

PROYEK AKHIR - VC231834

**DESAIN PERENCANAAN PERKUATAN TANAH PADA
OPRIT JEMBATAN STA 0+625 - 0+775 PROYEK
JALAN TOL PROBOLINGGO-BANYUWANGI PAKET 2**

MIFTAHUL RAMADHAN RIZKY

NRP 2035211017

Dosen Pembimbing :

DERIS FAISA RALINDRA, S.T., M.T.

NIP 198912172024061001

Program Studi Sarjana Terapan Teknik Sipil

Departemen Teknik Infrastruktur Sipil

Fakultas Vokasi

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2025



PROYEK AKHIR - VC 231834

**DESAIN PERENCANAAN PERKUATAN TANAH PADA
OPRIT JEMBATAN STA 0+625 - 0+775 PROYEK
JALAN TOL PROBOLINGGO-BANYUWANGI PAKET 2**

MIFTAHUL RAMADHAN RIZKY

NRP 2035211017

Dosen Pembimbing

DERIS FAISA RALINDRA, S.T., M.T.

NIP 198912172024061001

Program Studi Sarjana Terapan Teknik Sipil

Departemen Teknik Infrastruktur Sipil

Fakultas Vokasi

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2025



FINAL PROJECT - VC 231834

**DESIGN OF GROUND IMPROVEMENT FOR THE
BRIDGE APPROACH AT STA 0+625 - 0+775 OF THE
PROBOLINGGO-BANYUWANGI TOLL ROAD
PROJECT, PACKAGE 2**

MIFTAHUL RAMADHAN RIZKY

NRP 2035211017

Advisor

DERIS FAISA RALINDRA, S.T., M.T.

NIP 198912172024061001

Study Program Applied Bachelor Civil Engineering

Department of Infrastruktur Sipil

Faculty of Vocation

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2025

LEMBAR PENGESAHAN

DESAIN PERENCANAAN PERKUATAN TANAH PADA OPRIT JEMBATAN STA 0+625 – 0+775 PADA PROYEK JALAN TOL PROBOLINGGO – BANYUWANGI PAKET 2

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Terapan
pada Program Studi Sarjana Terapan Teknik Sipil Departemen Teknik Infrastruktur
Sipil Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh: Miftahul Ramadhan Rizky
NRP. 2035211017

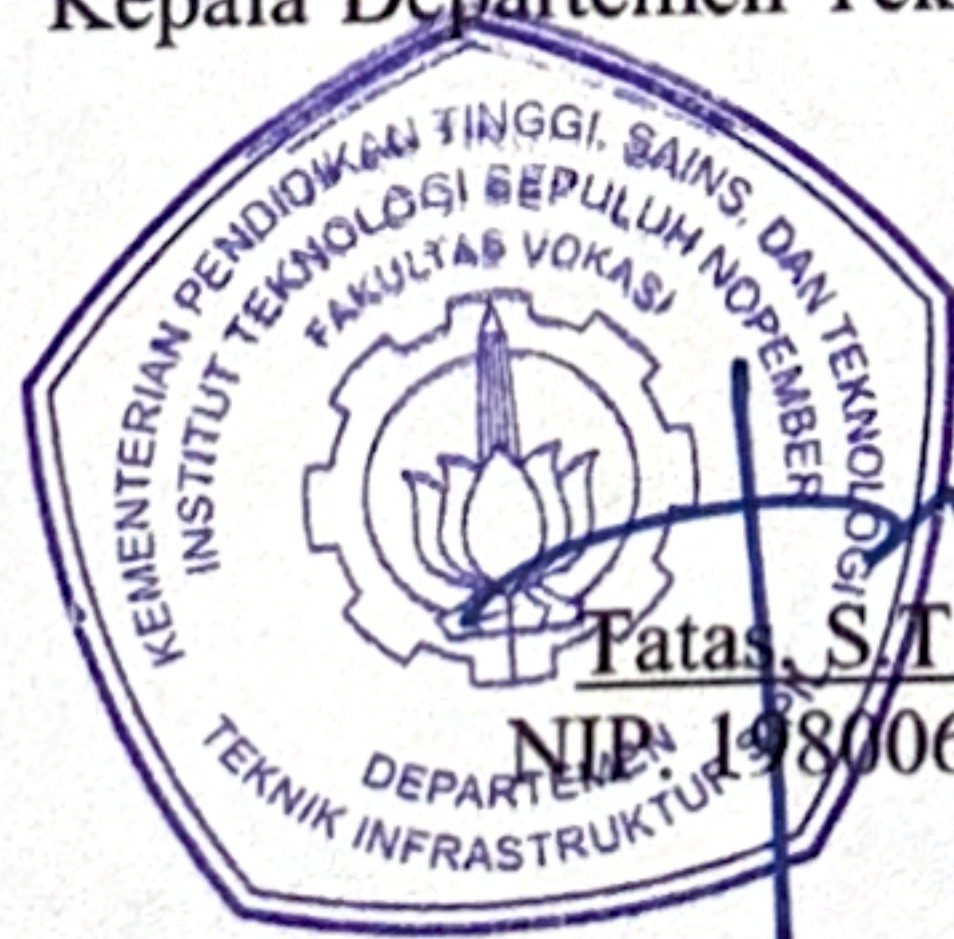
Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

- | | | |
|--|--------------|---------|
| 1. Deris Faisa Ralindra, S.T., M.T. | Pembimbing I | (.....) |
| 2. Aan Fauzi, S.T., M.T. | Penguji I | (.....) |
| 3. Ifarrel Rachmanda Hariyanto, S.T., M.T. | Penguji II | (.....) |
| 4. Moh. Safi'i Mansur, S.ST., M.T. | Penguji III | (.....) |

01 AUG 2025

Mengetahui,

Kepala Departemen Teknik Infrastruktur Sipil FV ITS



Patas, S.T., M.T., Ph.D.

NIP. 198006212005011002

PERNYATAAN ORISINALITAS

STATEMENT OF ORIGINALITY

Yang bertanda tangan di bawah ini
The undersigned below

Nama Mahasiswa / NRP : Miftahul Ramadhan Rizky / 2035211017
Student Full Name / Student ID

Program Studi : Sarjana Terapan Teknik Sipil
Study Programme

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul “Desain Perencanaan Perkuatan Tanah Pada Oprit Jembatan Sta 0+625 – 0+775 Proyek Jalan Tol Probolinggo-Banyuwangi Paket 2” adalah hasil karya saya sendiri, bersifat orisinal, dan ditulis dengan mengikuti kaidah penulisan ilmiah. Tugas Akhir ini telah diperiksa menggunakan aplikasi Turnitin dan memperoleh tingkat kemiripan sebesar 19%. Sebagai bagian dari pernyataan ini, saya melampirkan hasil uji kemiripan Turnitin sebagai bukti pendukung.

Bilamana di kemudian hari ditemukan ketidaksesuaian dengan pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan yang berlaku di Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

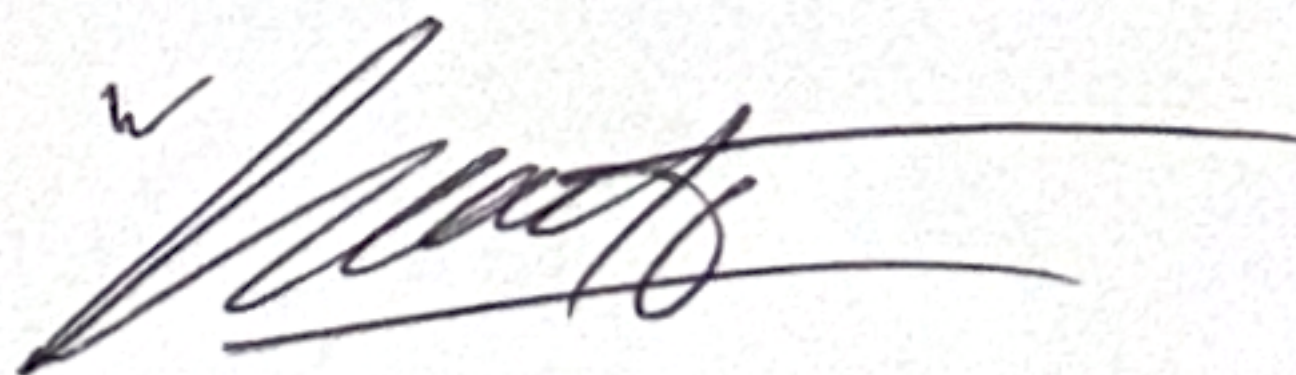
Hereby declare that the Final Project with the title of “Design Of Ground Improvement For The Bridge Approach At Sta 0+625 – 0+775 Of The Probolinggo–Banyuwangi Toll Road Project, Package 2” is the result of my own work, is original, and was written following the rules of scientific writing.

This Final Project has been checked using the Turnitin application and obtained a similarity index of 19.%. As part of this statement, I attach the Turnitin similarity report as supporting evidence.

If in the future there is a discrepancy with this statement, then I am willing to accept sanctions in accordance with the provisions that apply at Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Surabaya, 24 Juli 2025

Mahasiswa,



Miftahul Ramadhan Rizky

NRP. 2035211017

PERNYATAAN KODE ETIK PENGGUNAAN AI GENERATIF
CODE OF CONDUCT STATEMENT: GENERATIVE AI OR AI-ASSISTED USAGE

Saya yang bertanda tangan di bawah ini
I, the undersigned

Nama Mahasiswa / NRP : Miftahul Ramadhan Rizky
Full Name / Student ID

Program Studi : Sarjana Terapan Teknik Sipil
Study Programme

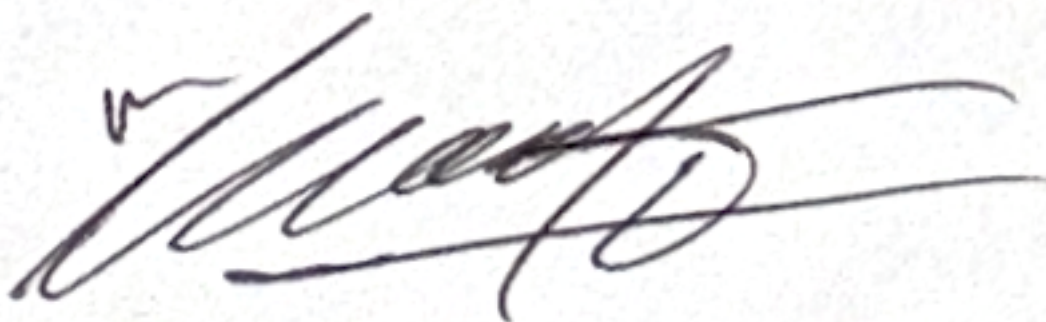
Judul Tugas Akhir : Desain Perencanaan Perkuatan Tanah Pada Oprit
Final Project Title Jembatan Sta 0+625 – 0+775 Proyek Jalan Tol
Probolinggo-Banyuwangi Paket 2

dengan ini menyatakan bahwa pada Tugas Akhir dengan judul di atas tersebut:
hereby declare that in the Final Project with the above title:

No.	Pernyataan <i>Statement</i>	(√)
1	Saya tidak menggunakan AI generatif sama sekali <i>I did not use generative AI at all</i>	
2	Saya hanya menggunakan AI generatif sebagai alat bantu untuk memperbaiki tata bahasa. AI generatif tidak digunakan untuk membuat isi Tugas Akhir. <i>I only used generative AI as a tool to improve the readability or language of the text in my Final Project. It was not used to generate a complete text of my work.</i>	
3	Saya telah memeriksa dan/atau memperbaiki seluruh bagian dari Tugas Akhir saya yang dibantu oleh AI generatif agar sesuai dengan baku mutu penulisan karya ilmiah. <i>I have reviewed and refined all aspects of my work that generative AI assists with, ensuring it adheres to the standards of academic writing.</i>	✓
4	Saya tidak menggunakan AI generatif untuk pembuatan data primer, grafik dan/atau tabel pada Tugas Akhir saya. <i>I did not use generative AI to generate primary data, figures, and/or tables in my work.</i>	✓
5	Saya telah memberikan atribusi/pengakuan terhadap alat AI yang digunakan, secara rinci pada suatu bagian pada lampiran. <i>I have acknowledged the use of generative AI in any part of the work in the specific appendix page.</i>	
6	Saya memastikan tidak ada plagiarisme, termasuk hal yang berasal dari penggunaan AI generatif. <i>I have ensured that there is no plagiarism issue in the work, including any parts generated by AI.</i>	✓

Surabaya, 24 Juli 2025

Mahasiswa,



Miftahul Ramadhan Rizky
NRP. 2035211017



Berita Acara Sidang Proyek Akhir / Thesis

Departemen Teknik Infrastruktur Sipil Fakultas Vokasi ITS

Semester Genap 2024-2025

Nomor Jadwal **59**

Bahwa pada hari ini : Kamis, 17 Juli 2025

Pukul : 08.00 s/d 10.00

Di tempat : R-3

Program Studi : D4-Teknik Sipil

Nama Mahasiswa : MIFTAHUL RAMADHAN RIZKY

NRP : 2035211017

Tanda Tangan Mahasiswa

Judul sidang Proyek Akhir/Thesis :

PEREVIEWAN

DESAIN ~~ALTERNATIF~~ PERKUATAN TANAH PADA OPRIT JEMBATAN STA 0+625 - 0+675 PROYEK JALAN TOL PROBOLINGGO-BANYUWANGI PAKET 2

Yang dihadiri oleh Dosen Pembimbing :

No	NIP Nama Dosen	Tanda Tangan
1	Deris Faiza Ralindra, S.T., M.T. 198912172024061001	
2		
3		

Yang dihadiri oleh Dosen Penguji :

No	NIP Nama Dosen	Tanda Tangan
1	Aan Fauzi, S.T., M.T. 1986201911090	
2	Ifarrel Rachmanda Hariyanto, S.T., M.T. 200002172024061001	
3	Moh. Safi'i Mansur, S.ST., M.T. 199406152024061001	

Bahwasanya, musyawarah pembimbing dan penguji pada sidang proyek akhir/thesis ini memutuskan :

- ☐ LULUS
- ☒ LULUS, DENGAN REVISI/CATATAN
- ☐ TIDAK LULUS SIDANG

Catatan / revisi / masukan : **TERLAMPIR**

Tindak lanjut :

Mahasiswa memperbaiki/memperbaiki Proyek Akhir/Thesis sesuai dengan masukan dari Bapak/Ibu Dosen Pembimbing/Penguji

LEMBAR REVISI / PERBAIKAN

Peserta Sidang Proyek Akhir/Thesis :

Nama Mahasiswa : MIFTAHUL RAMADHAN RIZKY

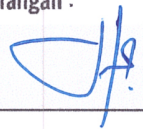
NRP : 2035211017

Program Studi : D4-Teknik Sipil

Judul sidang Proyek Akhir/Thesis :

DESAIN ALTERNATIF PERKUATAN TANAH PADA OPRIT JEMBATAN STA 0+625 - 0+675
PROYEK JALAN TOL PROBOLINGGO-BANYUWANGI PAKET 2

Catatan / revisi / masukan :

Nama Dosen :	Tanda Tangan :
Deris Faiza Ralindra, S.T., M.T. 198912172024061001	

P. Aan

- Denah lokasi perbaikan
- Kelebaran ^{gata} korosi tanah
- Alternatif & ganti penanaman
- Syarat penanaman & kelebaran & penanaman yg tepat
- Cek kedalaman yg & PVD
- Dike perlu & minipile

P. Maysur

- Perbaiki gambar alternatif, gambar detail, gambar PVD

P. Farrel

- Perbaiki perhitungan tahanan
- Perbaiki RAB, harus menyeluruh
- Perbaiki desain DPT
- Yapa matras beton? wiremesh?

LEMBAR REVISI / PERBAIKAN

Peserta Sidang Proyek Akhir/Thesis :

Nama Mahasiswa : MIFTAHUL RAMADHAN RIZKY

NRP : 2035211017

Program Studi : D4-Teknik Sipil

Judul sidang Proyek Akhir/Thesis :

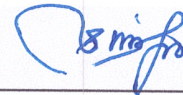
DESAIN ALTERNATIF PERKUATAN TANAH PADA OPRIT JEMBATAN STA 0+625 - 0+675
PROYEK JALAN TOL PROBOLINGGO-BANYUWANGI PAKET 2

Catatan / revisi / masukan :

Nama Dosen :

Moh. Safi'i Mansur, S.ST., M.T. || 199406152024061001

Tanda Tangan :



1. Tambahkan gambar penulangan DPT.
2. Penyajian gambar dibuat alternatif 1 dan alternatif 2 ✓
3. Tambahkan gambar PVD lokasi.
4. Masukkan spesifikasi pvd di gambar.
5. ^{dipelekat} ~~pelekat~~ ~~konsep~~ konsep PVD apa minimal?

LEMBAR REVISI / PERBAIKAN

Peserta Sidang Proyek Akhir/Thesis :

Nama Mahasiswa : MIFTAHUL RAMADHAN RIZKY

NRP : 2035211017

Program Studi : D4-Teknik Sipil

Judul sidang Proyek Akhir/Thesis :

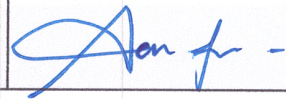
DESAIN ALTERNATIF PERKUATAN TANAH PADA OPRIT JEMBATAN STA 0+625 - 0+675
PROYEK JALAN TOL PROBOLINGGO-BANYUWANGI PAKET 2

Catatan / revisi / masukan :

Nama Dosen :

Aan Fauzi, S.T., M.T. | 1986201911090

Tanda Tangan :



- Bab 9 - Penjelasan kondisi eksisting yg di kaji.
 - Dend, potongan memanjang, melintang.
- Pembahasan tanah dasar - Stratigrafi tanah.
Penjelasan Compressible layer.
- Penjelasan korelasi tanah.
- Penjelasan syarat perencanaan tanah yg jalan tol.
- Alternatif perbaikan apa saja? Sediakan dg. ~~konsep~~ konsep perbaikan.

LEMBAR REVISI / PERBAIKAN

Peserta Sidang Proyek Akhir/Thesis :

Nama Mahasiswa : MIFTAHUL RAMADHAN RIZKY

NRP : 2035211017

Program Studi : D4-Teknik Sipil

Judul sidang Proyek Akhir/Thesis :

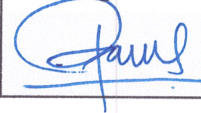
DESAIN ALTERNATIF PERKUATAN TANAH PADA OPRIT JEMBATAN STA 0+625 - 0+675
PROYEK JALAN TOL PROBOLINGGO-BANYUWANGI PAKET 2

Catatan / revisi / masukan :

Nama Dosen :

Ifarrel Rachmanda Hariyanto, S.T., M.T. | 200002172024061001

Tanda Tangan :



1. Penulangan DPT

2. Solid sodding diperjelas

3. Cerucuk bambu ?

4. Gambar PVD

5. ROW diperjelas

6. Denah minipile tidak jelas, jarak tolk ada

7. ↳ ditambah Mcrack, P berapa
↳ Tebal hrs garis. dicek lagi

8. AHTSP

9. Kontrol kemiringan DPT.

10. Konsolidasi



KEMENTERIAN PENDIDIKAN, TINGGI, SAINS
DAN TEKNOLOGI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS VOKASI
DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
Kampus ITS Manyar, Jl. Raya Menur 127 Surabaya, 60116
Telepon: 031 5947637 Fax: 031 5938025
<https://www.its.ac.id/tis/> email: tis@its.ac.id

ASISTENSI TUGAS AKHIR TERAPAN/TESIS

Nama : Miftahul. R. Rizky
NRP : 2035211017

Judul Tugas Akhir : Desain Perencanaan Perkuatan aprit jembatan STA 0+625 -
0+775 Prolek jalan tol Probolinggo - Banyuwangi Paket 2

Dosen Pembimbing :

NO	TGL	TUGAS/MATERI YANG DIBAHAS	TANDA TANGAN	KETERANGAN
1.	30/2025 Januari	1. Penambahan Perkuatan OPT 2. Pengantian Judul 3. Pengecekan laporan Bab 1-3		B C K ☐ ☐ ☐
2.	11/2025 Maret	1. Bab 3 2. Pemahaman konsep		B C K ☐ ☐ ☐
3.	25/2025 Maret	1. Analisa kondisi eksisting dengan Plaxis 2. Pengecekan data tanah dasar, Analisa hanya satu OPrit		B C K ☐ ☐ ☐
4.	7/2025 Mei	1. Perhitungan konsolidasi 2. t _{1/2} dan H _{final} 3. Waktu konsolidasi		B C K ☐ ☐ ☐
5.	25/2025 Mei	1. Pengecekan Perhitungan konsolidasi, Nilai H _{dr} diubah menjadi 29m 2. Perhitungan miring, Perhitungannya dianalisa menggunakan Plaxis.		B C K ☐ ☐ ☐

Keterangan :

- B
☐ = Lebih cepat dari jadwal
C
☐ = Sesuai dengan jadwal
K
☐ = Terlambat dari jadwal



KEMENTERIAN PENDIDIKAN, TINGGI, SAINS
DAN TEKNOLOGI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS VOKASI
DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL

Kampus ITS Manyar, Jl. Raya Menur 127 Surabaya, 60116

Telepon: 031 5947637 Fax: 031 5938025

<https://www.its.ac.id/tis/> email: tis@its.ac.id

ASISTENSI TUGAS AKHIR TERAPAN/TESIS

Nama : MIHTAHUL RAMADHAN Rizky

NRP : 203521017

Judul Tugas Akhir : Desain perencanaan kekuatan alat jembatan SJA 01625-0175
Prota Jauh 101 Prodi Ingg - Bantuwangi Riset 2

Dosen Pembimbing :

NO	TGL	TUGAS/MATERI YANG DIBAHAS	TANDA TANGAN	KETERANGAN
6.	17/ Juli 2025	- Cek Perhitungan KONSOLIDASI - Cek Laporan - P Fluktuasi dari mana?		B C K ☐ ☐ ☐
7.	20/ Juli 2025	- Kuesi Spora beton Ramuan - Kombinasi 1 minire & Cratextile - DPT diheat Pabrik Jelek.		B C K ☐ ☐ ☐
				B C K ☐ ☐ ☐
				B C K ☐ ☐ ☐
				B C K ☐ ☐ ☐

Keterangan :

B
☐ = Lebih cepat dari jadwal

C
☐ = Sesuai dengan jadwal

K
☐ = Tidak ada data

ABSTRAK

DESAIN PERENCANAAN PERKUATAN TANAH PADA OPRIT JEMBATAN STA 0+625 – 0+775 PROYEK JALAN TOL PROBOLINGGO-BANYUWANGI PAKET 2

Nama Mahasiswa / NRP : Miftahul Ramadhan Rizky / 2035211017
Departemen : Teknik Infrastruktur Sipil - ITS
Dosen Pembimbing 1 : Deris Faisa Ralindra, S.T., M.T.

Abstrak

Proyek Jalan Tol Probolinggo-Banyuwangi Paket 2, merupakan bagian dari jaringan tol Trans Jawa yang menghadapi tantangan kondisi tanah lunak. Khususnya oprit jembatan di STA 0+610 memiliki nilai N-SPT sebesar 3–4, pada kedalaman 0-10 m. Tanah lunak dengan daya dukung rendah dan sifat mekanik tidak stabil berpotensi menyebabkan penurunan dan kelongsoran yang memengaruhi stabilitas struktur di atasnya. Timbunan setinggi 7 meter direncanakan untuk dibangun di area tersebut, sehingga memerlukan analisis geoteknik mendalam untuk memastikan stabilitas dan keamanan struktur timbunan sebelum diterapkan.

Penelitian ini menggunakan metode elemen hingga dengan perangkat lunak PLAXIS 2D untuk menganalisis stabilitas lereng dan timbunan, baik dalam kondisi eksisting maupun setelah dilakukan perkuatan. Untuk mempercepat konsolidasi dan meningkatkan kekuatan tanah dasar, *Prefabricated Vertical Drain* (PVD) direncanakan dengan pola pemasangan 1,4 m. Hasil analisis menunjukkan bahwa waktu konsolidasi yang semula mencapai 204,54 tahun dapat dipersingkat menjadi 25 minggu. Namun, nilai faktor keamanan (SF) setelah pemasangan PVD pada beberapa segmen masih berada di bawah batas aman ($SF < 1,5$), sehingga direncanakan dua alternatif perkuatan tambahan yaitu *geotextile* dan *cantilever wall* dengan *counterweight*.

Hasil analisis stabilitas lereng menggunakan program PLAXIS 2D menunjukkan bahwa perkuatan menggunakan geotextile bertingkat maupun kombinasi kantilever wall dan counterweight mampu meningkatkan faktor keamanan (SF) menjadi $\geq 1,5$ pada seluruh segmen sesuai SNI 8460:2017. Dari segi biaya alternatif perkuatan dengan PVD dan geotextile lebih ekonomis dibandingkan alternatif dengan kantilever wall dengan selisih sebesar Rp17,31 miliar. Oleh karena itu, metode PVD dan geotextile direkomendasikan sebagai solusi perkuatan tanah lunak yang efektif dan efisien. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi dalam perencanaan proyek

Kata Kunci: Tanah lunak, Stabilitas timbunan, *Prefabricated Vertical Drain* (PVD), *Geotextile*, Dinding penahan tanah..

ABSTRACT

DESIGN OF GROUND IMPROVEMENT FOR THE BRIDGE APPROACH AT STA 0+625 – 0+775 OF THE PROBOLINGGO– BANYUWANGI TOLL ROAD PROJECT, PACKAGE 2

Student Name / NRP : Miftahul Ramadhan Rizky / 2035211017
Department : Teknik Infrastruktur Sipil - ITS
Advisor 1 : Deris Faiza Ralindra, S.T., M.T.

Abstract

The Probolinggo–Banyuwangi Toll Road Project Package 2 is part of the Trans-Java toll network, which faces significant challenges due to soft soil conditions. In particular, the bridge approach at STA 0+610 has an N-SPT value of 3–4 at depths of 0–10 meters. The soft soil, with low bearing capacity and poor mechanical properties, poses a risk of excessive settlement and slope failure that may affect the stability of the overlying structure. A 7-meter-high embankment is planned to be constructed in this area, requiring a comprehensive geotechnical analysis to ensure the stability and safety of the structure before construction begins.

This study applies the finite element method using PLAXIS 2D software to analyze the slope and embankment stability under both existing and reinforced conditions. To accelerate consolidation and improve the strength of the subgrade, Prefabricated Vertical Drains (PVDs) were designed with a spacing of 1.4 meters. The analysis results show that the consolidation time, which initially reached 204.54 years, can be reduced to 25 weeks. However, the safety factor (SF) after PVD installation in several segments remains below the required threshold ($SF < 1.5$). Therefore, two additional reinforcement alternatives were proposed: a combination of geotextile and minipile, and a cantilever retaining wall with counterweight.

The slope stability analysis using PLAXIS 2D software indicates that reinforcement using tiered geotextiles as well as a combination of cantilever wall and counterweight is capable of increasing the safety factor (SF) to ≥ 1.5 across all segments, in accordance with SNI 8460:2017. In terms of cost, the alternative using PVD and geotextile is more economical compared to the cantilever wall alternative, with a cost difference of IDR 17.31 billion. Therefore, the PVD and geotextile method is recommended as an effective and efficient solution for soft soil reinforcement. This study is expected to serve as a reference for future project planning in similar conditions.

Keywords: *Soft soil, Embankment stability, Prefabricated Vertical Drain (PVD), Geotextile, Retaining wall.*

KATA PENGANTAR

Segala puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah Swt. atas segala limpahan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik. Shalawat serta salam semoga senantiasa tercurah kepada Nabi Muhammad SAW, yang telah membimbing umat manusia menuju jalan kebenaran. Penyusunan tugas akhir ini dilakukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Terapan Teknik pada Program Studi Sarjana Terapan Teknik Sipil Departemen Teknik Infrastruktur Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Tugas akhir ini dapat diselesaikan berkat bantuan, dukungan, dan doa dari berbagai pihak yang telah memberikan kontribusi selama proses penyusunannya. Oleh karena itu, penulis menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Allah SWT. dan Nabi Muhammad SAW.
2. Kedua orang tua serta saudara-saudara penulis yang senantiasa memberikan semangat, doa, dan dukungan dalam segala situasi.
3. Bapak Tatas, S.T., M.T., Ph.D. selaku Kepala Departemen Teknik Infrastruktur Sipil.
4. Bapak Deris Faiza Ralindra, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing 1 yang telah memberikan bimbingan dan masukan selama proses penyelesaian tugas akhir ini.
5. Bapak Aan Fauzi, S.T., M.T., Bapak Ifarrel Rachmanda Hariyanto, S.T., M.T., Bapak Moh. Safi'i Mansur, S.ST., M.T yang telah memberikan masukan, kritik, dan saran konstruktif demi perbaikan tugas akhir ini.
6. Teman-teman Sandyamerta saling mendukung sejak awal perkuliahan.
7. Para rekan "MANDOR" atas kebersamaan, canda tawa, dan persahabatan tulus yang telah mewarnai perjalanan studi ini. Kehadiran kalian menjadi lebih dari sekadar teman seperjuangan, tetapi juga keluarga. Semoga ikatan ini tetap terjaga meskipun kita akan menempuh jalan masing-masing.
8. Seluruh pihak yang secara langsung maupun tidak langsung telah membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih memiliki kekurangan karena keterbatasan wawasan dan pengalaman. Oleh sebab itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun demi kesempurnaan karya ini di masa mendatang. Akhir kata, penulis memohon maaf atas segala kekurangan yang terdapat dalam tugas akhir ini dan mengucapkan terima kasih atas segala perhatian dan bantuannya. Semoga hasil penelitian ini dapat bermanfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi.

Surabaya, 24 Juli 2025

Miftahul Ramadhan Rizky

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
PERNYATAAN ORISINALITAS	iii
PERNYATAAN KODE ETIK PENGGUNAAN AI GENERATIF	v
ABSTRAK.....	vi
ABSTRACT	viii
KATA PENGANTAR	x
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR TABEL	xviii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah.....	4
1.4 Tujuan.....	4
1.5 Manfaat.....	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Penelitian Terdahulu.....	5
2.2 Permasalahan Pembangunan Konstruksi di Atas Tanah Lunak.....	6
2.3 Parameter Tanah Berdasarkan Data N-SPT	6
2.4 Analisa Tanah Dasar	8
2.4.1 <i>Preloading</i> (Prapembebanan).....	8
2.4.2 Besar Pemampatan Tanah	9
2.4.3 Perubahan tegangan (ΔP) pada Tanah.....	13
2.4.4 Tinggi Timbunan Awal (Hinisial/ Hawal)	14
2.4.5 Kecepatan Waktu Konsolidasi	15
2.5 Sistem Perbaikan Tanah	16
2.5.1 Timbunan dengan sistim <i>Counter weight</i>	16
2.5.2 Timbunan Bertahap	16
2.5.3 Kenaikan Daya Dukung Tanah Akibat Timbunan Bertahap	18
2.6 Percepatan Waktu Pemampatan	20
2.6.1 <i>Prefabricated Vertical Drain</i> (PVD).....	20
2.6.2 Menentukan Kedalaman Optimal PVD.....	21
2.6.3 Pola Pemasangan PVD.....	22

2.6.4 Waktu Percepatan Pemampatan dengan PVD	23
2.7 Stabilitas Lereng Timbunan	25
2.7.1 Kriteria Faktor Keamanan	25
2.8 Analisa Lereng Tanah	25
2.8.1 Analisis berdasarkan Metode Fellenius.....	26
2.8.2 Analisa berdasarkan Metode Bishop.....	27
2.8.3 Analisis berdasarkan Konsep Keseimbangan Batas.....	27
2.8.4 Analisis berdasarkan Metode Elemen Hingga	28
2.9 Perkuatan Timbunan Oprit Jembatan dengan <i>Geotextile</i>	28
2.9.1 Bahan Geosynthetic.....	28
2.9.2 Tipe <i>Geotextile</i>	29
2.9.3 Perencanaan Timbunan dengan <i>Geotextile</i>	31
2.10 Perkuatan Tanah dengan <i>Retaining Wall</i>	36
2.10.1 Dinding Penahan Tanah Tipe <i>Cantilever</i>	36
2.10.2 Faktor-faktor yang perlu diperhatikan dalam perancangan.....	36
2.10.3 Pemeriksaan stabilitas dinding dan faktor keamanan minimum	40
2.11 Tekanan Tanah Lateral.....	41
2.11.1 Tekanan Tanah Lateral Saat Diam	41
2.11.2 Tekanan Tanah Aktif.....	41
2.11.3 Tekanan Tanah Pasif	43
BAB 3 METODOLOGI.....	45
3.1 Flowchart Metodologi	45
3.2 Studi Literatur.....	47
3.3 Pengumpulan dan Analisa Data	47
3.4 Perhitungan Beban yang Bekerja	47
3.5 Analisis Pemampatan dan Penurunan Tanah	47
3.6 Perencanaan PVD dan Penentuan Pola Pemasangan	48
3.7 Analisis Kestabilan Oprit Jembatan (Setelah PVD).....	48
3.8 Perencanaan Alternatif Perkuatan Tambahan	48
3.9 Penggambaran DED Hasil Perencanaan	48
3.10 Perhitungan Rencana Anggaran Biaya (RAB).....	48
3.11 Kesimpulan dan Saran.....	49
BAB 4 DATA DAN ANALISA	51
4.1 Lokasi	51

4.2 Analisa Data Tanah	51
4.2.1 Data Tanah Dasar	51
4.2.2 Data Tanah Timbunan	54
4.3 Data Spesifikasi Bahan	57
4.3.1 <i>Prefabricated Vertical Drain</i> (PVD)	57
4.3.2 <i>Geotextile</i>	57
4.4 Data Beban Timbunan	57
BAB 5 PERENCANAAN PERKUATAN OPRIT JEMBATAN	59
5.1 Perhitungan Besar Pemampatan (S_c) dan Tinggi Timbunan Awal ($H_{initial}$)	59
5.1.1 Alternatif Timbunan Miring	59
5.1.2 Perhitungan Waktu Konsolidasi	67
5.2 Perencanaan Perbaikan Tanah dengan PVD	70
5.2.1 Pola Pemasangan Segitiga	70
5.2.2 Pola Pemasangan Segiempat	76
5.2.3 Penentuan Pola Pemasangan PVD	82
5.3 Perencanaan Timbunan Bertahap	82
5.4 Analisa Stabilitas Lereng	92
5.4.1 GeoStudio	92
5.4.2 sPlaxis 2D	97
5.5 Perencanaan Perkuatan	109
5.5.1 Perencanaan Perkuatan dengan <i>Geotextile</i>	109
5.5.2 Perencanaan Perkuatan dengan <i>Kantilever wall</i> dan <i>Counter weight</i>	118
5.6 Analisa Perkuatan Timbunan	129
5.6.1 <i>Geotextile</i>	129
5.6.2 <i>Counter weight</i> dan <i>Kantilever Wall</i>	129
5.7 Rencana Anggaran Biaya (RAB)	130
5.7.1 Analisa Harga Satuan Pekerjaan	131
5.7.2 Rencana Anggaran Biaya (RAB)	132
BAB 6 PENUTUP	135
6.1 Kesimpulan	135
6.2 Saran	136
DAFTAR PUSTAKA	138
LAMPIRAN	140
BIODATA PENULIS	165

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Kurva Hubungan antara Tebal Timbunan dengan Intensitas Beban (Japan Road Association, 1986).....	9
Gambar 2.2 Beban lalu lintas	9
Gambar 2.3 Grafik untuk Menentukan Faktor Pengaruh	11
Gambar 2.4 Grafil untuk Menentukan Faktor pengaruh pada Beban Trapesium	12
Gambar 2.5 Visualisasi dan Notasi ΔP	13
Gambar 2.6 Pengaruh Settlement (S_c) terhadap tinggi timbunan	14
Gambar 2.7 Pemberian Preloading secara Counter Weight	16
Gambar 2.8 Timbunan secara bertahap	17
Gambar 2.9 Sketsa Diagram Perubahan tegangan Akibat Beban Bertahap	18
Gambar 2.10 Sketsa Perubahan tegangan Akibat Beban	18
Gambar 2.11 <i>Prefabricated Vertical Drain</i> (PVD).....	20
Gambar 2.12 <i>Equivalent</i> Diameter (d_w) untuk PVD	21
Gambar 2.13 Pola Susunan Segitiga, $D = 1,05 S$	22
Gambar 2.14 Pola Susunan Bujur Sangkar, $D = 1,13 S$	22
Gambar 2.15 Pemampatan dengan Menggunakan PVD	23
Gambar 2.16 Gaya yang bekerja pada metode Fellenius	26
Gambar 2.17 Aplikasi Geostudio	28
Gambar 2.18 Aplikasi PLAXIS.....	28
Gambar 2.19 Geotextile Woven	30
Gambar 2. 20 Geotextile Non Woven	30
Gambar 2.21 Kondisi <i>Internal Stability</i>	31
Gambar 2.22 Gaya-Gaya yang Bekerja untuk Overall Stability	32
Gambar 2.23 Model Kelongsoran untuk Overall Stability.....	33
Gambar 2.24 Tipe Kantilever Wall	36
Gambar 2.25 Ilustrasi Guling pada DPT	37
Gambar 2.26 Ilustrasi Geser pada DPT	38
Gambar 2. 27 Ilustrasi Bearing Capacity pada DPT	40
Gambar 2.28 Distribusi tekanan tanah aktif pada dinding penahan tanah	42
Gambar 2.29 Tekanan tanah pasif.....	43
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penyelesaian Tugas Akhir.....	46

Gambar 4.1	Detail lokasi perencanaan perkuatan	51
Gambar 4.2	Tampak Atas Lokasi 6 Titik Borlog.....	52
Gambar 4.3	Ilustrasi Potongan melintang timbunan STA 0+625	55
Gambar 4.4	Gambar Pembagian Segmen yang ditinjau.....	55
Gambar 4.5	Ilustrasi Potongan memanjang oprit jembatan	55
Gambar 5.1	Pembagian Lapisan Tanah Kedalaman 1m	59
Gambar 5.2	Hubungan H inisial dan H final.....	65
Gambar 5.3	Hubungan Sc dan H final	66
Gambar 5.4	Grafik Hubungan Waktu Konsolidasi dengan Derajat Konsolidasi.....	69
Gambar 5.5	Grafik Hubungan Waktu Konsolidasi dan Derajat Konsolidasi Pola Pemasangan Segitiga	76
Gambar 5.6	Grafik Hubungan Waktu Konsolidasi dengan Derajat Konsolidasi Pola Segiempat.....	81
Gambar 5.7	Ilustrasi Perencanaan Timbunan Bertahap	83
Gambar 5.8	Analisa Hcr menggunakan Geostudio	83
Gambar 5.9	Segmen Melintang Timbunan Eksisting STA 0+625.....	92
Gambar 5.10	Permodelan Interfaces Geometri Timbunan Segmen 1	93
Gambar 5.11	Tampilan <i>Input</i> Material GeoStudio.....	94
Gambar 5.12	Permodelan Interfaces Geometri Timbunan Segmen 1	94
Gambar 5.13	Tampilan penentuan muka air tanah.....	95
Gambar 5.14	Tampilan Menu Pembebanan GeoStudio	95
Gambar 5.15	Penggambaran Bidang Longsor manual GeoStudio.....	96
Gambar 5.16	Tampilan Hasil Run analysis Geostudio	97
Gambar 5.17	Tampilan <i>Project Propertis</i> untuk Mengatur Satuan dan Area Kerja ...	99
Gambar 5.18	Tampilan <i>Project Propertis</i> saat Melakukan Permodelan Awal	99
Gambar 5.19	Tampilan Geometri Timbunan Segmen 1	100
Gambar 5.20	Tampilan Plaxis 2D V20 untuk Memodelkan Geometri Timbunan ..	100
Gambar 5.21	Material Sets pada Saat Menginput Parameter Tanah.....	101
Gambar 5.22	Kondisi Timbunan setelah Dilakukan Assign Material.....	101
Gambar 5.23	Pembebanan yang Terjadi pada Timbunan	102
Gambar 5.24	Input Nilai Pembebanan yang Terjadi sebesar 30,3 kN/m ²	102
Gambar 5.25	Membuat Batas/Boundary pada Tanah Asli Timbunan	103
Gambar 5.26	Tampilan Mesh Options Setelah Klik Generate Mesh	103

Gambar 5.27 Hasil Meshing Timbunan Segmen 1	104
Gambar 5.28 Kondisi Muka Air Tanah Timbunan	104
Gambar 5.29 Mengaktifkan Tanah Asli dan Boundary pada initial phase	105
Gambar 5.30 Rename Fase Kedua yaitu Fase Timbunan	105
Gambar 5.31 Kondisi Timbunan Setelah Pengaktifan Fase Timbunan	106
Gambar 5.32 Kondisi Timbunan Setelah Pengaktifan Fase Pembebanan	106
Gambar 5.33 Pemilihan Titik Node sebelum Dilakukan Calculate	107
Gambar 5.34 Nilai Displacement Segment pada Output Plaxis.....	108
Gambar 5.35 Bidang Longsor Segemen 1	108
Gambar 5.36 Jarak Pemasangan <i>Geotextile</i>	110
Gambar 5.37 Sketsa Bidang Longsor STA 0+625	110
Gambar 5.38 Hasil permodelan Gestudio Segmen 1	112
Gambar 5.39 Gambar Iustrasi Ld Geotextile	116
Gambar 5.40 Sketsa Pemasnagan geotextile	117
Gambar 5.41 Permodelan Kantilever wall dan Counter Weight.....	118
Gambar 5.42 Deformasi lateral dari Kantilever Wall	128
Gambar 5.43 Permodelan Geotextile pada Plaxis	129
Gambar 5.44 Permodelan kantilever wall dan counter weight pada Plaxis	130

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu	5
Tabel 2.2 Korelasi antara N-SPT dengan Jenis tanah	7
Tabel 2.3 Korelasi antara Nilai γ dengan Karakteristik Tanah (Biarez and Favre).....	7
Tabel 2.4 Korelasi Modulus Elastisitas dan Poition Ratio	8
Tabel 2.5 Faktor Waktu Terhadap Derajat Konsolidasi.....	15
Tabel 2.6 Nilai Faktor Keamanan untuk Lereng Tanah.....	25
Tabel 2.7 Angka Keamanan untuk Menghitung Tallow	34
Tabel 2.8 Faktor-faktor kapasitas dukung Menurut Terzaghi.....	40
Tabel 4.1 Rekapitulasi Parameter Tanah Dasar	53
Tabel 4.2 Rekap Nilai E, ν , k, Cc, Cs, Cv.....	54
Tabel 4.3 Rekapitulasi tinggi timbunan yang akan ditinjau.....	57
Tabel 4.4 Detail Pembebanan.....	57
Tabel 5.1 Variasi Beban Timbunan (q) untuk masing-masing H timbunan	60
Tabel 5.2 Variasi Beban Timbunan (q) untuk masing-masing H timbunan	60
Tabel 5.3 Hasil Perhitungan Tegangan <i>Overburden</i> (σ'_o) untuk tiap kedalaman	62
Tabel 5.4 Hasil Perhitungan Hinisial dan Hfinal pada Setiap Beban q.....	65
Tabel 5.5 H initial dan Settlement pada tiap Segmen Timbunan Miring.....	66
Tabel 5.6 Penurunan Tanah dan Selisih Besar Penurunan Tanah.....	68
Tabel 5.7 Hasil Perhitungan Waktu Konsolidasi Alami	69
Tabel 5.8 Diameter Ekvaleen pola segitiga dengan Variasi Jarak antar PVD.....	71
Tabel 5.9 Fungsi Hambatan PVD pola Pemasangan Segitiga	72
Tabel 5.10 Hasil Derajat Konsolidasi Total untuk Pola Pemasangan Segitiga S=1 m	75
Tabel 5.11 Diameter Ekvaleen pola Segiempatdengan Variasi Jarak antar PVD	77
Tabel 5.12 Fungsi Hambatan PVD pola Pemasangan Segiempat.....	78
Tabel 5.13 Hasil Derajat Konsolidasi Total untuk Pola Pemasangan Segiempat spasi 1 m	81
Tabel 5.14 Perubahan tegangan untuk Derajat Konsolidasi 100%	86
Tabel 5.15 Derajat Konsolidasi (U_{total}) untuk PVD Pola Pemasangan Segi Empat S=1,4m.....	87
Tabel 5.16 Perumusan Perubahan tegangan di Tiap Lapisan Tanah pada Derajat Konsolidasi, $U < 100\%$	88

Tabel 5.17 Perubahan tegangan di Tiap Lapisan Tanah pada Derajat Konsolidasi, $U < 100\%$	89
Tabel 5.18 Hasil Perhitungan Peningkatan Nilai C_u minggu ke-6	90
Tabel 5.19 Hasil Perhitungan Peningkatan Nilai C_u minggu ke-25	91
Tabel 5.20 Parameter Tanah Input Aplikasi GeoStudio	92
Tabel 5.21 Rekapitulasi Hasil Anlisa Stabilitas dengan GeoStudio	97
Tabel 5.22 Parameter Input Plaxis pada STA 0+625	98
Tabel 5.23 Rekapitulasi Hasil Analisis Stabilitas Lereng dengan Plaxis 2D V21	109
Tabel 5.24 Perhitungan panjang geotextile di belakang bidang longsor dan $\sum$ momen	115
Tabel 5.25 Kebutuhan L_d Geotextile Segmen 1	116
Tabel 5. 26 Panjang Total Kebutuhan Segmen 1	117
Tabel 5.27 Rekapitulasi kebutuhan Geotextile Setiap Segmen.....	117
Tabel 5.28 Rekapitulasi Luas Setiap Bidang	121
Tabel 5.29 Titik Berat Terhadap Titik C.....	121
Tabel 5.30 Beban Bekerja Setiap Bagian.....	122
Tabel 5.31 Rekapitulasi Nilai S_f setelah Diperkuat Geotextile dan Minipile.....	129
Tabel 5.32 Hasil Rekaitulasi S_f setelah diperkuat Kantilever wall dan Counter Weight	130

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pembangunan infrastruktur jalan tol di Indonesia menjadi prioritas utama dalam mendukung pertumbuhan ekonomi dan pemerataan pembangunan, terutama di Pulau Jawa. Salah satu proyek strategis yang sedang dikerjakan adalah Jalan Tol Probolinggo-Banyuwangi, bagian dari jaringan tol Trans Jawa yang diharapkan dapat meningkatkan konektivitas antar wilayah, mempercepat distribusi barang, mengurangi kemacetan lalu lintas, dan meningkatkan efisiensi transportasi (Buana, 2019). Salah satu komponen penting dalam proyek ini adalah konstruksi oprit jembatan yang berfungsi sebagai penghubung antara jalan utama dan struktur jembatan (Ariansyah et al., 2022).

Pada proyek Jalan Tol Probolinggo-Banyuwangi Paket 2 tepatnya di jembatan STA 0+610 menjadi salah satu titik kritis karena, area oprit jembatan berada di atas tanah lunak. Berdasarkan data teknis di lapangan, penyelidikan tanah di area lokasi A2 menggunakan metode boring hingga kedalaman 40 meter menunjukkan bahwa lapisan tanah pada kedalaman 0–10 meter memiliki konsistensi lunak dengan nilai N-SPT sebesar 3–4. Tanah lunak ini memiliki daya dukung rendah dan sifat mekanik yang tidak stabil sehingga, berpotensi menyebabkan penurunan signifikan yang dapat mempengaruhi kestabilan struktur di atasnya (Aslam & Gofar, 2022).

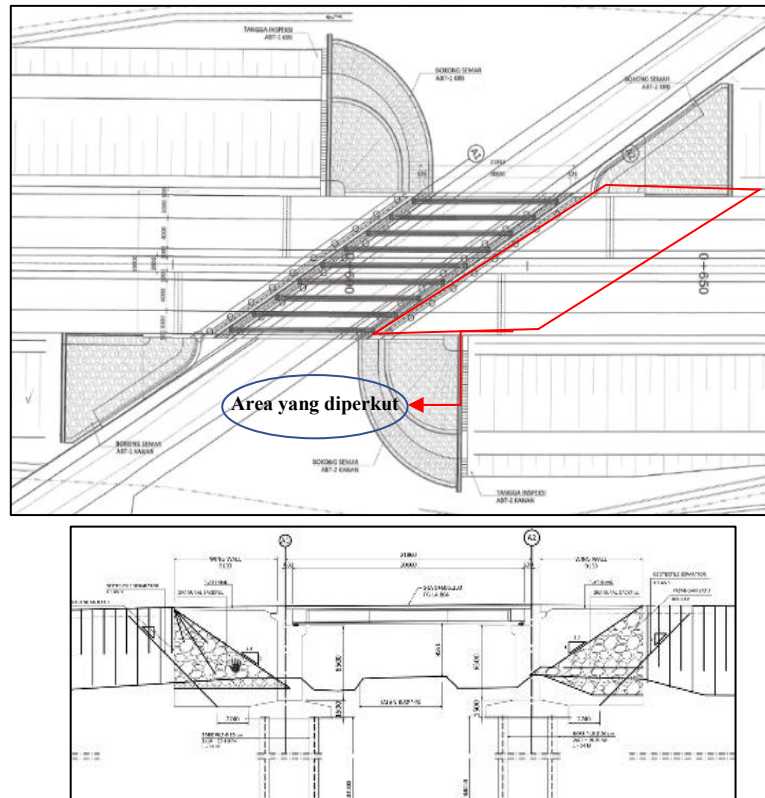
Disamping itu tepat diatas tanah tersebut akan direncanakan timbunan setinggi 7,7 m dari permukaan tanah eksisting di sekitarnya. Kondisi ini perlunya dilakukan analisis geoteknik untuk memastikan bahwa timbunan tersebut mampu menahan gaya lateral dan vertikal yang bekerja pada struktur di atasnya. Dalam proyek akhir ini penulis akan menganalisis kestabilan timbunan untuk menentukan apakah kondisi eksisting sudah memenuhi syarat keamanan atau membutuhkan perkuatan. Analisis kestabilan pada kondisi eksisting akan dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak dengan metode elemen hingga dan Keseimbangan Batas untuk menghitung angka keamanan timbunan sebelum perkuatan diterapkan. Maksud dari analisis stabilitas lereng dan timbunan adalah untuk memastikan bahwa nilai faktor keamanan memenuhi standar minimum yang disyaratkan sesuai dengan SNI 8460:2017. Apabila nilai faktor keamanan memenuhi syarat tersebut, maka tidak diperlukan perkuatan. Namun, jika nilai faktor keamanan berada di bawah batas

yang ditentukan diperlukan perkuatan untuk menjaga stabilitas lereng dan timbunan (Kaliky et al., 2024).

Perkuatan tanah yang digunakan dalam Tugas Akhir ini terdiri dari dua alternatif utama, yaitu geotextile dan dinding penahan tanah tipe kantilever. Geotextile direncanakan untuk meningkatkan stabilitas timbunan secara menyeluruh dan berfungsi sebagai perkuatan horizontal untuk mengendalikan deformasi lateral. Sementara itu, dinding penahan tanah tipe kantilever dirancang sebagai struktur kaku berbahan beton bertulang yang mampu menahan tekanan lateral timbunan.

Selain dua alternatif tersebut, metode perkuatan tanah lunak menggunakan *Prefabricated Vertical Drain* (PVD) juga dipertimbangkan untuk mendukung percepatan proses konsolidasi. PVD bekerja dengan cara memperpendek jalur aliran air pori ke arah drainase vertikal sehingga memungkinkan proses pemampatan tanah berlangsung lebih cepat dibandingkan proses konsolidasi alami. Dengan memasang PVD hingga kedalaman lapisan tanah yang bersifat kompresibel, tekanan air pori dapat dikurangi secara signifikan dalam jangka waktu yang lebih singkat. Penggunaan PVD menjadi penting terutama karena timbunan yang direncanakan cukup tinggi sehingga apabila tidak dilakukan percepatan konsolidasi penurunan bisa berlangsung sangat lama dan melebihi batas toleransi. Oleh karena itu, dalam analisis ini juga akan dievaluasi efektivitas pemasangan PVD terhadap lama waktu pemampatan tanah dan pengaruhnya terhadap kestabilan lereng.

Tugas akhir ini bertujuan untuk merencanakan dan membandingkan kedua alternatif perkuatan tersebut dalam meningkatkan stabilitas timbunan oprit jembatan pada STA 0+625 – 0+675, serta menganalisis efektivitas penerapannya berdasarkan nilai faktor keamanan dan kebutuhan biaya material. Analisis dilakukan pada area A2 sisi selatan jembatan, sebagaimana ditunjukkan pada **Gambar 1. 1**. Adapun metode *Prefabricated Vertical Drain* (PVD) diterapkan sebagai perkuatan dasar untuk mempercepat proses konsolidasi tanah lunak sebelum struktur perkuatan utama direncanakan, mengingat tingginya potensi penurunan di lokasi tersebut.



Gambar 1. 1 layout dan segmen memanjang yang diberi perkuatan
Jembatan STA 0+610
Sumber : Data proyek PT Hutama Karya Infrastruktur (HKI)

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana kondisi penurunan dan potensi pemampatan tanah lunak pada timbunan oprit jembatan sebelum dilakukan perkuatan?
2. Bagaimana efektivitas penggunaan Prefabricated Vertical Drain (PVD) dalam mempercepat konsolidasi dan meningkatkan kekuatan tanah dasar?
3. Bagaimana merencanakan perkuatan tanah timbunan oprit jembatan menggunakan *Geotextile*?
4. Bagaimana merencanakan perkuatan tanah timbunan oprit jembatan menggunakan *cantilever wall*?
5. Bagaimana memilih alternatif perkuatan yang lebih efektif ditinjau dari aspek safety factor dan rencana harga kebutuhan material

1.3 Batasan Masalah

1. Tidak membahas perhitungan geometri jalan dan perkerasan pada daerah oprit jembatan.
2. Hanya direncanakan pada sisi selatan jembatan.
3. Beban perkerasan jalan dan beban kendaraan dianggap sebagai beban terbagi rata.
4. Tidak membahas metode pelaksanaan proyek.
5. RAB hanya material

1.4 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini sebagai berikut:

1. Menganalisis kondisi penurunan dan potensi pemampatan tanah lunak pada oprit jembatan sebelum dilakukan perkuatan.
2. Menganalisis efektivitas penggunaan *Prefabricated Vertical Drain* (PVD) dalam mempercepat konsolidasi dan meningkatkan kekuatan tanah dasar
3. Mampu merencanakan perkuatan tanah dasar pada menggunakan dan *Geotextile*.
4. Mampu merencanakan perkuatan tanah timbunan menggunakan dinding penahan tanah beton *cantilever wall*.
5. Menentukan alternatif perkuatan paling efektif berdasarkan faktor keamanan dan kebutuhan biaya material.

1.5 Manfaat

Tugas akhir ini diharapkan memberikan manfaat sebagai acuan yang berguna dalam perencanaan perkuatan oprit jembatan dengan kondisi serta spesifikasi yang serupa, sehingga dapat mendukung pengambilan keputusan yang lebih tepat dalam proyek konstruksi.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Beberapa penelitian terkait dengan penggunaan geotextile dan PVD untuk perkuatan tanah pada oprit jembatan telah dilakukan. Berikut adalah ringkasan penelitian terdahulu yang relevan dengan topik ini:

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu

	Nama Peneliti	Judul	Hasil
1.	Rachael Tunas Pratama, Fatma Sarie, Okrobianus Hendri	“Analisis perbaikan tanah menggunakan geotextile Pada lapisan <i>subgrade</i> proyek pekerjaan jalan”	Penelitian tentang penerapan geotextile pada tanah lunak dan menemukan bahwa penggunaan geotextile dapat meningkatkan stabilitas timbunan dengan mencegah pencampuran tanah timbunan dan tanah dasar serta memperbaiki daya dukung tanah. Penelitian ini sangat relevan untuk proyek pembangunan jalan tol yang melibatkan tanah lunak dengan daya dukung rendah.(Pratama et al., 2021)
2.	Qunik Wiqoyah, Rosy Elvry Alawiyah, Anto Budi Listyawan, Renaningsih	“Analisa perkuatan timbunan tanah dengan geotextile woven sebagai Upaya pengurangan gaya lateral pada abutment”	Penelitian ini menganalisis efektivitas geotextile woven dalam memperkuat timbunan tanah lunak. Metode yang digunakan meliputi uji laboratorium untuk mengukur daya dukung, penurunan, dan deformasi tanah, serta analisis numerik dengan <i>Plaxis</i> . Hasil penelitian menunjukkan bahwa geotextile woven meningkatkan daya dukung timbunan, mengurangi penurunan tanah, dan memperbaiki stabilitas timbunan.(Wiqoyah et al., 2022)
3.	Fauzan umar faruq	“Perencanaan timbunan pada jalan tol ngawi-kertosono paket 2 sta 110+250-sta 118+700”	Penelitian berikutnya dilakukan oleh Fauzan Umar Faruq yang merupakan mahasiswa asal Institut Teknologi Sepuluh Nopember pada tahun 2018. Bertujuan mengatasi pemampatan tanah lunak pada proyek Jalan Tol Ngawi-Kertosono (STA 110+250–118+700) dan menentukan metode perbaikan tanah serta perkuatan

			timbunan yang paling ekonomis. Metode yang digunakan meliputi preloading konvensional dan vacuum preloading, dibantu Prefabricated Vertical Drain (PVD) dengan kedalaman 5–9 meter dan jarak 0,75–1 meter. Perkuatan timbunan dilakukan menggunakan Geotextile tanpa cerucuk, serta dilakukan analisis biaya material untuk membandingkan alternatif yang paling murah. Hasilnya menunjukkan bahwa PVD efektif mempercepat pemampatan, sementara Geotextile dipilih sebagai perkuatan karena lebih ekonomis. (FARUQ, 2018)
--	--	--	---

2.2 Permasalahan Pembangunan Konstruksi di Atas Tanah Lunak

Tanah lempung atau tanah lunak merupakan jenis tanah yang kurang menguntungkan untuk digunakan sebagai lapisan dasar pondasi, karena memiliki daya dukung yang sangat rendah dan kemampuan kompresi yang tinggi. Permasalahan utama yang sering terjadi pada pembangunan di atas tanah jenis ini adalah ketidakmampuan tanah dalam mendukung beban dari timbunan dan struktur yang direncanakan. Selain itu, beberapa permasalahan yang patut diwaspadai dalam perencanaan dan pelaksanaan konstruksi adalah sebagai berikut: pertama, tanah lunak umumnya ditemukan di daerah dataran rendah yang sering terendam banjir, sehingga tinggi timbunan dan perkerasan jalan harus disesuaikan dengan ketinggian muka air banjir yang dapat mempengaruhi stabilitas struktur. Kedua, tanah lunak atau tanah yang sangat lunak memiliki daya dukung yang sangat rendah, yang dapat menyebabkan penurunan permukaan yang tidak merata dan kerusakan pada struktur. Oleh karena itu, perbaikan tanah dasar yang memadai, seperti penggunaan geotextile dan mini pile, sangat diperlukan untuk meningkatkan daya dukung tanah dan memastikan keberlanjutan serta keamanan konstruksi. (Ariansyah et al., 2022)

2.3 Parameter Tanah Berdasarkan Data N-SPT

Dalam penulisan tugas akhir ini, penentuan parameter tanah dilakukan menggunakan data sekunder berupa hasil uji SPT yang diperoleh dari data boring log pada proyek. Mengingat parameter tanah yang tersedia tidak lengkap, maka diperlukan proses korelasi data tanah berdasarkan data boring log dengan bantuan tabel korelasi yang disusun oleh para ahli.

