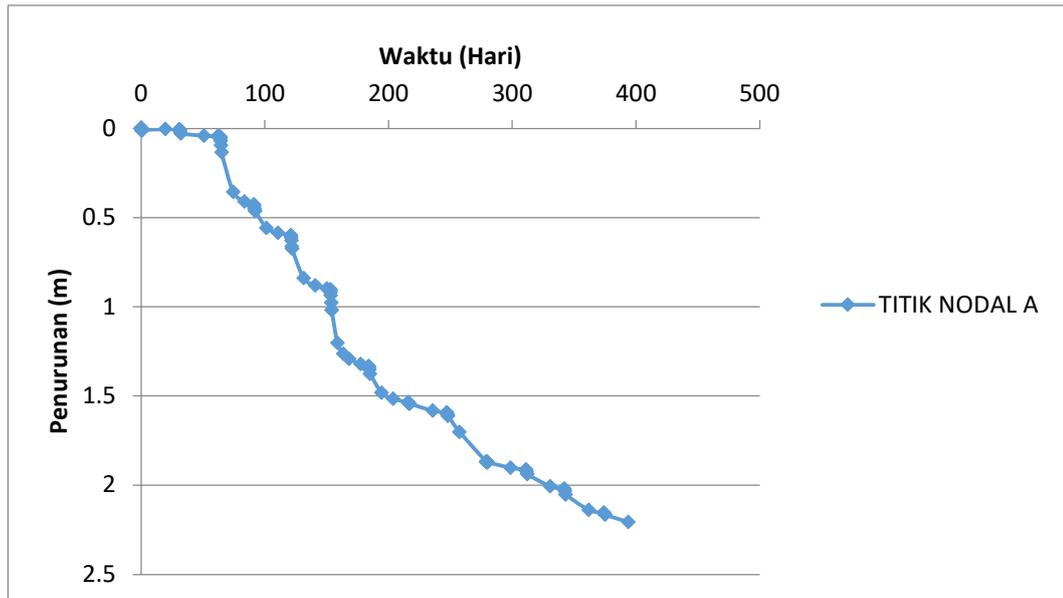
Gambar 4.17 : Mesh timbunan Pembangunan Terminal *Purpose* di Kuala Tanjung dengan Titik peninjauan Penurunan terhadap Waktu.

Gambar 4.17. menunjukkan kontur penurunan dengan berbagai jenis warna dari peningkatan perpindahan total yang menunjukkan perbedaan besar penurunan yang terjadi, jika dilihat pergerakan kontur semakin menjauhi daerah *Vertical Drains* maka penurunan yang di alami akan semakin kecil



Gambar 4.18: Kontur Penurunan yang terjadi pada *Output* FEM Pembangunan Terminal *Purpose* di Kuala Tanjung.

Hasil output dari hubungan penurunan terhadap waktu yang diperoleh dari perhitungan dengan menggunakan metode elemen hingga dapat dilihat pada Gambar 4.18.

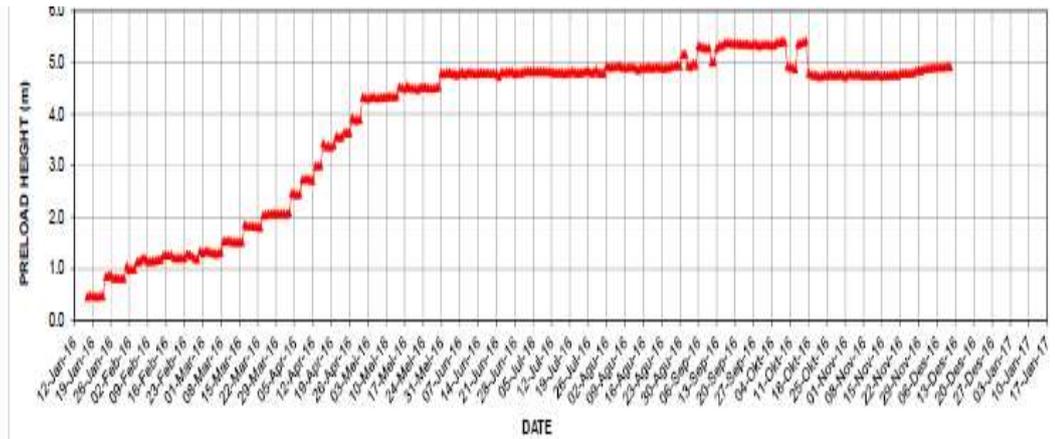


Gambar 4.19: Grafik Penurunan di titik Nodal A sebesar 2.150 m dengan waktu 393 hari.

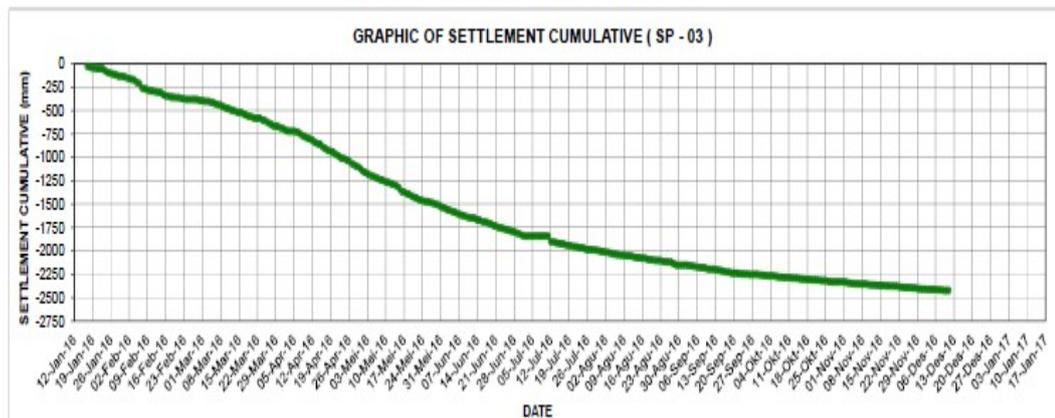
#### 4.10. Penurunan Berdasarkan pembacaan *Settlement Plate*

Berdasarkan pembacaan settlement plate pada proyek pembangunan *Terminal Purpose* di Kuala Tanjung yang dimulai dari tanggal 16 Januari 2016 sampai tanggal 11 Desember 2016, diperoleh data-data penurunan yang terjadi akibat proses penambahan beban berupa timbunan preloading. Hasil pembacaan settlement plate tersebut ditunjukkan pada Gambar 4.20. dan 4.21.

Menurut data yang diperoleh, diketahui bahwa pembacaan settlement plate dilakukan setiap 1 hari sekali. Pada Gambar 4.37. terlihat bahwa tebal timbunan yang diberikan tidak selalu naik tetapi turun, hal itu mungkin saja terjadi karena akibat tergerusnya tanah timbunan akibat hujan. Namun, hal yang paling memungkinkan adalah terjadinya faktor human error yaitu kesalahan pembacaan settlement plate di lapangan.



