



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

**TUGAS AKHIR - VC 181819**

**PERCEPATAN KONSOLIDASI TANAH DASAR  
DENGAN METODE PRAKOMPRESI DAN PVD PADA  
RUAS STA 149+700 - STA 151+050 DAN STA  
158+650 - STA 159+200 JALAN TOL TRANS  
SUMATERA**

**ADAM MAULANA FATHAN  
NRP. 10111510000034**

**Dosen Pembimbing:  
MOHAMAD KHOIRI, ST., MT., PhD.  
NIP. 19740626 2003121 1 001**

**PROGRAM SARJANA TERAPAN  
DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL  
FAKULTAS VOKASI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA 2020**





**TUGAS AKHIR - VC 181819**

**PERCEPATAN KONSOLIDASI TANAH DASAR  
DENGAN METODE PRAKOMPRESI DAN PVD PADA  
RUAS STA 149+700 - STA 151+050 DAN STA  
158+650 - STA 159+200 JALAN TOL TRANS  
SUMATERA**

**ADAM MAULANA FATHAN  
NRP. 1011151000034**

**Dosen Pembimbing:  
MOHAMAD KHOIRI, ST., MT., PhD.  
NIP. 19740626 2003121 1 001**

**PROGRAM SARJANA TERAPAN  
DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL  
FAKULTAS VOKASI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA 2020**





**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

**TUGAS AKHIR - VC 181819**

**SUBGRADE CONSOLIDATION ACCELERATIONS  
USING PRECOMPRESSION AND PVD METHOD IN  
STA 149+700 - STA 151+050 AND STA 158+650 -  
STA 159+200 TRANS SUMATERA TOLL ROAD**

**ADAM MAULANA FATHAN  
NRP. 10111510000034**

**Adviser:  
MOHAMAD KHOIRI, ST., MT., PhD.  
NIP. 19740626 2003121 1 001**

**APPLIED BACHELOR PROGRAM  
CIVIL INFRASTRUCTURE ENGINEERING  
DEPARTEMENT  
VOCATIONAL FACULTY  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA 2020**



**LEMBAR PENGESAHAN**  
**PERCEPATAN KONSOLIDASI TANAH DASAR**  
**DENGAN METODE PRAKOMPRESI DAN PVD PADA**  
**RUAS STA 149+700 – STA 151+050 DAN STA 158+650 –**  
**STA 159+200 JALAN TOL TRANS SUMATERA**

**TUGAS AKHIR TERAPAN**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh  
Gelar Sarjana Sains Terapan  
Pada  
Program Studi Diploma IV Teknik Infrastruktur Sipil  
Fakultas Vokasi  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 31 Januari 2020

Disusun Oleh:

MAHASISWA



**Adam Maulana Fathan**

NRP. 10111510000034



06 FEB 2020







**BERITA ACARA**  
**TUGAS AKHIR TERAPAN**  
PROGRAM STUDI SARJANA TERAPAN TEKNIK SIPIL  
DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL  
FAKULTAS VOKASI ITS

No. Agenda :  
-/890/IT2.VI.8.1/PP.05.02/2020

Tanggal : 17 Januari 2020

Judul Tugas Akhir Terapan	Percepatan Konsolidasi Tanah Dasar Dengan Metode Prakompresi Dan PVD Pada Ruas STA 149+700 - STA 151+050 Dan STA 158+650 - STA 159+200 Jalan Tol Trans Sumatera		
Nama Mahasiswa	Adam Maulana Fathan	NRP	10111518090034
Dosen Pembimbing 1	Mohamad Khoiri, ST., MT., Ph.D. NIP. 19740626 200312 1 001	Tanda tangan	
Dosen Pembimbing 2	NIP -	Tanda tangan	

URAIAN REVISI

Dosen Penguji

- Grafik perbandingan penunman tanpa dan dgn PVD
- Kesimpulan perbandingan walesis tanpa PVD dan dgn PVD

Prof. Dr. Ir. Indarto, DEA.  
NIP. 19501011 198203 1 002

- Abstract diperbaiki
- cek perhitungan konsolidasi
- cek grafik
- cek persamaan rumus dan syarat badan dgn silinder
- kesimpulan disimpulkan dgn masalah

Dr. Moh. Muntaha, ST., MT.  
NIP. 19740211 199802 1 001

PERSETUJUAN HASIL REVISI

Dosen Penguji 1	Dosen Penguji 2	Dosen Penguji 3	Dosen Penguji 4
Prof. Dr. Ir. Indarto, DEA. NIP. 19501011 198203 1 002	Dr. Moh. Muntaha, ST., MT. NIP. 19740211 199802 1 001	NIP -	NIP -

Persetujuan Dosen Pembimbing Untuk Penjilidan  
Buku Laporan Tugas Akhir Terapan

Dosen Pembimbing 1

Mohamad Khoiri, ST., MT.,  
Ph.D.  
NIP. 19740626 200312 1 001

Dosen Pembimbing 2

NIP -





**KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI**  
**INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER**

**FAKULTAS VOKASI**  
 DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL  
 Kampus ITS, Jl. Menur 127 Surabaya 60116  
 Telp. 031-5947637 Fax. 031-5938025  
<http://www.diplomasipil-its.ac.id>

**ASISTENSI TUGAS AKHIR TERAPAN**

Nama : 1 Adam Maulana F 2  
 NRP : 1 101115 1 00000 34 2  
 Judul Tugas Akhir :

Dosen Pembimbing :

No	Tanggal	Tugas / Materi yang dibahas	Tanda tangan	Keterangan		
1	18 April 2019	lele Se cell Se		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	10 Mei 2019	- Data utk mencari $P_c$ perlu dipertanyakan lagi - Kurva $P_c$ , $P_o$ dan OCR tidak perlu berwarna - Kurva $e$ vs $P$ (skala log) diperjelas kembali dengan garis-garis utk mendapatkan $P_c$ - Tabel perhitungan $Se$ diperjelas dengan gambar - Tentukan kembali tebal tanah yang bisa dikompresi - Bawa data-data lab yang dipertanyakan tersebut.		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	15 Mei	- Membuat rekap/tabel data?		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

**Ket.** :  
 B = Lebih cepat dari jadwal  
 C = Sesuai dengan jadwal  
 K = Terlambat dari jadwal





**KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI**  
**INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER**  
**FAKULTAS VOKASI**

DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL  
 Kampus ITS, Jl. Menur 127 Surabaya 60116  
 Telp. 031-5947637 Fax. 031-5938025  
<http://www.diplomasipil-its.ac.id>

**ASISTENSI TUGAS AKHIR TERAPAN**

**Nama** : 1. Adam Maulana F 2  
**NRP** : 1 1011151000034 2  
**Judul Tugas Akhir** :

**Dosen Pembimbing** :

No	Tanggal	Tugas / Materi yang dibahas	Tanda tangan	Keterangan
3	15 Mei 2019	- Membuat perhitungan penurunan pd 1 zona dgn tinggi timbunan yg berbeda-beda		<input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/> K
		- Membuat tabel perhitungan penurunan dan waktu (durasinya) (Utk mengetahui laju penurunan)		<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
		- Jangan menghitung PVD dulu.		<input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/> K
		- Membuktikan koef. I untuk menghitung $\Delta P$		<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
4	29/5 <sup>15</sup>	- Tabel perhitungan sc ditambah lagi kolom $\Delta P$		<input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/> K
		- Rekap data lagi tp perzonasi		
		- Hitung PVD pada setiap zona		<input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/> K
5	31/10 <sup>19</sup>	- Rekap 9 zona menjadi lebih sedikit dan diberi keterangan pd gambar strateginya		<input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/> K

**Ket.** :  
 B = Lebih cepat dari jadwal  
 C = Sesuai dengan jadwal  
 K = Terlambat dari jadwal





**ASISTENSI TUGAS AKHIR TERAPAN**

Nama : 1. Adam Maulana F 2  
 NRP : 1. 1011151 0000034 2  
 Judul Tugas Akhir :

Dosen Pembimbing :

No	Tanggal	Tugas / Materi yang dibahas	Tanda tangan	Keterangan		
6	6/12 2019	- Gambar stratig diperbaiki zonasinya dari 5 zona menjadi 3 zona				
		- Hitung penurunan tanah ke-3 Zona tsb dg ketentuan: • Cari tanah lunak tertebal pd zona tsb; • data tanah digeneral- kan pd setiap zona; • H.kimban sebagai variabel bebas; • Beban $q_0 = \gamma \cdot H.kimb + \text{beban lalin.}$		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
				B	C	K
7	11/12 2019	- Khusus zona 2 <del>etc</del> diganti/ pilih data angka yg besar - Hitung kebutuhan PVO dan Geotekstil setiap zona dg permodelannya		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		- Lengkapi gambar dan laporan untuk persetujuan		B	C	K
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8	20/12 2019	- Lengkapi gambar, gambar bertahap pelaksanaan		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
				B	C	K

- SF dibuat 1/4

Ket. :  
 B = Lebih cepat dari jadwal  
 C = Sesuai dengan jadwal  
 K = Terlambat dari jadwal





# **PERCEPATAN KONSOLIDASI TANAH DASAR DENGAN METODE PRAKOMPRESI DAN PVD PADA RUAS STA 149+700 – STA 151+050 DAN STA 158+650 – STA 159+200 JALAN TOL TRANS SUMATERA**

Nama Mahasiswa : Adam Maulana Fathan  
NRP : 10111510000034  
Jurusan : Diploma IV Teknik Infrastruktur Sipil  
Dosen Pembimbing : Mohamad Khoiri, ST., MT., PhD.  
NIP : 19740626 200312 1 001

## **ABSTRAK**

Tanah sebagai tempat berdirinya suatu bangunan adalah hal yang mutlak untuk diperhatikan terutama pada kemampuan daya dukungnya. Proyek pembangunan Jalan Tol Trans Sumatera, tepatnya pada sesi daerah Pematang Panggang – Kayu Agung, merupakan proyek yang dibangun pada daerah bekas tanah rawa dan pekebunan kelapa sawit. Karakteristik tanah tersebut adalah tanah lempung lunak dan bergambut, namun pada penanganannya dapat dilakukan perbaikan tanah lunak seperti pada umumnya yang menggunakan formula Terzaghi. Jalan Tol Trans Sumatera pada sesi ini memiliki total panjang lebih dari 70 Km.

Pada tugas akhir ini akan membahas metode perbaikan tanah dengan prakompresi dan dikombinasikan dengan *Prefabricated Vertical Drain* (PVD) apabila diperlukan. Metode prakompresi yang akan dibahas adalah *surchARGE preloading*, yaitu dengan memberikan timbunan tanah diatas tanah lunak sebagai beban untuk mempercepat pemampatan pori tanah. Kemudian PVD akan diperlukan bilamana durasi pemampatan terlalu lama atau laju pemampatan per tahunnya lebih dari batasan rencana.

Hasil analisa penurunan konsolidasi yang terbesar diperoleh pada zona 2, yaitu 0,578 dengan tinggi timbunan total (H.inisial) adalah 6,67 meter. Pada timbunan tersebut membutuhkan 4 lembar geotekstil untuk dapat menjaga kestabilan tanah timbunannya. Kemudian waktu konsolidasi

yang diperlukan untuk mencapai derajat konsolidasi 90% adalah 99,861 tahun apabila tidak menggunakan PVD, namun apabila menggunakan PVD percepatan waktu konsolidasi dapat dipercepat menjadi 0,35 tahun atau sekitar 19 pekan.

**Kata Kunci: penurunan konsolidasi, waktu konsolidasi, stabilitas lereng**

# **SUBGRADE CONSOLIDATION ACCELERATIONS USING PRECOMPRESSION AND PVD METHOD ON STA 149+700 – STA 151+050 AND STA 158+650 – STA 159+200 TRANS SUMATERA TOLL ROAD**

Nama of Student : Adam Maulana Fathan  
NRP : 10111510000034  
Departement : Diploma IV Teknik Infrastruktur Sipil  
Counsellor Lecturer : Mohamad Khoiri, ST., MT., PhD.  
NIP : 19740626 200312 1 001

## **ABSTRACT**

Subgrade as a building's foundation is an absolute thing to pay attention to especially on the carrying capacity. The Trans Sumatra Toll Road construction project, precisely in the Pematang Panggang - Kayu Agung regional session, is a project that was developed in a formerly swampy area and oil palm plantation. The characteristics of the soil are soft clay and peat, but in handling it can be improved soft soil as in general using the Terzaghi formula. The Trans Sumatra Toll Road in this session has a total length of more than 70 Km.

In this final project will discuss the method of soil improvement with pre-compression and combined with Prefabricated Vertical Drain (PVD) if needed. The precompression method that will be discussed is the preloading surcharge, which is by giving heaps of soil over soft soils as a burden to accelerate the compression of soil pores. Then PVD will be needed if the compression duration is too long or the annual compression rate is more than the plan limit.

The results of the largest decrease analysis obtained in zone 2, namely 0.578 with a total heap height (H. initial) is 6.67 meters. In the pile requires 4 geotextile sheets to be able to maintain the stability of the landfill. Then the consolidation time needed to achieve a degree of consolidation of 90% is 99,861 years if not using PVD, but if using PVD the

acceleration of consolidation time can be accelerated to 0.35 years or around 19 weeks.

***Key Words: consolidation settlement, time of consolidation, slope stability***

## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puji syukur atas rahmat dan karunia Allah *Subhanahu Wa Ta'aala* yang telah memberikan kemudahan untuk menyelesaikan tugas akhir terapan yang berjudul **“Percepatan Konsolidasi Tanah Dasar Dengan Metode Prakompresi Dan PVD Pada Ruas STA 149+700 – STA 151+050 DAN STA 158+650 – STA 159+200 Jalan Tol Trans Sumatera”** dengan tepat waktu.

Penyusunan laporan tugas akhir terapan ini diharapkan dapat memberikan manfaat kepada masyarakat setelah penulis menyelesaikan Program Studi Sarjana Sains Terapan Teknik Infrastruktur Sipil Fakultas Vokasi di kampus Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Segala bentuk kekeliruan dapat terjadi dalam laporan tugas akhir ini, oleh karena itu penulis dengan senang hati menerima kritikan yang membangun dari pembaca. Pada kesempatan ini penulis juga ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua tercinta, sebagai penyemangat dan telah memberikan banyak dukungan tak terungkap.
2. Bapak Mohamad Khoiri, ST., MT., PhD., selaku dosen pembimbing penyusunan laporan tugas akhir.
3. Seluruh teman dan pihak kampus yang telah memberikan banyak bantuan agar penyusunan laporan tugas akhir ini dapat terselesaikan dengan baik.

Surabaya, Januari 2020

ADAM MAULANA FATHAN  
NRP: 10111510000034

*Halaman Ini Sengaja Dikosongkan*

## DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR .....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR GAMBAR .....	xv
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Rumusan Masalah .....	4
1.3. Tujuan .....	5
1.4. Batasan Masalah.....	6
1.5. Manfaat .....	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1. Dasar Teori.....	7
2.1.1. Stratigrafi Tanah Asli.....	7
2.1.2. Pendekatan Empiris.....	7
2.1.3. Konsolidasi Tanah.....	8
2.1.4. Perhitungan Penurunan Seketika.....	9
2.1.5. Perhitungan Konsolidasi Primer .....	11
2.1.6. Perhitungan Konsolidasi Sekunder .....	14
2.1.7. Analisa Laju Konsolidasi .....	15
2.1.8. Perancangan PVD .....	16
2.1.9. Analisa Stabilitas Lereng Timbunan .....	18
2.1.10. Rancangan Perkuatan Timbunan dengan Geotekstil.....	21
2.1.11. Program Bantu Geoteknik.....	23

2.2.	Standar Acuan .....	25
2.2.1.	Standar Metode Perbaikan.....	25
2.2.2.	Standar Perancangan PVD .....	26
2.2.3.	Standar Perancangan Timbunan.....	30
2.3.	Daftar Istilah.....	31
<b>BAB III METODOLOGI .....</b>		<b>35</b>
3.1.	Keperluan Data.....	35
3.2.	Penyelesaian Masalah.....	35
3.3.	Diagram Alir.....	36
<b>BAB IV ANALISA DATA DAN HASIL PEMBAHASAN .41</b>		
4.1.	Data Umum .....	41
4.2.	Data Parameter Tanah .....	42
4.3.	Zonasi Tanah .....	47
4.4.	Konsolidasi Tanah Lunak.....	47
4.5.1.	Zona 1 (STA 148+700 s.d. STA 149+550).....	47
4.5.2.	Zona 2 (STA 149+550 s.d. STA 150+675).....	56
4.5.3.	Zona 3 (STA 150+675 s.d. STA 151+450).....	59
4.5.4.	Zona 4 (STA 148+650 s.d. STA 159+200).....	62
4.5.	Rancangan PVD .....	65
4.6.1.	Zona 1 (STA 148+700 s.d. STA 149+550).....	65
4.6.2.	Zona 2 (STA 149+550 s.d. STA 150+675).....	69
4.6.3.	Zona 3 (STA 150+675 s.d. STA 151+450).....	70
4.6.4.	Zona 4 (STA 148+650 s.d. STA 159+200).....	71
4.6.	Rancangan Geotekstil.....	73
4.7.1.	Zona 1 (STA 148+700 s.d. STA 149+550).....	73



4.7.2. Zona 2 (STA 149+550 s.d. STA 150+675) .....	76
4.7.3. Zona 3 (STA 150+675 s.d. STA 151+450) .....	77
4.7.4. Zona 4 (STA 148+650 s.d. STA 159+200) .....	78
<b>BAB V METODE PELAKSANAAN</b> .....	<b>81</b>
5.1. Lingkup Pekerjaan.....	81
5.1.1. Pekerjaan Pembersihan dan Perataan Tanah .....	81
5.1.2. Pemasangan PVD dan PHD .....	83
5.1.3. Penimbunan Tanah dan Pemasangan Geotekstil .....	86
<b>BAB VI PENUTUP</b> .....	<b>91</b>
6.1. Kesimpulan .....	91
6.2. Saran.....	93
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	<b>95</b>
<b>LAMPIRAN</b> .....	<b>97</b>
<b>BIODATA PENULIS</b> .....	<b>137</b>

*Halaman Ini Sengaja Dikosongkan*

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b> Klasifikasi Tanah Lempung dan Lanau.....	7
<b>Tabel 2.2</b> Klasifikasi Tanah Pasir.....	7
<b>Tabel 2.3</b> Harga Influence Factor (Ip) .....	10
<b>Tabel 2.4</b> Kelas Proyek untuk Desain Penggunaan PVD .....	29
<b>Tabel 2.5</b> Beban Lalu Lintas untuk Analisis Stabilitas (DPU, 2001) dan Beban di Luar Jalan.....	31
<b>Tabel 4.1</b> Data Specific Gravity, $G_s$ .....	42
<b>Tabel 4.2</b> Data Angka Pori, $e_o$ .....	42
<b>Tabel 4.3</b> Data Indeks Pemampatan, $C_c$ .....	43
<b>Tabel 4.4</b> Data Koefisien Konsolidasi Vertikal, $C_v$ ( $\text{cm}^2/\text{s}$ )..	43
<b>Tabel 4.5</b> Data Kadar Air Tanah, $w$ (%).....	43
<b>Tabel 4.6</b> Data Unconfined Compression Streght, $q_u$ ( $\text{Kg}/\text{cm}^2$ ) .....	44
<b>Tabel 4.7</b> Data Tegangan Prakonsolidasi, $P_c$ ( $\text{KN}/\text{m}^2$ ).....	44
<b>Tabel 4.8</b> Data Atterberg Limit .....	45
<b>Tabel 4.9</b> Data Analisa Saringan Tanah (G:Kerikil, S:Pasir, M:Lanau, C: Lempung).....	46
<b>Tabel 4.10</b> Data Hasil Uji Konsolidasi di Laboratorium.....	49
<b>Tabel 4.11</b> Berat Jenis Material Beban Perkerasan .....	50
<b>Tabel 4.12</b> Beban Merata Material Beban Perkerasan .....	51
<b>Tabel 4.13</b> Rekapitulasi Hasil Analisa Konsolidasi Zona 1 ..	53
<b>Tabel 4.14</b> Hasil Analisa Regresi Linier Konsolidasi Zona 155	
<b>Tabel 4.15</b> Rekapitulasi Hasil Analisa Konsolidasi Zona 2 ..	56
<b>Tabel 4.16</b> Hasil Analisa Regresi Linier Konsolidasi Zona 258	
<b>Tabel 4.17</b> Rekapitulasi Hasil Analisa Konsolidasi Zona 3 ..	59
<b>Tabel 4.18</b> Hasil Analisa Regresi Linier Konsolidasi Zona 361	
<b>Tabel 4.19</b> Rekapitulasi Hasil Analisa Konsolidasi Zona 4 ..	62
<b>Tabel 4.20</b> Hasil Analisa Regresi Linier Konsolidasi Zona 464	
<b>Tabel 4.21</b> Rate Settlement 10 Tahun Zona 1 .....	66
<b>Tabel 4.22</b> Analisa Percepatan dengan PVD Zona 1.....	67
<b>Tabel 4.23</b> Rate Settlement 10 Tahun Zona 2 .....	69

<b>Tabel 4.24</b>	Analisa Percepatan dengan PVD Zona 2 .....	69
<b>Tabel 4.25</b>	Rate Settlement 10 Tahun Zona 3.....	70
<b>Tabel 4.26</b>	Analisa Percepatan dengan PVD Zona 3 .....	71
<b>Tabel 4.27</b>	Rate Settlement 10 Tahun Zona 4.....	72
<b>Tabel 4.28</b>	Analisa Percepatan dengan PVD Zona 4 .....	72
<b>Tabel 4.29</b>	Input Data Tanah Permodelan Zona 1 .....	74
<b>Tabel 4.30</b>	Input Data Tanah Permodelan Zona 2 .....	76
<b>Tabel 4.31</b>	Input Data Tanah Permodelan Zona 3 .....	77
<b>Tabel 4.32</b>	Input Data Tanah Permodelan Zona 4 .....	79

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 1.1</b> Lokasi Pembangunan Jalan Tol Trans Sumatera Ruas Pematang Panggang - Kayu Agung .....	3
<b>Gambar 1.2</b> Total Panjang Jalan Tol Pematang Panggang - Kayu Agung .....	4
<b>Gambar 1.3</b> Desain Pembangunan Jalan Tol PP-KA .....	4
<b>Gambar 2.1</b> Prinsip Konsolidasi .....	9
<b>Gambar 2.2</b> Kurva Prediksi Penurunan Konsolidasi Akhir Metode Asaoka.....	11
<b>Gambar 2.3</b> Ilustrasi Potongan Melintang Timbunan Tanah	14
<b>Gambar 2.4</b> Kurva Waktu Terjadinya Konsolidasi Sekunder .....	15
<b>Gambar 2.5</b> Macam Pola Pemasangan PVD .....	17
<b>Gambar 2.6</b> Diameter Ekuivalen untuk PVD .....	18
<b>Gambar 2.7</b> Perhitungan Stabilitas Lereng Metode Irisan....	20
<b>Gambar 2.8</b> Klasifikasi Butiran Tanah dan Metode Perbaikannya .....	26
<b>Gambar 2.9</b> Skema Perbaikan Tanah dengan PVD .....	27
<b>Gambar 2.10</b> Diagram Proses Pelaksanaan PVD .....	28
<b>Gambar 2.11</b> Perbandingan Vacuum Preloading (kiri) dan Surcharge Preloading (kanan) .....	33
<b>Gambar 2.12</b> Susunan inti dalam Prefabricated Vertical Drain .....	33
<b>Gambar 2.13</b> Susunan inti dalam Prefabricated Horizontall Drain.....	34
<b>Gambar 4.1</b> Potongan Melintang untuk Perhitungan Zona 1	48
<b>Gambar 4.2</b> Menentukan Harga $P_c'$ dengan Metode Grafik Casagrande .....	49
<b>Gambar 4.3</b> Kurva Regresi $S_c$ vs $H_{final}$ Zona 1 .....	54
<b>Gambar 4.4</b> Kurva Regresi $H_{inisial}$ vs $H_{final}$ Zona 1 .....	55
<b>Gambar 4.5</b> Kurva Regresi $S_c$ vs $H_{final}$ Zona 2 .....	57

<b>Gambar 4.6</b>	Kurva Regresi H.inisial vs H.final Zona 2 .....	58
<b>Gambar 4.7</b>	Kurva Regresi Sc vs H.final Zona 3.....	60
<b>Gambar 4.8</b>	Kurva Regresi H.inisial vs H.final Zona 3 .....	61
<b>Gambar 4.9</b>	Kurva Regresi Sc vs H.final Zona 4.....	63
<b>Gambar 4.10</b>	Kurva Regresi H.inisial vs H.final Zona 4 .....	64
<b>Gambar 4.11</b>	Kurva Durasi Konsolidasi .....	68
<b>Gambar 4.12</b>	Permodelan Awal Zona 1 Sebelum Running ..	74
<b>Gambar 4.13</b>	Hasil Analisa Permodelan dengan Geostudio Zona 1 .....	74
<b>Gambar 4.14</b>	Permodelan Awal Zona 2 Sebelum Runnung .	76
<b>Gambar 4.15</b>	Hasil Analisa Permodelan dengan Geostudio Zona 2.....	77
<b>Gambar 4.16</b>	Permodelan Awal Zona 3 Sebelum Runnung .	78
<b>Gambar 4.17</b>	Hasil Analisa Permodelan dengan Geostudio Zona 3.....	78
<b>Gambar 4.18</b>	Permodelan Awal Zona 4 Sebelum Runnung .	79
<b>Gambar 4.19</b>	Hasil Analisa Permodelan dengan Geostudio Zona 4.....	79
<b>Gambar 5.1</b>	Standar Penetapan Ruang Jalan .....	81
<b>Gambar 5.2</b>	Ilutrasi Pengangkutan Tanah Pada Konstruksi Jalan Tol .....	82
<b>Gambar 5.3</b>	Ilustrasi Pengurangan dan Pemadatan Tanah.....	83
<b>Gambar 5.4</b>	Proses Pembuatan Plate Form .....	84
<b>Gambar 5.5</b>	Pelaksanaan Pemancangan PVD.....	85
<b>Gambar 5.6</b>	Hasil Pemasangan PVD dan PHD.....	86
<b>Gambar 5.7</b>	Ilustrasi Test Kepadatan Tanah dengan Uji Sand Cone.....	87
<b>Gambar 5.8</b>	Diagram Alir Pelaksanaan Penimbunan Tanah.88	

## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Seiring dengan perubahan zaman dan perkembangan teknologi, pertumbuhan jumlah sarana transportasi darat di dalam negeri terus meningkat. Peningkatan jumlah volume maupun beban muatan kendaraan, merupakan dampak dari kegiatan masyarakat Indonesia untuk memenuhi kebutuhan transportasi dan ekonomi logistik mereka setiap harinya. Berdasarkan dari data statistik pada tahun-tahun sebelumnya, kebutuhan masyarakat tadi dengan penambahan kendaraan pribadi maupun kendaraan niaga seperti angkutan umum dan truk memiliki perbandingan searah. Oleh sebab itu, diperlukan pembangunan prasarana transportasi berupa infrastruktur jalan yang memiliki keamanan dan kenyamanan yang memadai, serta dibangun seefisien mungkin baik dari segi biaya maupun waktu untuk dapat menyeimbangkan perbandingan tersebut.

Di dalam perkembangan pembangunan infrastruktur jalan, terdapat dua macam jenis lapis perkerasan yang sering digunakan di Indonesia, perkerasan lentur dengan bahan pengikat dari aspal (*flexible pavement*) dan perkerasan kaku yang bahan pengikatnya dari campuran semen (*rigid pavement*). Untuk melayani beban kendaraan niaga yang terus meningkat setiap tahunnya, perkerasan kaku memiliki kemampuan mendistribusikan beban kendaraan lebih baik dibandingkan perkerasan lentur dan memiliki biaya perawatan yang sedikit. Namun apabila ditinjau dari segi biaya pembangunan dan kenyamanan dalam berkerndara, perkerasan lentur merupakan pilihan yang cocok.

Kedua jenis teknologi perkerasan tersebut merupakan pembangunan struktur transportasi di atas tanah dasar (*subgrade*) yang sebelumnya sudah dipastikan daya dukung minimumnya. Karena sebaik apapun konstruksi struktur bangunan yang digunakan, akan tetapi tidak didukung dengan kondisi tanah dasar yang memadai sebagai tempat pondasi bangunan tersebut dibangun, maka konstruksi bangunan

tersebut akan mudah mengalami kerusakan dan akan lebih banyak menghabiskan biaya perawatan. Oleh dari yang demikian itu sebelum konstruksi struktur utama dilakukan, pekerjaan tanah dasar sebagai *platform* struktur bangunan harus dipastikan terlebih dahulu kemampuan daya dukungnya untuk keperluan konstruksi perkerasan.

Tanah yang dapat merusak struktur perkerasan merupakan tanah dengan daya dukungnya yang rendah akibat pemampatannya yang terjadi pada tanah belum sempurna. Umumnya tanah ini adalah tanah lempung yang sifatnya lunak dan memiliki kandungan air yang tinggi/ jenuh air. Sehingga perlu adanya beberapa perlakuan untuk mengatasi penurunan tanah akibat kandungan air berlebih di dalam tanah dan perkuatan terhadap timbunan di atasnya apabila diperlukan.

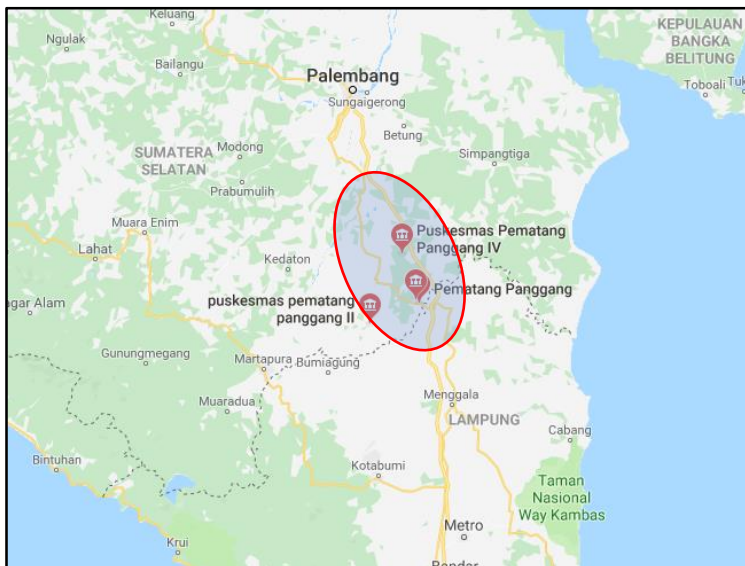
Permasalahan penurunan tanah akibat perubahan volume tanah yang jenuh air atau konsolidasi tanah dapat diatasi dengan cara mempercepat waktu konsolidasinya. Adapun metode percepatan konsolidasi yang umum dilakukan di Indonesia, yaitu dengan menanam *Prefabricated Vertical Drain* (PVD) kedalam tanah lunak dan disambungkan dengan *Prefabricated Horizontal Drain* (PHD), kemudian diberikan prapembeban atau *surchage preloading* di atas tanah lunak tersebut agar tanah lunak dapat terkompresi.

Dalam penggunaan metode ini terdapat permasalahan yang juga perlu untuk diselesaikan, yaitu permasalahan stabilitas timbunan tanah. Penanganan untuk perkuatan timbunannya adalah dengan cara menambahkan geotekstil pada setiap beberapa lapis timbunannya, sesuai dengan perancang yang telah diperhitungkan. Penambahan geotekstil ini diperlukan apabila perbandingan antara momen penahan dan penggerak longsor tanah timbunan kurang dari angka keamanan yang sudah ditetapkan oleh SNI.

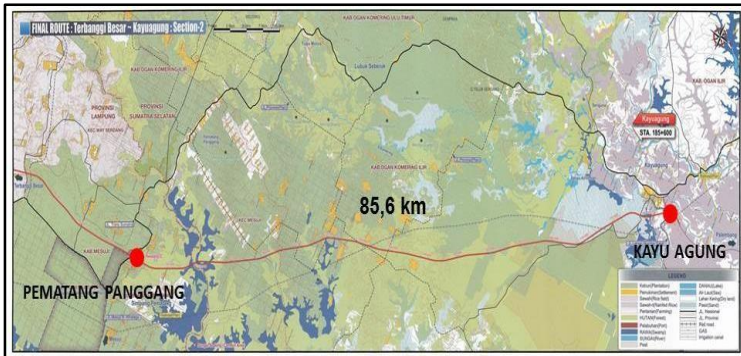
Permasalahan percepatan konsolidasi tanah yang dimuat dalam tugas akhir terapan yang berjudul **“Percepatan Konsolidasi Tanah Dasar Dengan Metode Prakompresi**



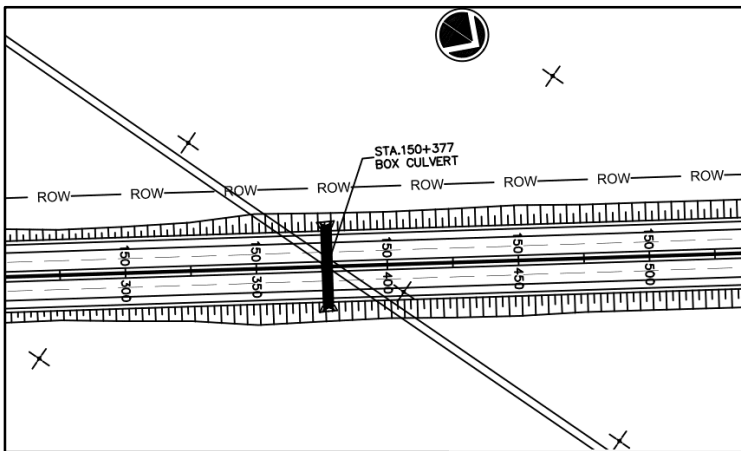
**Dan PVD Pada Ruas STA 149+700 – STA 151+050 DAN STA 158+650 – STA 159+200 Jalan Tol Trans Sumatera”** ini, merupakan penanganan perbaikan tanah terhadap tanah rawa-rawa dan bekas perkebunan kelapa sawit dengan metode prakompresi menggunakan timbunan tanah. Karakteristik tanah yang terkandung di dalamnya adalah tanah berjenis lempung lunak dan sedikit gambut. Untuk penanganan perbaikan tanah yang juga memiliki karakteristik tanah gambut ini, masih dapat dianalisa dengan teori-teori konsolidasi yang terjadi pada tanah lempung lunak seperti pada umumnya. Perbaikan tanah pada proyek pembangunan jalan tol trans Sumatera ini, dilakukan tepatnya berada pada ruas Pematang Panggang – Kayu Agung (PP-KA) Seksi 2, untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar peta pada gambar berikut,



**Gambar 1.1** Lokasi Pembangunan Jalan Tol Trans Sumatera Ruas Pematang Panggang - Kayu Agung  
(Sumber: google.com)



**Gambar 1.2** Total Panjang Jalan Tol Pematang Panggang - Kayu Agung  
(Sumber: google.com)



**Gambar 1.3** Desain Pembangunan Jalan Tol PP-KA  
(Sumber: dokumen pelaksana)

## 1.2. Rumusan Masalah

1. Bagaimana perhitungan besar pemampatan konsolidasi pada tanah dasar?
2. Bagaimana analisa durasi waktu percepatan konsolidasi metode prakompresi tanpa maupun dengan *prefabricated vertical drain* (PVD)?

3. Bagaimana permodelan percepatan konsolidasi metode prakompresi dengan timbunan tanah dalam aplikasi perangkat lunak?
4. Bagaimana analisa stabilitas lereng timbunan untuk konsolidasi metode prakompresi dengan timbunan tanah?
5. Bagaimana analisa penambahan stabilitas lereng timbunan yang digunakan?
6. Bagaimana metode pelaksanaan perbaikan tanah menggunakan metode prakompresi dengan timbunan tanah?

### **1.3. Tujuan**

1. Memahami tahapan perhitungan kemampuan pemampatan tanah lunak yang akan dilakukan konsolidasi.
2. Mengetahui lama waktu pengerjaan percepatan konsolidasi tanah menggunakan metode prakompresi dengan timbunan tanah tanpa maupun dengan *prefabricated vertical drain* (PVD).
3. Mampu memodelkan perbaikan tanah lunak dengan metode prakompresi dengan timbunan tanah dalam bentuk aplikasi perangkat lunak.
4. Menentukan angka keamanan stabilitas lereng timbunan pada timbunan tanah prapembebanan di atas tanah dasar.
5. Menentukan penambahan angka keamanan stabilitas lereng tanah timbunan sebagai prapembebanan pada tanah dasar dalam metode *multistage embankment*.
6. Mampu mengaplikasikan pelaksanaan hasil perencanaan metode prakompresi dengan timbunan tanah untuk perbaikan tanah dasar dilapangan.

#### **1.4. Batasan Masalah**

1. Tidak membahas Rencana Anggaran Biaya (RAB) pelaksanaan perbaikan tanah dasar.
2. Tidak merancang struktur perkerasan di atas tanah dasar.

#### **1.5. Manfaat**

Tugas akhir ini diharapkan dapat memberikan pilihan metode untuk perbaikan tanah lunak, khususnya penanganan tanah lunak yang jenuh air. Sebagai perbandingan penilaian terhadap metode-metode perbaikan tanah lunak berdasarkan permasalahan penanganan tanah lunak yang ditinjau dan menjadi referensi bagi pembaca yang ingin menggunakan metode ini untuk mempercepat konsolidasi tanah pada masa mendatang.

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Dasar Teori

#### 2.1.1. Stratigrafi Tanah Asli

Stratigrafi tanah diperlukan untuk mengetahui distribusi jenis klasifikasi lapisan tanah dan ketebalannya berdasarkan data nilai N-SPT yang diperoleh dari data *borehole* hasil dari penyelidikan tanah dilapangan. Berikut adalah jenis klasifikasi tanah dan deskripsinya,

**Tabel 2.1** Klasifikasi Tanah Lempung dan Lanau

No	Deskripsi	Nilai N-SPT
1	Very Soft Clay	0 – 2
2	Soft Clay	2 – 4
3	Medium Clay	4 – 8
4	Stiff Clay	8 – 15
5	Very Stiff Clay	15 – 30
6	Hard Clay	> 30

(Sumber: Terzaghi dan Peck, 1967)

**Tabel 2.2** Klasifikasi Tanah Pasir

No	Deskripsi	Nilai N-SPT
1	Very Loose Sand	0 – 4
2	Loose Sand	5 – 10
3	Medium Clay	11 – 30
4	Dense Sand	31 – 50
5	Very Dense Sand	> 50

(Sumber: Mayerhof, 1956)

Namun apabila data *borehole* yang diperoleh adalah data selain nilai N-SPT seperti data sondir, maka data sondir tersebut perlu dikolerasikan dengan nilai N-SPT menggunakan rumus dari hasil pendekatan empiris yang sebelumnya pernah teruji.

#### 2.1.2. Pedekatan Empiris

Dalam melakukan analisa perbaikan tanah diperlukan adanya data-data parameter tanah yang dapat mendukung rancangan perhitungan. Namun dikarenakan terdapat data tanah

yang tidak tersedia, maka penggunaan formula empiris berdasarkan referensi-referensi yang ditulis dalam buku maupun jurnal oleh ahli geoteknik merupakan suatu hal yang perlu dilakukan. Pendekatan empiris yang dimaksud adalah formula hasil dari observasi di lapangan sebagai upaya untuk mendapatkan data-data yang dibutuhkan dengan mengkorelasikan data-data yang sudah tersedia.