- a) Nilai γ_{sat} dan nilai C_u

Nilai γ_{sat} diperoleh berdasarkan korelasi data N-SPT menurut J. E. Bowles yang tercantum pada **Tabel 2.2**. Sementara itu, nilai C_u dihitung sebagai 0,5 dari nilai q_u , yang juga diperoleh melalui korelasi N-SPT pada tabel yang sama.

Tabel 2.2 Korelasi antara N-SPT dengan Jenis tanah

	Tanah kohesif				
N-SPT (Pukulan)	<4	4-6	6-15	16-25	>25
γ (kN/m^3)	14-18	16-187	16-18	16-20	>20
q_u (kN/m^2)	<25	20-50	30-60	40-200	>100
Consistency	Very soft	Soft	Medium	Stiff	Hard
	Tanah non kohesif				
N-SPT (Pukulan)	0-3	4-10	11-20	31-50	>50
γ (kN/m^3)	-	12-16	14-18	16-20	18-23
ϕ	-	25-32	28-36	30-40	>35
State	Very loose	Loose	Medium	Dense	Very dense
Dr(%)	0-15	15-35	35-65	65-85	85-100

Sumber: (Bowles,1984)

- b) Nilai γ_{unsat} dan nilai K

Nilai γ_{unsat} atau γ_{dry} serta nilai k (koefisien permeabilitas) diperoleh melalui korelasi nilai γ_{sat} berdasarkan penelitian Biarez dan Favre yang tercantum dalam buku *Daya Dukung Pondasi Dangkal* (Wahyudi, 2012) pada **Tabel 2.3**.

Tabel 2.3 Korelasi antara Nilai γ dengan Karakteristik Tanah (Biarez and Favre)

γ_{sat}	W sat	n	e	γ_d	k	Cv
g/cm^3	%			g/cm^3	cm/s	cm^2/s
1,31	163	0,8	4,4	0,5	1,00E-09	0,00001
1,38	129,6	0,78	3,5	0,6		0,0001
1,44	105,8	0,74	2,86	0,7	1,00E-08	0,0002
1,5	88	0,7	2,38	0,8		0,0003
1,57	74,1	0,67	2	0,9	1,00E-07	0,0004
1,63	63	0,63	1,7	1	1,00E-06	0,0005
1,69	53,9	1,45	1,45	1,1	2,00E-06	0,0006
1,76	46,3	1,25	1,25	1,2	3,00E-06	0,0007
1,82	39,9	1,08	1,08	1,3	4,00E-06	0,0008
1,88	34,4	0,93	0,93	1,4	5,00E-06	0,0009
1,94	29,6	0,8	0,8	1,5	6,00E-06	0,001
2,04	25,5	0,69	0,69	1,6	7,00E-06	
2,07	21,8	0,59	0,59	1,7	8,00E-06	
2,13	18,5	0,5	0,5	1,8	9,00E-06	0,01
2,2	15,6	0,42	0,42	1,9	1,00E-05	-
2,26	13	0,35	0,35	2	1,00E-03	-

2,32	10,6	0,29	0,29	2,1	1,00E-02	-
2,39	8,4	0,23	0,23	2,2	1,00E-01	-
2,45	6,4	0,17	0,17	2,3	-	-
2,51	4,63	0,13	0,13	2,4	-	-
2,57	2,96	0,08	0,08	2,5	-	-
2,64	1,42	0,038	0,038	2,6	-	-
2,7	0	0	0	2,7	-	-

Sumber: (Wahyudi, 2012)

c) Nilai E dan ν

Nilai Modulus Young dan Poission Ratio dikorelasikan berdasarkan jenis tanah yang bersumber pada buku Mekanika Tanah Jilid I (B. M. Das et al., 1995)

Tabel 2.4 Korelasi Modulus Elastisitas dan Poission Ratio

Jenis Tanah	E (kN/m^3)	ν
Lempung lunak	1380-3450	0,15-0,25
Lempung Keras	5865-13800	0,20-0,50
Pasir Lepas	10350-27600	0,20-0,40
Pasir Padat	34500-69000	0,25-0,45

Sumber: (Das, Endah, & Mochtar, 1995)

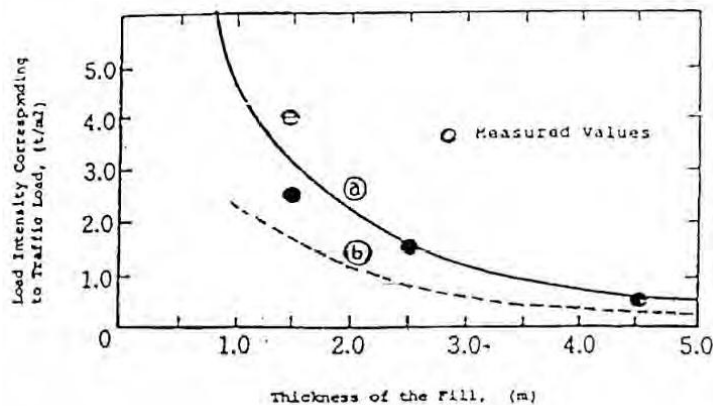
2.4 Analisa Tanah Dasar

2.4.1 *Preloading* (Prapembebanan)

Metode preloading merupakan salah satu teknik perbaikan tanah lunak yang dilakukan dengan cara menempatkan timbunan sementara pada area yang akan distabilisasi. Berat timbunan ini setidaknya harus sama atau lebih besar dari beban permanen struktur yang akan bekerja di masa mendatang. Pemberian beban ini menyebabkan lapisan tanah di bawahnya mengalami tekanan, sehingga air pori dalam tanah terdorong keluar lebih cepat. Setelah penurunan akibat konsolidasi tercapai sesuai yang diharapkan, sebagian atau seluruh timbunan preloading dapat dikurangi atau diangkat. Beban preloading dapat berupa beban lalu lintas (traffic load), beban perkerasan (pavement load), maupun beban timbunan.

Beban lalu lintas (traffic load) harus diperhitungkan sebagai beban tambahan merata yang dapat menyebabkan terjadinya penurunan tanah. Menurut Japan Road Association (1986), beban lalu lintas diperlakukan sebagai beban merata yang besarnya bergantung pada tinggi timbunan (embankment). Beban tersebut kemudian dapat dikorelasikan dalam bentuk tinggi timbunan tambahan dan akan dihilangkan setelah proses konsolidasi selesai. Berdasarkan kurva pada **Gambar 2.1** terlihat bahwa semakin tinggi timbunan jalan, semakin kecil beban lalu lintas yang diteruskan ke lapisan tanah di bawahnya. Beberapa perencana menggunakan pendekatan dengan menganggap intensitas beban lalu lintas sebagai nilai

konstan ($q_{\text{traffic}} = 1,5 \text{ t/m}^2$ atau 15 kn/m^2). Meskipun asumsi ini dapat diterima, sebaiknya pengaruh beban lalu lintas disesuaikan dengan ketebalan timbunan (Mochtar, 2000).



Gambar 2.1 Kurva Hubungan antara Tebal Timbunan dengan Intensitas Beban (Japan Road Association, 1986)

Sumber: (Japan Road Association, 1986)

Kelas Jalan	Beban Lalu Lintas (kPa)	Beban di Luar Jalan (*) (kPa)
I	15	10
II	12	10
III	12	10
Keterangan : (*) Beban dari bangunan rumah-rumah sekitar lereng.		

Gambar 2.2 Beban lalu lintas

Sumber: (SNI 8460-2017)

2.4.2 Besar Pemampatan Tanah

Penurunan tanah umumnya disebabkan oleh pembebanan, yang dapat dikategorikan menjadi dua kelompok utama:

1. Penurunan Segera (*Immediate Settlement*) yaitu penurunan yang terjadi akibat perubahan bentuk elastis tanah tanpa adanya perubahan kadar air. Penurunan ini biasanya dihitung berdasarkan teori elastisitas (B. M. Das et al., 1995).
2. Penurunan Konsolidasi (*Consolidation Settlement*) yaitu penurunan yang disebabkan oleh perubahan volume tanah jenuh air akibat keluarnya air dari pori-pori tanah.

Tanah disebut sebagai NC-Soil atau OC-soil tergantung dari harga *Over Consolidation Ratio* (OCR), yang didefinisikan dengan persamaan berikut ini: di mana:

$$OCR = \frac{p_c}{p'_o} \quad [2.1]$$

p_c = effective past overburden pressure

p'_o = effective overburden pressure

NC-Soil mempunyai harga OCR = 1 dan OC soil mempunyai harga OCR >1.

Secara umum besar pemampatan konsolidasi pada lapisan tanah lempung setebal H dapat dihitung dengan persamaan (B. M. Das et al., 1995) :

1. Untuk tanah *Normally Consolidated* (NC-Soil):

$$S_c = \frac{C_s \cdot H_0}{1 + e_0} \cdot \log \frac{\sigma'_{p'_{io} + \Delta p}}{p'_{io}} \quad [2.2]$$

2. Untuk tanah *Over Consolidated* (OC-Soil):

- Bila $(p'_{io} + \Delta p) \leq p_c$, maka:

$$S_c = \frac{C_s \cdot H_0}{1 + e_0} \cdot \log \frac{p'_{io} + \Delta p}{p'_{io}} \quad [2.3]$$

- Bila $(p'_{io} + \Delta p) > p_c$, maka:

$$S_c = \frac{C_s \cdot H_0}{1 + e_0} \cdot \log \frac{p_c}{p'_{io}} + \frac{C_c \cdot H_0}{1 + e_0} \cdot \log \frac{p'_{io} + \Delta p}{p_c} \quad [2.4]$$

di mana,

S_c = besar pemampatan yang terjadi (m)

C_c = indeks pemampatan (*compression index*)

C_s = indeks pemuaiian (*swelling index*)

e_0 = angka pori

p'_{io} = tegangan overburden efektif

p_c = tegangan prakonsolidasi

Δp = penambahan beban vertikal (beban luar) pada lapisan yang

ditinjau akibat beban timbunan dihitung dengan persamaan :

$$\Delta p = I \times q \quad [2.5]$$

di mana,

q : tegangan *vertical effective* di permukaan tanah akibat embankment jalan.

I : Faktor pengaruh yang diperoleh yang dari grafik pada **Gambar 2.3** dan **Gambar 2.4**

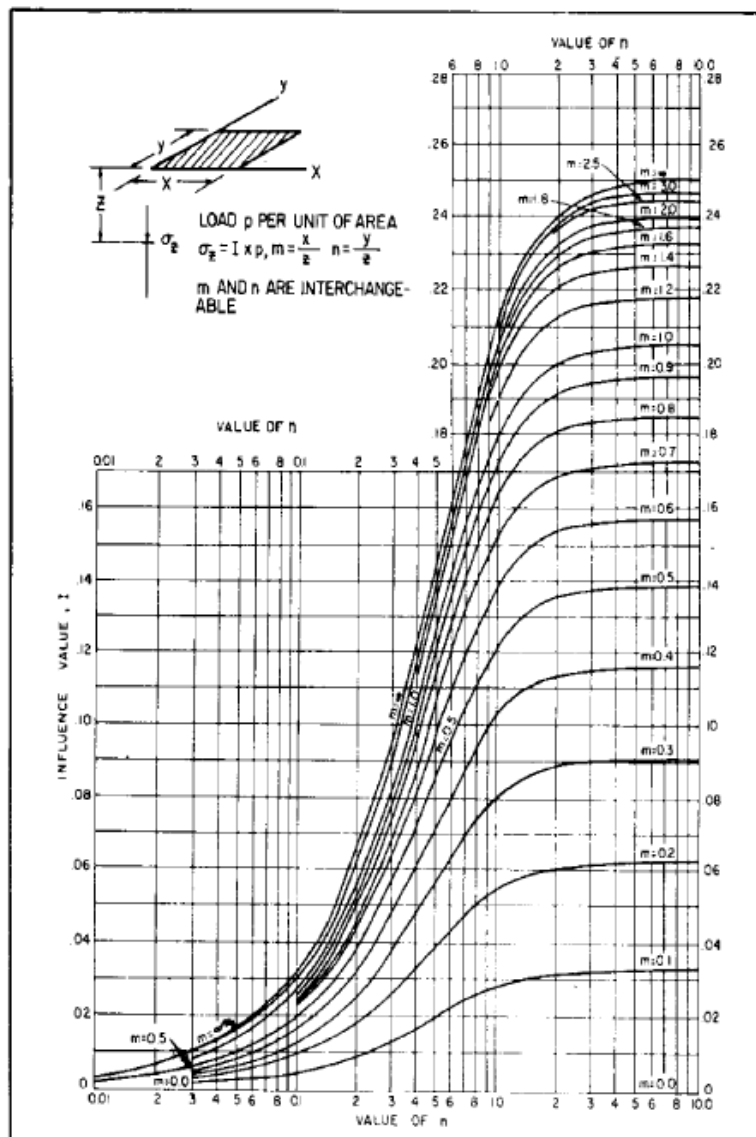


FIGURE 4
Influence Value for Vertical Stress Beneath a Corner of a
Uniformly Loaded Rectangular Area (Boussinesq Case)

Gambar 2.3 Grafik untuk Menentukan Faktor
Pengaruh

Sumber: (NAVFAC DM - 7, 1970)

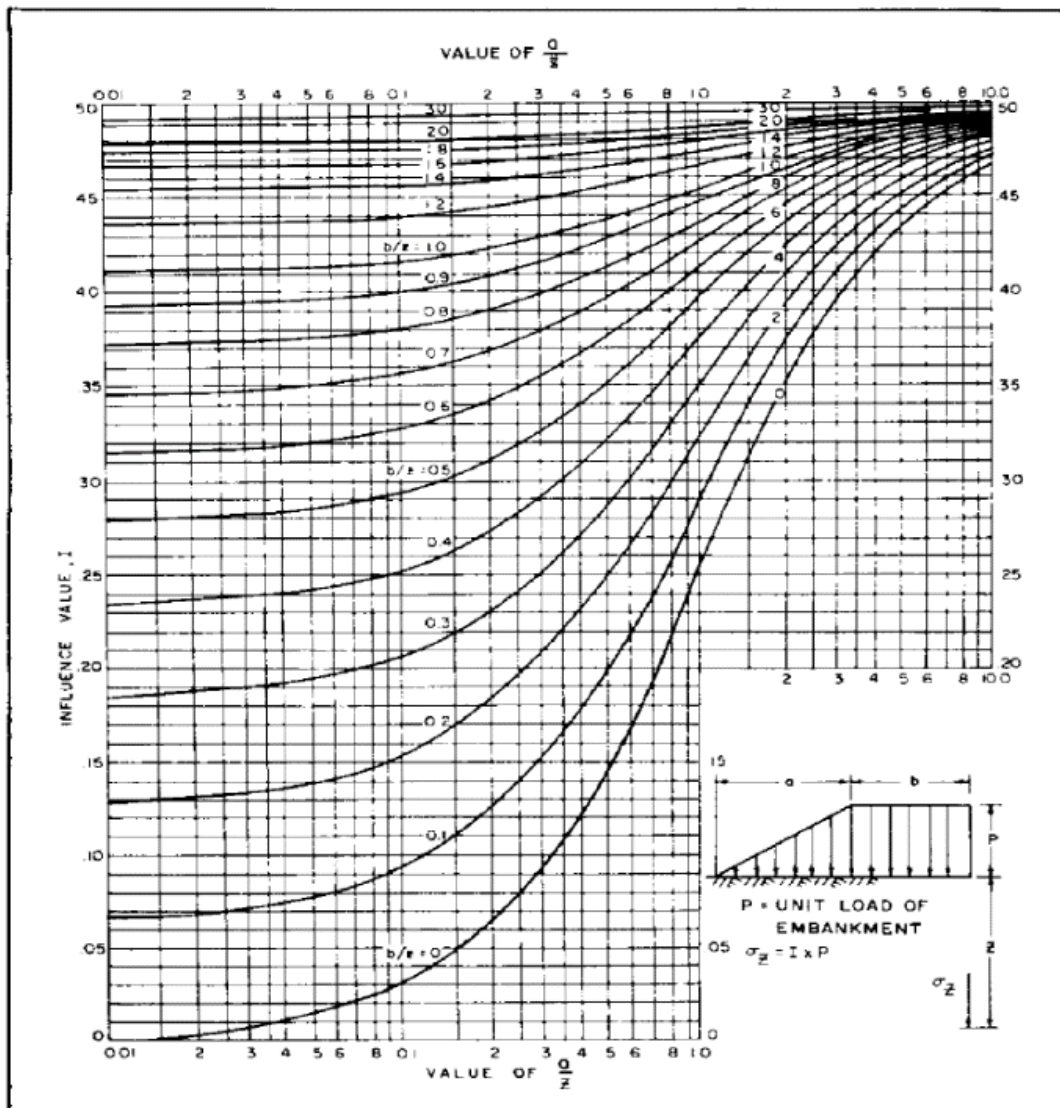


FIGURE 6
Influence Value for Vertical Stress Under Embankment Load of Infinite Length
(Boussinesq Case)

Gambar 2.4 Grafil untuk Menentukan Faktor pengaruh pada Beban Trapesium

Sumber: (NAVFAC DM - 7, 1970)

Semua persamaan pemampatan konsolidasi ini hanya berlaku untuk lapisan tanah yang *compressible*. Namun, jika lapisan tanah tersebut terdiri dari beberapa lapisan yang memiliki karakteristik konsolidasi yang berbeda, maka pemampatan konsolidasi total merupakan penambahan dari pemampatan konsolidasi masing-masing lapisan. Oleh karena itu, jumlah total pemampatan adalah:

$$S_c = \sum_{i=1}^n S_{c_i} \quad [2.6]$$

di mana:

n = jumlah lapisan tanah yang akan dihitung besar pemampatan konsolidasi.

Sc_i = besar pemampatan konsolidasi untuk lapisan ke-i

Indeks Kompresi (C_c) dan Indeks Mengembang (C_s) untuk menghitung besar pemampatan yang terjadi di lapangan sebagai akibat dari konsolidasi ditentukan dari hasil tes di laboratorium atau menggunakan rumus empiris yang dikembangkan oleh Kosasih dan Mochtar (1986) sebagai berikut:

$$\begin{aligned} C_c &= 0.006LL + 0.13e_0^2 - 0.13 \\ C_s &= 0.002LL + 0.12e_0^2 - 0.05 \end{aligned} \quad [2.7]$$

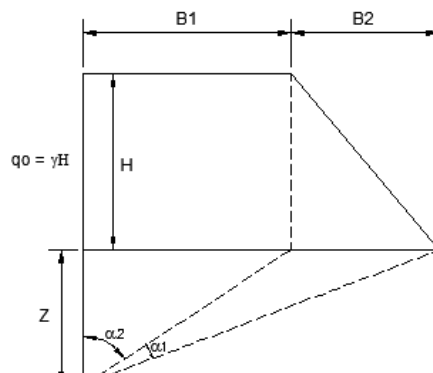
di mana:

LL = batas cair (%)

e_0 = angka pori

2.4.3 Perubahan tegangan (ΔP) pada Tanah

$\Delta\sigma'$ merupakan tambahan tegangan akibat pengaruh beban timbunan yang ditinjau di tengah-tengah lapisan. Menurut Braja M. Das (1986), dalam bukunya “*Principles of Foundation Engineering, Second Edition*” diagram tegangan tanah akibat timbunan adalah sebagai berikut:



Gambar 2.5 Visualisasi dan Notasi ΔP

Sumber: Braja M. Das (1986)

Besarnya Δp adalah:

$$\Delta p = \frac{q_0}{\pi} \times \left[\left(\frac{B1 + B2}{B2} \right) \times (a1 + a2) - \left(\frac{B1}{B2} \times a2 \right) \right] \quad [2.8]$$

dimana :

q_0 = beban timbunan (t/m^2) $\rightarrow q_0 = \gamma_{timb} \times h_{timb}$

Δp = besarnya tegangan akibat pengaruh beban timbunan yang ditinjau di tengah-tengah lapisan (t/m^2)

$\alpha_1 = \tan^{-1} \left(\frac{B_1 + B_2}{Z} \right) - \tan^{-1} \times \left(\frac{B_1}{Z} \right) (radian)$

$\alpha_2 = \tan^{-1} \times \left(\frac{B_1}{Z} \right) (radian)$

B_1 = $1/2$ lebar timbunan

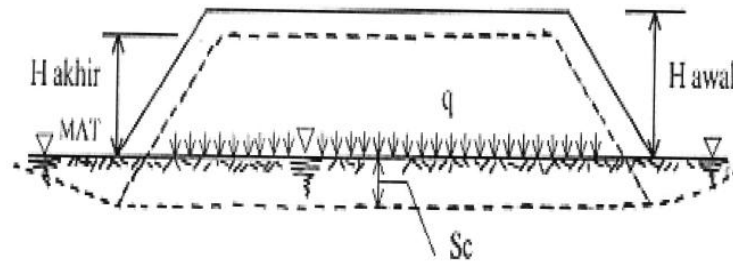
B_2 = panjang proyeksi horizontal kemiringan timbunan

Nilai Δp yang diperoleh adalah untuk $1/2$ bentuk timbunan sehingga untuk bentuk timbunan yang simetris, nilai I yang diperoleh harus dikali 2, dan berubah menjadi:

$$2\Delta p = 2 \times \Delta p$$

2.4.4 Tinggi Timbunan Awal ($H_{inisial}$ / H_{awal})

Setelah terjadi pemampatan pada tanah dasar, tinggi timbunan awal ($H_{inisial}$) yang direncanakan akan disesuaikan dengan tinggi timbunan akhir (H_{akhir}) yang diinginkan.



Gambar 2.6 Pengaruh Settlement (S_c) terhadap tinggi timbunan

Sumber: (Mochtar, 2012)

$$q_{akhir} = q = (H_{awal} - S_c) \gamma_{timb} + S_c (\gamma_{sat\ timb} - \gamma_w)$$

$$q = H_{awal} \cdot \gamma_{timb} - S_c \cdot \gamma_{timb} + S_c \cdot \gamma'_{timb}$$

$$q = H_{awal} \cdot \gamma_{timb} - S_c (\gamma_{timb} - \gamma')$$

$$Jadi, H_{awal-i} = \frac{q_i + S_{ci} (\gamma_{timb} - \gamma'_{timb})}{\gamma_{timb}}$$

$$H_{akhir-i} = H_{awal-i} - S_c \quad [2.9]$$

Untuk memastikan kesesuaian tersebut diperlukan perhitungan tinggi awal dan tinggi akhir untuk mengetahui besarnya penurunan (S_c) akibat beban yang bekerja. Tinggi timbunan awal pada saat pelaksanaan fisik biasanya berbeda dengan tinggi timbunan yang direncanakan. Oleh karena itu, penentuan tinggi awal selama pelaksanaan dengan

mempertimbangkan faktor penurunan akibat pemampatan dapat dihitung menggunakan rumus (Mochtar, 2012).

2.4.5 Kecepatan Waktu Konsolidasi

Secara umum tebal lapisan tanah yang mengalami pemampatan dinyatakan dengan simbol H , sedangkan panjang terjauh jalur aliran rembesan air disebut H_{dr} . Berdasarkan persamaan yang dikembangkan oleh Terzaghi (1984), waktu konsolidasi untuk lapisan tanah yang memampat tersebut dapat dihitung menggunakan rumus berikut:

$$t = \frac{T_v \cdot (H_{dr})^2}{C_v} \quad [2.10]$$

di mana:

T_v = faktor waktu (**Tabel 2.7**)

T = waktu konsolidasi (detik)

C_v = koefisien konsolidasi (cm^2/det)

H_{dr} = panjang aliran air terpanjang

Tabel 2.5 Faktor Waktu Terhadap Derajat Konsolidasi

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

Sumber: (Braja M. Das, 1995)

Pada lapisan tanah yang dibatasi oleh 2 (dua) lapisan yang lolos air (*permeable*), seperti pasir atau kerikil, panjang H_{dr} dianggap setengah dari tebal lapisan ($H_{dr} = \frac{1}{2}H$) Akan tetapi, bila lapisan sebelah bawah berupa lapisan kedap air, maka aliran rembesan dianggap hanya dapat menuju ke atas lapisan, sehingga panjang H_{dr} sama dengan tebal lapisan ($H_{dr} = H$)

Untuk tanah berlapis-lapis dengan ketebalan yang bervariasi, waktu konsolidasi dapat dihitung menggunakan rumus berikut (Mochtar, 2012),

$$Cv = \frac{(H_1 + H_2 + \dots + H_n)^2}{\left(\frac{H_1}{\sqrt{Cv_1}} + \frac{H_2}{\sqrt{Cv_2}} + \dots + \frac{H_n}{\sqrt{Cv_n}} \right)^2} \quad [2.11]$$

$$Cv_{1-n} = \frac{k \cdot (1 + e)}{C_c + \gamma_w} \quad [2.12]$$

di mana:

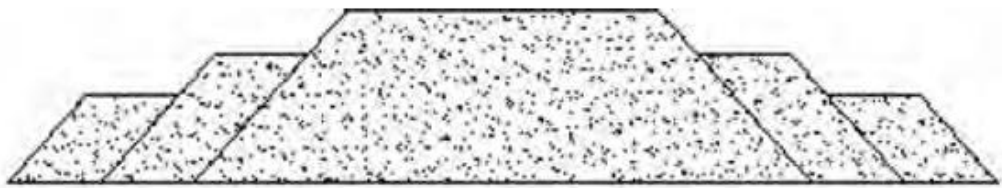
$H_1, H_2, \dots, H_n$ = tebal lapisan-lapisan tanah lempung yang mengalami pemampatan.

$Cv_1, Cv_2, \dots, Cv_n$ = harga Cv untuk masing-masing lapisan tanah yang bersangkutan.

2.5 Sistem Perbaikan Tanah

2.5.1 Timbunan dengan sistim *Counter weight*

Pada kondisi tanah dasar yang memiliki daya dukung sangat rendah dan area yang cukup luas, metode preloading dengan menggunakan counter weight dapat diterapkan sebagai solusi perbaikan tanah. Contoh penerapan metode ini dapat dilihat pada **Gambar 2.7**

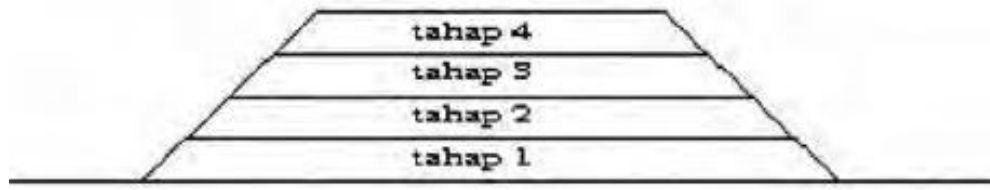


Gambar 2.7 Pemberian Preloading secara Counter Weight

2.5.2 Timbunan Bertahap

Pelaksanaan konstruksi timbunan secara bertahap dilakukan dengan menambahkan tanah timbunan dalam beberapa lapisan dalam rentang waktu tertentu. Metode ini bertujuan untuk mengurangi risiko kegagalan pada tanah dasar dengan memadatkan tanah dasar sebelum lapisan timbunan berikutnya diaplikasikan, sehingga stabilitas tanah dasar dapat ditingkatkan. Penambahan beban pada setiap lapisan mengacu pada ketinggian maksimum yang dapat ditahan, yang dikenal sebagai H kritis, untuk mencegah terjadinya kelongsoran.

Penentuan H kritis dapat dilakukan menggunakan perangkat lunak seperti Plaxis. Ilustrasi pemberian timbunan secara bertahap dapat dilihat pada **Gambar 2.8**



Gambar 2.8 Timbunan secara bertahap
Sumber: (Mochtar, 2012)

Untuk pembebanan secara bertahap, besar beban setiap tahapan adalah Δp . Adapun persamaan yang digunakan sebagai berikut :

1. Apabila $p'_o + \Delta p_1 \leq p_c$:

$$S_c = \frac{C_s \cdot H}{1 + e_0} \cdot \log \frac{p'_{o+\Delta p_1}}{p'_o} \quad [2.13]$$

2. Apabila $p'_o + \Delta p_1 + \Delta p_2 > p_c$:

$$S_c = \frac{C_s \cdot H}{1 + e_0} \cdot \log \frac{p'_c}{p'_o + \Delta p_1} + \frac{C_c \cdot H}{1 + e_0} \log \frac{p'_o + \Delta p_1 + \Delta p_2}{p'_c} \quad [2.14]$$

3. Apabila $p'_o + \Delta p_1 + \Delta p_2 + \Delta p_3 > p_c$:

$$S_c = \frac{C_c \cdot H}{1 + e_0} \cdot \log \frac{p'_o + \Delta p_1 + \Delta p_2 + \Delta p_3}{p'_o + \Delta p_1 + \Delta p_2} \quad [2.15]$$

C_c = Indeks pemampatan (compression index)

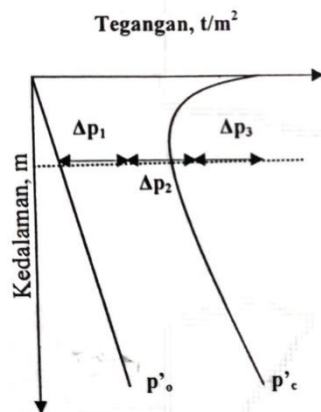
C_s = Indeks mengembang (swelling index)

P'_o = Tegangan efektif overburden

Δp = Perubahan tegangan akibat beban tahapan timbunan

e_o = Angka pori tanah dasar

Untuk memperjelas proses perubahan tegangan akibat penambahan beban secara bertahap, dapat dilihat pada **Gambar 2.9**.

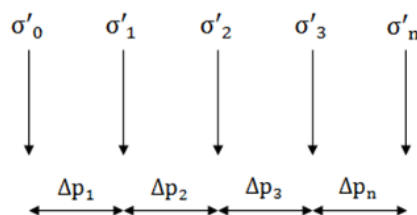


Gambar 2.9 Sketsa Diagram Perubahan tegangan Akibat Beban Bertahap

(Sumber : Modul Ajar Metode Perbaikan Tanah, 2012)

2.5.3 Kenaikan Daya Dukung Tanah Akibat Timbunan Bertahap

Sebagai akibat dari proses konsolidasi yang terjadi pada suatu lapisan tanah, kepadatan tanah akan meningkat, yang selanjutnya berdampak pada bertambahnya kekuatan geser tanah ditandai dengan naiknya nilai C_u (undrained shear strength). Apabila timbunan diaplikasikan secara bertahap, maka peningkatan daya dukung tanah juga akan berlangsung secara bertahap. Sebagai ilustrasi, jika tinggi timbunan pada setiap tahap adalah h_1, h_2, h_3 hingga h_n , dengan waktu pelaksanaan masing-masing tahap sebesar t_1, t_2, t_3 hingga t_n , dan derajat konsolidasi yang dicapai pada tiap tahapan adalah U_1, U_2, U_3 hingga U_n , maka kenaikan tegangan pada lapisan tanah yang dianalisis akibat penambahan beban tersebut dinyatakan sebagai $\Delta p_1, \Delta p_2, \Delta p_3$ hingga Δp_n (Modul Ajar Metode Perbaikan Tanah, 2012).



Gambar 2.10 Sketsa Perubahan tegangan Akibat Beban

(Sumber : Modul Ajar Metode Perbaikan Tanah, 2012)

Perubahan tegangan akibat beban bertahap dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut :

1. Δp_1 (perubahan tegangan) akibat tahap penimbunan 1, dari 0 m s.d. h_1 selama t_1 (derajat konsolidasi = U_1)

$$\Delta p_1 - U_1 = \left(\left(\frac{\sigma'_1}{p'_0} \right)^{U_1} \times p'_0 \right) - p'_0 \quad [2.16]$$

2. Δp_2 (perubahan tegangan) akibat tahap penimbunan 2, dari h_1 s.d. h_2 selama t_2 (derajat konsolidasi = U_2)

$$\Delta p_2 - U_2 = \left(\left(\frac{\sigma'_2}{\sigma'_1} \right)^{U_2} \times \sigma'_1 \right) - \sigma'_1 \quad [2.17]$$

3. Δp_3 (perubahan tegangan) akibat tahap penimbunan 3, dari h_2 s.d. h_3 selama t_3 (derajat konsolidasi = U_3)

$$\Delta p_3 - U_3 = \left(\left(\frac{\sigma'_3}{\sigma'_2} \right)^{U_3} \times \sigma'_2 \right) - \sigma'_2 \quad [2.18]$$

4. Δp_n (perubahan tegangan) akibat tahap penimbunan n , dari h_3 s.d. h_n selama t_n (derajat konsolidasi = U_n)

$$\Delta p_n - U_n = \left(\left(\frac{\sigma'_n}{\sigma'_{n-1}} \right)^{U_n} \times \sigma'_{n-1} \right) - \sigma'_{n-1} \quad [2.19]$$

Jadi, perubahan tegangan tanah di lapisan yang ditinjau menjadi :

$$\begin{aligned} \sigma'(H = h_n) = & \sigma'_0 + \left(\left(\frac{\sigma'_1}{p'_0} \right)^{U_1} \times p'_0 \right) - p'_0 + \left(\left(\frac{\sigma'_2}{\sigma'_1} \right)^{U_2} \times \sigma'_1 \right) - \sigma'_1 + \\ & \left(\left(\frac{\sigma'_3}{\sigma'_2} \right)^{U_3} \times \sigma'_2 \right) - \sigma'_2 + \left(\left(\frac{\sigma'_n}{\sigma'_{n-1}} \right)^{U_n} \times \sigma'_{n-1} \right) - \sigma'_{n-1} \end{aligned} \quad [2.20]$$

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Ardana dan Mochtar (1999) Nilai C_u tanah saat tercapainya tinggi $H = h_n$ adalah :

- Untuk harga Plasticity Index (PI) < 120 %

$$C_u = [0,0737 + (0,1899 - 0,0016 \text{ PI})] \times \sigma'_{H=h_n} \quad [2.21]$$

- Untuk harga Plasticity Index (PI) ≥ 120 %

$$C_u = [0,0737 + (0,0454 - 0,00004 \text{ PI})] \times \sigma'_{H=h_n} \quad [2.22]$$

2.6 Percepatan Waktu Pemampatan

Pada kondisi tanah yang membutuhkan waktu pemampatan konsolidasi yang sangat lama diperlukan suatu metode untuk mempercepat proses tersebut. Salah satu cara yang umum digunakan adalah dengan memperpendek jalur aliran air pori sehingga air dapat keluar lebih cepat dari dalam tanah. Untuk tujuan ini, biasanya digunakan saluran vertikal yang memiliki permeabilitas tinggi seperti (*vertical drain*), guna mempercepat laju konsolidasi tanah.

2.6.1 *Prefabricated Vertical Drain (PVD)*

Salah satu metode yang dapat digunakan untuk mempercepat proses pemampatan tanah adalah dengan menerapkan *Prefabricated Vertical Drain (PVD)* yaitu material drainase vertikal yang dipasang hingga mencapai kedalaman lapisan tanah yang bersifat *compresibel*. Ketika beban awal (*preloading*) diberikan di atas tanah, butiran tanah mengalami pemampatan dan tekanan air pori berlebih meningkat. Tekanan ini mendorong air pori keluar dari dalam tanah melalui jalur drainase terpendek yaitu melalui PVD yang telah dipasang, sehingga proses konsolidasi berlangsung lebih cepat.

Prefabricated Vertical Drain (PVD) tersusun atas dua komponen utama, yaitu inti (*core*) dan selubung (*jacket* atau filter). Bagian inti berfungsi untuk memfasilitasi aliran air pori dari lapisan tanah yang dalam menuju ke permukaan, sedangkan bagian selubung berfungsi sebagai pelindung dan penyaring, agar butiran tanah tidak masuk ke dalam sistem drainase. Proses aliran dimulai ketika air pori masuk ke dalam celah-celah pada bagian inti PVD, kemudian dialirkan ke permukaan melalui saluran vertikal tersebut. Selanjutnya air akan diteruskan keluar melalui pori-pori timbunan atau melalui saluran drainase horizontal. Ilustrasi detail mengenai mekanisme ini dapat dilihat pada **Gambar 2.11** dan **Gambar 2.12** (Dukungan Material dan Peralatan Pemasangan Vertikal Drain, 2015).



Gambar 2.11 *Prefabricated Vertical Drain (PVD)*
(Sumber : PT Teknindo Geosistem Unggul, 2015)

PVD yang memiliki bentuk penampang persegi biasanya disederhanakan menjadi bentuk lingkaran melalui pendekatan diameter ekivalen (d_w). Dalam kondisi umum, nilai d_w dianggap tidak dipengaruhi oleh kondisi tanah di bawah permukaan maupun dampak dari proses pemasangan. Oleh karena itu, d_w ditentukan semata-mata berdasarkan bentuk (konfigurasi) serta geometri drainase itu sendiri. Nilai diameter ekivalen ini digunakan dalam perencanaan dan dapat dihitung menggunakan rumus tertentu sesuai dengan karakteristik dimensi drain yang digunakan.:

$$d_w = \frac{(a + b)}{\pi} \quad [2.23]$$

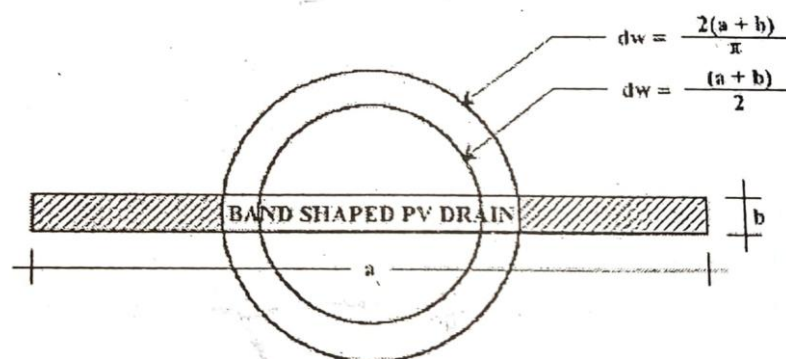
Dimana :

d_w = Diameter *equivalen* dari vertikal drain

a = Lebar (*width*)

b = Tebal (*Thickness*)

π = 3/14



Gambar 2.12 Equivalent Diameter (d_w) untuk PVD

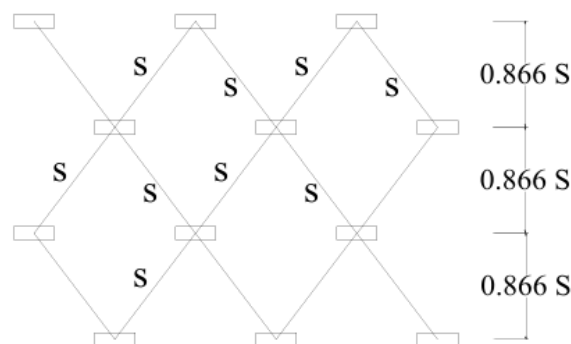
2.6.2 Menentukan Kedalaman Optimal PVD

Pemasangan PVD dapat dilakukan hingga mencapai seluruh lapisan tanah yang bersifat *compressible* guna mengurangi penurunan akibat proses konsolidasi. Namun, dengan mempertimbangkan efisiensi biaya dan waktu pelaksanaan pemasangan PVD tidak selalu harus menembus seluruh ketebalan tanah *compressible*. Hal ini dapat dibenarkan apabila laju penurunan tanah (*rate of settlement*) setelah proses konsolidasi selesai tetap berada di bawah batas toleransi yaitu tidak lebih dari 1,5 cm per tahun. Untuk menentukan kedalaman pemasangan PVD yang optimal dapat dilakukan evaluasi dengan mencoba beberapa alternatif kedalaman lalu menghitung besarnya pemampatan residual yang masih

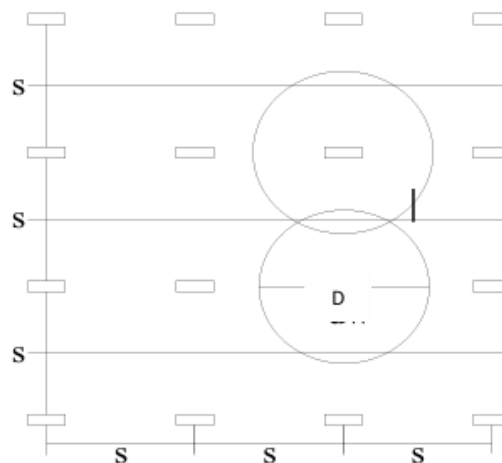
mungkin terjadi hingga diperoleh nilai laju penurunan tahunan yang memenuhi batas tersebut (Dukungan Material dan Peralatan Pemasangan Vertikal Drain, 2015).

2.6.3 Pola Pemasangan PVD

Saat ini terdapat dua jenis pola umum dalam pemasangan *Prefabricated Vertical Drain* (PVD), yaitu pola segitiga dan pola segiempat sebagaimana ditampilkan pada **Gambar 2.14** dan **Gambar 2.13**. Pola segitiga merujuk pada konfigurasi titik-titik pemasangan PVD yang membentuk susunan segitiga, sedangkan pola segiempat menunjukkan susunan titik-titik PVD yang membentuk kisi persegi. Jika dilihat dari cakupan area drainase air pori yang dihasilkan pola segitiga dinilai lebih efektif karena area pengaruh dari masing-masing drain lebih saling beririsan sehingga menyisakan sedikit zona yang tidak terdrainase. Sebaliknya, pola segiempat memiliki cakupan area yang lebih terbatas antar titik drain sehingga memungkinkan terbentuknya area tak terdrainase yang lebih luas yang pada akhirnya dapat mengurangi efektivitas proses konsolidasi. Namun demikian, pola segiempat lebih sering digunakan di lapangan karena pelaksanaannya lebih sederhana dan efisien secara waktu dan tenaga kerja.



Gambar 2.13 Pola Susunan Segitiga, $D = 1,05 S$



Gambar 2.14 Pola Susunan Bujur Sangkar, $D = 1,13 S$

2.6.4 Waktu Percepatan Pemampatan dengan PVD

Waktu pemampatan tanah yang dipercepat dengan bantuan PVD memungkinkan terjadinya aliran air pori selama berlangsungnya kompresi tanah sebagaimana ditunjukkan pada **Gambar 2.15**.



Gambar 2.15 Pemampatan dengan Menggunakan PVD

Dengan menganggap koefisien pemampatan arah horisontal melalui PVD adalah C_h dan jarak titik PVD adalah S maka persamaan untuk waktu pemampatan menggunakan PVD adalah:

$$t = \frac{T \times S^2}{C_h} \quad [2.24]$$

Dimana nilai $C_h \approx 1 - 3C_v$

Sistem drainase vertikal pertama kali dikembangkan oleh Barron (1948) berdasarkan teori aliran vertikal dalam material berbutir yang mengacu pada asumsi pemampatan satu dimensi linier menurut Terzaghi. Dalam teori tersebut, dijelaskan hubungan antara waktu konsolidasi, diameter drainase, jarak antar drain, koefisien konsolidasi, serta rata-rata derajat konsolidasi yang dicapai. Berdasarkan teori ini rumus untuk menentukan waktu konsolidasi dapat dirumuskan dalam bentuk persamaan matematis.

$$t = \frac{D^2}{8 \times C_h} \times F(n) \times \ln \frac{1}{1 - U_h} \quad [2.25]$$

$$\bar{U}_h = \left[1 - \left(\frac{1}{e^{\left(\frac{tx8xCh}{D^2x2xF(n)} \right)}} \right) \right] \quad [2.26]$$

t = waktu untuk menyelesaikan konsolidasi primer

D = diameter ekivalen dari lingkaran tanah yang merupakan daerah pengaruh drain vertikal

C_h = koefisien konsolidasi tanah arah horisontal

U_h = derajat konsolidasi tanah arah horizontal

Persamaan konsolidasi yang dikemukakan oleh Barron kemudian disempurnakan oleh Hansbo (1979) agar lebih sesuai untuk analisis pada sistem *Prefabricated Vertical Drain* (PVD). Meskipun secara prinsip mendekati teori Barron, pendekatan yang dikembangkan oleh Hansbo disederhanakan dengan mempertimbangkan dimensi fisik dan karakteristik material dari PVD sehingga lebih aplikatif dalam perencanaan perkuatan tanah lunak menggunakan drainase vertikal prefabrikasi.

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

$$F(n) = \left(\frac{n^2}{n^2 - 1^2} \right) \left[\ln(n) - \frac{3}{4} - \left(\frac{1}{4n^2} \right) \right] \quad [2.27]$$

Pada umumnya $n > 20$ sehingga dapat dianggap bahwa

$$1/n = 0 \text{ dan } \left(\frac{n^2}{n^2 - 1^2} \right) \approx 1$$

$$\text{Jadi : } F(n) = \ln(n) - \frac{3}{4} \text{ atau } F(n) = \ln\left(\frac{D}{d_w}\right) - \frac{3}{4}$$

Dimana :

d_w = diameter ekivalen dari PVD

Selain konsolidasi arah horisontal, juga terjadi konsolidasi arah vertical (U_v). Nilai U_v dicari dengan persamaan sebagai berikut :

$$T_v = \frac{t \times C_v}{(H_d)^2} \quad [2.28]$$

Dimana :

T_v = faktor waktu

t = waktu sembarang yang dipilih

C_v = harga C_v tanah pada lapisan setebal panjang PVD

H_d = panjang PVD Harga U_v dicari dengan persamaan :

Nilai U_v dicari dengan persamaan :

$$U_v = \left(2 \sqrt{\frac{T_v}{\pi}} \right) \times 100\% \quad [2.29]$$

Derajat konsolidasi total dapat dicari dengan cara :

$$U_{Total} = [1 - (1 - U_h) \times (1 - U_v)] \times 100\% \quad [2.30]$$

2.7 Stabilitas Lereng Timbunan

Lereng timbunan umumnya dimanfaatkan pada jalan raya, jalur kereta api, dan bendungan tanah (SNI 8460:2017). Karakteristik lereng timbunan dipengaruhi oleh jenis tanah, metode penimbunan, serta tingkat kepadatan tanah.

2.7.1 Kriteria Faktor Keamanan

Analisis stabilitas timbunan bertujuan untuk menentukan angka Keamanan atau *Safety Factor* (SF) dari timbunan. Berdasarkan SNI 8460: 2017 Pasal 7.5.5, nilai SF ditentukan sesuai dengan ketentuan yang tercantum **Tabel 2.6**

Tabel 2.6 Nilai Faktor Keamanan untuk Lereng Tanah

Biaya dan konsekuensi dari kegagalan lereng	Tingkat ketidakpastian kondisi analisis	
	Rendah	Tinggi
Biaya perbaikan sebanding dengan biaya untuk merancang lereng yang lebih konservatif	1,25	1,5
Biaya perbaikan lebih besar dengan biaya untuk merancang lereng yang lebih konservatif	1,5	2,0 atau lebih

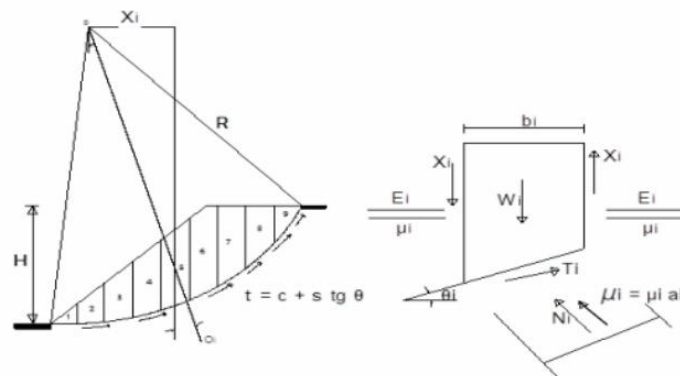
Sumber: SNI 8460:2017

2.8 Analisa Lereng Tanah

Pendekatan analisis stabilitas lereng biasanya didasarkan pada kesetimbangan batas (*limit equilibrium*), metode numerik seperti elemen hingga, dan teori batas plastis. Pada metode *limit equilibrium*, pemodelan umumnya hanya berlaku untuk lapisan tanah yang sederhana dan tidak dapat merepresentasikan tahapan konstruksi. Sebaliknya, metode numerik memungkinkan pemodelan yang lebih kompleks dan mampu menggambarkan tahapan konstruksi. Perbedaan pendekatan pada kedua metode ini dapat menghasilkan nilai Faktor Keamanan (SF) yang berbeda.

2.8.1 Analisis berdasarkan Metode Fellenius

Metode ini pertama kali diperkenalkan oleh Fellenius pada tahun 1927, dengan anggapan bahwa gaya-gaya yang bekerja dari sisi kanan hingga sisi kiri suatu irisan memiliki resultan nol pada arah tegak lurus bidang longsor. Dalam metode ini, keruntuhan diasumsikan terjadi akibat rotasi blok tanah pada permukaan longsor berbentuk lingkaran dengan titik O sebagai pusat rotasi. Gaya normal P dianggap bekerja di tengah-tengah irisan. Selain itu, resultan gaya-gaya antar irisan diasumsikan nol atau dengan kata lain pengaruh gaya antar irisan diabaikan.



Gambar 2.16 Gaya yang bekerja pada metode Fellenius

Sumber: (Braja M. Das, 1993)

Metode Fellenius, yang digunakan untuk analisis stabilitas lereng tanpa pengaruh air tanah, memiliki rumus dasar sebagai berikut:

$$SF = \frac{C \times L + \tan \phi \times \sum (W_i \cos \alpha_i)}{\sum (W_i \sin \alpha_i)} \quad [2.31]$$

Dimana

SF = faktor keamanan

C = kohesi (kN/m^2)

ϕ = sudut geser dalam (derajat)

α_i = sudut bidang gelincir pada tiap irisan (derajat)

W_i = berat tiap irisan tanah pada irisan ke - i (kN)

L = Lebar irisan (m)

Metode Fellenius menghasilkan faktor keamanan yang cenderung lebih rendah dibandingkan dengan metode elemen hingga. Tingkat kesalahan dalam perhitungan bergantung pada nilai faktor keamanan, sudut pusat lingkaran yang digunakan, serta tekanan

air pori yang terjadi. Namun, karena metode ini memiliki perhitungan yang sederhana, kesalahan yang muncul tetap berada dalam batas yang dapat diterima.

2.8.2 Analisa berdasarkan Metode Bishop

Analisis yang dikembangkan oleh A.W. Bishop (1955) menggunakan pendekatan elemen, di mana setiap gaya yang bekerja pada elemen dihitung secara detail. Metode ini menerapkan persyaratan keseimbangan pada elemen-elemen yang menyusun lereng (B. M. ; E. N. M. I. B. Das, 1993). Faktor keamanan terhadap keruntuhan didefinisikan sebagai rasio antara kekuatan geser maksimum tanah pada bidang longsoran (*S tersedia*) dengan tahanan geser yang dibutuhkan untuk mencapai kondisi keseimbangan (*S perlu*) (SKBI-2.3.06, 1987).

$$FK = \frac{S_{tersedia}}{S_{perlu}} \quad [2.32]$$

Bila kekuatan geser tanah adalah :

$$S_{tersedia} = C'(-)tan' = C' + 'tan'$$

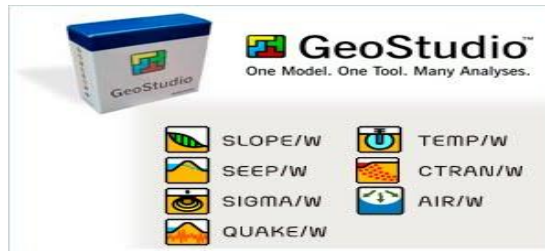
Maka tahanan geser yang diperlukan untuk keseimbangan adalah :

$$FK = \frac{\sum \frac{1}{m} (C'l + (W - \mu l) \tan \phi)}{W \sin \alpha} \quad [2.33]$$

Metode penyelesaian penelitian ini menggunakan pendekatan coba ulang (trial and error) untuk mempercepat perhitungan faktor keamanan (FK) (SKBI-2.3.06, 1987). Namun, metode ini dapat menghasilkan FK yang tidak realistis, terutama jika sudut negatif pada lereng bawah mendekati 30°, lingkaran longsoran sangat dalam, atau pusat rotasi dekat dengan puncak lereng. Akibatnya, nilai FK sering kali lebih tinggi dibandingkan metode Fellenius.

2.8.3 Analisis berdasarkan Konsep Keseimbangan Batas

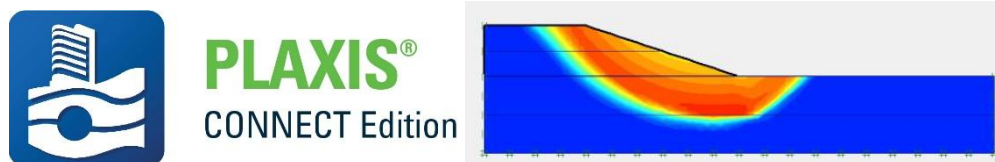
Menurut SNI 8460:2017, metode keseimbangan batas merupakan pendekatan yang didasarkan pada keseimbangan gaya dan momen dengan mempertimbangkan berbagai asumsi, seperti bentuk dan lokasi bidang keruntuhan serta arah dan besar gaya antar irisan. Metode ini banyak diterapkan dalam perangkat lunak geoteknik, salah satunya adalah GeoStudio. Perangkat lunak ini yang digunakan untuk analisis geoteknik, mencakup berbagai aplikasi seperti stabilitas lereng, aliran air tanah, konsolidasi, dan tegangan-deformasi tanah. Salah satu modul dalam GeoStudio yang digunakan untuk menganalisis stabilitas lereng adalah SLOPE/W, yang menggunakan metode keseimbangan batas dengan pendekatan dari para ahli seperti Janbu, Bishop, dan Fellenius (GeoStudio, 2023).



Gambar 2.17 Aplikasi Geostudio
Sumber: (kampfee.wordpress.com)

2.8.4 Analisis berdasarkan Metode Elemen Hingga

PLAXIS adalah perangkat lunak elemen hingga yang dirancang untuk analisis deformasi, safety factor, dan stabilitas dua dimensi dalam rekayasa geoteknik. Perangkat lunak ini memodelkan kondisi tanah, struktur, dan interaksinya dengan akurasi tinggi, termasuk tekanan hidrostatik dan non-hidrostatik. Dalam studi ini, PLAXIS digunakan untuk menganalisis stabilitas timbunan pada oprit jembatan yang diperkuat dengan kantilver wall dan geotextile, menggunakan data geoteknik dari hasil investigasi lapangan dan laboratorium, seperti kohesi (c), sudut geser dalam (ϕ), modulus elastisitas (E), dan berat jenis tanah (γ). (Rumbyarso & Pribadi, 2024)



Gambar 2.18 Aplikasi PLAXIS
Sumber: (geoengineer)

2.9 Perkuatan Timbunan Oprit Jembatan dengan *Geotextile*

Selain melalui percepatan proses konsolidasi pada tanah dasar untuk meningkatkan daya dukung tanah, salah satu alternatif metode perkuatan yang dapat digunakan adalah dengan memanfaatkan material geotextile.

2.9.1 Bahan Geosynthetic

Menurut ICI Fibres (1986), geosynthetic didefinisikan sebagai bahan sintetik yang digunakan dalam lingkungan tanah (geo), atau material buatan yang diaplikasikan pada pekerjaan teknik sipil yang melibatkan tanah. Seiring perkembangannya, berbagai jenis geosynthetic telah dikembangkan untuk memenuhi fungsi dan kebutuhan yang berbeda. Beberapa jenis utama geosynthetic menurut ICI Fibres (1986) adalah:

1. Geotextile: Material berbentuk tekstil atau rajutan yang bersifat permeabel atau tembus air.
2. Geogrid: Material berbentuk anyaman dengan pola grid besar menyerupai jaring.
3. Geomembrane: Material berupa lapisan tipis yang kedap air dan berfungsi seperti membran.
4. Geo-linear element: Material berbentuk lajur tunggal, baik pipih maupun menyerupai pipa, yang umumnya digunakan untuk memperkuat tanah.
5. Geocomposite: Material gabungan dari dua atau lebih jenis geosynthetic yang berbeda, atau kombinasi dengan bahan sintetik lain yang tidak termasuk dalam empat kategori sebelumnya.

Secara umum, geosynthetic memiliki lima fungsi utama, yaitu:

1. Separator: Berperan sebagai pemisah antara dua lapisan tanah atau antara tanah dan cairan untuk mencegah tercampurnya kedua lapisan tersebut.
2. Drainase: Berfungsi sebagai saluran pengalir air tanah yang efektif.
3. Penyaring (Filter): Bertindak sebagai penyaring partikel tanah halus untuk mencegah terbawanya partikel oleh aliran air tanah.
4. Pengendalian erosi dan perlindungan: Digunakan untuk mengendalikan erosi serta melindungi tanah dari longsoran.
5. Perkuatan (Reinforcement): Berfungsi untuk memperkuat tanah.

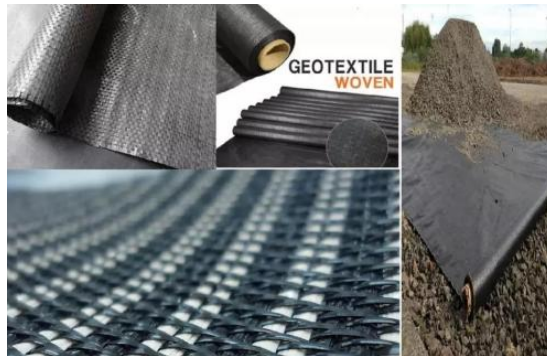
Pada praktiknya, bahan geosynthetic sering kali digunakan untuk memenuhi lebih dari satu fungsi secara bersamaan.

2.9.2 Tipe Geotextile

Dalam pelaksanaan proyek akhir ini, jenis perkuatan tanah yang digunakan adalah geotextile. Geotextile merupakan salah satu jenis geosintetik yang terbuat dari bahan dasar sintetik. Secara umum geotextile bersifat tembus air dan dipasang bersama dengan pondasi, tanah, batuan, atau material geoteknik lainnya. Proses pembuatan geotextile melibatkan penggabungan struktur tekstil lembaran menjadi elemen tekstil. Elemen tersebut biasanya berbentuk filamen (serat kontinu) atau serat pendek (stable fiber). Berdasarkan metode pembuatannya geotextile dapat diklasifikasikan menjadi beberapa jenis.

a. *Geotextile Woven*

Geotextile woven atau geotextile anyam merupakan jenis geotextile yang memiliki kekuatan tarik tinggi. Oleh karena itu, jenis ini banyak digunakan di lapangan sebagai perkuatan lapisan dan pemisah lapisan. Sebagai perkuatan lapisan geotextile ini berfungsi sebagai penguat tanah, sedangkan sebagai pemisah lapisan memisahkan antara tanah lunak dengan tanah keras. Berikut contoh gambar geotextile woven di lapangan dapat dilihat pada **Gambar 2.19**.