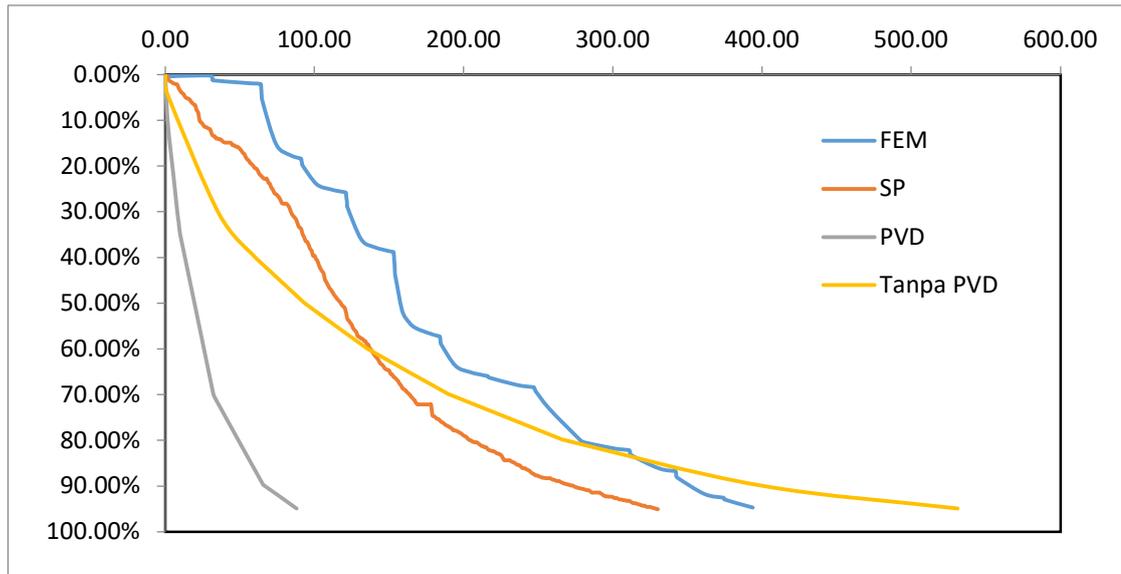
Gambar 4.20: Hubungan antara tebal timbunan dengan tanggal pembacaan SP-03.



Gambar 4.21: Hubungan antara Penurunan dengan tanggal pembacaan SP-03.

#### 4.11. Perbandingan besar penurunan yang dihitung secara Analitis, Metode Elemen Hingga dan Pembacaan *Settlement Plate* di Lapangan

Pada Tugas Akhir ini dilakukan perbandingan besar penurunan yang didapatkan dari hasil perhitungan secara analitis, metode elemen hingga, dan pembacaan settlement plate di lapangan. Perbandingan besar penurunan tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.22.

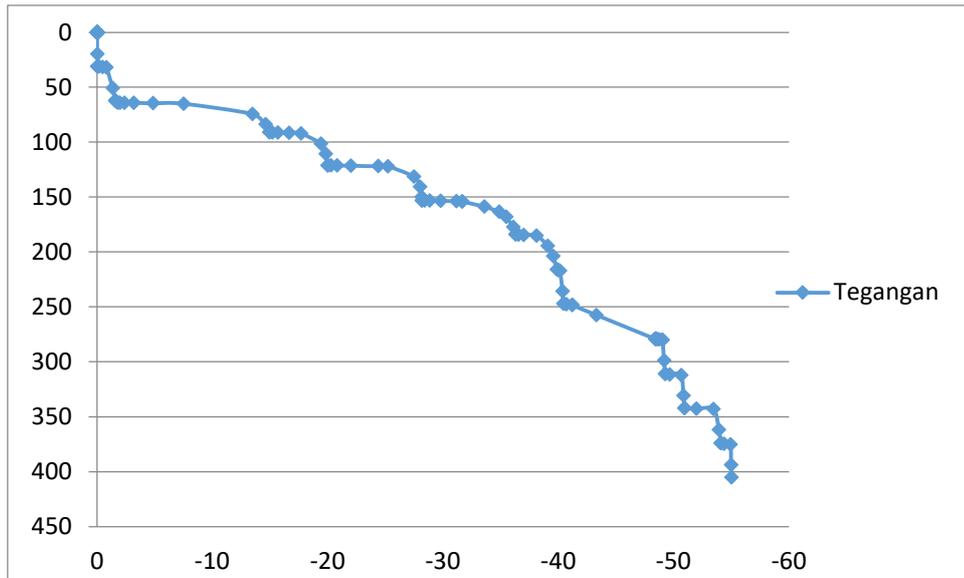


Gambar 4.22: Grafik perbandingan metode analitis, metode elemen hingga dan metode pembacaan instrument geoteknik.

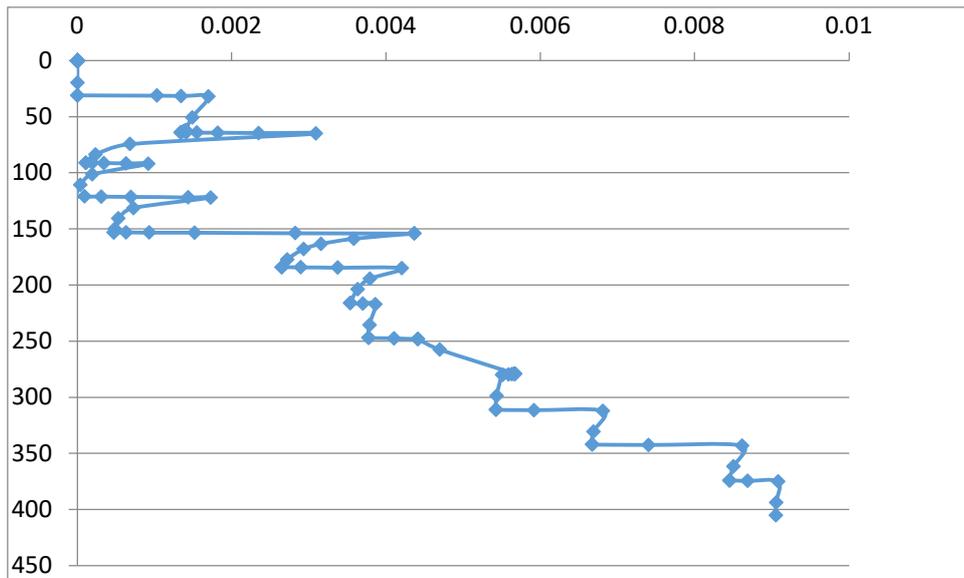
Pada Gambar 4.22 dapat di lihat perbandingan metode FEM dan pembacaan SP (*settlement plate*) hampir mendekati dengan selisih 0.271 m sedangkan dengan Metode Analitis dengan menggunakan PVD selisih yang di dapat adalah 0.221 m. dengan hari yang terlampau jauh, sedangkan Metode analitis dengan Tanpa PVD di dapat penurunan 2.315 m dengan waktu 531 Hari.

#### 4.12 Tegangan Regangan Vertical Efektif pada Software Finite Element

Pada Sub bab ini akan Menjelaskan tentang Tegangan dan Regangan Vertical Efektif yang terjadi pada Proses Pemodelan pada Software Finite Element method adalah sebagai berikut :



Gambar 4.23 Hubungan Antara Tegangan dan Waktu yang terjadi adalah sebesar (405 hari).



Gambar 4.24: Hubungan Antara Regangan dan Waktu yang terjadi adalah sebesar (405 hari).