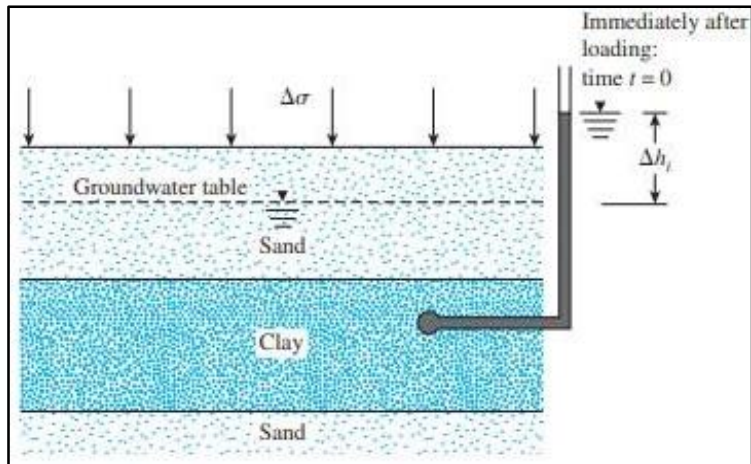
### 2.1.3. Konsolidasi Tanah

Total tegangan tanah ( $\sigma$ ) pada suatu titik tanah yang ditinjau dapat dinyatakan dalam,

$$\sigma = \sigma' + u$$

Tegangan efektif ( $\sigma'$ ) merupakan gaya-gaya vertikal yang bekerja pada luasan permukaan (secara langsung/ bersentuhan) dari setiap butiran-butiran tanah pada titik kedalaman tanah yang ditinjau. Sedangkan tekanan hidrostatik ( $u$ ) adalah tegangan air di kedalaman tanah yang ditinjau pada titik yang sama.

Pada kasus nyata di lapangan, berat bangunan ketika atau setelah konstruksi yang dilakukan di atas tanah akan menyebabkan tegangan dalam tanah meningkat, terutama tegangan yang diterima oleh air pori tanah. Peningkatan tegangan air pori tanah yang berbanding lurus dengan penambahan beban di atas tanah, sehingga menjadikan air pori tanah berpindah tempat dari ruang pori yang bertekanan tinggi ke ruang pori tanah yang memiliki tekanan lebih rendah. Kemampuan perpindahan air pori (permeabilitas) yang terjadi pada tanah akan memberikan pengaruh terhadap perubahan volume tanah, atau dalam permasalahan terhadap struktur sebenarnya di lapangan dapat dilihat dampaknya yang disebut sebagai deformasi/ penurunan tanah.



**Gambar 2.1** Prinsip Konsolidasi

(Sumber: Principles of Foundation Engineering 7<sup>th</sup> Edition)

Ilustrasi penurunan tanah pada **Gambar 2.1** menjelaskan bahwasannya tanah berpasir yang terendam air yang memiliki ruang pori tanah lebih besar dibandingkan dengan tanah lempung akan mudah mengalami penurunan tanah akibat tegangan efektif tanah, peristiwa penurunan pada tanah jenis ini dapat terjadi dengan segera/ seketika (*immediately settlement*). Sedangkan pada tanah berjenis lempung yang memiliki ruang pori lebih kecil, akan menyulitkan air pori tanah untuk berpindah, sehingga penurunan tanah terjadi secara bertahap dengan periode waktu yang lama (*consolidation settlement*).

#### 2.1.4. Perhitungan Penurunan Seketika

Penurunan seketika pada tanah dapat dihitung menggunakan teori elastisitas dengan rumus sebagai berikut,

$$S_e = \Delta\sigma \cdot B \cdot \frac{1 - \mu_s^2}{E_s} \cdot I_p$$

dimana,

$S_e$  = *elastic settlement* (penurunan elastis)

$\Delta\sigma$  = tegangan tanah yang terjadi ( $\text{kN/m}^2$ )

- $B$  = lebar timbunan tanah (m)  
 $E_s$  = modulus elastisitas tanah ( $kN/m^2$ )  
 $\mu_s$  = poisson's ratio  
 $I_p$  = non-dimensional influence factor

Dari persamaan di atas, harga  $I_p$  dapat diperoleh dari rumus yang didefinisikan oleh Schleicher (1926) yang diekspresikan dalam,

$$I_p = \frac{1}{\pi} \cdot \left[ m_1 \cdot \ln \left( \frac{1 + \sqrt{m_1^2 + 1}}{m_1} \right) + \ln \left( 1 + \sqrt{m_1^2 + 1} \right) \right]$$

dimana,

$$m_1 = L/B$$

$L$  = panjang beban yang bekerja

$B$  = lebar beban yang bekerja

Untuk mempermudah perhitungan harga  $m_1$ , dapat dilihat pada **Tabel 2.3** berikut,

**Tabel 2.3** Harga Influence Factor ( $I_p$ )

Shape	$m_1$	$I_p$ Value		
		Flexible		Rigid
		Center	Corner	
Circle	-	1.00	0.64	0.79
Rectangle	1	1.12	0.56	0.88
	1.5	1.36	0.68	1.07
	2	1.53	0.77	1.21
	3	1.78	0.89	1.42
	5	2.10	1.05	1.70
	10	2.54	1.27	2.10
	20	2.99	1.49	2.46
	50	3.57	1.80	3.00
	100	4.01	2.00	3.43

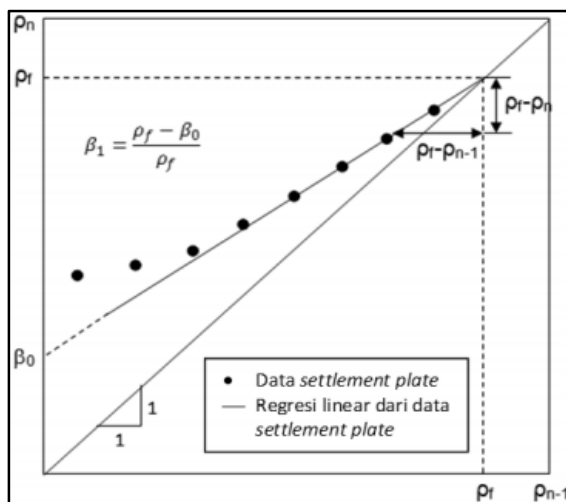
(Sumber: Schleicher, 1926)



### 2.1.5. Perhitungan Konsolidasi Primer

#### Metode Asaoka

Metode Asaoka (1978) merupakan metode satu arah untuk memprediksi penurunan konsolidasi akhir berdasarkan hasil pengamatan terhadap instrumen geoteknik dilapangan yang memungkinkan diperolehnya parameter-parameter konsolidasi yang lebih akurat. Metode ini merupakan suatu alat bantu untuk memprediksi penurunan tanah dengan menggunakan data grafis/ kurva hasil dari pembacaan *settlement plate*, kemudian dari data grafis yang terbentuk tersebut akan diperhalus (*curve fitting*) menjadi kurva linier (Hasbullah N dkk, 2012).



**Gambar 2.2** Kurva Prediksi Penurunan Konsolidasi Akhir Metode Asaoka  
(Sumber: Jurnal Prediksi Penurunan Tanah Menggunakan Prosedur  
Obsevasi Asaoka)

Berdasarkan **Gambar 2.2**, kurva tersebut merupakan kurva dengan *trendline*  $\rho_n$  (pada sumbu y) dan  $\rho_{n-1}$  (pada sumbu x). Dimana  $\rho_n$  adalah penurunan pada waktu  $n$  dan  $\rho_{n-1}$  adalah penuruan pada titik sebelum waktu  $n$ . Untuk menentukan besar penurunannya dapat digunakan persamaan umum berikut,

$$\rho_j = \frac{\beta_0}{1 - \beta_1} - \left\{ \frac{\beta_0}{1 - \beta_1} - \rho_0 \right\} (\beta_0)^j$$

dimana,

$\rho_j$  = besar penurunan tanah pada waktu t

$\beta_0$  = waktu titik plot pertama dari regresi linier pn dan pn-1

$\beta_1$  = kemiringan dari garis pn vs pn-1

### Metode Terzaghi

Akibat keluarnya air dari ruang antara butiran, tanah akan mengalami penurunan dikarenakan jarak butiran menjadi semakin dekat. Dengan teorikonsolidasi satu dimensi dari Terzaghi dapat diperhitungkan penurunan yang terjadi pada beban operasional yang diekspresikan dalam persamaan konsolidasi sebagai berikut,

*Normally Consolidated*

$$S_c = \frac{C_c \times H_c}{1 + e_0} \times \log \frac{P_0 + \Delta P_v}{P_0}$$

*Over consolidated clays dengan  $p_o + \Delta p_{av} \leq p_c$*

$$S_c = \frac{C_s \times H_c}{1 + e_0} \times \log \frac{P_0 + \Delta P_v}{P_0}$$

*Over consolidated clays dengan  $p_c < p_o + \Delta p_{av}$*

$$S_c = \frac{C_s \times H_c}{1 + e_0} \times \log \frac{P_c}{P_0} + \frac{C_c \times H_c}{1 + e_0} \times \log \frac{P_0 + \Delta P_v}{P_c}$$

dimana,

$S_c$  = besar penurunan tanah

$P_0$  = tegangan tanah efektif pada lapisan lempung

$P_c$  = tegangan *pre-consolidation*

$\Delta P_v$  = penambahan tegangan tanah

$e_0$  = *initial void ratio* pada tanah lempung

$C_c$  = *compression index*

$C_s$  = *swelling index*

$H_c$  = tebal lapisan lempung

Dengan mengamati rumus-rumus dari metode Terzaghi di atas, setidaknya ada tiga macam beban tegangan yang bekerja terhadap tanah lunak pada kedalaman yang ditinjau. Beban tegangan yang bekerja tersebut adalah tegangan tanah efektif ( $P_0$ ), tegangan pra konsolidasi ( $P_c$ ) dan tegangan akibat tanah timbunan di atas tanah lunak ( $\Delta P$ ). Untuk dapat memperoleh harga  $P_0$ , rumus yang digunakan adalah

$$P_0 = (h_1 \cdot \gamma'_1) + (Z_2 \cdot \gamma'_2)$$

dimana,

- $h_1$  = tebal lapisan tanah di atas tanah yang ditinjau
- $\gamma'_1$  = berat jenis tanah efektif di atas tanah yang ditinjau
- $Z_2$  = setengah tebal lapisan tanah yang ditinjau
- $\gamma'_2$  = berat jenis tanah efektif yang ditinjau
- $\gamma'_i$  =  $\gamma_{i \text{ sat}} - \gamma_w$

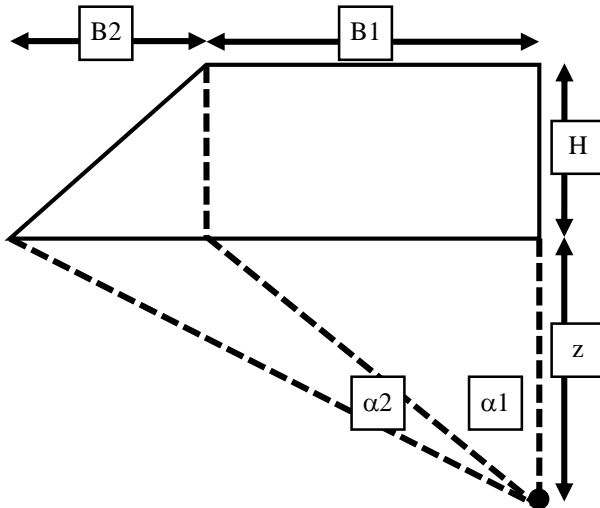
Sedangkan harga  $P_c$  didapatkan dengan cara yang diberikan oleh Casagrande (1936), yaitu melalui pembacaan grafik angka pori ( $e$ ) pada sumbu y dan tekanan dari percobaan uji laboratorium ( $p$ ) dengan skala log pada sumbu x.

Kemudian menentukan harga  $\Delta P$  dapat diambil dari hasil perkalian antara beban timbunan ( $q_0 = \gamma_{\text{timb}} * h_{\text{timb}}$ ) dengan intensitas tegangan tanah ( $I$ ). Untuk harga  $I$  bisa didapatkan dari pembacaan grafik intensitas tegangan tanah (trapesium) atau menggunakan rumus sebagai berikut,

$$I = \frac{1}{\pi} * \left( \left[ \left( \frac{[B1 + B2]}{B2} \right) * (\alpha1 + \alpha2) \right] - \left[ \frac{B1}{B2} * \alpha2 \right] \right)$$

dimana,

- $B1$  = setengah lebar jalan (m)
- $B2$  = lebar kaki timbunan jalan (m)
- $\alpha1$  =  $\tan^{-1}([B1 + B2]/z) - \tan^{-1}(B1/z)$  (radian)
- $\alpha2$  =  $\tan^{-1}(B1/z)$  (radian)



**Gambar 2.3** Ilustrasi Potongan Melintang Timbunan Tanah  
(Sumber dokumen pribadi)

#### 2.1.6. Perhitungan Konsolidasi Sekunder

Setelah tekanan pada air pori sama dengan nol namun tegangan efektif terhadap tanah masih tetap bekerja, maka konsolidasi sekunder dapat diperhitungkan dengan rumus,

$$S_s = C'_a \cdot H \cdot \log \left( \frac{t_2}{t_1} \right)$$

dimana,

$S_s$  = besar penurunan sekunder tanah

$C'_a$  = indeks pemampatan sekunder (akhir konsolidasi primer)

$H$  = kedalaman lapisan tanah

$t$  = waktu

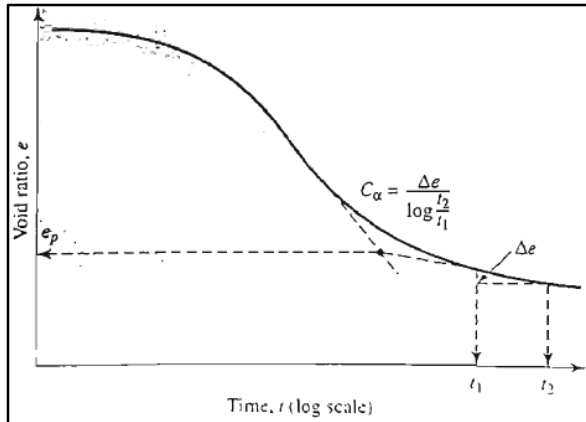
Dari persamaan di atas harga  $C'_a$  dapat diperoleh dengan rumus berikut,

$$C'_a = \frac{C_a}{1 + e_p}$$

dimana,

$C_\alpha$  = indeks pemampatan sekunder

$e_p$  = angka pori pada akhir konsolidasi primer



**Gambar 2.4** Kurva Waktu Terjadinya Konsolidasi Sekunder

(Sumber: google.com)

### 2.1.7. Analisa Laju Konsolidasi

Pertimbangan waktu yang dibutuhkan untuk beban tegangan tertentu supaya tanah dapat terkonsolidasi merupakan hal penting yang akan mempengaruhi proses pelaksanaan pekerjaan konstruksi bangunan. Proses keluarnya air pori dari lapisan lempung atau disipasi pada penurunan konsolidasi merupakan fungsi dari waktu. Derajat konsolidasi dari lapisan lempung dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut,

$$U = \frac{S_t}{S_{max}}$$

dimana,

$U$  = derajat konsolidasi (%)

$S_t$  = penurunan lapisan tanah pada suatu waktu (m)

$S_{max}$  = total kemampuan konsolidasi lapisan tanah (m)

Durasi untuk mencapai suatu derajat konsolidasi dapat diperkirakan menggunakan persamaan berikut,

$$t = \frac{T_v \times H_d^2}{C_v}$$

dimana,

$t$  = durasi pada suatu derajat konsolidasi

$T_v$  = non-dimesional time factor  $\left[ T_v = \frac{\pi}{4} \times \left( \frac{U}{100} \right)^2 \right]$

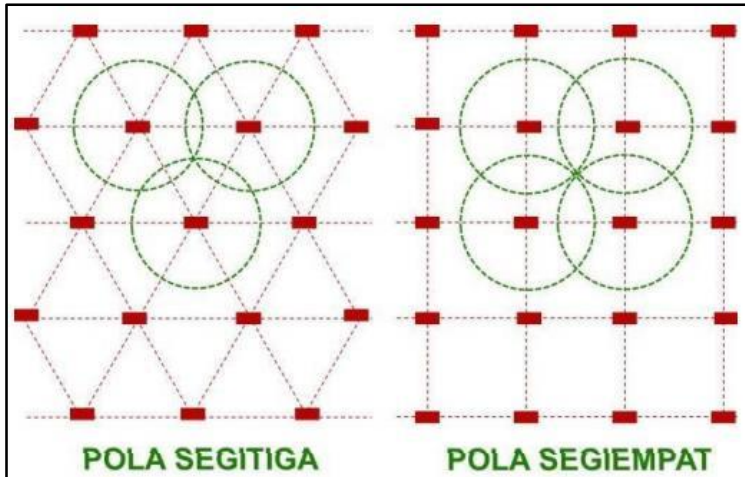
$H_d$  = lintasan drainase terpanjang

$C_v$  = koefisien konsolidasi vertikal

#### 2.1.8. Perancangan *Prefabricated Vertical Drain* (PVD)

Dalam pelaksanaan perbaikan tanah dengan cara menjadikan tanah terkonsolidasi menggunakan metode prakompresi beban timbunan tanah, tetap bisa dilakukan walaupun tanpa adanya instalasi *vertical drain*. *Vertical drain* dapat berupa kolom pasir atau PVD, namun dalam perbaikan tanah lunak kali ini hanya menggunakan PVD. PVD yang digunakan dalam proses konsolidasi akan mengurangi waktu pelaksanaan pekerjaan, sehingga PVD perlu digunakan apabila proses pemampatan tanah lebih dari waktu rencana. PVD bekerja sebagai sarana untuk mempercepat aliran air yang sulit keluar setelah diberi beban prakompresi akibat ruang pori pada tanah lempung yang sangat sempit.

Penggunaan PVD dapat memberikan perbedaan waktu percepatan konsolidasi berdasarkan jarak dan pola pemasangan yang digunakan. Ada dua macam pola yang bisa digunakan, yaitu pola segitiga dan pola persegi, untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada **Gambar 2.5**. Pada gambar tersebut, bisa dilihat terdapat garis putus-putus berbentuk lingkaran merupakan area ekuivalen terhadap tanah akibat pengaruh dari *vertical drain* arah radial. Diameter lingkaran (D) tersebut dapat berubah karena perbedaan pola dan jarak (S) pemasangan antar PVD.



**Gambar 2.5** Macam Pola Pemasangan PVD

(Sumber: Jurnal Perbaikan Tanah Lempung Lunak Metode Preloading pada Pembangunan Infrastruktur Transportasi di Pulau Kalimantan)

Perolehan gambar kurva tersebut dapat diperhitungkan dengan rumus,

$$t = \left( \frac{D^2}{8 \times C_h} \right) \cdot (2 \cdot F(n)) \cdot \ln \left( \frac{1}{1 - \bar{U}_r} \right)$$

dimana,

$t$  = derajat konsolidasi (%)

$C_h$  = Koef. konsolidasi akibat aliran air pori arah horizontal

$S$  = jarak antara titik pusat PVD

$D$  = diameter ekivalen pengaruh dari vertikal drain

1.13 x  $S$  untuk pola susunan bujursangkar

1.05 x  $S$  untuk pola susunan segitiga

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

$\bar{U}_r$  = derajat konsolidasi tanah akibat aliran air arah radial

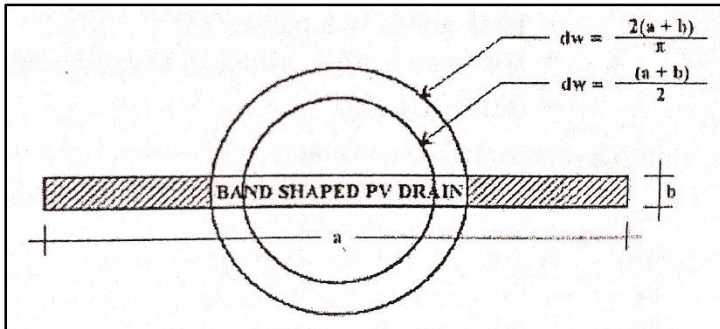
Formula di atas merupakan teori yang dikemukakan oleh Hansbo (1979). Pada formula tersebut terdapat pengaruh hambatan akibat jarak antar PVD ( $F(n)$ ), harga  $F(n)$  didefinisikan olehnya adalah,

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

dimana,

$n = D/dw$

$dw =$  diameter ekuivalen untuk PVD (lihat **Gambar 2.6**)



**Gambar 2.6** Diameter Ekuivalen untuk PVD

(Sumber: Modul Ajar Metode Perbaikan Tanah, Noor Endah Mochtar)

Setelah melakukan perhitungan lama waktu percepatan konsolidasi berdasarkan jarak dan pola yang digunakan, tabel dan gambar kurva perbandingan dari grafik waktu percepatan dan derajat konsolidasi tanah dapat dibuat. Kurva tersebut dapat dijadikan sebagai pemilihan jarak dan pola pemangan yang terbaik dengan mempertimbangkan waktu dan biaya pelaksanaan yang tersedia.

#### 2.1.9. Analisa Stabilitas Lereng Timbunan

Keruntuhan geser tanah (*shear failure*) pada lereng atau yang disebut juga dengan kelongsoran, dapat terjadi disebabkan adanya beberapa faktor. Faktor tersebut diantaranya adalah tegangan berlebih akibat beban berat di atas lereng, getaran yang ditimbulkan dari pengaruh gempa bumi, pekerjaan konstruksi di sekitaran tanah timbunan dan lain sebagainya, serta pengaruh erosi dari aliran air akibat hujan lebat, arus sungai maupun gelombang air laut.



Dalam perancangan stabilitas lereng tanah timbunan yang digunakan untuk keperluan bangunan infrastruktur, faktor yang berpengaruh adalah akibat tegangan air pori di bawah tanah timbunan, gempa bumi dan beban lalu lintas di atas tanah timbunan. Oleh dari yang demikian itu, perlu dilakukannya pemeriksaan terhadap lereng tersebut untuk mengetahui apakah akan terjadi kelongsoran atau tidak. Pemeriksaan dapat berupa pengamatan langsung di lapangan dengan mengecek tinggi muka air tanah agar dapat memperhitungkan tegangan geser tanah timbunan dan pemeriksaan dengan melakukan analisa rancangan pengaruh beban lalu lintas dan gempa terhadap stabilitas lereng timbunan secara manual maupun dengan memodelkannya dalam program bantu geoteknik.

Metode analisa stabilitas lereng yang digunakan dalam penyelesaian tugas akhir ini menggunakan metode irisan. Dari **Gambar 2.7** yang merupakan dasar teori metode irisan, secara singkat menjelaskan bagaimana beban akibat berat sendiri tanah timbunan membentuk pergerakan momen dengan jari-jari  $R$ . Sehingga berdasarkan kejadian tersebut dapat dideskripsikan dengan persamaan momen yang bekerja terhadap lereng yaitu,

Momen penggerak kelongsoran seluruhnya:

$$= \Sigma W \cdot x$$

dimana,

$W$  = berat per segmen,  $(\gamma \cdot b \cdot h)$

$b$  = lebar segmen

$h$  = tinggi segmen

$x$  = lengan momen  $W$ ,  $(R \cdot \sin \alpha)$

$R$  = jari-jari rotasi kelongsoran

Momen perlawanan kelongsoran seluruhnya:

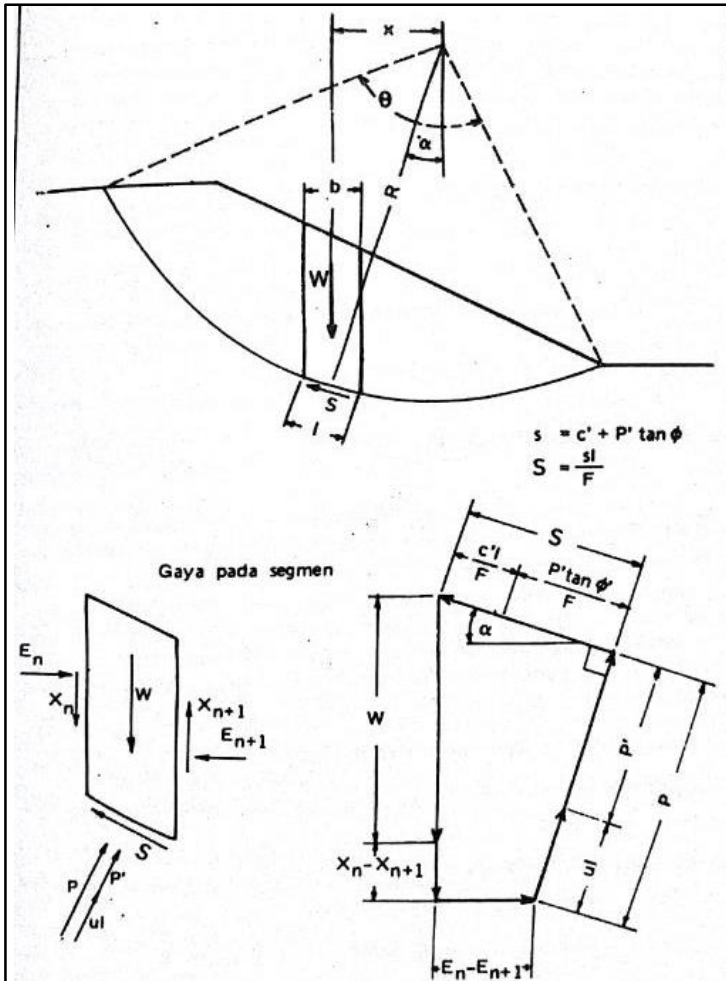
$$= \Sigma S \cdot R$$

dimana,

$S$  = kuat geser diperlukan pada dasar per segmen,  $(s \cdot l/F)$

$s$  = kuat geser tanah timbunan

$l$  = lebar dasar persegmen



**Gambar 2.7** Perhitungan Stabilitas Lereng Metode Irisan  
(Sumber: Mekanika Tanah, L. D. Wesley)

Dengan membandingkan persamaan momen penggerak dan perlawanannya, maka didapatkan angka keamanannya yaitu

$$SF = \frac{\Sigma s. l}{\Sigma W. \sin \alpha}$$

dimana,

$F$  = angka keamanan

Setelah angka keamanan didapatkan, maka tinggi kritis timbunan tanah dapat ditentukan menggunakan formula

$$H_{cr} = \frac{c_u}{\gamma \cdot SF}$$

dimana,

$H_{cr}$  = tinggi kritis timbunan

$\gamma$  = berat jenis tanah timbunan

$c_u$  = kohesi *undrain*

#### 2.1.10. Rancangan Perkuatan Timbunan dengan Geotekstil

Perkuatan timbunan menggunakan geotekstil diperlukan apabila faktor keamanan dalam masa pentahapan timbunan masih belum sesuai dengan perancangan selama pentahapan atau dengan kata lain, pelaksanaan penimbunan membutuhkan waktu yang lebih lama untuk mendapatkan faktor keamanan sesuai rancangan.

Dalam subbab sebelumnya, telah dijelaskan mengenai formula untuk mendapatkan angka keamanan ( $F$ ). Kemudian dalam perancangan perkuatan timbunan dengan geotekstil, dasar perhitungannya adalah menjadikan geotekstil sebagai momen perlawanan tambahan ( $\Delta MR$ ) pada momen perlawanan kelongsoran dari kuat geser tanah timbunan ( $\Sigma s. l$ ). Sehingga dengan menetapkan angka keamanan yang direncanakan, formula yang digunakan adalah,

$$\Sigma s. l_{baru} = \frac{\Sigma W. \sin \alpha}{SF_{rencana}}$$

dimana,

$SF_{rencana}$  = angka keamanan rencana

Setelah momen perlawanan baru didapatkan ( $\Sigma s. l_{baru}$ ), maka kebutuhan momen tambahan bisa diketahui dengan

mendapatkan selisih dari momen perlawanan baru dengan momen perlawanan yang sebelumnya.

$$\Delta MR = \Sigma s. l_{baru} - \Sigma s. l$$

Momen tambahan yang sudah di dapatkan tadi, kemudian dijadikan dasar perancangan momen nominal untuk menentukan momen kapasitas yang dihasilkan dari geotekstil. Penentuan kapasitas geotekstil dilakukan dengan cara menentukan kuat tegangan tarik, jumlah lapisan dan panjang kebutuhan geotekstil terhadap timbunan.

Penetapan kuat tegangan tarik ditentukan berdasarkan asumsi perancangan dengan mempertimbangkan dua faktor utama, pertama yaitu tersedianya kapasitas geotekstil *woven* yang tersedia oleh suatu perusahaan produksi geotekstil dan yang kedua jumlah lapisan yang dihasilkan setelah menganalisa penggunaan geotekstil dengan kuat tegangan tarik tersebut. Karena semakin besar kuat tegangan tarik geotekstil, maka jumlah lapisan geotekstil yang dibutuhkan semakin sedikit.

Adapun faktor panjang kebutuhan lapisan geotekstil *woven* yang dipengaruhi oleh kuat tegangan tarik geotekstil, kuat tegangan tersebut berupa kuat tegangan geser tanah yang ada di atas dan di bawah geotekstil. Kuat tegangan geser tanah yang berkontak langsung dengan geotekstil, baik tanah timbunan maupun tanah dasar, dapat diketahui dengan rumus,

$$\tau_{a,b} = Cu_{a,b} + P'. \tan \theta_{a,b}$$

dimana,

$\tau_{a,b}$  = tegangan geser tanah di atas atau di bawah geoteks

$Cu_{a,b}$  = kohesi *undrain* tanah di atas atau di bawah geoteks

$P'$  = tegangan tanah efektif ( $\gamma.H - u$ )

$\theta_{a,b}$  = sudut geser tanah di atas atau di bawah geoteks

Langkah berikutnya adalah menentukan panjang kebutuhan geotekstil terhadap timbunan tanah. Total panjang kebutuhan geotekstil adalah penjumlahan panjang geotekstil di belakang garis bidang longsor ( $L_e$ ) dan panjang geotekstil di depan garis bidang longsor ( $L_D$ ). Kemudian jarak vertikal pemasangan

geotekstil ( $s_v$ ) dan panjang lipatannya ( $L_o$ ) adalah panjang tambahan.

Harga  $L_e$  dapat diketahui dengan rumus,

$$L_e = (T_{izin} \times SF_{rencana}) / ((\tau_a + \tau_b) \times E)$$

dimana,

$T_{izin}$  = kuat tegangan tarik geotekstil yang tereduksi

$E$  = efesiensi (0.8 sampai dengan 1.2)

Faktor-faktor keamanan yang mereduksi kuat tegangan tarik geotekstil adalah akibat kerusakan saat pemasangan, kerusakan rangkai, kerusakan karena bahan kimia dan kerusakan akibat aktifitas biologi di dalam tanah.

Selanjutnya perolehan harga  $L_D$  adalah,

$$L_D = x_{tt} - x_{bl}$$

dimana,

$x_{tt}$  = koordinat x tepi timbunan pada lapisan  $i$

$x_{bl}$  = koordinat x bidang longsor pada lapisan  $i$

Koordinat tersebut akan dapat diketahui apabila sudah membuat gambar analisa kelongsoran lereng timbunan, atau menggambarannya dalam permodelan pada program bantu geoteknik.

Kemudian langkah terakhir untuk dapat mengetahui panjang kebutuhan total geoteknik adalah menganalisa panjang  $L_o$ . Panjang  $L_o$  dapat diketahui dengan formula,

$$L_o = (K_a \cdot T_{izin} \times SF_{rencana}) / ((\tau_a + \tau_b) \times E \times 4)$$

dimana,

$K_a$  = koefisien tekanan tanah aktif

$$= \tan^2 (45 - \theta/2)$$

Tekanan tanah aktif bekerja sebagai gaya tegangan yang bergerak ke arah horizontal.

#### 2.1.11. Program Bantu Geoteknik

Terdapat beberapa macam program bantu geoteknik yang dapat membantu perencana dalam melakukan analisa perhitungan geoteknik, program bantu yang sering kali

digunakan diantaranya Plaxis dan Geostudio. Namun dalam tulisan kali ini hanya menjabarkan mengenai Geostudio, karena dalam menyelesaikan tugas akhir ini hanya menggunakan program bantu tersebut, khususnya pada sub program SLOPE/w.

Geostudio merupakan program bantu yang diproduksi oleh Geoslope. Di dalam geostudio terdapat beberapa sub program yang digunakan untuk memudahkan analisa geoteknik, sub program tersebut diantaranya:

- SLOPE/w untuk mengetahui kestabilan lereng akibat beban luar, angker atau perkuatan tanah dengan geotekstil.
- SEEP/w untuk menganalisa masalah rembesan karena hujan, rembesan tanggul/bendungan dari tanah, rembesan dari kolam, kelebihan tekanan air pori atau rembesan temporer.
- CTRAN/w untuk permasalahan pengangkutan air tanah yang tercemar, diantaranya gangguan air laut ke pantai, pengangkutan air asin, pengangkutan pencemaran adiktif, dan modeling pengangkutan pencemaran dengan penyebaran hidrodinamik.
- SIGMA/w memiliki kemampuan menangani masalah deformasi tanah dengan mensimulasi deformasi akibat pekerjaan konstruksi tanah seperti, pondasi, tanggul, galian atau terowongan.
- TEMP/w untuk menganalisa perubahan suhu tanah. Sub program ini dapat menganalisis masalah konduksi tingkat panas yang tetap. Kita dapat mengontrol tingkat di mana panas diserap atau dibebaskan selama fase perubahan.
- QUAKE/w untuk analisa perilaku dinamik dari struktur tanah akibat guncangan gempa bumi (horizontal dan vertikal) dan deformasi.
- VADOSE/w untuk menghitung besarnya energi perputaran air dalam serangkaian siklus hujan, berdasarkan data iklim dan berhubungan dengan lingkungan, permukaan tanah, zona vadose dan daerah air tanah lokal.

Penggunaan SLOPE/w dalam menyelesaikan permasalahan di dalam tugas akhir ini, digunakan untuk dapat mengetahui angka keamanan dari stabilitas lereng timbunan selama masa pentahapan. Angka keamanan nantinya juga digunakan untuk mengecek tinggi kritis timbunan tanah sebagai data yang diperlukan dalam analisa kebutuhan pentahapan penimbunan. Kemudahan yang diberikan kepada pengguna sub program SLOPE/w dalam menganalisa stabilitas lereng timbunan adalah pengguna hanya perlu menggambarkan permodelan kondisi timbunan tanah dan memasukan data kohesi ( $c$ ), sudut geser ( $\theta$ ) dan berat volume ( $\gamma$ ) tanah-tanah yang ada dalam gambar permodelan. Kemudian dalam menge-*run* hasil permodelannya, pengguna cukup menentukan memilih metode analisa stabilitas lereng yang ingin digunakan.

## **2.2. Standar Acuan**

Perancangan pekerjaan geoteknik untuk perbaikan tanah guna pembangunan struktur transportasi mengacu pada SNI 8460:2017 tentang Persyaratan Perancangan Geoteknik.

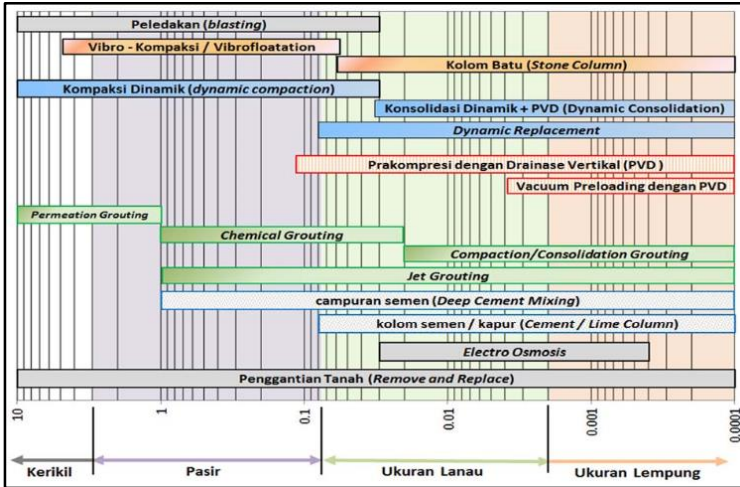
### **2.2.1. Standar Metode Perbaikan**

Salah satu tujuan perbaikan tanah yang diterangkan dalam SNI 8460:2017 adalah untuk mendapatkan karakteristik tanah dasar yang memadai, baik dari aspek daya dukung, permeabilitas dan/atau ketahanan likuifaksi sesuai dengan tingkat keamanan yang diharapkan.

Supaya dapat memenuhi persyaratan tersebut, SNI 8460:2017 juga memberikan pilihan metode perbaikan yang dapat dipilih berdasarkan ukuran butiran tanah yang akan diperbaiki seperti yang dapat dilihat pada gambar di bawah.

Metode perbaikan yang dipilih dalam tulisan ini adalah metode prakompresi (menggunakan timbunan tanah) dengan drainase vertikal. Metode ini dipilih karena tanah yang diperbaiki memiliki ukuran butiran yang tergolong tanah jenis lanau dan lempung, selain itu juga metode ini merupakan

metode yang paling umum digunakan di Indonesia sehingga lebih mudah untuk dipelajari.



**Gambar 2.8** Klasifikasi Butiran Tanah dan Metode Perbaikannya  
(Sumber: SNI 8460:2017)

### 2.2.2. Standar Perancangan *Prefabricated Vertical Drain*

Perbaikan tanah menggunakan PVD dikarenakan kondisi tanah tersebut merupakan tanah berjenis lanau, lempung dan sedikit mengandung tanah organik, pada tanah berjenis ini umumnya memiliki karakteristik permeabilitas rendah namun kompresitas tinggi.

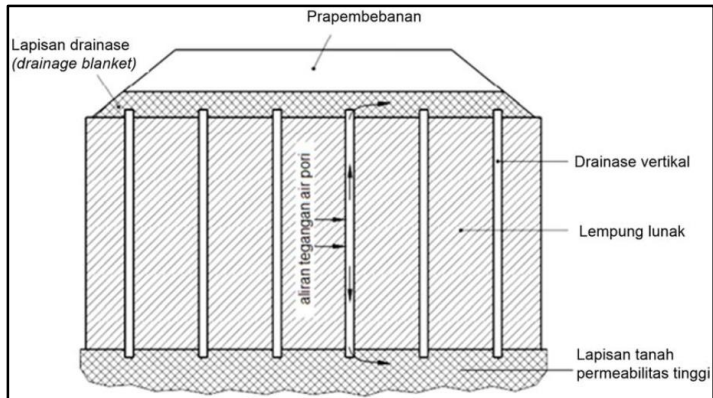
Penggunaan metode PVD yang dijelaskan dalam tulisan ini menerangkan penggunaan metode PVD yang dikombinasikan dengan metode *surcharge preloading* dari timbunan tanah. Tujuan dari hasil penggunaan metode ini secara ringkas diharapkan dapat,

- mengurangi besaran penurunan setelah pembangunan
- mempercepat proses konsolidasi dengan mengurangi panjang lintasan disipasi tegangan air pori berlebih
- meningkatkan stabilitas (dengan menaikkan tegangan efektif dalam tanah)

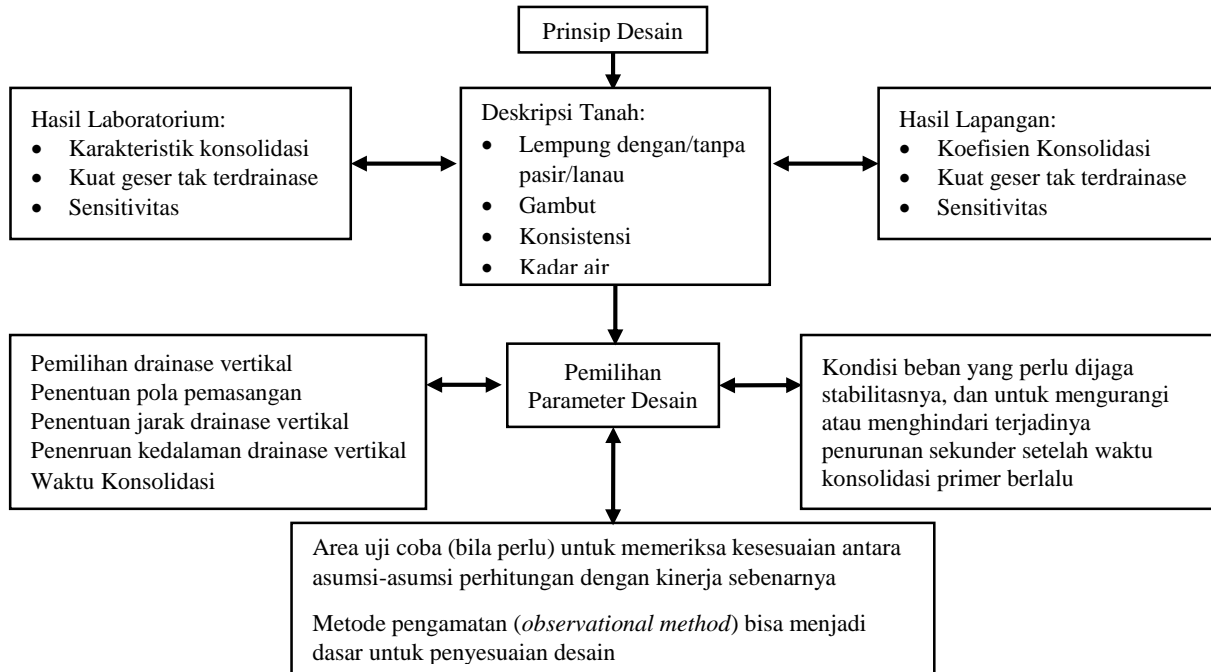


- mengurangi/ mitigasi efek likuifaksi

Prosedur perancangan PVD dapat merujuk pada Pd T-13-2004-A. **Gambar 2.9** menunjukkan contoh potongan melintang tanah timbunan untuk mengetahui susunan pemasangan PVD. **Gambar 2.10** adalah prosedur metode perancangannya yang dijelaskan menggunakan diagram.