Gambar 2.19 Geotextile Woven
Sumber: primatex.co.id

b. *Geotextile Non-Woven*

Geotextile non-woven atau geotextile nir-anyam merupakan material penyaring berbentuk seperti kain karpet yang biasanya terbuat dari polimer polyester atau polypropylene. Material ini umumnya digunakan sebagai filter untuk mencegah partikel tanah terbawa oleh aliran air. Berikut contoh gambar geotextile woven di lapangan dapat dilihat pada **Gambar 2. 20**.



Gambar 2. 20 Geotextile Non Woven
(Sumber: PT. Pandu Equator Prima, 2023)

2.9.3 Perencanaan Timbunan dengan *Geotextile*

Geotextile merupakan salah satu jenis material geosintetik yang paling umum digunakan dalam bidang teknik sipil. Aplikasi geotextile yang paling sering dijumpai meliputi:

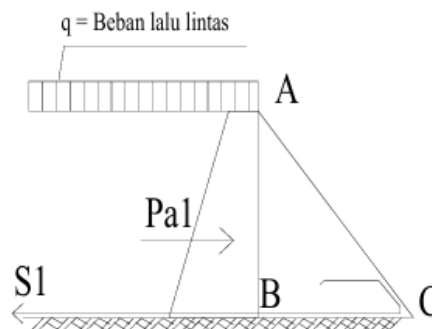
- Perkerasan jalan tanah bersifat sementara
- Perkerasan jalan permanen
- Pelapisan ulang perkerasan aspal
- Timbunan tanah (*embankment*)
- Perkuatan lereng atau talud

Dalam perencanaan penggunaan geotextile pada struktur timbunan (*embankment*), perlu dilakukan analisis terhadap aspek stabilitas, yang mencakup:

1. Internal Stability
2. Overall Stability

2.9.3.1 Internal Stability

Pada **Gambar 2.21** stabilitas internal dinyatakan tercapai apabila lereng AC tidak mengalami kelongsoran. Sistem stabilisasi internal berfungsi untuk memperkuat tanah agar



Gambar 2.21 Kondisi *Internal Stability*

memenuhi syarat kestabilan yang diperlukan. Sejak tahun 1960 terdapat dua metode yang umum diterapkan di lapangan, yaitu tanah diperkuat (*reinforced soils*) dan perkuatan di tempat (*in-situ reinforcement*).

Reinforced soil adalah metode perkuatan tanah dengan menambahkan material penguat secara bersamaan saat proses pengurugan berlangsung, sedangkan *in-situ reinforcement* merupakan metode yang dilakukan dengan memasukkan material perkuatan ke dalam tanah yang telah ada di lokasi. Hal yang harus diperhatikan pada *internal stability*:

1. Syarat Tidak Terjadi *Failure* di Lereng AC

$$Pa_1 \leq \frac{(Berat\ efektif\ ABC) \times \tan \delta}{SF} \quad [2.34]$$

Dimana :

$$\delta = \text{sudut geser antara tanah timbunan dan material geotextile} \approx 0$$

SF = 1,35 untuk jalan sementara

= 1,5 untuk jalan permanen

$$K_a = \tan^2(45 - \frac{\phi}{2})$$

2. Syarat Kekuatan Bahan

$$Pa_1 \leq S_i \quad [2.35]$$

Dimana :

$$S_i = \text{kekuatan tarik material geotextile yang diijinkan } (T_{allowabl})$$

3. Jarak Vertikal Pemasangan Geotextile (S_v)

$$Sv = \frac{Tall}{SF \times \sigma_{Hz} \times 1} \quad [2.36]$$

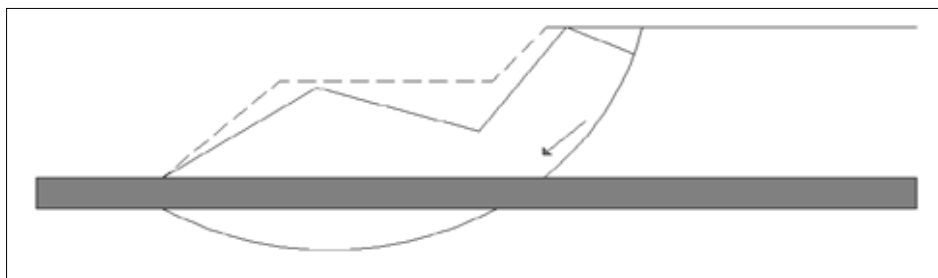
Dimana :

σ_{HZ} = Tegangan horizontal pada kedalaman Z

$$\text{SF} = 1,35 - 1,5$$

2.9.3.2 Overall Stability

Overall Stability adalah analisis stabilitas yang mencakup pembentukan bidang longsor antara material timbunan dan tanah dasar, seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 2.23**. Gaya-gaya yang memengaruhi *overall stability* dapat dilihat pada **Gambar 2.22**. Untuk menghitung angka keamanan pada analisis *overall stability* dapat digunakan model irisan Bishop (1955) dengan bantuan perangkat lunak



Gambar 2.22 Gaya-Gaya yang Bekerja untuk Overall Stability

(Sumber: Mochtar, 2000)

$$= y_o - y_c$$

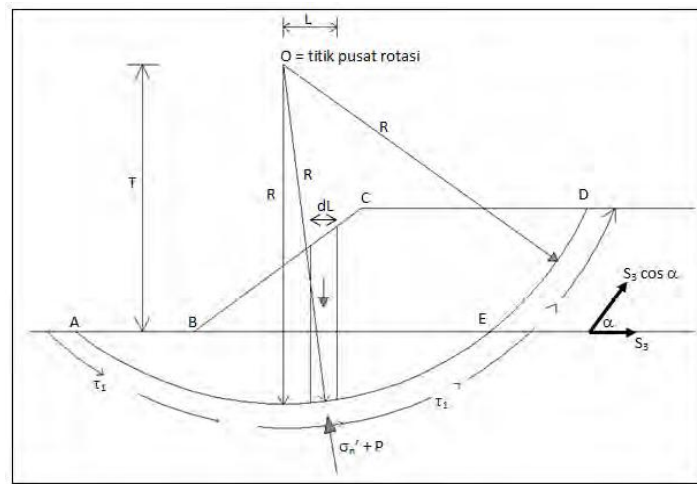
dengan:

y_o = koordinat titik pusat rotasi

y_c = kooordinat titik yang ditinjau

τ = tegangan geser *geotextile* dengan tanah asli

$$= C_u + \sigma v. \tan \theta$$



Gambar 2.23 Model Kelongsoran untuk Overall Stability

dengan:

C_u = tegangan geser tanah asli

σv = tegangan vertikal timbunan

θ = tegangan geser tanah

Adapun syarat dari *overall stability* yang harus dipenuhi adalah sebagai berikut:

$$M_R = (M_D \times SF) + \Delta M_R$$

$$SF = M_R - \frac{\Delta M_R}{M_D} \quad [2.37]$$

dimana ,

M_D = Momen penggerak = (berat segmen busur ABCDEA) x jarak pusat berat ABCDEA terhadap O.

M_R = Momen penahan

ΔM_R = Momen penahan tambahan yang ditahan oleh *geotextile*

$SF_{min} \geq 1.25$ (*beban tetap*); $SF_{min} \geq 1.1$ (*beban sementara*) (Mochtar,2000)

Syarat kekuatan bahan S_1/T_{allow}

$$T_{allow} = \frac{T_{ultimate}}{SF} \quad [2.38]$$

T_{allow} = Kekuatan tarik *geotextile* (kN/m^2)

$T_{ultimate}$ = kekuatan tarik bahan *geotextile* (kN/m^2)

$SF = SF_{ID} \times SF_{CR} \times SF_{CD} \times SF_{BD}$ (**Tabel 2.7**)

dimana,

SF_{ID} = angka keamanan untuk kesalahan pemasangan (*installation damage*)

SF_{CR} = angka keamanan untuk *creep*

SF_{CD} = angka keamanan untuk *chemical degradation*

SF_{BD} = angka keamanan untuk *biological degradation*.

Bila syarat ini tidak terpenuhi, digunakan beberapa lapis bahan

Tabel 2.7 Angka Keamanan untuk Menghitung Tallow

Application Area	Harga angka keamanan yang disarankan			
	Terhadap Installation Damage (FS_{ID})	Terhadap Creep (FS_{CR})	Terhadap Chemical Degradation (FS_{CD})	Terhadap Biological Degradation (FS_{BD})
Separation	1,1 – 2,5	1,0 – 1,2	1,0 – 1,5	1,0 – 1,2
Cushioning	1,1 – 2,0	1,2 – 1,5	1,0 – 2,0	1,0 – 1,2
Unpaved Road	1,1 – 2,0	1,5 – 2,5	1,0 – 1,5	1,0 – 1,2
Walls	1,1 – 2,0	2,0 – 4,0	1,0 – 1,5	1,0 – 1,3
Embankment	1,1 – 2,0	2,0 – 3,0	1,0 – 1,5	1,0 – 1,3
Bearing Capacity	1,1 – 2,0	2,0 – 40	1,0 – 1,5	1,0 – 1,3
Slope Stabilization	1,1 – 1,5	1,5 – 2,0	1,0 – 1,5	1,0 – 1,3
Pavement Overlay	1,1 – 1,5	1,0 – 1,2	1,0 – 1,5	1,0 – 1,1
Rail Load	1,5 – 3,0	1,0 – 1,5	1,5 – 2,0	1,0 – 1,2
Flexible Forms	1,1 – 1,5	1,5 – 3,0	1,0 – 1,5	1,0 – 1,1
Silt Fences	1,1 – 1,5	1,5 – 2,5	1,0 – 1,5	1,0 – 1,1

Untuk menghitung kebutuhan panjang Geotextile di belakang bidang longsor (L_e), di depan bidang longsor (L_d), dan panjang lipatan (L_o) digunakan persamaan berikut :

$$L_e = \frac{(T_{allow} \times SF_{renc})}{[(\tau_1 + \tau_2) \times E]} \quad [2.39]$$

Dimana :

T_{allow} = kekuatan tarik yang diijinkan (tereduksi oleh faktor-faktor)

SF = faktor keamanan (rencana)

E = efisiensi, diambil $E = 0,8$

τ_1 = tegangan geser antara *geotextile* dengan tanah timbunan
 $(\tau_1 = Cu_1 + \sigma_v \tan \phi_1)$

τ_2 = tegangan geser antara *geotextile* dengan tanah dasar
 $(\tau_2 = Cu_2 + \sigma_v \tan \phi_2)$

L_d = Panjang geotextile di depan bidang longsor (koordinat-X bidang longsor lapisan I geotextile terpasang) – (koordinat tepi timbunan lapisan I geotextile dipasang).

S_v = jarak antar geotextile

L_o = $\frac{1}{2} L_e$

Panjang Geotextile yang ditanam (L) :

$$L = L_e + L_d + S_v + L_o$$

Untuk menghitung besar Momen penahan *geotextile* dapat dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$M_{geotextile} = T_{allow} \times T_i$$

Dimana :

T_{allow} = Kekuatan tarik *geotextile* (kN/m^2)

T_i = Jarak vertikal antara *geotextile* dengan pusat bidang longsor (m)

Dan dalam perencanaan kekuatan Tambahan Momen Penahan (ΔMR), seperti pada persamaan berikut:

$$\sum M > \Delta MR$$

Dimana :

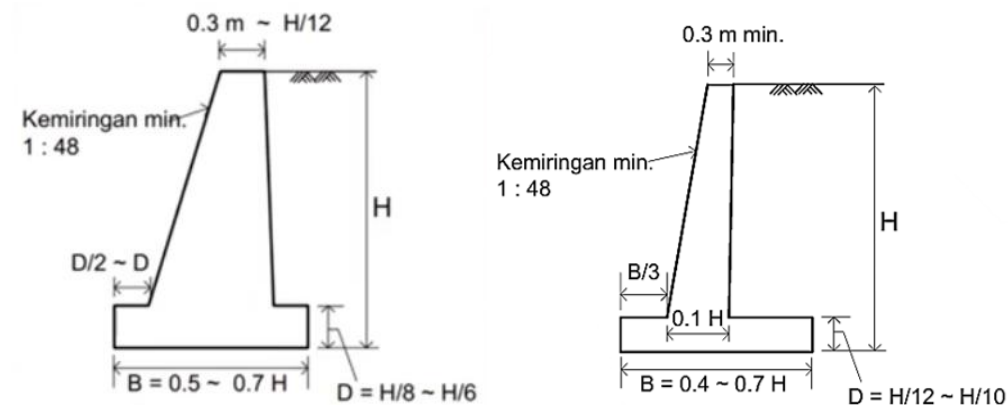
$\sum M$ = total seluruh momen penahan *geotextile*.

ΔMR = nilai tambahan momen penahan.

2.10 Perkuatan Tanah dengan *Retaining Wall*

Retaining wall atau dinding penahan tanah merupakan struktur yang berfungsi menahan tekanan lateral tanah serta mencegah longsor akibat beban air hujan, berat tanah, maupun beban lain di atasnya. Struktur ini berperan penting dalam menjaga stabilitas tanah dan mencegah kerusakan infrastruktur. Terdapat berbagai jenis dinding penahan tanah, seperti bronjong, tembok penahan (gravitasi, semi gravitasi, atau beton), sumuran, tiang (pancang, bor, turap baja), tanah bertulang dan dengan penopang isian batu (buttress). Pada analisis ini, digunakan dinding penahan tanah tipe kantilever sebagai alternatif dalam menangani potensi longsor pada timbunan oprit jembatan.

2.10.1 Dinding Penahan Tanah Tipe *Cantilever*



Gambar 2.24 Tipe Kantilever Wall

Penanganan longsor di lokasi ini digunakan dinding penahan tanah kantilever dari beton bertulang, karena itu dimensi stem dan base slab menjadi relatif tipis. Selain bobotnya sendiri, dinding penahan tanah kantilever ini mengandalkan pada bobot masa tanah yang berada di atas base slab, untuk menjaga stabilitasnya. Dinding penahan tanah ini cocok untuk menahan tanah yang tinggi hingga 8 meter (BSN, 2017).

Seringkali kaki dinding penahan tanah ini masih duduk di atas tanah yang jelek, karena itu terkadang diperlukan perkuatan/perbaikan tanah untuk memperbaiki daya dukungnya. Perkuatan tanah yang sering digunakan adalah dengan memancang tiang-tiang pendek, khususnya di bagian mukanya, tanpa disambung dengan base slab-nya, agar tiang tidak mengalami kegagalan geser (BSN, 2017).

2.10.2 Faktor-faktor yang perlu diperhatikan dalam perancangan

Dinding penahan tanah harus dirancang menurut (BSN, 2017) untuk tetap aman terhadap:

a) Stabilitas guling

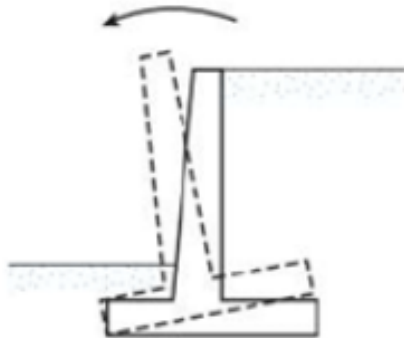
Guling pada dinding penahan tanah (DPT) terjadi ketika momen akibat tekanan tanah lateral melebihi momen penahan dinding, yang mengakibatkan struktur berputar atau terguling ke depan (Bowles, 1997). Sesuai dengan SNI 8460:2017 pasal 10.2.5.3, faktor keamanan minimum yang disyaratkan terhadap potensi guling adalah 2. Beberapa faktor yang dapat menyebabkan terjadinya guling antara lain beban tanah yang besar di belakang dinding, stabilitas pondasi yang kurang memadai, serta desain momen tahanan yang tidak mencukupi untuk menahan tekanan lateral tanah. Faktor keamanan terhadap guling (FS guling) didefinisikan sebagai berikut :

$$FS_{guling} = \frac{\Sigma M_{Res}}{\Sigma M_D} > 2 \quad [2.40]$$

Dengan :

ΣM_{res} = Jumlah momen yang menahan guling

ΣM_d = Jumlah momen yang mengakibatkan guling



Gambar 2.25 Ilustrasi Guling pada DPT
(Sumber: Das, 2016)

b) Stabilitas geser lateral

Geser pada dinding penahan tanah terjadi ketika gaya horizontal akibat tekanan tanah melebihi gaya gesekan serta perlawanan dari pondasi, sehingga menyebabkan dinding bergerak ke arah luar (Das et al., 1995). Berdasarkan SNI 8460:2017 pasal 10.2.5.3, faktor keamanan minimum terhadap geser adalah 1,5. Beberapa faktor yang dapat menyebabkan terjadinya geser antara lain tingginya tekanan tanah lateral, rendahnya daya geser tanah dasar, serta panjang pondasi (toe) yang tidak mencukupi untuk menahan gaya geser yang bekerja pada struktur.

$$\text{SF Geser} = \frac{(\Sigma V) \tan(K1 \times \phi' / 2) + B \times K2 \times C'^2 + Pp}{Pa \times \cos \alpha} > 1,5 \quad [2.41]$$

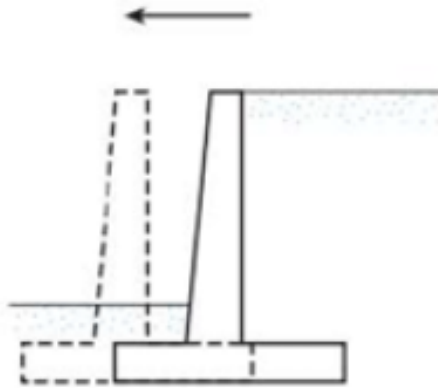
$$K1=K2 = \frac{2}{3}$$

Dengan :

ΣV = Total gaya vertikal (kN)

B = Lebar dasar dinding

K1,K2 = Koefisien gesek



Gambar 2.26 Ilustrasi Geser pada DPT
(Sumber: Das, 2016)

c) Daya dukung tanah.

Keruntuhan daya dukung terjadi ketika tekanan yang diberikan pada tanah di bawah pondasi melebihi kapasitas daya dukung tanah yang diizinkan, sehingga tanah tidak mampu menahan beban dan mengalami kegagalan (Terzaghi et al., 1996). Berdasarkan SNI 8460:2017 pasal 10.2.5.3, faktor keamanan minimum terhadap keruntuhan daya dukung adalah 3. Faktor-faktor yang dapat menyebabkan kegagalan ini meliputi kondisi tanah dasar yang lunak atau jenuh air, beban dinding yang berlebihan, serta desain pondasi yang tidak memenuhi persyaratan daya dukung yang dibutuhkan.

Pada analisis stabilitas dinding penahan tanah terhadap daya dukung tanah, perlu dihitung terlebih dahulu nilai kapasitas dukung ultimit (*qult*) menggunakan metode Terzaghi, eksentrisitas (*e*), dan juga kapasitas dukung tanah pondasi (*q*).

Kapasitas daya dukung tanah dapat dihitung menggunakan persamaan kapasitas daya dukung ultimate pada kasis pondasi dangkal, yaitu :

$$q_u = c'^2 \times N_c \times F_{cd} \times F_{ci} + q \times N_q \times F_{qd} \times F_{qi} + \frac{1}{2} \gamma^2 \times V \times N_\gamma \times F_{\gamma d} \times F_{\gamma i} \quad [2.42]$$

dengan :

B = Lebar dasar pondasi sebenarnya (m)

γ = Berat volume tanah (kN/m³)

N_c, N_q, N_γ = Faktor-faktor kapasitas dukung

e = Eksentrisitas beban (m)

$$= \frac{B}{2} - \frac{\Sigma MR - \Sigma M_o}{\Sigma V}$$

Bila $e \leq B/6$

$$q = \frac{\Sigma V}{B} \left(1 \pm \frac{6e}{B} \right)$$

Bila $e \geq B/6$

$$q_{maks} = \frac{4V}{3(B-2e)}$$

$$q = \gamma_2 \times D$$

$$B' = B - 2e$$

$$F_{qd} = 1 + 2 \tan \phi'_2 (1 - \sin \phi'_2)^2 \left(\frac{D}{B'} \right)$$

$$F_{cd} = 1.166 - \frac{1 - F_{qd}}{N_c - \tan \phi'_2}$$

$$F_{\gamma d} = 1 \text{ (ketetapan)}$$

$$F_{ci} = \left(1 - \frac{\psi^\circ}{90^\circ} \right)^2$$

$$\psi = \tan^{-1} \left(\frac{Pa \times \cos \alpha}{\Sigma V} \right)$$

$$F_{ci} = F_{qi}$$

$F_{cd}, F_{qd}, F_{\gamma d}$ = Faktor kedalaman

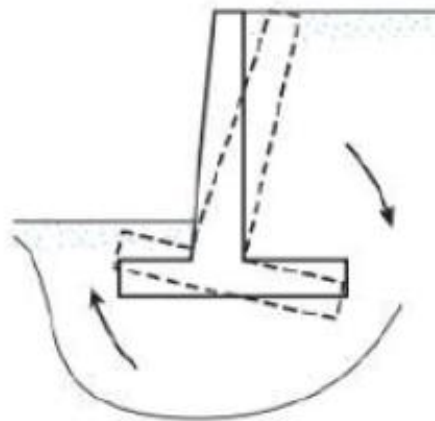
$F_{ci}, F_{qi}, F_{\gamma i}$ = Faktor kemiringan

Tabel 2.8 Faktor-faktor kapasitas dukung Menurut Terzaghi

$\phi(^{\circ})$	General shear Failure			Local Shear Failure		
	Nc	Nq	N γ	N' _c	N' _q	N' γ
0	5,7	1,0	0,0	5,7	1,0	0,0
5	7,3	1,6	0,5	6,7	1,4	0,2
10	9,6	2,7	1,2	8,0	1,9	0,5
15	12,9	4,4	2,5	9,7	2,7	0,9
20	17,7	7,4	5,0	11,8	3,9	1,7
25	25,1	12,7	9,7	14,8	5,6	3,2
30	37,2	22,5	19,7	19,0	8,3	5,7
34	52,6	36,5	35,0	23,7	11,7	9,0
35	57,8	41,4	42,4	25,2	12,6	10,1
40	95,7	81,3	100,4	34,9	20,5	18,8
45	172,3	173,3	297,5	51,2	35,1	37,7
48	258,3	287,9	780,1	66,8	50,5	60,4
50	347,6	415,1	1153,2	81,3	65,6	87,1

Kemudian, bisa dihitung stabilitas dinding penahan tanah terhadap daya dukung tanah dengan faktor keamanan minimum berdasarkan SNI adalah sebesar 3.

$$FS \text{ Daya dukung} = \frac{q_u}{\Sigma q_{max}} > 3 \quad [2.43]$$



Gambar 2. 27 Ilustrasi Bearing Capacity pada DPT

2.10.3 Pemeriksaan stabilitas dinding dan faktor keamanan minimum

Setiap dinding penahan tanah harus diperiksa stabilitasnya terhadap guling, geser lateral, dan daya dukung (BSN, 2017).

Faktor keamanan yang disyaratkan adalah sebagai berikut:

- Faktor keamanan terhadap guling minimum 2;
- Faktor keamanan terhadap geser lateral minimum 1,5;
- Faktor keamanan terhadap daya dukung minimum 3;

- d) Faktor keamanan terhadap stabilitas global minimum 1,5;
- e) Faktor keamanan terhadap gempa minimum 1,1.

2.11 Tekanan Tanah Lateral

Tekanan tanah lateral adalah faktor utama dalam perancangan struktur penahan tanah, yang muncul akibat dorongan massa tanah di belakang struktur. Besarnya tekanan dipengaruhi oleh tegangan normal, berat tanah, sudut geser, serta kemiringan tanah terhadap dinding penahan. Tekanan ini terbagi menjadi tiga jenis, yaitu tekanan dalam keadaan diam (K_0), tekanan aktif (K_a), dan tekanan pasif (K_p). Tekanan diam terjadi saat tanah stabil tanpa pergerakan, tekanan aktif muncul ketika tanah mendorong dinding ke depan, sedangkan tekanan pasif bekerja untuk menahan tekanan aktif agar struktur tetap stabil (Muntohar, 2010).

Dalam analisis tekanan tanah lateral, perhitungan mempertimbangkan faktor-faktor seperti jenis timbunan, kepadatan, kadar air, serta faktor keamanan. Berdasarkan teori Rankine (1857), tekanan lateral terdiri dari tekanan aktif dan tekanan pasif, dengan asumsi tanah urugan tanpa kohesi dan gesekan dinding diabaikan. Distribusi tekanan tanah sangat bergantung pada perubahan posisi (displacement) dan regangan (strain), yang menentukan kestabilan struktur penahan tanah (Muntohar, 2010).

2.11.1 Tekanan Tanah Lateral Saat Diam

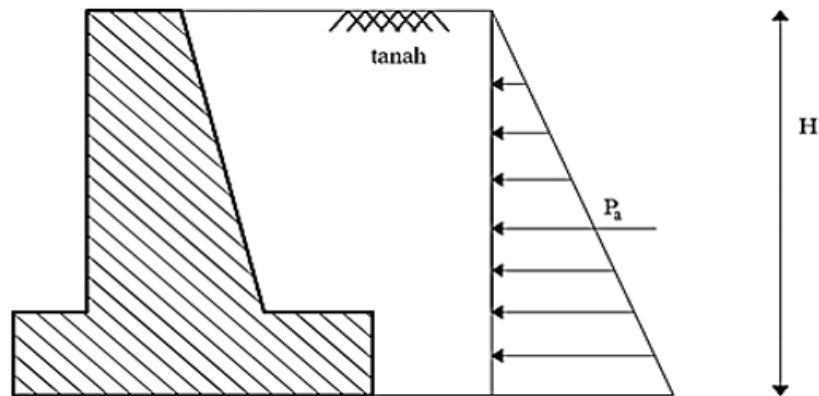
Tanah terbentuk melalui proses pelapukan batuan dan pengendapan. Selama proses tersebut, tanah mengalami konsolidasi akibat tekanan dari lapisan di atasnya (overburden), yang menyebabkan perubahan bentuk ke arah lateral.

Seiring berjalannya waktu, konsolidasi tanah dalam arah vertikal maupun horizontal berhenti, sehingga tanah mencapai kondisi stabil tanpa mengalami perubahan posisi (displacement). Akibatnya, tidak terdapat tegangan geser yang bekerja pada bidang vertikal maupun horizontal dalam lapisan tanah.

2.11.2 Tekanan Tanah Aktif

Tekanan tanah aktif terjadi ketika dinding penahan bergerak menjauhi massa tanah di belakangnya, menyebabkan tanah urugan menekan dinding secara horizontal. Besarnya tekanan ini bergantung pada sifat fisik tanah, seperti sudut geser dalam (ϕ), berat jenis tanah (γ), dan kondisi permukaan tanah (Das, 2011).

Menurut teori Rankine (1857), tekanan tanah aktif muncul saat tanah mencapai batas runtuh akibat pergerakan dinding, dengan asumsi tanah homogen dan dinding tegak lurus serta licin. Teori Coulomb (1776) menambahkan faktor gesekan antara tanah dan dinding serta kemiringan dinding penahan (Budhu, 2010). Tekanan ini dihitung menggunakan koefisien tekanan tanah aktif (K_a) untuk menentukan distribusi tekanannya terhadap dinding. Rumusan tekanan horizontal dapat dituliskan sebagai berikut:



Gambar 2.28 Distribusi tekanan tanah aktif pada dinding penahan tanah
Sumber: (Sugianti, 2013)

$$P_a = \frac{1}{2} \gamma H^2 K_a \quad [2.44]$$

Dimana nilai K_a :

$$K_a = \frac{1 - \sin Q}{1 + \sin Q} = \tan^2 \left(45^\circ - \frac{Q}{2} \right) \quad [2.45]$$

Dengan penjabaran :

- P_a = tekanan tanah aktif (kN/m),
- K_a = koefisien tekanan tanah aktif,
- γ = berat volume tanah (kN/m³),
- H = tinggi dinding penahan tanah (m),
- Q = sudut gesek tanah (°).

Selain itu, kohesi sebagai gaya ikatan antar butiran tanah juga memiliki pengaruh mengurangi tekanan aktif, dengan besarnya pengurangan sebesar $2c\sqrt{K_a}$. Dengan demikian, rumus yang digunakan mengalami penyesuaian sebagai berikut:

$$P_a = K_a \times \gamma \times H - 2 \times c \times \sqrt{K_a} \quad [2.46]$$

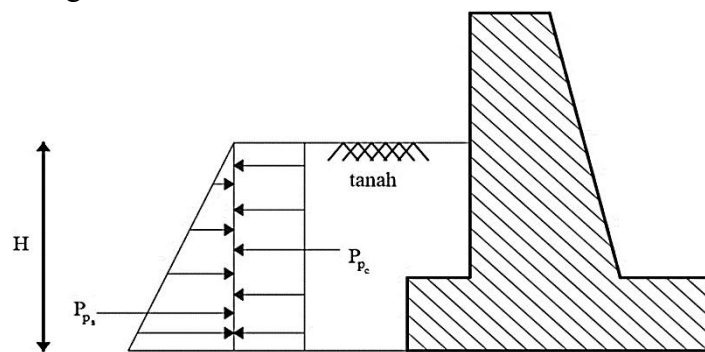
Dimana :

c = kohesi tanah.

2.11.3 Tekanan Tanah Pasif

Tekanan tanah pasif adalah tekanan lateral yang terjadi ketika dinding penahan tanah mengalami dorongan ke arah massa tanah, sehingga tanah memberikan resistensi maksimal terhadap pergerakan tersebut. Tekanan ini bekerja berlawanan dengan tekanan tanah aktif dan mencapai nilai maksimumnya saat tanah berada dalam kondisi pasif sebelum terjadi kegagalan struktur. Besarnya tekanan tanah pasif dipengaruhi oleh sifat fisik tanah, seperti berat jenis (γ), sudut geser dalam (ϕ), dan kedalaman tanah (H). Evaluasi tekanan ini dapat dilakukan menggunakan koefisien tekanan tanah pasif (K_p), yang menentukan distribusi tekanan horizontal terhadap dinding penahan tanah (Das, 2011).

Menurut teori Rankine (1857), tekanan tanah pasif terjadi saat dinding penahan mengalami gaya dorong ke arah tanah urugannya, sehingga tanah mengembangkan resistensi maksimum sebelum mengalami keruntuhan. Rumus untuk menghitung tekanan tanah pasif total (P_p) adalah sebagai berikut:



Gambar 2.29 Tekanan tanah pasif

Sumber: (Hardiyatmo, 2010)

$$P_p = \frac{1}{2} \gamma H^2 k_p \quad [2.47]$$

Dimana nilai K_p :

$$K_p = \frac{1 - \sin Q}{1 + \sin Q} = \tan^2 \left(45 + \frac{Q}{2} \right) = \frac{1}{K_a} \quad [2.48]$$

Dengan penjabaran :

- P_a = tekanan tanah aktif (kN/m),
- K_p = koefisien tekanan tanah pasif,
- K_a = koefisien tekanan tanah aktif,
- γ = berat volume tanah (kN/m³),
- H = tinggi dinding penahan tanah (m),

Q = sudut gesek tanah ($^{\circ}$).

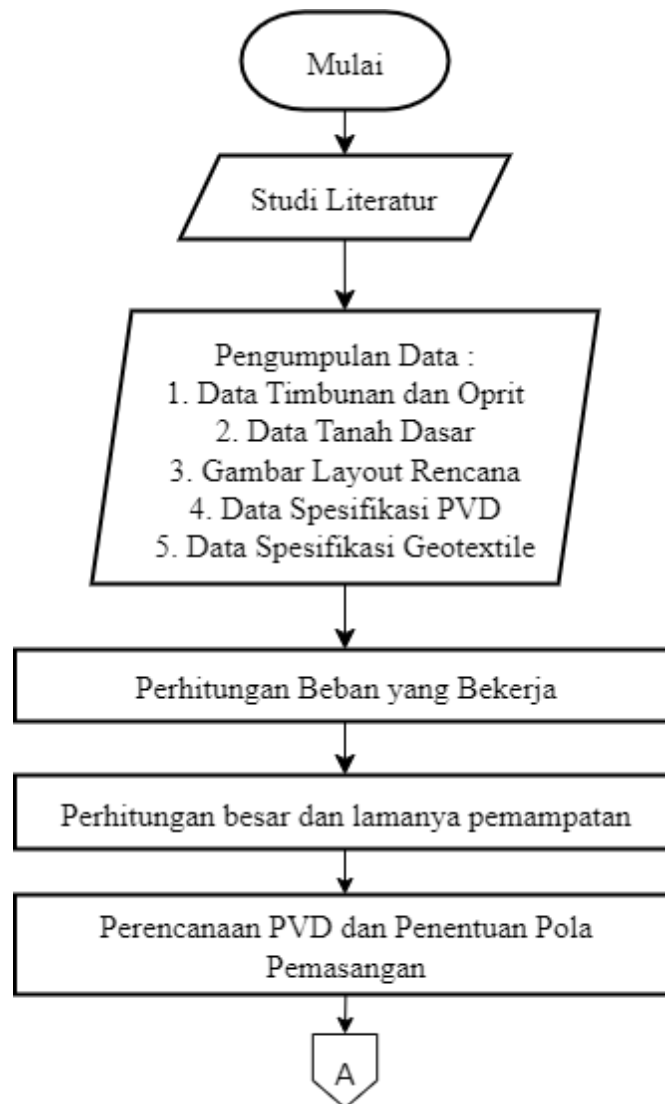
Dalam tekanan lateral pasif, kohesi (lekatan antar butiran tanah) mempunyai pengaruh memperbesar tekanan pasif tanah sebesar $2c\sqrt{K_a}$. sehingga perumusan menjadi:

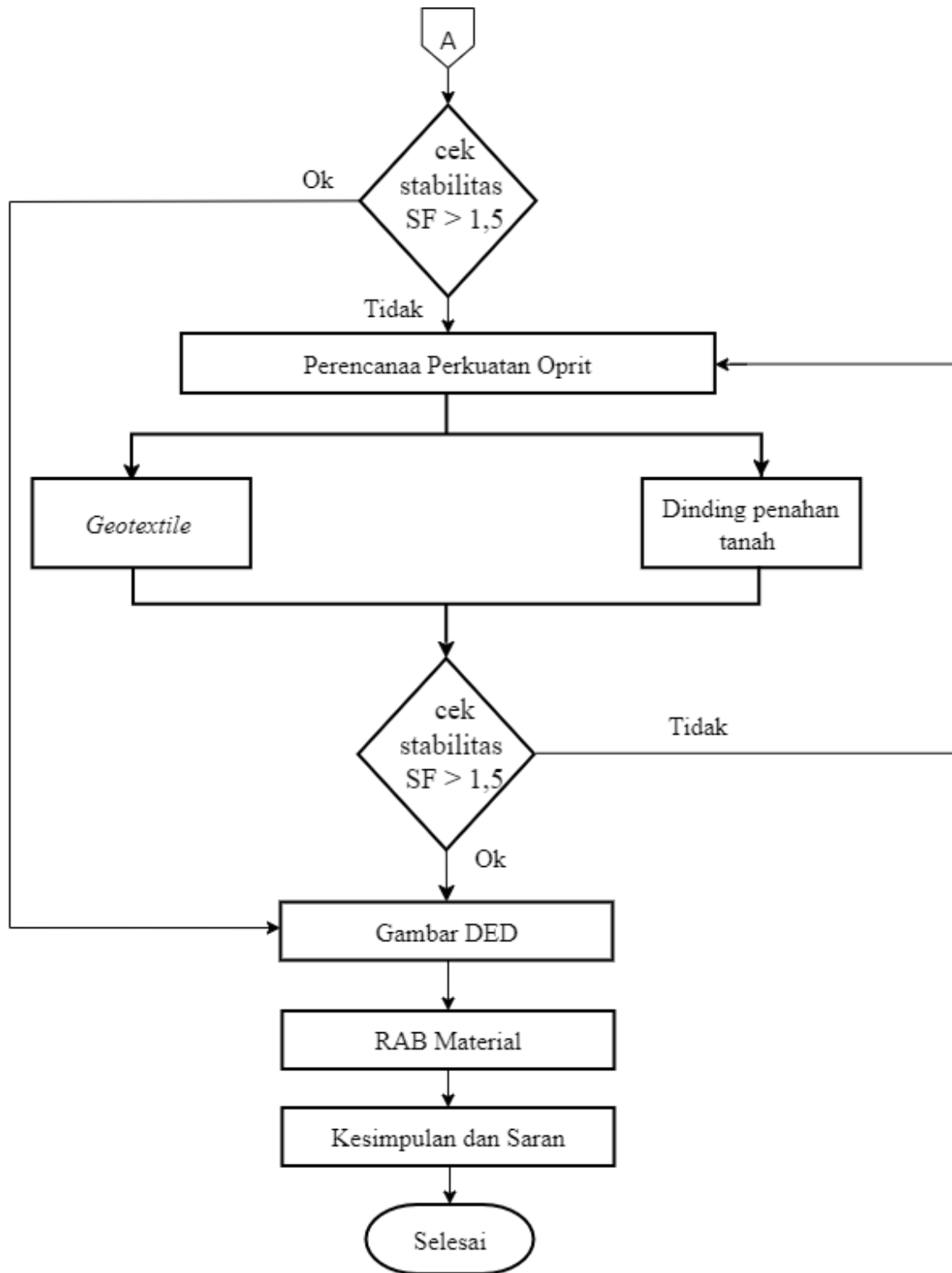
$$P_p = \frac{1}{2} K_p \times \gamma \times D^2 + 2 \times c \times \sqrt{K_p} D \quad [2.49]$$

BAB 3 METODOLOGI

3.1 Flowchart Metodologi

Diagram alir desain alternatif perkuatan tanah pada oprit jembatan menggunakan Dinding Penahan Tanah dan geotextile. Alur tahapan pekerjaan dapat dilihat pada **Gambar 3.1**





Gambar 3.1 Diagram Alir Penyelesaian Tugas Akhir

3.2 Studi Literatur

Studi literatur pada tugas akhir ini dilakukan untuk mengumpulkan materi-materi yang akan digunakan sebagai acuan dalam proses perencanaan serta memberikan pengetahuan dasar terkait topik yang dibahas. Melalui studi literatur penulis dapat memahami berbagai teori, konsep, dan pedoman yang relevan. Materi yang digunakan dalam studi ini meliputi buku ajar, jurnal ilmiah, peraturan SNI, serta referensi lainnya, antara lain:

1. Buku *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis) Jilid 2* (Das, B. M. ; E. N. M. I. B. 1993)
2. Modul Ajar *Metode Perbaikan Tanah* (Mochtar, N. E. 2012).
3. SNI 8460:2017 *Persyaratan Perancangan Geoteknik*
4. Buku *Mekanika Tanah Jilid 1* (Das, Endah, & Mochtar, 1995)
5. Buku *Analisis dan Desain Pondasi* (Bowles, 1984)
6. Buku *Handbook of Geotechnical Investigation and Design Tables* (Look, 2007)
7. Referensi tentang perencanaan perkuatan oprit jembatan penggunaan progam bantu (software geoteknik dan struktur) seperti pada sub bab 2.1.

3.3 Pengumpulan dan Analisa Data

Data-data yang dipakai dalam perencanaan ini adalah data sekunder yang didapat dari instansi terkait atau hasil survey dari pihak lain. Data tersebut meliputi:

1. Data tanah timbunan (ϕ , γ_{dry} , γ_{sat} , E, c, k)
2. Data tanah dasar (ϕ , γ_{dry} , γ_{sat} , E, c, k, v, Cc, Cs, Cv)
3. Gambar *layout* rencana
4. Data spesifikasi PVD
5. Data spesifikasi *geotextile*

3.4 Perhitungan Beban yang Bekerja

Beban yang bekerja pada oprit jembatan meliputi beban mati (self weight timbunan), beban lalu lintas, dan beban tambahan perkerasan. Perhitungan ini penting untuk mengetahui tekanan total yang akan diteruskan ke tanah dasar serta digunakan sebagai dasar dalam perhitungan penurunan konsolidasi dan desain perkuatan.

3.5 Analisis Pemampatan dan Penurunan Tanah

Analisis ini bertujuan untuk mengetahui besar penurunan yang akan terjadi akibat beban timbunan pada tanah lunak. Penurunan dihitung menggunakan teori konsolidasi satu dimensi (Teori Terzaghi) dan formula dari Hansbo (1979) untuk kondisi dengan drainase

vertikal. Dari hasil analisis ini dapat diketahui besarnya penurunan serta lamanya waktu konsolidasi alami.

3.6 Perencanaan PVD dan Penentuan Pola Pemasangan

Setelah diketahui bahwa waktu pemampatan tanah tanpa perkuatan sangat lama, dilakukan perencanaan penggunaan *Prefabricated Vertical Drain* (PVD). Perencanaan ini meliputi penentuan kedalaman pemasangan, jarak spasi antar drain, serta pola pemasangan (segitiga atau segiempat). Tujuannya adalah untuk mencapai derajat konsolidasi minimal 90% dalam waktu yang ditentukan

3.7 Analisis Kestabilan Oprit Jembatan (Setelah PVD)

Analisis dilakukan menggunakan software PLAXIS 2D untuk mengevaluasi kondisi stabilitas setelah dilakukan perkuatan dengan PVD dan terjadinya peningkatan nilai C_u . Apabila hasil analisis menunjukkan nilai faktor keamanan (SF) $< 1,5$, maka diperlukan perencanaan tambahan.

3.8 Perencanaan Alternatif Perkuatan Tambahan

Tahap ini mencakup perencanaan dua alternatif sistem perkuatan, yaitu:

1. geotextile
2. Dinding penahan tanah tipe kantilever

Masing-masing alternatif dirancang berdasarkan tekanan tanah yang bekerja dan karakteristik tanah di lokasi proyek. Evaluasi dilakukan untuk mengetahui efektivitas masing-masing metode terhadap peningkatan kestabilan timbunan.

3.9 Penggambaran DED Hasil Perencanaan

Setelah perkuatan dirancang dan dianalisis, dilakukan penggambaran rencana teknis berupa Detail Engineering Design (DED) dari sistem perkuatan yang diterapkan, baik untuk PVD, geotextile maupun dinding penahan tanah.

3.10 Perhitungan Rencana Anggaran Biaya (RAB)

Perhitungan RAB dilakukan untuk mengetahui estimasi biaya kebutuhan material dari masing-masing alternatif sistem perkuatan yang telah dirancang. Data ini digunakan sebagai pertimbangan dalam menentukan alternatif yang paling efisien.

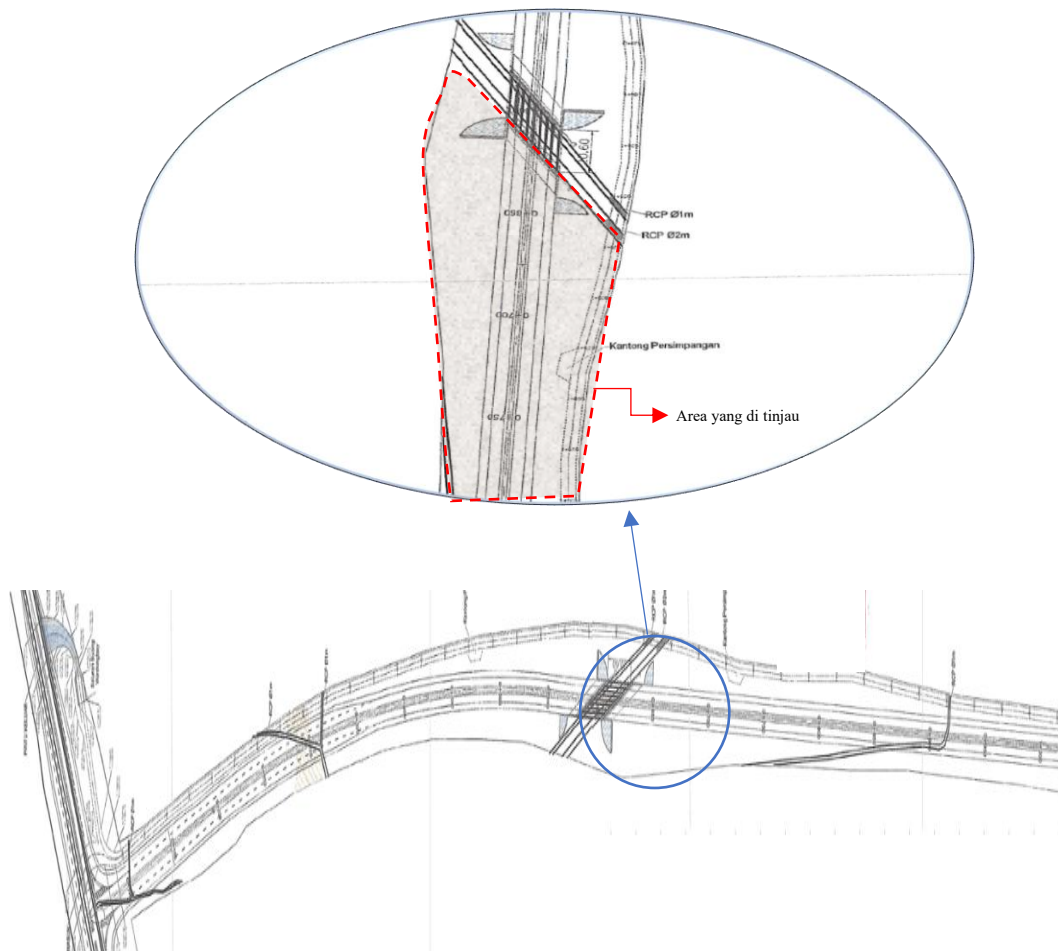
3.11 Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan disusun berdasarkan hasil analisis dan perbandingan yang dilakukan pada masing-masing alternatif perkuatan, serta efektivitas penerapan. Pada saran dituliskan saran dan harapan atas perencanaan timbunan oprit maupun perencanaan lain yang sejenis, demi peningkatan kualitas perencanaan selanjutnya.

BAB 4 DATA DAN ANALISA

4.1 Lokasi

Lokasi yang menjadi kajian dalam Tugas Akhir ini adalah oprit jembatan sisi selatan Jalan Tol Probolinggo – Banyuwangi Paket 2 Sta. 0+625 s.d. 0+775. Denah datampak atas dan detail lokasi disajikan dalam **Gambar 4.1**



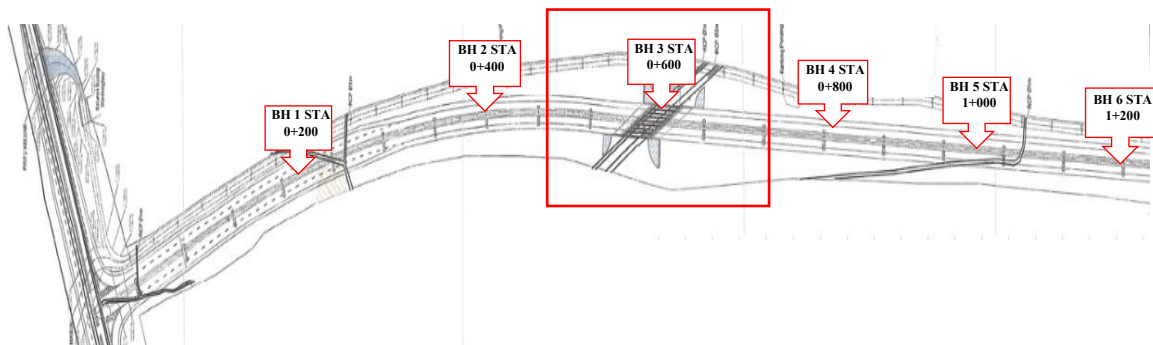
Gambar 4.1 Detail lokasi perencanaan perkuatan

4.2 Analisa Data Tanah

4.2.1 Data Tanah Dasar

Pada proyek akhir ini, data tanah yang digunakan berasal dari hasil pengujian boring log SPT pada proyek pembangunan Jalan Tol Probolinggo–Banyuwangi Paket 2 dengan 6 titik pengeboran yaitu pada , STA 0+200 (BH 1), STA 0+400 (BH 2), STA 0+600 (BH 3), STA 0+800 (BH 4), STA 1+000 (BH 5), dan STA 1+200 (BH 6). Lokasi tuju titik pengeboran ditampilkan pada **Gambar 4.2**, sedangkan area yang ditinjau secara khusus oleh penulis dalam proyek akhir ini berada pada rentang STA 0+625 hingga STA 0+775, yang

ditandai dengan garis kotak merah pada gambar tersebut. Titik BH 3 pada STA 0+600 dipilih sebagai lokasi utama yang dianalisis karena letaknya paling dekat dengan area tinjauan dan mewakili karakteristik tanah lunak yang dominan. Hasil pengujian boring log menunjukkan nilai SPT pada setiap kedalaman, konsistensi tanah, serta deskripsi jenis tanah. Berdasarkan interpretasi data borlog tersebut, dapat ditentukan jenis tanah pada tiap lapisan, apakah termasuk ke dalam tanah kohesif seperti lanau dan lempung, atau tanah non-kohesif seperti pasir dan kerikil.



Gambar 4.2 Tampak Atas Lokasi 6 Titik Borlog

Data tanah yang digunakan dalam tugas akhir ini bersumber dari hasil data *bor log* dan hasil test laboratorium pada proyek pembangunan Jalan Tol Probolinggo-Banyuwangi Paket 2 yang dilaksanakan oleh PT Utama Karya Infrastruktur (HKI). Informasi tanah disajikan dalam bentuk gambar yang dilengkapi dengan nilai NSPT (Standard Penetration Test) . Selain itu, tersedia pula data pendukung dalam bentuk tabel yang memuat informasi jenis tanah, kedalaman lapisan, komposisi tanah, berat isi kering tanah (γ_d), porositas (n), kadar air (W_c), berat jenis butiran tanah (Specific Gravity G_s), angka pori (e), kekuatan geser tak terdrainase (C_u), indeks plastisitas (IP), batas cair (LL), dan batas plastis (PL). Seluruh data parameter laboratorium yang dianalisis pada tugas akhir ini juga difokuskan pada titik **BH 3**, karena titik tersebut dipilih sebagai representasi utama kondisi tanah di area yang ditinjau. Hasil rekap data tanah dasar dapat dilihat pada **Tabel 4.1** dan untuk lebih lengkapnya terdapat pada **Lampiran 1**.

Tabel 4.1 Rekapitulasi Parameter Tanah Dasar

kedalaman (m)	NSPT	Material Model	Material Type	γ_d	γ_{sat}	Wc	e	Gs	n	LL	PL	IP	C	ϕ	qu
				kN/m ³	kN/m ³	%			%	%	%	%	Kpa	°	Kg/cm ²
0,0 - 10,00	4	Mohr-Coulomb	Undrined	15	16	16,95	0,448	2,642	0,309	66,76	30,25	36,51	23	12	0,3
10,00 - 16,00	15	Mohr-Coulomb	Undrined	17	18	53,66	1,142	2,632	0,585	78,58	34,24	44,34	24	15	0,38
16,00 - 24,00	8	Mohr-Coulomb	Undrined	16	17	53,66	1,142	2,632	0,585	78,58	34,24	44,34	32	9	0,33
24,00 - 30,00	14	Mohr-Coulomb	Undrined	17	18	46,11	1,200	2,603	0,546	82,92	34,89	48,03	24	15	0,38
30,00 - 34,00	31	Mohr-Coulomb	Undrined	19	20	46,11	1,200	2,603	0,546	82,92	34,89	48,03	62	34	0,62
34,00 - End	50	Mohr-Coulomb	Drined	19	19	46,11	1,200	2,603	0,546	82,92	34,89	48,03	85	37	0,62

Dalam melakukan analisis penurunan (settlement) dan konsolidasi tanah lunak, diperlukan beberapa parameter tambahan selain data hasil investigasi tanah lapangan. Data tambahan tersebut meliputi nilai Modulus Young (E), Poition Ratio (v), serta nilai Koefisien Permeabilitas (k) ditentukan menggunakan korelasi empiris berdasarkan jenis tanah. Sementara itu, nilai indeks kompresi (Cc), Indeks Mengembang (Cs) ditentukan menggunakan persamaan [2.49] dan nilai (Cv) Koefisien Konsolidasi menggunakan persamaan [2.12]. Persamaan-persamaan tersebut merujuk pada metode empiris yang dikembangkan oleh Kosasih dan Mochtar (1986). Berikut ini adalah contoh perhitungan Cc, Cs, dan Cv untuk kedalaman 0- 10 m :

$$\begin{aligned}
 C_c &= 0,006LL + 0,13e_0^2 - 0,13 \\
 &= (0,006 \times 66,76) + (0,13 \times 0,448^2) - 0,13 \\
 &= 0,296652
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 C_s &= 0,002LL + 0,12e_0^2 - 0,05 \\
 &= (0,002 \times 66,76) + (0,12 \times 0,448^2) - 0,5 \\
 &= 0,08753
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 C_v &= \frac{k \cdot (1+e)}{C_c + \gamma_w} \\
 &= \frac{0,00001 (1+0,448)}{0,296+9,81} \\
 &= 0,0005 \text{ cm/s}
 \end{aligned}$$

Seluruh parameter tambahan tersebut digunakan untuk membantu menghitung besarnya penurunan dan lamanya waktu konsolidasi yang terjadi pada tanah lunak akibat beban timbunan, sehingga hasil perhitungan menjadi lebih akurat dan sesuai dengan kondisi di lapangan. Berikut adalah rekap hasil pendekatan dan perhitungan nilai Modulus Young (E), Poisson Ratio (ν), Koefisien Permeabilitas (k), indeks kompresi (C_c), indeks mengembang (C_s), koefisien konsolidasi (C_v) dapat dilihat pada **Tabel 4.2**.

Tabel 4.2 Rekap Nilai E, ν , k, C_c , C_s , C_v

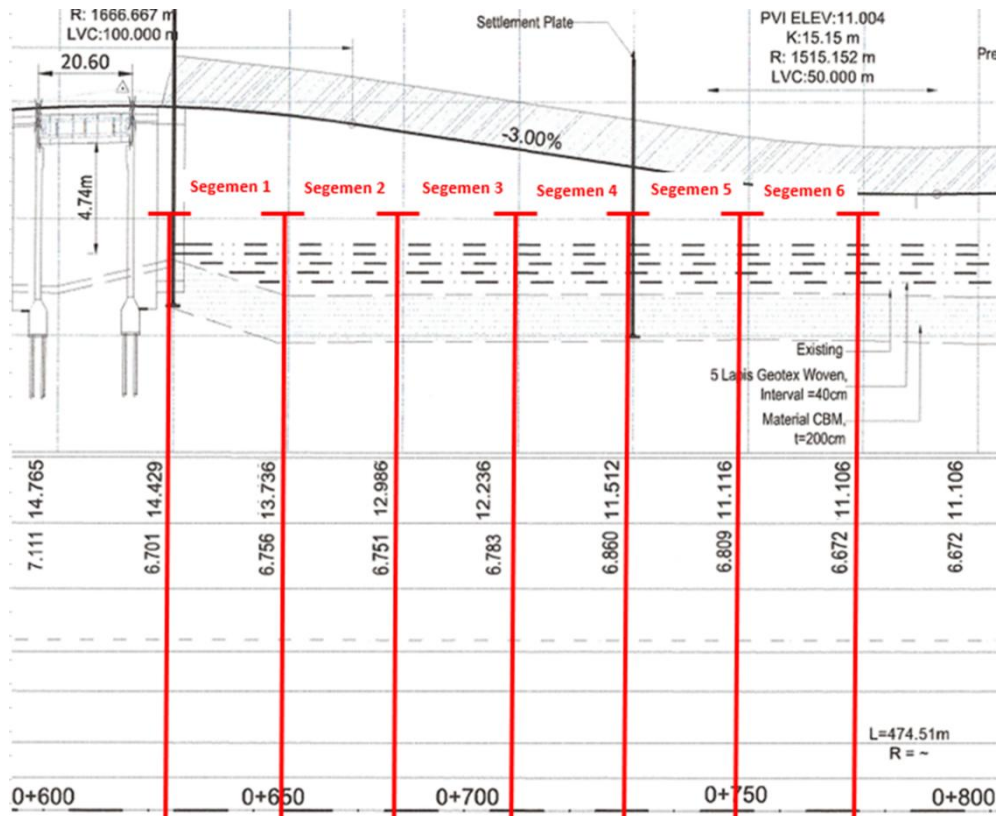
kedalaman (m)	NSPT	Jenis Tanah	Konsistensi	LL	E'	ν	K	C_c	C_s	Cv
				%	kN/m ²		cm/detik			cm/detik
0,0 - 10,00	4	Clay	Soft	66,76	2000	0,4	0,00001	0,2966515	0,08753	0,0005
10,00 - 16,00	15	Silty clay	Stiff	78,58	2500	0,2	0,00001	0,5110213	0,13324	0,0004
16,00 - 24,00	8	Silty clay loam	Medium	78,58	2300	0,35	0,0001	0,5110213	0,13324	0,0041
24,00 - 30,00	14	Clay loam	Stiff	82,92	5000	0,2	0,0001	0,55472	0,14464	0,0039
30,00 - 34,00	31	Sandy clay	Very Stiff	82,92	8000	0,3	0,0001	0,55472	0,14464	0,0039
34,00 - End	50	Sandy clay / Loam	Hard	82,92	10000	0,3	0,001	0,55472	0,14464	0,0389

4.2.2 Data Tanah Timbunan

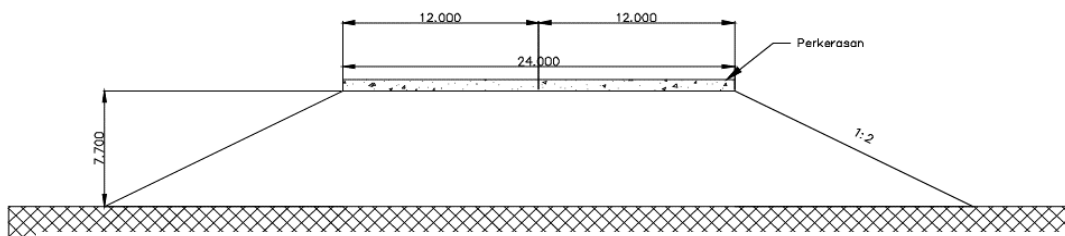
Material timbunan jalan yang digunakan berasal dari quarry di dekat proyek jalan tol tersebut. Spesifikasi teknis dari material adalah sebagai berikut :

- Kemiringan (*slope*) melintang : 1: 2
- Lebar badan jalan rencana : 24 m
- C : 22,56 Kpa
- ϕ : 27°
- γ_d timbunan : 1,98 t/m³
- γ_{sat} timbunan : 2,19 t/m³

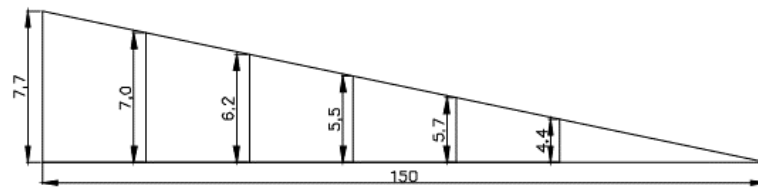
Adapun gambar pembagian segmen, ilustrasi potongan memanjang, dan melintang timbunan dapat dilihat pada gambar dibawah ini. Lebih detailnya dapat dilihat pada lampiran.