## BAB 5

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan pada bab-bab sebelumnya yang berkaitan dengan konsolidasi pada tanah lunak akibat beban timbunan, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Secara analitis waktu yang di butuhkan untuk mencapai derajat konsolidasi 95 % adalah sebagai berikut :
  - a. Tanpa menggunakan PVD 1.324 hari
  - b. Menggunakan PVD dengan pola segitiga dan jarak pemasangan 1.6 m memerlukan 219 hari
  - c. Menggunakan PVD dengan pola segitiga dan jarak pemasangan 1.4 m memerlukan waktu 170 hari
  - d. Menggunakan PVD dengan pola segitiga dan jarak pemasangan 1.8 m memerlukan 217 hari
  - e. Menggunakan PVD dengan pola persegi dan jarak pemasangan 1.6 m memerlukan waktu 250 hari
2. Perbedaan Analisis Unit Sell pengkivalenan permeabilitas tanah dengan model *Axisymetris* dan *Plane Strain* dan bagaimana penurunan model Mohr-Coloumb dan tegangan regangan Vertical efektif yang terjadi terhadap waktu dengan menggunakan Software metode finite element, dapat dilihat pada Tabel (4.9)

Tabel 4.9 : Analisis *Unit Cell*.

Kedalaman (m)	rw	Rs	Re	dw	ds	de
9	0.0334	0.1437	0.8400	0.699	0.287	1.680

Tabel 4.10: Koefisien Permeabilitas.

Material	Kondisi Axisymmetris		Kondisi Plane Strain		Keterangan
	Kx (mm/hari)	Kv (mm/hari)	Kx (mm/hari)	Ky (mm/hari)	
Sandy Clay	8.640x10-4	4320x10-4	2.980E-04	1.490E-04	Non Smear
Smear Zone 0-4 – 0-9	4.320E-04	2.160E-04	–	–	Smear = krs=kr/2)
	4.320E-03	2.160E-03	–	–	
Clay	8640x10-3	4320x10-3	2.980E-03	1.490E-03	Non Smear
Smear Zone 0-4 – 0-9	–	–	1.030E-04	5.140E-05	Smear = krs=kr/2. 9)
	–	–	1.030E-03	5.140E-04	

- a. Dengan melakukan Trial Error yaitu kh/ks (2-10) untuk analisis permeabilitas pada Analisis Unit Sell dan di dapatkan  $Krpl = \frac{Kax}{2.5}$
  - b. Tegangan regangan Vertical efektif yang terjadi terhadap waktu dengan menggunakan Software Finite Element adalah sebesar (405 hari)
3. Perbandingan yang di dapat pada perhitungan metode Analitis , Metode FEM , dan Metode Pembacaan Instrument Geoteknik (*Settlement Plate*) sebagai berikut :
- a. Penurunan konsolidasi pada Metode analitis tanpa menggunakan PVD 2.314 m memerlukan waktu 1.324 hari, sedangkan menggunakan PVD penurunan yang terjadi 2.200 m memerlukan waktu 219 hari
  - b. Penurunan konsolidasi Pada Metode FEM penurunan yang di dapat adalah 2.21 m memerlukan waktu 393 hari
  - c. Penurunan konsolidasi pada Metode pembacaan Instrument Geoteknik (*Settlement Plate*) penurunan yang di dapat 2.421 m memerlukan waktu 330 hari

## **5.2. Saran**

Berdasarkan hasil dari Tugas Akhir ini, penulis menyarankan hal-hal sebagai berikut:

1. Dalam penggunaan program metode elemen hingga sangat diperlukan data yang valid dan pemodelan yang tepat, sehingga menghasilkan analisa yang akurat
2. Perlu dikatakan analisa harga sehingga penentuan pola pemasangan dan jarak antar PVD yang lebih ekonomis dapat diterapkan di lapangan

## DAFTAR PUSTAKA

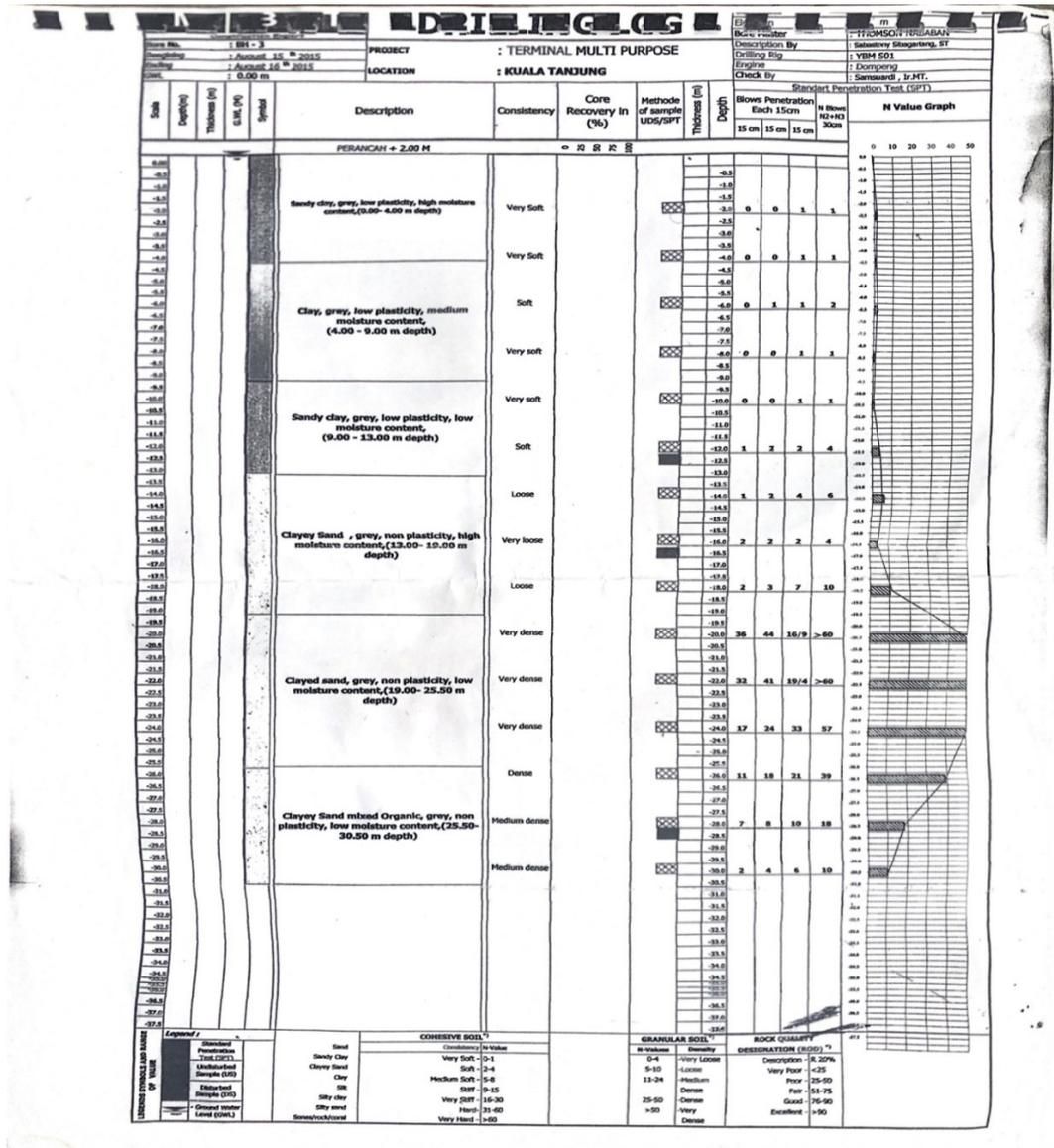
- Aspara, W. A. N., & Fitriani, E. N. (2016). Pengaruh Jarak Dan Pola Prefabricated Vertical Drain (Pvd) Pada Perbaikan Tanah Lempung Lunak = Effect of Distance and Pattern of Prefabricated Vertical Drain for Improvement of Soft Clay Soil. *Majalah Ilmiah Pengkajian Industri*, 10(1), 41. <https://doi.org/10.29122/mipi.v10i1.102>
- Das, Baraja M. (1995). *Rekayasa Geoteknis* ).
- Das, Braja M., Endah, N., & Mochtar, I. B. (1995). Mekanika Tanah Jilid 1 (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis). *Erlangga*, 1–291.
- Fanny Rumintha Br. Barimbing dan Rudi Iskandar. (2018). Analisis Penurunan Dan Waktu Konsolidasi Tanah Lunak Menggunakan Metode Preloading Dan Pre-Fabricated Vertical Drain (Studi Kasus Proyek Pembangunan Jalan Bebas Hambatan Medan- Kualanamu Sta 35+950). *soft soil, settlement, the degree of consolidation, Pre-fabricated Vertical Drain (PVD)*, 7.
- Guo, X., Xie, K. H., & Deng, Y. B. (2014). Consolidation by Prefabricated Vertical Drains with a Threshold Gradient. *Mathematical Problems in Engineering*, 2014(December). <https://doi.org/10.1155/2014/410390>
- Hartanto, D. (d. g.). *Hubungan Koefesien Konsolidasi (Coefesien of Consolidation) arah Vertikal (Cv) dengan arah Horizontal (Ch)*. 9.
- Holtz, R. D., Jamiolkowski, M. B., Lancellotta, R., & Pedroni, R. (1991). *Prefabricated vertical drains: design and performance*.
- Kalimantan, D. I. P., & Kuswanda, W. P. (2016). *Perbaikan Tanah Lempung Lunak Metoda Preloading*. 188–207.
- Lilabsari, Z. F., Munawir, A., Zaika, Y., & Kuswanda, W. P. (2018). Evaluasi Kinerja Perbaikan Tanah Lunak Dengan Menggunakan Preloading dan Prefabricated Vertical Drain (PVD). *Rekayasa Sipil*, 12(2), 112–117. <https://doi.org/10.21776/ub.rekayasasipil.2018.012.02.6>
- Mw, I. P. P. K. X., Pramukti, D. N., Asmaranto, R., & Hendrawan, A. P. (2015). *Perencanaan drainase vertikal* (. 3.
- Pasaribu, T., & Iskandar, R. (d. g.). *Analisa Penurunan Pada Tanah Lunak Akibat Timbunan (Studi Kasus Runway Bandara Medan Baru)*.
- Publikasi, N. (2013). *Naskah publikasi oleh*. 1–42.
- Utara, U. S., Utara, U. S., & Utara, U. S. (2019). *Analisis Pengaruh Smear Zone pada Penurunan dan Waktu Konsolidasi Proyek Reklamasi Belawan Fase II dengan Plaxis 2D dan 3D*.