**Gambar 2.9** Skema Perbaikan Tanah dengan PVD  
(Sumber: SNI 8460:2017)



**Gambar 2.10** Diagram Proses Pelaksanaan PVD  
(Sumber: SNI 8460:2017)

Di dalam SNI 8460:2017 maupun Pd-13-2004-A tidak menerangkan persyaratan yang lebih detail berupa jajaran angka secara terperinci untuk penggunaan PVD pada suatu proyek, namun hanya menerangkan penggunaannya secara garis besar.

Penggunaan PVD dapat dilakukan menurut SNI 8460:2017 apabila ingin mendapatkan tujuan dari penggunaan metode ini seperti yang telah dijelaskan di awal paragraf dan tanah tersebut tergolong tanah jenis lanau atau lempung yang dapat dilihat pada **Gambar 2.8**.

Sedangkan menurut Pd-13-2004-A pada pasal 6 Evaluasi Parameter Desain, salah satunya menjelaskan berdasarkan kelas proyek. Berikut adalah pembagian kelas proyek menurut Pd-13-2004-A untuk desain penggunaan PVD yang disajikan dalam bentuk tabel,

**Tabel 2.4** Kelas Proyek untuk Desain Penggunaan PVD

Kelas Proyek	Deskripsi
A	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Pada dasarnya tanah seragam (tidak ada perlapisan, sensitivitas rendah sampai sedang)</li> <li>▪ Konstruksi sederhana (tidak ada pembebanan bertahap)</li> <li>▪ Kedalaman tanah lunak kurang dari atau sama dengan 60 ft (18 m)</li> </ul>
B	<p>Pada umumnya serupa dengan kelas proyek A, namun memiliki derajat kompleksitas yang lebih tinggi – pertengahan antara kelas proyek A dan C</p>
C	<p>Satu atau lebih dari butir-butir berikut:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Tanah tidak umum (berlapis, sensitivitas tinggi)</li> <li>▪ Pembebanan bertahap atau kesulitan konstruksi lainnya</li> <li>▪ Kedalaman tanah lunak lebih dari 60 ft (18 m)</li> </ul>

(Sumber: Pd-13-2004-A)

Selain pembagian kelas proyek di atas, Pd-13-2004-A juga menetapkan evaluasi sifat-sifat propertis tanah terutama pada koefisien konsolidasi horizontal ( $C_h$ ), koefisien permeabilitas horizontal pada tanah tak terganggu ( $k_h$ ) dan koefisien

permeabilitas pada tanah terganggu ( $k_s$ ) untuk digunakan pada tegangan efektif maksimum ketika tanah bersifat kompresif.

### 2.2.3. Standar Perancangan Timbunan

Pembangunan ruas jalan tol tidak akan lepas dari kebutuhan dalam perancangan tanah timbunan. Tanah timbunan yang berfungsi sebagai badan jalan, juga dapat difungsikan sebagai beban untuk melakukan perbaikan tanah metode *surcharge preloading*. Inti dari pelaksanaan metode *surcharge preloading* adalah membutuhkan jumlah prapembebanan yang setidaknya tidak kurang dari beban bangunan/ lalu lintas rencana, sehingga tidak menutup kemungkinan hal ini akan menjadikan tingggi timbunan melebihi dari tinggi kritisnya.

Resiko dari penggunaan metode di atas berupa kegagalan stabilitas lereng dapat diminimalisir dengan cara memperhatikan hal-hal berikut sebagaimana yang telah diatur dalam SNI 8460:2017,

- Pencegahan *overstressing* pada fondasi timbunan tanah kohesif setelah masa konstruksi akibat tekanan air pori.
- Pecegahan penurunan muka air cepat dan erosi buluh, terutama pada timbunan tanah untuk bendungan.
- Perancangan terhadap gaya-gaya dinamis berupa getaran akibat beban gempa, pemancangan tiang dan sebagainya.

Untuk perancangan pembangunan timbunan guna mengurangi bahkan menghilangkan resiko dari kegiatan ini, kelengkapan data juga perlu diperhatikan. Data-data yang seharusnya dimiliki sebelum melakukan perancangan antara lain, data pengujian di lapangan, data pengujian di laboratorium, kecukupan data tanah dari hasil jumlah dan titik pengeboran sesuai dengan persyaratan yang telah ditetapkan SNI 8460:2017 dan data muka air tanah.

Kemudian pada tahap perancangan timbunan jalan untuk mendapatkan harga penurunan konsolidasi tanah sesuai SNI 8460:2017, hal-hal yang perlu analisa adalah pembebanan berupa beban perkerasan dan beban lalu lintas kelas jalan yang

akan dibangun. Berikut adalah tabel pembagian pembebanan berupa beban lalu lintas berdasarkan kelas jalannya,

**Tabel 2.5** Beban Lalu Lintas untuk Analisis Stabilitas (DPU, 2001) dan Beban di Luar Jalan

Kelas Jalan	Beban Lalu Lintas (KN/m <sup>2</sup> )	Beban di Luar Jalan <sup>(*)</sup> (KN/m <sup>2</sup> )
I	15	10
II	12	10
III	12	10

Keterangan<sup>(\*)</sup>: beban dari bangunan rumah-rumah di sekitar lereng  
(Sumber: SNI 8460:2017)

Perancangan beban lalu lintas di atas dapat digunakan apabila dalam perancangan tidak mendapati data lalu lintas harian rata-rata (LHR) dan pertumbuhan lalu lintasnya. Setelah beban perkerasan dan beban lalu lintas ditentukan atau dapat dikatakan sebagai beban layan, beban layan tersebut harus diekivalensikan dalam ketinggian timbunan pra pembebanan dengan syarat beban yang diekivalensikan 1,3 kali lebih besar dari desain beban layan tersebut.

Selanjutnya analisa stabilitas lereng timbunan dengan menambahkan pembeban akibat beban gempa dengan ketentuan periode ulang 500 tahun sesuai surat edaran Menteri PU No.12/SE/M/2010 dan syarat angka kemananan (SF) minimum yang ditetapkan oleh SNI 8460:2017 adalah 1,35 untuk konstruksi jalan tol.

### 2.3. Daftar Istilah

#### Tanah Lunak

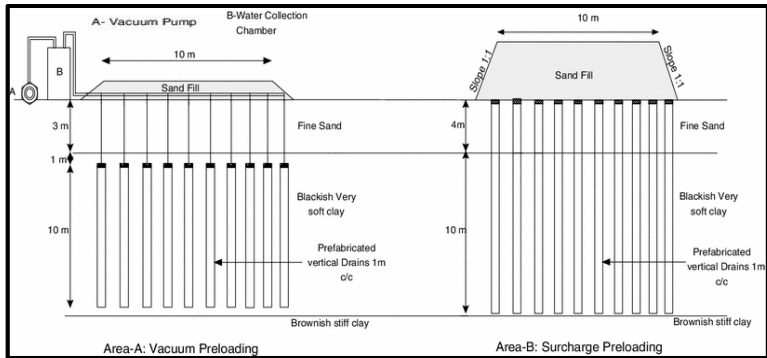
Tanah lunak merupakan tanah dengan tingkat plastisitas yang tinggi dan tingkat kuat geser antar butirannya yang dimilikinya kecil, sehingga apabila akan melakukan pekerjaan konstruksi di atasnya diperlukan suatu perbaikan tanah untuk menjadikan tanah tersebut terkompresi dan menambah daya dukungnya. Supaya lebih mudah dalam mengkatagorikan tanah tersebut adalah tanah lunak yang dapat dikompresi untuk keperluan perancangan, maka dapat dilihat pada **Tabel 2.1**

dimana tanah lunak ini memiliki nilai N-SPT antara 0 sampai dengan 4 *blow/feet*.

### **Prakompresi**

Prakompresi yang dimaksud dalam perbaikan tanah adalah menjadikan tanah termampatkan sebelum struktur bangunan dibangun. Hal ini mencegah terjadinya penurunan pasca pembangunan struktur di atas tanah tersebut. Prakompresi dapat dilakukan dengan cara memberikan prapembebanan tegangan terhadap tanah dasar sebelum pekerjaan konstruksi bangunan sesuai dengan beban desain struktur yang akan bekerja dan beban yang akan terjadi ketika pelaksanaan konstruksi berlangsung. Pemberian beban ini dilakukan hingga derajat konsolidasi rencana pada tanah telah tercapai. Prapembebanan yang digunakan pada metode *surcharge preloading* berupa timbunan tanah (*embankment*) yang didapatkan dari timbunan tanah di daerah lain (*quarry*), sedangkan pada metode *vacuum preloading*, prapembebanannya berupa tekanan negatif yang bekerja di dalam tanah dasar, tekanan negatif ini dapat setara dengan timbunan tanah yang biasa digunakan pada metode *surcharge preloading*.

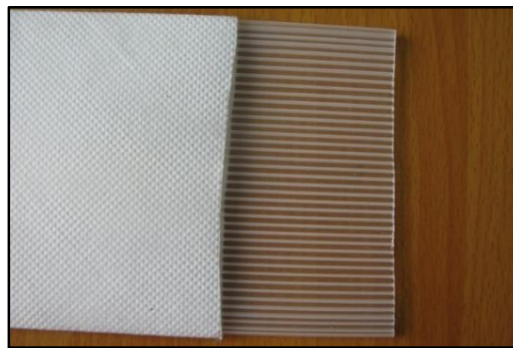
Pada metode *surcharge preloading* untuk perbaikan tanah dilakukan dengan cara meletakkan beban (*preload*) pada tanah dasar sesuai dengan desain beban konstruksi bangunan dan desain beban tambahan yang direncanakan. Apabila derajat konsolidasi tanah dasar telah mencapai pada derajat yang direncanakan maka *preload* dibongkar dan konstruksi dimulai pelaksanaannya. Lama waktu pembebanan dilakukan sesuai dengan teori analisa yang digunakan.



**Gambar 2.11** Perbandingan Vacuum Preloading (kiri) dan Surcharge Preloading (kanan)  
(Sumber: google.com)

### ***Prefabricated Vertical Drain (PVD)***

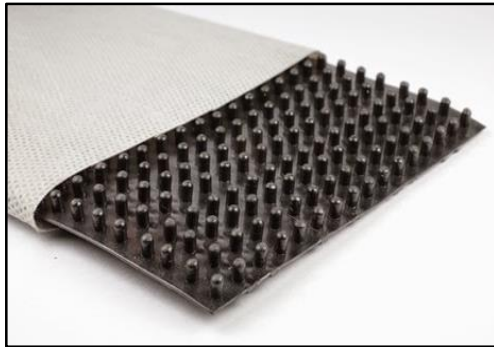
Menurut Wahyu P. 2016, PVD (*prefabricated vertical drain*) merupakan salah satu produk geosintetik (*geosynthetics products*) yang berfungsi sebagai pengalir air (*drainage*). PVD merupakan material komposit yang terdiri dari inti (*core*) dan penyaring (*filter*). PVD bekerja sebagai sarana pemercepat penyaliran vertikal karena jalan yang dilalui oleh air akan lebih pendek. Untuk dapat mengetahui bagaimana PVD tersebut, dapat dilihat pada **Gambar 2.12** yang menunjukkan rupa dari PVD.



**Gambar 2.12** Susunan inti dalam *Prefabricated Vertical Drain*  
(Sumber: google.com)

### ***Prefabricated Horizontal Drain (PHD)***

PHD (*prefabricated horizontal drain*) adalah penyalir horizontal yang mirip dengan PVD, yaitu memiliki inti (*core*) dan penyaring (*filter*). Namun pada bagian inti dari PHD memiliki susunan gerigi yang berbentuk seperti persegi yang teratur. Fungsi PHD adalah untuk meneruskan penyaliran dari PVD yang sudah di tanamkan kedalam tanah lunak. Untuk lebih jelasnya, **Gambar 2.13** menunjukkan susunan dari PHD.



**Gambar 2.13** Susunan inti dalam *Prefabricated Horizontal Drain*  
(Sumber: google.com)

### ***Geotechnical Instrument (Instrumen Geoteknik)***

Fungsi dari instrumen geoteknik adalah untuk monitoring proses pelaksanaan yang dipasang selama pekerjaan perbaikan tanah lunak berlangsung dan mengetahui kinerja hasil pekerjaan perbaikan yang telah selesai dilakukan (Wahyu P, 2016). Contoh-contoh dari instrumen geoteknik dapat berupa *Settlement Plate*, *Vibrating Wire Piezometer*, *Inclinometer*, *Vacuum Gauge* dan lain sebagainya yang digunakan untuk membantu proses pemantauan dalam pekerjaan perbaikan tanah.



## BAB III METODOLOGI

### 3.1. Keperluan Data

Berikut adalah data-data yang dibutuhkan untuk permodelan perbaikan tanah dengan percepatan konsolidasi:

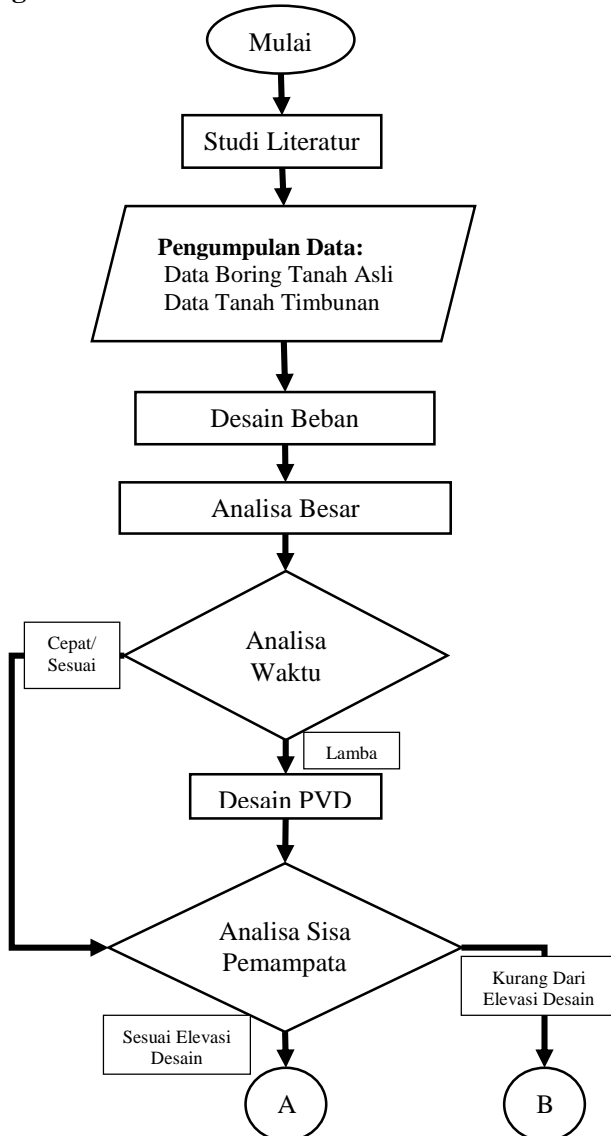
- a. Data potongan gambar memanjang dan melintang
- b. Data pengeboran tanah baik berdasarkan dari data formulir nilai N-SPT atau Sondir
- c. Data hasil uji laboratorium

### 3.2. Penyelesaian Masalah

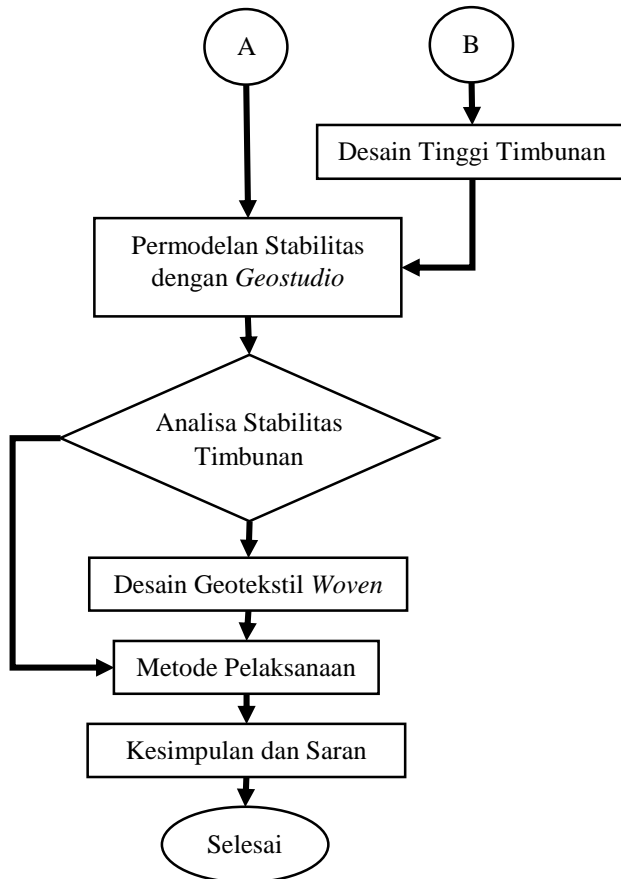
Dengan tersedianya data-data di atas, permasalahan yang bisa diselesaikan secara berturut-turut adalah:

- a. Dengan mengetahui tinggi desain elevasi timbunan jalan, elevasi tanah asli, lebar jalan tol dan total lebar timbunan jalan dari gambar potongan memanjang dan melintang, maka permasalahan yang dapat diselesaikan yaitu menentukan ketebalan rencana pelaksanaan *stripping* tanah lunak serta *cut and fill*, merancang tinggi timbunan awal ( $H_{\text{inisial}}$ ) dan sebagai acuan untuk perancangan metode pelaksanaan pekerjaan tanah.
- b. Setelah mengetahui daerah stasiun bertanah lunak dan tingkat ketebalan tanah lunak tersebut dari hasil data pengeboran, maka gambar stratigrafi dapat dibuat dan penentuan zonasi perancangan dapat dilakukan. Gambar stratigrafi diperlukan sebagai acuan untuk menentukan zonasi daerah stasiun jalan.
- c. Data hasil uji dari laboratorium meliputi, koefisien mampat tanah ( $C_c$ ), koefisien laju konsolidasi ( $C_v$ ), *specific gravity* tanah ( $G_s$ ) dan parameter tanah lainnya. Data-data tersebut tentunya menjadi pokok penyelesaian permasalahan dalam analisa konsolidasi tanah lunak.

### 3.3. Diagram Alir



**Gambar 3.1** Diagram Alir Penyelesaian Tugas Akhir



**Gambar 3.1** Diagram Alir Penyelesaian Tugas Akhir (lanjutan)

### Studi Literatur

Tahap di mana penulis mengumpulkan dan mempelajari dasar-dasar teori berupa modul, jurnal, Standar Nasional Indonesia (SNI) dan berbagai macam sumber literatur lainnya yang berkaitan dengan pokok pembahasan tugas akhir sebagai landasan untuk menyelesaikan permasalahan yang diangkat.

Secara spesifik modul yang digunakan sebagai sumber rujukan adalah buku Modul Ajar Metode Perbaikan Tanah yang

ditulis oleh Bu Noor Endah Mochtar, dan SNI yang mengacu pada SNI 8460:2017 tentang Persyaratan Perancang Geoteknik. Sedangkan untuk beberapa literatur lainnya dapat dilihat pada halaman daftar pustaka.

### **Pengumpulan Data**

Pengumpulan data adalah kegiatan penulis untuk dapat melakukan penyelesaian masalah berdasarkan data keadaan kondisi nyata di lapangan. Data bisa didapatkan berasal dari instansi ataupun perusahaan yang sudah berpengalaman pada bidangnya dan penulis bertanggung jawab atas kerahasiaan data-data tersebut, baik berupa perhitungan maupun gambar.

Dalam tugas akhir ini, penulis mendapat sejumlah data dari pekerjaan tanah untuk pembangunan Tol Trans Sumatera yang dikerjakan oleh PT. Teknindo Geosistem Unggul. Data-data yang diperoleh diantaranya,

- Data hasil pengujian laboratorium  
Data laboratorium yang diperoleh berupa *softcopy* formulir pengujian konsolidasi dan data-data parameter tanah yang diperlukan untuk analisa konsolidasi tanah lunak. Data laboratorium tersebut didapatkan dari sejumlah titik-titik *borehole* tanah yang akan dilakukan perbaikan.
- Data laporan geoteknik  
Laporan geoteknik berisikan *Detail Engineering Design* (DED) pekerjaan tanah guna pembangunan jalan tol, dan ringkasan beberapa data-data laboratorium yang tidak terdapat pada poin sebelumnya. Sehingga data lab dari poin sebelumnya dan data lab dari laporan geoteknik, merupakan serangkain data yang terpisah.
- Data foto dan gambar teknik  
Data foto memberikan gambaran kondisi eksisting awal jalan tol sebelum dilakukan pembangun, yaitu merupakan tanah bekan kebun kelapa sawit. Sedangkan untuk data gambar teknik menunjukana rancangan pembangunan jalan tol berupa gambar potongan melintang dan memanjang beserta geometrik jalannya.

### **Desain Beban Timbunan**

Pada tahap ini merupakan analisa tegangan-tegangan yang terjadi sebelum merancang besarnya penurunan konsolidasi tanah dan stabilitas pada lereng timbunannya. Perancangan beban yang bekerja pada tanah dasar dan timbunan mengacu pada SNI 8460:2017.

### **Analisa Besar Pemampatan**

Setelah beban-beban tegangan yang bekerja pada tanah lunak sudah diperhitungkan, maka penurunan tanah lunak tersebut dapat diperkirakan baik secara manual ataupun dengan program bantu geoteknik.

Pada tugas akhir ini, penulis melakukan analisa pemampatan tanah lunak hanya secara manual, namun penggunaan program bantu tetap dilakukan untuk permodelan stabilas timbunan saja.

### **Analisa Waktu**

Perhitungan dalam tahap ini menggunakan metode perhitungan penurunan satu arah (secara vertikal) dari Terzaghi. Hal ini dilakukan untuk mengetahui durasi dan laju penurunan tanah konsolidasi pertahunnya (*rate* per tahun), sehingga berdasarkan dari analisa ini menentukan penggunaan PVD perlu didesain atau tidak.

### **Desain PVD**

Berdasarkan hasil analisa waktu pada tahap sebelumnya, desain PVD akan dilakukan apabila durasi penurunan konsolidasi tanah lebih lama dari waktu rencana atau karena laju penurunan tanahnya yang terlalu besar sehingga dapat merusak konstruksi di atas tanah lunak tersebut. Dalam mendesain PVD dirancang seefisien mungkin baik dari segi biaya pelaksanaan maupun durasi waktu konsolidasi.

### **Analisa Sisa Pemampatan**

Sisa pemampatan terjadi akibat adanya konsolidasi sekunder, tahap ini bisa jadi diperlukan mengingat adanya

perubahan elevasi tanah pada suatu zona dapat berakibat merusak struktur bangunan di atasnya

### **Desain Tinggi Timbunan**

Desain tinggi timbunan wajib dibuat selain karena desain timbunan badan jalan itu sendiri, juga akibat adanya pengaruh pembebanan beban layan dan pengganti besaran penurunan yang nantinya akan terjadi.

### **Permodelan Stabilitas dengan Geostudio**

Tahap permodelan merupakan tahap kegiatan untuk mendapatkan angka keamanan dan momen penggerak serta momen penahan dari stabilitas lereng timbunan tanah preloading. Penggunaan program bantu geoteknik seperti Plaxis ataupun Geostudio adalah sarana untuk membuat permodelan timbunan tersebut.

### **Analisa Stabilitas Timbunan**

Serupa dengan tahap sebelumnya, namun analisa dilakukan secara manual dengan memanfaatkan hasil *output* dari tahap sebelumnya. Tujuan dari analisa ini untuk menentukan pentahapan penimbunan tanah dan kebutuhan momen penahan tambahan dari penggunaan geotekstil dengan angka keamanan yang ditetapkan.

### **Desain Geotekstil Woven**

Desain kebutuhan stabilitas lereng timbunan menggunakan geotekstil *woven* meliputi kapasitas kuat tarik geotekstil, panjang geotekstil di depan dan di belakang bidang longsor serta jumlah lapisannya.

### **Metode Pelaksanaan**

Rancangan yang sudah diperhitungkan seharusnya dapat diaplikasikan dalam keadaan *real* dilapangan, oleh sebab itu gambaran metode pelaksanaan sebaiknya perlu dibuat.

## **BAB IV ANALISA DATA DAN HASIL PEMBAHASAN**

### **4.1. Data Umum**

Proyek Jalan Tol Trans Sumatera merupakan proyek pembangunan infrastruktur yang memiliki total lebih dari 20 ruas jalan. Sebagian ruas pada jalan tol ini sudah ada yang beroperasi sejak akhir tahun 2017 dan ada juga yang masih dalam tahap perencanaan.

Ruas Jalan Tol Trans Sumatera yang dibahas dalam tugas akhir ini adalah ruas Jalan Tol Terbanggi Besar – Pematang Panggang – Kayu Agung, seksi 2 Pematang Panggang – Kayu Agung. Berikut beberapa rinciannya,

- Nama Proyek : Pembangunan Proyek Jalan Tol Ruas Pematang Panggan – Kayu Agung
- Pengelola/BUJT : PT. Hutama Karya (Persero)
- Kontraktor : PT. Waskita Karya (Persero)  
PT. Tekindo Gesistem Unggul
- Total Panjang : 22.7 Km (STA 138+900 – STA 161+600)
- Bidang Pekerjaan : Permasalahan Geoteknik

Analisa dan pembahasan permasalahan geoteknik dalam bab 4 ini meliputi permasalahan penurunan tanah dasar dan stabilitas timbunan di atasnya. Pada pekerjaan yang sebenarnya, permasalahan penurunan tanah dasar dilakukan menggunakan metode prakompresi dengan vakum, namun pada penyelesaian masalah dalam tugas akhir di sini menggunakan metode prakompresi dengan timbunan tanah.

Pembasan dimulai dari penyajian data-data parameter tanah dasar, kemudian dilanjutkan dengan analisa penentuan sebagian zonasi tanah dasar yang mengalami kerusakan atau memiliki ruang pemampatan berlebih. Setelah itu menghitung total penurunan pada tanah dasar, rangkaian pola, jarak dan kedalaman PVD dan terakhir analisa stabilitas timbunan tanah.

#### 4.2. Data Parameter Tanah

Data-data parameter tanah yang digunakan dalam pembahasan ini akan disajikan dalam bentuk tabel sebagai berikut,

**Tabel 4.1** Data Specific Gravity, G<sub>s</sub>

Depth	BKA-9	BKA-10			BKA-11		BKA-17		
	148+710	149+200	149+700	150+150	150+650	151+050	158+070	158+650	159+200
5	2,600	2,618	2,570	2,640	2,618	2,620	2,600	2,600	2,630
10	2,616	2,615	2,610	2,650	2,623	2,650	2,625	2,640	2,670
15	2,614	2,627	2,590	2,680	2,618	2,690	2,618	2,700	2,670
20	2,622	2,600	2,660	2,690	2,617	2,690	2,627	2,650	2,660
25	2,623	2,600			2,611		2,630		
30	2,620	2,630			2,620		2,618		

**Tabel 4.2** Data Angka Pori, e<sub>o</sub>

Depth	BKA-9	BKA-10			BKA-11		BKA-17		
	148+710	149+200	149+700	150+150	150+650	151+050	158+070	158+650	159+200
5	1,202	1,099	1,237	1,103	1,585	1,097	1,537	1,130	1,068
10	1,156	1,165	1,062	1,053	1,128	1,122	0,767	1,031	1,049
15	0,823	1,125	1,177		0,977		1,105		
20	0,823	1,100	1,051		1,095		0,823	1,037	
25	0,788	0,969			1,072		0,736		
30	1,116	0,977			0,969		1,103		



**Tabel 4.3** Data Indeks Pemampatan, Cc

Depth	BKA-9	BKA-10			BKA-11		BKA-17		
	148+710	149+200	149+700	150+150	150+650	151+050	158+070	158+650	159+200
5			0,30	0,26	0,50	0,22	0,28	0,27	0,26
10	0,36	0,36	0,27	0,27	0,35	0,28		0,26	0,26
15			0,28					0,23	
20	0,29	0,4	0,25					0,27	

**Tabel 4.4** Data Koefisien Konsolidasi Vertikal, Cv (cm<sup>2</sup>/s)

Depth	BKA-9	BKA-10			BKA-11		BKA-17		
	148+710	149+200	149+700	150+150	150+650	151+050	158+070	158+650	159+200
5			2,01E-02	4,38E-02	1,09E-03	3,56E-02	9,82E-04	2,83E-02	2,66E-02
10	6,93E-04	8,02E-04	4,46E-02	2,56E-02	8,08E-04	5,28E-02		2,17E-02	3,21E-02
15			4,29E-02						
20	8,50E-04	7,46E-04	2,46E-02					2,74E-02	

**Tabel 4.5** Data Kadar Air Tanah, w (%)

Depth	BKA-9	BKA-10			BKA-11		BKA-17		
	148+710	149+200	149+700	150+150	150+650	151+050	158+070	158+650	159+200
5	37,62	34,62	29,47	29,55	46,62	27,34	48,63	27,77	27,33
10	41,32	38,62	27,5	27,77	35,62	24,46	18,62	27,42	24,72
15	24,26	31,26	26,59	29,07	30,12	28,51	34,62	27,43	28,12
20	20,12	31,26	24,58	29,31	34,62	28,09	21,32	24,34	20,68
25	19,62	29,67			30,32		19,63		
30	31,26	28,62			28,63		32,15		

**Tabel 4.6** Data Unconfined Compression Streght,  $q_u$  (Kg/cm<sup>2</sup>)

Depth	<b>BKA-9</b>	<b>BKA-10</b>			<b>BKA-11</b>		<b>BKA-17</b>		
	148+710	149+200	149+700	150+150	150+650	151+050	158+070	158+650	159+200
5	0,50	0,24			0,24		0,43		
10	0,50	0,24			1,36		1,65		
15	1,44	0,45			1,55		1,81		
20	1,78	1,34			1,19		1,82		
25	1,54	1,36			1,63		1,88		
30	1,65	1,57			1,85		1,92		

**Tabel 4.7** Data Tegangan Prakonsolidasi,  $P_c$  (KN/m<sup>2</sup>)

Depth	<b>BKA-9</b>	<b>BKA-10</b>			<b>BKA-11</b>		<b>BKA-17</b>		
	148+710	149+200	149+700	150+150	150+650	151+050	158+070	158+650	159+200
5			76,00	80,00		71,00		70,00	71,00
10			72,00	74,00		72,00		70,00	73,00
15			73,00						
20			75,00					70,00	

**Tabel 4.8** Data Atterberg Limit

Depth	148+710 (BKA-9)			150+150			158+070 (BKA-17)		
	LL (%)	PL (%)	PI (%)	LL (%)	PL (%)	PI (%)	LL (%)	PL (%)	PI (%)
5	77,97	22,64	55,33	43,23	28,52	14,71	77,89	22,11	55,78
10	79,06	21,09	57,97	58,43	31,84	26,59			
15				48,25	0	48,25	52,11	35,03	17,08
20				22,59	0	22,59			
25									
30	74,62	23,56	51,06				54,79	33,67	21,12
Depth	149+200 (BKA-10)			150+650 (BKA-11)			158+650		
	LL (%)	PL (%)	PI (%)	LL (%)	PL (%)	PI (%)	LL (%)	PL (%)	PI (%)
5	75,45	21,45	54	81,5	20,75	60,75	63,64	24,01	39,63
10				57,53	32,82	24,71	53,81	31,83	21,98
15	57,44	25,21	32,23				36,08	0	36,08
20	72,34	25,31	47,03				58,3	32,39	25,91
25	55,01	34,87	20,14						
30	80,11	17,11	63	78,58	26,95	51,63			
Depth	149+700			151+050			159+200		
	LL (%)	PL (%)	PI (%)	LL (%)	PL (%)	PI (%)	LL (%)	PL (%)	PI (%)
5	63,59	29,09	34,5	59,47	26,55	32,92	53,82	32,67	21,15
10	57,77	33,51	24,26	51,19	29,71	21,48	50,23	35,73	14,5
15	58,26	33,57	24,69	24,47	0	24,47	34,92	0	34,92
20	56,71	33,49	23,22	27,25	0	27,25	47,81	0	47,81

**Tabel 4.9** Data Analisa Saringan Tanah (G:Kerikil, S:Pasir, M:Lanau, C: Lempung)

Depth	148+710 (BKA-9)				150+150				158+070 (BKA-17)			
	G (%)	S (%)	M (%)	C (%)	G (%)	S (%)	M (%)	C (%)	G (%)	S (%)	M (%)	C (%)
5	0	8,89	53,11	38,00	5,31	46,97	22,12	25,60	0	15,87	50,98	33,15
10	0	12,37	49,75	37,88	0	45,51	25,29	29,20	0	65,94	34,06	0
15	0	71,07	16,93	12,00	10,37	82,51	3,34	3,78	0	11,55	53,45	35,00
20	0	58,02	21,23	20,75	15,64	79,54	2,26	2,56	0	75,84	11,51	12,65
25	0	62,57	17,18	20,25					0	63,08	33,85	3,07
30	0	19,51	22,49	58,00					0	19,10	40,65	40,25
Depth	149+200 (BKA-10)				150+650 (BKA-11)				158+650			
	G (%)	S (%)	M (%)	C (%)	G (%)	S (%)	M (%)	C (%)	G (%)	S (%)	M (%)	C (%)
5	0	9,04	54,81	36,15	0	9,72	43,28	47,00	0	44,20	25,60	30,20
10	0	44,35	23,65	32,00	0	9,21	51,64	39,15	0	40,03	27,77	32,20
15	0	23,41	41,59	35,00	0	73,46	8,04	18,50	0	94,71	2,49	2,80
20	0	7,80	52,35	39,85	0	63,66	19,84	16,50	0	41,01	27,39	31,60
25	0	8,40	52,44	39,16	0	53,72	22,53	23,75				
30	0	10,38	49,67	39,95	0	8,57	38,93	52,50				
Depth	149+700				151+050				159+200			
	G (%)	S (%)	M (%)	C (%)	G (%)	S (%)	M (%)	C (%)	G (%)	S (%)	M (%)	C (%)
5	0	28,54	32,48	38,98	0	37,02	29,05	33,93	0	38,22	28,54	33,24
10	0	33,37	30,59	36,04	0	37,60	28,96	33,44	0	47,74	24,42	27,84
15	0	38,28	28,22	33,50	15,99	78,53	2,57	2,91	8,40	87,26	2,03	2,31
20	0	44,94	25,62	29,44	15,27	78,54	2,90	3,29	7,35	89,01	1,70	1,94

### 4.3. Zonasi Tanah

Zonasi tanah adalah pembagian daerah stasiun jalan berdasarkan karakteristik data tanah, ketinggian timbunan dan ketebalan tanah lunak, hal ini diperlukan untuk mempermudah dalam perancangan dengan menjadikan perhitungannya dilakukan secara generik untuk daerah yang relatif lebih luas. Zonasi tanah akan dapat dilakukan setelah membuat gambar stratigrafi tanah yang dibuat berdasarkan data dari hasil pengeboran dilapangan.

Penanganan tanah lunak pada STA 148+700 sampai dengan STA 151+450 dibagi menjadi 3 zona dan pada STA 158+650 sampai dengan STA 159+200 hanya menjadi 1 zona saja. Selanjutnya, untuk pembahasan penurunan, *prefabricated vertical drain* (PVD) dan geotekstil untuk timbunan pada setiap zona dapat dilihat pada subbab-subbab berikut.

### 4.4. Konsolidasi Tanah Lunak

Dalam subbab ini akan membahas tahapan perhitungan penurunan tanah lunak atau konsolidasi secara manual. Rincian perhitungan hanya akan dijelaskan pada zona 1, dan untuk zona-zona selanjutnya hanya diberikan hasil rekapannya saja.

#### 4.5.1. Zona 1 (STA 148+700 s.d. STA 149+550)

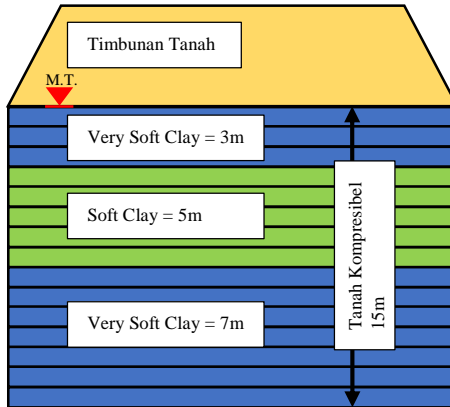
Berikut adalah rincian langkah-langkah perhitungan manual konsolidasi tanah lunak pada STA 149+115,

#### Diketahui:

- Timbunan tertinggi,  $H_{imb}$  : 7,395 m
- Timbunan terendah : 5,495 m
- Kemiringan kaki timbunan,  $i$  : 1:2
- Berat jenis kering tanah timbunan,  $\gamma_d$ : 16,50 KN/m<sup>3</sup>
- Kadar air,  $w$  : 10,3 %
- Berat jenis tanah timbunan,  $\gamma_{imb}$  : 18,20 KN/m<sup>3</sup>
- Berat timbunan,  $q_o$  : 134,58 KN/m<sup>2</sup>
- Berat jenis air,  $\gamma_w$  : 9,81 KN/m<sup>3</sup>
- Tebal tanah lunak,  $H_{dr}$  : 15 m

**Penyelesaian:**

- a. Membagi ketebalan lapisan tanah *compressible*  
Pembagian tanah lunak dihitung setiap kedalaman 1 meter



**Gambar 4.1** Potongan Melintang untuk Perhitungan Zona 1

- b. Menentukan Tegangan *Overburden* ( $P_o'$ )

Tegangan *overburden* dihitung dengan menentukan tegangan efektif pada kedalaman yang ditinjau di setiap pembagian lapisan pembagian tanah

Diketahui:

$$h_1 = 1 \text{ m} \quad z_2 = 1,5 \text{ m}$$

$$h_2 = 1 \text{ m} \quad \gamma_1 = 17,37 - 9,81 = 7,56 \text{ KN/m}^3 \quad (\gamma_{1\text{sat}} = 17,37)$$

$$z_1 = 0,5 \text{ m} \quad \gamma_2 = 17,37 - 9,81 = 7,56 \text{ KN/m}^3 \quad (\gamma_{2\text{sat}} = 17,37)$$

Penyelesaian:

$$P_o'_1 = 0,5 \text{ m} \times 7,56 \text{ KN/m}^3 = 3,78 \text{ KN/m}^2$$

$$P_o'_2 = (1 \text{ m} \times 7,56 \text{ KN/m}^3) + (0,5 \text{ m} \times 7,56 \text{ KN/m}^3) = 11,34 \text{ KN/m}^2$$

$$P_o'_3 = (2 \text{ m} \times 7,56 \text{ KN/m}^3) + (0,5 \text{ m} \times 7,56 \text{ KN/m}^3) = 18,91 \text{ KN/m}^2 \text{ dan seterusnya}$$

- c. Menentukan Tegangan Pra Konsolidasi ( $P_c'$ )

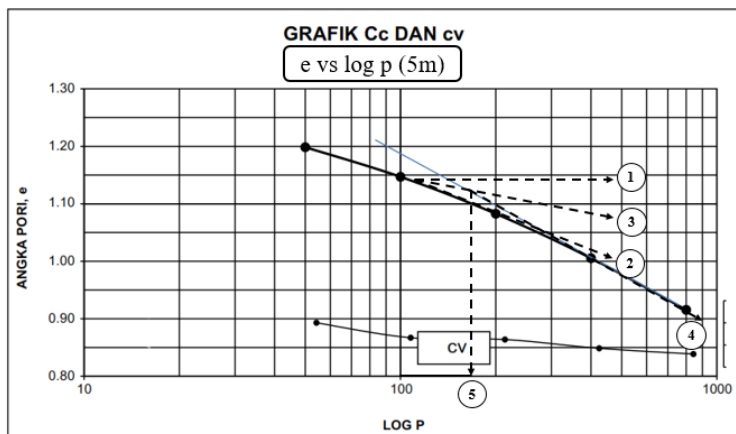
Harga  $P_c'$  dapat ditentukan dengan metode grafik oleh Casagrande sebagai berikut,

Diketahui:

Dibawah ini merupakan hasil analisa pengujian konsolidasi pada sampel tanah yang digunakan untuk melakukan perancangan pada zona 1,

**Tabel 4.10** Data Hasil Uji Konsolidasi di Laboratorium

Beban Uji Lab, P		Angka Pori, e
Kg/cm <sup>2</sup>	KN/m <sup>2</sup>	
0,00	0,00	1,237
0,50	49,05	1,198
1,00	98,10	1,147
2,00	196,20	1,083
4,00	392,40	1,005
8,00	784,80	0,915

Penyelesaian:**Gambar 4.2** Menentukan Harga Pc' dengan Metode Grafik CasagrandeKeterangan:

- Garis berwarna hitam adalah garis kurva yang dihasilkan dari tabel di atas
- Garis berwarna hitam tipis adalah garis kurva hitungan Cv dari data laboratorium

- Garis putus hitam nomor 1, garis lurus horizontal yang terletak pada jari-jari minimum kurva *trendline* berdasarkan pengamatan secara visual
- Garis putus hitam nomor 2, garis singgung dengan kurva *trendline* dimulai dari titik garis putus hitam nomor 1 ditentukan
- Garis putus hitam nomor 3, garis bagi sudut antara garis putus nomor 1 dan 2
- Garis putus hitam nomor 4, garis perpanjangan dari ujung bawah kurva *trendline* hingga berpotongan dengan garis putus hitam nomor 3
- Garis putus hitam nomor 5, garis penentu pembacaan harga  $P_c'$  yang pangkal garisnya adalah perpotongan garis putus nomor 3 dan 4. Disini hasil  $P_c'$  terbaca 175,00 KN/m<sup>2</sup>

d. Menentukan Tegangan Timbunan ( $\Delta P$ )

1. Akibat Beban Lalu Lintas

Beban lalu lintas berdasarkan ketentuan SNI 8460:2017 untuk kelas jalan I adalah 15 KN/m<sup>2</sup>.