Gambar 4.3 Gambar Pembagian Segmen yang ditinjau



Gambar 4.4 Ilustrasi Potongan melintang timbunan STA 0+625



Gambar 4.5 Ilustrasi Potongan memanjang oprit jembatan

Untuk mempermudah analisis dan evaluasi stabilitas timbunan oprit jembatan, maka trase oprit dibagi ke dalam beberapa segmen berdasarkan titik pengamatan (STA) dengan interval 25 meter. Setiap segmen mewakili suatu panjang tertentu dari oprit yang dianalisis. Adapun pembagian segmen yang ditinjau dapat dijelaskan sebagai berikut:

- a. Segmen 1 STA 0+625 – 0+650, yang ditinjau STA 0+625
- b. Segmen 2 STA 0+650 – 0+675, yang ditinjau STA 0+650
- c. Segmen 3 STA 0+675 – 0+700, yang ditinjau STA 0+675
- d. Segmen 4 STA 0+700 – 0+725, yang ditinjau STA 0+700
- e. Segmen 5 STA 0+725 – 0+750, yang ditinjau STA 0+725
- f. Segmen 6 STA 0+750 – 0+775, yang ditinjau STA 0+750

Untuk mengetahui besarnya tinggi timbunan akhir (H final) pada masing-masing segmen, dilakukan analisis berdasarkan gambar segmen memanjang dan gambar segmen melintang timbunan. Nilai H final dihitung dari selisih antara elevasi rencana dan elevasi eksisting pada setiap STA (Station). Berikut merupakan contoh perhitungan H final untuk setiap segmen berdasarkan selisih antara elevasi rencana dan elevasi eksisting :

b. STA 0+625

Elevasi Rencana = 14,429 m

Elevasi Eksisting = 6,701 m

H final = Elevasi Rencana – Elevasi Eksisting
 = 14,429 m – 6,701 m
 = 7,7 m

c. STA 0+650

Elevasi Rencana = 13,736 m

Elevasi Eksisting = 6,756 m

H final = Elevasi Rencana – Elevasi Eksisting
 = 13,736 m – 6,756 m
 = 7,0 m

d. STA 0+675

Elevasi Rencana = 12,986 m

Elevasi Eksisting = 6,751 m

H final = Elevasi Rencana – Elevasi Eksisting
 = 12,986 m – 6,751 m
 = 6,2 m

Timbunan yang ditinjau memiliki variasi tinggi timbunan yang berbeda. Lokasi oprit yang direncanakan adalah oprit jembatan yang berada pada area akses. Oprit jembatan ini membentang antara STA 0+625 sampai 0+775. Rekapitulasi tinggi timbunan yang akan ditinjau dapat dilihat pada **Tabel 4.3**

Tabel 4.3 Rekapitulasi tinggi timbunan yang akan ditinjau

Segmen	Lolasi	Elevasi rencana	Elevasi eksisting	H final (m)
1	0+625	14.429	6.701	7.7
2	0+650	13.736	6.756	7.0
3	0+675	12.986	6.751	6.2
4	0+700	12.236	6.783	5.5
5	0+725	11.521	6.860	4.7
6	0+750	11.106	6.672	4.4

4.3 Data Spesifikasi Bahan

4.3.1 *Prefabricated Vertical Drain (PVD)*

PVD yang digunakan dalam perencanaan ini memiliki lebar 100 mm dan ketebalan 4,5 mm, dengan material inti berbahan *polypropylene* dan filter berbahan *PET*. Spesifikasi lengkap ditunjukkan pada **Lampiran 2**

4.3.2 *Geotextile*

Geotextile yang digunakan pada perencanaan ini adalah Mirafi Pet (PET 300/50) dengan nilai tensile strength sebesar 300 kN/m. Brosur yang digunakan adalah dari PT. Solmax Company ditampilkan pada **Lampiran 3**.

4.4 Data Beban Timbunan

Beban yang akan digunakan adalah beban lalu lintas dan beban perkerasan. Untuk beban perkerasan menggunakan beban rigid pavement dan lantai kerja dengan ketebalan 70 cm, lalu untuk beban lalu lintas akan menggunakan nilai pendekatan sesuai SNI 8460:2017 yaitu 1,5 t/m² atau 15 kn/ m². Untuk lebih detailnya dapat dilihat dalam **Tabel 4.4**.

Tabel 4.4 Detail Pembebanan

Beban	TEBAL	γ	Q
	m	ton/m ³	ton/m ²
Lapisan Perkerasan			
Rigid Pavement	0.3	2.4	0.72
Lean Concrete	0.1	2.4	0.24
Drainage Layer	0.15	2	0.3
Capping Layer	0.15	2	0.3
Total (ton/m ²)			1.56
Total (kN/m ²)			15.3
Beban Lalu Lintas (kN/m ²)			15
TOTAL (kN/m ²)			30.3

BAB 5

PERENCANAAN PERKUATAN OPRIT JEMBATAN

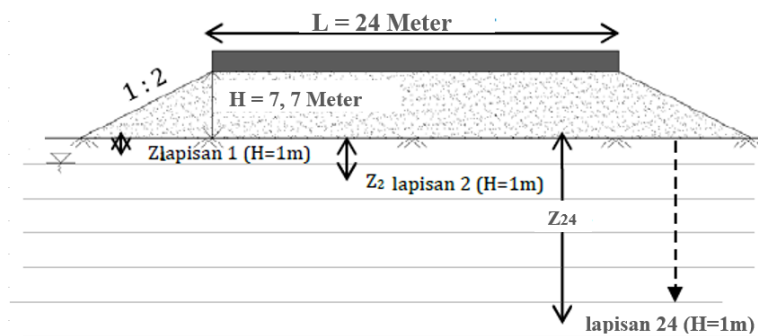
5.1 Perhitungan Besar Pemampatan (S_c) dan Tinggi Timbunan Awal (H initial)

5.1.1 Alternatif Timbunan Miring

Suatu lapisan tanah dianggap mudah memampat apabila lapisan tanah tersebut berupa tanah lempung atau lanau dengan rentang konsistensi sangat lunak sampai dengan menengah (*very soft to medium stiff soil*).

Dari profil lapisan tanah dasar yang ditunjukkan pada Bab IV, dapat diketahui kedalaman tanah asli yang merupakan lapisan tanah *compressible* dengan nilai N_s SPT < 10. Maka, perhitungan besar *settlement* harus ditinjau sampai terdapat pada kedalaman 24 meter (*compressible soil*).

Tanah dasar dibagi dalam lapisan-lapisan dengan ketebalan $H=1$ m seperti ditampilkan pada **Gambar 5.1**



Gambar 5.1 Pembagian Lapisan Tanah Kedalaman 1m

Dalam Tugas Akhir ini, $H_{initial}$ yang direncanakan adalah untuk H final 4,4 m, 4,7 m, 5,5 m, 6,2 m, 7 m dan 7,7 m. Perencanaan $H_{initial}$ memperhitungkan beban perkerasan dan beban lalu lintas. Tinggi perkerasan setinggi 0,7 m (surface 0,3 m; base course 0,1 m; dan subbase course 0,3 m) dan nilai beban lalu lintas (traffic) menggunakan asumsi beban menurut SNI 8460:2017 sebesar $15 \text{ kN/m}^2 = 1,5 \text{ t/m}^2$. $H_{perkerasan}$ dan $H_{traffic}$ ini direncanakan sebagai $H_{preload}$ yang di mana nantinya setelah waktu konsolidasi pada penimbunan selesai, maka $H_{preload}$ ini menjadi $H_{bongkar}$ untuk mendapatkan H_{final} yang telah direncanakan.

Berikut adalah contoh perhitungan *settlement* akibat timbunan jalan H final = 4 pada sisi selatan jembatan

- Mencari H perkerasan :

$$\text{Tebal Perkerasan} = 0,7 \text{ m}$$

$$q \text{ perkerasan} = 1,56 \text{ t/m}^2 \text{ (Tabel 4.4)}$$

$$\begin{aligned} H \text{ perkerasan} &= \frac{q \text{ perkerasan}}{\gamma \text{ timbunan}} \\ &= \frac{1,56 \text{ t/m}^2}{1,97 \text{ t/m}^2} \\ &= 0,790 \text{ m} \end{aligned}$$

- Mencari H traffic :

$$H \text{ timbunan} = 4 \text{ m}$$

$$q \text{ traffic} = 1,5 \text{ t/m}^2 \text{ (Tabel 4.4)}$$

$$\begin{aligned} H \text{ traffic} &= \frac{q \text{ traffic}}{\gamma \text{ timbunan}} \\ &= \frac{1,5 \text{ t/m}^2}{1,97 \text{ t/m}^2} \\ &= 0,759 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} H \text{ total} &= H \text{ timbunan} + H_{\text{perkerasan}} + H_{\text{traffic}} \\ &= 4 \text{ m} + 0,790 \text{ m} + 0,759 \text{ m} \\ &= 5,55 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} q \text{ total} &= \gamma \text{ timbunan} \times H \text{ total} \\ &= 1,98 \text{ t/m}^3 \times 5,55 \text{ m} \\ &= 10,96 \text{ t/m}^2 \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama, didapat variasi q total untuk masing-masing H timbunan yang ditampilkan pada Tabel dibawah ini.

Tabel 5.1 Variasi Beban Timbunan (q) untuk masing-masing H timbunan

H traffic	H perkerasan	H beban timbunan	H total	q total
(m)	(m)	(m)	(m)	(t/m ²)
0,759	0,790	1	2,55	5,04
0,759	0,790	2	3,55	7,01
0,759	0,790	3	4,55	8,99
0,759	0,790	4	5,55	10,96
0,759	0,790	5	6,55	12,94
0,759	0,790	6	7,55	14,91
0,759	0,790	7	8,55	16,89
0,759	0,790	8	9,55	18,86

Kemudian dihitung tegangan overburden efektif (p'_o) dan distribusi tegangan akibat q total (Δp). Berikut adalah contoh perhitungan tegangan overburden efektif (p'_o) akibat timbunan oprit pada sisi selatan jembatan

- Untuk kedalaman 0-1m (Lapisan 1)

$$z = \frac{z_1}{2} = \frac{1}{2} = 0,5 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}\gamma' &= \gamma_{sat} - \gamma_w \\ &= 1,6 \text{ t/m}^3 - 1 \text{ t/m}^3 \\ &= 0,60 \text{ t/m}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}p'_o &= \gamma' \times z \\ &= 0,60 \text{ t/m}^3 \times 0,5 \text{ m} \\ &= 0,300 \text{ t/m}^2\end{aligned}$$

- Untuk kedalaman 10-11 m (Lapisan 11)

$$\begin{aligned}z &= \sum z_1 - z_{10} + \frac{1}{2} \\ &= 10 + 0,5 = 10,5 \text{ m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}p'_o &= (\gamma'_1 \times z_{10}) + (\gamma'_2 \times 1/2) \\ &= (0,60 \text{ t/m}^3 \times 10 \text{ m}) + (0,80 \text{ t/m}^3 \times 0,5 \text{ m}) \\ &= 6,400 \text{ t/m}^2\end{aligned}$$

- Untuk kedalaman 16-17 m (Lapisan 17)

$$\begin{aligned}z &= \sum z_{16} + \frac{1}{2} \\ &= 16 + 0,5 = 16,5 \text{ m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}p'_o &= (\gamma'_1 \times z_1 - z_{10}) + (\gamma'_2 \times z_{10} - z_{16}) + (\gamma'_3 \times 0,5) \\ &= (0,60 \text{ t/m}^3 \times 10 \text{ m}) + (0,80 \text{ t/m}^3 \times 6 \text{ m}) + (0,70 \text{ t/m}^3 \times 0,5 \text{ m}) \\ &= 11,150 \text{ t/m}^2\end{aligned}$$

Hasil perhitungan tegangan overburden (σ'_o) untuk seluruh kedalaman ditampilkan pada Tabel dibawah ini

Tabel 5.3 Hasil Perhitungan Tegangan *Overburden* (σ'_o) untuk tiap kedalaman

Lapisan ke-	Kedalaman (m)		σ'_o (t/m ²)
1	0-1	0,5	0,300
2	1-2	1,5	0,900
3	2-3	2,5	1,500
4	3-4	3,5	2,100
5	4-5	4,5	2,700
6	5-6	5,5	3,300
7	6-7	6,5	3,900
8	7-8	7,5	4,500
9	8-9	8,5	5,100
10	9-10	9,5	5,700
11	10-11	10,5	6,400
12	11-12	11,5	7,200
13	12-13	12,5	8,000
14	13-14	13,5	8,800
15	14-15	14,5	9,600
16	15-16	15,5	10,400
17	16-17	16,5	11,150
18	17-18	17,5	11,850
19	18-19	18,5	12,550
20	19-20	19,5	13,250
21	20-21	20,5	13,950
22	21-22	21,5	14,650
23	22-23	22,5	15,350
24	23-24	23,5	16,050

Setelah selesai menghitung tegangan overburden (p'_o) untuk tiap kedalaman, langkah selanjutnya adalah menghitung besar tegangan akibat beban timbunan (Δp). Tegangan akibat beban timbunan (Δp) ditentukan dengan **Persamaan [2.8]**. Berikut adalah contoh perhitungan tegangan akibat beban timbunan (Δp) timbunan oprit pada sisi sebelum sungai akibat q total = 10,96 t/m².

- Untuk kedalaman 0-1 m

$$Z = 0,5 \text{ m}$$

$$B1 = \frac{\text{lebar jalan rencana}}{2}$$

$$= \frac{24 \text{ m}}{2}$$

$$\begin{aligned}
&= 12,0 \text{ m} \\
B2 &= 2 \times H \text{ total} \\
&= 2 \times 5,55 \text{ m} \\
&= 11,099 \text{ m} \\
\alpha 1 &= \tan^{-1} \left(\frac{B1+B2}{Z} \right) - \tan^{-1} \times \left(\frac{B1}{Z} \right) (radian) \\
&= \tan^{-1} \left(\frac{12,00+11,09}{0,5} \right) - \tan^{-1} \times \left(\frac{12,00}{0,5} \right) (radian) \\
&= 1,15^\circ \\
\alpha 2 &= \tan^{-1} \times \left(\frac{B1}{Z} \right) (radian) \\
&= \tan^{-1} \times \left(\frac{12,00}{Z} \right) (radian) \\
&= 87,61^\circ \\
q_0 &= 10,96 \text{ t/m}^2 \\
\Delta p &= \frac{q_0}{\pi} \times \left[\left(\frac{B1+B2}{B2} \right) \times (a1 + a2) - \left(\frac{B1}{B2} \times a2 \right) \right] \\
&= \frac{10,96}{\pi} \times \left[\left(\frac{12,00+11,09}{11,09} \right) \times (1,15 + 87,61) - \left(\frac{12,00}{11,09} \times 87,61 \right) \right] \\
&= 5,48 \text{ t/m}^2 \\
2\Delta p &= 2 \times 5,58 \text{ t/m}^2 \\
&= 10,960 \text{ t/m}^2.
\end{aligned}$$

Hasil perhitungan untuk Δp seluruh lapisan tanah di kedua sisi sungai ditampilkan pada **Lampiran 3**.

Kemudian dilakukan perhitungan settlement yang terjadi akibat setiap q yang ditentukan. Berikut adalah contoh perhitungan settlement tanah dasar akibat beban timbunan sebesar $q = 10,96 \text{ t/m}^2$.

- Untuk kedalaman 0-1 m

$$\begin{aligned}
H_i &= 1 \text{ m} \\
C_c &= 0,297 \\
C_s &= 0,088 \\
e_0 &= 0,448 \\
p_0 &= 0,300 \text{ t/m}^2 \\
\Delta p &= 10,960 \text{ t/m}^2 \\
p'_0 + \Delta p &= 0,300 \text{ t/m}^2 + 10,960 \text{ t/m}^2 \\
&= 11,260 \text{ t/m}^2
\end{aligned}$$

$$P \text{ fluktuasi} = 1,5 \text{ m} \times 1 \text{ t/m}^3 = 1,5 \text{ t/m}^2$$

$$\begin{aligned} p_c &= p'_{o'} + P \text{ fluktuasi} \\ &= 0,300 \text{ t/m}^2 + 1,5 \text{ t/m}^2 \\ &= 1,800 \text{ t/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{OCR} &= \frac{p_c}{p'_{o'}} \\ &= \frac{1,800 \text{ t/m}^2}{0,300 \text{ t/m}^2} \\ &= 6 > 1 \rightarrow \text{OC} \end{aligned}$$

karena $p'_{o'} + \Delta p > p_c \rightarrow$ gunakan **Persamaan [2.4]**. Sehingga:

$$\begin{aligned} S_c &= \frac{C_s \cdot H_0}{1+e_0} \cdot \log \frac{p_c}{p'_{o'}} + \frac{C_c \cdot H_0}{1+e_0} \cdot \log \frac{p'_{o'} + \Delta p}{p'_{o'}} \\ &= \frac{0,088 \times 1}{1+0,448} \cdot \log \frac{1,800 \text{ t/m}^2}{0,300 \text{ t/m}^2} + \frac{0,297 \times 1}{1+0,448} \cdot \log \frac{11,260 \text{ t/m}^2}{1,800 \text{ t/m}^2} \\ S_c &= 0,210 \text{ m} \end{aligned}$$

Hasil settlement tersebut dijumlahkan dengan lapisan-lapisan tanah asli yang ditinjau, sehingga didapat settlement total dari satu q total. Langkah-langkah tersebut diulang dengan menggunakan variasi tinggi timbunan yang berbeda sesuai yang telah ditentukan sebelumnya. Hasil perhitungan settlement untuk seluruh lapisan tanah pada oprit timbunan ditampilkan pada **Lampiran 3**.

Selanjutnya H_{inisial} dan H_{final} didapatkan dengan menggunakan **Persamaan [2.9]**. Berikut adalah contoh perhitungan H_{inisial} dan H_{final} oprit timbunan:

- Untuk H timbunan = 5,55

$$\begin{aligned} H_{\text{inisial}} &= \frac{q + (S_c \times \gamma_{\text{timb}}) - (S_c \times \gamma'_{\text{timb}})}{\gamma_{\text{timb}}} \\ &= \frac{10,96 \text{ t/m}^2 + (1,164 \text{ m} \times 1,98 \text{ t/m}^2) - (1,164 \text{ m} \times 0,98 \text{ t/m}^2)}{1,98 \text{ t/m}^2} \\ &= 6,56 \text{ m} \end{aligned}$$

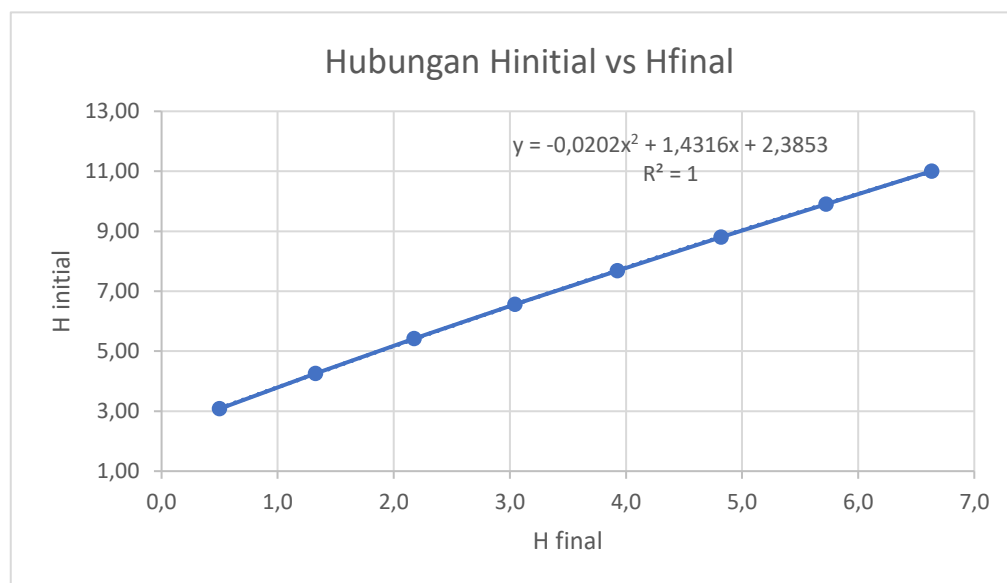
$$\begin{aligned} H_{\text{final}} &= H_{\text{inisial}} - H_{\text{traffic}} - H_{\text{perkerasan}} - S_c \\ &= 6,56 \text{ m} - 0,759 \text{ m} - 0,790 \text{ m} - 1,968 \text{ m} \\ &= 3,0 \text{ m} \end{aligned}$$

Pada pelaksanaan di lapangan, Hbongkar adalah Htraffic dan Hperkerasan yang harus dibongkar dari Hinisial karena beban lalu lintas/traffic dan beban perkerasan sudah bekerja sendiri. Hasil perhitungan Hinisial dan Hfinal untuk setiap beban q pada oprit timbunan sisi selatan jembatan ditampilkan pada tabel-tabel dibawah ini.

Tabel 5.4 Hasil Perhitungan Hinisial dan Hfinal pada Setiap Beban q

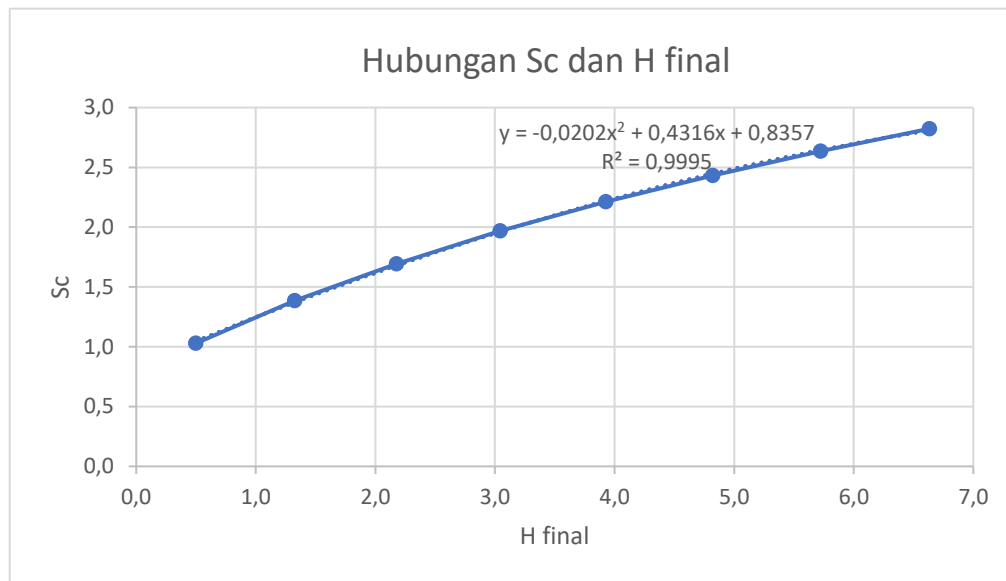
H timbunan (m)	Q total (t/m2)	Sc (m)	H initial (m)	H traffic (m)	H perkerasan (m)	H final (m)
2,55	5,04	1,029	3,08	0,760	0,790	0,5
3,55	7,01	1,386	4,26	0,760	0,790	1,3
4,55	8,99	1,695	5,42	0,760	0,790	2,2
5,55	10,96	1,968	6,56	0,760	0,790	3,0
6,55	12,94	2,212	7,69	0,760	0,790	3,9
7,55	14,91	2,432	8,80	0,760	0,790	4,8
8,55	16,89	2,635	9,91	0,760	0,790	5,7
9,55	18,860	2,823	11,01	0,760	0,790	6,6

Pada **Gambar 5.2** ditampilkan grafik hubungan antara Hfinal dengan Hinisial untuk oprit timbunan sisi selatan jembatan. Dan pada **Gambar 5.3 Kesalahan! Sumber referensi tidak ditemukan.** ditampilkan grafik hubungan antara Hfinal dengan Settlement untuk oprit



Gambar 5.2 Hubungan H inisial dan H final

timbunan



Gambar 5.3 Hubungan Sc dan H final

Dari grafik-grafik di atas dapat ditentukan H_{inisial} dan besar settlement yang terjadi untuk setiap H_{final} yang telah direncanakan yaitu 4,4 m, 4,7 m, 5,5 m, 6,2 m, 7 m dan 7,7m. contoh perhitungan tinggi 7,7 sebagai berikut :

- Mencari H Inisial

$$\begin{aligned}
 y &= -0,0202x^2 + 1,4316x + 2,3853 \\
 &= -0,0202(7,7)^2 + 1,4316 (7,7) + 2,3853 \\
 &= 12,21 \text{ m}
 \end{aligned}$$

- Mencari Sc

$$\begin{aligned}
 y &= -0,0202x^2 + 0,4316x + 0,8357 \\
 &= -0,0202(7,7)^2 + 0,4316 (7,7) + 0,8357 \\
 &= 2,96 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Berikut repaituasi keseluruhan untuk h inisial dan sc rencana yang akan saya tinjau

Tabel 5.5 H initial dan Settlement pada tiap Segmen Timbunan Miring

STA	Segmen	H final (m)	H initial (m)	Sc (m)
0+625	1	7,7	12,21	2,96
0+650	2	7,0	11,42	2,86
0+675	3	6,2	10,48	2,73
0+700	4	5,5	9,65	2,59
0+725	5	4,7	8,67	2,41
0+750	6	4,4	8,29	2,34

5.1.2 Perhitungan Waktu Konsolidasi

Waktu konsolidasi (t) dihitung dengan Persamaan [2.10) Berikut adalah contoh perhitungan untuk tanah dasar .

$$t = \frac{T_v \cdot (H_{dr}^2)}{C_v}$$

$$T_{v90\%} = 0,848 \text{ Tabel 2.5}$$

$$H_{dr} = 24 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} C_v &= \frac{(H_1 + H_2 + \dots + H_n)^2}{\left(\frac{H_1}{\sqrt{C_{v1}}} + \frac{H_2}{\sqrt{C_{v2}}} + \dots + \frac{H_n}{\sqrt{C_{vn}}} \right)^2} \\ &= \frac{(10 + 6 + 8)^2}{\left(\frac{10}{\sqrt{0,0005}} + \frac{6}{\sqrt{0,0004}} + \frac{8}{\sqrt{0,0041}} \right)^2} \\ &= 0,00076 \text{ cm}^2/\text{detik} \\ &= 0,000000076 \text{ m}^2/\text{detik} \\ &= 2,39 \text{ m}^2/\text{tahun} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} t_{90\%} &= \frac{0,848 \cdot (24^2)}{2,39} \\ &= 204,54 \text{ tahun} \end{aligned}$$

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa waktu yang dibutuhkan untuk konsolidasi penuh pada lapisan tanah lunak setebal 24 meter mencapai 204,54 tahun. Oleh karena itu, dilakukan analisis penurunan dalam periode 1 tahun pertama sebagai acuan evaluasi. Jika penurunan melebihi 1,5 cm pada tahun pertama (rate of settlement) maka diperlukan perbaikan tanah dasar. Analisis dilakukan terhadap penurunan akibat timbunan setinggi 2,55 meter hingga umur rencana jalan selama 10 tahun untuk menentukan kebutuhan perkuatan tanah. Berikut perhitungannya

$$T_v = \frac{t \times C_v}{(H_{dr}^2)}, \text{ dimana } t = 1 \text{ (tahun pertama)}$$

$$T_v = \frac{1 \times 2,39}{(24^2)} = 0,004$$

$$\text{Untuk } U_v \text{ antara 0 s.d 60 \% } U_v = \left(2 \sqrt{\frac{T_v}{\pi}} \right) \times 100\%$$

$$U_v > 60 \% = (100 - a)\%$$

Pada tahun ke 1 $U_v < 60 \%$

$$U_v = \left(2 \sqrt{\frac{0,004}{3,14}} \right) \times 100\%$$

$$= 7,27 \%$$

Sehingga U_v pada tahun pertama sebesar 7,37 % dan penurunan tanah pada tahun pertama adalah sebagai berikut:

$$Sc_1 = U_{v1} \times Sc \text{ total (Tabel 5.4)}$$

$$Sc_1 = 7,27 \% \times 1,03 \text{ m}$$

$$= 0,0748 \text{ m}$$

$$= \mathbf{7,48 \text{ cm} > 1,5 \text{ cm}}$$

Untuk hasil dari penurunan setiap tahun serta selisih besar penurunan setiap tahun tersaji pada tabel dibawah ini.

Tabel 5.6 Penurunan Tanah dan Selisih Besar Penurunan Tanah

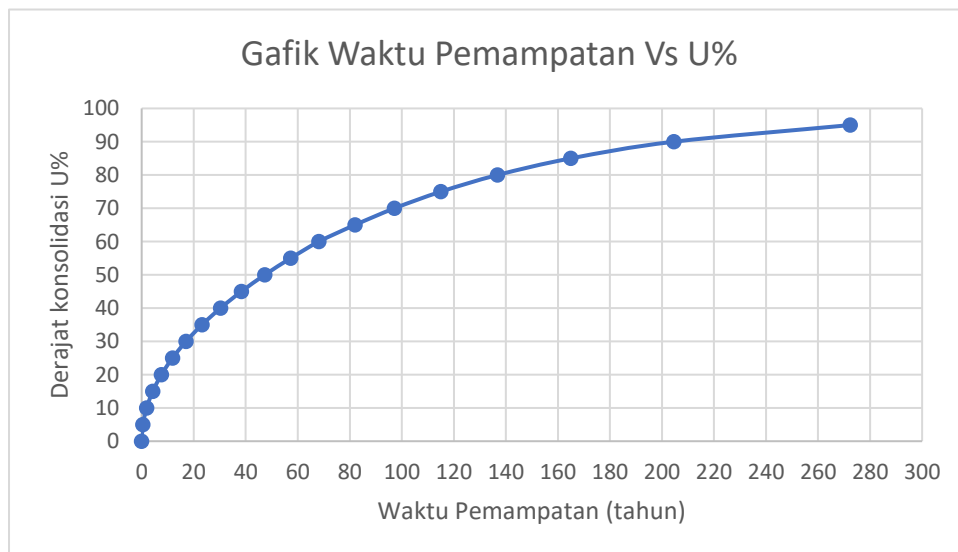
Tahun ke	T_v	$U_v (\%)$	$Sc \text{ m}$	$\Delta Sc \text{ (m)}$
1	0,004	7,27	0,0748	
2	0,008	10,28	0,1058	0,031
3	0,012	12,59	0,1296	0,024
4	0,017	14,53	0,1496	0,020
5	0,021	16,25	0,1673	0,018
6	0,025	17,80	0,1832	0,016
7	0,029	19,23	0,1979	0,015
8	0,033	20,56	0,2116	0,014
9	0,037	21,80	0,2244	0,013
10	0,041	22,98	0,2365	0,012

Karena waktu yang dibutuhkan untuk konsolidasi sebesar 90% sangat lama dan berdasarkan dengan hasil penurunan pada tahun pertama yang melebihi rate of settlement yaitu 7,48cm > 1,5cm maka diperlukan bantuan *vertical drain* untuk mempercepat waktu konsolidasi dan mengatasi penurunan . Jenis vertical drain yang dipakai adalah

Prefabricated Vertical Drain (PVD). Hasil perhitungan waktu konsolidasi ditampilkan pada Tabel dibawah ini.

Tabel 5.7 Hasil Perhitungan Waktu Konsolidasi Alami

Derajat konsolidasi (U%)	Faktor Waktu (Tv)	t (Tahun)	Sc (m)
0	0	0	0
5	0,002	0,473	0,148
10	0,008	1,893	0,296
15	0,018	4,260	0,444
20	0,031	7,574	0,592
25	0,049	11,834	0,740
30	0,071	17,041	0,888
35	0,096	23,194	1,036
40	0,126	30,295	1,184
45	0,159	38,342	1,332
50	0,196	47,336	1,480
55	0,237	57,276	1,628
60	0,283	68,163	1,776
65	0,340	82,008	1,924
70	0,403	97,204	2,072
75	0,477	115,053	2,220
80	0,567	136,761	2,368
85	0,684	164,981	2,516
90	0,848	204,538	2,664
95	1,129	272,315	2,812
100	-	-	2,960



Gambar 5.4 Grafik Hubungan Waktu Konsolidasi dengan Drajat Konsolidasi

5.2 Perencanaan Perbaikan Tanah dengan PVD

Berdasarkan hasil analisis diketahui bahwa waktu yang dibutuhkan tanah dasar untuk mengalami pemampatan sangat lama karena kondisi tanah yang bersifat kompresibel dengan ketebalan mencapai 24 meter. Hal ini menimbulkan kekhawatiran akan terjadinya differential settlement pada timbunan yang dapat berdampak negatif terhadap perkerasan jalan di atasnya. Oleh karena itu, dalam Tugas Akhir ini direncanakan penggunaan metode *Prefabricated Vertical Drain* (PVD) sebagai salah satu solusi perbaikan tanah lunak. Adapun tahapan dan langkah-langkah perencanaan PVD akan dijelaskan secara sistematis pada bagian selanjutnya.

Dalam perencanaan pemasangan *Prefabricated Vertical Drain* (PVD), digunakan dua jenis pola pemasangan, yaitu pola segiempat dan pola segitiga yang masing-masing ditunjukkan pada **Gambar 2.14** dan **Gambar 2.13**. Dari setiap pola tersebut akan dihitung nilai derajat konsolidasi untuk berbagai jarak spasi pemasangan yaitu 0,8 m; 1 m; 1,2 m; dan 1,4 m. Setelah diperoleh derajat konsolidasi total untuk masing-masing konfigurasi akan dipilih pola dan jarak spasi yang paling optimal berdasarkan pertimbangan waktu pelaksanaan dan efisiensi biaya.

5.2.1 Pola Pemasangan Segitiga

Berikut adalah contoh perhitungan perencanaan PVD pola segitiga pada oprit jembatan bagian selatan dengan kedalaman PVD adalah sedalam tanah *Compressible* yaitu 24 m:

1. Perhitungan Diameter Ekuivalen

Perhitungan diameter ekuivalen untuk PVD menggunakan persamaan (2.30) berdasarkan data spesifikasi PVD yang merujuk pada subbab 4.3.1.

$$d_w = \frac{2(a + b)}{\pi}$$

Dimana :

$$\text{Width (a)} = 100 \text{ mm}$$

$$\text{Thickness (b)} = 4,5 \text{ mm}$$

$$\pi = 3,14$$

$$d_w = \frac{2(100 + 4,5)}{3,14}$$

$$= 66,560 \text{ mm}$$

$$= 0,0665 \text{ m}$$

Diameter ekuivalen (D) dari lingkaran tanah pengaruh dari PVD sebaga berikut

$$D (\text{pola segitiga}) = 1,05 S$$

$$S = \text{jarak antar pemasangan PVD}$$

Untuk analisa perbaikan tanah tersebut, jarak pemasangan PVD (S) diasumsi dengan jarak 0,8 m, 1 m, 1,2 m, 1,4

- Diameter Ekivalen dengan $S = 0,8 \text{ m}$

$$D_{0,8} = 1,05 \times S$$

$$= 1,05 \times 0,8$$

$$= 0,84 \text{ m}$$

- Diameter Ekivalen dengan $S = 1 \text{ m}$

$$D_{0,8} = 1,05 \times S$$

$$= 1,05 \times 1$$

$$= 1,05 \text{ m}$$

Untuk diameter ekivalen pada jarak antar pemasangan PVD selanjutnya tersaji pada tabel sebagai berikut

Tabel 5.8 Diameter Ekivalen pola segitiga dengan Variasi Jarak antar PVD

Jarak PVD (S)	D
m	m
0,8	0,84
1	1,05
1,2	1,26
1,4	1,47

2. Fungsi Hambatan Akibat Jarak Antar PVD ($F(n)$)

Perhitungan besar fungsi hambatan yang diakibatkan jarak antar PVD untuk berbagai variasi jarak pemasangan PVD dihitung dengan menggunakan **persamaan [2.27]** sebagai berikut:

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

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

- Fungsi hambatan dengan (S) = 0,8 m

$$\begin{aligned}
 n_{0,8} &= \frac{D}{dw} \\
 &= \frac{0,85 \text{ m}}{0,0665} \\
 &= 12,620 \text{ m} \\
 F(n) &= \left(\frac{12,62^2}{12,62^2 - 1^2} \right) \left[\ln(n) - \frac{3}{4} - \left(\frac{1}{4 \times 12,62^2} \right) \right] \\
 &= 1,795
 \end{aligned}$$

- Fungsi hambatan dengan (S) = 1 m

$$\begin{aligned}
 n_{0,8} &= \frac{D}{dw} \\
 &= \frac{1,05 \text{ m}}{0,0665} \\
 &= 15,775 \text{ m} \\
 F(n) &= \left(\frac{15,775^2}{15,775^2 - 1^2} \right) \left[\ln(n) - \frac{3}{4} - \left(\frac{1}{4 \times 15,775^2} \right) \right] \\
 &= 2,016
 \end{aligned}$$

Untuk perhitungan fungsi hambatan pada jarak antar pemasangan PVD yang lainnya tersaji pada **Tabel 5.9** sebagai berikut:

Tabel 5.9 Fungsi Hambatan PVD pola Pemasangan Segitiga

Jarak PVD (S)	D	a	b	Dw	D/Dw (n)	n ²	F(n)
m	m	mm	mm	m			
0,8	0,84	100	4,5	0,066561	12,620	159,267	1,795
1	1,05	100	4,5	0,066561	15,775	248,854	2,016
1,2	1,26	100	4,5	0,066561	18,930	358,350	2,196
1,4	1,47	100	4,5	0,066561	22,085	487,755	2,349

3. Perhitungan Derajat Konsolidasi Total (U_{total})

Perhitungan derajat konsolidasi arah horizontal dan vertikal untuk jarak pemasangan PVD (S) = 1 m, dengan pola pemasangan segiempat dapat dihitung dengan menggunakan persamaan [2.30] sebagai berikut:

- a. Derajat konsolidasi total minggu = 1

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

$$D = 1,05 \text{ m}$$

$$F(n) = 2,016$$

$$t = 1 \text{ minggu (asumsi)}$$

$$C_v = 0,000757247 \text{ cm}^2/\text{detik}$$

$$= 0,046 \text{ m}^2/\text{minggu}$$

$$C_h = (2-5) \cdot C_v$$

$$\text{Dipakai } C_h = 3 \times C_v$$

$$= 3 \times 0,046$$

$$= 0,137394882 \text{ m}^2/\text{minggu}$$

$$H_{dr} = 24 \text{ m}$$

- Derajat konsolidasi Vertikal (U_v)

$$t = \frac{(H_{dr})^2 T}{C_v} \Leftrightarrow T_v = \frac{t \times C_v}{(H_{dr})^2}$$

$$T_v = \frac{1 \times 0,046 \text{ m}^2/\text{minggu}}{(24)^2}$$

$$= 0,0000795$$

$$U_v = \left(2 \sqrt{\frac{T_v}{\pi}} \right)$$

$$= \left(2 \sqrt{\frac{0,0000795}{3,14}} \right)$$

$$= 0,0101$$

- Derajat konsolidasi Horizontal (U_h)

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

$$= \left[1 - \left[\frac{1}{e^{\left(\frac{1 \times 8 \times 0,137394882}{1,05^2 \times 2 \times 2,016} \right)}} \right] \right]$$

$$= 0,219$$

- Derajat konsolidasi Horizontal (U_h)

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

$$= (1 - (1 - 0,219) \times (1 - 0,0101)) \times 100\%$$

$$= 22,697 \%$$

- b. Derajat konsolidasi total minggu = 2

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

$$D = 1,05 \text{ m}$$

$$F(n) = 2,016$$

$$t = 2 \text{ minggu (asumsi)}$$

$$C_v = 0,000757247 \text{ cm}^2/\text{detik}$$

$$= 0,046 \text{ m}^2/\text{minggu}$$

$$C_h = (2-5) \cdot C_v$$

$$\text{Dipakai } C_h = 3 \times C_v$$

$$= 3 \times 0,046$$

$$= 0,137394882 \text{ m}^2/\text{minggu}$$

$$H_{dr} = 24 \text{ m}$$

- Derajat konsolidasi Vertikal (U_v)

$$t = \frac{(H_{dr})^2 T}{C_v} \Leftrightarrow T_v = \frac{t \times C_v}{(H_{dr})^2}$$

$$T_v = \frac{2 \times 0,046 \text{ m}^2/\text{minggu}}{(24)^2}$$

$$= 0,000159$$

$$U_v = \left(2 \sqrt{\frac{T_v}{\pi}} \right)$$

$$= \left(2 \sqrt{\frac{0,000159}{3,14}} \right)$$

$$= 0,0142$$

- Derajat konsolidasi Horizontal (U_h)

$$\begin{aligned}
 U_h &= \left[1 - \left[\frac{1}{e^{\left(\frac{t \times 8 \times c_h}{D^2 \times 2 \times F(n)} \right)}} \right] \right] \\
 &= \left[1 - \left[\frac{1}{e^{\left(\frac{2 \times 8 \times 0,137394882}{1,05^2 \times 2 \times 2,016} \right)}} \right] \right] \\
 &= 0,390
 \end{aligned}$$

- Derajat konsolidasi Horizontal (U_h)

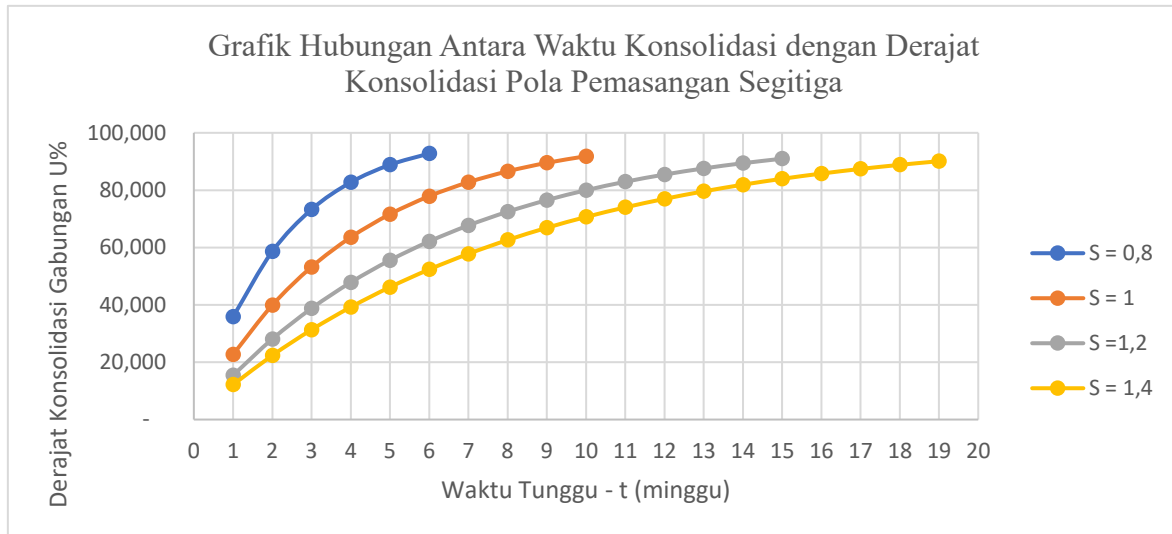
$$\begin{aligned}
 U_{total} &= (1 - (1 - U_h) \times (1 - U_v)) \times 100\% \\
 &= (1 - (1 - 0,390) \times (1 - 0,0142)) \times 100\% \\
 &= 39,889\%
 \end{aligned}$$

Perhitungan derajat konsolidasi total (U_{total}) untuk minggu selanjutnya dapat dilihat pada **Tabel 5.10**.

Tabel 5.10 Hasil Derajat Konsolidasi Total untuk Pola Pemasangan Segitiga $S=1$ m

t	Tv	Uv	Uh	U total
minggu		%	%	%
1	0,000080	0,010	0,219	22,697
2	0,000159	0,014	0,390	39,889
3	0,000239	0,017	0,524	53,212
4	0,000318	0,020	0,628	63,564
5	0,000398	0,023	0,710	71,617
6	0,000477	0,025	0,773	77,885
7	0,000557	0,027	0,823	82,765
8	0,000636	0,028	0,862	86,567
9	0,000716	0,030	0,892	89,529
10	0,000795	0,032	0,916	91,837

Perhitungan diatas dilakukan untuk seluruh jarak konsolidasi rata-rata (U) untuk pola segitiga pada setiap S dan kedalaman Hdr ditampilkan pada Lampiran 4. Pada gambar di bawah ini ditampilkangrafik hubungan waktu dengan derajat konsolidasi dengan menggunakan PVD pola segitiga pada kedalaman Hdr yang telah direncanakan.



Gambar 5.5 Grafik Hubungan Waktu Konsolidasi dan Derajat Konsolidasi Pola Pemasangan Segitiga

5.2.2 Pola Pemasangan Segiempat

Berikut adalah contoh perhitungan perencanaan PVD pola segiempat pada oprit jembatan bagian selatan dengan kedalaman PVD adalah sedalam tanah *Compressible* yaitu 24 m:

1. Perhitungan Diameter Ekuivalen

Perhitungan diameter ekuivalen untuk PVD menggunakan persamaan (2.30) berdasarkan data spesifikasi PVD yang merujuk pada subbab 4.3.1.

$$d_w = \frac{2(a + b)}{\pi}$$

Dimana :

$$\text{Width (a)} = 100 \text{ mm}$$

$$\text{Thickness (b)} = 4,5 \text{ mm}$$

$$\pi = 3,14$$

$$d_w = \frac{2(100 + 4,5)}{3,14}$$

$$= 66,560 \text{ mm}$$

$$= 0,0665 \text{ m}$$

Diameter ekuivalen (D) dari lingkaran tanah pengaruh dari PVD sebaga berikut

$$D (\text{pola segitiga}) = 1,13 S$$

$$S = \text{jarak antar pemasangan PVD}$$

Untuk analisa perbaikan tanah tersebut, jarak pemasangan PVD (S) diasumsi dengan jarak 0,8 m, 1 m, 1,2 m, 1,4

- Diameter Ekivalen dengan S = 0,8 m

$$\begin{aligned} D_{0,8} &= 1,13 \times S \\ &= 1,13 \times 0,8 \\ &= 0,904\text{m} \end{aligned}$$

- Diameter Ekivalen dengan S = 1m

$$\begin{aligned} D_{0,8} &= 1,13 \times S \\ &= 1,13 \times 1 \\ &= 1,13\text{ m} \end{aligned}$$

Untuk diameter ekivalen pada jarak antar pemasangan PVD selanjutnya tersaji pada tabel sebagai berikut

Tabel 5.11 Diameter Ekivalen pola Segiempatdengan Variasi Jarak antar PVD

Jarak PVD (S)	D
m	m
0,8	0,904
1	1,130
1,2	1,356
1,4	1,582

2. Fungsi Hambatan Akibat Jarak Antar PVD (F(n))

Perhitungan besar fungsi hambatan yang diakibatkan jarak antar PVD untuk berbagai variasi jarak pemasangan PVD dihitung dengan menggunakan **persamaan [2.27]** sebagai berikut:

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

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

- Fungsi hambatan dengan (S) = 0,8 m

$$\begin{aligned} n_{0,8} &= \frac{D}{dw} \\ &= \frac{0,904\text{ m}}{0,0665\text{m}} \\ &= 13,581\text{m} \end{aligned}$$

$$F(n) = \left(\frac{13,581^2}{13,581^2 - 1^2} \right) \left[\ln(n) - \frac{3}{4} - \left(\frac{1}{4 \times 13,581^2} \right) \right]$$

$$= 1,867\text{m}$$

- Fungsi hambatan dengan (S) = 1 m

$$n_{0,8} = \frac{D}{dw}$$

$$= \frac{1,15 \text{ m}}{0,0665\text{m}}$$

$$= 16,977 \text{ m}$$

$$F(n) = \left(\frac{16,977^2}{16,977^2 - 1^2} \right) \left[\ln(n) - \frac{3}{4} - \left(\frac{1}{4 \times 16,977^2} \right) \right]$$

$$= 2,088$$

Untuk perhitungan fungsi hambatan pada jarak antar pemasangan PVD yang lainnya tersaji pada **Tabel 5.12** sebagai berikut:

Tabel 5.12 Fungsi Hambatan PVD pola Pemasangan Segiempat

Jarak PVD (S)	D	a	b	Dw	D/Dw (n)	n ²	F(n)
m	m	mm	mm	m			
0,8	0,904	100	4,5	0,066561	13,582	184,461	1,867
1	1,13	100	4,5	0,066561	16,977	288,220	2,088
1,2	1,356	100	4,5	0,066561	20,372	415,036	2,269
1,4	1,582	100	4,5	0,066561	23,768	564,911	2,422

3. Perhitungan Derajat Konsolidasi Total (U_{total})

Perhitungan derajat konsolidasi arah horizontal dan vertikal untuk jarak pemasangan PVD (S) = 1 m, dengan pola pemasangan segiempat dapat dihitung dengan menggunakan **persamaan [2.30]** sebagai berikut:

- c. Derajat konsolidasi total minggu = 1

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

$$D = 1,13 \text{ m}$$

$$F(n) = 2,088$$

$$\begin{aligned}
t &= 1 \text{ minggu (asumsi)} \\
C_v &= 0,000757247 \text{ cm}^2/\text{detik} \\
&= 0,046 \text{ m}^2/\text{minggu} \\
C_h &= (2-5) \cdot C_v \\
\text{Dipakai } C_h &= 3 \times C_v \\
&= 3 \times 0,046 \\
&= 0,137394882 \text{ m}^2/\text{minggu} \\
H_{dr} &= 24 \text{ m}
\end{aligned}$$

- Derajat konsolidasi Vertikal (U_v)

$$t = \frac{(H_{dr})^2 T}{C_v} \Leftrightarrow T_v = \frac{t \times C_v}{(H_{dr})^2}$$

$$\begin{aligned}
T_v &= \frac{1 \times 0,046 \text{ m}^2/\text{minggu}}{(24)^2} \\
&= 0,0000795
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
U_v &= \left(2 \sqrt{\frac{T_v}{\pi}} \right) \\
&= \left(2 \sqrt{\frac{0,0000795}{3,14}} \right) \\
&= 0,0101
\end{aligned}$$

- Derajat konsolidasi Horizontal (U_h)

$$\begin{aligned}
U_h &= \left[1 - \left[\frac{1}{e^{\left(\frac{t \times 8 \times C_h}{D^2 \times 2 \times F(n)} \right)}} \right] \right] \\
&= \left[1 - \left[\frac{1}{e^{\left(\frac{1 \times 8 \times 0,137394882}{1,13^2 \times 2 \times 2,088} \right)}} \right] \right] \\
&= 0,186
\end{aligned}$$

- Derajat konsolidasi Horizontal (U_h)

$$\begin{aligned}
U_{total} &= (1 - (1 - U_h) \times (1 - U_v)) \times 100\% \\
&= (1 - (1 - 0,186) \times (1 - 0,0101)) \times 100\% \\
&= 19,44 \%
\end{aligned}$$

d. Derajat konsolidasi total minggu = 2

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

$$D = 1,13 \text{ m}$$

$$F(n) = 2,016$$

$$t = 2 \text{ minggu (asumsi)}$$

$$C_v = 0,000757247 \text{ cm}^2/\text{detik}$$

$$= 0,046 \text{ m}^2/\text{minggu}$$

$$Ch = (2-5) \cdot C_v$$

$$\text{Dipakai } Ch = 3 \times C_v$$

$$= 3 \times 0,046$$

$$= 0,137394882 \text{ m}^2/\text{minggu}$$

$$H_{dr} = 24 \text{ m}$$

- Derajat konsolidasi Vertikal (U_v)

$$t = \frac{(H_{dr})^2 T}{C_v} \Leftrightarrow T_v = \frac{t \times C_v}{(H_{dr})^2}$$

$$T_v = \frac{2 \times 0,046 \text{ m}^2/\text{minggu}}{(24)^2}$$

$$= 0,000159$$

$$U_v = \left(2 \sqrt{\frac{T_v}{\pi}} \right)$$

$$= \left(2 \sqrt{\frac{0,000159}{3,14}} \right)$$

$$= 0,0142$$

- Derajat konsolidasi Horizontal (U_h)

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

$$= \left[1 - \left[\frac{1}{e^{\left(\frac{2 \times 8 \times 0,137394882}{1,13^2 \times 2 \times 2,088} \right)}} \right] \right]$$

$$= 0,338$$

- Derajat konsolidasi Horizontal (U_h)

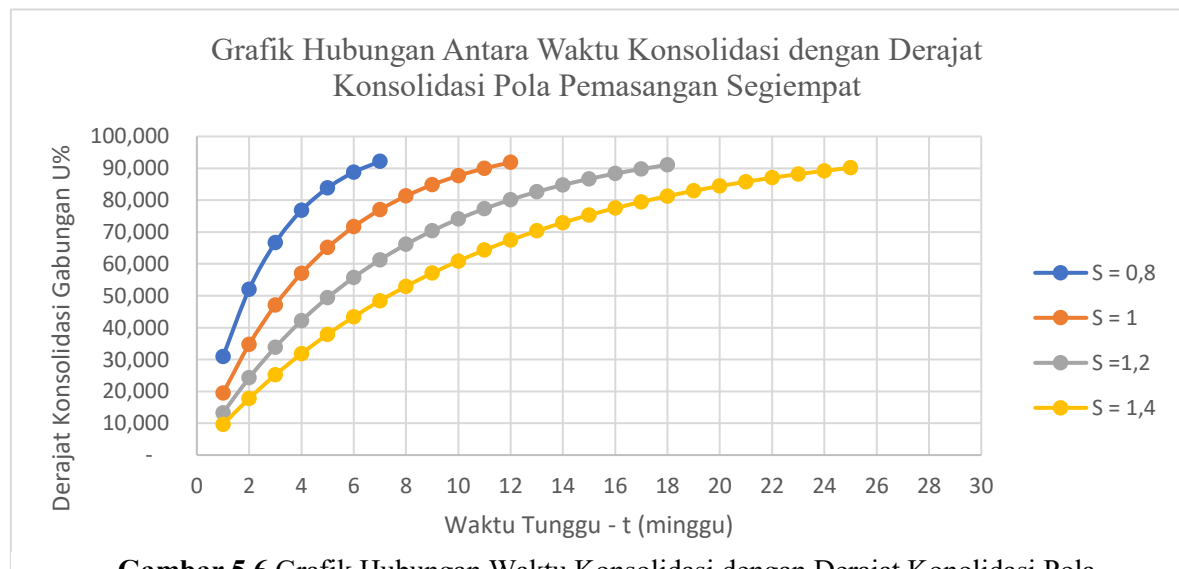
$$\begin{aligned}
 U_{total} &= (1 - (1 - U_h) \times (1 - U_v)) \times 100\% \\
 &= (1 - (1 - 0,338) \times (1 - 0,0142)) \times 100\% \\
 &= 34,724\%
 \end{aligned}$$

Perhitungan derajat konsolidasi total (U_{total}) untuk minggu selanjutnya dapat dilihat pada **Tabel 5.13**

Tabel 5.13 Hasil Derajat Konsolidasi Total untuk Pola Pemasangan Segiempat spasi 1 m

t	Tv	Uv	Uh	U total
minggu		%	%	%
1	0,000080	0,010	0,186	19,444
2	0,000159	0,014	0,338	34,724
3	0,000239	0,017	0,461	47,055
4	0,000318	0,020	0,562	57,034
5	0,000398	0,023	0,643	65,121
6	0,000477	0,025	0,710	71,680
7	0,000557	0,027	0,764	77,001
8	0,000636	0,028	0,808	81,320
9	0,000716	0,030	0,844	84,827
10	0,000795	0,032	0,873	87,673
11	0,000875	0,033	0,896	89,985
12	0,000954	0,035	0,916	91,863

Perhitungan diatas dilakukan untuk seluruh jarak konsolidasi rata-rata (U) untuk pola segiempat pada setiap S dan kedalaman Hdr ditampilkan pada Lampiran 4. Pada gambar di bawah ini ditampilkan grafik hubungan waktu dengan derajat konsolidasi dengan menggunakan PVD pola segiempat pada kedalaman Hdr yang telah direncanakan.



Gambar 5.6 Grafik Hubungan Waktu Konsolidasi dengan Derajat Konsolidasi Pola Segiempat

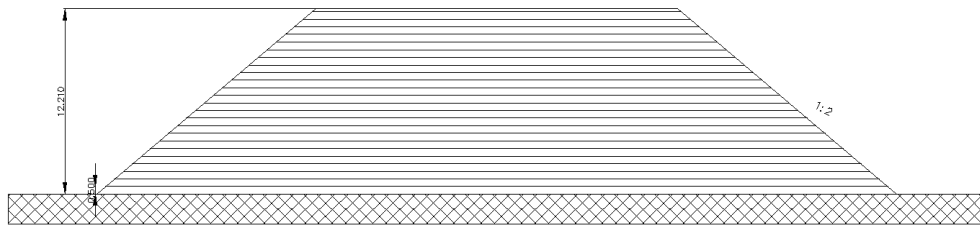
5.2.3 Penentuan Pola Pemasangan PVD

Berdasarkan grafik yang telah dianalisis dalam perencanaan Tugas Akhir ini ditetapkan bahwa jarak antar PVD pada oprit sisi selatan jembatan adalah 1,2 meter dengan pola pemasangan berbentuk segiempat. Penentuan pola dan jarak antar PVD untuk berbagai ketinggian timbunan yaitu 7,7 m, 7 m, 6,2 m, 5,5 m, 4,7 m dan 4,2 m dilakukan dengan mempertimbangkan alternatif yang paling efektif dalam mencapai derajat konsolidasi sesuai dengan batas waktu yang ditentukan. Dalam hal ini waktu konsolidasi maksimum yang diizinkan adalah selama 24,24 minggu = 25 minggu. Dalam perencanaan Tugas Akhir ini diputuskan menggunakan pola segiempat dengan spasi PVD 1,4 meter. Menggunakan pola segiempat dengan spasi 1,4 m dikarenakan :

1. Pola pemasangan segiempat dipilih karena secara teknis lebih mudah diterapkan di lapangan dibandingkan dengan pola segitiga, sehingga dapat mempermudah proses konstruksi dan mempercepat waktu pelaksanaan pekerjaan (Modul Ajar Metode Perbaikan Tanah, 2012).
2. Jarak antar PVD yang direncanakan adalah $s = 1,4$ meter dengan pertimbangan bahwa konfigurasi tersebut mampu menghasilkan derajat konsolidasi sebesar 90% dalam waktu sekitar 25 minggu yang dimana sesuai target dan batas maksimum yang di izinkan.
3. Jika dibandingkan dengan spasi $s = 1,2$ meter terdapat perbedaan waktu konsolidasi sekitar 7 minggu lebih cepat dibandingkan spasi $s = 1,4$ meter. Namun, karena waktu konsolidasi yang tersedia masih mencukupi untuk spasi 1,4 meter maka diputuskan bahwa spasi tersebut tetap digunakan dalam perencanaan. Selain itu, pertimbangan efisiensi biaya juga menjadi alasan pemilihan mengingat penggunaan spasi 1 meter akan memerlukan jumlah material PVD yang lebih banyak dan berdampak pada peningkatan biaya pelaksanaan.