- Wardhani, P. A. (2015). 濟無No Title No Title. *Efikasi Diri dan Pemahaman Konsep IPA dengan Hasil Belajar Ilmu Pengetahuan Alam Siswa Sekolah Dasar Negeri Kota Bengkulu*, 6. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Widoanindyawati, V., Prabandiyani, S., Wardani, R., & Partono, W. (2016). *Studi Kasus Konstruksi Timbunan Apron Bandara Ahmad Yani Semarang*. November, 1–11.

## LAMPIRAN



Gambar L1: Lokasi Penelitian.



Gambar L2: Data N-SPT Bore Hole 3 di Pembangunan Terminal Purpose Kuala Tanjung.

Tabel L1: Data *Settlement Plate* Bulan ke 01.

DATE	DAY	DATUM ELEVATIO N + (m)	PLATE ELEVATIO N + (m)	SETTLEMEN T PER DAY (mm)	SETTLEMEN T CUMULATIV E (mm)	PRELOAD ELEVATIO N + (m)	PRELOAD HEIGHT (m)
<b>8-Jan-16</b>	<b>IR</b>	<b>5.106</b>	<b>3.108</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>3.548</b>	<b>0.440</b>
12-Jan-16	-	-	-	-	-	-	-
13-Jan-16	-	-	-	-	-	-	-
14-Jan-16	-	-	-	-	-	-	-
15-Jan-16	-	-	-	-	-	-	-
<b>16-Jan-16</b>	<b>IR</b>	<b>4.952</b>	<b>2.951</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>3.394</b>	<b>0.443</b>
17-Jan-16	1	4.926	2.925	-26	-26	3.382	0.457
18-Jan-16	2	4.917	2.916	-9	-35	3.395	0.479
19-Jan-16	3	4.911	2.910	-6	-41	3.380	0.470
20-Jan-16	4	4.906	2.905	-5	-46	3.380	0.475
21-Jan-16	5	4.902	2.901	-4	-50	3.365	0.464
22-Jan-16	6	4.900	2.899	-2	-52	3.382	0.483
23-Jan-16	7	4.898	2.897	-2	-54	3.371	0.474
24-Jan-16	8	4.876	2.875	-22	-76	3.729	0.854
25-Jan-16	9	4.863	2.862	-13	-89	3.729	0.867
26-Jan-16	10	4.852	2.851	-11	-100	3.729	0.878
27-Jan-16	11	4.845	2.844	-7	-107	3.667	0.823
28-Jan-16	12	4.834	2.833	-11	-118	3.667	0.834
29-Jan-16	13	4.823	2.822	-11	-129	3.631	0.809
30-Jan-16	14	4.820	2.819	-3	-132	3.636	0.817
31-Jan-16	15	4.816	2.815	-4	-136	3.636	0.821
1-Feb-16	16	4.805	2.804	-11	-147	3.859	1.055
2-Feb-16	17	4.794	2.793	-11	-158	3.780	0.987
3-Feb-16	18	4.787	2.786	-7	-165	3.780	0.994
4-Feb-16	19	4.782	2.781	-5	-170	3.780	0.999
5-Feb-16	20	4.755	2.754	-27	-197	3.891	1.137
6-Feb-16	21	4.741	2.740	-14	-211	3.891	1.151
7-Feb-16	22	4.695	2.694	-46	-257	3.891	1.197
8-Feb-16	23	4.687	2.686	-8	-265	3.891	1.205
9-Feb-16	24	4.677	2.676	-10	-275	3.817	1.141
10-Feb-16	25	4.664	2.663	-13	-288	3.817	1.154
11-Feb-16	26	4.660	2.659	-4	-292	3.817	1.158

Tabel L2: Data *Settlement Plate* Bulan ke 02.