2. Akibat Beban Perkerasan

Diketahui

**Tabel 4.11** Berat Jenis Material Beban Perkerasan

Material	Berat Jenis	Tinggi	Lebar
	(Kg/m <sup>3</sup> )	(m)	(m)
AC – WC	2300	0,05	25,6
AC – Binder	1100	0,06	25,6
AC – Base 1	2270	0,15	25,6
AC – Base 2	2270	0,11	5,0
Aggregate Class A 1	1800	0,50	25,6
Aggregate Class A 2	1800	0,65	5,0
Aggregate Class A 3	1800	0,15	3,0
Sand	1400	0,25	0,8
Concrete Barrier 1	2400	0,20	0,8
Concrete Barrier 2	2400	0,35	0,5
Concrete Barrier 3	2400	0,65	0,3



Penyelesaian:

Menentukan total berat per meter peseginya dengan menjumlahkan hasil perkalian antara berat jenis material perkerasan dengan tinggi atau ketebalan dari materialnya dan dibagi lebar total permukaan atas tanah timbunan. Sehingga apabila dituliskan dalam bentuk formula adalah,

$$q_{\text{total}} \text{ (KN/m}^3\text{)} = \sum \frac{\gamma_m \times 9,81 \times h_m \times l_m}{2 * B1 * 1000}$$

dimana,

$\gamma_m$  = Berat jenis material (Kg/m<sup>3</sup>)

$h_m$  = Tinggi/tebal material (m)

$l_m$  = Lebar material (m)

**Tabel 4.12** Beban Merata Material Beban Perkerasan

Material	q
	(KN/m <sup>2</sup> )
AC – WC	0,92
AC – Binder	0,53
AC – Base 1	2,72
AC – Base 2	0,39
Aggregate Class A 1	7,20
Aggregate Class A 2	1,83
Aggregate Class A 3	0,25
Sand	0,09
Concrete Barrier 1	0,12
Concrete Barrier 2	0,13
Concrete Barrier 3	0,15
Total	14,33

Pada kedua jenis beban di atas harus diperbesar 1,3 dari hasil beban rancangan, dan diekivalensikan ke dalam bentuk tinggi timbunan. Maka perhitungan pembebanannya adalah,  $q_u = (15 + 14,33) \text{ KN/m}^2 \times 1,3 = 38,12 \text{ KN/m}^2$ .

### 3. Akibat Desain Elevasi

#### Diketahui:

Jenis dan parameter tanah timbunan:

Pasir berlanau yang padat dengan butiran bersudut

$$\gamma_d = 16,50 \text{ KN/m}^3$$

$$e = 0,45$$

$$G_s = 16,5 \cdot (1 + 0,45) / 9,81 = 2,44$$

$$\gamma_{\text{sat}} = (2,44 + 0,45) \cdot 9,81 / (1 + 0,45) = 19,54 \text{ KN/m}^3$$

$$w = 10 \%$$

$$\gamma_t = (1 + 0,1) \cdot 2,44 \cdot 9,81 / (1 + 0,45) = 18,20 \text{ KN/m}^3$$

#### Penyelesaian:

$$q_o = 18,20 \text{ KN/m}^3 \times 5,30 \text{ m} = 96,46 \text{ KN/m}^2$$

### 4. Total Harga $\Delta P$

#### Diketahui:

$$q_o = 96,46 \text{ KN/m}^2$$

$$q_u = 38,12 \text{ KN/m}^2$$

$$\alpha_1 = 0,735^\circ$$

$$\alpha_2 = 88,176^\circ$$

#### Penyelesaian:

$$I = \frac{1}{180} * \left( \left[ \left( \frac{[15,7 + 10,6]}{10,6} \right) * (0,735 + 88,176) \right] - \left[ \frac{15,7}{10,6} * 88,176 \right] \right)$$

$$I = 0,50$$

$$q_t = (96,46 + 38,12) \text{ KN/m}^2 = 134,58 \text{ KN/m}^2$$

$$\Delta P = 134,58 \times 0,50 = 67,29 \text{ KN/m}^2$$

Karena dalam analisa di atas hanya memperhitungkan separuh dari total timbunan, maka harga  $\Delta P$  yang digunakan untuk analisa penurunan tanah lunak adalah dua kali dari hasil  $\Delta P$  di atas atau sama dengan  $134,58 \text{ KN/m}^2$ .

### e. Menentukan Harga Penurunan Tanah lunak ( $S_c$ )

#### Diketahui:

$$\text{OCR} = 175,00 / 3,78 = 46,28 \quad \text{Po}' = 3,78 \text{ KN/m}^2$$

$$\text{Cc} = 0,45 \quad \text{Pc}' = 170,00 \text{ KN/m}^2$$

$$\text{Cs} = 0,09 \quad \Delta P = 134,58 \text{ KN/m}^2$$

**Penyelesaian:**

Cek jenis konsolidasi dari beberapa persamaan berikut,

$OCR \leq 1 \rightarrow$  *Normally Consolidated*

$Po' + \Delta P \leq Pc' \rightarrow$  *Over Consolidated 1* ..... (sesuai)

$Po' + \Delta P > Pc' \rightarrow$  *Over Consolidated 2*

Maka digunakan formula,

$$S_{c.1} = \frac{C_s \times H_c}{1 + e_0} \times \log \frac{P_0 + \Delta P_v}{P_0}$$

$$S_{c.1} = \frac{0,09 \times 1}{1 + 1,099} \times \log \frac{3,78 + (134,58)}{3,78}$$

$$S_{c.1} = 0,065 \text{ m}$$

Harga  $S_{c.1}$  merupakan penurunan yang terjadi pada lapisan pertama setebal 1 meter, harga  $S_c$  total dapat dilihat pada halaman lampiran dalam bentuk tabel perhitungan.

- f. Analisa Tinggi Timbunan Awal ( $H_{\text{inisial}}$ ) dan Akhir ( $H_{\text{final}}$ )  
Setelah seluruh penurunan pada setiap lapisan tanah lunak setebal  $H_{\text{dr}} = 15 \text{ m}$ , maka di dapatkan data sebagai berikut,

**Tabel 4.13** Rekapitulasi Hasil Analisa Konsolidasi Zona 1

$H_{\text{timb}}$ (m)	$q_{\text{final}}$ (KN/m <sup>3</sup> )	$H_{\text{inisial}}$ (m)	$S_c$ (m)	$H_{\text{final}}$ (m)
6,595	120,02	6,801	0,441	6,360
6,795	123,66	7,008	0,457	6,551
6,995	127,30	7,215	0,472	6,744
7,195	130,94	7,425	0,493	6,932
7,395	134,58	7,634	0,511	7,122

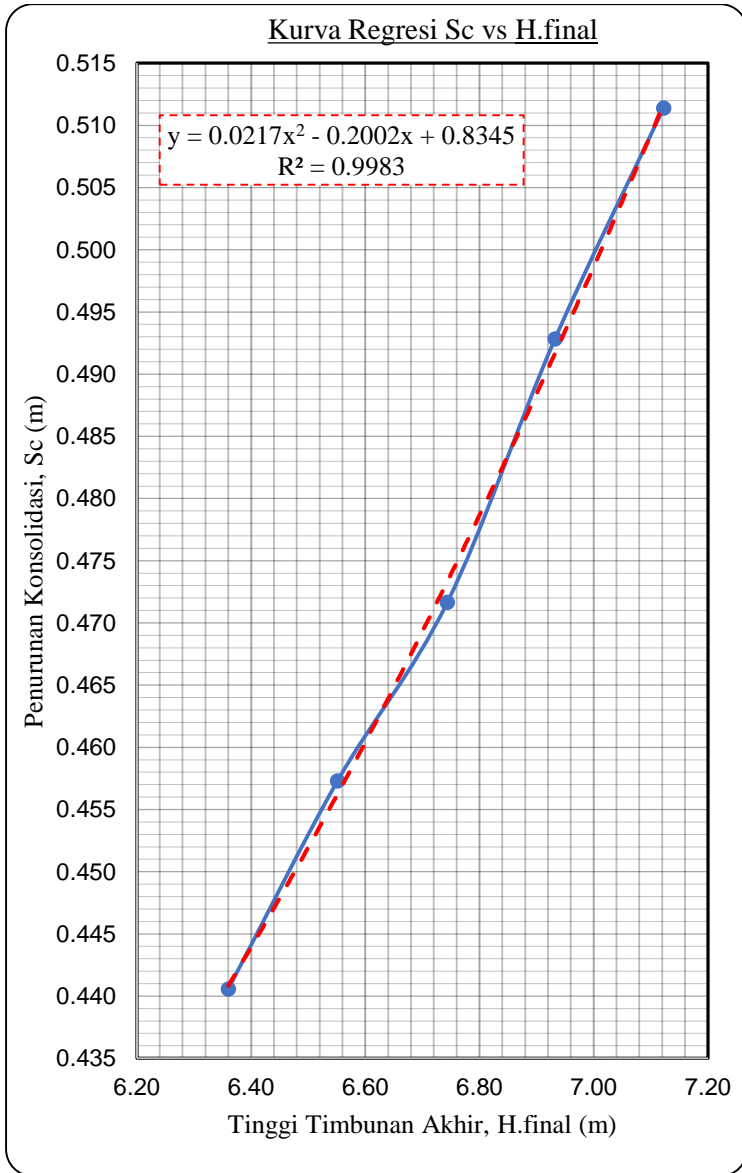
Keterangan:

$$q_{\text{final}} = \gamma_{\text{timb}} \times H_{\text{timb}}$$

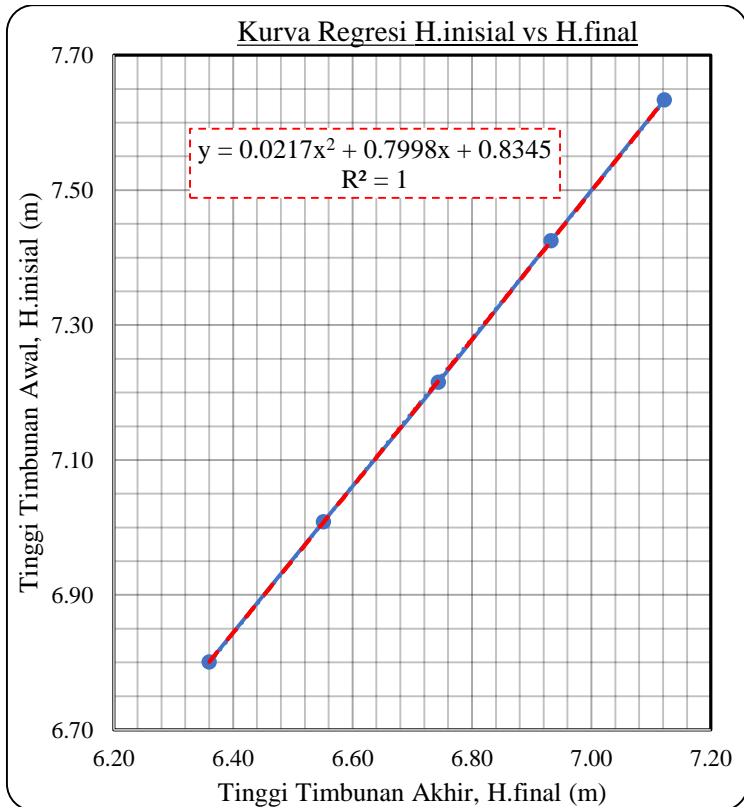
$$H_{\text{inisial}} = (q_{\text{final}} + (S_c \times (\gamma_{\text{timb}} \times \gamma_w \times \gamma_{\text{sat-timb}})) / \gamma_{\text{timb}}$$

$$H_{\text{final}} = H_{\text{inisial}} - S_c$$

Dari data-data di atas maka dapat dibuat kurva persamaan garis regresi linier berikut,



**Gambar 4.3** Kurva Regresi Sc vs H.final Zona 1



**Gambar 4.4** Kurva Regresi H.inisial vs H.final Zona 1

Apabila hasil persamaan kurva regresi linier di atas dibuat dalam bentuk tabel maka,

**Tabel 4.14** Hasil Analisa Regresi Linier Konsolidasi Zona 1

$H_{\text{final}}$ (m)	$S_c$ (m)	$H_{\text{inisial}}$ (m)
6,595	0,458	7,053
6,795	0,477	7,271
6,995	0,496	7,491
7,195	0,518	7,713
7,395	0,541	7,936

Data persamaan  $y = 0,0217x^2 + 0,7998x + 0,8345$  dapat digunakan untuk merancang besaran timbunan awal ( $H_{\text{inisial}}$ ) yang diperlukan dengan memasukan harga timbunan akhir rencana ( $H_{\text{final}}$ ) pada variable x, sedangkan jika memasukan harga  $H_{\text{final}}$  pada variable x ke dalam persamaan  $y = 0,0217x^2 - 0,2002x + 0,8345$  maka akan di dapatkan harga penurunannya ( $Sc$ ).

#### 4.5.2. Zona 2 (STA 149+550 s.d. STA 150+675)

Hasil analisa penurunan konsolidasi pada zona 2 adalah sebagai berikut,

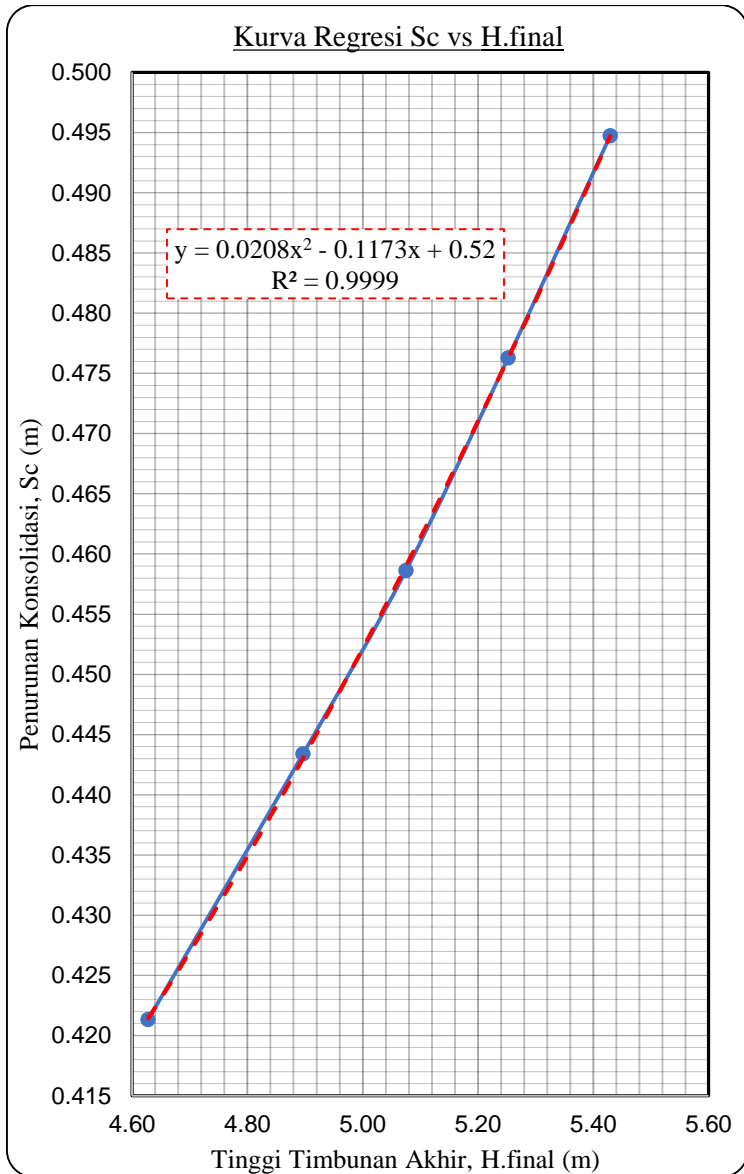
**Tabel 4.15** Rekapitulasi Hasil Analisa Konsolidasi Zona 2

$H_{\text{timb}}$ (m)	$q_{\text{final}}$ (KN/m <sup>3</sup> )	$H_{\text{inisial}}$ (m)	$Sc$ (m)	$H_{\text{final}}$ (m)
5,19	88,31	5,049	0,421	4,628
5,49	93,41	5,340	0,443	4,896
5,69	96,81	5,534	0,459	5,075
5,89	100,21	5,729	0,476	5,252
6,09	103,61	5,924	0,495	5,429

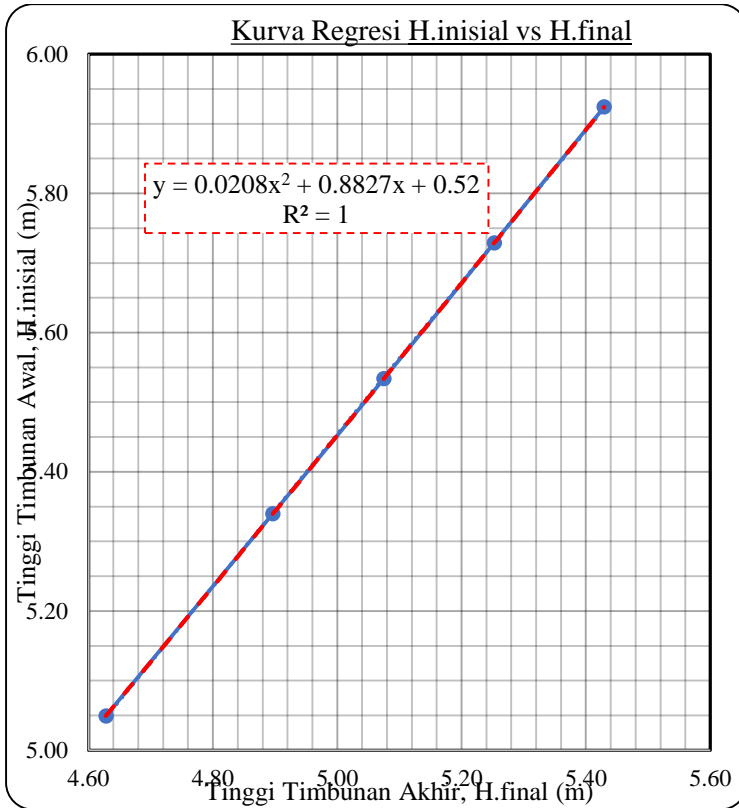
Maka persamaan regresi linier yang dihasilkan dari analisa di atas adalah,

- $y = 0,0208x^2 - 0,1173x + 0,52$  untuk  $Sc$  vs  $H_{\text{final}}$
- $y = 0,0208x^2 + 0,8827x + 0,52$  untuk  $H_{\text{inisial}}$  vs  $H_{\text{final}}$

Dibawah ini adalah kurva yang mengambarkan bentuk persamaan regresi linier  $Sc$  vs  $H_{\text{final}}$  dan  $H_{\text{inisial}}$  vs  $H_{\text{final}}$ ,



**Gambar 4.5** Kurva Regresi Sc vs H.final Zona 2



**Gambar 4.6** Kurva Regresi H.inisial vs H.final Zona 2

Apabila hasil persamaan kurva regresi linier di atas dibuat dalam bentuk tabel maka,

**Tabel 4.16** Hasil Analisa Regresi Linier Konsolidasi Zona 2

$H_{\text{final}}$ (m)	$S_c$ (m)	$H_{\text{inisial}}$ (m)
5,195	0,472	5,667
5,495	0,503	5,998
5,695	0,527	6,221
5,895	0,551	6,446
6,095	0,578	6,672



Di dalam zona 2 memiliki timbunan preloading tertinggi yaitu 6,095 m dan terendahnya 3,595 m yang ditimbun di atas tanah lunak setebal 17 m.

#### 4.5.3. Zona 3 (STA 150+675 s.d. STA 151+450)

Hasil analisa penurunan konsolidasi pada zona 3 adalah sebagai berikut,

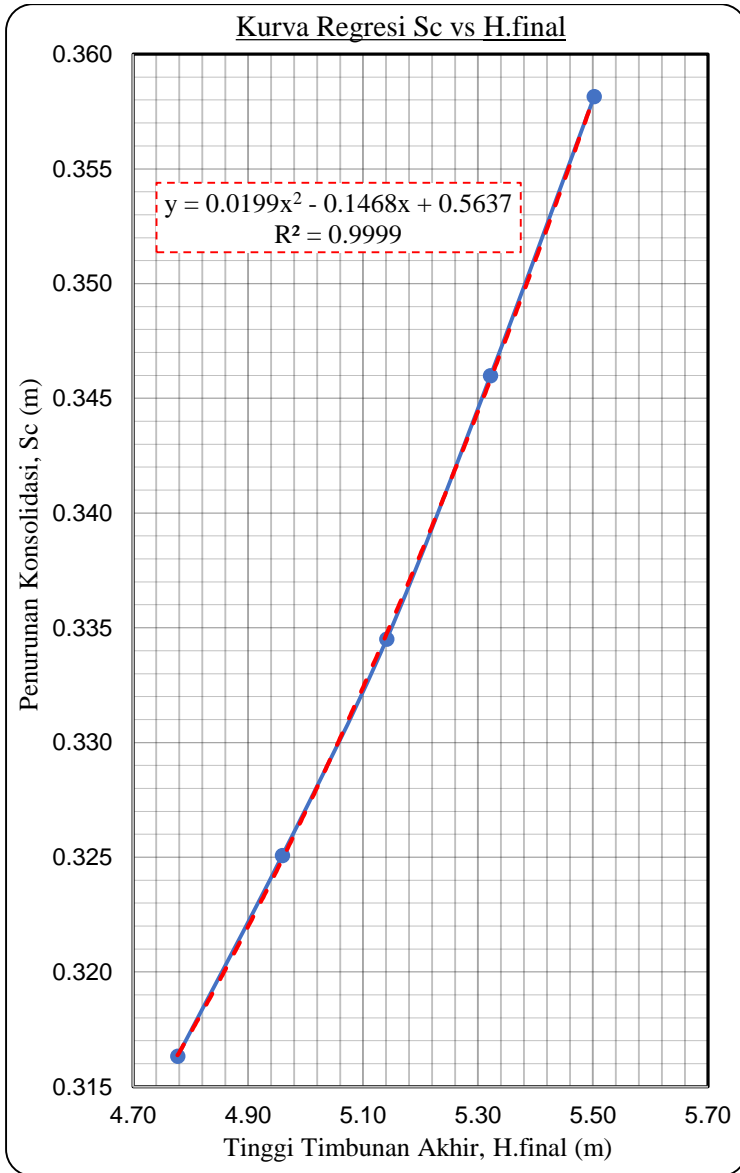
**Tabel 4.17** Rekapitulasi Hasil Analisa Konsolidasi Zona 3

$H_{\text{timb}}$ (m)	$q_{\text{final}}$ (KN/m <sup>3</sup> )	$H_{\text{inisial}}$ (m)	$Sc$ (m)	$H_{\text{final}}$ (m)
5,29	90,01	5,093	0,316	4,777
5,49	93,41	5,284	0,325	4,959
5,69	96,81	5,476	0,335	5,141
5,89	100,21	5,668	0,346	5,322
6,09	103,61	5,860	0,358	5,502

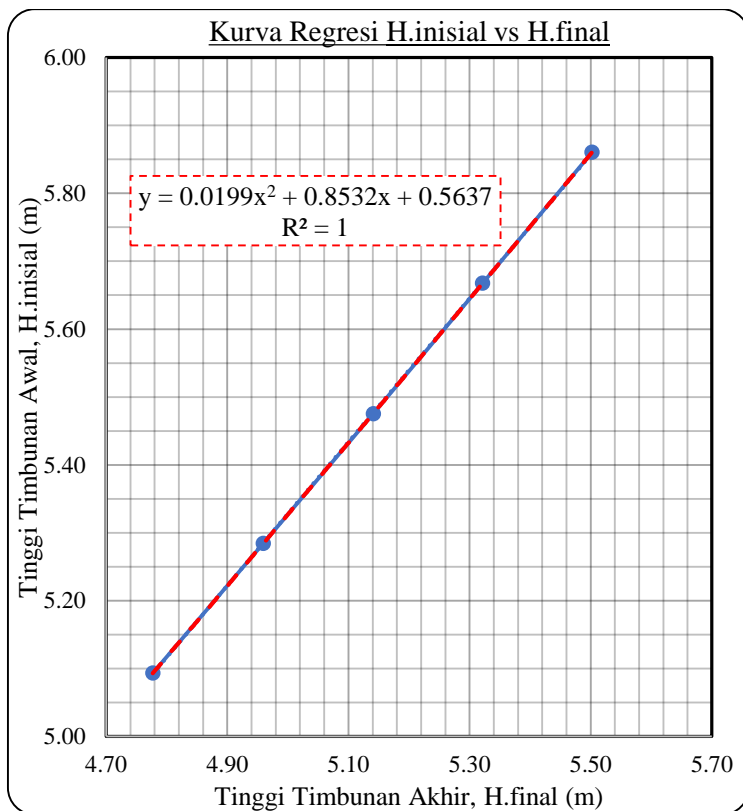
Maka persamaan regresi linier yang dihasilkan dari analisa di atas adalah,

- $y = 0,0199x^2 - 0,1468x + 0,5637$  untuk  $Sc$  vs  $H_{\text{final}}$
- $y = 0,0199x^2 + 0,8532x + 0,5637$  untuk  $H_{\text{inisial}}$  vs  $H_{\text{final}}$

Dibawah ini adalah kurva yang mengambarkan bentuk persamaan regresi linier  $Sc$  vs  $H_{\text{final}}$  dan  $H_{\text{inisial}}$  vs  $H_{\text{final}}$ ,



**Gambar 4.7** Kurva Regresi Sc vs H.final Zona 3



**Gambar 4.8** Kurva Regresi H.inisial vs H.final Zona 3

Apabila hasil persamaan kurva regresi linier di atas dibuat dalam bentuk tabel maka,

**Tabel 4.18** Hasil Analisa Regresi Linier Konsolidasi Zona 3

$H_{\text{final}}$ (m)	Sc (m)	$H_{\text{inisial}}$ (m)
5,295	0,344	5,639
5,495	0,358	5,853
5,695	0,373	6,068
5,895	0,390	6,284
6,095	0,408	6,503

Di dalam zona 3 memiliki timbunan preloading tertinggi yaitu 6,095 m dan terendahnya 4,495 m yang ditimbun di atas tanah lunak setebal 13 m.

#### 4.5.4. Zona 4 (STA 148+650 s.d. STA 159+200)

Hasil analisa penurunan konsolidasi pada zona 4 adalah sebagai berikut,

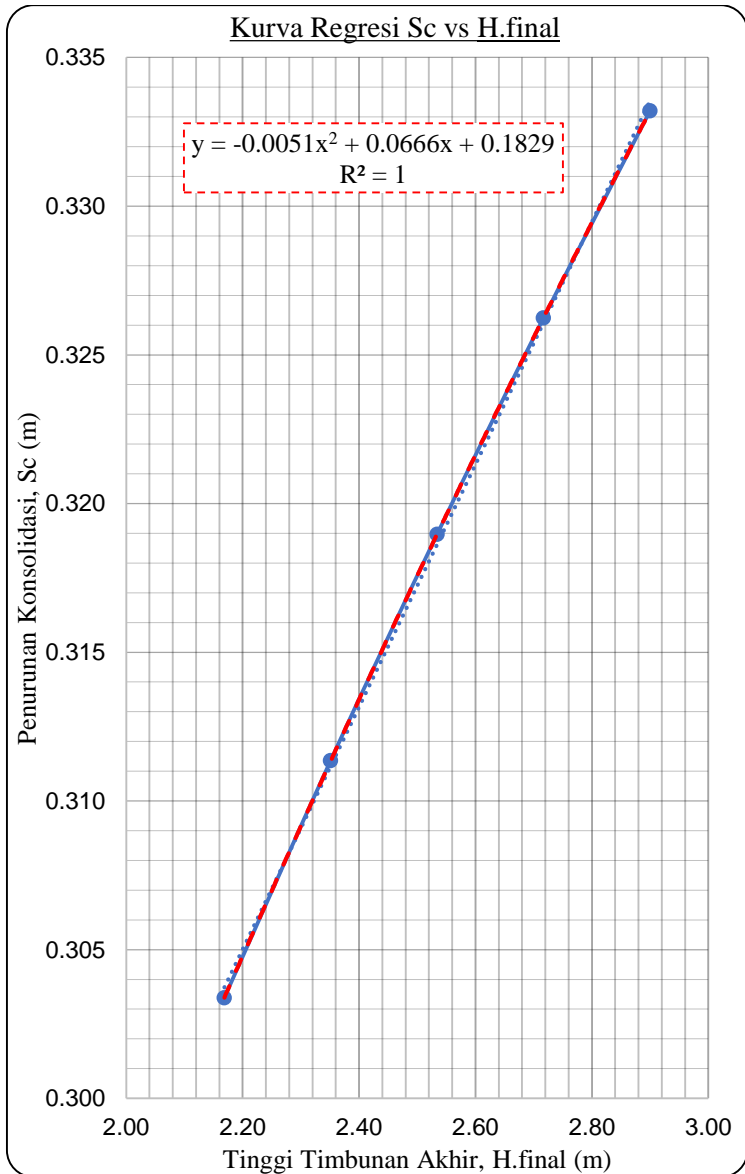
**Tabel 4.19** Rekapitulasi Hasil Analisa Konsolidasi Zona 4

$H_{\text{timb}}$ (m)	$q_{\text{final}}$ (KN/m <sup>3</sup> )	$H_{\text{inisial}}$ (m)	$Sc$ (m)	$H_{\text{final}}$ (m)
2,49	42,41	2,472	0,303	2,169
2,69	45,81	2,663	0,311	2,351
2,89	49,21	2,853	0,319	2,534
3,09	52,61	3,043	0,326	2,717
3,29	56,01	3,233	0,333	2,900

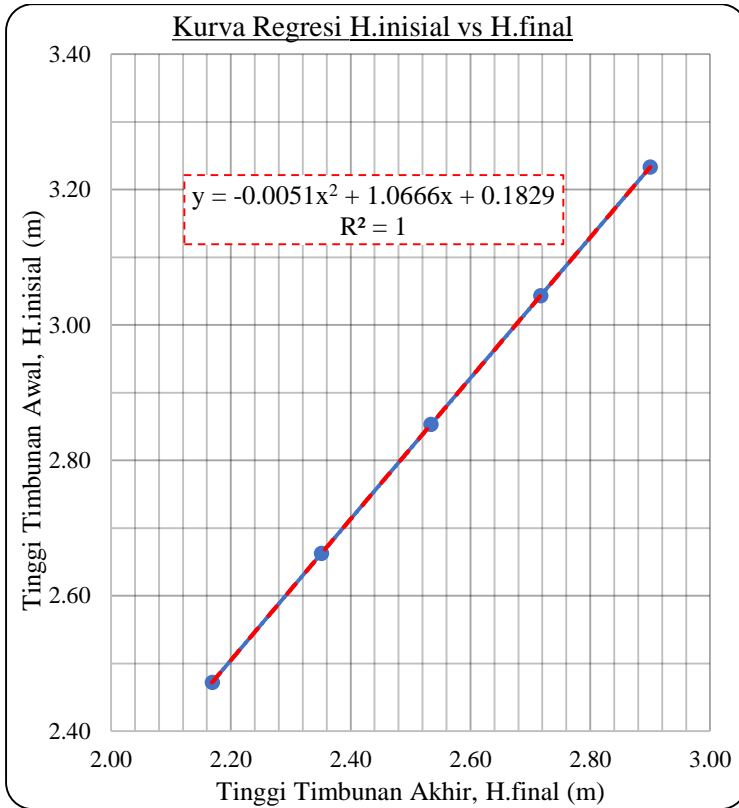
Maka persamaan regresi linier yang dihasilkan dari analisa di atas adalah,

- $y = -0,0051x^2 + 0,0666x + 0,1829$  untuk  $Sc$  vs  $H_{\text{final}}$
- $y = -0,0051x^2 + 1,0666x + 0,1829$  untuk  $H_{\text{inisial}}$  vs  $H_{\text{final}}$

Dibawah ini adalah kurva yang mengambarkan bentuk persamaan regresi linier  $Sc$  vs  $H_{\text{final}}$  dan  $H_{\text{inisial}}$  vs  $H_{\text{final}}$ ,



**Gambar 4.9** Kurva Regresi Sc vs H.final Zona 4



**Gambar 4.10** Kurva Regresi H.inisial vs H.final Zona 4

Apabila hasil persamaan kurva regresi linier di atas dibuat dalam bentuk tabel maka,

**Tabel 4.20** Hasil Analisa Regresi Linier Konsolidasi Zona 4

$H_{\text{final}}$ (m)	$S_c$ (m)	$H_{\text{inisial}}$ (m)
2,49	0,317	2,812
2,69	0,325	3,020
2,89	0,333	3,228
3,09	0,340	3,435
3,29	0,347	3,642

Di dalam zona 4 memiliki timbunan preloading tertinggi yaitu 3,295 m dan terendahnya 2,095 m yang ditimbun di atas tanah lunak setebal 4 m.

#### 4.5. Rancangan PVD

Rancangan *Prefabricated Vertical Drain* yang terangkan dalam tulisan ini, membahas durasi pelaksanaan penurunan konsolidasi tanah secara manual. Analisa penurunan dihitung hingga konsolidasi tanah mencapai derajat konsolidasi minimal 90% dan durasi waktu penurunan ditetapkan paling lama 20 pekan. Rincian perhitungan hanya akan dijelaskan pada zona 1, dan untuk zona-zona selanjutnya hanya diberikan hasil rekapannya saja.

##### 4.6.1. Zona 1 (STA 148+700 s.d. STA 149+550)

Berikut adalah rincian langkah-langkah perhitungan manual desain penggunaan PVD sepanjang zona 1,

#### Diketahui:

- Koefisien konsolidasi vertikal,  $C_v$  :  $7,83 \times 10^{-4} \text{ cm}^2/\text{s}$
- Koefisien konsolidasi horizontal,  $C_h$  :  $2,35 \times 10^{-4} \text{ cm}^2/\text{s}$
- Lebar PVD : 100 mm
- Tebal PVD : 3 mm
- Tebal tanah lunak,  $H_{dr}$  : 1500 cm
- $S_c$  pada  $H_{final} = 7,395 \text{ m}$  : 0,541 m

#### Penyelesaian:

- a. Menganalisa waktu penurunan konsolidasi pada  $t_{90}$

$$t_{90} = (0,848 \times (15 \times 100)^2) / (7,83 \times 10^{-4})$$

$$t_{90} = 2,44 \times 10^9 \text{ detik}$$

$$t_{90} = 77,304 \text{ tahun}$$

- b. Menentukan *rate settlement* tanah lunak

$$T_v = (t_i \times C_v) / (H_{dr})^2$$

Karena  $U_v \leq 60 \%$  maka,

$$U_v = \sqrt{\frac{4 \times T_v}{\pi}} \times 100$$

$$S_{c,i} = U_V/90 \times S_c$$

**Tabel 4.21** Rate Settlement 10 Tahun Zona 1

Tahun	$T_V$	$U_V$ (%)	$S_{c,i}$	$\Delta S_c$
1	0,011	11,818	0,071	0,071
2	0,022	16,713	0,100	0,029
3	0,033	20,470	0,123	0,023
4	0,044	23,636	0,142	0,019
5	0,055	26,426	0,159	0,017
6	0,066	28,949	0,174	0,015
7	0,077	31,268	0,188	0,014
8	0,088	33,427	0,201	0,013
9	0,099	35,455	0,213	0,012
10	0,110	37,372	0,225	0,012

- c. Menentukan pola pemasangan PVD dan hasil percepatannya  
Perhitungan di sini menggunakan pola persegi karena dirasa lebih mudah pelaksanaannya di lapangan. Dalam melakukan perhitungan yang sebenarnya, perhitungan dilakukan secara iterasi dengan jarak antar PVD merupakan variabel bebasnya. Namun pada penjelasan perhitungan di bawah langsung dipilih pada jarak yang paling efisien, sehingga perhitungannya adalah,

Diketahui:

$$S = 1,25 \text{ m}$$

$$D = 1,13 \times 1,25 \text{ m} = 1,4125 \text{ m}$$

$$dw = 2 \times (100 + 30)/\pi = 65,572 \text{ mm}$$

$$n = D/dw = 21,54$$

$$F(n) = (n^2/(n^2 - 1)) \times (\ln(n) - 3/4 - (1/(4 \times n^2))) = 2,32$$

$$e = 2,718 \text{ (angka koefisien eksponensial)}$$

Penyelesaian:

$$C_v = 7,83 \times 10^{-4} \text{ cm}^2/\text{s} = 4,73 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{pekan}$$



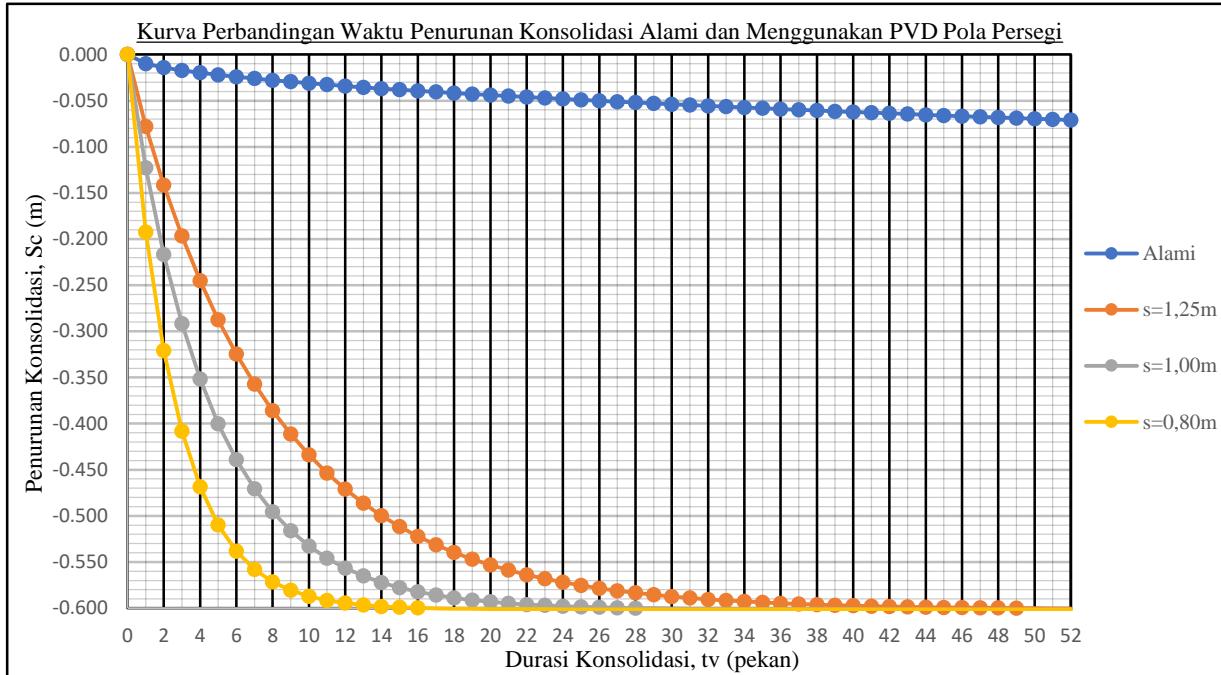
**Tabel 4.22** Analisa Percepatan dengan PVD Zona 1

Pekan	T <sub>v</sub>	U <sub>v</sub> (%)	U <sub>h</sub> (%)	U <sub>tot</sub> (%)
1	2,10E-04	0,02	0,12	12,98
2	4,21E-04	0,02	0,22	23,54
3	6,31E-04	0,03	0,31	32,71
4	8,42E-04	0,03	0,39	40,74
5	1,05E-03	0,04	0,46	47,78
6	1,26E-03	0,04	0,52	53,97
7	1,47E-03	0,04	0,58	59,41
8	1,68E-03	0,05	0,62	64,20
9	1,89E-03	0,05	0,67	68,42
10	2,10E-03	0,05	0,71	72,14
11	2,31E-03	0,05	0,74	75,42
12	2,52E-03	0,06	0,77	78,31
13	2,73E-03	0,06	0,80	80,85
14	2,95E-03	0,06	0,82	83,10
15	3,16E-03	0,06	0,84	85,08
16	3,37E-03	0,07	0,86	86,83
17	3,58E-03	0,07	0,88	88,38
18	3,79E-03	0,07	0,89	89,74
19	4,00E-03	0,07	0,90	90,94
20	4,21E-03	0,07	0,91	92,00

$$U_h = 1 - \left[ \frac{1}{e^{\left( \frac{t_i \times 8 \times C_h}{D^2 \times 2 \times F(n)} \right)}} \right]$$

$$U_{total} = 100 \% \times (1 - (1 - U_h) \times (1 - U_v))$$

Dari hasil perhitungan tabel di atas dapat disimpulkan, penggunaan PVD dengan pola persegi yang dipasang pada setiap jarak 1,25 m sudah dapat memenuhi kebutuhan waktu percepatan dalam waktu kurang dari atau sama dengan 20 pekan. Hal tersebut dapat dilihat pada pekan ke 19 di mana derajat penurunan konsolidasinya sudah mencapai 90%.