5.3 Perencanaan Timbunan Bertahap

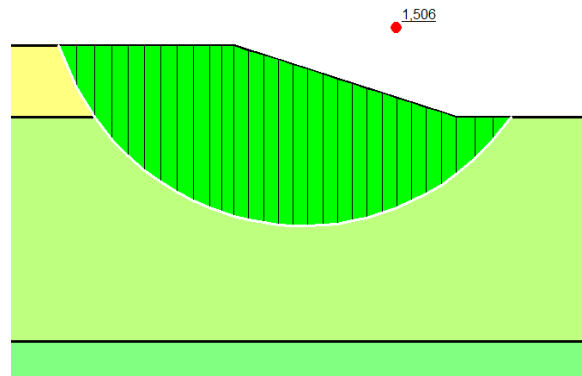
Pelaksanaan timbunan di lapangan diletakkan secara bertahap dengan kecepatan penimbunan sesuai yang direncanakan. Dalam Tugas Akhir ini, perencanaan timbunan bertahap meninjau oprit dengan tinggi timbunan yang paling tinggi yaitu 7,7 meter. Timbunan diletakkan secara bertahap setiap 0,5 meter/minggu. Dengan tinggi awal timbunan (Hinisial) adalah 12,21meter, maka didapatkan jumlah tahapan timbunan adalah sebanyak 25 tahap dimana khusus pada tahap ke 25 tinggi timbunan yang diletakkan adalah 0,21 meter. Ilustrasi perencanaan timbunan bertahap dapat dilihat pada **Gambar 5.7**.



Gambar 5.7 Ilustrasi Perencanaan Timbunan Bertahap

1. Menentukan Jadwal Penimbunan

Dalam meletakkan timbunan secara bertahap, tinggi penimbunan harus memperhatikan tinggi timbunan kritis (H_{cr}) yang dapat dipikul oleh tanah dasar. Dengan menggunakan program Geostudio (dapat dilihat pada Gambar 6.28) didapatkan H_{cr} untuk $SF = 1,5$ adalah 3,2 meter.



Gambar 5.8 Analisa H_{cr} menggunakan Geostudio

- Dari data sebelumnya didapatkan :
 $H_{inisial} = 12,21 \text{ m}$
 Kecepatan pentahapan timbunan = 50 cm/minggu
- Maka Tahapan Penimbunan yang dibutuhkan adalah

$$n = \frac{12,21}{0,5} = 25 \text{ Tahap}$$

Karena tinggi timbunan kritis yang mampu diterima tanah (H_{cr}) adalah 3,2 meter, maka pentahapan penimbunan untuk tahap 1 sampai dengan 6 dapat dilakukan secara menerus. Untuk tahap berikutnya, daya dukung tanah dasar harus cukup kuat menumpu penimbunan berikutnya. Oleh karena itu harus dilakukan pengecekan daya dukung tanah terlebih dahulu.

Perhitungan peningkatan nilai C_u perlu dilakukan untuk menentukan apakah tanah dasar cukup mampu memikul beban timbunan dengan peningkatan nilai C_u akibat adanya

timbunan bertahap. Perhitungan tersebut dilakukan untuk menentukan apakah penimbunan dapat dilanjutkan atau harus dilakukan penundaan. Berikut adalah perhitungan nilai C_u baru pada lapisan tanah dasar untuk mengecek daya dukung tanah dasar:

Pada Minggu ke-7, $H_{tot} = 3,5$ meter $>$ $H_{cr} = 3,2$ meter

- Menentukan tahapan penimbunan hingga minggu ke-6

Umur timbunan untuk tahap penimbunan ke-i pada minggu ke-6 dapat dilihat pada Tabel 6.19.

Tabel 5.14 Umur Timbunan Ke-i pada Minggu ke-6

Tinggi Timbunan	Umur Timbunan						
	Thapan Penimbunan						
	1	2	3	4	5	6	7
0,5 m	1 minggu	0	0	0	0	0	0
1,0 m	2 minggu	1 minggu	0	0	0	0	0
1,5 m	3 minggu	2 minggu	1 minggu	0	0	0	0
2,0 m	4 minggu	3 minggu	2 minggu	1 minggu	0	0	0
2,5 m	5 minggu	4 minggu	3 minggu	2 minggu	1 minggu	0	0
3,0 m	6 minggu	5 minggu	4 minggu	3 minggu	2 minggu	1 minggu	0

2. Menentukan Tegangan Pada Setiap Lapisan Tanah untuk Derajat Konsolidasi 100%

Untuk menghitung perubahan tegangan (Δp) pada subbab ini sama dengan pada perhitungan perubahan tegangan Seperti pada Subab 5,1,1

$$Z = 0,5 \text{ m}$$

$$H_{timb} = 0,5 \text{ m}$$

$$\gamma_{timb} = 1,97$$

$$\begin{aligned} q_0 &= (H_{timb} \times \gamma_{timb}) \\ &= 0,5 \times 1,97 \\ &= 0,985 \text{ t/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} B1 &= \frac{\text{lebar jalan rencana}}{2} \\ &= \frac{24 \text{ m}}{2} \\ &= 12,0 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} B2 &= 2 \times H_{total} \\ &= 2 \times 0,5 \text{ m} \\ &= 1,00 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\alpha_1 = \tan^{-1} \left(\frac{B1+B2}{Z} \right) - \tan^{-1} \times \left(\frac{B1}{Z} \right) (\text{radian})$$

$$\begin{aligned}
&= \tan^{-1} \left(\frac{12,00+1,00}{0,5} \right) - \tan^{-1} \times \left(\frac{12,00}{0,5} \right) (radian) \\
&= 0,183^\circ \\
\alpha_2 &= \tan^{-1} \times \left(\frac{B_1}{Z} \right) (radian) \\
&= \tan^{-1} \times \left(\frac{12,00}{Z} \right) (radian) \\
&= 87,61^\circ \\
\Delta p &= \frac{q_0}{\pi} \times \left[\left(\frac{B_1+B_2}{B_2} \right) \times (a_1 + a_2) - \left(\frac{B_1}{B_2} \times a_2 \right) \right] \\
&= \frac{0,985}{\pi} \times \left[\left(\frac{12,00+1,00}{1,00} \right) \times (0,183^\circ + 87,61^\circ) radian - \left(\frac{12,00}{1,00} \times 87,61 \right) \right] \\
&= 0,49 \text{ t/m}^2 \\
2\Delta p &= 2 \times 0,49 \text{ t/m}^2 \\
&= 0,985 \text{ t/m}^2.
\end{aligned}$$

Perhitungan Perubahan tegangan didapatkan dari :

$$\begin{aligned}
\sigma_1' &= \sigma'_o + \Delta P_1 \\
\sigma_2' &= \sigma_1' + \Delta P_2 \text{ dan seterusnya hingga } \sigma_7' \\
\Delta P_1 &= \Delta P_2, \Delta P_3
\end{aligned}$$

Perhitungan tersebut dilakukan hingga tinggi timbunan kritis tercapai, hasil dari P_o , σ_1' , σ_2' berbeda – beda pada setiap kedalaman tanah. Berikut merupakan contoh perhitungan perubahan tegangan dengan derajat konsolidasi 100 % pada penimbunan tahap 1 untuk tegangan pada kedalaman tanah 1 m. Untuk besaran nilai P_o mengacu pada **Tabel 5.3**.

$$\begin{aligned}
\sigma_1' &= \sigma'_o + \Delta P_1 \\
&= 0,300 + 0,985 \\
&= 1,285 \text{ t/m}^2
\end{aligned}$$

Untuk hasil perubahan tegangan akibat penimbunan tahap 1 dan pada kedalaman tanah selanjutnya disajikan dalam tabel 7.2. Perhitungan perubahan tegangan pada penimbunan tahap 2 untuk tegangan pada kedalaman tanah 1 m adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
\sigma_1' &= \sigma'_1 + \Delta P_2 \\
&= 1,285 + 0,985 \\
&= 2,270 \text{ t/m}^2
\end{aligned}$$

Untuk hasil perubahan tegangan akibat penimbunan tahap 2 pada kedalaman tanah selanjutnya disajikan dalam tabel dibawah ini

Tabel 5.15 Perubahan tegangan untuk Derajat Konsolidasi 100%

Derajat Konsolidasi 100%							
Tegangan	p'o (t/m ²)	σ_1' (t/m ²)	σ_2' (t/m ²)	σ_3' (t/m ²)	σ_4' (t/m ²)	σ_5' (t/m ²)	σ_6' (t/m ²)
Kedalaman (m)	H = 0,0	H = 0,5	H = 1,0	H = 1,5	H = 2,0	H = 2,5	H = 3,0
0-1	0,300	1,285	2,270	3,255	4,240	5,225	6,210
1-2	0,900	1,885	2,870	3,855	4,840	5,825	6,810
2-3	1,500	2,485	3,470	4,455	5,440	6,425	7,410
3-4	2,100	3,085	4,070	5,055	6,040	7,025	8,010
4-5	2,700	3,685	4,670	5,655	6,640	7,625	8,610
5-6	3,300	4,285	5,270	6,255	7,240	8,225	9,210
6-7	3,900	4,885	5,870	6,855	7,840	8,825	9,810
7-8	4,500	5,485	6,470	7,455	8,440	9,425	10,410
8-9	5,100	6,085	7,070	8,055	9,040	10,025	11,010
9-10	5,700	6,685	7,670	8,655	9,640	10,625	11,610
10-11	6,400	7,385	8,370	9,355	10,340	11,325	12,310
11-12	7,200	8,185	9,170	10,155	11,140	12,125	13,110
12-13	8,000	8,985	9,970	10,955	11,940	12,925	13,910
13-14	8,800	9,785	10,770	11,755	12,740	13,725	14,710
14-15	9,600	10,585	11,570	12,555	13,540	14,525	15,510
15-16	10,400	11,385	12,370	13,355	14,340	15,325	16,310
16-17	11,150	12,135	13,120	14,105	15,090	16,075	17,060
17-18	11,850	12,835	13,820	14,805	15,790	16,775	17,760
18-19	12,550	13,535	14,520	15,505	16,490	17,475	18,460
19-20	13,250	14,235	15,220	16,205	17,190	18,175	19,160
20-21	13,950	14,935	15,920	16,905	17,890	18,875	19,860
21-22	14,650	15,635	16,620	17,605	18,590	19,575	20,560
22-23	15,350	16,335	17,320	18,305	19,290	20,275	21,260
23-24	16,050	17,035	18,020	19,005	19,990	20,975	21,960

Setelah mendapatkan nilai perubahan tegangan akibat beban bertahap dengan $U = 100\%$, maka untuk mendapatkan nilai C_u baru harus menghitung perubahan tegangan efektif akibat beban timbunan apabila $U < 100\%$.

Hasil perhitungan derajat konsolidasi total (U_{total}) dengan PVD untuk pola pemasangan segi empat dengan jarak spasi 1,4 m dapat dilihat pada **Tabel 5.16**

Tabel 5.16 Derajat Konsolidasi (U_{total}) untuk PVD Pola Pemasangan Segi Empat $S=1,4m$

t	T_v	U_v	U_h	U_{total}
minggu		%	%	%
1	0,000080	0,010	0,087	9,586
2	0,000159	0,014	0,166	17,770
3	0,000239	0,017	0,238	25,141
4	0,000318	0,020	0,304	31,817
5	0,000398	0,023	0,364	37,877
6	0,000477	0,025	0,420	43,386
7	0,000557	0,027	0,470	48,398
8	0,000636	0,028	0,516	52,959
9	0,000716	0,030	0,558	57,112
10	0,000795	0,032	0,596	60,896
11	0,000875	0,033	0,631	64,342
12	0,000954	0,035	0,663	67,483
13	0,001034	0,036	0,692	70,345
14	0,001113	0,038	0,719	72,953
15	0,001193	0,039	0,743	75,332
16	0,001272	0,040	0,766	77,500
17	0,001352	0,041	0,786	79,476
18	0,001431	0,043	0,804	81,279
19	0,001511	0,044	0,821	82,922
20	0,001590	0,045	0,837	84,421
21	0,001670	0,046	0,851	85,788
22	0,001749	0,047	0,864	87,034
23	0,001829	0,048	0,876	88,171
24	0,001908	0,049	0,886	89,208
25	0,001988	0,050	0,896	90,154

Perhitungan perubahan tegangan efektif tanah dilakukan berdasarkan **Persamaan [2.19]**. Berdasarkan rumus tersebut analisis dilakukan hingga tahap penimbunan ke-6 dengan tinggi timbunan mencapai 3 meter dan waktu konsolidasi selama 6 minggu. Bentuk persamaan yang digunakan untuk analisis dapat dilihat pada **Tabel 5.15**, sedangkan hasil perhitungan perubahan tegangan efektif di setiap lapisan tanah dengan derajat konsolidasi $U < 100\%$ disajikan secara rinci pada **Tabel 5.16**

Tabel 5.17 Perumusan Perubahan tegangan di Tiap Lapisan Tanah pada Derajat Konsolidasi, $U < 100\%$

Tahapan Penimbunan (m)	Umur Timbunan (minggu)	Derajat Konsolidasi Utotal (%)	$\Delta P1'$ pada $U < 100\%$
0-0,5 (1)	6	43,386	$\left\{ \left(\frac{\sigma'_1}{po'} \right)^{0,43386} \times po' \right\} - po'$
0,5-1 (2)	5	37,877	$\left\{ \left(\frac{\sigma'_2}{\sigma'_1} \right)^{0,37877} \times \sigma'_1 \right\} - \sigma'_1$
1-1,5 (3)	4	31,817	$\left\{ \left(\frac{\sigma'_3}{\sigma'_2} \right)^{0,31817} \times \sigma'_2 \right\} - \sigma'_2$
1,5-2 (4)	3	25,141	$\left\{ \left(\frac{\sigma'_4}{\sigma'_3} \right)^{0,25141} \times \sigma'_3 \right\} - \sigma'_3$
2-2,5(5)	2	17,770	$\left\{ \left(\frac{\sigma'_5}{\sigma'_4} \right)^{0,17770} \times \sigma'_4 \right\} - \sigma'_4$
2,5-3 (6)	1	9,586	$\left\{ \left(\frac{\sigma'_6}{\sigma'_5} \right)^{0,09586} \times \sigma'_5 \right\} - \sigma'_5$

Sehingga perubahan tegangan dengan $U < 100\%$ untuk tahap 1 pada kedalaman tanah 0- 1 m adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \Delta P1 &= \left\{ \left(\frac{\sigma'_1}{po'} \right)^{0,43386} \times po' \right\} - po' \\
 &= \left\{ \left(\frac{1,285}{0,300} \right)^{0,43386} \times 0,300 \right\} - 0,300 \\
 &= 0,264 \text{ t/m}^2
 \end{aligned}$$

Untuk tahap 2 pada kedalaman tanah 1 m

$$\Delta P2 = \left\{ \left(\frac{\sigma'_2}{\sigma'_1} \right)^{0,37877} \times \sigma'_1 \right\} - \sigma'_1$$

$$= \left\{ \left(\frac{2,270}{1,285} \right)^{0,37877} \times 1,285 \right\} - 1,285$$

$$= 0,309 \text{ t/m}^2$$

Untuk hasil dari perhitungan perubahan tegangan ,U < 100% pada tahapan selanjutnya tersaji pada **Tabel 5.17**

Tabel 5.18 Perubahan tegangan di Tiap Lapisan Tanah pada Derajat Konsolidasi, U < 100%

Derajat Konsolidasi < 100%								
Perubahan Tegangan	p'o	ΔP1'	ΔP2'	ΔP3'	ΔP4'	ΔP5'	ΔP6'	Σσ' t/m2
	(t/m2)	(t/m2)	(t/m2)	(t/m2)	(t/m2)	(t/m2)	(t/m2)	
Tinggi timbunan (m)	H = 0,0	H = 0,5	H = 1,0	H = 1,5	H = 2,0	H = 2,5	H = 3,0	
Umur Timbunan	-	6 minggu	5 minggu	4 minggu	3 minggu	2 minggu	1 minggu	
U%	100 %	43,386 %	37,877 %	31,817 %	25,141 %	17,770 %	9,586 %	
Kedalaman (m)								
0-1	0,300	0,264	0,309	0,276	0,224	0,160	0,087	1,620
1-2	0,900	0,340	0,325	0,282	0,227	0,162	0,088	2,325
2-3	1,500	0,367	0,335	0,287	0,229	0,163	0,088	2,971
3-4	2,100	0,381	0,341	0,291	0,231	0,164	0,089	3,598
4-5	2,700	0,390	0,346	0,293	0,233	0,165	0,089	4,217
5-6	3,300	0,396	0,349	0,295	0,234	0,166	0,090	4,830
6-7	3,900	0,400	0,352	0,297	0,235	0,167	0,090	5,441
7-8	4,500	0,404	0,354	0,298	0,236	0,167	0,090	6,050
8-9	5,100	0,406	0,356	0,300	0,237	0,168	0,090	6,657
9-10	5,700	0,408	0,357	0,301	0,238	0,168	0,091	7,262
10-11	6,400	0,410	0,359	0,302	0,238	0,169	0,091	7,968
11-12	7,200	0,412	0,360	0,303	0,239	0,169	0,091	8,774
12-13	8,000	0,413	0,361	0,303	0,240	0,169	0,091	9,578
13-14	8,800	0,415	0,362	0,304	0,240	0,170	0,091	10,382
14-15	9,600	0,416	0,363	0,305	0,241	0,170	0,092	11,185
15-16	10,400	0,416	0,363	0,305	0,241	0,170	0,092	11,988
16-17	11,150	0,417	0,364	0,306	0,241	0,171	0,092	12,741
17-18	11,850	0,418	0,365	0,306	0,242	0,171	0,092	13,443
18-19	12,550	0,418	0,365	0,306	0,242	0,171	0,092	14,145
19-20	13,250	0,419	0,365	0,307	0,242	0,171	0,092	14,846
20-21	13,950	0,419	0,366	0,307	0,242	0,171	0,092	15,548
21-22	14,650	0,419	0,366	0,307	0,243	0,171	0,092	16,249
22-23	15,350	0,420	0,366	0,307	0,243	0,171	0,092	16,950
23-24	16,050	0,420	0,367	0,308	0,243	0,172	0,092	17,651

3. Kenaikan Daya Dukung Tanah Dasar dengan Cu yang baru

Nilai Cu baru diperoleh dengan menggunakan **persamaan [2.21]** dikarenakan PI yang tertera pada data laboratorium yang terlampir < 120 %, dan sehingga diperoleh harga Cu baru seperti yang ditampilkan pada Tabel 5.13.

$$\begin{aligned}
C_{u\text{baru}} \text{ 1m} &= [0,0737 + (0,1899 - 0,0016 \text{ PI})] \times \Sigma \sigma_1 \\
&= [0,0737 + (0,1899 - 0,0016 \times 36,51/100)] \times 1,620 \\
&= 0,380 \text{ t/m}^2
\end{aligned}$$

Untuk hasil dari kenaikan Cu pada minggu ke 6 dan setiap kedalaman tanah selanjutnya tersaji pada **tabel 5.17**

Tabel 5.19 Hasil Perhitungan Peningkatan Nilai Cu minggu ke-6

Kedalaman (m)	PI (%)	Cu lama	Cu baru
		t/m ²	t/m ²
0-1	36,51	1,50	0,380
1-2	36,51	1,50	0,514
2-3	36,51	1,50	0,636
3-4	36,51	1,50	0,755
4-5	36,51	1,50	0,872
5-6	36,51	1,50	0,988
6-7	36,51	1,50	1,104
7-8	36,51	1,50	1,219
8-9	36,51	1,50	1,334
9-10	36,51	1,50	1,449
10-11	44,34	1,9	1,581
11-12	44,34	1,9	1,734
12-13	44,34	1,9	1,886
13-14	44,34	1,9	2,038
14-15	44,34	1,9	2,190
15-16	44,34	1,9	2,342
16-17	44,34	1,65	2,484
17-18	44,34	1,65	2,617
18-19	44,34	1,65	2,750
19-20	44,34	1,65	2,882
20-21	44,34	1,65	3,015
21-22	44,34	1,65	3,148
22-23	44,34	1,65	3,281
23-24	44,34	1,65	3,413

Berdasarkan **Tabel 5.17** terlihat bahwa nilai Cu baru tidak mengalami peningkatan secara merata di seluruh kedalaman tanah. Pada lapisan tanah bagian atas (kedalaman 0–6 m) nilai Cu baru masih relatif rendah dibandingkan Cu lama, bahkan masih berada di bawah

nilai awal sebesar 1,5 t/m². Hal ini menunjukkan bahwa proses konsolidasi pada lapisan atas belum selesai sepenuhnya atau tegangan vertikal tambahan ($\Delta\sigma'$) akibat timbunan belum cukup besar untuk menghasilkan peningkatan Cu yang signifikan.

Sementara itu, pada lapisan tanah yang lebih dalam (di atas kedalaman 10 m) nilai Cu baru menunjukkan peningkatan yang lebih signifikan dibandingkan Cu lama mencapai lebih dari 3 t/m² di kedalaman 23–24 m. Ini menunjukkan bahwa proses konsolidasi akibat perkuatan PVD bekerja lebih efektif di kedalaman yang lebih besar karena tekanan efektif yang dihasilkan lebih tinggi.

Sehingga agar timbunan tidak terjadi kelongsoran, maka diperlukan adanya perkuatan timbunan. Perkuatan timbunan direncanakan dengan menggunakan *geotextile* dan *cantilever wall*. Karena telah digunakan perkuatan timbunan, maka daya dukung tanah dasar tidaklah menjadi masalah lagi sehingga penimbunan dapat menerus dilakukan tanpa adanya waktu penundaan pentahapan.

Tabel 5.20 Hasil Perhitungan Peningkatan Nilai Cu minggu ke-25

Kedalaman (m)	PI	Cu lama	Cu baru	Cu Transisi
		t/m ²	t/m ²	t/m ³
0-1	36,51	1,50	3,024	2,26
1-2	36,51	1,50	3,149	2,32
2-3	36,51	1,50	3,268	2,38
3-4	36,51	1,50	3,385	2,44
4-5	36,51	1,50	3,501	2,50
5-6	36,51	1,50	3,617	2,56
6-7	36,51	1,50	3,732	2,62
7-8	36,51	1,50	3,847	2,67
8-9	36,51	1,50	3,962	2,73
9-10	36,51	1,50	4,077	2,79
10-11	44,34	1,9	4,208	3,05
11-12	44,34	1,9	4,360	3,13
12-13	44,34	1,9	4,513	3,21
13-14	44,34	1,9	4,665	3,28
14-15	44,34	1,9	4,817	3,36
15-16	44,34	1,9	4,970	3,43
16-17	44,34	1,65	5,112	3,38
17-18	44,34	1,65	5,245	3,45
18-19	44,34	1,65	5,378	3,51
19-20	44,34	1,65	5,511	3,58
20-21	44,34	1,65	5,644	3,65
21-22	44,34	1,65	5,777	3,71
22-23	44,34	1,65	5,910	3,78
23-24	44,34	1,65	6,043	3,85

5.4 Analisa Stabilitas Lereng

5.4.1 GeoStudio

Pada analisis lereng timbunan ini, dilakukan evaluasi terhadap 6 segmen timbunan yang telah dikelompokkan sebagaimana dijelaskan pada Subbab 4.2.2. Pemodelan lereng dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak Geostudio yang menghasilkan output berupa nilai faktor keamanan (SF) dan garis potensi kelongsoran. Sebagai contoh, ditampilkan pemodelan pada segmen 1 yang terletak pada STA 0+625 yaitu dengan ketinggian timbunan mencapai 7,7 meter.

5.4.1.1 Input Parameter

Parameter tanah yang digunakan untuk input pada geostudio ditunjukkan pada tabel dibawah ini :

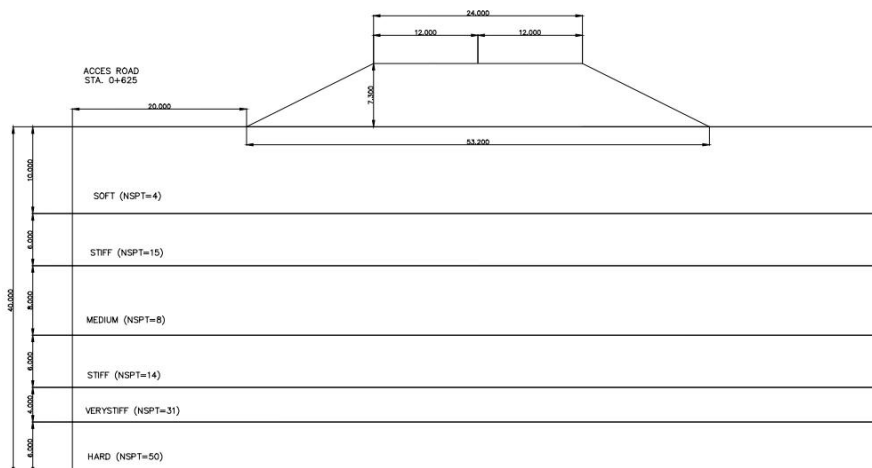
Tabel 5.21 Parameter Tanah Input Aplikasi GeoStudio

Keterangan	Simbol	Satuan	Lapisan Tanah						
Jenias Tanah			Clay	Silty clay	Silty clay loam	Clay loam	Sandy clay	Sandy Loam	Tanah Timbuann
Kedalaman		m	0,0 - 10,00	10,00 - 16,00	16,00 - 24,00	24,00 - 30,00	30,00 - 34,00	34,00 - End	
Weight below phreatic level	γ_{sat}	KN/m ³	16	18	17	18	20	19	21,9
Weight above phreatic level	γ	KN/m ³	15	17	16	17	19	19	19,8
Cohesion Effective	C	KN/m ²	23	24	32	24	62	85	22,56
Friction angle	ϕ	°	12	15	9	15	34	37	27

5.4.1.2 Permodelan Pada GeoStudio

Gambar segmen melintang pada STA 0+625 pada dengan data geometrik timbunan adalah sebagai berikut.

Tinggi timbunan = 7,7 m
 Lebar atas = 24 m
 Lebar bawah = 53,2 m
 Kemiringan lereng = 1:2

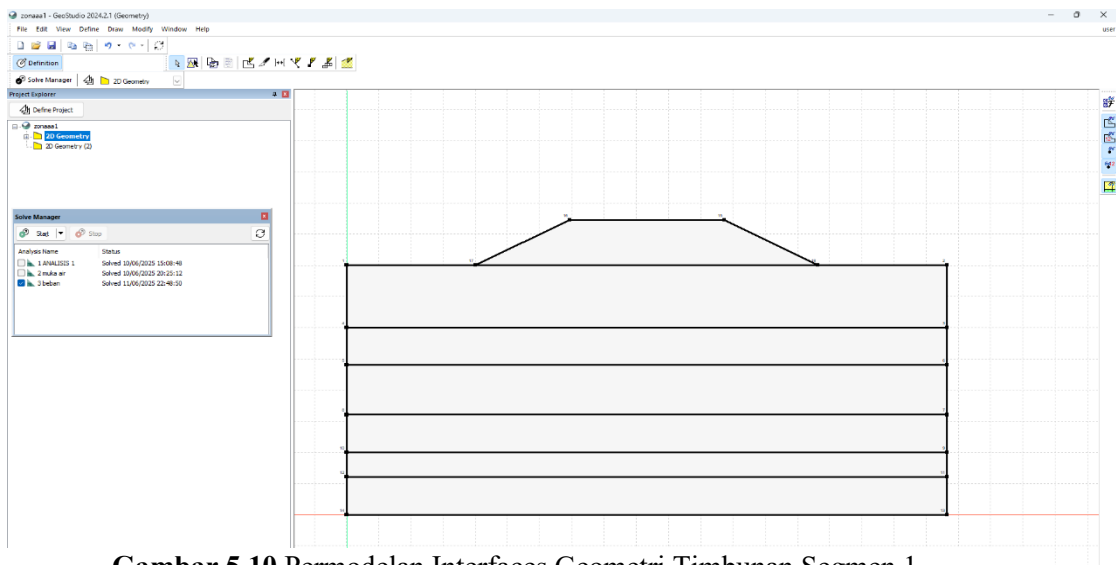


Gambar 5.9 Segmen Melintang Timbunan Eksisting STA 0+625

Selanjutnya dilakukan pemodelan timbunan eksisting menggunakan perangkat lunak GeoStudio, dengan memilih modul *Slope Stability*. Tahapan-tahapan pemodelan dan analisis lereng pada GeoStudio diuraikan sebagai berikut.

1) Pembuatan *geometri*

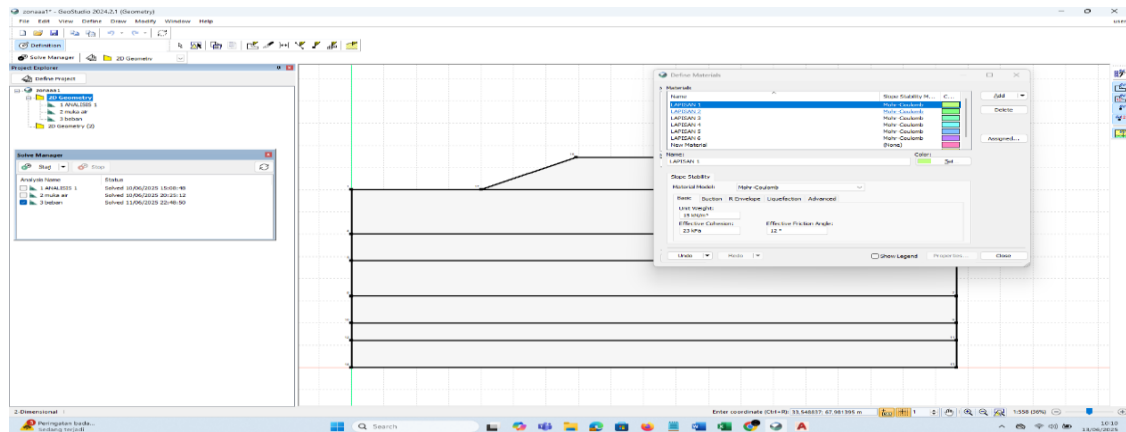
Langkah pertama ialah pembuatan geometri timbunan melalui fitur *Draw Regions* pada GeoStudio, lengkap dengan lapisan tanah asli di bawah timbunan sesuai data stratigrafi. Pembuatan geometri disesuaikan dengan tinggi timbunan, lebar dasar, dan kedalaman tanah lunak sesuai kondisi eksisting. Permodelan geometri timbunan sesuai pada **Gambar 5.10**



Gambar 5.10 Permodelan Interfaces Geometri Timbunan Segmen 1

2) *Input Material*

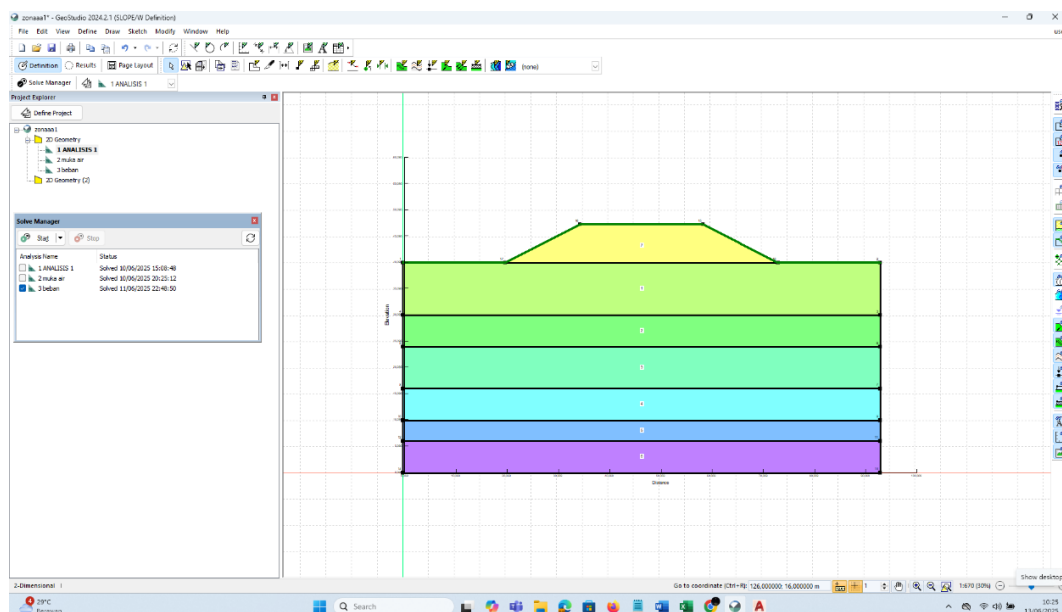
Pada tahap ini dilakukan pemasukan data parameter tanah untuk material timbunan dan tanah dasar di bawah timbunan. Parameter yang dimasukkan meliputi berat volume kering (γ), berat volume jenuh (γ_{sat}), sudut geser dalam (ϕ), dan kohesi efektif (C'). Nilai-nilai parameter tersebut dapat dilihat pada **Tabel 5.10**. Selain itu, masing-masing jenis tanah dapat diberi warna dan pola arsiran yang berbeda pada GeoStudio untuk mempermudah identifikasi visual antar lapisan tanah. Tampilan input data tanah ditunjukkan pada **Gambar 5.11**



Gambar 5.11 Tampilan *Input* Material GeoStudio

3) *Assign* Parameter Tanah

Pada tahap ini jenis tanah yang telah diinput sebelumnya diaplikasikan ke masing-masing lapisan geometri timbunan. Proses assign dilakukan secara berurutan dimulai dari lapisan timbunan bagian atas kemudian dilanjutkan ke lapisan tanah di bawahnya hingga lapisan paling dasar seperti pada **Gambar 5.12**

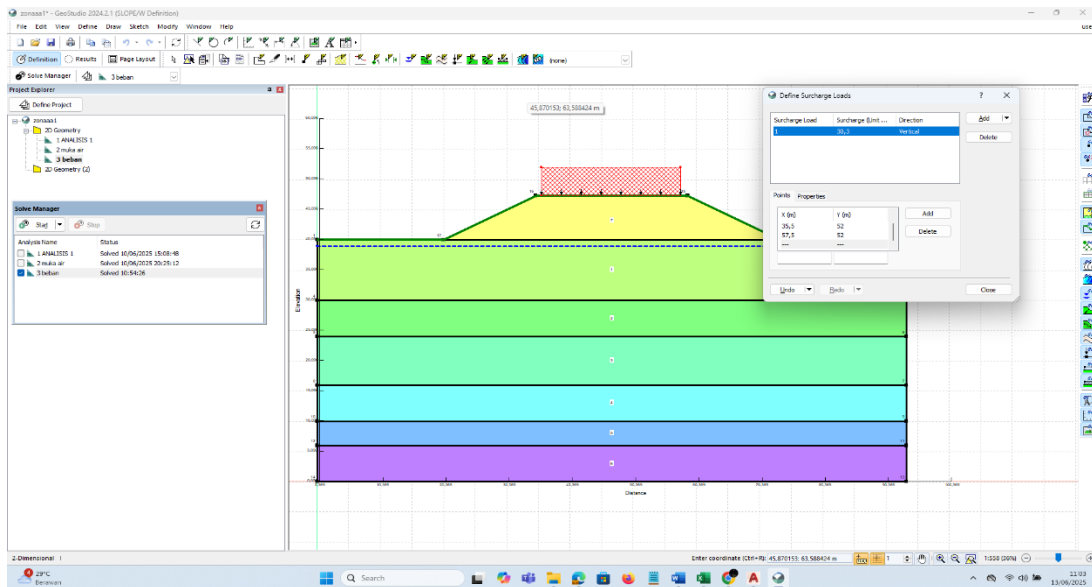


Gambar 5.12 Permodelan Interfaces Geometri Timbunan Segemen 1

4) Penentuan Kondisi Muka Air Tanah

Langkah selanjutnya adalah menentukan kondisi muka air tanah (phreatic surface) yang berpengaruh terhadap kestabilan lereng. Muka air tanah dimodelkan menggunakan fitur *Draw Phreatic Line* pada GeoStudio. Posisi muka air ditentukan berdasarkan hasil investigasi lapangan atau asumsi desain, terutama untuk kondisi jenuh pada tanah lunak.

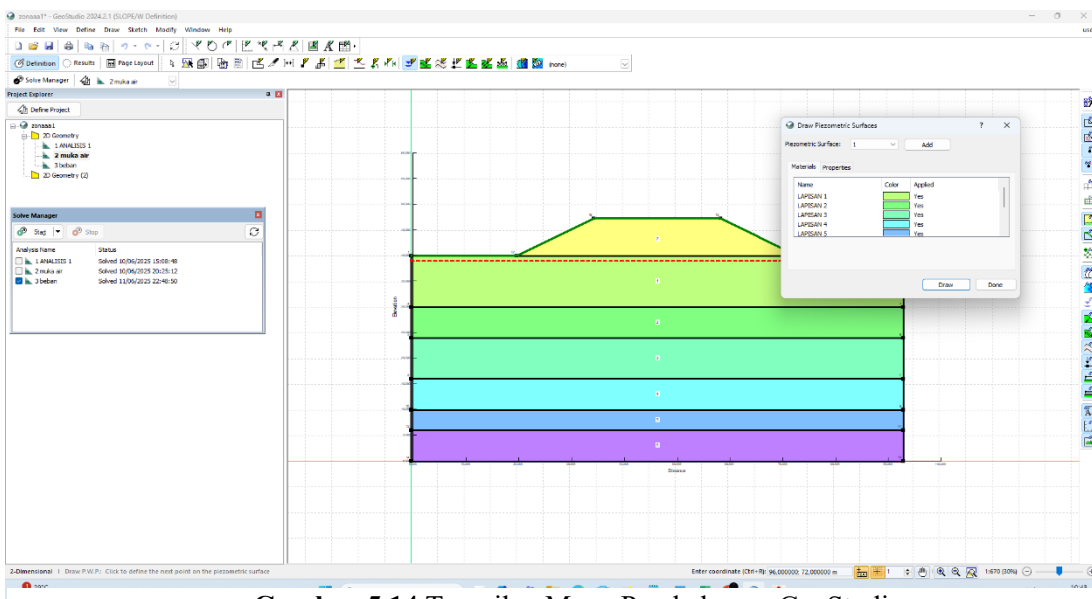
Penggambaran phreatic line ini penting untuk memperhitungkan tekanan pori dan berat jenis jenuh pada analisis stabilitas. Tampilan input phreatic line dapat dilihat dibawah ini.



Gambar 5.13 Tampilan penentuan muka air tanah

5) Input Pembebanan

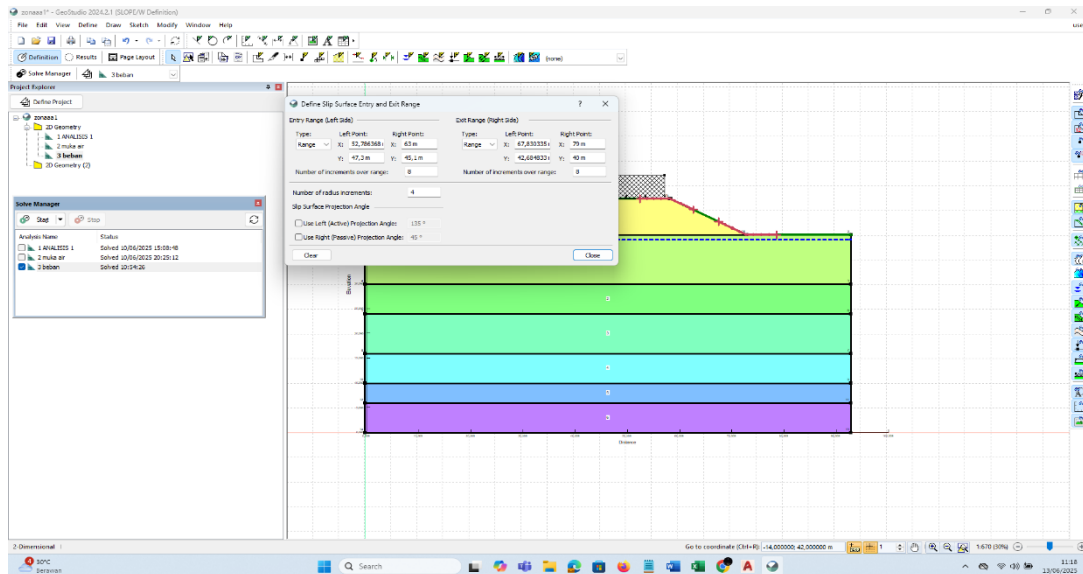
Tahap berikutnya adalah memasukkan beban merata yang bekerja di atas timbunan sepanjang 21 meter sesuai dengan nilai yang tercantum pada **Tabel 4.4** yaitu sebesar 30,3 kN/m². Proses input pembebanan dilakukan melalui fitur *Surcharge Load* pada GeoStudio yang memungkinkan penempatan beban permukaan secara langsung pada area timbunan. Tampilan input pembebanan ditunjukkan pada **Gambar 5.14**



Gambar 5.14 Tampilan Menu Pembebanan GeoStudio

6) Penentuan Bidang Longsor

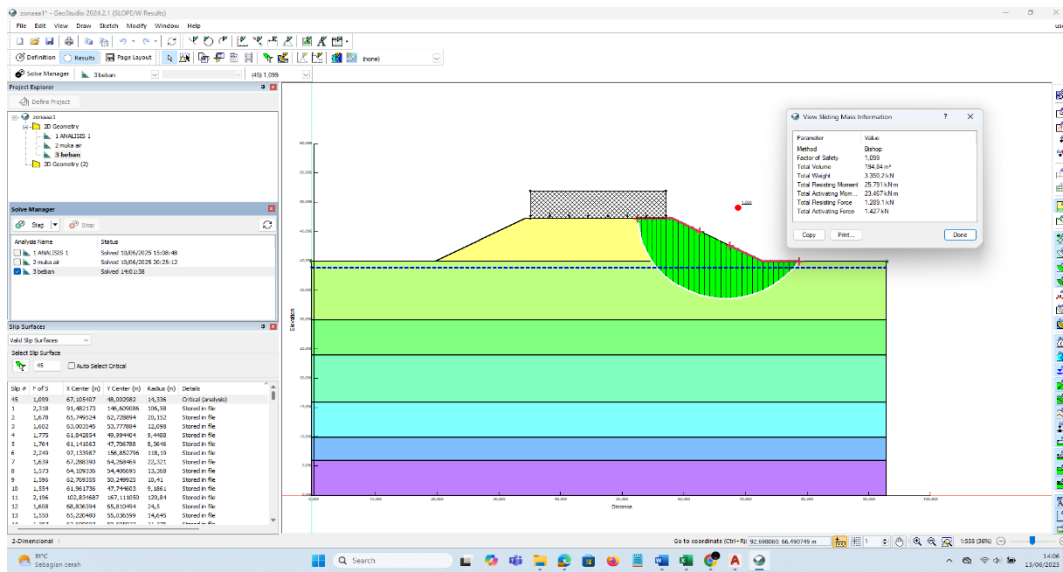
Pada tahap ini dilakukan penentuan bidang kelongsoran (slip surface) menggunakan metode *trial and error* pada salah satu sisi timbunan. Selain itu, bidang kelongsoran juga dapat ditentukan secara manual dengan memasukkan koordinat titik pusat (x, z) serta jari-jari lengkung kelongsoran. Penggambaran bidang kelongsoran ini bertujuan untuk mengetahui potensi arah dan bentuk kegagalan lereng. Contoh hasil penggambaran bidang kelongsoran secara *trial and error* ditampilkan pada **Gambar 5.15**.



Gambar 5.15 Penggambaran Bidang Longsor manual GeoStudio

7) Analisis dan Evaluasi Hasil

Analisis dilakukan menggunakan fitur *Solve* pada GeoStudio dengan metode *Bhisop*. Hasil yang diperoleh meliputi nilai faktor keamanan (SF) dan bidang kelongsoran kritis. Selain itu, program juga menampilkan nilai momen dorong (Md) dan momen penghambat (Mres) yang berperan dalam menahan kelongsoran. Lereng dinyatakan aman jika $SF \geq 1,5$. Jika nilai SF lebih kecil, maka perlu dilakukan revisi desain atau penambahan kekuatan. Hasil analisis ditampilkan pada gambar dibawah ini



Gambar 5.16 Tampilan Hasil Run analisis Geostudio

5.4.1.3 Hasil Analisa pada GeoStudio

Setelah proses *Run Analysis* dilakukan pada perangkat lunak *GeoStudio* diperoleh hasil analisis berupa nilai faktor keamanan (SF), momen penahan (MRes), dan momen dorong (MD) Nilai-nilai tersebut digunakan sebagai dasar dalam perhitungan kebutuhan kekuatan geotextile pada timbunan. Rekapitulasi hasil analisis ditampilkan pada

Tabel 5.22 Rekapitulasi Hasil Anlisa Stabilitas dengan GeoStudio

Potongan	Lolasi	H final (m)	SF GeoStudio	MR (kN.m)	MD (kN.m)	Kondisi
1	0+625	7,7	1,099	25791	23467	Tidak Aman
2	0+650	7,0	1,175	22524	18254	Tidak Aman
3	0+675	6,2	1,288	17936	13690	Tidak Aman
4	0+700	5,5	1,362	11176	8206	Tidak Aman
5	0+725	4,7	1,528	7834	5444	Aman
6	0+750	4,4	1,571	6911	4733	Aman

5.4.2 sPlaxis 2D

Sebagai pembanding terhadap hasil analisis sebelumnya menggunakan *GeoStudio* dilakukan juga pemodelan dan analisis stabilitas lereng timbunan dengan bantuan perangkat lunak PLAXIS 2D V21. Analisis ini mencakup seluruh 6 segmen timbunan yang telah dijelaskan pada Subbab 4.2.2. Sebagai studi kasus, digunakan segmen 6 pada STA 0+625 dengan tinggi timbunan mencapai 7,7 meter untuk dijadikan contoh permodelan secara lebih detail.

5.4.2.1 Input Parameter

Sebelum dilakukan proses pemodelan terlebih dahulu ditentukan parameter tanah yang akan diinput ke dalam perangkat lunak PLAXIS 2D, baik untuk tanah timbunan maupun tanah dasar di bawah timbunan. Pada permodelan ini segmen 1 di STA 0+625 dipilih sebagai contoh studi kasus. Tabel berikut menyajikan data input parameter tanah yang disesuaikan dengan hasil investigasi lapangan.

Tabel 5.23 Parameter Input Plaxis pada STA 0+625

Keterangan	Simbol	Satuan	Lapisan Tanah						
Jenias Tanah			Clay	Silty clay	Silty clay loam	Clay loam	Sandy clay	Sandy Loam	Tanah Timbuann
Material Model			<i>Mohr Coulomb</i>	<i>Mohr Coulomb</i>	<i>Mohr Coulomb</i>	<i>Mohr Coulomb</i>	<i>Mohr Coulomb</i>	<i>Mohr Coulomb</i>	<i>Mohr Coulomb</i>
Perilaku Tanah			<i>Undrained</i>	<i>Undrained</i>	<i>Undrained</i>	<i>Undrained</i>	<i>Undrained</i>	<i>Drained</i>	<i>Drained</i>
Kedalaman		m	0,0 - 10,00	10,00 - 16,00	16,00 - 24,00	24,00 - 30,00	30,00 - 34,00	34,00 - End	
<i>Weight below phreatic level</i>	γ_{sat}	KN/m3	16	18	17	18	20	19	21,9
<i>Weight above phreatic level</i>	γ	KN/m3	15	17	16	17	19	19	19,8
<i>Cohesion Effective</i>	C	KN/m2	23	24	32	24	62	85	22,56
<i>Friction angle</i>	ϕ	°	12	15	9	15	34	37	27
Koefisien Permeabilitas	K	m/day	0,00000864	0,00000864	0,0000864	0,0000864	0,0000864	0,000864	0,00864
Young's modulus	E'	kN/m2	2000	2500	2300	5000	8000	10000	11280

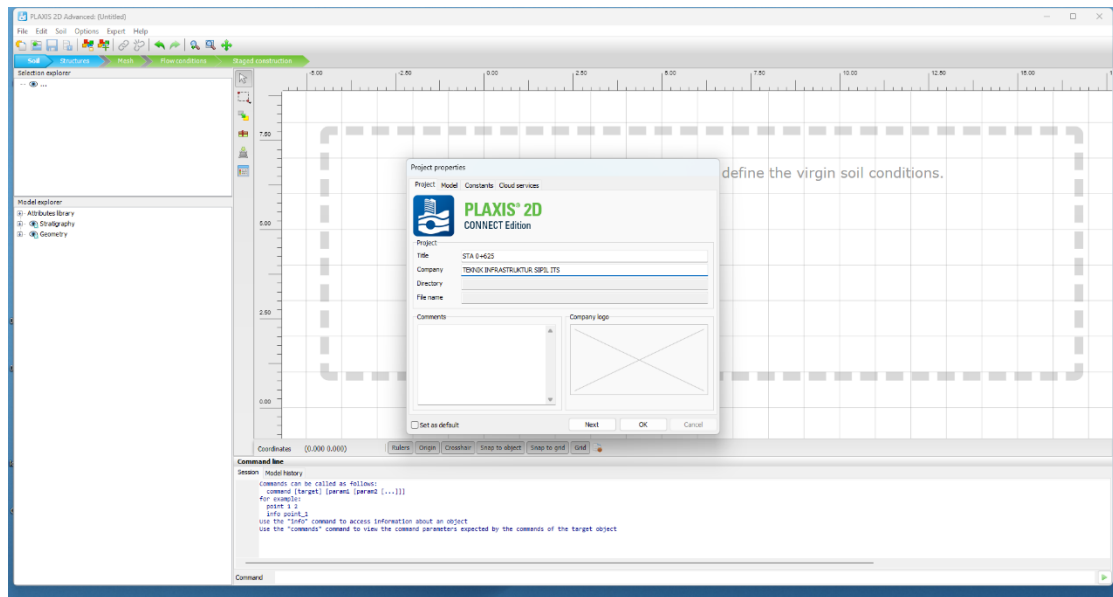
5.4.2.2 Permodelan pada PLAXIS 2D

Proses Input merupakan proses memasukkan data parameter ke dalam perangkat lunak plaxis 2D V21 dan berikut adalah langkah langkah pada proses input:

1. Buka aplikasi Plaxis

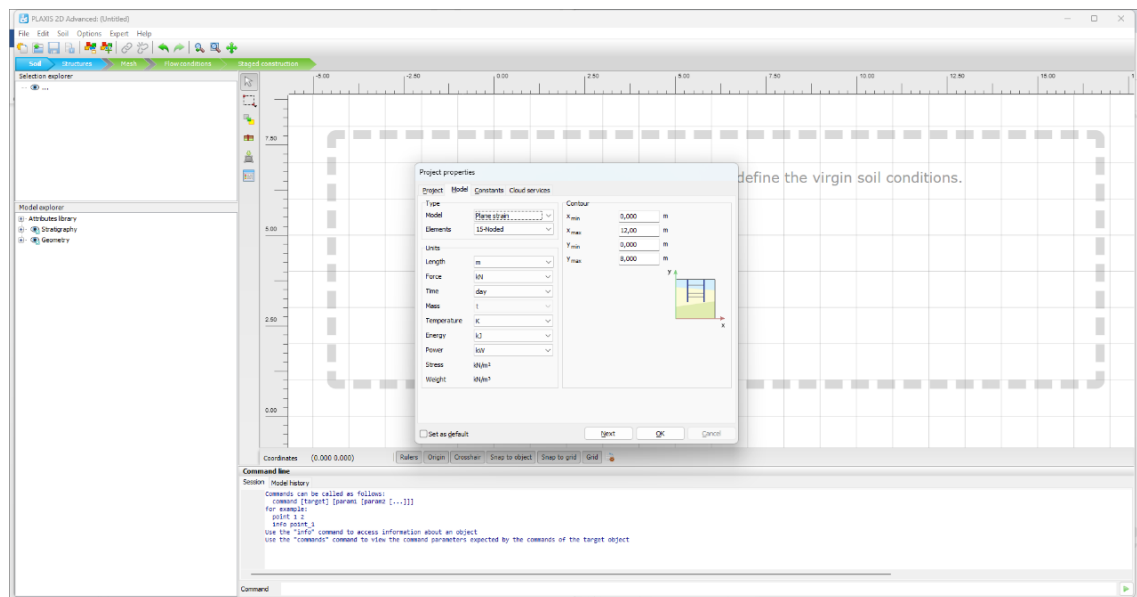
Langkah pertama yaitu membuka aplikasi PLAXIS 2D V21. Selanjutnya pilih opsi *Start New Project* dan lengkapi informasi proyek pada menu *Project Properties*, seperti nama proyek, lokasi file, serta deskripsi pemodelan sebagaimana ditunjukkan pada

Gambar 5.17



Gambar 5.18 Tampilan *Project Properties* saat Melakukan Permodelan Awal

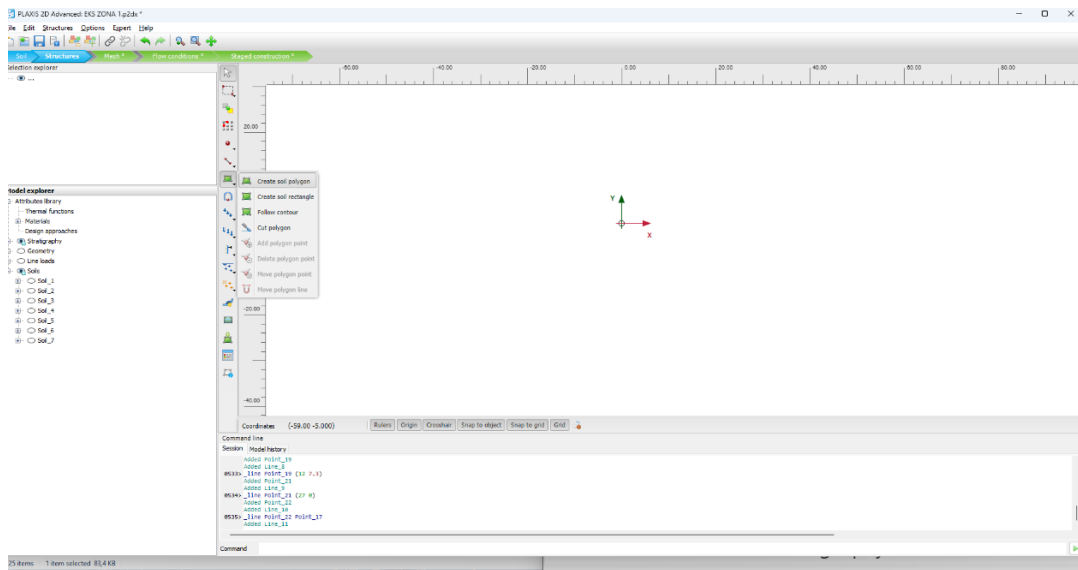
Langkah berikutnya masih berada dalam menu *Project Properties* yaitu melakukan pengaturan satuan dan batas area kerja. Pengaturan satuan dapat dilakukan melalui tab *Units* yang terletak di sisi kiri jendela sedangkan batas area kerja (model dimensions) dapat diatur pada bagian kanan tampilan, sebagaimana ditampilkan pada **Gambar 5.18**



Gambar 5.17 Tampilan *Project Properties* untuk Mengatur Satuan dan Area Kerja

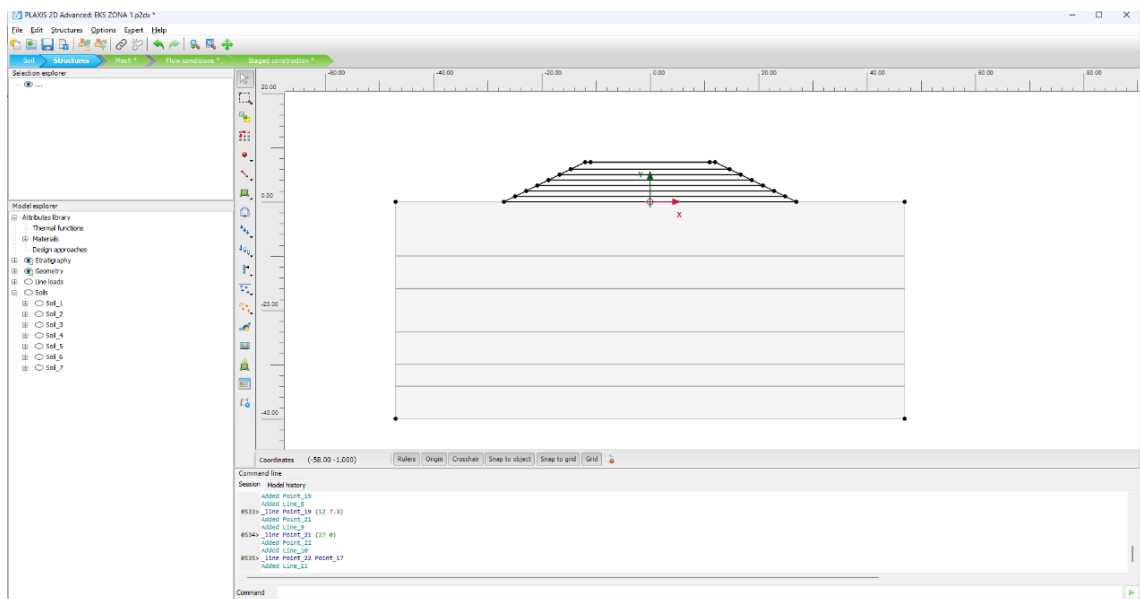
2. Permodelan Geometri Timbunan

Pada PLAXIS 2D V21, pemodelan geometri timbunan dimulai dengan memilih menu *Structures* kemudian dilanjutkan dengan memilih ikon *Create Soil Polygon* untuk menggambar lapisan tanah



Gambar 5.20 Tampilan Plaxis 2D V20 untuk Memodelkan Geometri Timbunan

Langkah selanjutnya adalah membuat geometri timbunan berdasarkan kondisi eksisting pada STA 0+625 yang memiliki ketinggian timbunan mencapai 7,7 meter sesuai elevasi perencanaan. Pemodelan dimulai dengan menentukan titik koordinat (0,0) sebagai acuan utama untuk mempermudah proses penggambaran. Geometri dimodelkan mulai dari lapisan tanah asli hingga kedalaman 40 meter dengan lebar 46,6 meter ke arah kiri dan kanan dari titik pusat. Sementara itu, timbunan dimodelkan dengan ketinggian 7,7 meter dan lebar sesuai kondisi lapangan 1: 2. Hasil dari pemodelan geometri ditampilkan pada **Gambar 5.20**.