DATE	DAY	DATUM ELEVATION + (m)	PLATE ELEVATION + (m)	SETTLEMENT PER DAY (mm)	SETTLEMENT CUMULATIVE (mm)	PRELOAD ELEVATION + (m)	PRELOAD HEIGHT (m)
8-Jan-16	IR	5.106	3.108	0	0	3.548	0.440
12-Feb-16	27	4.657	2.656	-3	-295	3.817	1.161
13-Feb-16	28	4.651	2.650	-6	-301	3.834	1.184
14-Feb-16	29	4.648	2.647	-3	-304	3.830	1.183
15-Feb-16	30	4.624	2.623	-24	-328	3.882	1.259
16-Feb-16	31	4.612	2.611	-12	-340	3.882	1.271
17-Feb-16	32	4.610	2.609	-2	-342	3.868	1.259
18-Feb-16	33	4.597	2.596	-13	-355	3.868	1.272
19-Feb-16	34	4.597	2.596	0	-355	3.809	1.213
20-Feb-16	35	4.592	2.591	-5	-360	3.809	1.218
21-Feb-16	36	4.592	2.591	0	-360	3.809	1.218
22-Feb-16	37	4.585	2.584	-7	-367	3.802	1.218
23-Feb-16	38	4.577	2.576	-8	-375	3.793	1.217
24-Feb-16	39	4.574	2.573	-3	-378	3.859	1.286
25-Feb-16	40	4.574	2.573	0	-378	3.851	1.278
26-Feb-16	41	4.574	2.573	0	-378	3.817	1.244
27-Feb-16	42	4.574	2.573	0	-378	3.770	1.197
28-Feb-16	43	4.572	2.571	-2	-380	3.760	1.189
29-Feb-16	44	4.560	2.559	-12	-392	3.910	1.351
1-Mar-16	45	4.560	2.559	0	-392	3.870	1.311
2-Mar-16	46	4.552	2.551	-8	-400	3.890	1.339
3-Mar-16	47	4.552	2.551	0	-400	3.903	1.352
4-Mar-16	48	4.547	2.546	-5	-405	3.864	1.318
5-Mar-16	49	4.538	2.537	-9	-414	3.851	1.314
6-Mar-16	50	4.528	2.527	-10	-424	3.830	1.303
7-Mar-16	51	4.516	2.515	-12	-436	3.823	1.308
8-Mar-16	52	4.509	2.508	-7	-443	3.842	1.334
9-Mar-16	53	4.490	2.489	-19	-462	4.028	1.539
10-Mar-16	54	4.480	2.479	-10	-472	4.020	1.541
11-Mar-16	55	4.472	2.471	-8	-480	4.031	1.560

Tabel L3: Data *Settlement Plate* Bulan ke 03.

DATE	DAY	DATUM ELEVATION + (m)	PLATE ELEVATION + (m)	SETTLEMENT PER DAY (mm)	SETTLEMENT CUMULATIVE (mm)	PRELOAD ELEVATION + (m)	PRELOAD HEIGHT (m)
8-Jan-16	IR	5.106	3.108	0	0	3.548	0.440
12-Mar-16	56	4.460	2.459	-12	-492	3.988	1.529
13-Mar-16	57	4.453	2.452	-7	-499	3.976	1.524
14-Mar-16	58	4.442	2.441	-11	-510	3.953	1.512
15-Mar-16	59	4.432	2.431	-10	-520	3.962	1.531
16-Mar-16	60	4.429	2.428	-3	-523	3.951	1.523
17-Mar-16	61	4.415	2.414	-14	-537	4.275	1.861
18-Mar-16	62	4.400	2.399	-15	-552	4.227	1.828
19-Mar-16	63	4.390	2.389	-10	-562	4.218	1.829
20-Mar-16	64	4.382	2.381	-8	-570	4.207	1.826
21-Mar-16	65	4.373	2.372	-9	-579	4.195	1.823
22-Mar-16	66	4.373	2.372	0	-579	4.191	1.819
23-Mar-16	67	4.373	2.372	0	-579	4.184	1.812
24-Mar-16	68	5.352	2.351	-21	-600	4.398	2.047
25-Mar-16	69	5.344	2.343	-8	-608	4.393	2.050
26-Mar-16	70	5.325	2.324	-19	-627	4.385	2.061
27-Mar-16	71	5.312	2.311	-13	-640	4.380	2.069
28-Mar-16	72	5.293	2.292	-19	-659	4.367	2.075
29-Mar-16	73	5.288	2.287	-5	-664	4.360	2.073
30-Mar-16	74	5.280	2.279	-8	-672	4.348	2.069
31-Mar-16	75	5.270	2.269	-10	-682	4.340	2.071
1-Apr-16	76	5.256	2.255	-14	-696	4.336	2.081
2-Apr-16	77	5.238	2.237	-18	-714	4.300	2.063
3-Apr-16	78	5.233	2.232	-5	-719	4.323	2.091
4-Apr-16	79	5.233	2.232	0	-719	4.698	2.466
5-Apr-16	80	5.233	2.232	0	-719	4.683	2.451
6-Apr-16	81	5.227	2.226	-6	-725	4.666	2.440
7-Apr-16	82	5.214	2.213	-13	-738	4.667	2.454
8-Apr-16	83	5.190	2.189	-24	-762	4.918	2.729
9-Apr-16	84	5.174	2.173	-16	-778	4.915	2.742
10-Apr-16	85	5.162	2.161	-12	-790	4.908	2.747
11-Apr-16	86	5.152	2.151	-10	-800	4.882	2.731

Tabel L4: Data *Settlement Plate* Bulan ke 04.

DATE	DAY	DATUM ELEVATION + (m)	PLATE ELEVATION + (m)	SETTLEMENT PER DAY (mm)	SETTLEMENT CUMULATIVE (mm)	PRELOAD ELEVATION + (m)	PRELOAD HEIGHT (m)
8-Jan-16	IR	5.106	3.108	0	0	3.548	0.440
12-Apr-16	87	5.139	2.138	-13	-813	4.850	2.712
13-Apr-16	88	6.113	2.112	-26	-839	5.106	2.994
14-Apr-16	89	6.101	2.100	-12	-851	5.096	2.996
15-Apr-16	90	6.093	2.092	-8	-859	5.098	3.006
16-Apr-16	91	6.063	2.062	-30	-889	5.498	3.436
17-Apr-16	92	6.048	2.047	-15	-904	5.409	3.362
18-Apr-16	93	6.026	2.025	-22	-926	5.420	3.395
19-Apr-16	94	6.020	2.019	-6	-932	5.372	3.353
20-Apr-16	95	6.006	2.005	-14	-946	5.411	3.406
21-Apr-16	96	5.983	1.982	-23	-969	5.550	3.568
22-Apr-16	97	5.971	1.970	-12	-981	5.522	3.552
23-Apr-16	98	5.944	1.943	-27	-1008	5.496	3.553
24-Apr-16	99	5.943	1.942	-1	-1009	5.595	3.653
25-Apr-16	100	5.926	1.925	-17	-1026	5.576	3.651
26-Apr-16	101	5.914	1.913	-12	-1038	5.554	3.641
27-Apr-16	102	5.888	1.887	-26	-1064	5.815	3.928
28-Apr-16	103	5.873	1.872	-15	-1079	5.763	3.891
29-Apr-16	104	5.858	1.857	-15	-1094	5.748	3.891
30-Apr-16	105	6.845	1.844	-13	-1107	5.743	3.899
1-May-16	106	6.811	1.810	-34	-1141	6.140	4.330
2-May-16	107	6.796	1.795	-15	-1156	6.111	4.316
3-May-16	108	6.779	1.778	-17	-1173	6.078	4.300
4-May-16	109	6.764	1.763	-15	-1188	6.081	4.318
5-May-16	110	6.753	1.752	-11	-1199	6.093	4.341
6-May-16	111	6.741	1.740	-12	-1211	6.050	4.310
7-May-16	112	7.424	1.726	-14	-1225	6.038	4.312
8-May-16	113	7.413	1.715	-11	-1236	6.032	4.317
9-May-16	114	7.402	1.704	-11	-1247	6.030	4.326
10-May-16	115	7.392	1.694	-10	-1257	6.023	4.329
11-May-16	116	7.382	1.684	-10	-1267	6.030	4.346

Tabel L5: Data *Settlement Plate* Bulan ke 05.