**Gambar 4.11** Kurva Durasi Konsolidasi

#### 4.6.2. Zona 2 (STA 149+550 s.d. STA 150+675)

Hasil analisa *rate settlement* dalam 10 tahun pada timbunan tertinggi zona 2 adalah sebagai berikut,

**Tabel 4.23** *Rate Settlement* 10 Tahun Zona 2

Tahun	$T_v$	$U_v$ (%)	$S_{c,i}$	$\Delta S_c$
1	0,008	10,398	0,067	0,067
2	0,017	14,705	0,094	0,028
3	0,025	18,010	0,116	0,021
4	0,034	20,796	0,133	0,018
5	0,042	23,251	0,149	0,016
6	0,051	25,470	0,163	0,014
7	0,059	27,511	0,177	0,013
8	0,068	29,410	0,189	0,012
9	0,076	31,194	0,200	0,011
10	0,085	32,882	0,211	0,011

Karenakan derajat konsolidasi dapat mencapai 90% dalam kurun waktu 99,861 tahun, maka digunakan PVD dengan rancangan pola persegi dan jarak 1,25 m. Maka percepatan yang didapatkan adalah,

**Tabel 4.24** Analisa Percepatan dengan PVD Zona 2

Pekan	$T_v$	$U_v$ (%)	$U_h$ (%)	$U_{tot}$ (%)
1	1,63E-04	0,01	0,11	12,74
2	3,26E-04	0,02	0,22	23,21
3	4,89E-04	0,02	0,31	32,34
4	6,51E-04	0,03	0,39	40,33
5	8,14E-04	0,03	0,46	47,36
6	9,77E-04	0,04	0,52	53,54
7	1,14E-03	0,04	0,57	58,99
8	1,30E-03	0,04	0,62	63,79
9	1,47E-03	0,04	0,67	68,02
10	1,63E-03	0,05	0,70	71,76
11	1,79E-03	0,05	0,74	75,06

12	1,95E-03	0,05	0,77	77,97
13	2,12E-03	0,05	0,79	80,53
14	2,28E-03	0,05	0,82	82,80
15	2,44E-03	0,06	0,84	84,80
16	2,61E-03	0,06	0,86	86,57
17	2,77E-03	0,06	0,87	88,13
18	2,93E-03	0,06	0,89	89,51
19	3,09E-03	0,06	0,90	90,73
20	3,26E-03	0,06	0,91	91,81

Penggunaan PVD dengan pola persegi yang dipasang sejarak 1,25 m pada zona 2, dapat memenuhi kebutuhan penurunan tanah hingga derajat konsolidasi 90% dengan durasi waktu 19 pekan.

#### 4.6.3. Zona 3 (STA 150+675 s.d. STA 151+450)

Hasil analisa *rate settlement* dalam 10 tahun pada timbunan tertinggi zona 3 adalah sebagai berikut,

**Tabel 4.25** *Rate Settlement* 10 Tahun Zona 3

Tahun	$T_v$	$U_v$ (%)	$S_{c,i}$	$\Delta S_c$
1	0,012	12,127	0,055	0,055
2	0,023	17,150	0,078	0,023
3	0,035	21,005	0,095	0,017
4	0,046	24,254	0,110	0,015
5	0,058	27,117	0,123	0,013
6	0,069	29,705	0,135	0,012
7	0,081	32,086	0,146	0,011
8	0,092	34,301	0,156	0,010
9	0,104	36,382	0,165	0,009
10	0,116	38,350	0,174	0,009

Karenakan derajat konsolidasi dapat mencapai 90% dalam kurun waktu 73,415 tahun, maka digunakan PVD dengan rancangan pola persegi dan jarak 1,00 m. Maka percepatan yang didapatkan adalah,

**Tabel 4.26** Analisa Percepatan dengan PVD Zona 3

Pekan	$T_v$	$U_v$ (%)	$U_h$ (%)	$U_{tot}$ (%)
1	2,22E-04	0,02	0,15	16,83
2	4,43E-04	0,02	0,28	30,14
3	6,65E-04	0,03	0,39	41,22
4	8,86E-04	0,03	0,49	50,51
5	1,11E-03	0,04	0,57	58,30
6	1,33E-03	0,04	0,63	64,86
7	1,55E-03	0,04	0,69	70,37
8	1,77E-03	0,05	0,74	75,02
9	1,99E-03	0,05	0,78	78,93
10	2,22E-03	0,05	0,81	82,23
11	2,44E-03	0,06	0,84	85,01
12	2,66E-03	0,06	0,87	87,35
13	2,88E-03	0,06	0,89	89,32
14	3,10E-03	0,06	0,90	90,99
15	3,32E-03	0,07	0,92	92,40
16	3,54E-03	0,07	0,93	93,58
17	3,77E-03	0,07	0,94	94,58
18	3,99E-03	0,07	0,95	95,43
19	4,21E-03	0,07	0,96	96,14
20	4,43E-03	0,08	0,96	96,74

Penggunaan PVD dengan pola persegi yang dipasang sejarak 1,00 m pada zona 3, dapat memenuhi kebutuhan penurunan tanah hingga derajat konsolidasi 90% dengan durasi waktu 14 pekan.

#### 4.6.4. Zona 4 (STA 148+650 s.d. STA 159+200)

Hasil analisa *rate settlement* dalam 10 tahun pada timbunan tertinggi zona 4 adalah sebagai berikut,

**Tabel 4.27** Rate Settlement 10 Tahun Zona 4

Tahun	$T_v$	$U_v$ (%)	$S_{c,i}$	$\Delta S_c$
1	0,194	49,643	0,191	0,191
2	0,387	70,205	0,271	0,079
3	0,581	85,983	0,331	0,061
4	0,774	99,285	0,383	0,051
5	0,968	111,004	0,428	0,045
6	1,161	121,599	0,469	0,041
7	1,355	131,342	0,506	0,038
8	1,548	140,410	0,541	0,035
9	1,742	148,928	0,574	0,033
10	1,936	156,984	0,605	0,031

Karenakan derajat konsolidasi belum mencapai 90% dalam kurun waktu 4,381 tahun, maka digunakan PVD dengan rancangan pola persegi dan jarak 1,25 m. Maka percepatan yang didapatkan adalah,

**Tabel 4.28** Analisa Percepatan dengan PVD Zona 4

Pekan	$T_v$	$U_v$ (%)	$U_h$ (%)	$U_{tot}$ (%)
1	3,71E-03	0,07	0,17	22,51
2	7,42E-03	0,10	0,31	37,49
3	1,11E-02	0,12	0,42	49,24
4	1,48E-02	0,14	0,52	58,64
5	1,86E-02	0,15	0,60	66,23
6	2,23E-02	0,17	0,67	72,39
7	2,60E-02	0,18	0,72	77,40
8	2,97E-02	0,19	0,77	81,48
9	3,34E-02	0,21	0,81	84,81
10	3,71E-02	0,22	0,84	87,54
11	4,08E-02	0,23	0,87	89,77
12	4,45E-02	0,24	0,89	91,60
13	4,83E-02	0,25	0,91	93,10
14	5,20E-02	0,26	0,92	94,33
15	5,57E-02	0,27	0,94	95,34

16	5,94E-02	0,27	0,95	96,17
17	6,31E-02	0,28	0,96	96,85
18	6,68E-02	0,29	0,96	97,41
19	7,05E-02	0,30	0,97	97,87
20	7,42E-02	0,31	0,97	98,24

Penggunaan PVD dengan pola persegi yang dipasang sejarak 1,25 m pada zona 4, dapat memenuhi kebutuhan penurunan tanah hingga derajat konsolidasi 90% dengan durasi waktu 14 pekan.

#### 4.6. Rancangan Geotekstil

Rancangan geotekstil diperlukan apabila angka keamanan stabilitas lereng timbunan belum mencapai angka keamanan minimum yang sudah ditetapkan. Dalam subbab ini akan membahas bagaimana tahapan penggunaan geotekstil. Detail perhitungan pembahasan hanya akan diterangkan pada zona 1, sedangkan pada zona-zona selanjutnya akan diberikan hasil rekap perhitungannya saja.

##### 4.7.1. Zona 1 (STA 148+700 s.d. STA 149+550)

Berikut adalah rincian langkah-langkah perhitungan manual desain penggunaan geotekstil pada timbunan zona 1,

#### Diketahui:

- Tinggi Timbunan Awal,  $H_{\text{inisial}}$  : 7,6 m
- Laju penimbunan : 0,3 m/pekan
- Jumlah tahap penimbunan : 25 tahap
- $SF_{\text{rencana}}$  : 1,4
- Tinggi Kritis Timbunan,  $H_{\text{cr}}$  : 1,177 m
- Berat Jenis Tanah Timbunan,  $\gamma_{\text{timb}}$  : 18,20 KN/m<sup>3</sup>

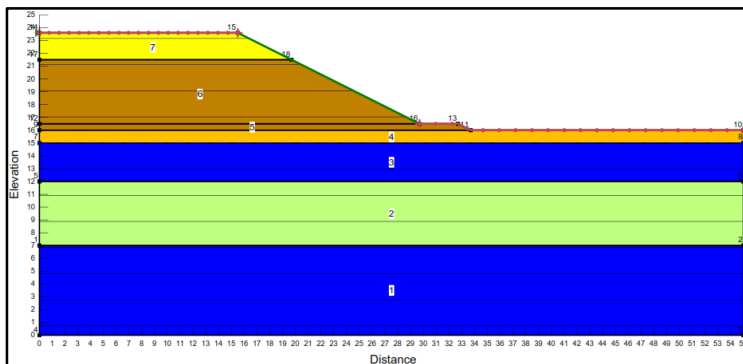
#### Penyelesaian:

- a. Memodelkan keruntuhan lereng dengan program bantu  
Permodelan dibutuhkan untuk memudahkan mendapatkan harga momen penggerak keruntuhan dan momen penahan

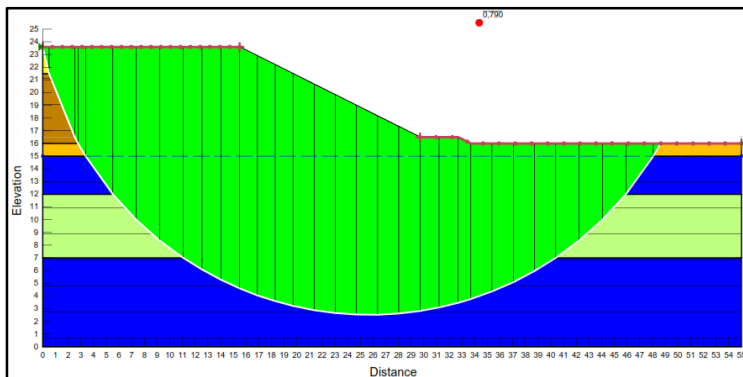
pada saat kondisi asli tanah timbunan. Berikut ini adalah permodelan keruntuhan menggunakan *Geostudio*,

**Tabel 4.29** Input Data Tanah Permodelan Zona 1

No	Layer	N-SPT	Tebal	$\gamma_{sat}$	Cu	$\theta$	SF
			(m)	(KN/m <sup>3</sup> )	(Kpa)	( $^{\circ}$ )	
1	Timbunan		7,54	18,2	30,00	10	0,79
2	Very Soft Clay	2	3,00	17,4	6,00	4	
3	Soft Clay	4	5,00	17,1	12,00	4	
4	Very Soft Clay	2	7,00	17,4	6,00	4	



**Gambar 4.12** Permodelan Awal Zona 1 Sebelum *Running*



**Gambar 4.13** Hasil Analisa Permodelan dengan *Geostudio* Zona 1



Dari **Gambar 4.10**, dapat dilihat timbunan yang berwarna kuning merupakan timbunan prabebeban akibat beban lalu lintas dan desain perkerasan. Dan hasil momen-momen yang terjadi dari permodelan dengan metode Bishop adalah, momen penahan (MR) sebesar 31223 kN.m dan momen penggerak (MA) 39523 kN.m.

b. Desain geotekstil

Diketahui:

$$\begin{aligned} \text{Kuat tarik geotekstil, } T &= 1000 \text{ kN/m} \\ \text{Kohesi timbunan, } C_{u,1} &= 30,0 \text{ kN/m}^2 \\ \text{Kohesi tanah asli, } C_{u,2} &= 6,0 \text{ kN/m}^2 \\ \text{Sudut geser timbunan, } \theta_1 &= 10^\circ \\ \text{Sudut geser tanah asli, } \theta_2 &= 4^\circ \\ \text{Efisiensi, } E &= 0,8 \end{aligned}$$

Penyelesaian:

1. Momen penahan baru

$$\begin{aligned} MR_{\text{baru}} &= MA \times SF_{\text{rencana}} \\ &= 39523 \text{ kN.m} \times 1,4 = 55331,9 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

2. Momen Penahan Tambahan

$$\begin{aligned} \Delta MR &= MR_{\text{baru}} - MR \\ &= 55331,9 \text{ kN.m} - 31223 \text{ kN.m} = 24108,9 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

3. Tegangan geser di atas geotekstil

$$\begin{aligned} \tau_1 &= C_{u,1} + \sigma_v \times \tan \theta_1 \\ &= 30,0 \text{ kN/m}^2 + (18,2 \text{ kN/m}^3 \times 7,6 \text{ m}) \times \tan 10^\circ \\ &= 373,45 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

4. Tegangan geser di bawah geotekstil

$$\begin{aligned} \tau_2 &= C_{u,2} + \sigma_v \times \tan \theta_2 \\ &= 6,0 \text{ kN/m}^2 + (17,4 \text{ kN/m}^3 \times 7,6 \text{ m}) \times \tan 4^\circ \\ &= 14,41 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

5. Kuat izin geotekstil

$$\begin{aligned} T_{\text{izin}} &= T / (SF_{\text{id}} \times SF_{\text{cr}} \times SF_{\text{cd}} \times SF_{\text{bd}}) \\ &= 1000 \text{ kN/m} / (1,3 \times 1,7 \times 1,25 \times 1,1) = 329,08 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

### 6. Panjang di belakang bidang longsor

$$L_e = (T_{izin} \times SF_{rencana}) / ((\tau_1 + \tau_2) \times 0,8)$$

$$= 0,697 \text{ m}$$

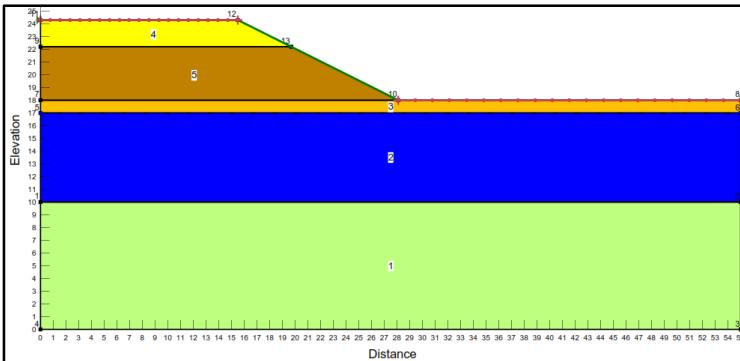
Hasil analisa zona 1, kebutuhan geotekstil yang diperlukan sebanyak 6 lapis yang dipasang setiap 30cm. Untuk hasil berupa tabel perhitungan keseluruhan panjang  $L_e$  dan  $L_D$  dapat dilihat pada halaman lampiran.

### 4.7.2. Zona 2 (STA 149+550 s.d. STA 150+675)

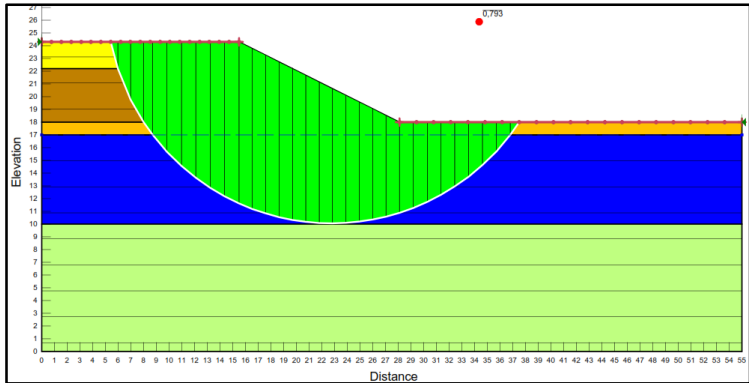
Di bawah ini adalah hasil permodelan dengan Geostudio pada zona 2 yang menunjukkan angka keamanan sebelum diberikan geotekstil.

**Tabel 4.30** Input Data Tanah Permodelan Zona 2

No	Layer	N-SPT	Tebal	$\gamma_{sat}$	Cu	$\theta$	SF
			(m)	(KN/m <sup>3</sup> )	(Kpa)	(°)	
1	Timbunan		7,54	18,2	30,00	10	0,79
2	Very Soft Clay	2	7,00	16,7	6,00	4	
3	Soft Clay	4	10,00	17,3	12,00	4	



**Gambar 4.14** Permodelan Awal Zona 2 Sebelum *Running*



**Gambar 4.15** Hasil Analisa Permodelan dengan Geostudio Zona 2

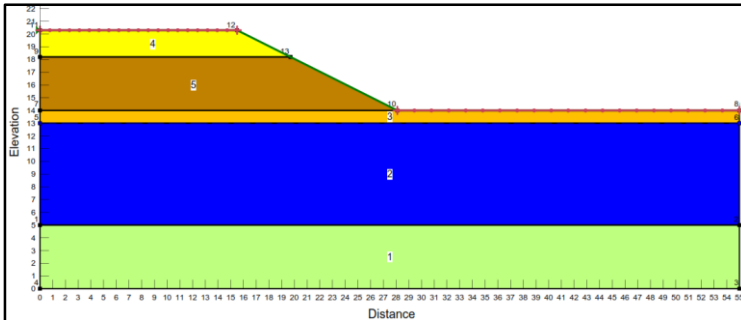
Dari hasil permodelan di atas diperoleh, momen penahan (MR) sebesar 11389 kN.m dan momen penggerak (MA) 14362 kN.m. Sedangkan untuk kebutuhan geotekstil yang diperlukan sebanyak 4 lapis yang dipasang setiap 30cm, dengan kuat tarik geotekstil 800 kN/m. Selanjutnya panjang kebutuhan geotekstil  $L_e$  dan  $L_D$  zona 2 dapat dilihat pada halaman lampiran.

#### 4.7.3. Zona 3 (STA 150+675 s.d. STA 151+450)

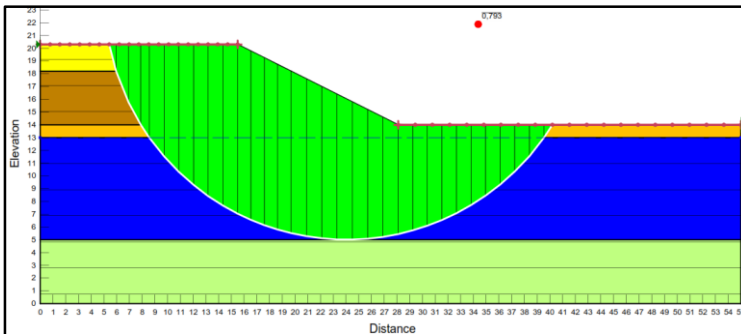
Di bawah ini adalah hasil permodelan dengan Geostudio pada zona 3 yang menunjukkan angka keamanan sebelum diberikan geotekstil.

**Tabel 4.31** Input Data Tanah Permodelan Zona 3

No	Layer	N-SPT	Tebal	$\gamma_{sat}$	Cu	$\theta$	SF
			(m)	(KN/m <sup>3</sup> )	(Kpa)	( $^{\circ}$ )	
1	Timbunan		7,54	18,2	30,00	10	0,79
2	Very Soft Clay	2	5,00	17,1	6,00	4	
3	Soft Clay	4	8,00	18,1	12,00	4	



**Gambar 4.16** Permodelan Awal Zona 3 Sebelum *Running*



**Gambar 4.17** Hasil Analisa Permodelan dengan Geostudio Zona 3

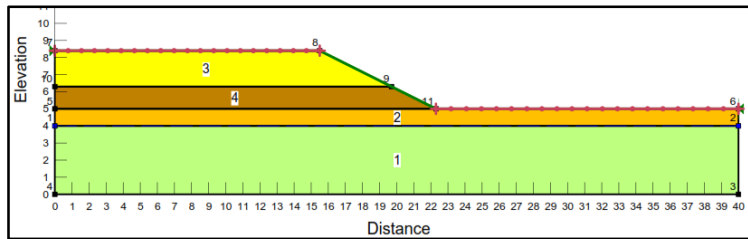
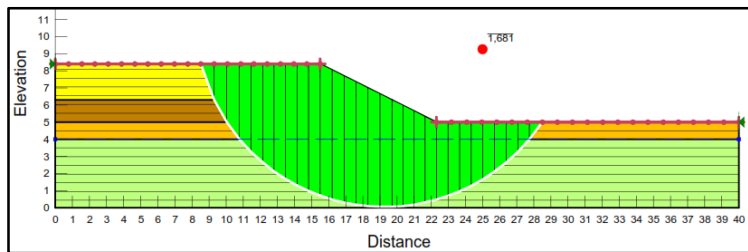
Dari hasil permodelan di atas diperoleh, momen penahan (MR) sebesar 13233 kN.m dan momen penggerak (MA) 16687 kN.m. Sedangkan untuk kebutuhan geotekstil yang diperlukan sebanyak 5 lapis yang dipasang setiap 30cm, dengan kuat tarik geotekstil 800 kN/m. Selanjutnya panjang kebutuhan geotekstil  $L_e$  dan  $L_D$  zona 3 dapat dilihat pada halaman lampiran.

#### 4.7.4. Zona 4 (STA 148+650 s.d. STA 159+200)

Berikut adalah hasil permodelan dengan Geostudio pada zona 4 yang menunjukkan angka keamanan sebelum diberikan geotekstil.

**Tabel 4.32** Input Data Tanah Permodelan Zona 4

No	Layer	N-SPT	Tebal	$\gamma_{sat}$	Cu	$\theta$	SF
			(m)	(KN/m <sup>3</sup> )	(Kpa)	( $^{\circ}$ )	
1	Timbunan		7,54	18,2	30,00	10	1,68
2	Very Soft Clay	2	5,00	17,1	6,00	4	

**Gambar 4.18** Permodelan Awal Zona 4 Sebelum *Running***Gambar 4.19** Hasil Analisa Permodelan dengan Geostudio Zona 4

Dari hasil permodelan di atas diperoleh, momen penahan (MR) sebesar 5074,2 kN.m dan momen penggerak (MA) 3018,9 kN.m. Pada zona 4 ini, angka keamanan sudah lebih dari atau sama dengan angka keamanan rencana ( $SF_{rencana} = 1,4$ ), sehingga penggunaan geotekstil tidak diperlukan.

*Halaman Ini Sengaja Dikosongkan*

## BAB V METODE PELAKSANAAN

### 5.1. Lingkup Pekerjaan

Dalam proses pelaksanaan pekerjaan tanah untuk keperluan pembangunan jalan, kegiatan pekerjaan yang diterangkan dalam bab ini meliputi pekerjaan pembersihan dan perataan tanah, pemasangan PVD dan PHD, dan penimbunan tanah untuk badan jalan sekaligus pemasangan geotekstil apabila diperlukan.

#### 5.1.1. Pekerjaan Pembersihan dan Perataan Tanah

##### A. Peralatan

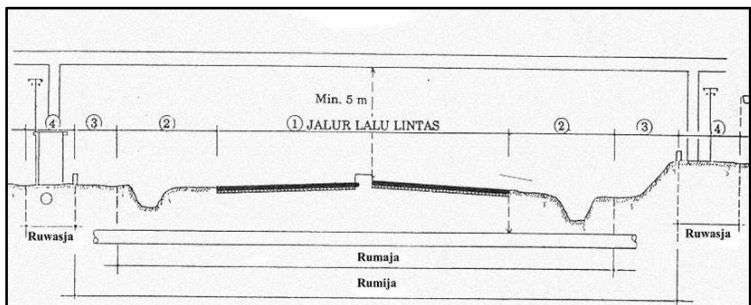
1. Bulldozer
2. Excavator
3. Dump Truck
4. Foot Sheep Roller dan Vibro Roller

##### B. Tenaga Kerja

1. Supervisor dan Surveyor
2. Tukang
3. Operator

##### C. Metode Pelaksanaan

- a. Pembersihan lahan untuk pembangunan konstruksi jalan tol bisa dilakukan apabila patok sebagai penentu batasan ruang manfaat jalan (rumaja) telah dipasang. Hal ini untuk mengetahui batas wilayah daerah pelaksanaan pekerjaan.



**Gambar 5.1** Standar Penetapan Ruang Jalan

(Sumber: google.com)

- b. Dikarenakan tanah pembangunan jalan tol ini merupakan bekas lahan perkebunan dan sebagian berjenis gambut, maka metode pembersihan yang dilakukan dengan cara memotong lapisan *top soil* tanah dasar (*streping*) untuk dibuang. Lokasi pembuangan tanah dibuang diluar lokasi proyek yang ditentukan oleh direksi. *Streping* dilakukan menggunakan alat berat *bulldozer*, kemudian tanah timbunan hasil *streping* dimuat kedalam *dumptruck* menggunakan *excavator* untuk diangkut ditempat pembuangan.



**Gambar 5.2** Ilustrasi Pengangkutan Tanah Pada Konstruksi Jalan Tol  
(Sumber: google.com)

- c. Pada tahap berikutnya adalah *cut and fill*. Lapisan tanah dasar dipotong pada elevasi yang ditentukan, kemudian dilakukan penecekan nilai CBR tanah dasar dengan pengujian DCP. Jika hasil pengujian kurang dari nilai CBR yang disyaratkan (umumnya kisaran 2% - 6%), maka pemotongan tetap dilanjutkan hingga maksimal kedalaman 1m – 2m. Dikarenakan ketebalan dari pemotongan dapat berbeda-beda, maka tidak semua tanah dasar akan dipotong, namun ada juga yang perlu diurug. Tanah urugan bisa berupa hasil potongan tanah dari STA lainnya dengan syarat



memenuhi kelayakan dari pengujian di laboratorium atau dari *quarry* yang sebelumnya sudah disiapkan. Apabila terjadi kelebihan tanah atau hasil pemotongan lebih banyak maka tanah tersebut dibuang di tempat yang sudah ditentukan oleh direksi, namun jika lebih banyak membutuhkan urugan maka persiapan penentuan *quarry* tanah sangat diperlukan.

- d. Perataan dengan *bulldozer* dan pemadatan tanah dasar menggunakan *sheep foot roller*. *Sheep foot roller* bekerja memadatkan tanah dengan beberapa kali gilasan hingga hasil pemadatan yang dicek dengan pengujian *sand cone* oleh tim pengawas memenuhi persyaratan.



**Gambar 5.3** Ilustrasi Pengurugan dan Pemadatan Tanah  
(Sumber: google.com)

### 5.1.2. Pemasangan PVD dan PHD

#### A. Peralatan

1. Crawler Crane
2. Dump Truck
3. Foot Sheep Roller dan Vibro Roller

## B. Tenaga Kerja

1. Supervisor dan Surveyor
2. Tukang
3. Operator

## C. Metode Pelaksanaan

- a. Membuat *plate form* atau landasan kerja berupa timbunan pasir. Pasir yang didatangkan oleh *dumtruck* dihamparkan di atas tanah dasar, selanjutnya diratakan menggunakan *bulldozer* hingga mencapai ketebalan setengah ketebalan rencana. Kegiatan ini dilakukan karena lapisan timbunan pasir selain berfungsi sebagai *plate form*, lapisan timbunan pasir juga digunakan sebagai lapisan drainase.



**Gambar 5.4** Proses Pembuatan *Plate Form*  
(Sumber: dokumen pelaksana)

- b. Pemadatan lapisan timbunan pasir dan penentuan titik pemasangan PVD di atasnya. Pemadatan dilakukan dengan cara memberikan beberapa kali gilasan pada timbunan pasir menggunakan *vibroroller*, lalu dicek kepadatannya dengan pengujian *sand cone*. Penentuan titik pemasangan PVD

ditentukan berdasarkan pola dan jarak yang sebelumnya sudah direncanakan.

- c. Pemasangan PVD menggunakan *excavator* dengan lengan *crawler crane*. Pada serangkaian tahap pelaksanaan ini, hendaknya mempersiapkan *crawler crane* yang sudah terinstalasi gulungan PVD dan mandrel sebagai ujung lubang *crawler crane* untuk mengaitkan pelat angkur dan ujung gulungan PVD. Pemasangan pada setiap titik yang sudah ditentukan dilakukan dengan cara bergerak mundur, dan untuk total panjang PVD yang ditanamkan adalah panjang kedalaman rancangan ketebalan tanah lunak (Hdr) ditambah panjang untuk menyambungkan dengan PHD atau sekitar separuh panjang jarak pemasangan antar PVD (s) yang sedikit dilebihkan.



**Gambar 5.5** Pelaksanaan Pemancangan PVD

(Sumber: dokumen pelaksana)

- d. Pemasangan PHD dan penimbunan setengah timbunan pasir yang kedua.



**Gambar 5.6** Hasil Pemasangan PVD dan PHD  
(Sumber: dokumen pelaksana)

### 5.1.3. Penimbunan Tanah dan Pemasangan Geotekstil

#### A. Peralatan

1. Excavator
2. Bulldozer
3. Dump Truck
4. Vibro Roller
5. Grader

#### B. Tenaga Kerja

1. Supervisor dan Surveyor
2. Tukang
3. Operator

#### C. Metode Pelaksanaan

- a. Penghamparan tanah dari *quarry* yang sudah mendapat approval persetujuan dari konsultan supervisi. Penghamparan dilakukan dengan *dump truck* dan dibantu dengan *excavator*, supaya proses penghamparan merata.
- b. Perataan tanah hingga ketinggian tanah timbunan setinggi  $\pm 30\text{cm}$ . Perataan dilakukan menggunakan *bulldozer*,

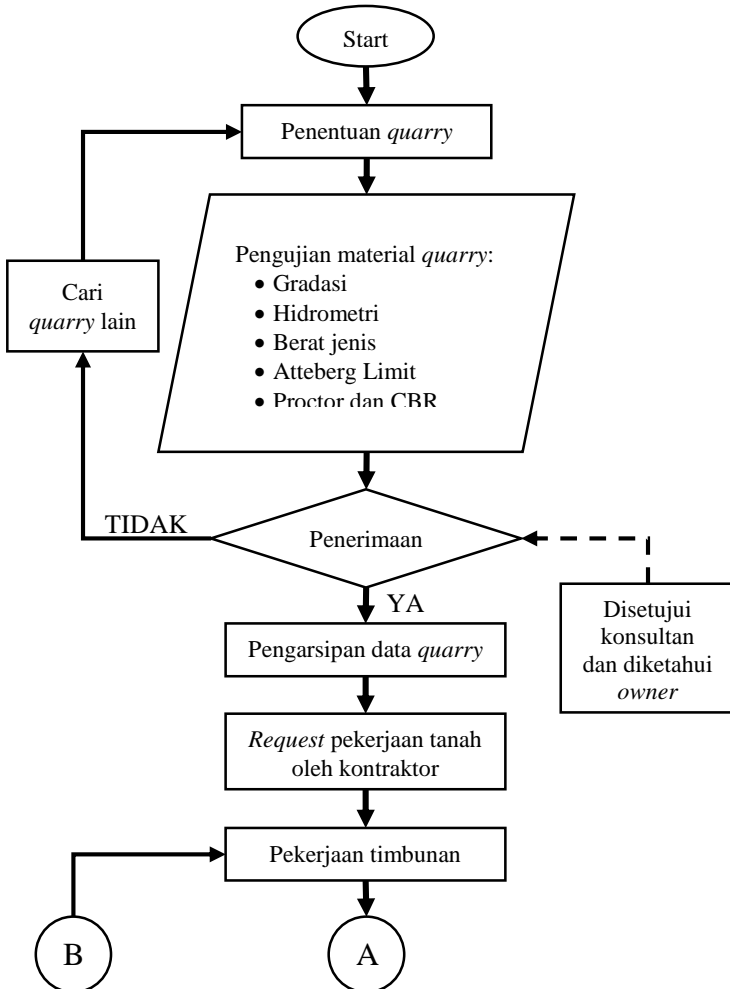
kemudian dipadatkan dengan *vibro roller*. Setiap lapisan pemadatan akan diamati oleh konsultan supervisi dan dilakukan pengetesan hasil pemadatan.



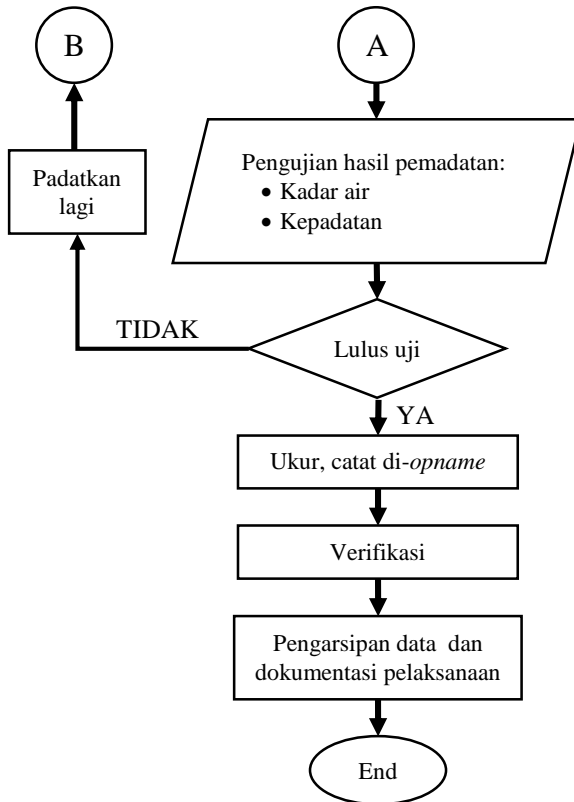
**Gambar 5.7** Ilustrasi Test Kepadatan Tanah dengan Uji *Sand Cone*  
(Sumber: dokumen pribadi)

- c. Proses pelaksanaan di atas diulangi hingga mencapai ketinggian timbunan awal rancangan.
- d. Pada tanah timbunan yang perlu menggunakan geotekstil sebagai penambah stabilitas lereng timbunan, geotekstil dapat dihamparkan setelah tanah timbunan lolos pengujian hasil pemadatan.
- e. Setelah umur timbunan mencapai masa konsolidasi tanah lunak berakhir, timbunan tanah digali atau dipotong setebal tinggi timbunan tanah prapembebanan. Kemudian permukaan hasil galian tersebut diratakan menggunakan *grader* supaya mendapatkan kemiringan jalan yang lebih sesuai gambar *shop drawing*.