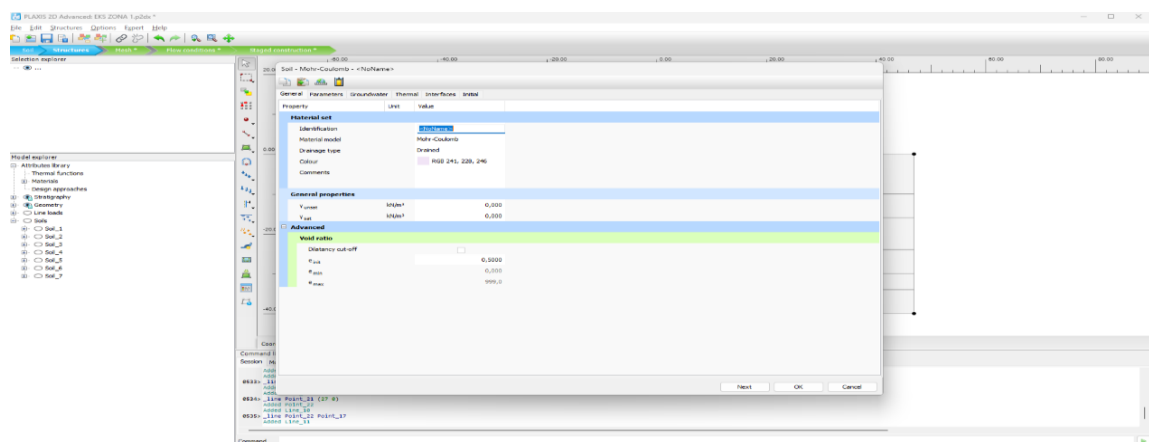


Gambar 5.19 Tampilan Geometri Timbunan Segmen 1

3. Input Parameter Material

Penginputan properti material tanah dilakukan melalui ikon  *Show Materials* pada menu *Structures*. Pada bagian *Material Sets*, pilih tipe *Soil and Interfaces*, kemudian klik tombol *New* di pojok kiri bawah untuk menambahkan material baru. Selanjutnya akan muncul jendela baru untuk memasukkan parameter tanah sesuai data.

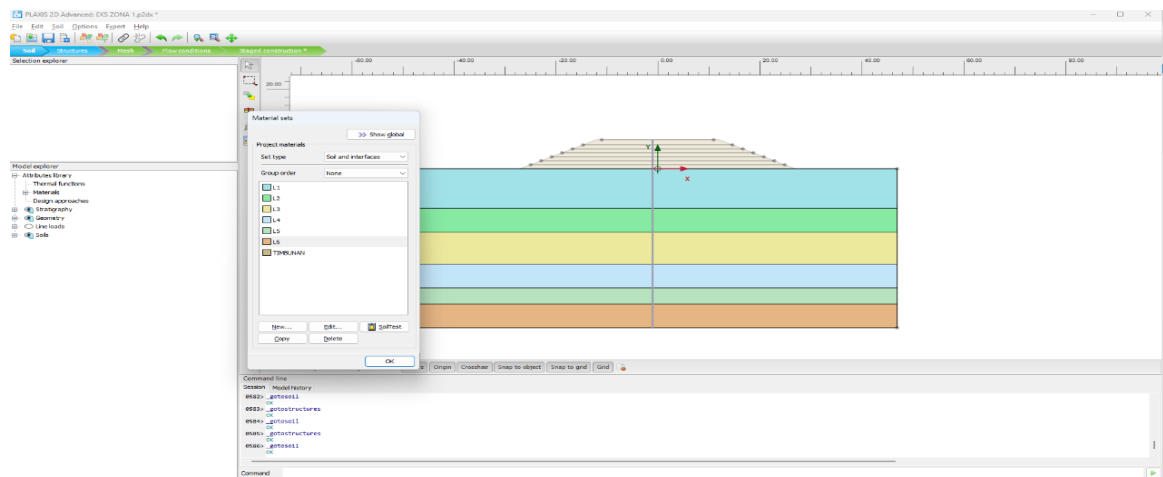
. Proses ini dilakukan untuk seluruh jenis tanah yang digunakan dalam model, termasuk tanah timbunan dan enam jenis tanah asli di bawahnya. Ilustrasi tahapan input material ditunjukkan pada gambar dibawah ini



Gambar 5.21 Material Sets pada Saat Menginput Parameter Tanah

4. Assign Material pada Timbunan

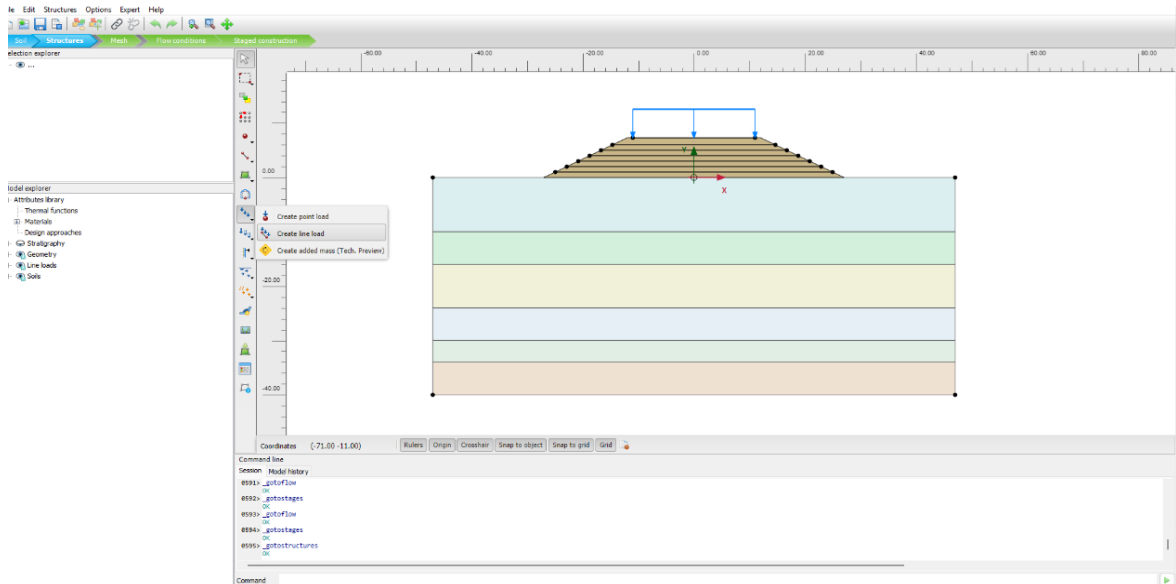
Langkah berikutnya adalah memberikan jenis material tanah pada masing-masing lapisan timbunan. Proses ini dilakukan dengan cara memilih material dari jendela *Material Sets*, kemudian menyeretnya ke bagian geometri sesuai dengan lokasi lapisan tanah yang bersangkutan. Hasil akhir dari proses ini ditunjukkan pada **Gambar 5.22**



Gambar 5.22 Kondisi Timbunan setelah Dilakukan Assign Material

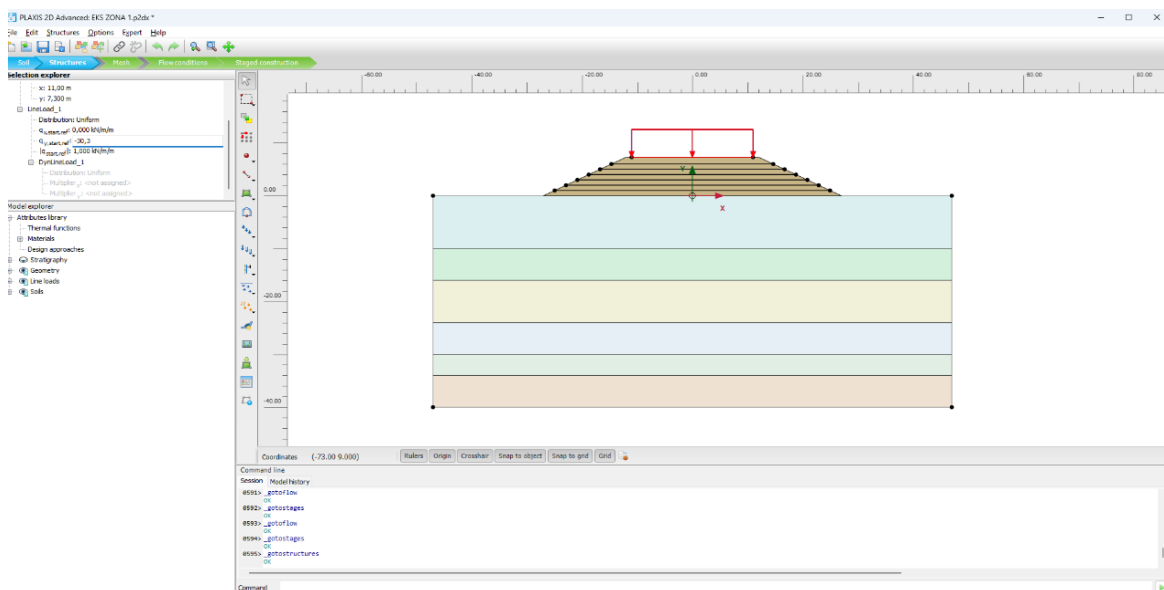
5. Input Pembebanan

Pada PLAXIS 2D V21, pembebanan dapat dimasukkan melalui fitur *Create Line Load*, yang kemudian diletakkan di atas permukaan timbunan sepanjang 21 meter, menyesuaikan dengan lebar timbunan pada Jalan Tol Probolinggo–Banyuwangi Paket 2, seperti ditampilkan pada **Gambar 5.23**



Gambar 5.23 Pembebanan yang Terjadi pada Timbunan

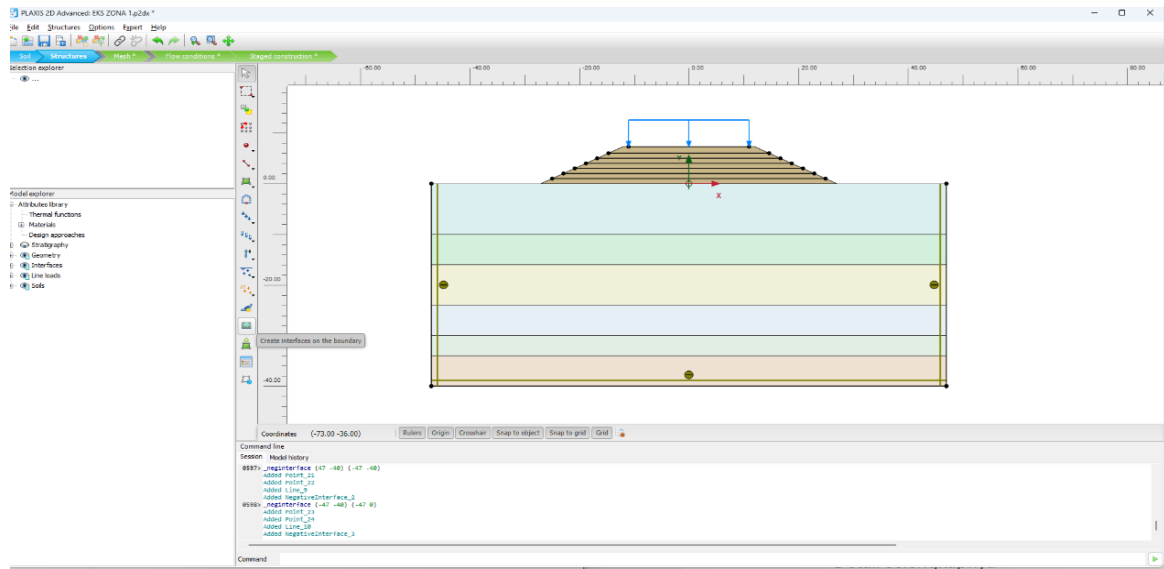
Selanjutnya, nilai pembebanan dapat dimasukkan melalui opsi *Distribution* pada menu sebelah kiri atas, dengan memilih jenis beban *Uniform Load* pada sumbu *yyq_yqy*. Besarnya pembebanan yang digunakan adalah 30,3 kN/m, dan dimasukkan menggunakan tanda negatif (-) untuk menunjukkan arah beban yang bekerja ke bawah, seperti ditunjukkan pada **Gambar 5.24**



Gambar 5.24 Input Nilai Pembebanan yang Terjadi sebesar 30,3 kN/m²

6. Membuat Batas Tanah atau Boundar

Langkah terakhir pada menu *Structures* adalah mendefinisikan batas atau *boundary* pada tanah asli timbunan. Hal ini dilakukan dengan memilih opsi *Create Interfaces on the Boundary* yang terletak di bagian kiri bawah tampilan. Setelah menu tersebut diaktifkan, batas tanah akan secara otomatis tergambar pada area tanah asli, sebagaimana ditunjukkan pada **Gambar 5.25**

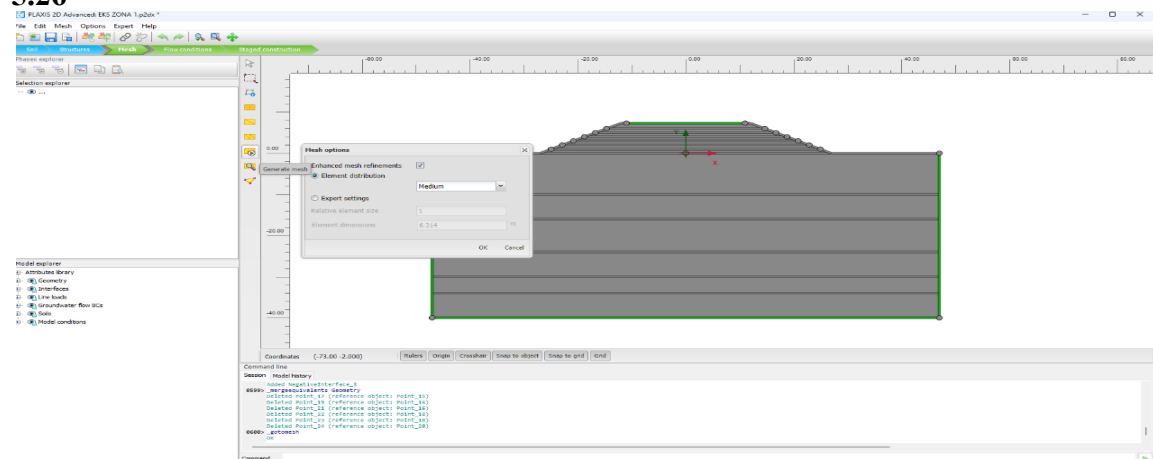


Gambar 5.25 Membuat Batas/Boundary pada Tanah Asli Timbunan

7. Membuat Mesh

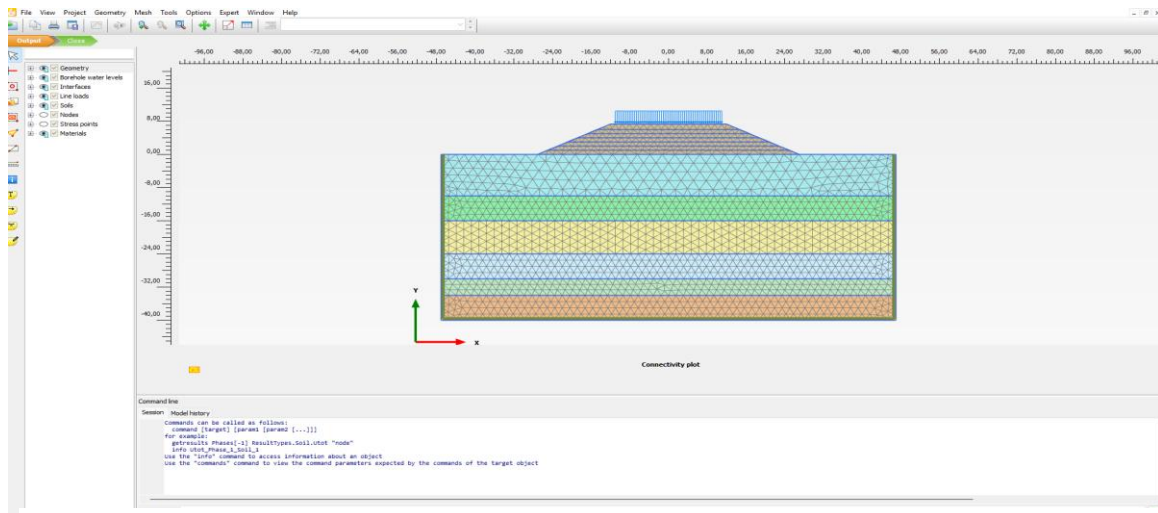
Tahapan selanjutnya adalah melakukan *meshing* yaitu proses pembuatan jaringan elemen (grid) pada model timbunan. Proses ini dilakukan dengan berpindah ke menu *Mesh* setelah menyelesaikan tahap pada *Structures* kemudian memilih opsi *Generate Mesh*. Proses ini akan menghasilkan tampilan elemen jala pada model seperti diperlihatkan pada **Gambar**

5.26



Gambar 5.26 Tampilan Mesh Options Setelah Klik Generate Mesh

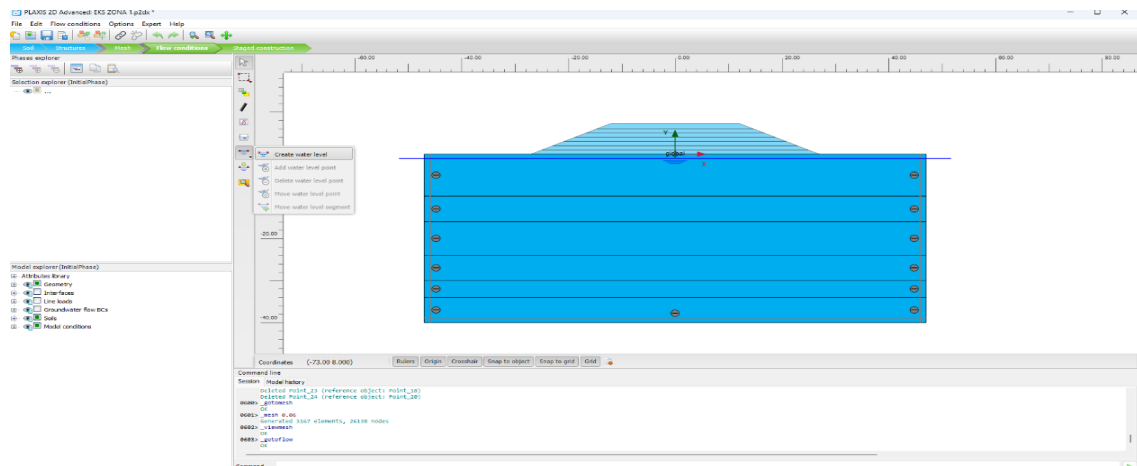
Pada tahap berikutnya di menu *Mesh Options* distribusi elemen dapat disesuaikan dengan kebutuhan analisis. Dalam tugas akhir ini, penulis memilih opsi *element distribution* 'Medium' untuk keperluan analisis menggunakan metode elemen hingga. Setelah pengaturan selesai, pilih *OK* dan tunggu hingga proses *meshing* selesai. Hasil *meshing* dapat ditinjau melalui menu *View Mesh* yang kemudian akan menampilkan tampilan jaring elemen seperti diperlihatkan pada **Gambar 2.27**



Gambar 5.27 Hasil Meshing Timbunan Segmen 1

8. Input Water Level

Tahapan selanjutnya yaitu menentukan elevasi muka air tanah pada model. Proses ini dilakukan melalui menu *Flow Conditions* yang terletak di bagian kiri atas, tepat di sebelah menu *Mesh*. Selanjutnya, pilih ikon *Create Water Level*, kemudian tarik garis horizontal dari sisi kiri ke kanan mengikuti elevasi muka air tanah sebagaimana tercantum pada hasil data borlog, yaitu berada pada kedalaman 1 meter. Setelah selesai, garis muka air tanah akan otomatis tampil pada geometri timbunan sebagaimana diperlihatkan pada **Gambar 5.28**

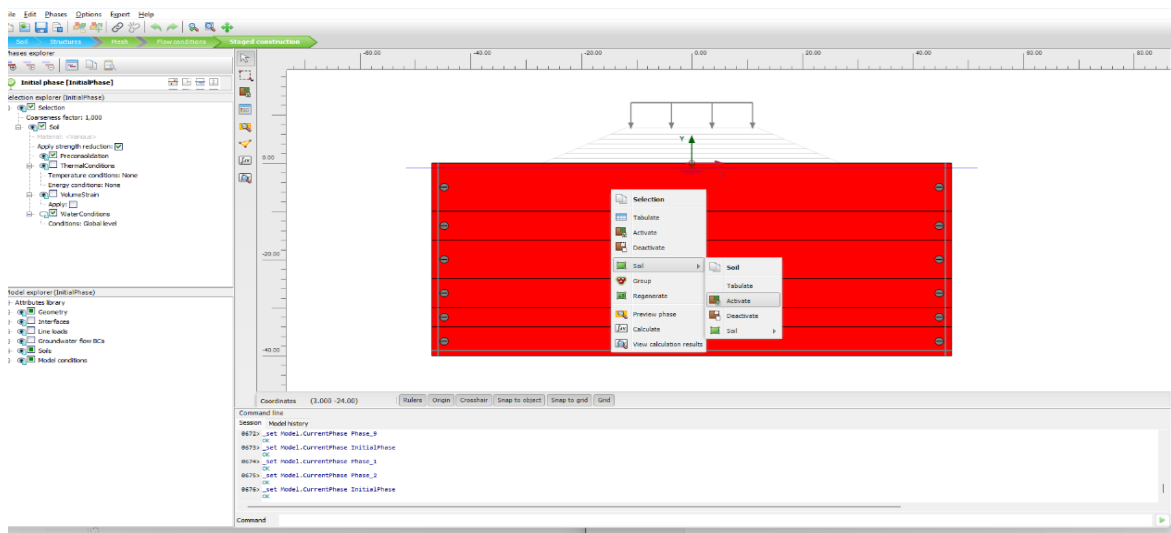


Gambar 5.28 Kondisi Muka Air Tanah Timbunan

9. Membuat Fase Staged Constuction

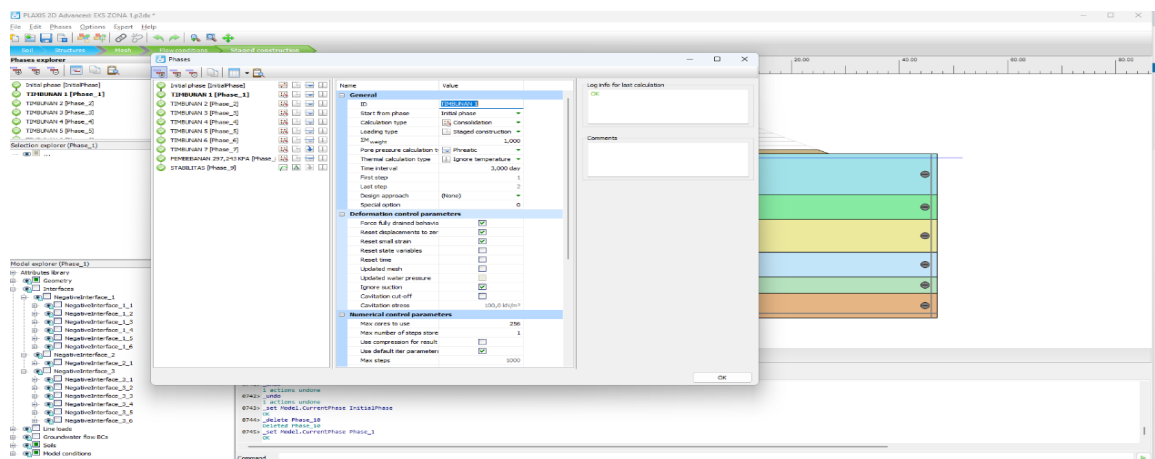
Tahapan terakhir dalam proses pemodelan adalah mendefinisikan tahapan konstruksi melalui menu *Staged Construction* yang terletak di sebelah kanan menu *Flow Conditions*. Tahapan ini dimulai dengan menambahkan fase baru menggunakan perintah *Add Phase* yang terdapat di sisi kiri atas tampilan. Dalam proyek akhir ini, penulis membagi proses konstruksi menjadi empat tahapan, yaitu *Initial Phase*, fase penimbunan, fase pembebanan, dan fase analisis *Safety Factor (SF)*. Pada *Initial Phase*, dilakukan aktivasi terhadap tanah asli dan batas domain (boundary) dengan cara memilih seluruh area tanah asli dan batas, kemudian klik kanan pada geometri dan pilih opsi *Activate*, sebagaimana ditunjukkan pada **Gambar 5.29**

5.29



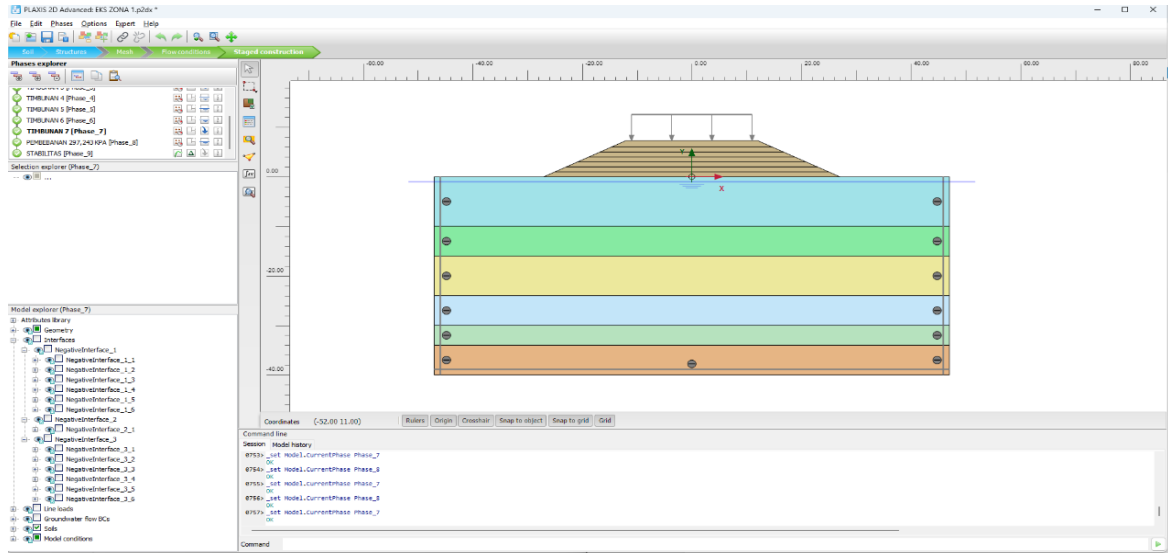
Gambar 5.29 Mengaktifkan Tanah Asli dan Boundary pada initial phase

Tahapan berikutnya adalah menambahkan fase konstruksi baru yaitu fase penimbunan dengan memilih perintah *Add Phase* yang terletak di bagian kiri atas tampilan. Setelah fase ditambahkan dilakukan penamaan ulang (rename) pada fase tersebut agar sesuai dengan tahapan konstruksi yang sedang dimodelkan seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 5.30**



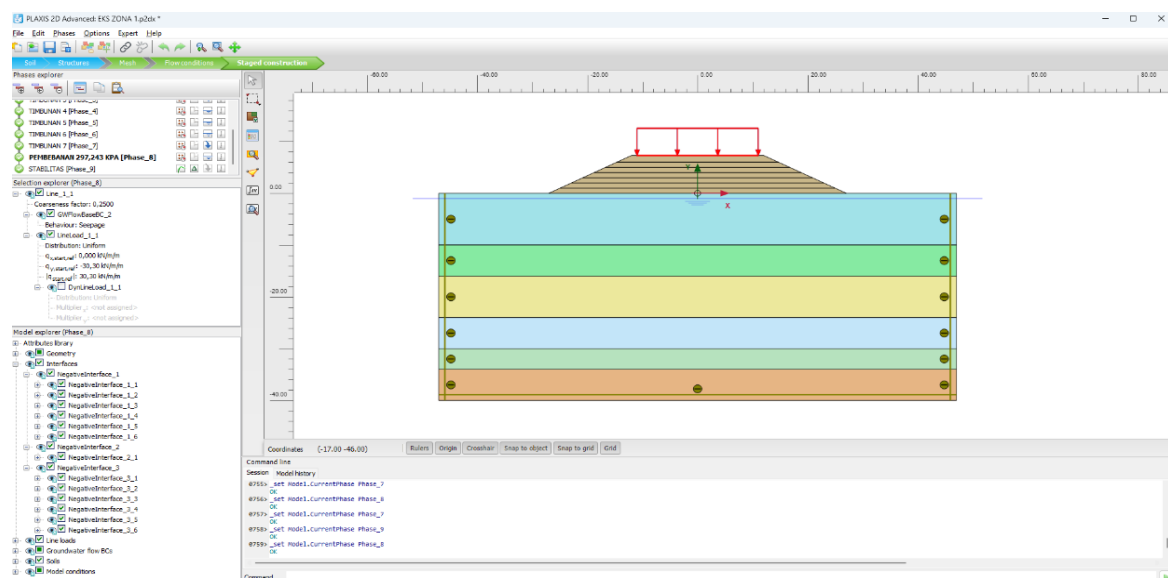
Gambar 5.30 Rename Fase Kedua yaitu Fase Timbunan

Pada tahap selanjutnya dilakukan pengaktifan elemen-elemen pada fase kedua, yaitu dengan memilih geometri timbunan beserta beban di atasnya serupa dengan prosedur aktivasi tanah asli pada fase *initial*. Setelah timbunan berhasil diaktifkan tampilan model akan menunjukkan hasil seperti yang terlihat pada **Gambar 5.31**



Gambar 5.31 Kondisi Timbunan Setelah Pengaktifan Fase Timbunan

Tahap selanjutnya adalah fase ketiga yaitu fase pemberian beban pada timbunan yang dimana sudah dibuat fase pembebanan sendiri. Pada fase ini perlu dipastikan bahwa nilai beban yang bekerja pada permukaan timbunan telah muncul dengan benar pada model, sebagaimana ditunjukkan pada **Gambar 5.32**.



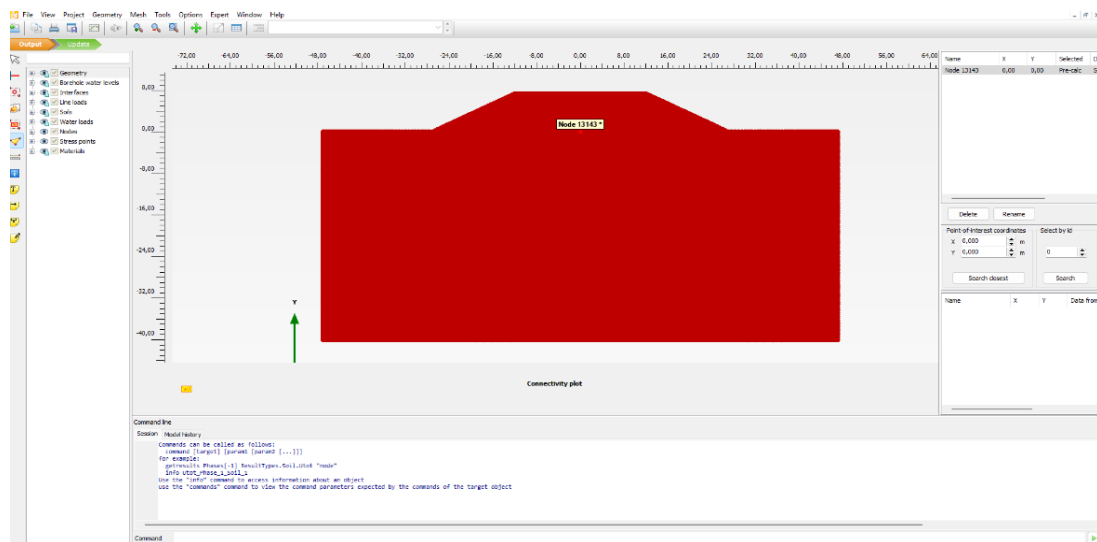
Gambar 5.32 Kondisi Timbunan Setelah Pengaktifan Fase Pembebanan

Fase terakhir merupakan fase Safety Factor (SF) yang bertujuan untuk mengetahui nilai faktor keamanan timbunan eksisting sebelum dilakukan perkuatan. Penambahan fase ini dilakukan dengan langkah yang serupa seperti pada fase-fase sebelumnya. Namun, perbedaannya terletak pada pemilihan jenis perhitungan (calculation type), di mana pada tiga fase awal digunakan opsi *consolidation*, sedangkan untuk fase SF dipilih

Setelah seluruh fase, termasuk fase SF berhasil diinput maka proses pemodelan pada perangkat lunak PLAXIS 2D V21 dinyatakan selesai. Tahapan selanjutnya adalah melakukan kalkulasi dan analisis hasil yang akan dibahas pada subbab berikutnya.

5.4.2.3 Proses Kalkulasi

Sebelum proses kalkulasi dilakukan langkah awal yang perlu dilakukan adalah memilih titik tinjauan dengan menggunakan menu  *Select Point for Curves*. Dalam hal ini penulis memilih titik node yang terletak di bagian tengah timbunan mendekati koordinat (0,0) sebagaimana ditunjukkan pada **Kesalahan! Sumber referensi tidak ditemukan. G**



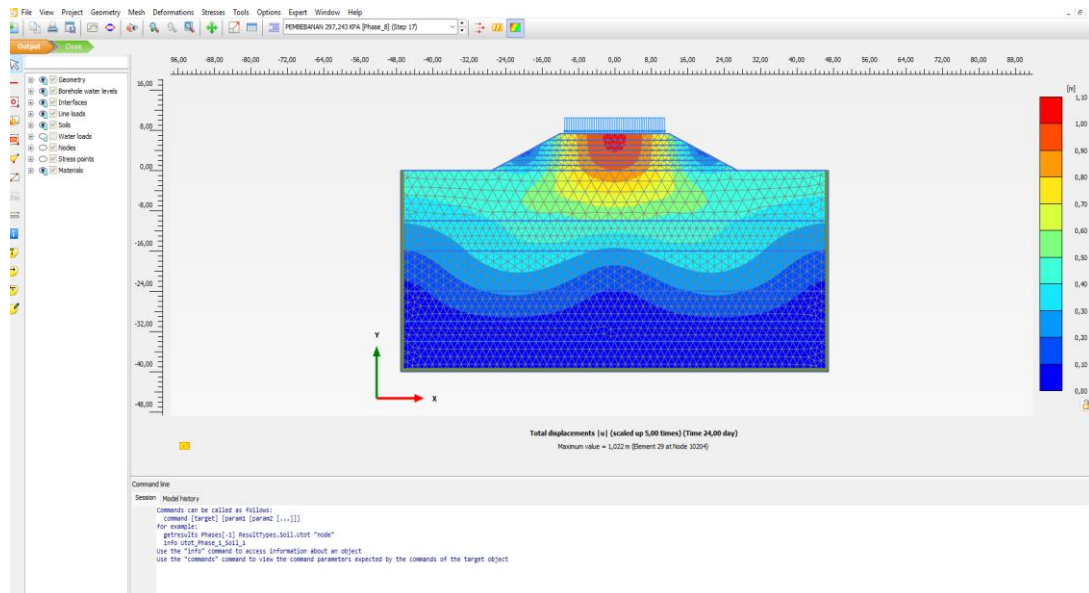
Gambar 5.33 Pemilihan Titik Node sebelum Dilakukan Calculate

ambar 5.33

Setelah titik node berhasil dipilih proses kalkulasi dapat dimulai dengan memilih menu *Calculate*. Selanjutnya, sistem akan memproses seluruh tahapan konstruksi yang telah didefinisikan sebelumnya meliputi *initial phase*, fase timbunan, fase pembebanan, serta fase *safety factor* (SF). Proses ini memerlukan waktu beberapa saat hingga seluruh simulasi selesai dijalankan.

5.4.2.4 Output Hasil Kalkulasi

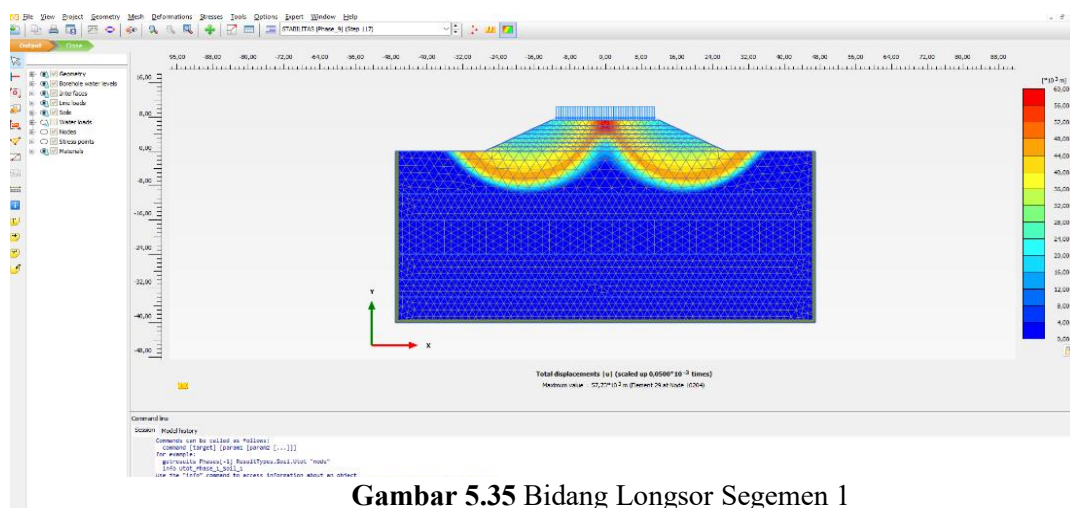
Hasil keluaran dari proses kalkulasi dapat dilihat melalui menu  *View Calculation Results* yang terletak di bawah menu *Calculate* dan akan secara otomatis



Gambar 5.34 Nilai Displacement Segment pada Output Plaxis

membuka aplikasi *PLAXIS 2D V21 Output*. Berdasarkan hasil analisis elemen hingga yang dilakukan pada timbunan STA 0+625 diperoleh nilai deformasi total (displacement) sebesar 1,022 meter sebagaimana ditunjukkan pada **Gambar 5.34**

Selanjutnya untuk bidang longsor timbunan segmen 6 STA 0+625 dapat dilihat pada **Gambar 5.35**



Gambar 5.35 Bidang Longsor Segemen 1

Berdasarkan hasil analisis bidang keruntuhan, diperoleh nilai *Safety Factor* (SF) sebesar 1,088 yang berada di bawah batas minimum yang disyaratkan, yaitu 1,5. Hal ini menunjukkan bahwa timbunan pada segmen 6 belum memenuhi kriteria stabilitas dan memerlukan upaya perkuatan. Nilai *Safety Factor* hasil kalkulasi dapat dilihat pada **Gambar 5.36**. **Kesalahan! Sumber referensi tidak ditemukan.** Tahapan pemodelan selanjutnya dilakukan pada segmen lainnya dengan mengikuti prosedur yang sama seperti yang telah dijelaskan sebelumnya. Proses ini dilakukan hingga diperoleh nilai *Safety Factor* pada masing-masing segmen timbunan yang dianalisis.

5.4.2.5 Hasil Analisa pada PLAXIS 2D

Hasil nilai *Safety Factor* (SF) dari masing-masing segmen berdasarkan hasil analisis menggunakan perangkat lunak PLAXIS 2D disajikan pada

Tabel 5.24 Rekapitulasi Hasil Analisis Stabilitas Lereng dengan Plaxis 2D V21

Potongan	Lolasi	H final (m)	SF Eksisiting Plaxis 2D	Kondisi
1	0+625	7,7	1,088	Tidak Aman
2	0+650	7,0	1,168	Tidak Aman
3	0+675	6,2	1,262	Tidak Aman
4	0+700	5,5	1,380	Tidak Aman
5	0+725	4,7	1,534	Aman
6	0+750	4,4	1,575	Aman

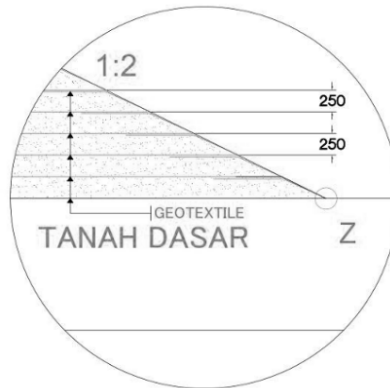
Berdasarkan hasil analisis yang disajikan pada **Tabel 5.22** dan **Tabel 5.24**, diperoleh nilai *Safety Factor* (SF) untuk enam segmen timbunan pada rentang STA 0+625 hingga STA 0+775. Mengacu pada kriteria stabilitas lereng dengan batas minimum SF sebesar 1,5, terdapat tiga segmen yang memenuhi persyaratan tersebut, sehingga tidak memerlukan perkuatan tambahan. Namun, empat segmen lainnya menunjukkan nilai SF di bawah batas minimum yang mengindikasikan perlunya upaya perkuatan. Oleh karena itu, pada tahap selanjutnya akan dilakukan perencanaan perkuatan timbunan untuk empat segmen yang tidak memenuhi syarat kestabilan.

5.5 Perencanaan Perkuatan

5.5.1 Perencanaan Perkuatan dengan *Geotextile*

Pada perencanaan perkuatan tanah timbunan menggunakan geotextile jenis woven geotextile CATRATEX GWR300/50 dengan angka keamanan (*safety factor*) sebesar 1,5. Berdasarkan hasil analisis menggunakan perangkat lunak GeoStudio diperoleh bentuk bidang longsor sebagaimana ditampilkan. *Geotextile* yang digunakan dalam timbunan

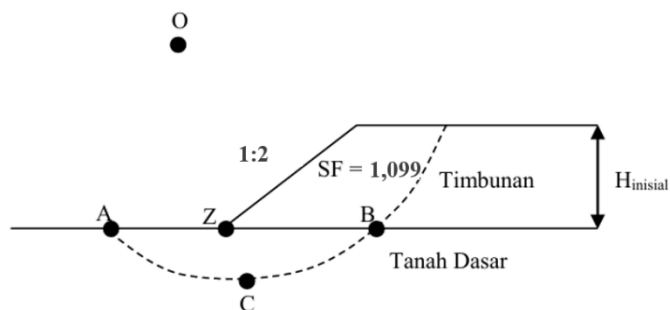
tersebut dievaluasi dari dua aspek utama yaitu stabilitas internal (*internal stability*) dan stabilitas keseluruhan (*overall stability*).



Gambar 5.36 Jarak Pemasangan *Geotextile*

Dalam perencanaannya *geotextile* dipasang secara berlapis setiap 25 cm dengan jumlah maksimum empat lapis per lokasi pemasangan untuk menghindari kegagalan akibat gesekan antar lapisan *geotextile*. Penjelasan berikutnya menyajikan contoh perhitungan perencanaan perkuatan *geotextile* pada segmen 1 dengan $H=7,7$ m

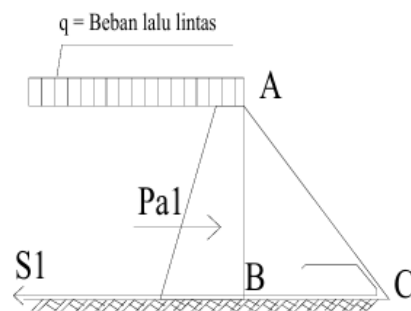
. Berikut adalah contoh perhitungan untuk perencanaan perkuatan *geotextile* timbunan pada segmen 1 :



Gambar 5.37 Sketsa Bidang Longsor STA 0+625

5.5.1.1 Internal Stability

1. Syarat Tidak Terjadi Failure di Lereng AC, Persamaan [2.34]



$$Pa_1 \leq \frac{(Berat\ efektif\ ABC) \times \tan \delta}{SF}$$

$$\begin{aligned} K_a &= \tan^2(45 - \frac{\phi}{2}) \\ &= \tan^2(45 - \frac{27}{2}) \\ &= 0,376 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Pa &= \frac{1}{2} \gamma H^2 K_a + q H K_a \leq \frac{\gamma_{sat} \times Luas\ talud\ ABC \times \tan \delta}{SF} \\ &= \frac{1}{2} \times 1,97 \times 7,7^2 \times 0,376 + 1,5 \times 7,7 \times 0,376 \leq \frac{1,97 \times \frac{1}{2} \times 7,7 \times 14,6 \times \tan 27}{1,5} \\ &= 224.17536 \leq 377.052 \text{ kN/m} \\ &= 22.851719 \leq 38.4355 \text{ t/m} \quad \mathbf{OK} \end{aligned}$$

2. Syarat Tidak Terjadi Failure di Lereng AC, Persamaan [2.35]

$$Pa_1 \leq S_i$$

kekuatan bahan S_1 / T_{allow}

$$T_{allow} = \frac{T_{ultimate}}{SF_{ID} \times SF_{CR} \times SF_{CD} \times SF_{BD}}$$

$$T_{ultimate} = 300 \text{ kN/m}$$

$$F_{sid} = 1,1$$

$$F_{Scr} = 2,5$$

$$F_{scd} = 1,1$$

$$F_{Sbd} = 1,1$$

$$\begin{aligned} T_{allow} &= \frac{300}{1,1 \times 2,5 \times 1,1 \times 1,1} \\ &= 90,157776 \text{ kN/m} \\ &= 9,1903951 \text{ ton/m} \end{aligned}$$

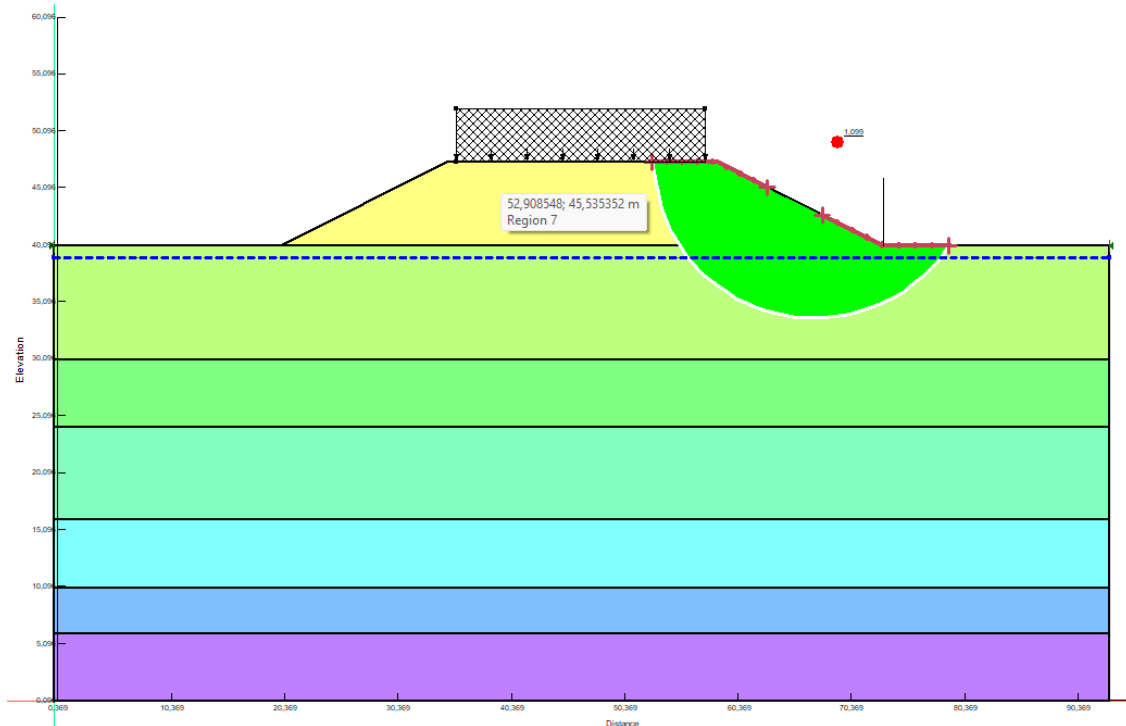
$$Pa_1 \leq S_i$$

$$22,851719 \leq 9,1903951 \quad \mathbf{Tidak\ OK}$$

Maka tanah timbunan dipasang beberapa lapis geotextile. Agar memenuhi ketentuan dan syarat.

5.5.1.2 Overall Stability

Dengan menggunakan program Geostudio, didapat output kelongsoran seperti pada Gambar 5.39.



Gambar 5.38 Hasil permodelan Gestudio Segmen 1

Analisis overall stability untuk STA 0+625 dengan H final 7,7 diperoleh dari data-data dari Geostudio sebagai berikut:

$$SF \text{ min} = 1,099$$

$$R = 14,336$$

Koordinat pusat bidang longsor (Titik O)

$$x = 57,11$$

$$y = 48,00$$

$$MR_{\text{min}} = 25791 \text{ kN.m}$$

$$MD = 23467 \text{ kN.m}$$

Dalam perencanaan ini diambil beberapa nilai SF yang digunakan sebagai dasar dari perencanaan perkuatan. Adapun perhitungan perencanaan geotextile saat H final 7,7 dengan SF 1,099 adalah sebagai berikut :

1. Mencari nilai Momen rencana dengan SF rencana = 1,5

$$M_{\text{rencana}} = MD \times S_{\text{rencana}}$$

$$\begin{aligned}
&= 23468 \times 1,5 \\
&= 32854,77707 \text{KN.m}
\end{aligned}$$

2. Mencari nilai Tambahan Momen Penahan (ΔM_R)

$$\begin{aligned}
\Delta M_R &= M_{rencana} - M_{rmin} \\
&= 32854,77707 - 25791 \\
&= 7064 \text{KN.m}
\end{aligned}$$

3. Mencari Kekuatan Tarik geotextile yang diizinkan

Dalam perencanaan berikut dipakai geotextile woven CATRATX GWR300 yang memiliki tegangan ultimate sebesar 300 kN/m = 30 t/m Adapun faktor reduksi berdasarkan pada **Tabel 2.7** yang digunakan untuk embankment yaitu:

- a. $FS_{id} = 1,1$
- b. $FS_{cr} = 2,5$
- c. $FS_{cd} = 1,1$
- c. $FS_{cd} = 1,1$

Dengan persamaan [2.38] diperoleh Tallow

$$\begin{aligned}
T_{allow} &= \frac{300}{1,1 \times 2,5 \times 1,1 \times 1,1} \\
&= 90,16 \text{ kN.m}
\end{aligned}$$

4. Menghitung Panjang Geotextile di belakang Bidang Longsor (L_e)

Panjang bahan geotextile di belakang bidang longsor dihitung dengan menggunakan persamaan [2.39]

$$L_e = \frac{(T_{allow} \times SF_{renc})}{[(\tau_1 + \tau_2) \times E]}$$

Dimana :

- L_e = Panjang geotextile di belakang bidang longsor
- τ_1 = Tegangan geser antar tanah timbunan dengan geotextile
- τ_2 = Tegangan geser antar tanah dasar dengan geotextile
- E = efisiensi diambil $E = 0.8$
- $FS_{rencana} = 1.5$

Dari perhitungan sebelumnya didapatkan :

$$T_{allow} = 90,16$$

- Data tanah timbunan :

$$H = 7,7 \text{ m}$$

$$\gamma_{timbunan} = 19,7 \text{ kN/m}^3$$

$$c_u = 22,56 \text{ kN/m}^2$$

$$\theta = 27^\circ$$

$$\sigma_v = \gamma_{timbunan} \times H$$

$$= 19,7 \times 7,7$$

$$= 151,69 \text{ kN/m}^3$$

$$\tau_1 = c_u + \sigma_v \tan \theta$$

$$= 22,56 + (151,69 \times \tan 27^\circ)$$

$$= 99,85 \text{ kN/m}^2$$

- Data tanah dasar yang digunakan :

$$\gamma_{tanah \text{ dasar}} = 16 \text{ kN/m}^3$$

$$c_u \text{ transisi} = 22,60 \text{ kN/m}^2$$

$$\theta = 12^\circ$$

$$\tau_1 = c_u + \sigma_v \tan \theta$$

$$= 22,60 + (151,69 \times \tan 12^\circ)$$

$$= 54,84 \text{ kN/m}^2$$

$$L_e = \frac{(T_{allow} \times 1,5)}{(\tau_{timbunan} + \tau_{tanah \text{ dasar}}) \times 0,8}$$

$$= \frac{(90,16 \times 1,5)}{((99,85 + 54,84) \times 0,8)}$$

$$= 1,093 \text{ meter}$$

Tetapi untuk pemasangan menggunakan minimal 2 m, untuk memudahkan pemasangan saat dilapangan.

5. Menghitung Kebutuhan Geotextile

Geotextile dipasang tiap 25 cm

$$M_{geotextile} = T_{allow} \times T_i$$

Dimana :

$$H = \text{Tinggi timbunan diatas geotextile}$$

T_i = Jarak vertikal antara geotextile dengan pusat bidang longsor (Titik O) pada geotextile lapisan pertama (pada dasar timbunan)

Berikut ini adalah perhitungan geotextile pada lapisan pertama :

H = 7,7 m

T_i = $y_o - y_z$
 = 48,002 - 40
 = 8,00

$M_{\text{geotextile}}$ = $90,16 \times 8$
 = 721,44252 kN.m

Kebutuhan geotextile ditentukan dari Σ Momen akibat semua pemasangan geotextile harus lebih besar dari tambahan momen penahan yang dibutuhkan. Hasil perhitungan panjang geotextile di belakang bidang longsor dan Σ Momen dapat dilihat pada **Tabel 5.25**

Tabel 5.25 Perhitungan panjang geotextile di belakang bidang longsor dan Σ momen

n	H timbunan	T_i	Tallow	r_1	r_2	M_{geotex}	ΣM_{geotx}	Rangkap	Le	Le pakai
lapis	(m)	(m)	(kN/m ²)	(kN/m ²)	(kN/m ²)	(kN/m)	(kN/m)		m	m
1	7.7	8.00	90.158	99.85	50.88	721.4425	721.44	1	1.122	1.00
2	7.45	7.75	90.16	97.34	49.83	698.90	1420.35	1	1.149	1.00
3	7.2	7.50	90.16	94.83	48.78	676.36	2096.71	1	1.177	1.00
4	6.95	7.25	90.16	92.32	47.73	653.82	2750.53	1	1.207	1.00
5	6.7	7.00	90.16	89.81	46.69	631.28	3381.82	1	1.238	1.00
6	6.45	6.75	90.16	87.30	45.64	608.75	3990.56	1	1.272	1.00
7	6.2	6.50	90.16	84.79	44.59	586.21	4576.77	1	1.307	1.00
8	5.95	6.25	90.16	82.28	43.55	563.67	5140.44	1	1.343	1.00
9	5.7	6.00	90.16	79.77	42.50	541.13	5681.56	1	1.383	1.00
10	5.45	5.75	90.16	77.27	41.45	518.59	6200.15	1	1.424	1.00
11	5.2	5.50	90.16	74.76	40.41	496.05	6696.20	1	1.468	1.00
12	4.95	5.25	90.16	72.25	39.36	473.51	7169.71	1	1.515	1.00
13	4.7	5.00	90.16	69.74	38.31	450.97	7620.68	1	1.565	1.00
14	4.45	4.75	90.16	67.23	37.27	428.43	8049.11	1	1.618	1.00
15	4.2	4.50	90.16	64.72	36.22	405.89	8455.00	1	1.675	1.00
16	3.95	4.25	90.16	62.21	35.17	383.35	8838.35	1	1.736	1.00
17	3.7	4.00	90.16	59.70	34.13	360.81	9199.16	1	1.802	1.00
18	3.45	3.75	90.16	57.19	33.08	338.27	9537.43	1	1.873	2.00

Berdasarkan hasil perhitungan diatas, untuk timbunan dengan tinggi $H=7,7$ m, diperlukan sebanyak 18 lapis geotextile dengan jumlah satu rangkap pada setiap lapis. Panjang efektif (Le) yang digunakan adalah 2 meter untuk setiap lapisnya, hal ini dimaksudkan untuk mempermudah pemasangan di lapangan. Perhitungan serupa dilakukan untuk setiap variasi tinggi timbunan yang direncanakan. Informasi lebih detail mengenai perhitungan tersebut dapat dilihat pada lampiran.

Setelah diperoleh jumlah lapisan geotextile, perhitungan momen dapat diperoleh dengan syarat $\Sigma M_{\text{Momen}} > \Delta MR$:

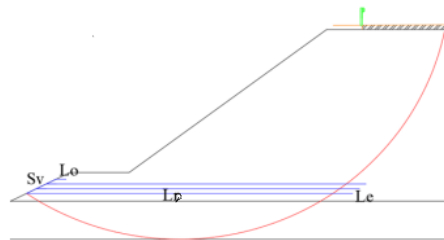
$$\Sigma M_{\text{Momen}} > \Delta MR$$

$$\Sigma \text{Momen} = M_{\text{geotextile1}} + M_{\text{geotextile2}} + M_{\text{geotextile3}} + \dots + M_{\text{geotextile-n}} \dots > \Delta \text{MR}$$

$$= 7169,71 > 7064 \text{ OK}$$

6. Menghitung Panjang Geotextile di Depan Bidang Longsor (Ld)

Untuk memperoleh panjang Ld dan Sv, maka hasil perhitungan Le dan Lo perlu digambarkan pada sisi timbunan dengan jarak antar geotextile sebesar 0,25 m seperti pada **Gambar 5.40** kemudian panjangnya Ld dan Sv diukur menggunakan Autocad dan direkap pada **Tabel 5.24**



Gambar 5.39 Gambar Iustrasi Ld Geotextile

Tabel 5.26 Kebutuhan Ld Geotextile Segemen 1

Lapis	Ld	Sv
1	17,45	0,25
2	17,245	0,25
3	17,027	0,25
4	16,793	0,25
5	16,547	0,25
6	16,288	0,25
7	16,017	0,25
8	15,737	0,25
9	15,446	0,25
10	15,146	0,25
11	14,837	0,25
12	14,531	0,25

7. Menghitung Panjang lipatan Geotextile (Lo)

Perhitungan panjang lipatan geotextile diambil sepanjang 0.5Le atau setengah dari panjang geotextile di belakang bidang longsor.