DATE	DAY	DATUM ELEVATION + (m)	PLATE ELEVATION + (m)	SETTLEMENT PER DAY (mm)	SETTLEMENT CUMULATIVE (mm)	PRELOAD ELEVATION + (m)	PRELOAD HEIGHT (m)
8-Jan-16	IR	5.106	3.108	0	0	3.548	0.440
12-May-16	117	7.371	1.673	-11	-1278	6.006	4.333
13-May-16	118	7.359	1.661	-12	-1290	5.995	4.334
14-May-16	119	7.352	1.654	-7	-1297	6.003	4.349
15-May-16	120	7.329	1.631	-23	-1320	6.164	4.533
16-May-16	121	7.289	1.591	-40	-1360	6.099	4.508
17-May-16	122	7.278	1.580	-11	-1371	6.066	4.486
18-May-16	123	7.266	1.568	-12	-1383	6.123	4.555
19-May-16	124	7.254	1.556	-12	-1395	6.061	4.505
20-May-16	125	7.235	1.537	-19	-1414	6.035	4.498
21-May-16	126	7.225	1.527	-10	-1424	6.026	4.499
22-May-16	127	7.213	1.515	-12	-1436	5.996	4.481
23-May-16	128	7.193	1.495	-20	-1456	6.008	4.513
24-May-16	129	7.188	1.490	-5	-1461	6.017	4.527
25-May-16	130	7.180	1.482	-8	-1469	6.002	4.520
26-May-16	131	7.178	1.480	-2	-1471	5.984	4.504
27-May-16	132	7.168	1.470	-10	-1481	5.968	4.498
28-May-16	133	7.164	1.466	-4	-1485	5.966	4.500
29-May-16	134	7.150	1.452	-14	-1499	5.966	4.514
30-May-16	135	7.144	1.446	-6	-1505	5.968	4.522
31-May-16	136	7.125	1.427	-19	-1524	6.223	4.796
1-Jun-16	137	7.115	1.417	-10	-1534	6.203	4.786
2-Jun-16	138	7.101	1.403	-14	-1548	6.208	4.805
3-Jun-16	139	7.089	1.391	-12	-1560	6.196	4.805
4-Jun-16	140	7.078	1.380	-11	-1571	6.159	4.779
5-Jun-16	141	7.068	1.370	-10	-1581	6.153	4.783
6-Jun-16	142	7.057	1.359	-11	-1592	6.121	4.762
7-Jun-16	143	7.041	1.343	-16	-1608	6.143	4.800
8-Jun-16	144	7.034	1.336	-7	-1615	6.140	4.804
9-Jun-16	145	7.026	1.328	-8	-1623	6.103	4.775
10-Jun-16	146	7.013	1.315	-13	-1636	6.115	4.800
11-Jun-16	147	7.008	1.310	-5	-1641	6.121	4.811

Tabel L6: Data *Settlement Plate* Bulan ke 06.

DATE	DAY	DATUM ELEVATION + (m)	PLATE ELEVATION + (m)	SETTLEMENT PER DAY (mm)	SETTLEMENT CUMULATIVE (mm)	PRELOAD ELEVATION + (m)	PRELOAD HEIGHT (m)
8-Jan-16	IR	5.106	3.108	0	0	3.548	0.440
12-Jun-16	148	7.003	1.305	-5	-1646	6.098	4.793
13-Jun-16	149	7.001	1.303	-2	-1648	6.085	4.782
14-Jun-16	150	6.983	1.285	-18	-1666	6.081	4.796
15-Jun-16	151	6.978	1.280	-5	-1671	6.087	4.807
16-Jun-16	152	6.964	1.266	-14	-1685	6.062	4.796
17-Jun-16	153	6.960	1.262	-4	-1689	6.062	4.800
18-Jun-16	154	6.951	1.253	-9	-1698	6.054	4.801
19-Jun-16	155	6.941	1.243	-10	-1708	6.033	4.790
20-Jun-16	156	6.927	1.229	-14	-1722	6.019	4.790
21-Jun-16	157	6.917	1.219	-10	-1732	6.001	4.782
22-Jun-16	158	6.903	1.205	-14	-1746	5.934	4.729
23-Jun-16	159	6.896	1.198	-7	-1753	6.016	4.818
24-Jun-16	160	6.889	1.191	-7	-1760	5.994	4.803
25-Jun-16	161	6.880	1.182	-9	-1769	5.998	4.816
26-Jun-16	162	6.872	1.174	-8	-1777	5.990	4.816
27-Jun-16	163	6.863	1.165	-9	-1786	5.986	4.821
28-Jun-16	164	6.853	1.155	-10	-1796	5.941	4.786
29-Jun-16	165	6.844	1.146	-9	-1805	5.945	4.799
30-Jun-16	166	6.834	1.136	-10	-1815	5.923	4.787
1-Jul-16	167	6.820	1.122	-14	-1829	5.942	4.820
2-Jul-16	168	6.811	1.113	-9	-1838	5.940	4.827
3-Jul-16	169	6.811	1.113	0	-1838	5.940	4.827
4-Jul-16	170	6.811	1.113	0	-1838	5.940	4.827
5-Jul-16	171	6.811	1.113	0	-1838	5.940	4.827
6-Jul-16	172	6.811	1.113	0	-1838	5.940	4.827
7-Jul-16	173	6.811	1.113	0	-1838	5.940	4.827
8-Jul-16	174	6.811	1.113	0	-1838	5.940	4.827
9-Jul-16	175	6.811	1.113	0	-1838	5.940	4.827
10-Jul-16	176	6.811	1.113	0	-1838	5.940	4.827
11-Jul-16	177	6.811	1.113	0	-1838	5.940	4.827

Tabel L7 :Data *Settlement Plate* Bulan ke 07.