## D. Diagram Alir Pelaksanaan



**Gambar 5.8** Diagram Alir Pelaksanaan Penimbunan Tanah



**Gambar 5.8** Diagram Alir Pelaksanaan Penimbunan Tanah (lanjutan)

*Halaman Ini Sengaja Dikosongkan*



## BAB VI PENUTUP

### 6.1. Kesimpulan

Kembali pada bab analisa data dan hasil pembahasan, kesimpulan yang dapat diambil dari penyelesaian tugas akhir ini antara lain,

1. Total konsolidasi tanah terbesar pada setiap zona adalah,
  - a. Penurunan konsolidasi ( $S_c$ ) zona 1 adalah 0,541m dari ketebalan tanah lunak total 15m
  - b. Penurunan konsolidasi ( $S_c$ ) zona 2 adalah 0,578m dari ketebalan tanah lunak total 17m
  - c. Penurunan konsolidasi ( $S_c$ ) zona 3 adalah 0,408m dari ketebalan tanah lunak total 13m
  - d. Penurunan konsolidasi ( $S_c$ ) zona 2 adalah 0,347m dari ketebalan tanah lunak total 4m
2. Perbandingan durasi konsolidasi tanah lunak tanpa menggunakan PVD dan menggunakan PVD di masing-masing zona adalah,
  - a. Zona 1: tanpa PVD adalah 77,30 tahun dan dengan PVD adalah 0,35 tahun, sehingga selisih durasi konsolidasinya mempercepat 76,95 tahun
  - b. Zona 2: tanpa PVD adalah 99,86 tahun dan dengan PVD adalah 0,35 tahun, sehingga selisih durasi konsolidasinya mempercepat 99,51 tahun
  - c. Zona 3: tanpa PVD adalah 73,42 tahun dan dengan PVD adalah 0,26 tahun, sehingga selisih durasi konsolidasinya mempercepat 73,16 tahun
  - d. Zona 4: tanpa PVD adalah 77,304 tahun dan dengan PVD adalah 0,350 tahun, sehingga selisih durasi konsolidasinya mempercepat 76,95 tahun
3. Permodelan percepatan konsolidasi metode prakompresi dengan timbunan tanah dalam aplikasi perangkat lunak digunakan untuk mengetahui angka keamanan dan momen-momen yang bekerja pada bidang kelongsoran timbunan tanah. Permodelan dapat dilakukan dengan

- memasukan data parameter tanah dan ketinggian muka air tanah.
4. Hasil analisa stabilitas lereng timbunan untuk konsolidasi metode prakompresi dengan timbunan tanah dari hasil permodelan pada setiap zona adalah,
    - a. Zona 1: momen penahan adalah 28481 kN.m dan momen aktif adalah 36467 kN.m, sehingga angka keamanannya 0,79. Jadi timbunan pada zona 1 memerlukan geotekstil
    - b. Zona 2: momen penahan adalah 11389 kN.m dan momen aktif adalah 14362 kN.m, sehingga angka keamanannya 0,79. Jadi timbunan pada zona 2 memerlukan geotekstil
    - c. Zona 3: momen penahan adalah 13233 kN.m dan momen aktif adalah 16687 kN.m, sehingga angka keamanannya 0,79. Jadi timbunan pada zona 3 memerlukan geotekstil
    - d. Zona 4: momen penahan adalah 5074,2 kN.m dan momen aktif adalah 3018,9 kN.m, sehingga angka keamanannya 1,68. Jadi timbunan pada zona 4 tidak memerlukan geotekstil
  5. Kebutuhan lapisan geotekstil untuk timbunan tanah tertinggi pada setiap zona adalah,
    - a. Kebutuhan lapisan geotekstil zona 1 sebanyak 6 lapisan yang dipasang setiap 30cm dengan kuat tegangan tarik geotekstil 1000 kN/m<sup>2</sup>
    - b. Kebutuhan lapisan geotekstil zona 2 sebanyak 4 lapisan yang dipasang setiap 30cm dengan kuat tegangan tarik geotekstil 800 kN/m<sup>2</sup>
    - c. Kebutuhan lapisan geotekstil zona 3 sebanyak 5 lapisan yang dipasang setiap 30cm dengan kuat tegangan tarik geotekstil 800 kN/m<sup>2</sup>
  6. Secara garis besar metode pelaksanaan perbaikan tanah ada 3 tahap, yaitu tahap pembersihan lahan, pemasangan

PVD dan penimbunan tanah serta pemasangan geotekstil apabila diperlukan.

7.

## **6.2. Saran**

Saran yang dapat diberikan dalam laporan tugas akhir ini antara lain,

- Data-data parameter tanah dasar hendaknya tidak ada yang diasumsikan, supaya analisisnya bisa mendapatkan hasil berdasarkan kondisi sesungguhnya dilapangan.
- Akan lebih baik apabila analisa penurunan konsolidasi dan hasil penambahan stabilitas lereng timbunan yang diberikan, juga menampilkan hasil analisa dengan program bantu geotekniknya sebagai pembanding analisa yang dilakukan secara manual.

*Halaman Ini Sengaja Dikosongkan*





## DAFTAR PUSTAKA

- SNI 8460-2017: Persyaratan Perancangan Geoteknik
- Das, Braja M. 2011. *Principles of Foundation Engineering*, SI. Washington: Global Engineering: Christopher M. Shortt.
- Das, Braja M. 1995. *Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Geoteknis) jilid 1*. Jakarta: Ciracas: Penerbit Erlangga.
- Mochtar, Noor Endah. 2012. *Modul Ajar Metode Perbaikan Tanah*. Surabaya: ITS Press.
- Wesley, L. D. 1977. *Mekanika Tanah*. Jakarta: Badan Penerbit Pekerjaan Umum.
- Nawir, Hasbullah., dkk, Prediksi Penurunan Tanah Menggunakan Prosedur Observasi Asaoka, *Studi Kasus: Timbunan di Bontang, Kalimantan Timur*, Institut Teknologi Bandung, Bandung, 2012.
- Kuswanda, Wahyu P., Perbaikan Tanah Lempung Lunak Metoda Preloading Pada Pembangunan Infrastruktur Transportasi Di Pulau Kalimantan, *Prosiding Seminar Nasional Geoteknik 2016*, PS S1 Teknik Sipil Universitas Lambung Mangkurat, Banjarmasin, 2016.
- Ekamargarezki, Yohanes D., Evaluasi Kinerja Perbaikan Tanah Lunak Menggunakan Instrumen Geoteknik Pada Area Cluster D Kawasan Kota Summarecon Bandung Dengan Metode *Vacuum Consolidation*, *Naskah Publikasi Persyaratan Gelar Sarjana Teknik*, Universitas Brawijaya, Malang, 2018.

*Halaman Ini Sengaja Dikosongkan*

# LAMPIRAN

## Lampiran 1. Brosur Spesifikasi PVD

Physical Properties			Unit	VD-700	VD-707	VD-808	VD-849
Structure	Configuration						
Material	Core / Filter	ASTM D 276		Polypropylene			
Width	Drain	ASTM D 3774	mm	100±5	100±5	100±5	100±5
Thickness	(Core+Filter)	ASTM D 5199	mm	3.0±0.5	3.0±0.5	3.5±0.5	4.0±0.5
Mechanical & Hydraulic Properties							
<b>Drain</b>							
Tensile Strength (full width)	ASTM D 4595 or ISO 10319	N/width	≥2000	≥2500	≥3000	≥4000	
Tensile Strength at 10% strain (full width)	ASTM D 4595 or ISO 10319	N/width	≥1500	≥2000	≥2500	≥3000	
Discharge Capacity @300kPa(=1.0)	ASTM D 4716	cm <sup>3</sup> /s	≥60	≥80	≥90	≥120	
Discharge Capacity @500kPa(=1.0)	ASTM D 4716	cm <sup>3</sup> /s	≥50	≥70	≥80	≥100	
Discharge Capacity @300kPa(=0.5) Straight (1 week) 20% Deformation (1 week)	ASTM D 6918 or Delft	cm <sup>3</sup> /s		≥25 ≥15	≥30 ≥20	≥35 ≥25	
Discharge Capacity @500kPa(=0.5) Straight (1 week) 30% Deformation (1 week)	ASTM D 6918 or Delft	cm <sup>3</sup> /s				≥25 ≥15	
<b>Filter</b>							
Permittivity	ASTM D 4491	s <sup>-1</sup>	≥0.3	≥0.3	≥0.3	≥0.3	
Permeability	ASTM D 4491	cm/s	≥1 x 10 <sup>-2</sup>	≥1 x 10 <sup>-2</sup>	≥1 x 10 <sup>-2</sup>	≥1 x 10 <sup>-2</sup>	
Pore Size O <sub>2</sub>	ISO 12956	µm	50-90	50-90	50-90	50-90	
Wide Width Tensile Strength (MD)	ASTM D 4595 or ISO 10319	kN/m	≥7	≥7	≥7	≥9	
Grab Strength (MD)	ASTM D 4632	N	≥600	≥600	≥600	≥700	
Elongation	ASTM D4595 or ASTM D 4632	%	≥15	≥15	≥15	≥15	
Tear Strength (MD)	ASTM D 4533	N	≥150	≥150	≥150	≥200	
Resistance to Liquids (Reduction of Tensile Strength)	ISO TR 12960 (ISO 10319)	%	<10	<10	<10	<10	
Transportation Details							
Roll Length		m	300	280	250	225	
Roll Weight		kg	21	20	21	24	
40ft Container Loading		m	165,000	135,000	115,000	104,000	

## Lampiran 2. Brosur Spesifikasi Geotekstil

Technical Data							
Type of Material	Raw Material	Ultimate Tensile Strength kN/m		Strain at Nominal Tensile Strength (%)		Standard Roll Dimensions (m/m)	
		MD	CMD	MD	CMD	Width	Lenght
Stabilenka 100/50	PET	≥ 100	≥ 50	≤ 10	≤ 20	5,00	300
Stabilenka 120/120	PET	≥ 120	≥ 120	≤ 10	≤ 20	5,00	300
Stabilenka 150/45	PET	≥ 150	≥ 45	≤ 10	≤ 20	5,00	300
Stabilenka 200/45	PET	≥ 200	≥ 45	≤ 10	≤ 20	5,00	300
Stabilenka 300/45	PET	≥ 300	≥ 45	≤ 10	≤ 20	5,00	300
Stabilenka 400/50	PET	≥ 400	≥ 50	≤ 10	≤ 20	5,00	200
Stabilenka 600/50	PET	≥ 600	≥ 50	≤ 10	≤ 20	5,00	200
Stabilenka 800/100	PET	≥ 800	≥ 100	≤ 10	≤ 20	5,00	100
Stabilenka 1000/100	PET	≥ 1000	≥ 100	≤ 10	≤ 20	5,00	100



### Lampiran 3. Hasil Analisa Konsolidasi Zona 1

d (m)	z (m)	e	$\gamma_{sat}$ (KN/m <sup>3</sup> )	Pc' (KN/m <sup>2</sup> )	Po' (KN/m <sup>2</sup> )	$\alpha_1$ (°)	$\alpha_2$ (°)	$\Delta P$ (KN/m <sup>2</sup> )	2 $\Delta P$ (KN/m <sup>2</sup> )	OCR (Pc'/Po')	Cek	Cc	Cs	Sc m
-1	0,5	1,099	17,4	175,00	3,781	1,048	87,879	60,011	120,021	46,284	OC1	0,45	0,09	0,065
-2	1,5	1,099	17,4	175,00	11,343	3,123	83,660	59,998	119,996	15,428	OC1	0,45	0,09	0,046
-3	2,5	1,099	17,4	175,00	18,905	5,140	79,509	59,951	119,902	9,257	OC1	0,45	0,09	0,037
-4	3,5	1,099	17,4	175,00	26,467	7,063	75,466	59,850	119,700	6,612	OC1	0,45	0,09	0,032
-5	4,5	1,099	17,4	175,00	34,029	8,864	71,565	59,680	119,359	5,143	OC1	0,45	0,09	0,028
-6	5,5	1,165	17,1	170,00	41,469	10,522	67,834	59,428	118,856	4,099	OC1	0,45	0,09	0,024
-7	6,5	1,165	17,1	170,00	48,787	12,022	64,290	59,090	118,179	3,485	OC1	0,45	0,09	0,022
-8	7,5	1,165	17,1	170,00	56,104	13,359	60,945	58,662	117,325	3,030	OC2	0,45	0,09	0,022
-9	8,5	1,165	17,1	170,00	63,422	14,530	57,804	58,149	116,297	2,680	OC2	0,45	0,09	0,023
-10	9,5	1,165	17,1	170,00	70,740	15,541	54,866	57,553	115,107	2,403	OC2	0,45	0,09	0,024
-11	10,5	1,125	17,3	180,00	78,155	16,399	52,125	56,884	113,768	2,303	OC2	0,45	0,09	0,021
-12	11,5	1,125	17,3	180,00	85,666	17,116	49,574	56,149	112,299	2,101	OC2	0,45	0,09	0,022
-13	12,5	1,125	17,3	180,00	93,177	17,701	47,203	55,358	110,717	1,932	OC2	0,45	0,09	0,024
-14	13,5	1,125	17,3	180,00	100,688	18,169	45,000	54,520	109,041	1,788	OC2	0,45	0,09	0,025
-15	14,5	1,125	17,3	180,00	108,199	18,531	42,955	53,645	107,290	1,664	OC2	0,45	0,09	0,026
Loc= 149+325	Elv.As= +14,700	Elv.De= +19,146	<b>H.timb= 6,595 m</b>	qo= 120,02 KN/m <sup>3</sup>	B2= 13,189 m	Total Sc (m)		0,441						

### Lampiran 3. Hasil Analisa Konsolidasi Zona 1 (lanjutan)

d (m)	z (m)	e	$\gamma_{sat}$ (KN/m <sup>3</sup> )	Pc' (KN/m <sup>2</sup> )	Po' (KN/m <sup>2</sup> )	$\alpha_1$ (°)	$\alpha_2$ (°)	$\Delta P$ (KN/m <sup>2</sup> )	2 $\Delta P$ (KN/m <sup>2</sup> )	OCR (Pc'/Po')	Cek	Cc	Cs	Sc m
-1	0,5	1,099	17,4	175,00	3,781	1,064	87,879	61,831	123,661	46,284	OC1	0,45	0,09	0,066
-2	1,5	1,099	17,4	175,00	11,343	3,171	83,660	61,818	123,636	15,428	OC1	0,45	0,09	0,046
-3	2,5	1,099	17,4	175,00	18,905	5,219	79,509	61,770	123,541	9,257	OC1	0,45	0,09	0,038
-4	3,5	1,099	17,4	175,00	26,467	7,172	75,466	61,669	123,337	6,612	OC1	0,45	0,09	0,032
-5	4,5	1,099	17,4	175,00	34,029	9,003	71,565	61,496	122,992	5,143	OC1	0,45	0,09	0,028
-6	5,5	1,165	17,1	170,00	41,469	10,689	67,834	61,242	122,484	4,099	OC1	0,45	0,09	0,025
-7	6,5	1,165	17,1	170,00	48,787	12,217	64,290	60,899	121,799	3,485	OC2	0,45	0,09	0,023
-8	7,5	1,165	17,1	170,00	56,104	13,579	60,945	60,467	120,934	3,030	OC2	0,45	0,09	0,024
-9	8,5	1,165	17,1	170,00	63,422	14,775	57,804	59,947	119,894	2,680	OC2	0,45	0,09	0,025
-10	9,5	1,165	17,1	170,00	70,740	15,809	54,866	59,344	118,688	2,403	OC2	0,45	0,09	0,026
-11	10,5	1,125	17,3	180,00	78,155	16,688	52,125	58,665	117,331	2,303	OC2	0,45	0,09	0,023
-12	11,5	1,125	17,3	180,00	85,666	17,424	49,574	57,920	115,840	2,101	OC2	0,45	0,09	0,024
-13	12,5	1,125	17,3	180,00	93,177	18,027	47,203	57,117	114,234	1,932	OC2	0,45	0,09	0,025
-14	13,5	1,125	17,3	180,00	100,688	18,511	45,000	56,266	112,532	1,788	OC2	0,45	0,09	0,026
-15	14,5	1,125	17,3	180,00	108,199	18,887	42,955	55,376	110,752	1,664	OC2	0,45	0,09	0,027
Loc= 149+275		Elv.As= +14,700		Elv.De= +19,396		<b>H.timb= 6,795 m</b>		qo= 123,66 KN/m <sup>3</sup>		B2= 13,589 m		Total Sc (m)		0,457

### Lampiran 3. Hasil Analisa Konsolidasi Zona 1 (lanjutan)

d (m)	z (m)	e	$\gamma_{sat}$ (KN/m <sup>3</sup> )	Pc' (KN/m <sup>2</sup> )	Po' (KN/m <sup>2</sup> )	$\alpha_1$ (°)	$\alpha_2$ (°)	$\Delta P$ (KN/m <sup>2</sup> )	2 $\Delta P$ (KN/m <sup>2</sup> )	OCR (Pc'/Po')	Cek	Cc	Cs	Sc m
-1	0,5	1,099	17,4	175,00	3,781	1,064	87,879	63,629	127,258	46,284	OC1	0,45	0,09	0,066
-2	1,5	1,099	17,4	175,00	11,343	3,171	83,660	63,574	127,147	15,428	OC1	0,45	0,09	0,047
-3	2,5	1,099	17,4	175,00	18,905	5,219	79,509	63,484	126,968	9,257	OC1	0,45	0,09	0,038
-4	3,5	1,099	17,4	175,00	26,467	7,172	75,466	63,340	126,679	6,612	OC1	0,45	0,09	0,033
-5	4,5	1,099	17,4	175,00	34,029	9,003	71,565	63,125	126,251	5,143	OC1	0,45	0,09	0,029
-6	5,5	1,165	17,1	170,00	41,469	10,689	67,834	62,830	125,660	4,099	OC1	0,45	0,09	0,025
-7	6,5	1,165	17,1	170,00	48,787	12,217	64,290	62,447	124,893	3,485	OC2	0,45	0,09	0,024
-8	7,5	1,165	17,1	170,00	56,104	13,579	60,945	61,974	123,948	3,030	OC2	0,45	0,09	0,025
-9	8,5	1,165	17,1	170,00	63,422	14,775	57,804	61,415	122,829	2,680	OC2	0,45	0,09	0,026
-10	9,5	1,165	17,1	170,00	70,740	15,809	54,866	60,773	121,546	2,403	OC2	0,45	0,09	0,027
-11	10,5	1,125	17,3	180,00	78,155	16,688	52,125	60,057	120,114	2,303	OC2	0,45	0,09	0,024
-12	11,5	1,125	17,3	180,00	85,666	17,424	49,574	59,275	118,550	2,101	OC2	0,45	0,09	0,025
-13	12,5	1,125	17,3	180,00	93,177	18,027	47,203	58,436	116,872	1,932	OC2	0,45	0,09	0,026
-14	13,5	1,125	17,3	180,00	100,688	18,511	45,000	57,550	115,100	1,788	OC2	0,45	0,09	0,027
-15	14,5	1,125	17,3	180,00	108,199	18,887	42,955	56,626	113,253	1,664	OC2	0,45	0,09	0,028
Loc= 149+250	Elv.As= +14,700	Elv.De= +19,521	<b>H.timb= 6,995 m</b>	qo= 127,30 KN/m <sup>3</sup>	B2= 13,989 m	Total Sc (m)		0,472						

### Lampiran 3. Hasil Analisa Konsolidasi Zona 1 (lanjutan)

d (m)	z (m)	e	$\gamma_{sat}$ (KN/m <sup>3</sup> )	Pc' (KN/m <sup>2</sup> )	Po' (KN/m <sup>2</sup> )	$\alpha_1$ (°)	$\alpha_2$ (°)	$\Delta P$ (KN/m <sup>2</sup> )	2 $\Delta P$ (KN/m <sup>2</sup> )	OCR (Pc'/Po')	Cek	Cc	Cs	Sc m
-1	0,5	1,099	17,4	175,00	3,781	1,094	87,879	65,471	130,941	46,284	OC1	0,45	0,09	0,067
-2	1,5	1,099	17,4	175,00	11,343	3,262	83,660	65,458	130,915	15,428	OC1	0,45	0,09	0,047
-3	2,5	1,099	17,4	175,00	18,905	5,369	79,509	65,409	130,819	9,257	OC1	0,45	0,09	0,039
-4	3,5	1,099	17,4	175,00	26,467	7,381	75,466	65,305	130,611	6,612	OC1	0,45	0,09	0,033
-5	4,5	1,099	17,4	175,00	34,029	9,269	71,565	65,130	130,259	5,143	OC1	0,45	0,09	0,029
-6	5,5	1,165	17,1	170,00	41,469	11,010	67,834	64,870	129,740	4,099	OC2	0,45	0,09	0,026
-7	6,5	1,165	17,1	170,00	48,787	12,591	64,290	64,520	129,041	3,485	OC2	0,45	0,09	0,027
-8	7,5	1,165	17,1	170,00	56,104	14,003	60,945	64,078	128,157	3,030	OC2	0,45	0,09	0,027
-9	8,5	1,165	17,1	170,00	63,422	15,246	57,804	63,546	127,092	2,680	OC2	0,45	0,09	0,028
-10	9,5	1,165	17,1	170,00	70,740	16,324	54,866	62,928	125,856	2,403	OC2	0,45	0,09	0,029
-11	10,5	1,125	17,3	180,00	78,155	17,244	52,125	62,232	124,464	2,303	OC2	0,45	0,09	0,026
-12	11,5	1,125	17,3	180,00	85,666	18,018	49,574	61,467	122,934	2,101	OC2	0,45	0,09	0,027
-13	12,5	1,125	17,3	180,00	93,177	18,655	47,203	60,641	121,282	1,932	OC2	0,45	0,09	0,028
-14	13,5	1,125	17,3	180,00	100,688	19,170	45,000	59,765	119,530	1,788	OC2	0,45	0,09	0,029
-15	14,5	1,125	17,3	180,00	108,199	19,575	42,955	58,847	117,695	1,664	OC2	0,45	0,09	0,030
Loc= 149+200	Elv.As= +14,700	Elv.De= +19,765	<b>H.timb= 7,195 m</b>	qo= 130,94 KN/m <sup>3</sup>	B2= 14,389 m	Total Sc (m)		0,493						

### Lampiran 3. Hasil Analisa Konsolidasi Zona 1 (lanjutan)

d (m)	z (m)	e	$\gamma_{sat}$ (KN/m <sup>3</sup> )	Pc' (KN/m <sup>2</sup> )	Po' (KN/m <sup>2</sup> )	$\alpha_1$ (°)	$\alpha_2$ (°)	$\Delta P$ (KN/m <sup>2</sup> )	2 $\Delta P$ (KN/m <sup>2</sup> )	OCR (Pc'/Po')	Cek	Cc	Cs	Sc m
-1	0,5	1,099	17,4	175,00	3,781	1,109	87,879	67,291	134,581	46,284	OC1	0,45	0,09	0,067
-2	1,5	1,099	17,4	175,00	11,343	3,305	83,660	67,277	134,555	15,428	OC1	0,45	0,09	0,048
-3	2,5	1,099	17,4	175,00	18,905	5,441	79,509	67,229	134,457	9,257	OC1	0,45	0,09	0,039
-4	3,5	1,099	17,4	175,00	26,467	7,482	75,466	67,124	134,248	6,612	OC1	0,45	0,09	0,034
-5	4,5	1,099	17,4	175,00	34,029	9,397	71,565	66,946	133,893	5,143	OC1	0,45	0,09	0,030
-6	5,5	1,165	17,1	170,00	41,469	11,164	67,834	66,685	133,369	4,099	OC2	0,45	0,09	0,028
-7	6,5	1,165	17,1	170,00	48,787	12,770	64,290	66,331	132,663	3,485	OC2	0,45	0,09	0,028
-8	7,5	1,165	17,1	170,00	56,104	14,206	60,945	65,885	131,770	3,030	OC2	0,45	0,09	0,029
-9	8,5	1,165	17,1	170,00	63,422	15,472	57,804	65,347	130,693	2,680	OC2	0,45	0,09	0,030
-10	9,5	1,165	17,1	170,00	70,740	16,571	54,866	64,722	129,444	2,403	OC2	0,45	0,09	0,031
-11	10,5	1,125	17,3	180,00	78,155	17,512	52,125	64,018	128,036	2,303	OC2	0,45	0,09	0,028
-12	11,5	1,125	17,3	180,00	85,666	18,304	49,574	63,243	126,486	2,101	OC2	0,45	0,09	0,029
-13	12,5	1,125	17,3	180,00	93,177	18,958	47,203	62,406	124,813	1,932	OC2	0,45	0,09	0,030
-14	13,5	1,125	17,3	180,00	100,688	19,489	45,000	61,518	123,036	1,788	OC2	0,45	0,09	0,031
-15	14,5	1,125	17,3	180,00	108,199	19,907	42,955	60,587	121,175	1,664	OC2	0,45	0,09	0,032
Loc= 149+115	Elv.As= +14,700	Elv.De= +19,946	<b>H.timb= 7,395 m</b>	qo= 134,58 KN/m <sup>3</sup>	B2= 14,789 m	Total Sc (m)		0,511						

#### Lampiran 4. Hasil Analisa Konsolidasi Zona 2

d (m)	z (m)	e	$\gamma_{sat}$ (KN/m <sup>3</sup> )	Pc' (KN/m <sup>2</sup> )	Po' (KN/m <sup>2</sup> )	$\alpha_1$ (°)	$\alpha_2$ (°)	$\Delta P$ (KN/m <sup>2</sup> )	2 $\Delta P$ (KN/m <sup>2</sup> )	OCR (Pc'/Po')	Cek	Cc	Cs	Sc m
-1	0,5	1,237	16,7	170,00	3,442	0,922	87,879	47,271	94,541	49,383	OC1	0,50	0,10	0,065
-2	1,5	1,237	16,7	170,00	10,327	2,747	83,660	47,259	94,518	16,461	OC1	0,50	0,10	0,045
-3	2,5	1,237	16,7	170,00	17,212	4,517	79,509	47,216	94,432	9,877	OC1	0,50	0,10	0,036
-4	3,5	1,237	16,7	170,00	24,097	6,199	75,466	47,124	94,249	7,055	OC1	0,50	0,10	0,031
-5	4,5	1,237	16,7	170,00	30,982	7,767	71,565	46,969	93,938	5,487	OC1	0,50	0,10	0,027
-6	5,5	1,062	17,5	169,00	38,255	9,201	67,834	46,741	93,482	4,418	OC1	0,50	0,10	0,026
-7	6,5	1,062	17,5	169,00	45,914	10,489	64,290	46,435	92,870	3,681	OC1	0,50	0,10	0,023
-8	7,5	1,062	17,5	169,00	53,574	11,625	60,945	46,051	92,101	3,155	OC1	0,50	0,10	0,021
-9	8,5	1,062	17,5	169,00	61,234	12,610	57,804	45,590	91,180	2,760	OC1	0,50	0,10	0,019
-10	9,5	1,062	17,5	169,00	68,893	13,448	54,866	45,059	90,118	2,453	OC1	0,50	0,10	0,018
-11	10,5	1,177	17,0	180,00	76,305	14,148	52,125	44,465	88,930	2,359	OC1	0,50	0,10	0,015
-12	11,5	1,177	17,0	180,00	83,470	14,720	49,574	43,816	87,633	2,156	OC1	0,50	0,10	0,014
-13	12,5	1,177	17,0	180,00	90,635	15,177	47,203	43,122	86,244	1,986	OC1	0,50	0,10	0,013
-14	13,5	1,177	17,0	180,00	97,800	15,529	45,000	42,390	84,781	1,840	OC2	0,50	0,10	0,014
-15	14,5	1,177	17,0	180,00	104,965	15,789	42,955	41,630	83,260	1,715	OC2	0,50	0,10	0,015
-16	15,5	1,051	17,7	180,00	112,517	15,969	41,055	40,849	81,698	1,600	OC2	0,50	0,10	0,018
-17	16,5	1,051	17,7	180,00	120,457	16,078	39,289	40,054	80,109	1,494	OC2	0,50	0,10	0,020
Loc= 150+400		Elv.As= +14,700		Elv.De= +17,795		<b>H.timb= 5,195 m</b>		qo= 94,54 KN/m <sup>3</sup>		B2= 10,389 m		Total Sc (m)		0,421

#### Lampiran 4. Hasil Analisa Konsolidasi Zona 2 (lanjutan)

d (m)	z (m)	e	$\gamma_{sat}$ (KN/m <sup>3</sup> )	Pc' (KN/m <sup>2</sup> )	Po' (KN/m <sup>2</sup> )	$\alpha 1$ (°)	$\alpha 2$ (°)	$\Delta P$ (KN/m <sup>2</sup> )	$2\Delta P$ (KN/m <sup>2</sup> )	OCR (Pc'/Po')	Cek	Cc	Cs	Sc m
-1	0,5	1,237	16,7	170,00	3,442	0,951	87,879	50,001	100,001	49,383	OC1	0,50	0,10	0,066
-2	1,5	1,237	16,7	170,00	10,327	2,835	83,660	49,989	99,978	16,461	OC1	0,50	0,10	0,046
-3	2,5	1,237	16,7	170,00	17,212	4,663	79,509	49,945	99,890	9,877	OC1	0,50	0,10	0,037
-4	3,5	1,237	16,7	170,00	24,097	6,401	75,466	49,851	99,702	7,055	OC1	0,50	0,10	0,032
-5	4,5	1,237	16,7	170,00	30,982	8,023	71,565	49,692	99,384	5,487	OC1	0,50	0,10	0,028
-6	5,5	1,062	17,5	169,00	38,255	9,508	67,834	49,458	98,916	4,418	OC1	0,50	0,10	0,027
-7	6,5	1,062	17,5	169,00	45,914	10,845	64,290	49,144	98,289	3,681	OC1	0,50	0,10	0,024
-8	7,5	1,062	17,5	169,00	53,574	12,027	60,945	48,750	97,499	3,155	OC1	0,50	0,10	0,022
-9	8,5	1,062	17,5	169,00	61,234	13,054	57,804	48,276	96,553	2,760	OC1	0,50	0,10	0,020
-10	9,5	1,062	17,5	169,00	68,893	13,932	54,866	47,730	95,460	2,453	OC1	0,50	0,10	0,018
-11	10,5	1,177	17,0	180,00	76,305	14,667	52,125	47,118	94,236	2,359	OC1	0,50	0,10	0,016
-12	11,5	1,177	17,0	180,00	83,470	15,272	49,574	46,449	92,898	2,156	OC1	0,50	0,10	0,015
-13	12,5	1,177	17,0	180,00	90,635	15,756	47,203	45,732	91,463	1,986	OC2	0,50	0,10	0,015
-14	13,5	1,177	17,0	180,00	97,800	16,134	45,000	44,975	89,950	1,840	OC2	0,50	0,10	0,016
-15	14,5	1,177	17,0	180,00	104,965	16,416	42,955	44,188	88,376	1,715	OC2	0,50	0,10	0,018
-16	15,5	1,051	17,7	180,00	112,517	16,614	41,055	43,378	86,756	1,600	OC2	0,50	0,10	0,021
-17	16,5	1,051	17,7	180,00	120,457	16,740	39,289	42,553	85,106	1,494	OC2	0,50	0,10	0,023
Loc= 150+450		Elv.As= +14,700		Elv.De= +18,018		<b>H.timb= 5,495 m</b>		qo= 100,00 KN/m <sup>3</sup>		B2= 10,989 m		Total Sc (m)		0,443

#### Lampiran 4. Hasil Analisa Konsolidasi Zona 2 (lanjutan)

d (m)	z (m)	e	$\gamma_{sat}$ (KN/m <sup>3</sup> )	Pc' (KN/m <sup>2</sup> )	Po' (KN/m <sup>2</sup> )	$\alpha 1$ (°)	$\alpha 2$ (°)	$\Delta P$ (KN/m <sup>2</sup> )	2 $\Delta P$ (KN/m <sup>2</sup> )	OCR (Pc'/Po')	Cek	Cc	Cs	Sc m
-1	0,5	1,237	16,7	170,00	3,442	0,970	87,879	51,821	103,641	49,383	OC1	0,50	0,10	0,067
-2	1,5	1,237	16,7	170,00	10,327	2,891	83,660	51,809	103,617	16,461	OC1	0,50	0,10	0,047
-3	2,5	1,237	16,7	170,00	17,212	4,756	79,509	51,764	103,528	9,877	OC1	0,50	0,10	0,038
-4	3,5	1,237	16,7	170,00	24,097	6,530	75,466	51,669	103,337	7,055	OC1	0,50	0,10	0,032
-5	4,5	1,237	16,7	170,00	30,982	8,187	71,565	51,507	103,015	5,487	OC1	0,50	0,10	0,028
-6	5,5	1,062	17,5	169,00	38,255	9,705	67,834	51,270	102,540	4,418	OC1	0,50	0,10	0,027
-7	6,5	1,062	17,5	169,00	45,914	11,074	64,290	50,951	101,903	3,681	OC1	0,50	0,10	0,025
-8	7,5	1,062	17,5	169,00	53,574	12,285	60,945	50,550	101,100	3,155	OC1	0,50	0,10	0,022
-9	8,5	1,062	17,5	169,00	61,234	13,340	57,804	50,069	100,137	2,760	OC1	0,50	0,10	0,020
-10	9,5	1,062	17,5	169,00	68,893	14,243	54,866	49,513	99,025	2,453	OC1	0,50	0,10	0,019
-11	10,5	1,177	17,0	180,00	76,305	15,002	52,125	48,889	97,779	2,359	OC1	0,50	0,10	0,016
-12	11,5	1,177	17,0	180,00	83,470	15,627	49,574	48,207	96,415	2,156	OC1	0,50	0,10	0,015
-13	12,5	1,177	17,0	180,00	90,635	16,130	47,203	47,476	94,951	1,986	OC2	0,50	0,10	0,017
-14	13,5	1,177	17,0	180,00	97,800	16,524	45,000	46,703	93,406	1,840	OC2	0,50	0,10	0,018
-15	14,5	1,177	17,0	180,00	104,965	16,821	42,955	45,899	91,797	1,715	OC2	0,50	0,10	0,020
-16	15,5	1,051	17,7	180,00	112,517	17,032	41,055	45,070	90,141	1,600	OC2	0,50	0,10	0,023
-17	16,5	1,051	17,7	180,00	120,457	17,169	39,289	44,226	88,451	1,494	OC2	0,50	0,10	0,024
Loc= 150+500		Elv.As= +14,700		Elv.De= +18,242		<b>H.timb= 5,695 m</b>		qo= 103,64 KN/m <sup>3</sup>		B2= 11,389 m		Total Sc (m)		0,459



#### Lampiran 4. Hasil Analisa Konsolidasi Zona 2 (lanjutan)

d (m)	z (m)	e	$\gamma_{sat}$ (KN/m <sup>3</sup> )	Pc' (KN/m <sup>2</sup> )	Po' (KN/m <sup>2</sup> )	$\alpha 1$ (°)	$\alpha 2$ (°)	$\Delta P$ (KN/m <sup>2</sup> )	$2\Delta P$ (KN/m <sup>2</sup> )	OCR (Pc'/Po')	Cek	Cc	Cs	Sc m
-1	0,5	1,237	16,7	170,00	3,442	0,988	87,879	53,641	107,281	49,383	OC1	0,50	0,10	0,067
-2	1,5	1,237	16,7	170,00	10,327	2,946	83,660	53,628	107,257	16,461	OC1	0,50	0,10	0,047
-3	2,5	1,237	16,7	170,00	17,212	4,846	79,509	53,583	107,167	9,877	OC1	0,50	0,10	0,038
-4	3,5	1,237	16,7	170,00	24,097	6,655	75,466	53,487	106,973	7,055	OC1	0,50	0,10	0,033
-5	4,5	1,237	16,7	170,00	30,982	8,345	71,565	53,323	106,646	5,487	OC1	0,50	0,10	0,029
-6	5,5	1,062	17,5	169,00	38,255	9,897	67,834	53,082	106,165	4,418	OC1	0,50	0,10	0,028
-7	6,5	1,062	17,5	169,00	45,914	11,295	64,290	52,759	105,518	3,681	OC1	0,50	0,10	0,025
-8	7,5	1,062	17,5	169,00	53,574	12,536	60,945	52,351	104,703	3,155	OC1	0,50	0,10	0,023
-9	8,5	1,062	17,5	169,00	61,234	13,618	57,804	51,862	103,725	2,760	OC1	0,50	0,10	0,021
-10	9,5	1,062	17,5	169,00	68,893	14,545	54,866	51,297	102,594	2,453	OC2	0,50	0,10	0,020
-11	10,5	1,177	17,0	180,00	76,305	15,327	52,125	50,663	101,326	2,359	OC1	0,50	0,10	0,017
-12	11,5	1,177	17,0	180,00	83,470	15,973	49,574	49,968	99,937	2,156	OC2	0,50	0,10	0,017
-13	12,5	1,177	17,0	180,00	90,635	16,495	47,203	49,222	98,445	1,986	OC2	0,50	0,10	0,019
-14	13,5	1,177	17,0	180,00	97,800	16,906	45,000	48,435	96,869	1,840	OC2	0,50	0,10	0,020
-15	14,5	1,177	17,0	180,00	104,965	17,217	42,955	47,613	95,227	1,715	OC2	0,50	0,10	0,021
-16	15,5	1,051	17,7	180,00	112,517	17,441	41,055	46,767	93,535	1,600	OC2	0,50	0,10	0,024
-17	16,5	1,051	17,7	180,00	120,457	17,588	39,289	45,904	91,807	1,494	OC2	0,50	0,10	0,026
Loc= 150+550		Elv.As= +14,700		Elv.De= +18,449		<b>H.timb= 5,895 m</b>		qo= 107,28 KN/m <sup>3</sup>		B2= 11,789 m		Total Sc (m)		0,476

#### Lampiran 4. Hasil Analisa Konsolidasi Zona 2 (lanjutan)

d (m)	z (m)	e	$\gamma_{sat}$ (KN/m <sup>3</sup> )	Pc' (KN/m <sup>2</sup> )	Po' (KN/m <sup>2</sup> )	$\alpha_1$ (°)	$\alpha_2$ (°)	$\Delta P$ (KN/m <sup>2</sup> )	2 $\Delta P$ (KN/m <sup>2</sup> )	OCR (Pc'/Po')	Cek	Cc	Cs	Sc m
-1	0,5	1,237	16,7	170,00	3,442	1,006	87,879	55,461	110,921	49,383	OC1	0,50	0,10	0,068
-2	1,5	1,237	16,7	170,00	10,327	2,998	83,660	55,448	110,897	16,461	OC1	0,50	0,10	0,048
-3	2,5	1,237	16,7	170,00	17,212	4,933	79,509	55,403	110,805	9,877	OC1	0,50	0,10	0,039
-4	3,5	1,237	16,7	170,00	24,097	6,776	75,466	55,305	110,609	7,055	OC1	0,50	0,10	0,033
-5	4,5	1,237	16,7	170,00	30,982	8,499	71,565	55,139	110,278	5,487	OC1	0,50	0,10	0,029
-6	5,5	1,062	17,5	169,00	38,255	10,082	67,834	54,895	109,790	4,418	OC1	0,50	0,10	0,029
-7	6,5	1,062	17,5	169,00	45,914	11,511	64,290	54,567	109,134	3,681	OC1	0,50	0,10	0,026
-8	7,5	1,062	17,5	169,00	53,574	12,779	60,945	54,154	108,307	3,155	OC1	0,50	0,10	0,023
-9	8,5	1,062	17,5	169,00	61,234	13,888	57,804	53,657	107,314	2,760	OC1	0,50	0,10	0,021
-10	9,5	1,062	17,5	169,00	68,893	14,840	54,866	53,083	106,166	2,453	OC2	0,50	0,10	0,023
-11	10,5	1,177	17,0	180,00	76,305	15,644	52,125	52,438	104,876	2,359	OC2	0,50	0,10	0,018
-12	11,5	1,177	17,0	180,00	83,470	16,310	49,574	51,732	103,463	2,156	OC2	0,50	0,10	0,019
-13	12,5	1,177	17,0	180,00	90,635	16,851	47,203	50,972	101,944	1,986	OC2	0,50	0,10	0,020
-14	13,5	1,177	17,0	180,00	97,800	17,278	45,000	50,169	100,339	1,840	OC2	0,50	0,10	0,022
-15	14,5	1,177	17,0	180,00	104,965	17,603	42,955	49,332	98,664	1,715	OC2	0,50	0,10	0,023
-16	15,5	1,051	17,7	180,00	112,517	17,840	41,055	48,469	96,937	1,600	OC2	0,50	0,10	0,026
-17	16,5	1,051	17,7	180,00	120,457	17,998	39,289	47,586	95,173	1,494	OC2	0,50	0,10	0,028
Loc= 150+665		Elv.As= +14,700		Elv.De= +18,652		<b>H.timb= 6,095 m</b>		qo= 110,92 KN/m <sup>3</sup>		B2= 12,189 m		Total Sc (m)		0,495

### Lampiran 5. Hasil Analisa Konsolidasi Zona 3

d (m)	z (m)	e	$\gamma_{sat}$ (KN/m <sup>3</sup> )	Pc' (KN/m <sup>2</sup> )	Po' (KN/m <sup>2</sup> )	$\alpha_1$ (°)	$\alpha_2$ (°)	$\Delta P$ (KN/m <sup>2</sup> )	2 $\Delta P$ (KN/m <sup>2</sup> )	OCR (Pc'/Po')	Cek	Cc	Cs	Sc m
-1	0,5	1,189	17,1	165,00	3,630	0,932	87,879	48,181	96,361	45,454	OC1	0,43	0,09	0,057
-2	1,5	1,189	17,1	165,00	10,890	2,777	83,660	48,169	96,338	15,151	OC1	0,43	0,09	0,039
-3	2,5	1,189	17,1	165,00	18,150	4,566	79,509	48,126	96,252	9,091	OC1	0,43	0,09	0,031
-4	3,5	1,189	17,1	165,00	25,410	6,268	75,466	48,033	96,066	6,493	OC1	0,43	0,09	0,027
-5	4,5	1,189	17,1	165,00	32,670	7,854	71,565	47,877	95,753	5,050	OC1	0,43	0,09	0,023
-6	5,5	0,943	18,0	171,00	40,392	9,305	67,834	47,647	95,293	4,233	OC1	0,43	0,09	0,023
-7	6,5	0,943	18,0	171,00	48,577	10,609	64,290	47,338	94,676	3,520	OC1	0,43	0,09	0,021
-8	7,5	0,943	18,0	171,00	56,761	11,761	60,945	46,950	93,900	3,013	OC1	0,43	0,09	0,019
-9	8,5	0,943	18,0	171,00	64,945	12,760	57,804	46,485	92,970	2,633	OC1	0,43	0,09	0,017
-10	9,5	0,943	18,0	171,00	73,129	13,612	54,866	45,949	91,898	2,338	OC1	0,43	0,09	0,016
-11	10,5	0,892	18,2	180,00	81,403	14,324	52,125	45,349	90,698	2,211	OC1	0,43	0,09	0,015
-12	11,5	0,892	18,2	180,00	89,767	14,907	49,574	44,693	89,386	2,005	OC1	0,43	0,09	0,014
-13	12,5	0,892	18,2	180,00	98,130	15,372	47,203	43,991	87,982	1,834	OC2	0,43	0,09	0,015
Loc= 150+975		Elv.As= +14,700		Elv.De= +17,855		<b>H.timb= 5,295 m</b>		qo= 96,36 KN/m <sup>3</sup>		B2= 10,589 m		Total Sc (m)		0,316