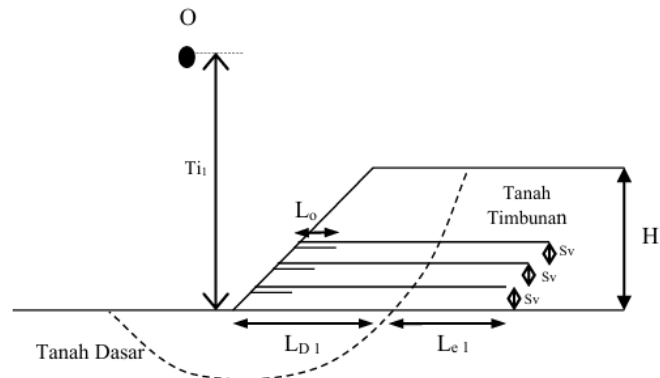
$$\begin{aligned} L_o &= \frac{1}{2} \times L_e \text{ pakai} \\ &= 0,5 \text{ m} \end{aligned}$$

8. Menghitung Panjang Total Geotextile (Ltotal)

Panjang Total Geotextile Setiap Lapisan dapat dihitung dengan perumusan :

- 1 sisi = $L_e + L_d + L_o + S_v$
- 2 sisi = $2 \times (L_e + L_d + L_o + S_v)$

Hasil Perhitungan $H = 7,7$ dapat dilihat pada **Tabel 5.27**. Untuk sketsa pemasangan Geotextile dapat dilihat pada **Gambar 5.41**.



Gambar 5.40 Sketsa Pemasnagan geotextile

Tabel 5. 27 Panjang Total Kebutuhan Segmen 1

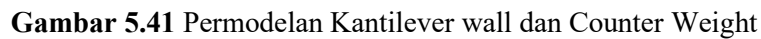
n	L 1 sisi					L pakai 2 sisi
(Lapis)	Le (m)	Ld (m)	Lo (m)	Sv (m)	L total (m)	(m)
1	2,00	17,45	1	0,25	20,70	41,4
2	2,00	17,245	1	0,25	20,50	40,99
3	2,00	17,027	1	0,25	20,28	40,554
4	2,00	16,793	1	0,25	20,04	40,086
5	2,00	16,547	1	0,25	19,80	39,594
6	2,00	16,288	1	0,25	19,54	39,076
7	2,00	16,017	1	0,25	19,27	38,534
8	2,00	15,737	1	0,25	18,99	37,974
9	2,00	15,446	1	0,25	18,70	37,392
10	2,00	15,146	1	0,25	18,40	36,792
11	2,00	14,837	1	0,25	18,09	36,174
12	2,00	14,531	1	0,25	17,78	35,562
Panjang Total						464,128

Berikut adalah tabel rekapitulasi kebutuhan geotextile setiap segmennya :

Tabel 5.28 Rekapitulasi kebutuhan Geotextile Setiap Segmen

Segmen	Lolasi	H final (m)	Kebutuhan Geotextile (lapis)
1	0+625	7,70	12
2	0+650	7,00	7
3	0+675	6,20	4
4	0+700	5,50	3

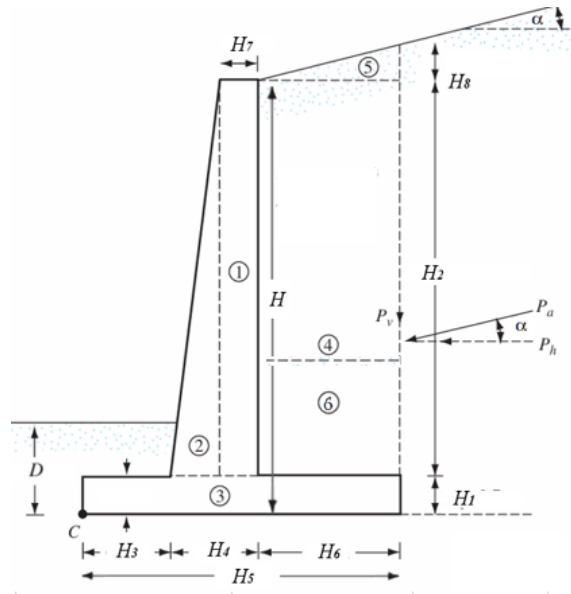
Perkuatan timbunan ini direncanakan dengan sistem kombinasi antara counterweight dan kantilever wall. Sistem counterweight berfungsi menambah stabilitas dengan memberikan massa tambahan di kaki timbunan untuk menahan gaya dorong tanah. Dalam perencanaan ini, digunakan geometri lereng dengan perbandingan lereng 1:3 agar beban timbunan dapat disebar secara efektif. Kombinasi ini diharapkan mampu meningkatkan stabilitas lereng dan mencegah terjadinya kelongsoran. Berikut perencanaan kantilever *wall*



- Data Tanah Timbunan :

- 118

2. Preliminary Design



- $H = 4,5 \text{ m}$
- $H1 = H/10 - H/12$
 $= 4,5/11$
 $= 0,50 \text{ m}$
- $H2 = H - H1$
 $= 4,5 - 0,5$
 $= 4,00 \text{ m}$
- $H3 = H5 / 3$
 $= 3,15 / 3$
 $= 1,05 \text{ m}$
- $H4 = 0,13 \times H$
 $= 0,13 \times 4,5$
 $= 0,6 \text{ m}$
- $H5 = 0,7 \times H$
 $= 3,15 \text{ m}$
- $H6 = H5 - H4 - H3$
 $= 3,15 - 0,6 - 1,05$
 $= 1,50 \text{ m}$
- $H7 = \min 0,3$
 $= 0,4$
- $H8 = H6 \times \tan \theta$

$$= 0$$

- H'

$$= H + H_8$$

$$= 4,5 + 0$$

$$= 4,5 \text{ m}$$
- Kemiringan dinding

$$= (H_4 - H_7) / H$$

$$= (0,6 - 0,4) / 4,5$$

$$= 0,04$$

3. Perhitungan Tekanan Tanah Aktif

- Menghitung K_a (Koefisien tekanan tanah aktif)

$$K_a = \tan^2 \left(45 - \frac{\phi'1}{2} \right)$$

$$= \tan^2 \left(45 - \frac{27}{2} \right)$$

$$= 0,376 \text{ kN/m}$$

- Menghitung P_a (Gaya tekanan tanah aktif total)

$$P_a = \frac{1}{2} \gamma H'^2 K_a$$

$$P_a = \frac{1}{2} \times 19,75 \times 4,5 \times 0,38$$

$$= 75,09 \text{ kN/m}$$

- Menghitung P_v (Gaya vertikal dari tekanan tanah)

$$P_v = P_a \sin \alpha$$

$$= 133,50 \sin 0^\circ$$

$$= 0 \text{ kN/m}$$

- Menghitung P_h (Gaya horizontal tekanan tanah aktif)

$$P_h = P_a \cos \alpha$$

$$= 75,09 \cos 0^\circ$$

$$= 75,09 \text{ kN/m}$$

4. Perhitungan Tekanan Tanah Pasif

- Menghitung K_p (Koefisien tekanan tanah Pasif)

$$K_p = \tan^2 \left(45 - \frac{\phi'}{2} \right)$$

$$= \tan^2 \left(45 - \frac{12}{2} \right)$$

$$= 1,52 \text{ kN/m}$$

- Menghitung P_p (Gaya tekanan tanah pasif total)

$$P_p = \frac{1}{2} K_p \gamma D^2 + 2c' \sqrt{K_p} D$$

$$= \frac{1}{2} \times 1,52 \times 16,00 \times 1,00^2 + 2 \times 22,60 \sqrt{1,52} \times 1,00$$

$$= 81,13 \text{ kN/m}$$

5. Beban yang Bekerja pada Dinding

Tabel 5.29 Rekapitulasi Luas Setiap Bidang

LUAS BIDANG		
No. Bidang	Rumus	Hasil
1	(4,0 x 0,4)	1,6
2	(1/2 x 0,2 x 4,0)	0,4
3	(0,5 x 3,15)	1,575
4	(4,5-1,0) x 1,50)	3
5	(1/2 x 1,50 x 0)	0,000
6	(0,5 x 1,50)	0,75

Tabel 5.30 Titik Berat Terhadap Titik C

TITIK BERAT ke C		
No. Bidang	Rumus	sumbu x
1	(0,4/2)	0,2
2	(0,2/3)	0,067
3	(3,15/2)	1,575
4	(1,5/2)	0,75
5	(1,5/3)	0,50
6	(1,5/2)	0,75

Tabel 5.31 Beban Bekerja Setiap Bagian

Bagian	Area (m ²)	Weight/unit length (kN/m)	Moment arm from point C (m)	Moment (kN-m/m)
1	1,6	38,40	1,45	55,68
2	0,4	9,60	1,12	10,72
3	1,575	37,80	1,575	59,54
4	5,25	103,69	2,4	248,85
5	0,000	0,00	2,15	0,00
6	0,75	12,00	2,4	28,80
Pv		0	3,15	0
ΣV		201,49	ΣMR	403,59

6. Kontrol Guling (*Overtuning*)

- Menhitung Momen Pengguling

$$\begin{aligned}
 M_D &= P_h \left[\frac{H'}{3} \right] \\
 &= 75,09 \left[\frac{4,50}{3} \right] \\
 &= 112,64 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

- Menhitung *Safety Factor* Guling

$$\begin{aligned}
 \text{FS Guling} &= \frac{\Sigma MR}{M_D} \\
 \text{FS Guling} &= \frac{403,59}{112,64} \\
 &= 3,58 > 1,5 \text{ OKE}
 \end{aligned}$$

7. Kontrol Geser (*Sliding*)

- Menghitung *Safety Factor* Geser

$$\begin{aligned}
 \text{SF Geser} &= \frac{(\Sigma V) \tan(K_1 \times \phi' / 2) + B \times K_2 \times C / 2 + P_p}{P_a \times \cos \alpha} \\
 \text{SF Geser} &= \frac{(201,49) \tan\left(\frac{2}{3} \times 12\right) + 3,15 \times \frac{2}{3} \times 23 + 81,13}{75,09 \times 1}
 \end{aligned}$$

$$= \frac{156,91}{75,09}$$

$$= 2,09 > 2 \text{ OKE}$$

8. Kontrol Daya Dukung (*Bearing Capacity*)

$$B = H5 = 3,15$$

$$e = \frac{B}{2} - \frac{\Sigma MR - \Sigma M_o}{\Sigma V}$$

$$= \frac{3,15}{2} - \frac{404 - 112,64}{201,49}$$

$$= 0.13 \text{ m}$$

$$e = 0.13 < \frac{B}{6}$$

$$= 0.13 < \frac{3,15}{6}$$

$$= 0.13 < 0.53$$

$$q = \frac{\Sigma V}{B} \left(1 \pm \frac{6e}{B} \right)$$

$$= \frac{201,49}{3,15} \left(1 \pm \frac{0,79}{3,15} \right)$$

$$= 63,96(1 \pm 0.25)$$

$$q_{\text{max toe}} = 79,93 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{heel} = 48,00 \text{ kN/m}^2$$

$$q_u = c'^2 \times N_c \times F_{cd} \times F_{ci} + q \times N_q \times F_{qd} \times F_{qi} + \frac{1}{2} \gamma^2 \times V \times N_\gamma \times F_{\gamma d} \times F_{\gamma I}$$

$$\text{Untuk } \phi^2 = 12.00$$

Didapatkan,

$\phi(^{\circ})$	General shear Failure			Local Shear Failure		
	Nc	Nq	N γ	N'c	N'q	N' γ
0	5,7	1,0	0,0	5,7	1,0	0,0
5	7,3	1,6	0,5	6,7	1,4	0,2
10	9,6	2,7	1,2	8,0	1,9	0,5
15	12,9	4,4	2,5	9,7	2,7	0,9
20	17,7	7,4	5,0	11,8	3,9	1,7
25	25,1	12,7	9,7	14,8	5,6	3,2
30	37,2	22,5	19,7	19,0	8,3	5,7

34	52,6	36,5	35,0	23,7	11,7	9,0
35	57.8	41.4	42.4	25.2	12.6	10.1
40	95.7	81.3	100.4	34.9	20.5	18.8
45	172.3	173.3	297.5	51.2	35.1	37.7
48	258.3	287.9	780.1	66.8	50.5	60.4
50	347.6	415.1	1153.2	81.3	65.6	87.1

$$N_c = 12.9$$

$$N_q = 4.4$$

$$N_\gamma = 2.5$$

- $q = \gamma_2 \times D$

$$q = 16.00 \times 1.00$$

$$q = 16.00 \text{ kN/m}^2$$

- $B' = B - 2e$

$$B' = 3.15 - 2 \times 0.13$$

$$B' = 2.889 \text{ m}$$

- $F_{qd} = 1 + 2 \tan \phi'_2 (1 - \sin \phi'_2)^2 \left(\frac{D}{B'} \right)$

$$F_{qd} = 1 + 2 \tan 12.00 (1 - \sin 12.00)^2 \left(\frac{1.00}{2.89} \right)$$

$$F_{qd} = 1 + 2 \times 0.21 \times 0.63 \times 0.34626$$

$$F_{qd} = 1.092$$

- $F_{cd} = F_{qd} - \frac{1 - F_{qd}}{N_c - \tan \phi'_2}$

$$F_{cd} = 1.092 - \frac{1 - 1.092}{12.9 \tan 12.00}$$

$$F_{cd} = 1.092 - \frac{1 - 1.092}{12.9 \times 0.21}$$

$$F_{cd} = 1.092 - \frac{-0.092}{2.74}$$

$$F_{cd} = 1.176 - (-0.034)$$

$$F_{cd} = 1.126$$

- $F_{\gamma d} = 1 \text{ (ketetapan)}$

$F_{\gamma d}$ = berasal dari faktor koreksi untuk beban sendiri tanah dalam persamaan daya dukung tanah.

- $F_{ci} = \left(1 - \frac{\psi^\circ}{90^\circ} \right)^2$

$$\psi = \tan^{-1} \left(\frac{Pa \times \cos \alpha}{\Sigma V} \right)$$

$$\psi = \tan^{-1} \left(\frac{75.09 \times 1}{201.49} \right)$$

$$\psi = \tan^{-1} \left(\frac{75,09}{201,49} \right)$$

$$\psi = 20.44^\circ$$

$$F_{ci} = F_{qi}$$

- $F_{qi} = \left(1 - \frac{20.44^\circ}{90^\circ} \right)^2$

$$F_{qi} = (1 - 0.2271)^2$$

$$F_{qi} = 0,496 = 5$$

- $q_u = c'^2 \times N_c \times F_{cd} \times F_{ci} + q \times N_q \times F_{qd} \times F_{qi} + \frac{1}{2} \gamma^2 \times B' \times N_\gamma \times F_{\gamma d} \times F_{\gamma I}$

$$q_u = 23.00 \times 12.9 \times 1.126 \times 0.60 + 16 \times 4.4 \times 1.092 \times 0.5792 +$$

$$\frac{1}{2} 16.00 \times 2,888 \times 2.5 \times 1 \times 0.495$$

$$q_u = 196,1024 + 45,9376 + 28,57$$

$$q_u = 270,6133 \text{ kN/m}^2$$

- $FS \text{ Daya Dukung} = \frac{q_u}{q_{max}} = \frac{270,6133}{79,93}$

$$FS \text{ Daya Dukung} = 3.384 > 3 \text{ (OKE)}$$

9. Perhitungan Tulangan Badan DPT

a. Perhitungan Arah X

- Momen ultimate, M_u $= 116,59 \times 1,2 = 139,91 \text{ kNm}$

- Momen nominal, M_n $= \frac{M_u}{\phi}$
 $= \frac{139,91}{0.9} = 155,46 \text{ kNm}$

- Tinggi efektif, d $= \text{tebal} - \text{selimut beton} - 0.5D$

$$= 400 - 40 - 0.5 \times 16$$

$$= 352 \text{ mm}$$

- Faktor tahanan momen, R_n $= \frac{M_n}{b \times d^2}$
 $= \frac{155,46}{1000 \times 123904}$

$$= 1.255 \text{ N/mm}^2$$

- Tulangan perlu, A_s perlu $= \frac{0.85 f_{c'} \times (1 - \sqrt{1 - 2R_n}) b \times d}{f_y \times 0.85 \times f_{c'}}$
 $= \frac{0.85 \times 30 \times (1 - \sqrt{1 - 2 \times 1.255}) \times 1000 \times 352}{400 \times 0.85 \times 30}$

$$= 1131,69 \text{ mm}^2$$

- Tulangan Minimum, A_{smin} $= 0.002 A_g$
 $= 0.002 \times 1000 \times 600$
 $= 1200 \text{ mm}^2$
 - Tulangan Maksimum, A_{smax} $= \frac{0.75 \beta_1 \times 0.85 \times f_c' \times b \times d \times 600}{f_y \times (600 + f_y)}$
 $= \frac{0.75 \times 0.9 \times 0.85 \times 30 \times 1050 \times 352 \times 600}{400 \times (600 + 400)}$
 $= 9012.465 \text{ mm}^2$
 - Tulangan desain $= 1200 \text{ mm}^2$
- b. Direncanakan tulangan DPT** $= \mathbf{D16 - 150}$
- Luas tulangan terpasang, A_s $= \frac{0.25\pi \times D^2 \times b}{s}$
 $= \frac{0.25\pi \times 16^2 \times 1000}{150}$
 $= 1340,41 \text{ mm}^2 > 1200 \text{ mm}^2 \text{ (OKE)}$
 - Tinggi daerah tekan, a (blok tekan beton) $= \frac{A_s \times f_y}{0.85 \times f_c' \times b}$
 $= \frac{1340,41 \times 400}{0.85 \times 30 \times 1000}$
 $= 21,03 \text{ mm}$
 - Momen nominal, M_n $= A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right)$
 $= 1340,41 \times 400 \times \left(352 - \frac{21,03}{2}\right)$
 $= 183093404,7 \text{ Nmm}$
 $= 183,09 \text{ kNm}$
 - $\phi \times M_n$ $= 0.9 \times 183,09$
 $= 164,78 \text{ kNm} > 139,91 \text{ kNm}$
 - Rasio $= 0.8491$

Karena rasio < 1 maka desain tulangan yang dipakai dapat menahan beban lateral tanah

c. Perhitungan Tulangan Susut

- Tulangan Minimum, A_{smin} $= 0.002 A_g$
 $= 0.002 \times 1000 \times 355$
 $= \mathbf{710,0 \text{ mm}^2}$
- Tulangan Maksimum, A_{smax} $= \frac{0.75 \beta_1 \times 0.85 \times f_c' \times b \times d \times 600}{f_y \times (600 + f_y)}$
 $= \frac{0.75 \times 0.9 \times 0.85 \times 30 \times 1050 \times 352 \times 600}{400 \times (600 + 400)}$

- Tulangan desain $= 9012.465 \text{ mm}^2$
- Tulangan desain $= 710,0 \text{ mm}^2$
- d. Direncanakan tulangan DPT** $= \mathbf{D10 - 100}$
- Luas tulangan terpasang, A_s

$$= \frac{0.25\pi \times D^2 \times b}{s}$$

$$= \frac{0.25\pi \times 10^2 \times 1000}{100}$$

$$= 785,40 \text{ mm}^2 > 710,00 \text{ mm}^2 \text{ (OKE)}$$
- Tinggi daerah tekan, a (blok tekan beton) $= \frac{A_s \times f_y}{0.85 \times f_c \times b}$

$$= \frac{785,40 \times 400}{0.85 \times 30 \times 1000}$$

$$= 12,32 \text{ mm}$$
- Momen nominal, M_n

$$= A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

$$= 785,40 \times 400 \times \left(355 - \frac{12,32}{2}\right)$$

$$= 109591323 \text{ Nmm}$$

$$= 109,59 \text{ kNm}$$
- $\phi \times M_n$

$$= 0.9 \times 109,59$$

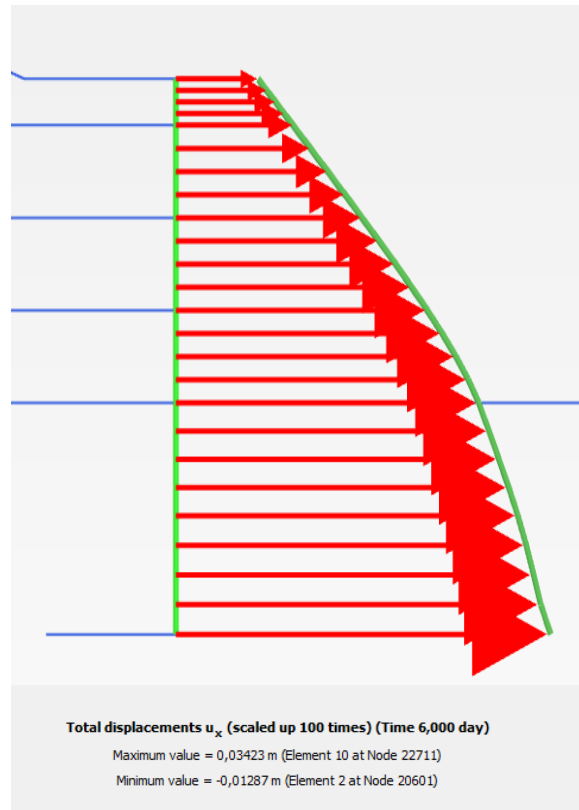
$$= 98,63 \text{ kNm} > 69,96 \text{ kNm}$$
- Rasio $= 0.7093$

Karena rasio < 1 maka desain tulangan yang dipakai dapat mencegah retak beton saat pengecoran

Untuk tulangan bagian bawah diasumsikan sama dengan tulangan badan yaitu tulangan utama D16-150 dan tulangan susut D10-100.

10. Cek deformasi lateral dari Plaxis

Pada tahap ini galian mencapai kedalam 1 meter dari tanah dasar didapat hasil deformasi arah x atau lateral dari plaxis seperti gambar dibawah ini.



Gambar 5.42 Deformasi lateral dari Kantilever Wall

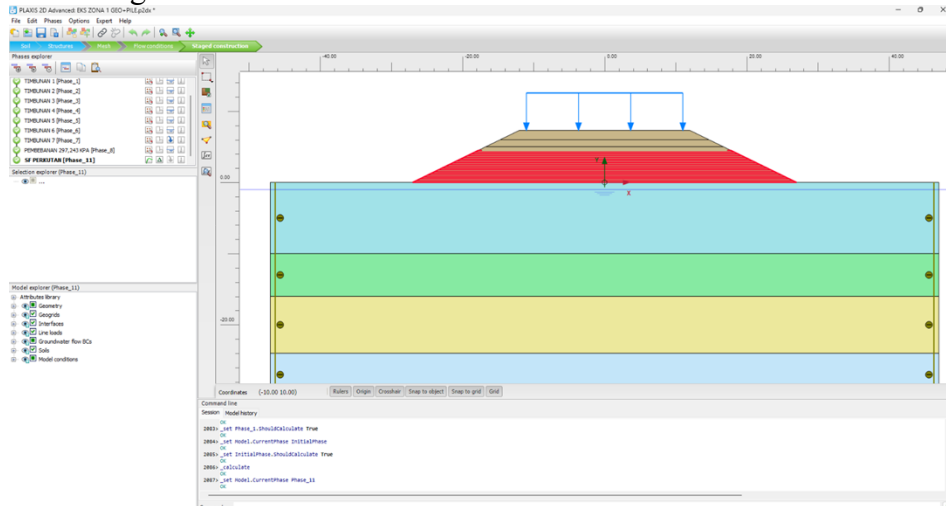
Dari hasil permodelan PLAXIS, deformasi yang terjadi pada galian 1 meter memenuhi batas ijin deformasi maksimum sesuai SNI 8460 2017 sebesar 0,5% dari tinggi galian yaitu 1 m. didapatkan seperti berikut :

- Deformasi ijin $= 0,5 \% \times 1\text{m}$
 $= 0,005 \text{ m}$
 $= 5 \text{ mm}$
- Deformasi Dari plaxis $= 0,034 \text{ m}$
 $= 3,4 \text{ mm} < 5 \text{ mm} \text{ OK}$

5.6 Analisa Perkuatan Timbunan

5.6.1 Geotextile

Analisa kombinasi antara geotextile dilakukan menggunakan perangkat lunak PLAXIS 2D V20 untuk mengevaluasi stabilitas timbunan pada oprit jembatan, khususnya pada segmen dengan tanah dasar yang lunak. Sistem ini dirancang untuk menggabungkan keunggulan dari geotextile sebagai elemen perkuatan tarik horizontal. Contoh permodelan STA 0+625 sebagai berikut



Gambar 5.43 Permodelan Geotextile pada Plaxis

Setelah diperkuat didapatkan nilai safety factor baru .Berikut adalah Rekapitulasi *safety factor* setelah diberi perkuatan *Geotestile*

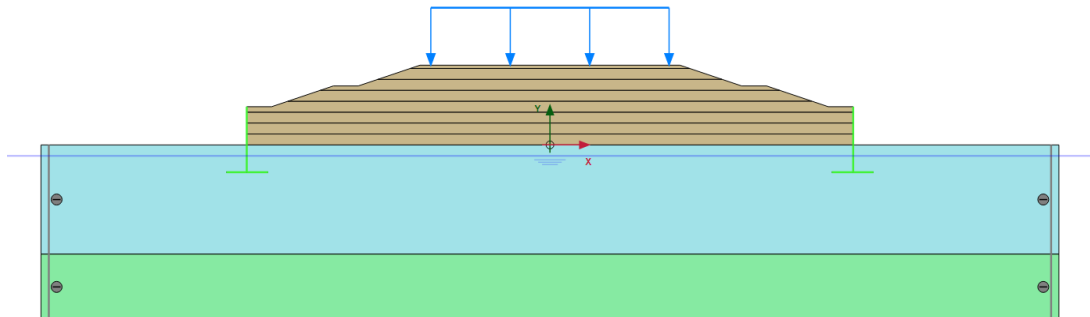
Tabel 5.32 Rekapitulasi Nilai Sf setelah Diperkuat Geotextile

Segmen	Lolasi	H final (m)	SF Eksisting Plaxis 2D	SF Perkuatan KOM 1 Plaxis 2D	
1	0+625	7,7	1,088	1,503	AMAN
2	0+650	7,0	1,168	1,610	AMAN
3	0+675	6,2	1,262	1,673	AMAN
4	0+700	5,5	1,380	1,699	AMAN
5	0+725	4,7	1,534	1,534	AMAN
6	0+750	4,4	1,575	1,575	AMAN

5.6.2 Counter weight dan Kantilever Wall

Analisis perkuatan timbunan juga dilakukan menggunakan metode kombinasi antara counterweight dan kantilever wall sebagai alternatif lain dalam meningkatkan stabilitas timbunan pada oprit jembatan, khususnya di area dengan daya dukung tanah dasar yang rendah.

Sistem *counterweight* bekerja dengan memberikan tambahan beban pada area kaki timbunan untuk menambah momen penahan terhadap gaya geser akibat timbunan. Sedangkan kantilever wall digunakan sebagai struktur vertikal yang mampu menahan tekanan lateral tanah timbunan secara langsung.



Gambar 5.44 Permodelan kantilever wall dan counter weight pada Plaxis

Kombinasi sistem ini dirancang untuk menambah kestabilan lereng dari sisi gaya tahan horizontal (oleh dinding kantilever) dan gaya tahan momen (oleh massa counterweight) sehingga mampu menjaga kestabilan lereng selama proses penimbunan. Berikut ditunjukkan contoh pemodelan sistem kombinasi pada segmen STA 0+625. Dan rekapitulasi dari 4 segmen yang diperkuat.

Tabel 5.33 Hasil Rekaitulasi SF setelah diperkuat Kantilever wall dan Counter Weight

Potongan	Lolasi	H final (m)	SF Eksisting Plaxis 2D	SF Perkuatan DPT Plaxis 2D	
1	0+625	7,7	1,088	1,625	AMAN
2	0+650	7,0	1,168	1,656	AMAN
3	0+675	6,2	1,262	1,752	AMAN
4	0+700	5,5	1,380	1,810	AMAN
5	0+725	4,7	1,534	1,534	AMAN
6	0+750	4,4	1,575	1,575	AMAN

5.7 Rencana Anggaran Biaya (RAB)

Rencana Anggaran Biaya (RAB) disusun untuk membandingkan efisiensi ekonomi dari masing-masing alternatif perkuatan tanah yang direncanakan pada proyek timbunan oprit jembatan di STA 0+625 – 0+675. Tujuan dari penyusunan RAB ini adalah untuk memperoleh gambaran kebutuhan biaya dari setiap jenis perkuatan yang telah dianalisis dari segi teknis dan kestabilannya.

5.7.1 Analisa Harga Satuan Pekerjaan

Untuk mendukung perhitungan RAB pada perencanaan perkuatan tanah oprit jembatan, disusun Analisa Harga Satuan Pekerjaan (AHSP) untuk masing-masing alternatif. AHSP ini mengacu pada kebutuhan tenaga kerja, bahan, dan alat, serta menggunakan data harga satuan dari proyek Jalan Tol Probolinggo–Banyuwangi Paket 2, sebagai berikut :

1. Timbunan

No.	URAIAN	SATUAN	VOLUME	HARGA SATUAN (Rp)	TOTAL(Rp)
A.	<u>TENAGA</u>				
1	Pekerja	jam	0,0884	14.999,86	1.325,52
2	Mandor	jam	0,0088	21.000,00	185,58
B.	<u>BAHAN</u>				
1	Borrow material	m3	1,1889	20.000,00	23.777,78
C.	<u>PERALATAN</u>				
1	Excavator Back Hoe	jam	0,0144	745.800,00	10.755,63
2	Dump truck 25 ton	jam	0,0434	1.137.200,00	49.354,48
3	Bulldozer	jam	0,0039	1.082.700,00	4.188,98
4	Motor Grader	jam	0,0088	926.700,00	8.189,16
5	Vibro Comp. Smooth Drum	jam	0,0098	608.700,00	5.986,11
6	Vibro Comp. Padfoot Drum	jam	0,0098	634.900,00	6.243,77
7	Water tanker Truck	jam	0,0156	547.400,00	8.549,31
D.	JUMLAH HARGA TENAGA, BAHAN DAN PERALATAN (A + B + C)				118.556,32
E.	OVERHEAD & PROFIT 10,0 % x D				11.855,63
F.	HARGA SATUAN PEKERJAAN (D + E)				130.410,00

2. Geotextile Woven

No.	URAIAN	SATUAN	VOLUME	HARGA SATUAN (Rp)	TOTAL(Rp)
A.	<u>TENAGA</u>				
1	Pekerja	jam	0,1050	14.999,86	1.574,99
2	Tukang	jam	0,0700	18.214,00	1.274,98
2	Mandor	jam	0,0175	21.000,00	367,50
B.	<u>BAHAN</u>				
1	Geotextile 300kN	m2	1,1055	42.000,00	46.431,89
C.	<u>PERALATAN</u>				
D.	JUMLAH HARGA TENAGA, BAHAN DAN PERALATAN (D=A+B+C)				49.649,35
E.	OVERHEAD & PROFIT 10,0 % x D				4.964,94
F.	HARGA SATUAN PEKERJAAN (D + E)				54.610,00

3. PVD (*Prefabricated Vertical Drain*)

No.	URAIAN	SATUAN	VOLUME	HARGA SATUAN (Rp)	TOTAL(Rp)
A.	<u>TENAGA</u>				
1	Pekerja	OH	0,0010	100.000,000	100,00
2	Mandor	OH	0,0002	220.000,000	44,00
B.	<u>BAHAN</u>				
1	PVD	m	1,0033	12.000,000	12.039,96
C.	<u>PERALATAN</u>				
1	Excavator	jam	0,0017	1.864.343,000	3.169,38
2	Alat Bantu	LS	1,0000	50,000	50,00
D.	JUMLAH HARGA TENAGA, BAHAN DAN PERALATAN (A + B + C)				15.403,34
E.	OVERHEAD & PROFIT 10,0 % x D				1.540,33
F.	HARGA SATUAN PEKERJAAN (D + E)				16.940,00

4. Beton Struktur (Dinding Penahan Tanah)

No.	URAIAN	SATUAN	VOLUME	HARGA SATUAN (Rp)	TOTAL(Rp)
A.	<u>TENAGA</u>				
1	Pekerja	jam	1,8924	14.999,86	28.385,62
2	Tukang	jam	0,0000	18.214,00	0,00
3	Mandor	jam	0,2819	21.000,00	5.920,52
B.	<u>BAHAN</u>				
1	Beton kelas C	m3	1,0200	860.000,00	877.200,00
2	Bekisting	m2	0,1672	275.000,00	45.983,49
3	Curing Compound	kg	0,1156	46.200,00	5.340,76
4	Air	ltr	482,3627	75,00	36.177,20
C.	<u>PERALATAN</u>				
1	Concrete vibrator	jam	0,2008	31.600,00	6.345,38
2	Concrete Pump Truck	jam	0,0306	1.767.100,00	54.113,00
3	Truck Crane	jam	0,0208	1.162.200,00	24.122,28
4	Mobile Crane 30 Ton	jam	0,0208	1.640.800,00	34.055,97
5	Water tanker Truck	jam	0,0020	547.400,00	1.082,06
6	Air compressor	jam	0,0306	231.100,00	7.076,86
D.	JUMLAH HARGA TENAGA, BAHAN DAN PERALATAN (A + B + C)				1.125.803,14
E.	OVERHEAD & PROFIT 10,0 % x D				112.580,31
F.	HARGA SATUAN PEKERJAAN (D + E)				1.238.380,00

5.7.2 Rencana Anggaran Biaya (RAB)

Rencana Anggaran Biaya (RAB) sebagai dasar untuk mengetahui total biaya dari masing-masing alternatif perkuatan tanah pada oprit jembatan. RAB disusun berdasarkan volume pekerjaan dan harga satuan dari hasil Analisa Harga Satuan Pekerjaan (AHSP) yang meliputi kebutuhan tenaga kerja, bahan, dan alat. Berikut adalah RAB setiap alternatif perkuatan.

1. Alternatif 1 (*geotextile* dan PVD)

No	Uraian Pekerjaan	Satuan	Volume	Harga Satuan (Rp)	Jumlah harga (Rp)
1	PVD (Prefabricated Vertical Drain)	m'	619093	Rp16.940,00	Rp10.487.433.000,00
2	Geotekstil Woven 300 kN	m2	244191	Rp54.610,00	Rp13.335.270.510,00
3	Timbunan	m'	171458,5	Rp130.410,00	Rp22.359.907.705,84
A	TOTAL NILAI HARGA				Rp46.182.611.215,84
B	PPN 11%				Rp5.080.087.233,74
C	GRAND TOTAL HARGA (A+B)				Rp51.262.698.449,58

2. Alternatif 2 (*Kantilver wall* dan PVD)

No	Uraian Pekerjaan	Satuan	Volume	Harga Satuan (Rp)	Jumlah harga (Rp)
1	PVD (Prefabricated Vertical Drain)	m'	637561	Rp16.940,00	Rp10.800.287.142,86
2	Timbunan	m3	216963,5	Rp130.410,00	Rp28.294.210.035,00
3	Cantilever Wall (Material)				
	- Beton K-350	m3	9056	Rp1.238.380,00	Rp11.214.769.280,00
	- Besi Tulangan	Kg	1086720	Rp10.560,00	Rp11.475.763.200,00
	Sub Total Harga Cantilever Wall				Rp22.690.532.480,00
A	TOTAL NILAI HARGA				Rp61.785.029.657,86
B	PPN 11%				Rp6.796.353.262,36
C	GRAND TOTAL HARGA (A+B)				Rp68.581.382.920,22

Berdasarkan perhitungan Rencana Anggaran Biaya (RAB), diperoleh bahwa total biaya untuk Alternatif 1 (*Geotextile* dan PVD) sebesar Rp51.262.698.449,58, sedangkan total biaya untuk Alternatif 2 (*Kantilver Wall* dan PVD) sebesar Rp68.581.382.920,22. Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa Alternatif 1 lebih ekonomis dibandingkan Alternatif 2 sehingga dapat menjadi pertimbangan utama dalam pemilihan metode perkuatan tanah pada oprit jembatan.

BAB 6

PENUTUP

6.1 Kesimpulan

1. Besar pemampatan dan Hinital yang terjadi pada setiap segmen adalah sebagai berikut:

- Pada STA 0+625, penurunan sebesar 2,96 meter.
- Pada STA 0+650, penurunan sebesar 2,86 meter.
- Pada STA 0+675, penurunan sebesar 2,73 meter.
- Pada STA 0+700, penurunan sebesar 2,59 meter.
- Pada STA 0+725, penurunan sebesar 2,41 meter.
- Pada STA 0+750, penurunan sebesar 2,34 meter.

Data menunjukkan seluruh lokasi mengalami penurunan signifikan, dengan nilai tertinggi di STA 0+625 dan terendah di STA 0+750. Hal ini mengindikasikan tanah dasar sangat lunak dan berpotensi mengalami konsolidasi besar, sehingga perlu dilakukan perbaikan tanah sebelum analisis stabilitas timbunan.

2. Waktu yang dibutuhkan untuk mencapai derajat konsolidasi 90% ($U=90\%$) adalah 204,54 tahun. Waktu tersebut sangat lama, sehingga dibutuhkan perencanaan *Prefabricated Vertical Drain* (PVD) untuk percepatan waktu konsolidasi dan didapatkan PVD pola segiempat jarak 1,4 m. Waktu preloading untuk mencapai derajat konsolidasi 90% membutuhkan selama 25 minggu.

3. Untuk S_f stabilitas sesudah dieprbaiki dengan PVD terdapat 4 segmen yang hasil masih $S_f < 1,5$, maka perlu direncanakan perkuatan. Pada perencanaan perkuatan lereng timbunan dengan *geotextile* didapatkan hasil sebagai berikut:

- Segmen 1 (STA 0+625) dengan ketinggian timbunan 7,70 m membutuhkan 12 lapis geotextile.
- Segmen 2 (STA 0+650) dengan ketinggian 7,00 m membutuhkan 7 lapis geotextile.
- Segmen 3 (STA 0+675) dengan ketinggian 6,20 m membutuhkan 4 lapis geotextile.
- Segmen 4 (STA 0+700) dengan ketinggian 5,50 m membutuhkan 3 lapis geotextile.

Setelah dilakukan simulasi perkuatan kombinasi geotextile dengan Plaxis 2D, seluruh segmen yang awalnya memiliki $SF < 1,5$ menunjukkan peningkatan hingga melebihi batas aman ($\geq 1,5$). Dengan demikian, penggunaan geotextile secara bertingkat terbukti mampu meningkatkan kestabilan lereng timbunan hingga mencapai batas aman yang disyaratkan.

4. Berdasarkan hasil analisis stabilitas setelah dilakukan perkuatan menggunakan kombinasi dinding penahan tanah tipe kantilever dan counterweight pada empat segmen dengan nilai SF awal $< 1,5$, diperoleh peningkatan nilai faktor keamanan hingga memenuhi persyaratan stabilitas minimum ($SF \geq 1,5$). Pada STA 0+625 ($H = 7,70$ m), nilai SF mencapai 1,625; STA 0+650 ($H = 7,00$ m) sebesar 1,656; STA 0+675 ($H = 6,20$ m) sebesar 1,622; dan STA 0+700 ($H = 5,50$ m) sebesar 1,810. Dengan demikian, hasil ini membuktikan bahwa metode perkuatan menggunakan kantilever wall dan counterweight secara efektif dapat meningkatkan kestabilan lereng timbunan pada keempat segmen sehingga memenuhi persyaratan stabilitas minimum ($SF \geq 1,5$).
5. Berdasarkan hasil analisis Rencana Anggaran Biaya (RAB), dapat disimpulkan bahwa alternatif perkuatan menggunakan *Geotextile* dan PVD (Alternatif 1) lebih ekonomis dibandingkan dengan alternatif *Cantilever Wall* dan PVD (Alternatif 2). Alternatif 1 memiliki total biaya sebesar Rp51.262.698.449,58, sedangkan Alternatif 2 mencapai Rp68.581.382.920,22, dengan selisih biaya sekitar Rp17,31 miliar. Oleh karena itu, jika aspek ekonomi menjadi pertimbangan utama dalam pemilihan metode perkuatan tanah pada oprit jembatan, maka penggunaan *Geotextile* dan PVD direkomendasikan sebagai pilihan yang lebih efisien.

6.2 Saran

1. Diperlukan investigasi tanah yang lebih mendalam melalui pengujian laboratorium seperti triaxial dan konsolidasi berlapis guna memperoleh parameter teknis tanah (kekuatan geser dan konsolidasi) yang lebih akurat sebagai dasar dalam perencanaan perkuatan tanah oprit jembatan.
2. *Prefabricated Vertical Drain* (PVD) tetap disarankan untuk digunakan sebagai tahap awal perkuatan khususnya dalam mempercepat proses konsolidasi tanah lunak sebelum dilakukan penimbunan atau pemasangan sistem perkuatan struktural lainnya.

3. Sistem perkuatan *geotextile* bertingkat direkomendasikan pada area timbunan yang masih memiliki faktor keamanan (SF) $< 1,5$ meskipun telah diperkuat PVD. Berdasarkan simulasi kombinasi ini terbukti meningkatkan stabilitas lereng secara efektif hingga mencapai $SF \geq 1,5$.
4. Penggunaan kombinasi *geotextile* dan PVD juga terbukti lebih ekonomis dibandingkan alternatif perkuatan lainnya. Oleh karena itu, metode ini disarankan menjadi prioritas utama dalam perencanaan apabila mempertimbangkan efisiensi biaya dan efektivitas perkuatan.
5. Sistem cantilever wall dan counterweight dapat dipertimbangkan sebagai alternatif pada area yang memiliki ruang terbatas seperti di sekitar abutment jembatan, namun tetap harus memperhatikan daya dukung tanah, kestabilan pondasi, dan tingginya biaya konstruksi.
6. Pemantauan deformasi dan kestabilan lereng secara berkala menggunakan alat seperti settlement plate dan inclinometer perlu dilakukan pada tahap konstruksi dan pasca-konstruksi, untuk memastikan perkuatan bekerja sesuai desain.

DAFTAR PUSTAKA

- Ariansyah, Y., Dharmawansyah, D., Mawardin, A., Jl Raya Olat Maras, S., Alang-Moyo Hulu, B., & Sumbawa Nusa Tenggara Barat, K. (2022). *Jurnal Teknik Sipil Analisis Stabilitas Lereng Dan Alternatif Penanganannya Pada Timbunan Oprit Jembatan Labu Sawo Sumbawa*. 11(2).
- Aslam, Z., & Gofar, N. (2022). The Effect Of Soil Stabilization And Reinforcement On The Stability Of Embankment On Soft Soil. *Jurnal Teknik Sipil*, 18(2), 356–367. <https://doi.org/10.28932/jts.v18i2.4613>
- BSN. (2017). " *Badan Standardisasi Nasional Standar Nasional Indonesia Persyaratan perancangan geoteknik*. SNI 8460-2017. www.bsn.go.id
- Buana, C. (2019). (Paragraf 1) *Perencanaan Jalan Tol Probolinggo*.
- Das, B. M. ; E. N. M. I. B. (1993). *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis) Jilid 2*. In *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis) Jilid 2*. Erlangga.
- Das, B. M., Endah, N., & Mochtar, I. B. (1995). *Mekanika Tanah Jilid 1 (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis)*.
- FARUQ, F. U. (2018). *PERENCANAAN TIMBUNAN PADA JALAN TOL NGAWI-KERTOSONO PAKET 2 STA 110+250-STA 118+700*.
- Kaliky, I. S., Hamkah, & Lewakabessy, G. (2024). *Analisis Faktor Penyebab Penurunan Terhadap Timbunan Oprit Pada Jembatan Beton Negeri Luhu Kabupaten Seram Bagian Barat*.
- Look, B. G. (2007). *Handbook of Geotechnical Investigation and Design Tables*.
- Mochtar, N. E. (2012). *Modul Ajar Metode Perbaikan Tanah*. Surabaya: ITS Press.
- Pratama, R. T., Sarie, F., & Hendri, O. (2021). *ANALISIS PERBAIKAN TANAH MENGGUNAKAN GEOTEXTILE*.
- Rumbyarso, Y. P. A., & Pribadi, G. (2024). Analysis of Landslide Handling With Mini Pile Reinforcement Using Plaxis Software on The “X” Toll Road Project. *Jurnal Teknik Industri Terintegrasi*, 7(2), 801–810. <https://doi.org/10.31004/jutin.v7i2.27026>
- SNI 8460: 2017. (2017). *SNI 8460: 2017 Persyaratan Perancangan Geoteknik. Badan Standarisasi Nasional, Jakarta*.
- Wahyudi, H. (2012). *Daya Dukung Pondasi Dangkal*.
- Wiqoyah, Q., Elvry Alawiyah, R., Budi Listyawan, A., Yani, J. A., Kartasura, K., Sukoharjo, K., & Tengah, J. (2022). *Prosiding Seminar Nasional Teknik Sipil 2022*.
- Zahera, N., Widiastuti, M., & Sharly Arifin, T. P. (2019). *JURNAL TEKNOLOGI SIPIL Jurnal Ilmu Pengetahuan dan teknologi sipil (Studi Kasus : Landasan Bandara Samarinda Baru, Kota Samarinda)*.

Lampiran 1 (Data Tanah Dasar)

BORE LOG

Bore No : A2
 Project : Pembangunan Jalan Tol Probolinggo-Banyuwangi
 Client :
 Location : Tol Probolinggo-Banyuwangi
 STA : 0+000
 GWT : -1.0 m

GPS (UTM)
 X : 775949
 Y : 945328
 Diameter of Bore : 72
 Diameter of Casing : 89
 Date : 11/05/2023
 Start :
 Finish :

DEPTH (M)	Bore Log	Standard Penetration Test (SPT) N/30 cm	VISUAL DESCRIPTION	COLOUR	UDS Depth SPT Depth	N1 (0-15)	N2 (15-30)	N3 (30-45)	N4-SPT (45-60)	Physical Properties						Atterberg Limit			Strength Test		
										γd	γsat	Wc	e	Gs	n	LL	PL	IP	C	φ	qu
										MW/m3	kN/m3	%			%	%	%	%	Kpa	°	kg/cm2
0																					
1.0			Lanau lempungan	Collet		1	2/15	2/15	4												
2.0																					
3.0																					
4.0						1/15	2/15	2/15	4												
5.0																					
6.0						1/15	1/15	2/15	3												
7.0																					
8.0						1/15	2/15	2/15	4												
9.0																					
10.0			Lanau Kelerupungan Padas Berpasir	Collet		2/15	2/15	2/15	4	15	16	16.95	0.448	2.642	0.309	66.76	30.25	36.51	23	12	0.3
11.0																					
12.0			Lanau Kerasiran + Sedikit Kulit Kering	Akar-Akar		3/15	6/15	8/15	14												
13.0																					
14.0						3/15	8/15	8/15	16												
15.0																					
16.0						3/15	3/15	6/15	9	17	18	53.66	1.412	2.632	0.505	78.58	34.24	44.34	24	15	0.38
17.0																					
18.0						2/15	3/15	4/15	7												
19.0																					
20.0						2/15	4/15	4/15	8												
21.0																					
22.0			Lanau Kelerupungan berpasir	Collet		4/15	4/15	5/15	9												
23.0																					
24.0						4/15	4/15	7/15	11												
25.0										16	17	53.66	1.412	2.632	0.505	78.58	34.24	44.34	32	9	0.38
26.0						6/15	7/15	11/15	13												
27.0																					
28.0			Lanau Kelerupungan Padas Berpasir	Collet		7/15	11/15	22/15	18												
29.0																					
30.0						7/15	15/15	28/15	30	17	18	46.11	1.200	2.603	0.546	82.92	34.89	48.03	24	15	0.38
31.0			Lanau Kerasiran	Collet																	
32.0						6/15	15/15	23/15	38												
33.0			Lanau Kelerupungan	Collet																	
34.0						14/15	15/15	11/15	26												
35.0										19	20	46.11	1.200	2.603	0.546	82.92	34.89	48.03	85	37	0.62
36.0																					
37.0			Lanau Kerasiran + Batu Grogol	Collet		29/15	50/15		50												
38.0																					
39.0						10/15	50/15		50												
40.0						9/15	50/15		50	19	20	46.11	1.200	2.603	0.546	82.92	34.89	48.03	0	29	0.62

Lampiran 2 (Brosur PVD)

PRODUCT ADVANTAGES

- Increases the strength of the soil.
- Minimizes the long term residual settlement.
- Limits differential settlements.
- Can improve soils up to 50 m depth.
- Relatively low cost.

PHYSICAL & MECHANICAL PROPERTIES			
Property Test	Test Method	Unit	GPVD704
Core Drain			
Core Material	Polypropylene		
Mass	ASTM D5261	g/m	70
Width	ASTM D3774	mm	100 ± 3
Thickness	ASTM D5199	mm	≥ 4.5
Core Tensile Strength (Full Width)	ASTM D4595	kN	≥ 2.5
Elongation at Break	ASTM D4595	%	≥ 20
Discharge Capacity at 350 kPa	ASTM D4716	cm ³ /s	≥ 400
Filter			
Filter Material	PET		
Tensile Strength	ASTM D4595	kN/m	≥ 6
Grab Tensile Strength	ASTM D4632	N	≥ 550
Permeability	ASTM D4491	cm/s	0.0156
Apparent Opening Size, O95	ASTM D4751	µm	≤ 75
Puncture Resistance	ASTM D4833	N	≥ 80
Trapezoid Tear	ASTM D4533	N	≥ 70
Elongation at Break	ASTM D4595	%	> 20
Permittivity	ASTM D4491	s ⁻¹	≥ 0.75

Notes : The information provided is for reference purpose only and is not intended as a warranty or guarantee. PT. YoeWono Jaya Mandiri assumes no liability in connection to this information usage. PT. YoeWono Jaya Mandiri reserves the right of change the specification without notice. Please contact PT. YoeWono Jaya Mandiri for the latest specification.



**PT. YOEWONO
JAYA MANDIRI**

Office : Jl. Rungkut Industri III No. 52 Surabaya - 60293
Phone : +62-31-8415208 Fax : +62-31-8415209

www.geoguard.co.id
Email : info@geoguard.co.id

Lampiran 2 (Brosur Geotextile)

TECHNICAL DATA SHEET

MIRAFI® PET

Properties	Unit	PET 200-50	PET 300-50	PET 400-50	PET 600-50	PET 800-50	PET 1000-50	PET 1200-50	PET 1400-50	PET 1600-50	PET 2000-50
Initial Mechanical Properties											
Characteristic initial strength ¹ , T_u (ISO 10319)	MD ² kN/m	200	300	400	600	800	1000	1200	1400	1600	2000
Characteristic initial strength ¹ (ISO 10319)	CD ³ kN/m	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
Characteristic initial strength ¹ at 5% strain (ISO 10319)	MD ² kN/m	100	150	200	300	400	500	600	700	800	1000
Strain at initial strength	MD ² %	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Material reduction factor creep-rupture, f_{cr}											
at 10 years design life		1.37	1.37	1.37	1.37	1.37	1.37	1.37	1.37	1.37	1.37
at 50 years design life		1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40
at 100 years design life		1.43	1.43	1.43	1.43	1.43	1.43	1.43	1.43	1.43	1.43
Creep limited strength based on creep-rupture, T_{cr}											
at 10 years design life	kN/m	146	219	292	438	584	730	876	1022	1168	1460
at 50 years design life	kN/m	143	214	286	429	571	714	857	1000	1143	1429
at 100 years design life	kN/m	140	210	280	420	559	699	839	979	1119	1399
Material reduction factor - installation damage, f_{is}											
in clay, silt or sand		1.10	1.10	1.10	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
in aggregate (50mm max size)		1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15
Material reduction factor - environmental effects ($4 < \text{pH} < 9$), f_{en}											
at 10 years design life		1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
at 50 years design life		1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03
at 100 years design life		1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05

TenCate Geosynthetics Asia Sdn. Bhd. – A Solmax company

199502004905 (264252-U)
14, Jalan Sementa 27/91, Seksyen 27,
40400 Shah Alam, Selangor Darul Ehsan, Malaysia
Tel: +60 3 5192 8568 | Fax: +60 3 5192 8575

infoasia@solmax.com



Solmax is not a design or engineering professional and has not performed any such design services to determine if Solmax's goods comply with any project plans or specifications, or with the application or use of Solmax's goods to any particular system, project, purpose, installation, or specification.

MIRAFI® is a registered trademark of Solmax in many countries of the world.