DATE	DAY	DATUM ELEVATION + (m)	PLATE ELEVATION + (m)	SETTLEMENT PER DAY (mm)	SETTLEMENT CUMULATIVE (mm)	PRELOAD ELEVATION + (m)	PRELOAD HEIGHT (m)
8-Jan-16	IR	5.106	3.108	0	0	3.548	0.440
12-Jul-16	178	6.751	1.053	-60	-1898	5.867	4.814
13-Jul-16	179	6.745	1.047	-6	-1904	5.854	4.807
14-Jul-16	180	6.741	1.043	-4	-1908	5.841	4.798
15-Jul-16	181	6.732	1.034	-9	-1917	5.839	4.805
16-Jul-16	182	6.730	1.032	-2	-1919	5.839	4.807
17-Jul-16	183	6.723	1.025	-7	-1926	5.808	4.783
18-Jul-16	184	6.714	1.016	-9	-1935	5.827	4.811
19-Jul-16	185	6.710	1.012	-4	-1939	5.818	4.806
20-Jul-16	186	6.703	1.005	-7	-1946	5.840	4.835
21-Jul-16	187	6.696	0.998	-7	-1953	5.806	4.808
22-Jul-16	188	6.693	0.995	-3	-1956	5.790	4.795
23-Jul-16	189	6.687	0.989	-6	-1962	5.797	4.808
24-Jul-16	190	6.683	0.985	-4	-1966	5.798	4.813
25-Jul-16	191	6.676	0.978	-7	-1973	5.805	4.827
26-Jul-16	192	6.667	0.969	-9	-1982	5.816	4.847
27-Jul-16	193	6.667	0.969	0	-1982	5.769	4.800
28-Jul-16	194	6.664	0.966	-3	-1985	5.773	4.807
29-Jul-16	195	6.661	0.963	-3	-1988	5.826	4.863
30-Jul-16	196	6.655	0.957	-6	-1994	5.761	4.804
31-Jul-16	197	6.651	0.953	-4	-1998	5.748	4.795
1-Aug-16	198	6.645	0.947	-6	-2004	5.740	4.793
2-Aug-16	199	6.638	0.940	-7	-2011	5.876	4.936
3-Aug-16	200	6.634	0.936	-4	-2015	5.837	4.901
4-Aug-16	201	6.628	0.930	-6	-2021	5.848	4.918
5-Aug-16	202	6.617	0.919	-11	-2032	5.840	4.921
6-Aug-16	203	6.613	0.915	-4	-2036	5.843	4.928
7-Aug-16	204	6.610	0.912	-3	-2039	5.857	4.945
8-Aug-16	205	6.603	0.905	-7	-2046	5.810	4.905
9-Aug-16	206	6.603	0.905	0	-2046	5.814	4.909
10-Aug-16	207	6.600	0.902	-3	-2049	5.803	4.901
11-Aug-16	208	6.600	0.902	0	-2049	5.823	4.921

Tabel L8 :Data *Settlement Plate* Bulan ke 08.

DATE		DATUM ELEVATIO N + (m)	PLATE ELEVATIO N + (m)	SETTLEMEN T PER DAY (mm)	SETTLEMEN T CUMULATIV E (mm)	PRELOAD ELEVATIO N + (m)	PRELOAD HEIGHT (m)
8-Jan-16	IR	5.106	3.108	0	0	3.548	0.440
12-Aug-16	209	6.593	0.895	-7	-2056	5.806	4.911
13-Aug-16	210	6.586	0.888	-7	-2063	5.786	4.898
14-Aug-16	211	6.581	0.883	-5	-2068	5.728	4.845
15-Aug-16	212	6.578	0.880	-3	-2071	5.785	4.905
16-Aug-16	213	6.573	0.875	-5	-2076	5.771	4.896
17-Aug-16	214	6.573	0.875	0	-2076	5.771	4.896
18-Aug-16	215	6.563	0.865	-10	-2086	5.787	4.922
19-Aug-16	216	6.557	0.859	-6	-2092	5.757	4.898
20-Aug-16	217	6.555	0.857	-2	-2094	5.758	4.901
21-Aug-16	218	6.551	0.853	-4	-2098	5.761	4.908
22-Aug-16	219	6.551	0.853	0	-2098	5.774	4.921
23-Aug-16	220	6.546	0.848	-5	-2103	5.742	4.894
24-Aug-16	221	6.540	0.842	-6	-2109	5.738	4.896
25-Aug-16	222	6.537	0.839	-3	-2112	5.740	4.901
26-Aug-16	223	6.535	0.837	-2	-2114	5.745	4.908
27-Aug-16	224	6.528	0.830	-7	-2121	5.757	4.927
28-Aug-16	225	6.517	0.819	-11	-2132	5.746	4.927
29-Aug-16	226	6.502	0.804	-15	-2147	5.767	4.963
30-Aug-16	227	6.500	0.802	-2	-2149	5.732	4.930
31-Aug-16	228	6.500	0.802	0	-2149	5.965	5.163
1-Sep-16	229	6.500	0.802	0	-2149	5.970	5.168
2-Sep-16	230	6.500	0.802	0	-2149	5.742	4.940
3-Sep-16	231	6.493	0.795	-7	-2156	5.713	4.918
4-Sep-16	232	6.490	0.792	-3	-2159	5.774	4.982
5-Sep-16	233	6.486	0.788	-4	-2163	5.745	4.957
6-Sep-16	234	6.480	0.782	-6	-2169	6.108	5.326
7-Sep-16	235	6.474	0.776	-6	-2175	6.083	5.307
8-Sep-16	236	6.474	0.776	0	-2175	6.070	5.294
9-Sep-16	237	6.468	0.770	-6	-2181	6.045	5.275
10-Sep-16	238	6.459	0.761	-9	-2190	6.048	5.287
11-Sep-16	239	6.456	0.758	-3	-2193	5.767	5.009

Tabel L9: Data *Settlement Plate* Bulan ke 09.

DATE	DAY	DATUM ELEVATION + (m)	PLATE ELEVATION + (m)	SETTLEMENT PER DAY (mm)	SETTLEMENT CUMULATIVE (mm)	PRELOAD ELEVATION + (m)	PRELOAD HEIGHT (m)
8-Jan-16	IR	5.106	3.108	0	0	3.548	0.440
12-Sep-16	240	6.456	0.758	0	-2193	5.767	5.009
13-Sep-16	241	6.451	0.753	-5	-2198	6.031	5.278
14-Sep-16	242	6.446	0.748	-5	-2203	6.083	5.335
15-Sep-16	243	6.442	0.744	-4	-2207	6.064	5.320
16-Sep-16	244	6.434	0.736	-8	-2215	6.108	5.372
17-Sep-16	245	6.427	0.729	-7	-2222	6.110	5.381
18-Sep-16	246	6.423	0.725	-4	-2226	6.105	5.380
19-Sep-16	247	6.416	0.718	-7	-2233	6.087	5.369
20-Sep-16	248	6.416	0.718	0	-2233	6.085	5.367
21-Sep-16	249	6.413	0.715	-3	-2236	6.083	5.368
22-Sep-16	250	6.409	0.711	-4	-2240	6.074	5.363
23-Sep-16	251	6.406	0.708	-3	-2243	6.066	5.358
24-Sep-16	252	6.403	0.705	-3	-2246	6.068	5.363
25-Sep-16	253	6.403	0.705	0	-2246	6.061	5.356
26-Sep-16	254	6.400	0.702	-3	-2249	6.040	5.338
27-Sep-16	255	6.400	0.702	0	-2249	6.061	5.359
28-Sep-16	256	6.400	0.702	0	-2249	6.068	5.366
29-Sep-16	257	6.400	0.702	0	-2249	6.031	5.329
30-Sep-16	258	6.395	0.697	-5	-2254	6.037	5.340
1-Oct-16	259	6.392	0.694	-3	-2257	6.045	5.351
2-Oct-16	260	6.390	0.692	-2	-2259	6.048	5.356
3-Oct-16	261	6.386	0.688	-4	-2263	6.028	5.340
4-Oct-16	262	6.384	0.686	-2	-2265	6.026	5.340
5-Oct-16	263	6.384	0.686	0	-2265	6.023	5.337
6-Oct-16	264	6.380	0.682	-4	-2269	6.070	5.388
7-Oct-16	265	6.375	0.677	-5	-2274	6.063	5.386
8-Oct-16	266	6.372	0.674	-3	-2277	6.105	5.431
9-Oct-16	267	6.370	0.672	-2	-2279	6.061	5.389
10-Oct-16	268	6.366	0.668	-4	-2283	5.599	4.931
11-Oct-16	269	6.366	0.668	0	-2283	5.573	4.905

Tabel L10 : Data *Settlement Plate* Bulan ke 10.