### Lampiran 5. Hasil Analisa Konsolidasi Zona 3 (lanjutan)

d (m)	z (m)	e	$\gamma_{sat}$ (KN/m <sup>3</sup> )	Pc' (KN/m <sup>2</sup> )	Po' (KN/m <sup>2</sup> )	$\alpha_1$ (°)	$\alpha_2$ (°)	$\Delta P$ (KN/m <sup>2</sup> )	2 $\Delta P$ (KN/m <sup>2</sup> )	OCR (Pc'/Po')	Cek	Cc	Cs	Sc m
-1	0,5	1,189	17,1	165,00	3,630	0,951	87,879	50,001	100,001	45,454	OC1	0,43	0,09	0,057
-2	1,5	1,189	17,1	165,00	10,890	2,835	83,660	49,989	99,978	15,151	OC1	0,43	0,09	0,040
-3	2,5	1,189	17,1	165,00	18,150	4,663	79,509	49,945	99,890	9,091	OC1	0,43	0,09	0,032
-4	3,5	1,189	17,1	165,00	25,410	6,401	75,466	49,851	99,702	6,493	OC1	0,43	0,09	0,027
-5	4,5	1,189	17,1	165,00	32,670	8,023	71,565	49,692	99,384	5,050	OC1	0,43	0,09	0,024
-6	5,5	0,943	18,0	171,00	40,392	9,508	67,834	49,458	98,916	4,233	OC1	0,43	0,09	0,024
-7	6,5	0,943	18,0	171,00	48,577	10,845	64,290	49,144	98,289	3,520	OC1	0,43	0,09	0,021
-8	7,5	0,943	18,0	171,00	56,761	12,027	60,945	48,750	97,499	3,013	OC1	0,43	0,09	0,019
-9	8,5	0,943	18,0	171,00	64,945	13,054	57,804	48,276	96,553	2,633	OC1	0,43	0,09	0,018
-10	9,5	0,943	18,0	171,00	73,129	13,932	54,866	47,730	95,460	2,338	OC1	0,43	0,09	0,016
-11	10,5	0,892	18,2	180,00	81,403	14,667	52,125	47,118	94,236	2,211	OC1	0,43	0,09	0,015
-12	11,5	0,892	18,2	180,00	89,767	15,272	49,574	46,449	92,898	2,005	OC2	0,43	0,09	0,015
-13	12,5	0,892	18,2	180,00	98,130	15,756	47,203	45,732	91,463	1,834	OC2	0,43	0,09	0,017
Loc= 150+900		Elv.As= +14,700		Elv.De= +18,086		<b>H.timb= 5,495 m</b>		qo= 100,00 KN/m <sup>3</sup>		B2= 10,989 m		Total Sc (m)		0,325

### Lampiran 5. Hasil Analisa Konsolidasi Zona 3 (lanjutan)

d (m)	z (m)	e	$\gamma_{sat}$ (KN/m <sup>3</sup> )	Pc' (KN/m <sup>2</sup> )	Po' (KN/m <sup>2</sup> )	$\alpha_1$ (°)	$\alpha_2$ (°)	$\Delta P$ (KN/m <sup>2</sup> )	2 $\Delta P$ (KN/m <sup>2</sup> )	OCR (Pc'/Po')	Cek	Cc	Cs	Sc m
-1	0,5	1,189	17,1	165,00	3,630	0,970	87,879	51,821	103,641	45,454	OC1	0,43	0,09	0,058
-2	1,5	1,189	17,1	165,00	10,890	2,891	83,660	51,809	103,617	15,151	OC1	0,43	0,09	0,040
-3	2,5	1,189	17,1	165,00	18,150	4,756	79,509	51,764	103,528	9,091	OC1	0,43	0,09	0,032
-4	3,5	1,189	17,1	165,00	25,410	6,530	75,466	51,669	103,337	6,493	OC1	0,43	0,09	0,028
-5	4,5	1,189	17,1	165,00	32,670	8,187	71,565	51,507	103,015	5,050	OC1	0,43	0,09	0,024
-6	5,5	0,943	18,0	171,00	40,392	9,705	67,834	51,270	102,540	4,233	OC1	0,43	0,09	0,024
-7	6,5	0,943	18,0	171,00	48,577	11,074	64,290	50,951	101,903	3,520	OC1	0,43	0,09	0,022
-8	7,5	0,943	18,0	171,00	56,761	12,285	60,945	50,550	101,100	3,013	OC1	0,43	0,09	0,020
-9	8,5	0,943	18,0	171,00	64,945	13,340	57,804	50,069	100,137	2,633	OC1	0,43	0,09	0,018
-10	9,5	0,943	18,0	171,00	73,129	14,243	54,866	49,513	99,025	2,338	OC2	0,43	0,09	0,017
-11	10,5	0,892	18,2	180,00	81,403	15,002	52,125	48,889	97,779	2,211	OC1	0,43	0,09	0,016
-12	11,5	0,892	18,2	180,00	89,767	15,627	49,574	48,207	96,415	2,005	OC2	0,43	0,09	0,017
-13	12,5	0,892	18,2	180,00	98,130	16,130	47,203	47,476	94,951	1,834	OC2	0,43	0,09	0,019
Loc= 150+850		Elv.As= +14,700		Elv.De= +18,241		<b>H.timb= 5,695 m</b>		qo= 103,64 KN/m <sup>3</sup>		B2= 11,389 m		Total Sc (m)		0,335

### Lampiran 5. Hasil Analisa Konsolidasi Zona 3 (lanjutan)

d (m)	z (m)	e	$\gamma_{sat}$ (KN/m <sup>3</sup> )	Pc' (KN/m <sup>2</sup> )	Po' (KN/m <sup>2</sup> )	$\alpha_1$ (°)	$\alpha_2$ (°)	$\Delta P$ (KN/m <sup>2</sup> )	2 $\Delta P$ (KN/m <sup>2</sup> )	OCR (Pc'/Po')	Cek	Cc	Cs	Sc m
-1	0,5	1,189	17,1	165,00	3,630	0,988	87,879	53,641	107,281	45,454	OC1	0,43	0,09	0,058
-2	1,5	1,189	17,1	165,00	10,890	2,946	83,660	53,628	107,257	15,151	OC1	0,43	0,09	0,041
-3	2,5	1,189	17,1	165,00	18,150	4,846	79,509	53,583	107,167	9,091	OC1	0,43	0,09	0,033
-4	3,5	1,189	17,1	165,00	25,410	6,655	75,466	53,487	106,973	6,493	OC1	0,43	0,09	0,028
-5	4,5	1,189	17,1	165,00	32,670	8,345	71,565	53,323	106,646	5,050	OC1	0,43	0,09	0,025
-6	5,5	0,943	18,0	171,00	40,392	9,897	67,834	53,082	106,165	4,233	OC1	0,43	0,09	0,025
-7	6,5	0,943	18,0	171,00	48,577	11,295	64,290	52,759	105,518	3,520	OC1	0,43	0,09	0,022
-8	7,5	0,943	18,0	171,00	56,761	12,536	60,945	52,351	104,703	3,013	OC1	0,43	0,09	0,020
-9	8,5	0,943	18,0	171,00	64,945	13,618	57,804	51,862	103,725	2,633	OC1	0,43	0,09	0,018
-10	9,5	0,943	18,0	171,00	73,129	14,545	54,866	51,297	102,594	2,338	OC2	0,43	0,09	0,019
-11	10,5	0,892	18,2	180,00	81,403	15,327	52,125	50,663	101,326	2,211	OC2	0,43	0,09	0,017
-12	11,5	0,892	18,2	180,00	89,767	15,973	49,574	49,968	99,937	2,005	OC2	0,43	0,09	0,019
-13	12,5	0,892	18,2	180,00	98,130	16,495	47,203	49,222	98,445	1,834	OC2	0,43	0,09	0,021
Loc= 150+775		Elv.As= +14,700		Elv.De= +18,473		<b>H.timb= 5,895 m</b>		qo= 107,28 KN/m <sup>3</sup>		B2= 11,789 m		Total Sc (m)		0,346

### Lampiran 5. Hasil Analisa Konsolidasi Zona 3 (lanjutan)

d (m)	z (m)	e	$\gamma_{sat}$ (KN/m <sup>3</sup> )	Pc' (KN/m <sup>2</sup> )	Po' (KN/m <sup>2</sup> )	$\alpha_1$ (°)	$\alpha_2$ (°)	$\Delta P$ (KN/m <sup>2</sup> )	2 $\Delta P$ (KN/m <sup>2</sup> )	OCR (Pc'/Po')	Cek	Cc	Cs	Sc m
-1	0,5	1,189	17,1	165,00	3,630	1,006	87,879	55,461	110,921	45,454	OC1	0,43	0,09	0,059
-2	1,5	1,189	17,1	165,00	10,890	2,998	83,660	55,448	110,897	15,151	OC1	0,43	0,09	0,041
-3	2,5	1,189	17,1	165,00	18,150	4,933	79,509	55,403	110,805	9,091	OC1	0,43	0,09	0,033
-4	3,5	1,189	17,1	165,00	25,410	6,776	75,466	55,305	110,609	6,493	OC1	0,43	0,09	0,029
-5	4,5	1,189	17,1	165,00	32,670	8,499	71,565	55,139	110,278	5,050	OC1	0,43	0,09	0,025
-6	5,5	0,943	18,0	171,00	40,392	10,082	67,834	54,895	109,790	4,233	OC1	0,43	0,09	0,025
-7	6,5	0,943	18,0	171,00	48,577	11,511	64,290	54,567	109,134	3,520	OC1	0,43	0,09	0,023
-8	7,5	0,943	18,0	171,00	56,761	12,779	60,945	54,154	108,307	3,013	OC1	0,43	0,09	0,021
-9	8,5	0,943	18,0	171,00	64,945	13,888	57,804	53,657	107,314	2,633	OC2	0,43	0,09	0,019
-10	9,5	0,943	18,0	171,00	73,129	14,840	54,866	53,083	106,166	2,338	OC2	0,43	0,09	0,021
-11	10,5	0,892	18,2	180,00	81,403	15,644	52,125	52,438	104,876	2,211	OC2	0,43	0,09	0,019
-12	11,5	0,892	18,2	180,00	89,767	16,310	49,574	51,732	103,463	2,005	OC2	0,43	0,09	0,021
-13	12,5	0,892	18,2	180,00	98,130	16,851	47,203	50,972	101,944	1,834	OC2	0,43	0,09	0,022
Loc= 150+675		Elv.As= +14,700		Elv.De= +18,651		<b>H.timb= 6,095 m</b>		qo= 110,92 KN/m <sup>3</sup>		B2= 12,189 m		Total Sc (m)		0,358

## Lampiran 6. Hasil Analisa Konsolidasi Zona 4

d (m)	z (m)	e	$\gamma_{sat}$ (KN/m <sup>3</sup> )	Pc' (KN/m <sup>2</sup> )	Po' (KN/m <sup>2</sup> )	$\alpha_1$ (°)	$\alpha_2$ (°)	$\Delta P$ (KN/m <sup>2</sup> )	2 $\Delta P$ (KN/m <sup>2</sup> )	OCR (Pc'/Po')	Cek	Cc	Cs	Sc m
-1	0,5		1,068	17,5	300,00	3,866	0,572	87,879	22,701	45,402	77,597	OC1	1,00	0,20
-2	1,5	1,068	17,5	300,00	11,598	1,702	83,660	22,693	45,386	25,866	OC1	1,00	0,20	0,077
-3	2,5	1,068	17,5	300,00	19,331	2,791	79,509	22,664	45,327	15,519	OC1	1,00	0,20	0,059
-4	3,5	1,068	17,5	300,00	27,063	3,815	75,466	22,601	45,202	11,085	OC1	1,00	0,20	0,049
Loc= 158+975		Elv.As= +14,700		Elv.De= +15,077		H.tim= 2,495 m		qo= 45,40 KN/m <sup>3</sup>		B2= 4,989 m		Total Sc (m)		0,303

d (m)	z (m)	e	$\gamma_{sat}$ (KN/m <sup>3</sup> )	Pc' (KN/m <sup>2</sup> )	Po' (KN/m <sup>2</sup> )	$\alpha_1$ (°)	$\alpha_2$ (°)	$\Delta P$ (KN/m <sup>2</sup> )	2 $\Delta P$ (KN/m <sup>2</sup> )	OCR (Pc'/Po')	Cek	Cc	Cs	Sc m
-1	0,5		1,068	17,5	300,00	3,866	0,605	87,879	24,521	49,042	77,597	OC1	1,00	0,20
-2	1,5	1,068	17,5	300,00	11,598	1,800	83,660	24,512	49,025	25,866	OC1	1,00	0,20	0,079
-3	2,5	1,068	17,5	300,00	19,331	2,952	79,509	24,482	48,964	15,519	OC1	1,00	0,20	0,061
-4	3,5	1,068	17,5	300,00	27,063	4,037	75,466	24,416	48,833	11,085	OC1	1,00	0,20	0,051
Loc= 159+025		Elv.As= +14,700		Elv.De= +15,252		H.tim= 2,695 m		qo= 49,04 KN/m <sup>3</sup>		B2= 5,389 m		Total Sc (m)		0,311

d (m)	z (m)	e	$\gamma_{sat}$ (KN/m <sup>3</sup> )	Pc' (KN/m <sup>2</sup> )	Po' (KN/m <sup>2</sup> )	$\alpha_1$ (°)	$\alpha_2$ (°)	$\Delta P$ (KN/m <sup>2</sup> )	2 $\Delta P$ (KN/m <sup>2</sup> )	OCR (Pc'/Po')	Cek	Cc	Cs	Sc m
-1	0,5		1,068	17,5	300,00	3,866	0,636	87,879	26,341	52,682	77,597	OC1	1,00	0,20
-2	1,5	1,068	17,5	300,00	11,598	1,894	83,660	26,332	52,664	25,866	OC1	1,00	0,20	0,081
-3	2,5	1,068	17,5	300,00	19,331	3,107	79,509	26,300	52,600	15,519	OC1	1,00	0,20	0,063
-4	3,5	1,068	17,5	300,00	27,063	4,250	75,466	26,232	52,464	11,085	OC1	1,00	0,20	0,053
Loc= 159+075		Elv.As= +14,700		Elv.De= +15,427		H.tim= 2,895 m		qo= 52,68 KN/m <sup>3</sup>		B2= 5,789 m		Total Sc (m)		0,319

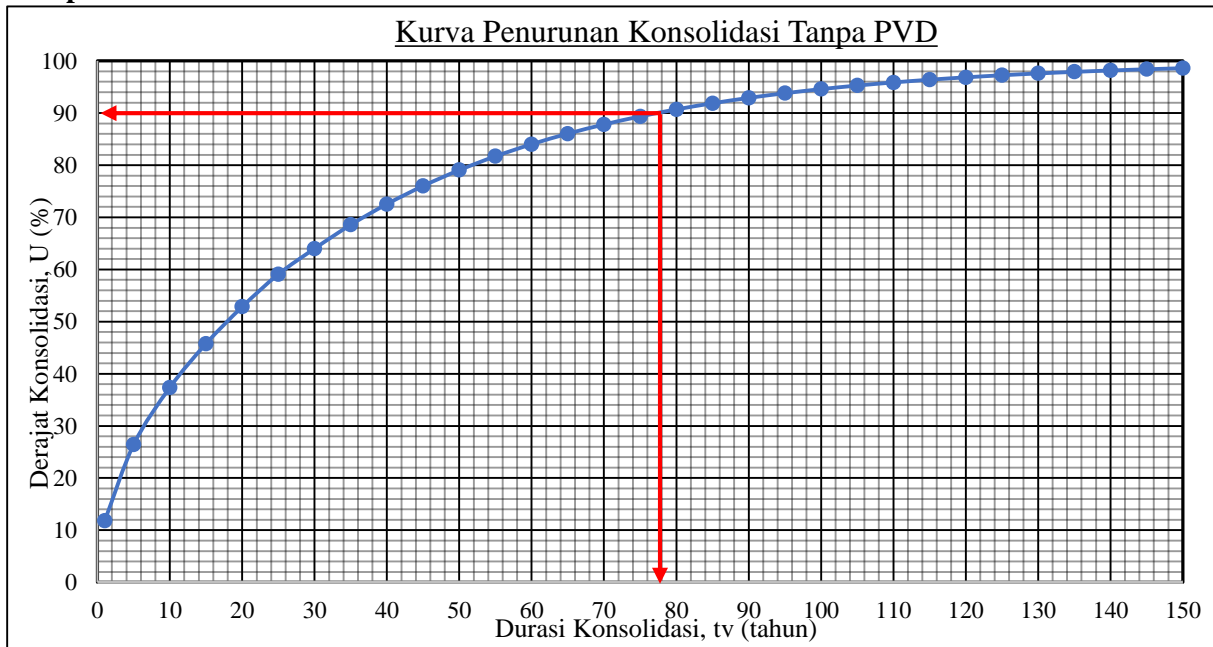


### Lampiran 6. Hasil Analisa Konsolidasi Zona 4 (lanjutan)

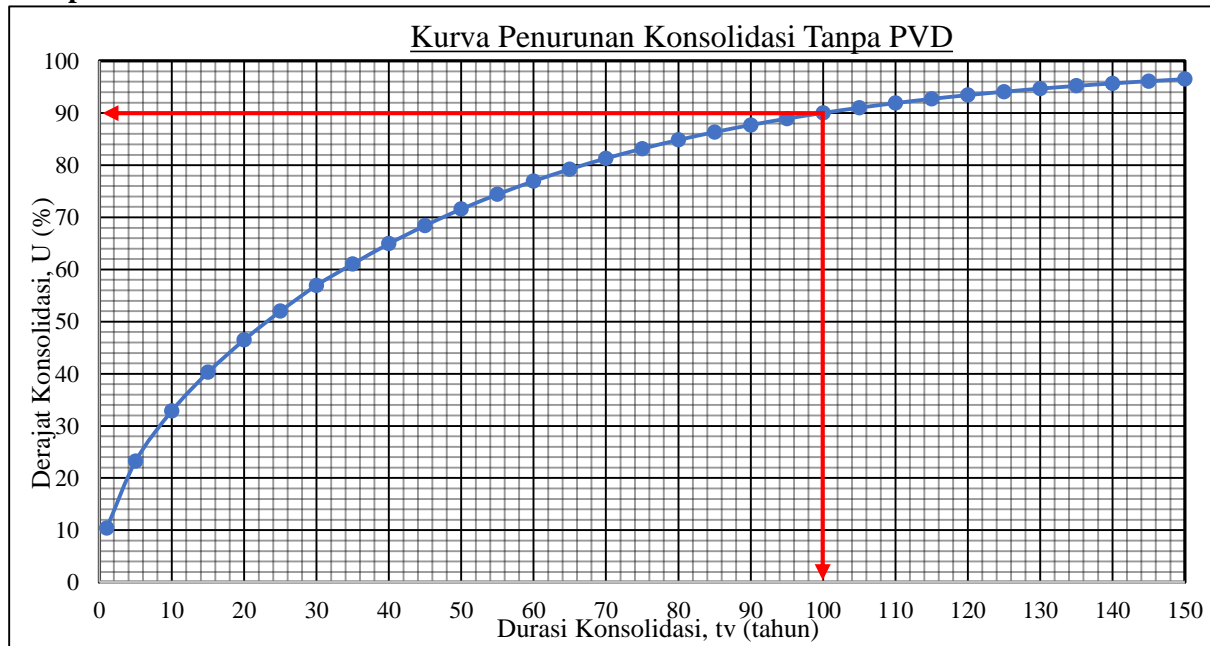
d (m)	z (m)	e	$\gamma_{sat}$	Pc'	Po'	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\Delta P$	$2\Delta P$	OCR	Cek	Cc	Cs	Sc
			(KN/m <sup>3</sup> )	(KN/m <sup>2</sup> )	(KN/m <sup>2</sup> )	(°)	(°)	(KN/m <sup>2</sup> )	(KN/m <sup>2</sup> )	(Pc'/Po')				m
-1	0,5	1,068	17,5	300,00	3,866	0,666	87,879	28,161	56,321	77,597	OC1	1,00	0,20	0,125
-2	1,5	1,068	17,5	300,00	11,598	1,984	83,660	28,152	56,303	25,866	OC1	1,00	0,20	0,083
-3	2,5	1,068	17,5	300,00	19,331	3,255	79,509	28,119	56,237	15,519	OC1	1,00	0,20	0,065
-4	3,5	1,068	17,5	300,00	27,063	4,455	75,466	28,047	56,095	11,085	OC1	1,00	0,20	0,054
Loc= 159+150		Elv.As= +14,700		Elv.De= +15,690		H.timb= 3,095 m		qo= 56,32 KN/m <sup>3</sup>		B2= 6,189 m		Total Sc (m)		0,326

d (m)	z (m)	e	$\gamma_{sat}$	Pc'	Po'	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\Delta P$	$2\Delta P$	OCR	Cek	Cc	Cs	Sc
			(KN/m <sup>3</sup> )	(KN/m <sup>2</sup> )	(KN/m <sup>2</sup> )	(°)	(°)	(KN/m <sup>2</sup> )	(KN/m <sup>2</sup> )	(Pc'/Po')				m
-1	0,5	1,068	17,5	300,00	3,866	0,695	87,879	29,981	59,961	77,597	OC1	1,00	0,20	0,127
-2	1,5	1,068	17,5	300,00	11,598	2,070	83,660	29,971	59,943	25,866	OC1	1,00	0,20	0,084
-3	2,5	1,068	17,5	300,00	19,331	3,398	79,509	29,937	59,874	15,519	OC1	1,00	0,20	0,067
-4	3,5	1,068	17,5	300,00	27,063	4,651	75,466	29,863	59,727	11,085	OC1	1,00	0,20	0,056
Loc= 159+200		Elv.As= +14,700		Elv.De= +15,858		H.timb= 3,295 m		qo= 59,96 KN/m <sup>3</sup>		B2= 6,589 m		Total Sc (m)		0,333

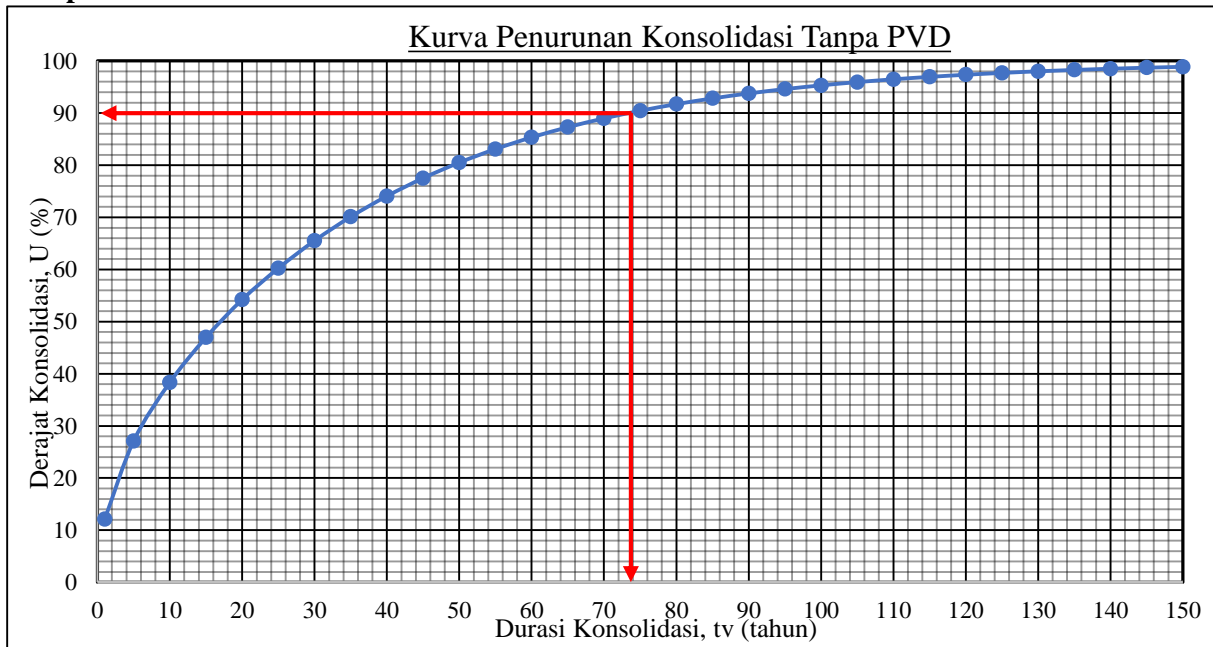
**Lampiran 7.** Kurva Penurunan Konsolidasi Secara Alami Zona 1



**Lampiran 8.** Kurva Penurunan Konsolidasi Secara Alami Zona 2



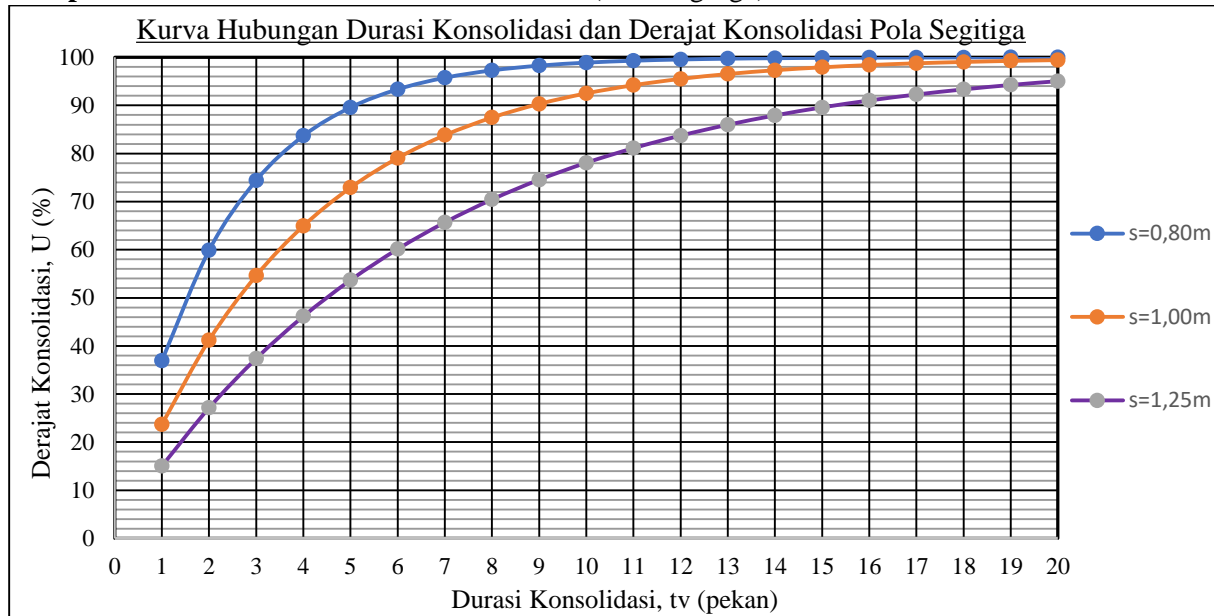
**Lampiran 9.** Kurva Penurunan Konsolidasi Secara Alami Zona 3



### Lampiran 10. Hasil Analisa PVD Zona 1 (Pola Segitiga)

Pola Segitiga Zona 1														
t	Tv	Uv	Uh	Utotal	t	Tv	Uv	Uh	Utotal	t	Tv	Uv	Uh	Utotal
(pekan)		(%)	(%)	(%)	(pekan)		(%)	(%)	(%)	(pekan)		(%)	(%)	(%)
1	2,10E-04	0,02	0,36	36,95	1	2,10E-04	0,02	0,22	23,68	1	2,10E-04	0,02	0,14	15,04
2	4,21E-04	0,02	0,59	59,87	2	4,21E-04	0,02	0,40	41,19	2	4,21E-04	0,02	0,25	27,12
3	6,31E-04	0,03	0,74	74,42	3	6,31E-04	0,03	0,53	54,62	3	6,31E-04	0,03	0,36	37,38
4	8,42E-04	0,03	0,83	83,68	4	8,42E-04	0,03	0,64	64,95	4	8,42E-04	0,03	0,44	46,16
5	1,05E-03	0,04	0,89	89,58	5	1,05E-03	0,04	0,72	72,91	5	1,05E-03	0,04	0,52	53,68
6	1,26E-03	0,04	0,93	93,35	6	1,26E-03	0,04	0,78	79,06	6	1,26E-03	0,04	0,58	60,13
7	1,47E-03	0,04	0,96	95,75	7	1,47E-03	0,04	0,83	83,81	7	1,47E-03	0,04	0,64	65,68
8	1,68E-03	0,05	0,97	97,28	8	1,68E-03	0,05	0,87	87,47	8	1,68E-03	0,05	0,69	70,45
9	1,89E-03	0,05	0,98	98,26	9	1,89E-03	0,05	0,90	90,31	9	1,89E-03	0,05	0,73	74,55
10	2,10E-03	0,05	0,99	98,89	10	2,10E-03	0,05	0,92	92,50	10	2,10E-03	0,05	0,77	78,08
11	2,31E-03	0,05	0,99	99,29	11	2,31E-03	0,05	0,94	94,20	11	2,31E-03	0,05	0,80	81,11
12	2,52E-03	0,06	1,00	99,55	12	2,52E-03	0,06	0,95	95,51	12	2,52E-03	0,06	0,83	83,73
13	2,73E-03	0,06	1,00	99,71	13	2,73E-03	0,06	0,96	96,53	13	2,73E-03	0,06	0,85	85,98
14	2,95E-03	0,06	1,00	99,81	14	2,95E-03	0,06	0,97	97,31	14	2,95E-03	0,06	0,87	87,92
15	3,16E-03	0,06	1,00	99,88	15	3,16E-03	0,06	0,98	97,92	15	3,16E-03	0,06	0,89	89,59
16	3,37E-03	0,07	1,00	99,92	16	3,37E-03	0,07	0,98	98,39	16	3,37E-03	0,07	0,90	91,03
17	3,58E-03	0,07	1,00	99,95	17	3,58E-03	0,07	0,99	98,75	17	3,58E-03	0,07	0,92	92,27
18	3,79E-03	0,07	1,00	99,97	18	3,79E-03	0,07	0,99	99,03	18	3,79E-03	0,07	0,93	93,33
19	4,00E-03	0,07	1,00	99,98	19	4,00E-03	0,07	0,99	99,25	19	4,00E-03	0,07	0,94	94,25
20	4,21E-03	0,07	1,00	99,99	20	4,21E-03	0,07	0,99	99,42	20	4,21E-03	0,07	0,95	95,05
S = 0,80 m		F(n) = 1,81			S = 1,00 m		F(n) = 2,03			S = 1,25 m		F(n) = 2,25		

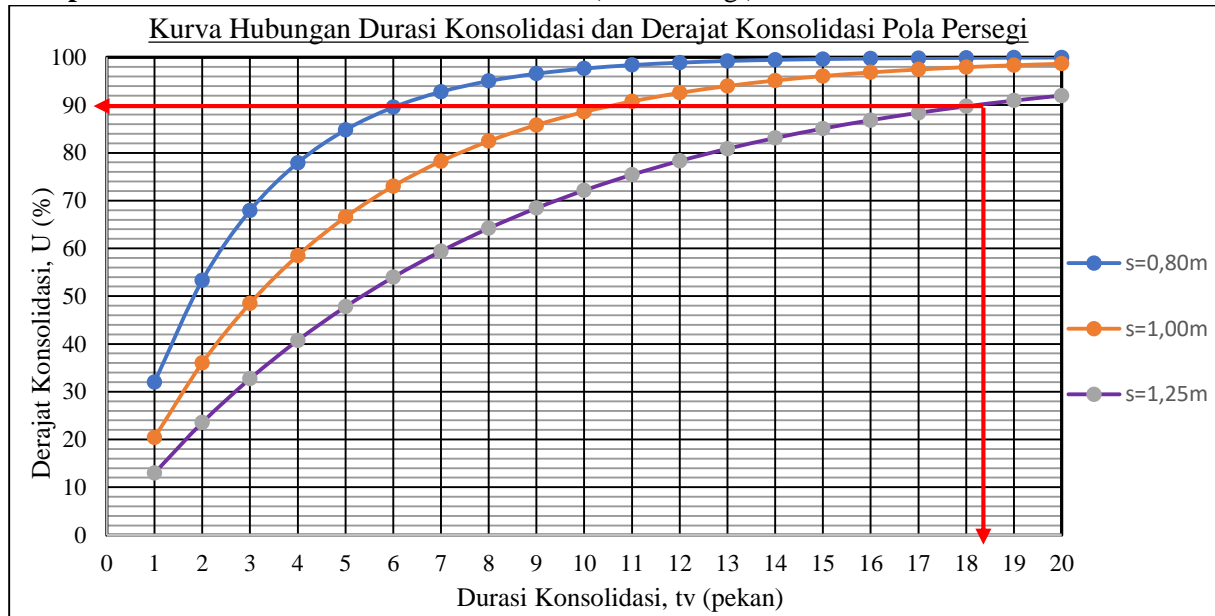
**Lampiran 11.** Kurva Durasi Konsolidasi Zona 1 (Pola Segitiga)



## Lampiran 12. Hasil Analisa PVD Zona 1 (Pola Persegi)

Pola Persegi Zona 1														
t	Tv	Uv	Uh	Uttotal	t	Tv	Uv	Uh	Uttotal	t	Tv	Uv	Uh	Uttotal
(pekan)		(%)	(%)	(%)	(pekan)		(%)	(%)	(%)	(pekan)		(%)	(%)	(%)
1	2,10E-04	0,02	0,31	32,01	1	2,10E-04	0,02	0,19	20,39	1	2,10E-04	0,02	0,12	12,98
2	4,21E-04	0,02	0,52	53,32	2	4,21E-04	0,02	0,34	36,01	2	4,21E-04	0,02	0,22	23,54
3	6,31E-04	0,03	0,67	67,91	3	6,31E-04	0,03	0,47	48,49	3	6,31E-04	0,03	0,31	32,71
4	8,42E-04	0,03	0,77	77,92	4	8,42E-04	0,03	0,57	58,50	4	8,42E-04	0,03	0,39	40,74
5	1,05E-03	0,04	0,84	84,80	5	1,05E-03	0,04	0,65	66,54	5	1,05E-03	0,04	0,46	47,78
6	1,26E-03	0,04	0,89	89,53	6	1,26E-03	0,04	0,72	73,02	6	1,26E-03	0,04	0,52	53,97
7	1,47E-03	0,04	0,92	92,79	7	1,47E-03	0,04	0,77	78,24	7	1,47E-03	0,04	0,58	59,41
8	1,68E-03	0,05	0,95	95,03	8	1,68E-03	0,05	0,82	82,44	8	1,68E-03	0,05	0,62	64,20
9	1,89E-03	0,05	0,96	96,57	9	1,89E-03	0,05	0,85	85,83	9	1,89E-03	0,05	0,67	68,42
10	2,10E-03	0,05	0,98	97,64	10	2,10E-03	0,05	0,88	88,56	10	2,10E-03	0,05	0,71	72,14
11	2,31E-03	0,05	0,98	98,37	11	2,31E-03	0,05	0,90	90,77	11	2,31E-03	0,05	0,74	75,42
12	2,52E-03	0,06	0,99	98,88	12	2,52E-03	0,06	0,92	92,55	12	2,52E-03	0,06	0,77	78,31
13	2,73E-03	0,06	0,99	99,23	13	2,73E-03	0,06	0,94	93,98	13	2,73E-03	0,06	0,80	80,85
14	2,95E-03	0,06	0,99	99,47	14	2,95E-03	0,06	0,95	95,14	14	2,95E-03	0,06	0,82	83,10
15	3,16E-03	0,06	1,00	99,63	15	3,16E-03	0,06	0,96	96,08	15	3,16E-03	0,06	0,84	85,08
16	3,37E-03	0,07	1,00	99,75	16	3,37E-03	0,07	0,97	96,83	16	3,37E-03	0,07	0,86	86,83
17	3,58E-03	0,07	1,00	99,82	17	3,58E-03	0,07	0,97	97,44	17	3,58E-03	0,07	0,88	88,38
18	3,79E-03	0,07	1,00	99,88	18	3,79E-03	0,07	0,98	97,93	18	3,79E-03	0,07	0,89	89,74
19	4,00E-03	0,07	1,00	99,92	19	4,00E-03	0,07	0,98	98,33	19	4,00E-03	0,07	0,90	90,94
20	4,21E-03	0,07	1,00	99,94	20	4,21E-03	0,07	0,99	98,65	20	4,21E-03	0,07	0,91	92,00
S = 0,80 m		F(n) = 1,88			S = 1,00 m		F(n) = 2,10			S = 1,25 m		F(n) = 2,32		

**Lampiran 13.** Kurva Durasi Konsolidasi Zona 1 (Pola Persegi)

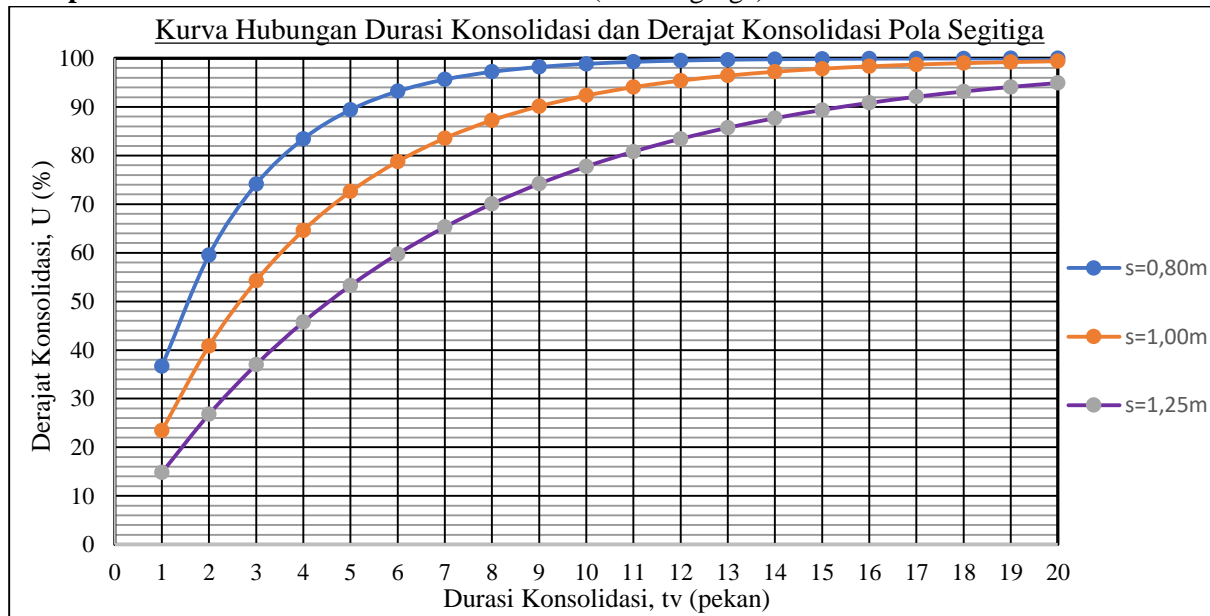




### Lampiran 14. Hasil Analisa PVD Zona 2 (Pola Segitiga)

Pola Segitiga Zona 2														
t	Tv	Uv	Uh	Utotal	t	Tv	Uv	Uh	Utotal	t	Tv	Uv	Uh	Utotal
(pekan)		(%)	(%)	(%)	(pekan)		(%)	(%)	(%)	(pekan)		(%)	(%)	(%)
1	1,63E-04	0,01	0,36	36,67	1	1,63E-04	0,01	0,22	23,42	1	1,63E-04	0,01	0,14	14,80
2	3,26E-04	0,02	0,59	59,55	2	3,26E-04	0,02	0,40	40,86	2	3,26E-04	0,02	0,25	26,79
3	4,89E-04	0,02	0,73	74,13	3	4,89E-04	0,02	0,53	54,26	3	4,89E-04	0,02	0,35	37,00
4	6,51E-04	0,03	0,83	83,44	4	6,51E-04	0,03	0,64	64,60	4	6,51E-04	0,03	0,44	45,76
5	8,14E-04	0,03	0,89	89,40	5	8,14E-04	0,03	0,72	72,59	5	8,14E-04	0,03	0,52	53,27
6	9,77E-04	0,04	0,93	93,21	6	9,77E-04	0,04	0,78	78,77	6	9,77E-04	0,04	0,58	59,73
7	1,14E-03	0,04	0,95	95,65	7	1,14E-03	0,04	0,83	83,55	7	1,14E-03	0,04	0,64	65,29
8	1,30E-03	0,04	0,97	97,21	8	1,30E-03	0,04	0,87	87,26	8	1,30E-03	0,04	0,69	70,08
9	1,47E-03	0,04	0,98	98,21	9	1,47E-03	0,04	0,90	90,12	9	1,47E-03	0,04	0,73	74,20
10	1,63E-03	0,05	0,99	98,85	10	1,63E-03	0,05	0,92	92,34	10	1,63E-03	0,05	0,77	77,75
11	1,79E-03	0,05	0,99	99,27	11	1,79E-03	0,05	0,94	94,07	11	1,79E-03	0,05	0,80	80,81
12	1,95E-03	0,05	1,00	99,53	12	1,95E-03	0,05	0,95	95,40	12	1,95E-03	0,05	0,83	83,45
13	2,12E-03	0,05	1,00	99,70	13	2,12E-03	0,05	0,96	96,43	13	2,12E-03	0,05	0,85	85,72
14	2,28E-03	0,05	1,00	99,81	14	2,28E-03	0,05	0,97	97,23	14	2,28E-03	0,05	0,87	87,68
15	2,44E-03	0,06	1,00	99,88	15	2,44E-03	0,06	0,98	97,86	15	2,44E-03	0,06	0,89	89,37
16	2,61E-03	0,06	1,00	99,92	16	2,61E-03	0,06	0,98	98,34	16	2,61E-03	0,06	0,90	90,83
17	2,77E-03	0,06	1,00	99,95	17	2,77E-03	0,06	0,99	98,71	17	2,77E-03	0,06	0,92	92,09
18	2,93E-03	0,06	1,00	99,97	18	2,93E-03	0,06	0,99	99,00	18	2,93E-03	0,06	0,93	93,17
19	3,09E-03	0,06	1,00	99,98	19	3,09E-03	0,06	0,99	99,22	19	3,09E-03	0,06	0,94	94,11
20	3,26E-03	0,06	1,00	99,99	20	3,26E-03	0,06	0,99	99,40	20	3,26E-03	0,06	0,95	94,91
S = 0,80 m		F(n) = 1,81			S = 1,00 m		F(n) = 2,03			S = 1,25 m		F(n) = 2,25		

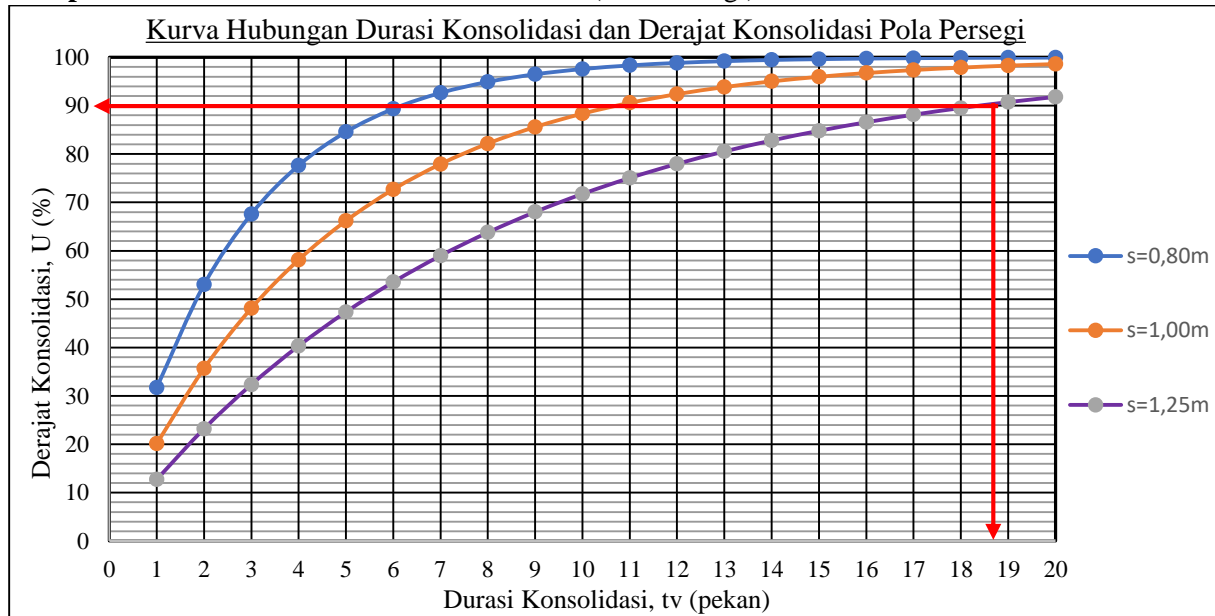
**Lampiran 15.** Kurva Durasi Konsolidasi Zona 2 (Pola Segitiga)



### Lampiran 16. Hasil Analisa PVD Zona 2 (Pola Persegi)

Pola Persegi Zona 2														
t	Tv	Uv	Uh	Uttotal	t	Tv	Uv	Uh	Uttotal	t	Tv	Uv	Uh	Uttotal
(pekan)		(%)	(%)	(%)	(pekan)		(%)	(%)	(%)	(pekan)		(%)	(%)	(%)
1	1,63E-04	0,01	0,31	31,73	1	1,63E-04	0,01	0,19	20,13	1	1,63E-04	0,01	0,11	12,74
2	3,26E-04	0,02	0,52	52,99	2	3,26E-04	0,02	0,34	35,67	2	3,26E-04	0,02	0,22	23,21
3	4,89E-04	0,02	0,67	67,59	3	4,89E-04	0,02	0,47	48,12	3	4,89E-04	0,02	0,31	32,34
4	6,51E-04	0,03	0,77	77,64	4	6,51E-04	0,03	0,57	58,13	4	6,51E-04	0,03	0,39	40,33
5	8,14E-04	0,03	0,84	84,57	5	8,14E-04	0,03	0,65	66,19	5	8,14E-04	0,03	0,46	47,36
6	9,77E-04	0,04	0,89	89,34	6	9,77E-04	0,04	0,72	72,69	6	9,77E-04	0,04	0,52	53,54
7	1,14E-03	0,04	0,92	92,64	7	1,14E-03	0,04	0,77	77,93	7	1,14E-03	0,04	0,57	58,99
8	1,30E-03	0,04	0,95	94,92	8	1,30E-03	0,04	0,81	82,17	8	1,30E-03	0,04	0,62	63,79
9	1,47E-03	0,04	0,96	96,49	9	1,47E-03	0,04	0,85	85,59	9	1,47E-03	0,04	0,67	68,02
10	1,63E-03	0,05	0,97	97,57	10	1,63E-03	0,05	0,88	88,35	10	1,63E-03	0,05	0,70	71,76
11	1,79E-03	0,05	0,98	98,32	11	1,79E-03	0,05	0,90	90,58	11	1,79E-03	0,05	0,74	75,06
12	1,95E-03	0,05	0,99	98,84	12	1,95E-03	0,05	0,92	92,38	12	1,95E-03	0,05	0,77	77,97
13	2,12E-03	0,05	0,99	99,20	13	2,12E-03	0,05	0,94	93,84	13	2,12E-03	0,05	0,79	80,53
14	2,28E-03	0,05	0,99	99,45	14	2,28E-03	0,05	0,95	95,02	14	2,28E-03	0,05	0,82	82,80
15	2,44E-03	0,06	1,00	99,62	15	2,44E-03	0,06	0,96	95,97	15	2,44E-03	0,06	0,84	84,80
16	2,61E-03	0,06	1,00	99,74	16	2,61E-03	0,06	0,97	96,74	16	2,61E-03	0,06	0,86	86,57
17	2,77E-03	0,06	1,00	99,82	17	2,77E-03	0,06	0,97	97,37	17	2,77E-03	0,06	0,87	88,13
18	2,93E-03	0,06	1,00	99,87	18	2,93E-03	0,06	0,98	97,87	18	2,93E-03	0,06	0,89	89,51
19	3,09E-03	0,06	1,00	99,91	19	3,09E-03	0,06	0,98	98,28	19	3,09E-03	0,06	0,90	90,73
20	3,26E-03	0,06	1,00	99,94	20	3,26E-03	0,06	0,99	98,61	20	3,26E-03	0,06	0,91	91,81
S = 0,80 m		F(n) = 1,88			S = 1,00 m		F(n) = 2,10			S = 1,25 m		F(n) = 2,32		

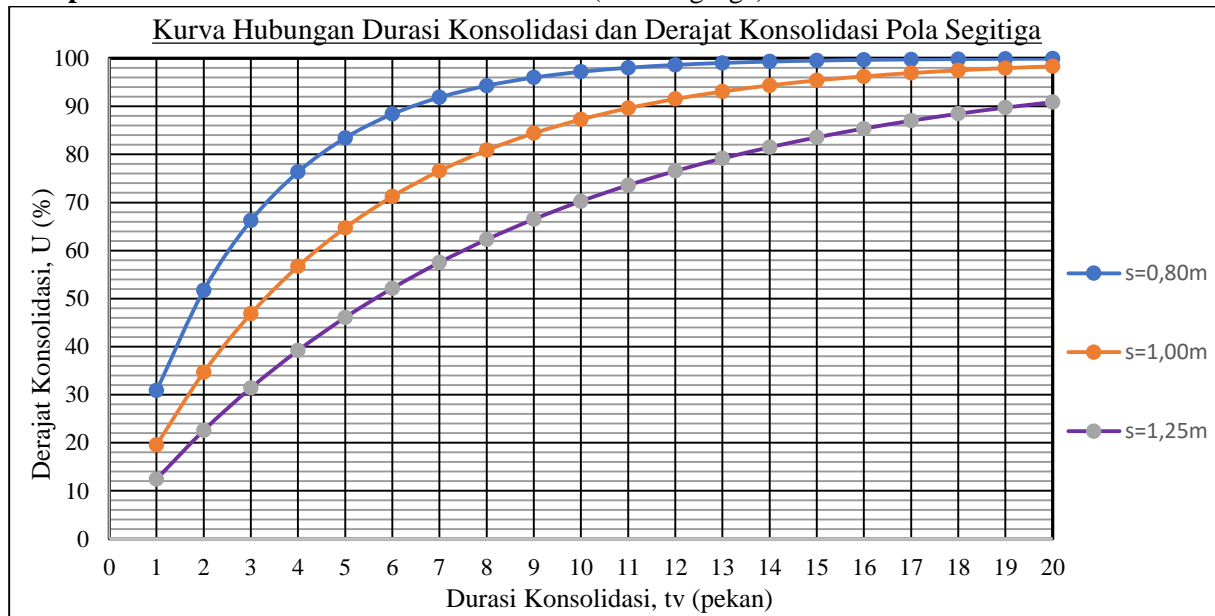
**Lampiran 17.** Kurva Durasi Konsolidasi Zona 2 (Pola Persegi)



### Lampiran 18. Hasil Analisa PVD Zona 3 (Pola Segitiga)

Pola Segitiga Zona 3														
t	Tv	Uv	Uh	Utotal	t	Tv	Uv	Uh	Utotal	t	Tv	Uv	Uh	Utotal
(pekan)		(%)	(%)	(%)	(pekan)		(%)	(%)	(%)	(pekan)		(%)	(%)	(%)
1	2,22E-04	0,02	0,30	30,84	1	2,22E-04	0,02	0,18	19,56	1	2,22E-04	0,02	0,11	12,43
2	4,43E-04	0,02	0,51	51,70	2	4,43E-04	0,02	0,33	34,65	2	4,43E-04	0,02	0,21	22,56
3	6,65E-04	0,03	0,65	66,21	3	6,65E-04	0,03	0,45	46,83	3	6,65E-04	0,03	0,29	31,41
4	8,86E-04	0,03	0,76	76,34	4	8,86E-04	0,03	0,55	56,70	4	8,86E-04	0,03	0,37	39,19
5	1,11E-03	0,04	0,83	83,43	5	1,11E-03	0,04	0,63	64,72	5	1,11E-03	0,04	0,44	46,07
6	1,33E-03	0,04	0,88	88,38	6	1,33E-03	0,04	0,70	71,24	6	1,33E-03	0,04	0,50	52,14
7	1,55E-03	0,04	0,91	91,86	7	1,55E-03	0,04	0,75	76,55	7	1,55E-03	0,04	0,56	57,52
8	1,77E-03	0,05	0,94	94,29	8	1,77E-03	0,05	0,80	80,88	8	1,77E-03	0,05	0,60	62,29
9	1,99E-03	0,05	0,96	96,00	9	1,99E-03	0,05	0,84	84,40	9	1,99E-03	0,05	0,65	66,52
10	2,22E-03	0,05	0,97	97,19	10	2,22E-03	0,05	0,87	87,27	10	2,22E-03	0,05	0,69	70,26
11	2,44E-03	0,06	0,98	98,03	11	2,44E-03	0,06	0,89	89,62	11	2,44E-03	0,06	0,72	73,59
12	2,66E-03	0,06	0,99	98,62	12	2,66E-03	0,06	0,91	91,53	12	2,66E-03	0,06	0,75	76,54
13	2,88E-03	0,06	0,99	99,03	13	2,88E-03	0,06	0,93	93,09	13	2,88E-03	0,06	0,78	79,16
14	3,10E-03	0,06	0,99	99,32	14	3,10E-03	0,06	0,94	94,36	14	3,10E-03	0,06	0,80	81,48
15	3,32E-03	0,07	0,99	99,52	15	3,32E-03	0,07	0,95	95,39	15	3,32E-03	0,07	0,82	83,55
16	3,54E-03	0,07	1,00	99,66	16	3,54E-03	0,07	0,96	96,24	16	3,54E-03	0,07	0,84	85,38
17	3,77E-03	0,07	1,00	99,76	17	3,77E-03	0,07	0,97	96,93	17	3,77E-03	0,07	0,86	87,01
18	3,99E-03	0,07	1,00	99,83	18	3,99E-03	0,07	0,97	97,49	18	3,99E-03	0,07	0,88	88,45
19	4,21E-03	0,07	1,00	99,88	19	4,21E-03	0,07	0,98	97,95	19	4,21E-03	0,07	0,89	89,74
20	4,43E-03	0,08	1,00	99,92	20	4,43E-03	0,08	0,98	98,33	20	4,43E-03	0,08	0,90	90,88
S = 0,80 m		F(n) = 1,81			S = 1,00 m		F(n) = 2,03			S = 1,25 m		F(n) = 2,25		

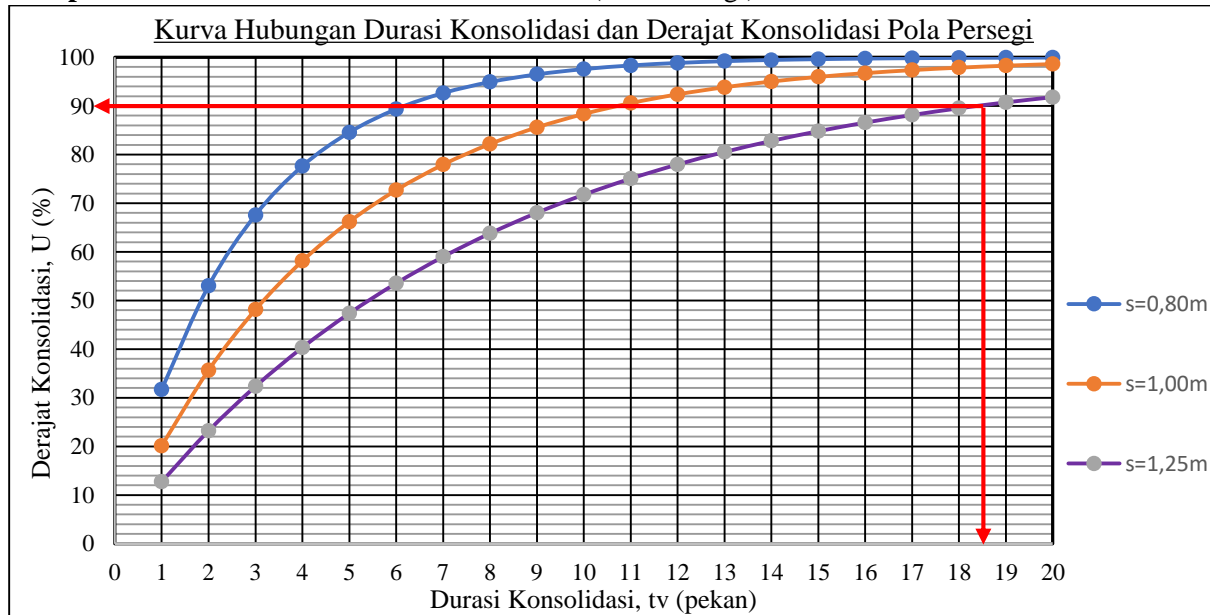
**Lampiran 19.** Kurva Durasi Konsolidasi Zona 3 (Pola Segitiga)



## Lampiran 20. Hasil Analisa PVD Zona 3 (Pola Persegi)

Pola Persegi Zona 3														
t	Tv	Uv	Uh	Utotal	t	Tv	Uv	Uh	Utotal	t	Tv	Uv	Uh	Utotal
(pekan)		(%)	(%)	(%)	(pekan)		(%)	(%)	(%)	(pekan)		(%)	(%)	(%)
1	2,22E-04	0,02	0,25	26,58	1	2,22E-04	0,02	0,15	16,83	1	2,22E-04	0,02	0,09	10,76
2	4,43E-04	0,02	0,44	45,56	2	4,43E-04	0,02	0,28	30,14	2	4,43E-04	0,02	0,18	19,57
3	6,65E-04	0,03	0,58	59,57	3	6,65E-04	0,03	0,39	41,22	3	6,65E-04	0,03	0,25	27,39
4	8,86E-04	0,03	0,69	69,95	4	8,86E-04	0,03	0,49	50,51	4	8,86E-04	0,03	0,32	34,40
5	1,11E-03	0,04	0,77	77,65	5	1,11E-03	0,04	0,57	58,30	5	1,11E-03	0,04	0,38	40,70
6	1,33E-03	0,04	0,83	83,38	6	1,33E-03	0,04	0,63	64,86	6	1,33E-03	0,04	0,44	46,38
7	1,55E-03	0,04	0,87	87,63	7	1,55E-03	0,04	0,69	70,37	7	1,55E-03	0,04	0,49	51,50
8	1,77E-03	0,05	0,90	90,79	8	1,77E-03	0,05	0,74	75,02	8	1,77E-03	0,05	0,54	56,12
9	1,99E-03	0,05	0,93	93,14	9	1,99E-03	0,05	0,78	78,93	9	1,99E-03	0,05	0,58	60,29
10	2,22E-03	0,05	0,95	94,90	10	2,22E-03	0,05	0,81	82,23	10	2,22E-03	0,05	0,62	64,06
11	2,44E-03	0,06	0,96	96,20	11	2,44E-03	0,06	0,84	85,01	11	2,44E-03	0,06	0,66	67,47
12	2,66E-03	0,06	0,97	97,17	12	2,66E-03	0,06	0,87	87,35	12	2,66E-03	0,06	0,69	70,55
13	2,88E-03	0,06	0,98	97,89	13	2,88E-03	0,06	0,89	89,32	13	2,88E-03	0,06	0,72	73,33
14	3,10E-03	0,06	0,98	98,43	14	3,10E-03	0,06	0,90	90,99	14	3,10E-03	0,06	0,74	75,85
15	3,32E-03	0,07	0,99	98,83	15	3,32E-03	0,07	0,92	92,40	15	3,32E-03	0,07	0,77	78,14
16	3,54E-03	0,07	0,99	99,13	16	3,54E-03	0,07	0,93	93,58	16	3,54E-03	0,07	0,79	80,20
17	3,77E-03	0,07	0,99	99,35	17	3,77E-03	0,07	0,94	94,58	17	3,77E-03	0,07	0,81	82,07
18	3,99E-03	0,07	0,99	99,52	18	3,99E-03	0,07	0,95	95,43	18	3,99E-03	0,07	0,83	83,76
19	4,21E-03	0,07	1,00	99,64	19	4,21E-03	0,07	0,96	96,14	19	4,21E-03	0,07	0,84	85,29
20	4,43E-03	0,08	1,00	99,73	20	4,43E-03	0,08	0,96	96,74	20	4,43E-03	0,08	0,86	86,67
S = 0,80 m		F(n) = 1,88			S = 1,00 m		F(n) = 2,10			S = 1,25 m		F(n) = 2,32		

**Lampiran 21.** Kurva Durasi Konsolidasi Zona 3 (Pola Persegi)





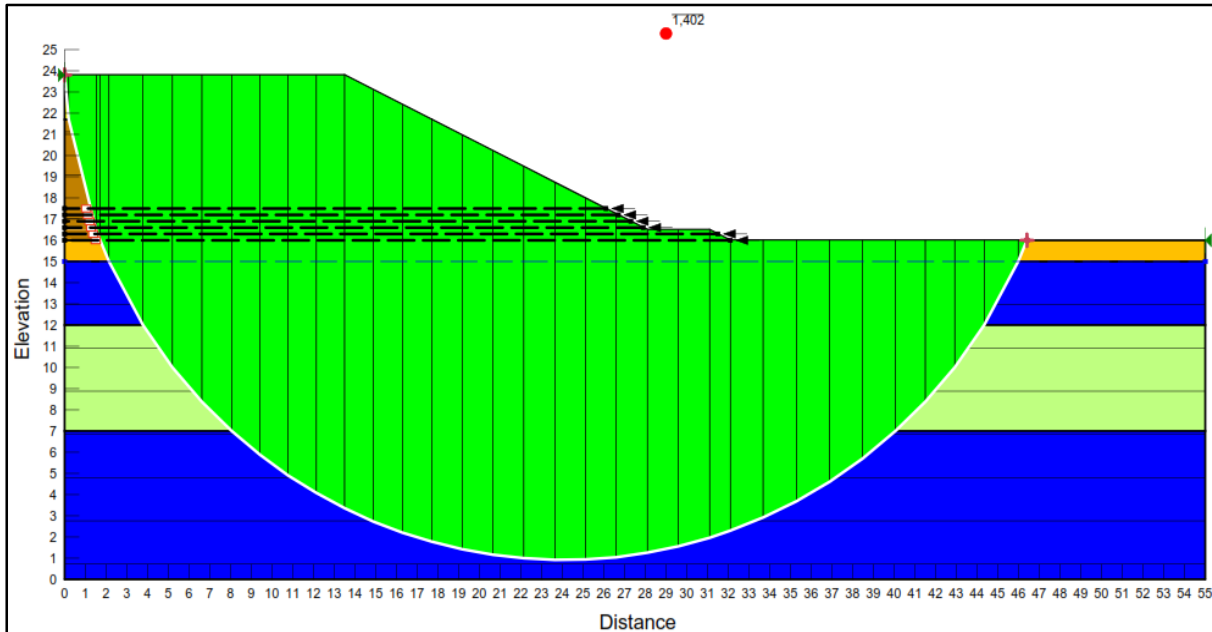
### Lampiran 23. Hasil Analisa PVD Zona 4 (Pola Segitiga)

Pola Segitiga Zona 4														
t	Tv	Uv	Uh	Utotal	t	Tv	Uv	Uh	Utotal	t	Tv	Uv	Uh	Utotal
(pekan)	(%)	(%)	(%)	(%)	(pekan)	(%)	(%)	(%)	(%)	(pekan)	(%)	(%)	(%)	(%)
1	3,71E-03	0,07	0,43	46,71	1	3,71E-03	0,07	0,27	32,27	1	3,71E-03	0,07	0,17	22,51
2	7,42E-03	0,10	0,67	70,43	2	7,42E-03	0,10	0,47	52,24	2	7,42E-03	0,10	0,31	37,49
3	1,11E-02	0,12	0,81	83,49	3	1,11E-02	0,12	0,62	66,11	3	1,11E-02	0,12	0,42	49,24
4	1,48E-02	0,14	0,89	90,75	4	1,48E-02	0,14	0,72	75,86	4	1,48E-02	0,14	0,52	58,64
5	1,86E-02	0,15	0,94	94,81	5	1,86E-02	0,15	0,80	82,78	5	1,86E-02	0,15	0,60	66,23
6	2,23E-02	0,17	0,96	97,08	6	2,23E-02	0,17	0,85	87,69	6	2,23E-02	0,17	0,67	72,39
7	2,60E-02	0,18	0,98	98,36	7	2,60E-02	0,18	0,89	91,19	7	2,60E-02	0,18	0,72	77,40
8	2,97E-02	0,19	0,99	99,07	8	2,97E-02	0,19	0,92	93,69	8	2,97E-02	0,19	0,77	81,48
9	3,34E-02	0,21	0,99	99,48	9	3,34E-02	0,21	0,94	95,48	9	3,34E-02	0,21	0,81	84,81
10	3,71E-02	0,22	1,00	99,71	10	3,71E-02	0,22	0,96	96,76	10	3,71E-02	0,22	0,84	87,54
11	4,08E-02	0,23	1,00	99,83	11	4,08E-02	0,23	0,97	97,67	11	4,08E-02	0,23	0,87	89,77
12	4,45E-02	0,24	1,00	99,91	12	4,45E-02	0,24	0,98	98,33	12	4,45E-02	0,24	0,89	91,60
13	4,83E-02	0,25	1,00	99,95	13	4,83E-02	0,25	0,98	98,80	13	4,83E-02	0,25	0,91	93,10
14	5,20E-02	0,26	1,00	99,97	14	5,20E-02	0,26	0,99	99,14	14	5,20E-02	0,26	0,92	94,33
15	5,57E-02	0,27	1,00	99,98	15	5,57E-02	0,27	0,99	99,38	15	5,57E-02	0,27	0,94	95,34
16	5,94E-02	0,27	1,00	99,99	16	5,94E-02	0,27	0,99	99,56	16	5,94E-02	0,27	0,95	96,17
17	6,31E-02	0,28	1,00	99,99	17	6,31E-02	0,28	1,00	99,68	17	6,31E-02	0,28	0,96	96,85
18	6,68E-02	0,29	1,00	100,00	18	6,68E-02	0,29	1,00	99,77	18	6,68E-02	0,29	0,96	97,41
19	7,05E-02	0,30	1,00	100,00	19	7,05E-02	0,30	1,00	99,83	19	7,05E-02	0,30	0,97	97,87
20	7,42E-02	0,31	1,00	100,00	20	7,42E-02	0,31	1,00	99,88	20	7,42E-02	0,31	0,97	98,24
S = 0,80 m		F(n) = 1,81			S = 1,00 m		F(n) = 2,03			S = 1,25 m		F(n) = 2,25		

### Lampiran 24. Hasil Analisa PVD Zona 4 (Pola Persegi)

Pola Persegi Zona 4														
t	Tv	Uv	Uh	Utotal	t	Tv	Uv	Uh	Utotal	t	Tv	Uv	Uh	Utotal
(pekan)	(%)	(%)	(%)	(%)	(pekan)	(%)	(%)	(%)	(%)	(pekan)	(%)	(%)	(%)	(%)
1	3,71E-03	0,07	0,37	41,41	1	3,71E-03	0,07	0,23	28,58	1	3,71E-03	0,07	0,14	20,14
2	7,42E-03	0,10	0,60	64,26	2	7,42E-03	0,10	0,41	46,90	2	7,42E-03	0,10	0,26	33,61
3	1,11E-02	0,12	0,75	78,06	3	1,11E-02	0,12	0,55	60,27	3	1,11E-02	0,12	0,37	44,45
4	1,48E-02	0,14	0,84	86,48	4	1,48E-02	0,14	0,65	70,17	4	1,48E-02	0,14	0,46	53,36
5	1,86E-02	0,15	0,90	91,66	5	1,86E-02	0,15	0,73	77,55	5	1,86E-02	0,15	0,54	60,75
6	2,23E-02	0,17	0,94	94,84	6	2,23E-02	0,17	0,80	83,08	6	2,23E-02	0,17	0,60	66,93
7	2,60E-02	0,18	0,96	96,81	7	2,60E-02	0,18	0,84	87,24	7	2,60E-02	0,18	0,66	72,10
8	2,97E-02	0,19	0,98	98,02	8	2,97E-02	0,19	0,88	90,36	8	2,97E-02	0,19	0,71	76,44
9	3,34E-02	0,21	0,98	98,77	9	3,34E-02	0,21	0,91	92,72	9	3,34E-02	0,21	0,75	80,09
10	3,71E-02	0,22	0,99	99,24	10	3,71E-02	0,22	0,93	94,49	10	3,71E-02	0,22	0,78	83,17
11	4,08E-02	0,23	0,99	99,53	11	4,08E-02	0,23	0,95	95,83	11	4,08E-02	0,23	0,82	85,76
12	4,45E-02	0,24	1,00	99,71	12	4,45E-02	0,24	0,96	96,85	12	4,45E-02	0,24	0,84	87,95
13	4,83E-02	0,25	1,00	99,82	13	4,83E-02	0,25	0,97	97,61	13	4,83E-02	0,25	0,86	89,80
14	5,20E-02	0,26	1,00	99,89	14	5,20E-02	0,26	0,98	98,19	14	5,20E-02	0,26	0,88	91,36
15	5,57E-02	0,27	1,00	99,93	15	5,57E-02	0,27	0,98	98,63	15	5,57E-02	0,27	0,90	92,68
16	5,94E-02	0,27	1,00	99,96	16	5,94E-02	0,27	0,99	98,96	16	5,94E-02	0,27	0,91	93,80
17	6,31E-02	0,28	1,00	99,97	17	6,31E-02	0,28	0,99	99,21	17	6,31E-02	0,28	0,93	94,74
18	6,68E-02	0,29	1,00	99,98	18	6,68E-02	0,29	0,99	99,40	18	6,68E-02	0,29	0,94	95,54
19	7,05E-02	0,30	1,00	99,99	19	7,05E-02	0,30	0,99	99,55	19	7,05E-02	0,30	0,95	96,22
20	7,42E-02	0,31	1,00	99,99	20	7,42E-02	0,31	1,00	99,66	20	7,42E-02	0,31	0,95	96,80
S = 0,80 m		F(n) = 1,88			S = 1,00 m		F(n) = 2,10			S = 1,25 m		F(n) = 2,32		

### Lampiran 25. Hasil Analisa Geotekstil Zona 1



## Lampiran 26. Hasil Analisa Geotekstil Zona 1

Tabel Jumlah dan Panjang Kebutuhan Geotekstil												
Jumlah	Hi	Ti	$\tau_1$	$\tau_2$	M.geotekstil	$\Sigma$ M.geotekstil	Le	Batas Longsor		Tepi Timb.		Ld
(n)	(m)	(m)	(KN/m <sup>2</sup> )	(KN/m <sup>2</sup> )	(KN.m)	(KN.m)	(m)	X.bl	Y.bl	X.tt	Y.tt	(m)
1	8,0	12,73	55,67	15,73	4189,22	4189,22	8,06	2,80	16,00	33,70	16,00	30,90
2	7,7	12,43	54,71	15,37	4090,50	8279,72	8,22	2,63	16,30	33,10	15,70	30,47
3	7,4	12,13	53,75	15,00	3991,77	12271,49	8,38	2,51	16,60	32,50	15,40	29,99
4	7,1	11,83	52,78	14,64	3893,05	16164,54	8,54	2,39	16,90	31,90	15,10	29,51
5	6,8	11,53	51,82	14,27	3794,32	19958,86	8,71	2,27	17,20	31,30	14,80	29,03
6	6,5	11,23	50,86	13,91	3695,60	23654,46	8,89	2,15	17,50	30,70	14,50	28,55
7	6,2	10,93	49,90	13,54	3596,87	27251,34	9,08	2,03	17,80	30,10	14,20	28,07
8	5,9	10,63	48,93	13,18	3498,15	30749,49	9,27	1,91	18,10	29,50	13,90	27,59
9	5,6	10,33	47,97	12,81	3399,42	34148,91	9,47	1,79	18,40	28,90	13,60	27,11
10	5,3	10,03	47,01	12,45	3300,70	37449,61	9,69	1,67	18,70	28,30	13,30	26,63
11	5,0	9,73	46,05	12,08	3201,97	40651,58	9,91	1,55	19,00	27,70	13,00	26,15
12	4,7	9,43	45,08	11,72	3103,25	43754,83	10,14	1,43	19,30	27,10	12,70	25,67
13	4,4	9,13	44,12	11,35	3004,52	46759,36	10,38	1,30	19,60	26,50	12,40	25,20
14	4,1	8,83	43,16	10,99	2905,80	49665,16	10,64	1,18	19,90	25,90	12,10	24,72
15	3,8	8,53	42,19	10,62	2807,08	52472,23	10,90	1,06	20,20	25,30	11,80	24,24
16	3,5	8,23	41,23	10,26	2708,35	55180,58	11,18	0,94	20,50	24,70	11,50	23,76
17	3,2	7,93	40,27	9,89	2609,63	57790,21	11,48	0,82	20,80	24,10	11,20	23,28
18	2,9	7,63	39,31	9,53	2510,90	60301,11	11,79	0,70	21,10	23,50	10,90	22,80
19	2,6	7,33	38,34	9,16	2412,18	62713,29	12,12	0,58	21,40	22,90	10,60	22,32

## Lampiran 27. Hasil Analisa Geotekstil Zona 2

Tabel Jumlah dan Panjang Kebutuhan Geotekstil												
Jumlah	Hi	Ti	$\tau_1$	$\tau_2$	M.geotekstil	$\Sigma$ M.geotekstil	Le	Batas Longsor		Tepi Timb.		Ld
(n)	(m)	(m)	(KN/m <sup>2</sup> )	(KN/m <sup>2</sup> )	(KN.m)	(KN.m)	(m)	X.bl	Y.bl	X.tt	Y.tt	(m)
1	6,7	9,73	332,78	11,27	2562,63	2562,63	1,34	8,01	18,00	28,10	18,00	20,09
2	6,4	9,43	319,22	319,22	2483,65	5046,29	0,72	7,84	17,70	27,50	17,70	19,66
3	6,1	9,13	305,66	305,66	2404,67	7450,96	0,75	7,66	17,40	26,90	17,40	19,24
4	5,8	8,83	292,11	292,11	2325,69	9776,65	0,79	7,49	17,10	26,30	17,10	18,81
5	5,5	8,53	278,55	278,55	2246,71	12023,36	0,83	7,31	16,80	25,70	16,80	18,39
6	5,2	8,23	264,99	264,99	2167,73	14191,10	0,87	7,14	16,50	25,10	16,50	17,96
7	4,9	7,93	251,43	251,43	2088,75	16279,85	0,92	6,97	16,20	24,50	16,20	17,53
8	4,6	7,63	237,88	237,88	2009,77	18289,63	0,97	6,84	15,90	23,90	15,90	17,06
9	4,3	7,33	224,32	224,32	1930,79	20220,42	1,03	6,72	15,60	23,30	15,60	16,58
10	4,0	7,03	210,76	210,76	1851,81	22072,23	1,09	6,59	15,30	22,70	15,30	16,11
11	3,7	6,73	197,21	197,21	1772,83	23845,07	1,17	6,47	15,00	22,10	15,00	15,63
12	3,4	6,43	183,65	183,65	1693,85	25538,92	1,25	6,34	14,70	21,50	14,70	15,16
13	3,1	6,13	170,09	170,09	1614,87	27153,80	1,35	6,22	14,40	20,90	14,40	14,68
14	2,8	5,83	156,53	156,53	1535,89	28689,69	1,47	6,09	14,10	20,30	14,10	14,21
15	2,5	5,53	142,98	142,98	1456,91	30146,61	1,61	5,97	13,80	19,70	13,80	13,73

## Lampiran 29. Hasil Analisa Geotekstil Zona 3

Tabel Jumlah dan Panjang Kebutuhan Geotekstil												
Jumlah	Hi	Ti	$\tau_1$	$\tau_2$	M.geotekstil	$\Sigma$ M.geotekstil	Le	Batas Longsor		Tepi Timb.		Ld
(n)	(m)	(m)	(KN/m <sup>2</sup> )	(KN/m <sup>2</sup> )	(KN.m)	(KN.m)	(m)	X.bl	Y.bl	X.tt	Y.tt	(m)
1	6,6	10,01	328,26	11,42	2634,50	2634,50	1,36	7,91	14,00	28,10	14,00	20,19
2	6,3	9,71	314,70	314,70	2555,52	5190,03	0,73	7,74	13,70	27,50	13,70	19,76
3	6,0	9,41	301,14	301,14	2476,54	7666,57	0,76	7,58	13,40	26,90	13,40	19,32
4	5,7	9,11	287,59	287,59	2397,56	10064,14	0,80	7,42	13,10	26,30	13,10	18,88
5	5,4	8,81	274,03	274,03	2318,58	12382,72	0,84	7,25	12,80	25,70	12,80	18,45
6	5,1	8,51	260,47	260,47	2239,61	14622,33	0,88	7,09	12,50	25,10	12,50	18,01
7	4,8	8,21	246,92	246,92	2160,63	16782,95	0,93	6,97	12,20	24,50	12,20	17,53
8	4,5	7,91	233,36	233,36	2081,65	18864,60	0,99	6,85	11,90	23,90	11,90	17,05
9	4,2	7,61	219,80	219,80	2002,67	20867,26	1,05	6,73	11,60	23,30	11,60	16,57
10	3,9	7,31	206,24	206,24	1923,69	22790,95	1,12	6,61	11,30	22,70	11,30	16,09
11	3,6	7,01	192,69	192,69	1844,71	24635,66	1,20	6,49	11,00	22,10	11,00	15,61
12	3,3	6,71	179,13	179,13	1765,73	26401,38	1,29	6,37	10,70	21,50	10,70	15,13
13	3,0	6,41	165,57	165,57	1686,75	28088,13	1,39	6,25	10,40	20,90	10,40	14,65
14	2,7	6,11	152,01	152,01	1607,77	29695,89	1,52	6,13	10,10	20,30	10,10	14,17
15	2,4	5,81	138,46	138,46	1528,79	31224,68	1,66	6,01	9,80	19,70	9,80	13,69

## **BIODATA PENULIS**



Penulis bernama Adam Maulana Fathan, lahir di Surabaya, 15 Desember 1996, merupakan anak pertama dari empat bersaudara. Pendidikan formal yang telah ditenuh yaitu, SD Muhammadiyah 1 Sidoarjo (2003-2009), SMP Ar-Rohamah Boarding School Malang (2009-2012) dan SMA Muhammadiyah 2 Sidoarjo (2012-2015).

Penulis mengikuti Seleksi Masuk ITS dan diterima di jurusan Diploma IV Teknik Sipil, Fakultas Vokasi, ITS Surabaya pada tahun 2015, terdaftar dengan NRP 10111510000034. Dan di Jurusan Diploma IV Teknik Sipil ini, penulis mengambil konsentrasi di bidang bangunan transportasi.

Penulis juga pernah mengikuti beberapa kegiatan kepanitiaan, pelatihan dan seminar yang diadakan baik dalam tingkat jurusan, fakultas dan institut.

Penulis meyakini bahwa tugas akhir ini masih sangat jauh dari sempurna, oleh karenanya kritik dan saran masih dibutuhkan.

E-mail: [adammfathan@gmail.com](mailto:adammfathan@gmail.com)