DATE	DAY	DATUM ELEVATION + (m)	PLATE ELEVATION + (m)	SETTLEMENT PER DAY (mm)	SETTLEMENT CUMULATIVE (mm)	PRELOAD ELEVATION + (m)	PRELOAD HEIGHT (m)
8-Jan-16	IR	5.106	3.108	0	0	3.548	0.440
12-Oct-16	270	6.363	0.665	-3	-2286	5.568	4.903
13-Oct-16	271	6.360	0.662	-3	-2289	5.528	4.866
14-Oct-16	272	6.360	0.662	0	-2289	6.026	5.364
15-Oct-16	273	6.354	0.656	-6	-2295	6.026	5.365
16-Oct-16	274	6.351	0.653	-3	-2298	6.026	5.392
17-Oct-16	275	6.348	0.650	-3	-2301	6.026	5.411
18-Oct-16	276	6.346	0.648	-2	-2303	6.026	4.793
19-Oct-16	277	6.344	0.646	-2	-2305	6.026	4.768
20-Oct-16	278	6.342	0.644	-2	-2307	6.026	4.754
21-Oct-16	279	6.340	0.642	-2	-2309	6.026	4.755
22-Oct-16	280	6.338	0.640	-2	-2311	6.026	4.730
23-Oct-16	281	6.335	0.637	-3	-2314	6.026	4.736
24-Oct-16	282	6.333	0.635	-2	-2316	6.026	4.758
25-Oct-16	283	6.333	0.635	0	-2316	6.026	4.746
26-Oct-16	284	6.326	0.628	-7	-2323	6.026	4.770
27-Oct-16	285	6.320	0.622	-6	-2329	6.026	4.758
28-Oct-16	286	6.320	0.622	0	-2329	6.026	4.759
29-Oct-16	287	6.320	0.622	0	-2329	6.026	4.754
30-Oct-16	288	6.320	0.622	0	-2329	6.026	4.775
31-Oct-16	289	6.320	0.622	0	-2329	6.026	4.758
1-Nov-16	290	6.320	0.622	0	-2329	6.026	4.721
2-Nov-16	291	6.315	0.617	-5	-2334	6.026	4.768
3-Nov-16	292	6.310	0.612	-5	-2339	6.026	4.783
4-Nov-16	293	6.303	0.605	-7	-2346	6.026	4.758
5-Nov-16	294	6.300	0.602	-3	-2349	6.026	4.774
6-Nov-16	295	6.300	0.602	0	-2349	6.026	4.778
7-Nov-16	296	6.298	0.600	-2	-2351	6.026	4.755
8-Nov-16	297	6.298	0.600	0	-2351	6.026	4.752
9-Nov-16	298	6.298	0.600	0	-2351	6.026	4.758
10-Nov-16	299	6.295	0.597	-3	-2354	6.026	4.753
11-Nov-16	300	6.290	0.592	-5	-2359	6.026	4.753

Tabel L11: Data *Settlement Plate* Bulan ke 11.

DATE	DAY	DATUM ELEVATION + (m)	PLATE ELEVATION + (m)	SETTLEMENT PER DAY (mm)	SETTLEMENT CUMULATIVE (mm)	PRELOAD ELEVATION + (m)	PRELOAD HEIGHT (m)
8-Jan-16	IR	5.106	3.108	0	0	3.548	0.440
12-Nov-16	301	6.290	0.592	0	-2359	5.360	4.768
13-Nov-16	302	6.288	0.590	-2	-2361	5.365	4.775
14-Nov-16	303	6.284	0.586	-4	-2365	5.343	4.757
15-Nov-16	304	6.281	0.583	-3	-2368	5.323	4.740
16-Nov-16	305	6.281	0.583	0	-2368	5.338	4.755
17-Nov-16	306	6.278	0.580	-3	-2371	5.332	4.752
18-Nov-16	307	6.278	0.580	0	-2371	5.334	4.754
19-Nov-16	308	6.275	0.577	-3	-2374	5.338	4.761
20-Nov-16	309	6.275	0.577	0	-2374	5.357	4.780
21-Nov-16	310	6.275	0.577	0	-2374	5.330	4.753
22-Nov-16	311	6.269	0.571	-6	-2380	5.361	4.790
23-Nov-16	312	6.264	0.566	-5	-2385	5.360	4.794
24-Nov-16	313	6.261	0.563	-3	-2388	5.357	4.794
25-Nov-16	314	6.261	0.563	0	-2388	5.351	4.788
26-Nov-16	315	6.258	0.560	-3	-2391	5.359	4.799
27-Nov-16	316	6.255	0.557	-3	-2394	5.363	4.806
28-Nov-16	317	6.253	0.555	-2	-2396	5.388	4.833
29-Nov-16	318	6.250	0.552	-3	-2399	5.398	4.846
30-Nov-16	319	6.247	0.549	-3	-2402	5.403	4.854
1-Dec-16	320	6.247	0.549	0	-2402	5.416	4.867
2-Dec-16	321	6.244	0.546	-3	-2405	5.436	4.890
3-Dec-16	322	6.240	0.542	-4	-2409	5.428	4.886
4-Dec-16	323	6.240	0.542	0	-2409	5.444	4.902
5-Dec-16	324	6.240	0.542	0	-2409	5.451	4.909
6-Dec-16	325	6.237	0.539	-3	-2412	5.460	4.921
7-Dec-16	326	6.235	0.537	-2	-2414	5.448	4.911
8-Dec-16	327	6.232	0.534	-3	-2417	5.448	4.914
9-Dec-16	328	6.230	0.532	-2	-2419	5.450	4.918
10-Dec-16	329	6.228	0.530	-2	-2421	5.461	4.931
11-Dec-16	330	6.228	0.530	0	-2421	5.456	4.926

## DAFTAR RIWAYAT HIDUP



### INFORMASI PRIBADI

Nama	: Muhammad Ardiansyah
Panggilan	: Ian
Tempat, Tanggal Lahir	: Medan, 10 Febuari 1999
Jenis Kelamin	: Laki Laki
Alamat Sekarang	: Jalan H. Adam Malik Gg.Rela No 31 Medan
HP/TlpnSeluler	:082160380179

---

### RIWAYAT PENDIDIKAN

Nomor Induk Mahasiswa	: 1607210204
Fakultas	: Teknik
Program Studi	: Teknik Sipil
Jenis Kelamain	: Laki-laki
Peguruan Tinggi	: Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
Alamat Peguruan Tinggi	: Jl. Kapten Muchtar Basri, No. 3 Medan 20238

---

### PENDIDIKAN FORMAL

<b>Tingkat Pendidikan Nama dan Tempat Tahun Kelulusan</b>		
Sekolah Dasar	SDN 060848 Medan	2010
Sekolah Menengah Pertama	Swasta Amir Hamzah	2013
Sekolah Menengah Atas	Swasta Amir Hamzah	2016

---