REV 13/2024

Lampiran 3 (Tabel Perhitungan Timbunan)

Tabel 2. Tabel q total yang digunakan

H traffic (m)	H perkerasan (m)	H beban timbunan (m)	H total (m)	q total (t/m2)
0,759	0,790	1	2,55	5,04
0,759	0,790	2	3,55	7,01
0,759	0,790	3	4,55	8,99
0,759	0,790	4	5,55	10,96
0,759	0,790	5	6,55	12,94
0,759	0,790	6	7,55	14,91
0,759	0,790	7	8,55	16,89
0,759	0,790	8	9,55	18,86

Tabel 1. Hasil Perhitungan Distribusi Tegangan Akibat Tanah Timbunan

H timbunan	=	2,55	q0	=	5,04				
lapisan	z	q0	B1	B2	$\alpha 1$	$\alpha 2$	$\Delta \sigma'$	$2\Delta \sigma'$	
	m	(t/m2)	m	m	o	o	t/m2	t/m2	
0 - 1	0,5	5,04	12,00	5,10	0,71	87,61	2,52	5,04	
1 - 2	1,5	5,04	12,00	5,10	2,11	82,87	2,52	5,04	
2 - 3	2,5	5,04	12,00	5,10	3,45	78,23	2,51	5,04	
3-4	3,5	5,04	12,00	5,10	4,69	73,74	2,50	5,02	
4-5	4,5	5,04	12,00	5,10	5,81	69,44	2,49	4,98	
5-6	5,5	5,04	12,00	5,10	6,79	65,38	2,47	4,94	
6-7	6,5	5,04	12,00	5,10	7,63	61,56	2,44	4,88	
7-8	7,5	5,04	12,00	5,10	8,32	57,99	2,40	4,82	
8-9	8,5	5,04	12,00	5,10	8,88	54,69	2,36	4,74	
9-10	9,5	5,04	12,00	5,10	9,31	51,63	2,32	4,64	
10-11	10,5	5,04	12,00	5,10	9,63	48,81	2,27	4,54	
11-12	11,5	5,04	12,00	5,10	9,86	46,22	2,22	4,44	
12-13	12,5	5,04	12,00	5,10	10,00	43,83	2,16	4,34	
13-14	13,5	5,04	12,00	5,10	10,07	41,63	2,11	4,22	
14-15	14,5	5,04	12,00	5,10	10,09	39,61	2,05	4,12	
15-16	15,5	5,04	12,00	5,10	10,06	37,75	2,00	4,00	
16-17	16,5	5,04	12,00	5,10	9,99	36,03	1,95	3,90	
17-18	17,5	5,04	12,00	5,10	9,90	34,44	1,89	3,80	
18-19	18,5	5,04	12,00	5,10	9,78	32,97	1,84	3,68	
19-20	19,5	5,04	12,00	5,10	9,64	31,61	1,79	3,58	
20-21	20,5	5,04	12,00	5,10	9,49	30,34	1,74	3,48	
21-22	21,5	5,04	12,00	5,10	9,33	29,17	1,69	3,40	
22-23	22,5	5,04	12,00	5,10	9,16	28,07	1,64	3,30	
23-24	23,5	5,04	12,00	5,10	8,99	27,05	1,60	3,20	

H timbunan	=	4,55	q0	=	8,99				
lapisan	z	q0	B1	B2	$\alpha 1$	$\alpha 2$	$\Delta \sigma'$	$2\Delta \sigma'$	
	m	(t/m2)	m	m	o	o	t/m2	t/m2	
0 - 1	0,5	8,99	12,00	9,10	1,03	87,61	4,49	8,99	
1 - 2	1,5	8,99	12,00	9,10	3,06	82,87	4,49	8,98	
2 - 3	2,5	8,99	12,00	9,10	5,01	78,23	4,49	8,97	
3-4	3,5	8,99	12,00	9,10	6,84	73,74	4,47	8,95	
4-5	4,5	8,99	12,00	9,10	8,52	69,44	4,45	8,91	
5-6	5,5	8,99	12,00	9,10	10,01	65,38	4,42	8,85	
6-7	6,5	8,99	12,00	9,10	11,32	61,56	4,38	8,77	
7-8	7,5	8,99	12,00	9,10	12,44	57,99	4,33	8,67	
8-9	8,5	8,99	12,00	9,10	13,37	54,69	4,28	8,56	
9-10	9,5	8,99	12,00	9,10	14,13	51,63	4,21	8,43	
10-11	10,5	8,99	12,00	9,10	14,73	48,81	4,14	8,28	
11-12	11,5	8,99	12,00	9,10	15,19	46,22	4,07	8,13	
12-13	12,5	8,99	12,00	9,10	15,52	43,83	3,98	7,97	
13-14	13,5	8,99	12,00	9,10	15,75	41,63	3,90	7,80	
14-15	14,5	8,99	12,00	9,10	15,89	39,61	3,82	7,63	
15-16	15,5	8,99	12,00	9,10	15,95	37,75	3,73	7,46	
16-17	16,5	8,99	12,00	9,10	15,95	36,03	3,64	7,29	
17-18	17,5	8,99	12,00	9,10	15,89	34,44	3,56	7,12	
18-19	18,5	8,99	12,00	9,10	15,79	32,97	3,47	6,95	
19-20	19,5	8,99	12,00	9,10	15,65	31,61	3,39	6,78	
20-21	20,5	8,99	12,00	9,10	15,48	30,34	3,31	6,61	
21-22	21,5	8,99	12,00	9,10	15,29	29,17	3,23	6,45	
22-23	22,5	8,99	12,00	9,10	15,09	28,07	3,15	6,30	
23-24	23,5	8,99	12,00	9,10	14,87	27,05	3,07	6,14	

Tabel 3 Hasil Perhitungan Distribusi Tegangan Akibat Tanah Timbunan (Lanjutan)

H timbunan	=	3,55	q0	=	7,01			
lapisan	z	q0	B1	B2	a1	a2	Δσ'	2Δσ'
	m	(t/m2)	m	m	o	o	t/m2	t/m2
0 - 1	0,5	7,01	12,00	7,10	0,89	87,61	3,505	7,01
1 - 2	1,5	7,01	12,00	7,10	2,63	82,87	3,504	7,01
2 - 3	2,5	7,01	12,00	7,10	4,31	78,23	3,498	7,00
3-4	3,5	7,01	12,00	7,10	5,88	73,74	3,487	6,97
4-5	4,5	7,01	12,00	7,10	7,30	69,44	3,469	6,94
5-6	5,5	7,01	12,00	7,10	8,56	65,38	3,443	6,89
6-7	6,5	7,01	12,00	7,10	9,65	61,56	3,408	6,82
7-8	7,5	7,01	12,00	7,10	10,57	57,99	3,366	6,73
8-9	8,5	7,01	12,00	7,10	11,32	54,69	3,316	6,63
9-10	9,5	7,01	12,00	7,10	11,92	51,63	3,260	6,52
10-11	10,5	7,01	12,00	7,10	12,39	48,81	3,199	6,40
11-12	11,5	7,01	12,00	7,10	12,73	46,22	3,134	6,27
12-13	12,5	7,01	12,00	7,10	12,96	43,83	3,065	6,13
13-14	13,5	7,01	12,00	7,10	13,11	41,63	2,995	5,99
14-15	14,5	7,01	12,00	7,10	13,18	39,61	2,924	5,85
15-16	15,5	7,01	12,00	7,10	13,19	37,75	2,852	5,70
16-17	16,5	7,01	12,00	7,10	13,15	36,03	2,781	5,56
17-18	17,5	7,01	12,00	7,10	13,06	34,44	2,710	5,42
18-19	18,5	7,01	12,00	7,10	12,94	32,97	2,640	5,28
19-20	19,5	7,01	12,00	7,10	12,80	31,61	2,572	5,14
20-21	20,5	7,01	12,00	7,10	12,63	30,34	2,505	5,01
21-22	21,5	7,01	12,00	7,10	12,45	29,17	2,440	4,88
22-23	22,5	7,01	12,00	7,10	12,25	28,07	2,377	4,75
23-24	23,5	7,01	12,00	7,10	12,05	27,05	2,316	4,63

H timbunan	=	7,55	q0	=	14,91			
lapisan	z	q0	B1	B2	a1	a2	Δσ'	2Δσ'
	m	(t/m2)	m	m	o	o	t/m2	t/m2
0 - 1	0,5	14,91	12,00	15,10	1,33	87,61	7,40	14,91
1 - 2	1,5	14,91	12,00	15,10	3,96	82,87	7,45	14,91
2 - 3	2,5	14,91	12,00	15,10	6,50	78,23	7,45	14,89
3-4	3,5	14,91	12,00	15,10	8,90	73,74	7,43	14,86
4-5	4,5	14,91	12,00	15,10	11,13	69,44	7,41	14,81
5-6	5,5	14,91	12,00	15,10	13,15	65,38	7,37	14,74
6-7	6,5	14,91	12,00	15,10	14,95	61,56	7,32	14,64
7-8	7,5	14,91	12,00	15,10	16,54	57,99	7,26	14,52
8-9	8,5	14,91	12,00	15,10	17,90	54,69	7,19	14,38
9-10	9,5	14,91	12,00	15,10	19,05	51,63	7,11	14,22
10-11	10,5	14,91	12,00	15,10	20,01	48,81	7,02	14,04
11-12	11,5	14,91	12,00	15,10	20,79	46,22	6,92	13,84
12-13	12,5	14,91	12,00	15,10	21,41	43,83	6,81	13,63
13-14	13,5	14,91	12,00	15,10	21,88	41,63	6,70	13,40
14-15	14,5	14,91	12,00	15,10	22,24	39,61	6,59	13,17
15-16	15,5	14,91	12,00	15,10	22,48	37,75	6,47	12,94
16-17	16,5	14,91	12,00	15,10	22,64	36,03	6,35	12,70
17-18	17,5	14,91	12,00	15,10	22,71	34,44	6,23	12,46
18-19	18,5	14,91	12,00	15,10	22,71	32,97	6,11	12,21
19-20	19,5	14,91	12,00	15,10	22,65	31,61	5,99	11,97
20-21	20,5	14,91	12,00	15,10	22,55	30,34	5,87	11,73
21-22	21,5	14,91	12,00	15,10	22,40	29,17	5,75	11,49
22-23	22,5	14,91	12,00	15,10	22,22	28,07	5,63	11,26
23-24	23,5	14,91	12,00	15,10	22,02	27,05	5,51	11,03

H timbunan	=	5,55	q0	=	10,96			
lapisan	z	q0	B1	B2	a1	a2	Δσ'	2Δσ'
	m	(t/m2)	m	m	o	o	t/m2	t/m2
0 - 1	0,5	10,96	12,00	11,10	1,15	87,61	5,48	10,96
1 - 2	1,5	10,96	12,00	11,10	3,41	82,87	5,48	10,96
2 - 3	2,5	10,96	12,00	11,10	5,59	78,23	5,47	10,96
3-4	3,5	10,96	12,00	11,10	7,64	73,74	5,46	10,92
4-5	4,5	10,96	12,00	11,10	9,53	69,44	5,44	10,88
5-6	5,5	10,96	12,00	11,10	11,23	65,38	5,40	10,82
6-7	6,5	10,96	12,00	11,10	12,73	61,56	5,36	10,74
7-8	7,5	10,96	12,00	11,10	14,02	57,99	5,31	10,62
8-9	8,5	10,96	12,00	11,10	15,11	54,69	5,24	10,50
9-10	9,5	10,96	12,00	11,10	16,01	51,63	5,17	10,36
10-11	10,5	10,96	12,00	11,10	16,74	48,81	5,09	10,20
11-12	11,5	10,96	12,00	11,10	17,31	46,22	5,01	10,02
12-13	12,5	10,96	12,00	11,10	17,75	43,83	4,92	9,84
13-14	13,5	10,96	12,00	11,10	18,06	41,63	4,82	9,66
14-15	14,5	10,96	12,00	11,10	18,27	39,61	4,73	9,46
15-16	15,5	10,96	12,00	11,10	18,39	37,75	4,63	9,26
16-17	16,5	10,96	12,00	11,10	18,43	36,03	4,53	9,06
17-18	17,5	10,96	12,00	11,10	18,41	34,44	4,43	8,88
18-19	18,5	10,96	12,00	11,10	18,34	32,97	4,33	8,68
19-20	19,5	10,96	12,00	11,10	18,22	31,61	4,23	8,48
20-21	20,5	10,96	12,00	11,10	18,07	30,34	4,14	8,28
21-22	21,5	10,96	12,00	11,10	17,89	29,17	4,04	8,10
22-23	22,5	10,96	12,00	11,10	17,68	28,07	3,95	7,90
23-24	23,5	10,96	12,00	11,10	17,46	27,05	3,86	7,72

H timbunan	=	8,55	q0	=	16,89			
lapisan	z	q0	B1	B2	a1	a2	Δσ'	2Δσ'
	m	(t/m2)	m	m	o	o	t/m2	t/m2
0 - 1	0,5	16,89	12,00	17,10	1,40	87,61	8,44	16,89
1 - 2	1,5	16,89	12,00	17,10	4,17	82,87	8,44	16,88
2 - 3	2,5	16,89	12,00	17,10	6,86	78,23	8,43	16,87
3-4	3,5	16,89	12,00	17,10	9,40	73,74	8,42	16,84
4-5	4,5	16,89	12,00	17,10	11,77	69,44	8,39	16,79
5-6	5,5	16,89	12,00	17,10	13,92	65,38	8,35	16,71
6-7	6,5	16,89	12,00	17,10	15,85	61,56	8,30	16,61
7-8	7,5	16,89	12,00	17,10	17,55	57,99	8,24	16,49
8-9	8,5	16,89	12,00	17,10	19,03	54,69	8,17	16,34
9-10	9,5	16,89	12,00	17,10	20,29	51,63	8,08	16,17
10-11	10,5	16,89	12,00	17,10	21,34	48,81	7,99	15,97
11-12	11,5	16,89	12,00	17,10	22,22	46,22	7,88	15,77
12-13	12,5	16,89	12,00	17,10	22,92	43,83	7,77	15,54
13-14	13,5	16,89	12,00	17,10	23,48	41,63	7,65	15,31
14-15	14,5	16,89	12,00	17,10	23,90	39,61	7,53	15,06
15-16	15,5	16,89	12,00	17,10	24,21	37,75	7,41	14,81
16-17	16,5	16,89	12,00	17,10	24,42	36,03	7,28	14,56
17-18	17,5	16,89	12,00	17,10	24,54	34,44	7,15	14,30
18-19	18,5	16,89	12,00	17,10	24,58	32,97	7,02	14,04
19-20	19,5	16,89	12,00	17,10	24,57	31,61	6,89	13,77
20-21	20,5	16,89	12,00	17,10	24,49	30,34	6,76	13,51
21-22	21,5	16,89	12,00	17,10	24,37	29,17	6,63	13,25
22-23	22,5	16,89	12,00	17,10	24,22	28,07	6,50	13,00
23-24	23,5	16,89	12,00	17,10	24,03	27,05	6,37	12,75

H timbunan	=	6,55	q0	=	12,94			
lapisan	z	q0	B1	B2	a1	a2	Δσ'	2Δσ'
	m	(t/m2)	m	m	o	o	t/m2	t/m2
0 - 1	0,5	12,94	12,00	13,10	1,24	87,61	6,47	12,94
1 - 2	1,5	12,94	12,00	13,10	3,70	82,87	6,47	12,94
2 - 3	2,5	12,94	12,00	13,10	6,08	78,23	6,46	12,92
3-4	3,5	12,94	12,00	13,10	8,32	73,74	6,44	12,90
4-5	4,5	12,94	12,00	13,10	10,39	69,44	6,42	12,86
5-6	5,5	12,94	12,00	13,10	12,26	65,38	6,39	12,78
6-7	6,5	12,94	12,00	13,10	13,92	61,56	6,34	12,70
7-8	7,5	12,94	12,00	13,10	15,37	57,99	6,28	12,58
8-9	8,5	12,94	12,00	13,10	16,60	54,69	6,22	12,44
9-10	9,5	12,94	12,00	13,10	17,64	51,63	6,14	12,28
10-11	10,5	12,94	12,00	13,10	18,48	48,81	6,05	12,12
11-12	11,5	12,94	12,00	13,10	19,16	46,22	5,96	11,94
12-13	12,5	12,94	12,00	13,10	19,69	43,83	5,86	11,74
13-14	13,5	12,94	12,00	13,10	20,09	41,63	5,76	11,52
14-15	14,5	12,94	12,00	13,10	20,37	39,61	5,65	11,32
15-16	15,5	12,94	12,00	13,10	20,56	37,75	5,54	11,10
16-17	16,5	12,94	12,00	13,10	20,65	36,03	5,43	10,88
17-18	17,5	12,94	12,00	13,10	20,68	34,44	5,32	10,66
18-19	18,5	12,94	12,00	13,10	20,64	32,97	5,21	10,44
19-20	19,5	12,94	12,00	13,10	20,55	31,61	5,10	10,22
20-21	20,5	12,94	12,00	13,10	20,42	30,34	4,99	10,00
21-22	21,5	12,94	12,00	13,10	20,25	29,17	4,88	9,78
22-23	22,5	12,94	12,00	13,10	20,05	28,07	4,78	9,56
23-24	23,5	12,94	12,00	13,10	19,83	27,05	4,67	9,36

H timbunan	=	9,55	q0	=	18,86			
lapisan	z	q0	B1	B2	a1	a2	Δσ'	2Δσ'
	m	(t/m2)	m	m	o	o	t/m2	t/m2
0 - 1	0,5	18,86	12,00	19,10	1,46	87,61	9,43	18,86
1 - 2	1,5	18,86	12,00	19,10	4,36	82,87	9,43	18,86
2 - 3	2,5	18,86	12,00	19,10	7,17	78,23	9,42	18,86
3-4	3,5	18,86	12,00	19,10	9,84	73,74	9,40	18,82
4-5	4,5	18,86	12,00	19,10	12,32	69,44	9,38	18,76
5-6	5,5	18,86	12,00	19,10	14,59	65,38	9,34	18,68
6-7	6,5	18,86	12,00	19,10	16,64	61,56	9,29	18,58
7-8	7,5	18,86	12,00	19,10	18,45	57,99	9,22	18,46
8-9	8,5	18,86	12,00	19,10	20,02	54,69	9,15	18,30
9-10	9,5	18,86	12,00	19,10	21,38	51,63	9,06	18,12
10-11	10,5	18,86	12,00	19,10	22,53	48,81	8,96	17,92
11-12	11,5	18,86	12,00	19,10	23,49	46,22	8,85	17,70
12-13	12,5	18,86	12,00	19,10	24,27	43,83	8,73	17,48
13-14	13,5	18,86	12,00	19,10	24,90	41,63	8,61	17,24
14-15	14,5	18,86	12,00	19,10	25,39	39,61	8,48	16,98
15-16	15,5	18,86	12,00	19,10	25,76	37,75	8,35	16,72
16-17	16,5	18,86	12,00	19,10	26,02	36,03	8,21	16,44
17-18	17,5	18,86	12,00	19,10	26,19	34,44	8,08	16,16
18-19	18,5	18,86	12,00	19,10	26,28	32,97	7,94	15,88
19-20	19,5	18,86	12,00	19,10	26,30	31,61	7,80	15,60
20-21	20,5	18,86	12,00	19,10	26,26	30,34	7,66	15,34
21-22	21,5	18,86	12,00	19,10	26,17	29,17	7,52	15,06
22-23	22,5	18,86	12,00	19,10	26,04	28,07	7,38	14,78
23-24	23,5	18,86	12,00	19,10	25,87	27,05	7,25	14,50

Tabel 4. Tabel Hasil Perhitungan Settlement Untuk Tiap Q Total

H timbunan	=	2,55										
q total	=	5,04										
Kedalaman m	hi m	Cc	Cs	eo	p'o (t/m2)	Δp' (t/m2)	Δp'+p'o (t/m2)	p fluktuasi (t/m2)	pc (t/m2)	OCR		Sc m
0-1	1	0,297	0,088	0,448	0,300	5,04	5,340	1,500	1,800	6,000	OC	0,144
1-2	1	0,297	0,088	0,448	0,900	5,04	5,940	1,500	2,400	2,667	OC	0,106
2-3	1	0,297	0,088	0,448	1,500	5,04	6,540	1,500	3,000	2,000	OC	0,088
3-4	1	0,297	0,088	0,448	2,100	5,02	7,120	1,500	3,600	1,714	OC	0,075
4-5	1	0,297	0,088	0,448	2,700	4,98	7,680	1,500	4,200	1,556	OC	0,065
5-6	1	0,297	0,088	0,448	3,300	4,94	8,240	1,500	4,800	1,455	OC	0,058
6-7	1	0,297	0,088	0,448	3,900	4,88	8,780	1,500	5,400	1,385	OC	0,052
7-8	1	0,297	0,088	0,448	4,500	4,82	9,320	1,500	6,000	1,333	OC	0,047
8-9	1	0,297	0,088	0,448	5,100	4,74	9,840	1,500	6,600	1,294	OC	0,042
9-10	1	0,297	0,088	0,448	5,700	4,64	10,340	1,500	7,200	1,263	OC	0,038
10-11	1	0,511	0,133	1,142	6,400	4,54	10,940	1,500	7,900	1,234	OC	0,039
11-12	1	0,511	0,133	1,142	7,200	4,44	11,640	1,500	8,700	1,208	OC	0,035
12-13	1	0,511	0,133	1,142	8,000	4,34	12,340	1,500	9,500	1,188	OC	0,032
13-14	1	0,511	0,133	1,142	8,800	4,22	13,020	1,500	10,300	1,170	OC	0,029
14-15	1	0,511	0,133	1,142	9,600	4,12	13,720	1,500	11,100	1,156	OC	0,026
15-16	1	0,511	0,133	1,142	10,400	4,00	14,400	1,500	11,900	1,144	OC	0,023
16-17	1	0,511	0,133	1,142	11,150	3,90	15,050	1,500	12,650	1,135	OC	0,021
17-18	1	0,511	0,133	1,142	11,850	3,80	15,650	1,500	13,350	1,127	OC	0,020
18-19	1	0,511	0,133	1,142	12,550	3,68	16,230	1,500	14,050	1,120	OC	0,018
19-20	1	0,511	0,133	1,142	13,250	3,58	16,830	1,500	14,750	1,113	OC	0,017
20-21	1	0,511	0,133	1,142	13,950	3,48	17,430	1,500	15,450	1,108	OC	0,015
21-22	1	0,511	0,133	1,142	14,650	3,40	18,050	1,500	16,150	1,102	OC	0,014
22-23	1	0,511	0,133	1,142	15,350	3,30	18,650	1,500	16,850	1,098	OC	0,013
23-24	1	0,511	0,133	1,142	16,050	3,20	19,250	1,500	17,550	1,093	OC	0,012
TOTAL PENURUNAN (Σ)												1,029

H timbunan	=	4,55										
q total	=	8,99										
Kedalaman m	hi m	Cc	Cs	eo	p'o (t/m2)	Δp' (t/m2)	Δp'+p'o (t/m2)	p fluktuasi (t/m2)	pc (t/m2)	OCR		Sc m
0-1	1	0,297	0,088	0,448	0,300	8,99	9,286	1,500	1,800	6,000	OC	0,193
1-2	1	0,297	0,088	0,448	0,900	8,98	9,882	1,500	2,400	2,667	OC	0,152
2-3	1	0,297	0,088	0,448	1,500	8,97	10,472	1,500	3,000	2,000	OC	0,129
3-4	1	0,297	0,088	0,448	2,100	8,95	11,066	1,500	3,600	1,714	OC	0,114
4-5	1	0,297	0,088	0,448	2,700	8,91	11,606	1,500	4,200	1,556	OC	0,102
5-6	1	0,297	0,088	0,448	3,300	8,85	12,146	1,500	4,800	1,455	OC	0,092
6-7	1	0,297	0,088	0,448	3,900	8,77	12,668	1,500	5,400	1,385	OC	0,084
7-8	1	0,297	0,088	0,448	4,500	8,67	13,170	1,500	6,000	1,333	OC	0,078
8-9	1	0,297	0,088	0,448	5,100	8,56	13,656	1,500	6,600	1,294	OC	0,071
9-10	1	0,297	0,088	0,448	5,700	8,43	14,126	1,500	7,200	1,263	OC	0,066
10-11	1	0,511	0,133	1,142	6,400	8,28	14,684	1,500	7,900	1,234	OC	0,070
11-12	1	0,511	0,133	1,142	7,200	8,13	15,332	1,500	8,700	1,208	OC	0,064
12-13	1	0,511	0,133	1,142	8,000	7,97	15,970	1,500	9,500	1,188	OC	0,058
13-14	1	0,511	0,133	1,142	8,800	7,80	16,604	1,500	10,300	1,170	OC	0,054
14-15	1	0,511	0,133	1,142	9,600	7,63	17,234	1,500	11,100	1,156	OC	0,050
15-16	1	0,511	0,133	1,142	10,400	7,46	17,862	1,500	11,900	1,144	OC	0,046
16-17	1	0,511	0,133	1,142	11,150	7,29	18,440	1,500	12,650	1,135	OC	0,042
17-18	1	0,511	0,133	1,142	11,850	7,12	18,968	1,500	13,350	1,127	OC	0,040
18-19	1	0,511	0,133	1,142	12,550	6,95	19,496	1,500	14,050	1,120	OC	0,037
19-20	1	0,511	0,133	1,142	13,250	6,78	20,028	1,500	14,750	1,113	OC	0,035
20-21	1	0,511	0,133	1,142	13,950	6,61	20,564	1,500	15,450	1,108	OC	0,032
21-22	1	0,511	0,133	1,142	14,650	6,45	21,104	1,500	16,150	1,102	OC	0,030
22-23	1	0,511	0,133	1,142	15,350	6,30	21,646	1,500	16,850	1,098	OC	0,028
23-24	1	0,511	0,133	1,142	16,050	6,14	22,194	1,500	17,550	1,093	OC	0,027
TOTAL PENURUNAN (Σ)												1,695

H timbunan	=	3,55										
q total	=	7,01										
Kedalaman m	hi m	Cc	Cs	eo	p'o (t/m2)	Δp' (t/m2)	Δp'+p'o (t/m2)	p fluktuasi (t/m2)	pc (t/m2)	OCR		Sc m
0-1	1	0,297	0,088	0,448	0,300	7,01	7,310	1,500	1,800	6,000	OC	0,172
1-2	1	0,297	0,088	0,448	0,900	7,01	7,907	1,500	2,400	2,667	OC	0,132
2-3	1	0,297	0,088	0,448	1,500	7,00	8,497	1,500	3,000	2,000	OC	0,111
3-4	1	0,297	0,088	0,448	2,100	6,97	9,075	1,500	3,600	1,714	OC	0,096
4-5	1	0,297	0,088	0,448	2,700	6,94	9,638	1,500	4,200	1,556	OC	0,086
5-6	1	0,297	0,088	0,448	3,300	6,89	10,186	1,500	4,800	1,455	OC	0,077
6-7	1	0,297	0,088	0,448	3,900	6,82	10,716	1,500	5,400	1,385	OC	0,070
7-8	1	0,297	0,088	0,448	4,500	6,73	11,231	1,500	6,000	1,333	OC	0,063
8-9	1	0,297	0,088	0,448	5,100	6,63	11,732	1,500	6,600	1,294	OC	0,058
9-10	1	0,297	0,088	0,448	5,700	6,52	12,220	1,500	7,200	1,263	OC	0,053
10-11	1	0,511	0,133	1,142	6,400	6,40	12,797	1,500	7,900	1,234	OC	0,056
11-12	1	0,511	0,133	1,142	7,200	6,27	13,467	1,500	8,700	1,208	OC	0,050
12-13	1	0,511	0,133	1,142	8,000	6,13	14,131	1,500	9,500	1,188	OC	0,046
13-14	1	0,511	0,133	1,142	8,800	5,99	14,790	1,500	10,300	1,170	OC	0,042
14-15	1	0,511	0,133	1,142	9,600	5,85	15,448	1,500	11,100	1,156	OC	0,038
15-16	1	0,511	0,133	1,142	10,400	5,70	16,104	1,500	11,900	1,144	OC	0,035
16-17	1	0,511	0,133	1,142	11,150	5,56	16,711	1,500	12,650	1,135	OC	0,032
17-18	1	0,511	0,133	1,142	11,850	5,42	17,270	1,500	13,350	1,127	OC	0,030
18-19	1	0,511	0,133	1,142	12,550	5,28	17,830	1,500	14,050	1,120	OC	0,028
19-20	1	0,511	0,133	1,142	13,250	5,14	18,394	1,500	14,750	1,113	OC	0,026
20-21	1	0,511	0,133	1,142	13,950	5,01	18,960	1,500	15,450	1,108	OC	0,024
21-22	1	0,511	0,133	1,142	14,650	4,88	19,530	1,500	16,150	1,102	OC	0,022
22-23	1	0,511	0,133	1,142	15,350	4,75	20,104	1,500	16,850	1,098	OC	0,021
23-24	1	0,511	0,133	1,142	16,050	4,63	20,682	1,500	17,550	1,093	OC	0,019
TOTAL PENURUNAN (Σ)												1,386

H tim	=	5,55										
q total	=	10,96										
Kedalaman	hi				p'o	Δp'	Δp'+p'o	p fluktuasi	pc	OCR		Sc
m	m	Cc	Cs	eo	(t/m2)	(t/m2)	(t/m2)	(t/m2)	(t/m2)			m
0-1	1	0,297	0,088	0,448	0,300	10,96	11,260	1,500	1,800	6,000	OC	0,210
1-2	1	0,297	0,088	0,448	0,900	10,96	11,860	1,500	2,400	2,667	OC	0,168
2-3	1	0,297	0,088	0,448	1,500	10,96	12,460	1,500	3,000	2,000	OC	0,145
3-4	1	0,297	0,088	0,448	2,100	10,92	13,020	1,500	3,600	1,714	OC	0,129
4-5	1	0,297	0,088	0,448	2,700	10,88	13,580	1,500	4,200	1,556	OC	0,116
5-6	1	0,297	0,088	0,448	3,300	10,82	14,120	1,500	4,800	1,455	OC	0,106
6-7	1	0,297	0,088	0,448	3,900	10,74	14,640	1,500	5,400	1,385	OC	0,097
7-8	1	0,297	0,088	0,448	4,500	10,62	15,120	1,500	6,000	1,333	OC	0,090
8-9	1	0,297	0,088	0,448	5,100	10,50	15,600	1,500	6,600	1,294	OC	0,083
9-10	1	0,297	0,088	0,448	5,700	10,36	16,060	1,500	7,200	1,263	OC	0,078
10-11	1	0,511	0,133	1,142	6,400	10,20	16,600	1,500	7,900	1,234	OC	0,083
11-12	1	0,511	0,133	1,142	7,200	10,02	17,220	1,500	8,700	1,208	OC	0,076
12-13	1	0,511	0,133	1,142	8,000	9,84	17,840	1,500	9,500	1,188	OC	0,070
13-14	1	0,511	0,133	1,142	8,800	9,66	18,460	1,500	10,300	1,170	OC	0,065
14-15	1	0,511	0,133	1,142	9,600	9,46	19,060	1,500	11,100	1,156	OC	0,060
15-16	1	0,511	0,133	1,142	10,400	9,26	19,660	1,500	11,900	1,144	OC	0,056
16-17	1	0,511	0,133	1,142	11,150	9,06	20,210	1,500	12,650	1,135	OC	0,052
17-18	1	0,511	0,133	1,142	11,850	8,88	20,730	1,500	13,350	1,127	OC	0,049
18-19	1	0,511	0,133	1,142	12,550	8,68	21,230	1,500	14,050	1,120	OC	0,046
19-20	1	0,511	0,133	1,142	13,250	8,48	21,730	1,500	14,750	1,113	OC	0,043
20-21	1	0,511	0,133	1,142	13,950	8,28	22,230	1,500	15,450	1,108	OC	0,040
21-22	1	0,511	0,133	1,142	14,650	8,10	22,750	1,500	16,150	1,102	OC	0,038
22-23	1	0,511	0,133	1,142	15,350	7,90	23,250	1,500	16,850	1,098	OC	0,036
23-24	1	0,511	0,133	1,142	16,050	7,72	23,770	1,500	17,550	1,093	OC	0,034
TOTAL PENURUNAN (Σ)												1,968

Tabel 5. Tabel Hasil Perhitungan Settlement Untuk Tiap Q Total (Lanjutan)

H timbunan	=	6,55											
q total	=	12,94											
Kedalaman	hi	Cc	Cs	eo	p'o	Δp'	Δp'+p'o	p fluktuasi	pc	OCR		Sc	
m	m				(t/m2)	(t/m2)	(t/m2)	(t/m2)	(t/m2)			m	
0-1	1	0,297	0,088	0,448	0,300	12,94	13,240	1,500	1,800	6,000	OC	0,225	
1-2	1	0,297	0,088	0,448	0,900	12,94	13,840	1,500	2,400	2,667	OC	0,182	
2-3	1	0,297	0,088	0,448	1,500	12,92	14,420	1,500	3,000	2,000	OC	0,158	
3-4	1	0,297	0,088	0,448	2,100	12,90	15,000	1,500	3,600	1,714	OC	0,141	
4-5	1	0,297	0,088	0,448	2,700	12,86	15,560	1,500	4,200	1,556	OC	0,128	
5-6	1	0,297	0,088	0,448	3,300	12,78	16,080	1,500	4,800	1,455	OC	0,117	
6-7	1	0,297	0,088	0,448	3,900	12,70	16,600	1,500	5,400	1,385	OC	0,108	
7-8	1	0,297	0,088	0,448	4,500	12,58	17,080	1,500	6,000	1,333	OC	0,101	
8-9	1	0,297	0,088	0,448	5,100	12,44	17,540	1,500	6,600	1,294	OC	0,094	
9-10	1	0,297	0,088	0,448	5,700	12,28	17,980	1,500	7,200	1,263	OC	0,088	
10-11	1	0,511	0,133	1,142	6,400	12,12	18,520	1,500	7,900	1,234	OC	0,094	
11-12	1	0,511	0,133	1,142	7,200	11,94	19,140	1,500	8,700	1,208	OC	0,087	
12-13	1	0,511	0,133	1,142	8,000	11,74	19,740	1,500	9,500	1,188	OC	0,080	
13-14	1	0,511	0,133	1,142	8,800	11,52	20,320	1,500	10,300	1,170	OC	0,075	
14-15	1	0,511	0,133	1,142	9,600	11,32	20,920	1,500	11,100	1,156	OC	0,070	
15-16	1	0,511	0,133	1,142	10,400	11,10	21,500	1,500	11,900	1,144	OC	0,065	
16-17	1	0,511	0,133	1,142	11,150	10,88	22,030	1,500	12,650	1,135	OC	0,061	
17-18	1	0,511	0,133	1,142	11,850	10,66	22,510	1,500	13,350	1,127	OC	0,057	
18-19	1	0,511	0,133	1,142	12,550	10,44	22,990	1,500	14,050	1,120	OC	0,054	
19-20	1	0,511	0,133	1,142	13,250	10,22	23,470	1,500	14,750	1,113	OC	0,051	
20-21	1	0,511	0,133	1,142	13,950	10,00	23,950	1,500	15,450	1,108	OC	0,048	
21-22	1	0,511	0,133	1,142	14,650	9,78	24,430	1,500	16,150	1,102	OC	0,046	
22-23	1	0,511	0,133	1,142	15,350	9,56	24,910	1,500	16,850	1,098	OC	0,043	
23-24	1	0,511	0,133	1,142	16,050	9,36	25,410	1,500	17,550	1,093	OC	0,041	
TOTAL PENURUNAN (Σ)												2,212	

H timbunan	=	8,55										
q total	=	16,89										
Kedalaman	hi				p'o	Δp'	Δp'+p'o	p fluktuasi	pc	OCR		Sc
m	m	Cc	Cs	eo	(t/m2)	(t/m2)	(t/m2)	(t/m2)	(t/m2)			m
0-1	1	0,297	0,088	0,448	0,300	16,89	17,186	1,500	1,800	6,000	OC	0,248
1-2	1	0,297	0,088	0,448	0,900	16,88	17,782	1,500	2,400	2,667	OC	0,204
2-3	1	0,297	0,088	0,448	1,500	16,87	18,368	1,500	3,000	2,000	OC	0,179
3-4	1	0,297	0,088	0,448	2,100	16,84	18,938	1,500	3,600	1,714	OC	0,162
4-5	1	0,297	0,088	0,448	2,700	16,79	19,486	1,500	4,200	1,556	OC	0,148
5-6	1	0,297	0,088	0,448	3,300	16,71	20,010	1,500	4,800	1,455	OC	0,137
6-7	1	0,297	0,088	0,448	3,900	16,61	20,510	1,500	5,400	1,385	OC	0,127
7-8	1	0,297	0,088	0,448	4,500	16,49	20,986	1,500	6,000	1,333	OC	0,119
8-9	1	0,297	0,088	0,448	5,100	16,34	21,436	1,500	6,600	1,294	OC	0,112
9-10	1	0,297	0,088	0,448	5,700	16,17	21,866	1,500	7,200	1,263	OC	0,105
10-11	1	0,511	0,133	1,142	6,400	15,97	22,374	1,500	7,900	1,234	OC	0,114
11-12	1	0,511	0,133	1,142	7,200	15,77	22,966	1,500	8,700	1,208	OC	0,106
12-13	1	0,511	0,133	1,142	8,000	15,54	23,542	1,500	9,500	1,188	OC	0,099
13-14	1	0,511	0,133	1,142	8,800	15,31	24,108	1,500	10,300	1,170	OC	0,092
14-15	1	0,511	0,133	1,142	9,600	15,06	24,664	1,500	11,100	1,156	OC	0,087
15-16	1	0,511	0,133	1,142	10,400	14,81	25,212	1,500	11,900	1,144	OC	0,081
16-17	1	0,511	0,133	1,142	11,150	14,56	25,706	1,500	12,650	1,135	OC	0,077
17-18	1	0,511	0,133	1,142	11,850	14,30	26,146	1,500	13,350	1,127	OC	0,073
18-19	1	0,511	0,133	1,142	12,550	14,04	26,586	1,500	14,050	1,120	OC	0,069
19-20	1	0,511	0,133	1,142	13,250	13,77	27,024	1,500	14,750	1,113	OC	0,066
20-21	1	0,511	0,133	1,142	13,950	13,51	27,464	1,500	15,450	1,108	OC	0,062
21-22	1	0,511	0,133	1,142	14,650	13,25	27,904	1,500	16,150	1,102	OC	0,059
22-23	1	0,511	0,133	1,142	15,350	13,00	28,350	1,500	16,850	1,098	OC	0,056
23-24	1	0,511	0,133	1,142	16,050	12,75	28,796	1,500	17,550	1,093	OC	0,054
TOTAL PENURUNAN (Σ)												2,635

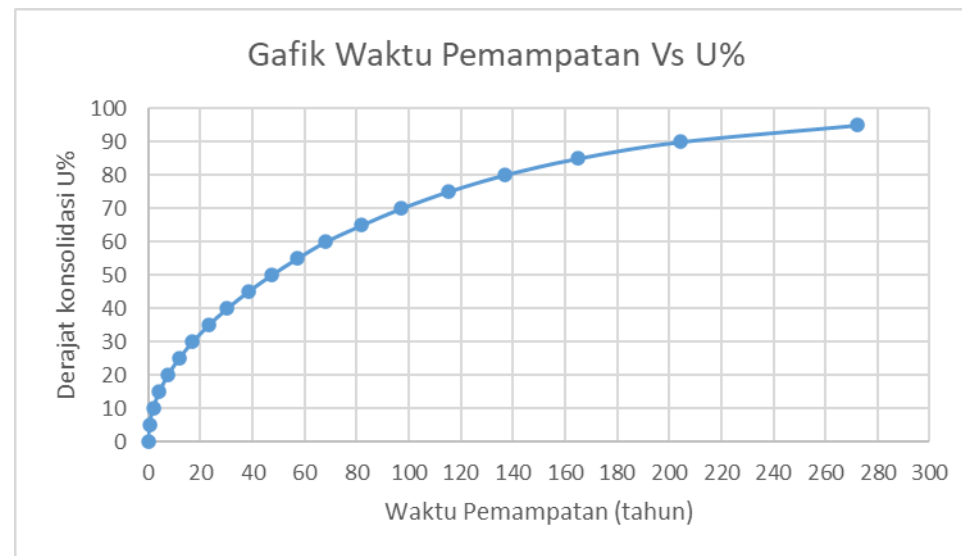
H timbunan	=	7,55										
q total	=	14,91										
Kedalaman	hi	Cc	Cs	eo	p'o	Δp'	Δp'+p'o	p fluktuasi	pc	OCR		Sc
m	m				(t/m ²)	(t/m ²)	(t/m ²)	(t/m ²)	(t/m ²)			m
0-1	1	0,297	0,088	0,448	0,300	14,910	15,210	1,500	1,800	6,000	OC	0,237
1-2	1	0,297	0,088	0,448	0,900	14,906	15,806	1,500	2,400	2,667	OC	0,193
2-3	1	0,297	0,088	0,448	1,500	14,892	16,392	1,500	3,000	2,000	OC	0,169
3-4	1	0,297	0,088	0,448	2,100	14,863	16,963	1,500	3,600	1,714	OC	0,152
4-5	1	0,297	0,088	0,448	2,700	14,813	17,513	1,500	4,200	1,556	OC	0,139
5-6	1	0,297	0,088	0,448	3,300	14,741	18,041	1,500	4,800	1,455	OC	0,128
6-7	1	0,297	0,088	0,448	3,900	14,644	18,544	1,500	5,400	1,385	OC	0,118
7-8	1	0,297	0,088	0,448	4,500	14,524	19,024	1,500	6,000	1,333	OC	0,110
8-9	1	0,297	0,088	0,448	5,100	14,381	19,481	1,500	6,600	1,294	OC	0,103
9-10	1	0,297	0,088	0,448	5,700	14,217	19,917	1,500	7,200	1,263	OC	0,097
10-11	1	0,511	0,133	1,142	6,400	14,035	20,435	1,500	7,900	1,234	OC	0,104
11-12	1	0,511	0,133	1,142	7,200	13,837	21,037	1,500	8,700	1,208	OC	0,097
12-13	1	0,511	0,133	1,142	8,000	13,626	21,626	1,500	9,500	1,188	OC	0,090
13-14	1	0,511	0,133	1,142	8,800	13,404	22,204	1,500	10,300	1,170	OC	0,084
14-15	1	0,511	0,133	1,142	9,600	13,175	22,775	1,500	11,100	1,156	OC	0,078
15-16	1	0,511	0,133	1,142	10,400	12,939	23,339	1,500	11,900	1,144	OC	0,073
16-17	1	0,511	0,133	1,142	11,150	12,699	23,849	1,500	12,650	1,135	OC	0,069
17-18	1	0,511	0,133	1,142	11,850	12,457	24,307	1,500	13,350	1,127	OC	0,065
18-19	1	0,511	0,133	1,142	12,550	12,214	24,764	1,500	14,050	1,120	OC	0,062
19-20	1	0,511	0,133	1,142	13,250	11,972	25,222	1,500	14,750	1,113	OC	0,058
20-21	1	0,511	0,133	1,142	13,950	11,732	25,682	1,500	15,450	1,108	OC	0,055
21-22	1	0,511	0,133	1,142	14,650	11,494	26,144	1,500	16,150	1,102	OC	0,053
22-23	1	0,511	0,133	1,142	15,350	11,259	26,609	1,500	16,850	1,098	OC	0,050
23-24	1	0,511	0,133	1,142	16,050	11,028	27,078	1,500	17,550	1,093	OC	0,047
TOTAL PENURUNAN (Σ)												2,432

H timbunan	=	9,55										
q total	=	18,86										
Kedalaman	hi	Cc	Cs	eo	p'o	Δp'	Δp'+p'o	p fluktuasi	pc	OCR		Sc
m	m				(t/m2)	(t/m2)	(t/m2)	(t/m2)	(t/m2)			m
0-1	1	0,297	0,088	0,448	0,300	18,86	19,160	1,500	1,800	6,000	OC	0,257
1-2	1	0,297	0,088	0,448	0,900	18,86	19,760	1,500	2,400	2,667	OC	0,213
2-3	1	0,297	0,088	0,448	1,500	18,86	20,360	1,500	3,000	2,000	OC	0,189
3-4	1	0,297	0,088	0,448	2,100	18,82	20,920	1,500	3,600	1,714	OC	0,171
4-5	1	0,297	0,088	0,448	2,700	18,76	21,460	1,500	4,200	1,556	OC	0,157
5-6	1	0,297	0,088	0,448	3,300	18,68	21,980	1,500	4,800	1,455	OC	0,145
6-7	1	0,297	0,088	0,448	3,900	18,58	22,480	1,500	5,400	1,385	OC	0,135
7-8	1	0,297	0,088	0,448	4,500	18,46	22,960	1,500	6,000	1,333	OC	0,127
8-9	1	0,297	0,088	0,448	5,100	18,30	23,400	1,500	6,600	1,294	OC	0,119
9-10	1	0,297	0,088	0,448	5,700	18,12	23,820	1,500	7,200	1,263	OC	0,113
10-11	1	0,511	0,133	1,142	6,400	17,92	24,320	1,500	7,900	1,234	OC	0,122
11-12	1	0,511	0,133	1,142	7,200	17,70	24,900	1,500	8,700	1,208	OC	0,114
12-13	1	0,511	0,133	1,142	8,000	17,48	25,480	1,500	9,500	1,188	OC	0,107
13-14	1	0,511	0,133	1,142	8,800	17,24	26,040	1,500	10,300	1,170	OC	0,100
14-15	1	0,511	0,133	1,142	9,600	16,98	26,580	1,500	11,100	1,156	OC	0,094
15-16	1	0,511	0,133	1,142	10,400	16,72	27,120	1,500	11,900	1,144	OC	0,089
16-17	1	0,511	0,133	1,142	11,200	16,44	27,590	1,500	12,650	1,135	OC	0,084
17-18	1	0,511	0,133	1,142	11,850	16,16	28,010	1,500	13,350	1,127	OC	0,080
18-19	1	0,511	0,133	1,142	12,550	15,88	28,430	1,500	14,050	1,120	OC	0,076
19-20	1	0,511	0,133	1,142	13,250	15,60	28,850	1,500	14,750	1,113	OC	0,072
20-21	1	0,511	0,133	1,142	13,950	15,34	29,290	1,500	15,450	1,108	OC	0,069
21-22	1	0,511	0,133	1,142	14,650	15,06	29,710	1,500	16,150	1,102	OC	0,066
22-23	1	0,511	0,133	1,142	15,350	14,78	30,130	1,500	16,850	1,098	OC	0,063
23-24	1	0,511	0,133	1,142	16,050	14,50	30,550	1,500	17,550	1,093	OC	0,060
TOTAL PENURUNAN (Σ)												2,823

Lampiran 4 (WAKTU KONSOLIDASI DAN PERCEPATAN WAKTU KONSOLIDASI DENGAN PVD)

Tabel 1. Hasil Perhitungan Waktu Konsolidasi Alami

Derajat konsolidasi (U%)	Faktor Waktu (Tv)	t (Tahun)	Sc (m)
0	0	0	0
5	0,002	0,473	0,148
10	0,008	1,893	0,296
15	0,018	4,260	0,444
20	0,031	7,574	0,592
25	0,049	11,834	0,740
30	0,071	17,041	0,888
35	0,096	23,194	1,036
40	0,126	30,295	1,184
45	0,159	38,342	1,332
50	0,196	47,336	1,480
55	0,237	57,276	1,628
60	0,283	68,163	1,776
65	0,340	82,008	1,924
70	0,403	97,204	2,072
75	0,477	115,053	2,220
80	0,567	136,761	2,368
85	0,684	164,981	2,516
90	0,848	204,538	2,664
95	1,129	272,315	2,812
100	-	-	2,960



Grafik 1. Grafik Hubungan Waktu Konsolidasi dengan Derajat Konsolidasi

Tabel 2. Hasil Perhitungan Faktor Hambatan (Fn) dengan PVD Pola Segitiga

Jarak PVD (S)	D	a	b	Dw	D/Dw (n)	n ²	F(n)
m	m	mm	mm	m			
0,8	0,84	100	4,5	0,06656051	12,620	159,267	1,795
1	1,05	100	4,5	0,06656051	15,775	248,854	2,016
1,2	1,26	100	4,5	0,06656051	18,930	358,350	2,196
1,4	1,47	100	4,5	0,06656051	22,085	487,755	2,349

Tabel 2. Hasil Perhitungan Derajat Konsolidasi dengan PVD Pola Segitiga

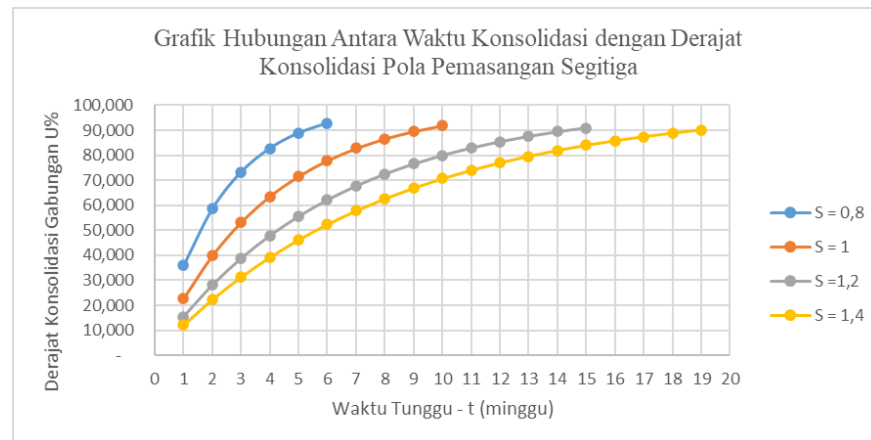
S=	0,8			
t	Tv	Uv	Uh	U total
minggu		%	%	%
1	0,000080	0,010	0,352	35,856
2	0,000159	0,014	0,580	58,612
3	0,000239	0,017	0,728	73,269
4	0,000318	0,020	0,824	82,727
5	0,000398	0,023	0,886	88,835
6	0,000477	0,025	0,926	92,781

S=	1			
t	Tv	Uv	Uh	U total
minggu		%	%	%
1	0,000080	0,010	0,219	22,697
2	0,000159	0,014	0,390	39,889
3	0,000239	0,017	0,524	53,212
4	0,000318	0,020	0,628	63,564
5	0,000398	0,023	0,710	71,617
6	0,000477	0,025	0,773	77,885
7	0,000557	0,027	0,823	82,765
8	0,000636	0,028	0,862	86,567
9	0,000716	0,030	0,892	89,529
10	0,000795	0,032	0,916	91,837

Tabel 3. Hasil Perhitungan Derajat Konsolidasi dengan PVD Pola Segitiga (Lanjutan)

S= 1,2				
t	Tv	Uv	Uh	U total
minggu		%	%	%
1	0,000080	0,010	0,146	15,442
2	0,000159	0,014	0,270	28,078
3	0,000239	0,017	0,377	38,765
4	0,000318	0,020	0,468	47,839
5	0,000398	0,023	0,545	55,553
6	0,000477	0,025	0,612	62,118
7	0,000557	0,027	0,668	67,708
8	0,000636	0,028	0,717	72,469
9	0,000716	0,030	0,758	76,526
10	0,000795	0,032	0,793	79,983
11	0,000875	0,033	0,823	82,929
12	0,000954	0,035	0,849	85,441
13	0,001034	0,036	0,871	87,583
14	0,001113	0,038	0,890	89,408
15	0,001193	0,039	0,906	90,965

S= 1,4				
t	Tv	Uv	Uh	U total
minggu		%	%	%
1	0,000080	0,010	0,113	12,144
2	0,000159	0,014	0,212	22,357
3	0,000239	0,017	0,301	31,316
4	0,000318	0,020	0,380	39,211
5	0,000398	0,023	0,449	46,181
6	0,000477	0,025	0,511	52,342
7	0,000557	0,027	0,566	57,789
8	0,000636	0,028	0,615	62,609
9	0,000716	0,030	0,658	66,875
10	0,000795	0,032	0,697	70,651
11	0,000875	0,033	0,731	73,995
12	0,000954	0,035	0,761	76,956
13	0,001034	0,036	0,788	79,579
14	0,001113	0,038	0,812	81,903
15	0,001193	0,039	0,833	83,961
16	0,001272	0,040	0,852	85,784
17	0,001352	0,041	0,869	87,400
18	0,001431	0,043	0,883	88,832
19	0,001511	0,044	0,896	90,100



Grafik 2. Grafik Hubungan Waktu Konsolidasi dengan Derajat Konsolidasi Pola Pemasngan Segitiga

Tabel 4. Hasil Perhitungan Faktor Hambatan (Fn) dengan PVD Pola Segiempat

Jarak PVD (S)	D	a	b	Dw	D/Dw (n)	n ²	F(n)
m	m	mm	mm	m			
0,8	0,904	100	4,5	0,06656051	13,582	184,461	1,867
1	1,13	100	4,5	0,06656051	16,977	288,220	2,088
1,2	1,356	100	4,5	0,06656051	20,372	415,036	2,269
1,4	1,582	100	4,5	0,06656051	23,768	564,911	2,422

Tabel 5. Hasil Perhitungan Derajat Konsolidasi dengan PVD Pola Segiempat

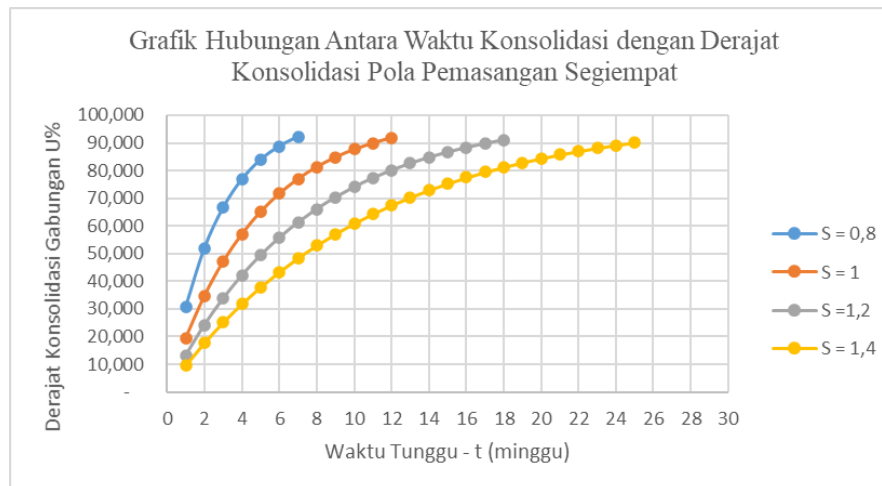
S= 0,8				
t	Tv	Uv	Uh	U total
minggu		%	%	%
1	0,000080	0,010	0,302	30,942
2	0,000159	0,014	0,513	52,028
3	0,000239	0,017	0,661	66,644
4	0,000318	0,020	0,763	76,794
5	0,000398	0,023	0,835	83,851
6	0,000477	0,025	0,885	88,759
7	0,000557	0,027	0,920	92,174

S= 1				
t	Tv	Uv	Uh	U total
minggu		%	%	%
1	0,000080	0,010	0,186	19,444
2	0,000159	0,014	0,338	34,724
3	0,000239	0,017	0,461	47,055
4	0,000318	0,020	0,562	57,034
5	0,000398	0,023	0,643	65,121
6	0,000477	0,025	0,710	71,680
7	0,000557	0,027	0,764	77,001
8	0,000636	0,028	0,808	81,320
9	0,000716	0,030	0,844	84,827
10	0,000795	0,032	0,873	87,673
11	0,000875	0,033	0,896	89,985
12	0,000954	0,035	0,916	91,863

Tabel 6. Hasil Perhitungan Derajat Konsolidasi dengan PVD Pola Segiempat (Lanjutan)

S= 1,2				
t	Tv	Uv	Uh	U total
minggu		%	%	%
1	0,000080	0,010	0,123	13,224
2	0,000159	0,014	0,232	24,254
3	0,000239	0,017	0,326	33,818
4	0,000318	0,020	0,410	42,145
5	0,000398	0,023	0,482	49,408
6	0,000477	0,025	0,546	55,750
7	0,000557	0,027	0,602	61,290
8	0,000636	0,028	0,651	66,131
9	0,000716	0,030	0,694	70,364
10	0,000795	0,032	0,732	74,065
11	0,000875	0,033	0,765	77,303
12	0,000954	0,035	0,794	80,134
13	0,001034	0,036	0,820	82,612
14	0,001113	0,038	0,842	84,780
15	0,001193	0,039	0,861	86,676
16	0,001272	0,040	0,878	88,336
17	0,001352	0,041	0,893	89,789
18	0,001431	0,043	0,907	91,060

S= 1,4				
t	Tv	Uv	Uh	U total
minggu		%	%	%
1	0,000080	0,010	0,087	9,586
2	0,000159	0,014	0,166	17,770
3	0,000239	0,017	0,238	25,141
4	0,000318	0,020	0,304	31,817
5	0,000398	0,023	0,364	37,877
6	0,000477	0,025	0,420	43,386
7	0,000557	0,027	0,470	48,398
8	0,000636	0,028	0,516	52,959
9	0,000716	0,030	0,558	57,112
10	0,000795	0,032	0,596	60,896
11	0,000875	0,033	0,631	64,342
12	0,000954	0,035	0,663	67,483
13	0,001034	0,036	0,692	70,345
14	0,001113	0,038	0,719	72,953
15	0,001193	0,039	0,743	75,332
16	0,001272	0,040	0,766	77,500
17	0,001352	0,041	0,786	79,476
18	0,001431	0,043	0,804	81,279
19	0,001511	0,044	0,821	82,922
20	0,001590	0,045	0,837	84,421
21	0,001670	0,046	0,851	85,788
22	0,001749	0,047	0,864	87,034
23	0,001829	0,048	0,876	88,171
24	0,001908	0,049	0,886	89,208
25	0,001988	0,050	0,896	90,154



Grafik 2. Grafik Hubungan Waktu Konsolidasi dengan Derajat Konsolidasi Pola Pemasngan Segiempat

Tabel 7. Hasil Perhitungan Perubahan Tegangan U=100%, Akibat Penimbunan Bertahap 25 Minggu

Derajat Konsolidasi 100%																										
Tegangan	p'o	σ1'	σ2'	σ3'	σ4'	σ5'	σ6'	σ7'	σ8'	σ9'	σ10'	σ11'	σ12'	σ13'	σ14'	σ15'	σ16'	σ17'	σ18'	σ19'	σ20'	σ21'	σ22'	σ23'	σ24'	σ25'
	(t/m2)	(t/m2)	(t/m2)	(t/m2)	(t/m2)	(t/m2)	(t/m2)	(t/m2)	(t/m2)	(t/m2)	(t/m2)	(t/m2)	(t/m2)	(t/m2)	(t/m2)	(t/m2)	(t/m2)	(t/m2)	(t/m2)	(t/m2)	(t/m2)	(t/m2)	(t/m2)	(t/m2)	(t/m2)	(t/m2)
Kedalaman (m)	H = 0,0	H = 0,5	H = 1,0	H = 1,5	H = 2,0	H = 2,5	H = 3,0	H = 3,5	H = 4,0	H = 4,5	H = 5,0	H = 5,5	H = 6,0	H = 6,5	H = 7,0	H = 7,5	H = 8,0	H = 8,5	H = 9,0	H = 9,5	H = 10,0	H = 10,5	H = 11,0	H = 11,5	H = 12,0	H = 12,5
0-1	0,300	1,285	2,270	3,255	4,240	5,225	6,210	7,195	8,180	9,165	10,150	11,135	12,120	13,105	14,090	15,075	16,060	17,045	18,030	19,014	19,999	20,984	21,969	22,954	23,939	24,924
1-2	0,900	1,885	2,870	3,855	4,840	5,825	6,810	7,795	8,780	9,765	10,750	11,735	12,720	13,705	14,690	15,675	16,660	17,645	18,630	19,614	20,599	21,584	22,569	23,554	24,539	25,524
2-3	1,500	2,485	3,470	4,455	5,440	6,425	7,410	8,395	9,380	10,365	11,350	12,335	13,320	14,305	15,290	16,275	17,260	18,245	19,230	20,214	21,199	22,184	23,169	24,154	25,139	26,124
3-4	2,100	3,085	4,070	5,055	6,040	7,025	8,010	8,995	9,980	10,965	11,950	12,935	13,920	14,905	15,890	16,875	17,860	18,845	19,830	20,814	21,799	22,784	23,769	24,754	25,739	26,724
4-5	2,700	3,685	4,670	5,655	6,640	7,625	8,610	9,595	10,580	11,565	12,550	13,535	14,520	15,505	16,490	17,475	18,460	19,445	20,430	21,414	22,399	23,384	24,369	25,354	26,339	27,324
5-6	3,300	4,285	5,270	6,255	7,240	8,225	9,210	10,195	11,180	12,165	13,150	14,135	15,120	16,105	17,090	18,075	19,060	20,045	21,030	22,014	22,999	23,984	24,969	25,954	26,939	27,924
6-7	3,900	4,885	5,870	6,855	7,840	8,825	9,810	10,795	11,780	12,765	13,750	14,735	15,720	16,705	17,690	18,675	19,660	20,645	21,630	22,614	23,599	24,584	25,569	26,554	27,539	28,524
7-8	4,500	5,485	6,470	7,455	8,440	9,425	10,410	11,395	12,380	13,365	14,350	15,335	16,320	17,305	18,290	19,275	20,260	21,245	22,230	23,214	24,199	25,184	26,169	27,154	28,139	29,124
8-9	5,100	6,085	7,070	8,055	9,040	10,025	11,010	11,995	12,980	13,965	14,950	15,935	16,920	17,905	18,890	19,875	20,860	21,845	22,830	23,814	24,799	25,784	26,769	27,754	28,739	29,724
9-10	5,700	6,685	7,670	8,655	9,640	10,625	11,610	12,595	13,580	14,565	15,550	16,535	17,520	18,505	19,490	20,475	21,460	22,445	23,430	24,414	25,399	26,384	27,369	28,354	29,339	30,324
10-11	6,400	7,385	8,370	9,355	10,340	11,325	12,310	13,295	14,280	15,265	16,250	17,235	18,220	19,205	20,190	21,175	22,160	23,145	24,130	25,114	26,099	27,084	28,069	29,054	30,039	31,024
11-12	7,200	8,185	9,170	10,155	11,140	12,125	13,110	14,095	15,080	16,065	17,050	18,035	19,020	20,005	20,990	21,975	22,960	23,945	24,930	25,914	26,899	27,884	28,869	29,854	30,839	31,824
12-13	8,000	8,985	9,970	10,955	11,940	12,925	13,910	14,895	15,880	16,865	17,850	18,835	19,820	20,805	21,790	22,775	23,760	24,745	25,730	26,714	27,699	28,684	29,669	30,654	31,639	32,624
13-14	8,800	9,785	10,770	11,755	12,740	13,725	14,710	15,695	16,680	17,665	18,650	19,635	20,620	21,605	22,590	23,575	24,560	25,545	26,530	27,514	28,499	29,484	30,469	31,454	32,439	33,424
14-15	9,600	10,585	11,570	12,555	13,540	14,525	15,510	16,495	17,480	18,465	19,450	20,435	21,420	22,405	23,390	24,375	25,360	26,345	27,330	28,314	29,299	30,284	31,269	32,254	33,239	34,224
15-16	10,400	11,385	12,370	13,355	14,340	15,325	16,310	17,295	18,280	19,265	20,250	21,235	22,220	23,205	24,190	25,175	26,160	27,145	28,130	29,114	30,099	31,084	32,069	33,054	34,039	35,024
16-17	11,150	12,135	13,120	14,105	15,090	16,075	17,060	18,045	19,030	20,015	21,000	21,985	22,970	23,955	24,940	25,925	26,910	27,895	28,880	29,864	30,849	31,834	32,819	33,804	34,789	35,774
17-18	11,850	12,835	13,820	14,805	15,790	16,775	17,760	18,745	19,730	20,715	21,700	22,685	23,670	24,655	25,640	26,625	27,610	28,595	29,580	30,564	31,549	32,534	33,519	34,504	35,489	36,474
18-19	12,550	13,535	14,520	15,505	16,490	17,475	18,460	19,445	20,430	21,415	22,400	23,385	24,370	25,355	26,340	27,325	28,310	29,295	30,280	31,264	32,249	33,234	34,219	35,204	36,189	37,174
19-20	13,250	14,235	15,220	16,205	17,190	18,175	19,160	20,145	21,130	22,115	23,100	24,085	25,070	26,055	27,040	28,025	29,010	29,995	30,980	31,964	32,949	33,934	34,919	35,904	36,889	37,874
20-21	13,950	14,935	15,920	16,905	17,890	18,875	19,860	20,845	21,830	22,815	23,800	24,785	25,770	26,755	27,740	28,725	29,710	30,695	31,680	32,664	33,649	34,634	35,619	36,604	37,589	38,574
21-22	14,650	15,635	16,620	17,605	18,590	19,575	20,560	21,545	22,530	23,515	24,500	25,485	26,470	27,455	28,440	29,425	30,410	31,395	32,380	33,364	34,349	35,334	36,319	37,304	38,289	39,274
22-23	15,350	16,335	17,320	18,305	19,290	20,275	21,260	22,245	23,230	24,215	25,200	26,185	27,170	28,155	29,140	30,125	31,110	32,095	33,080	34,064	35,049	36,034	37,019	38,004	38,989	39,974
23-24	16,050	17,035	18,020	19,005	19,990	20,975	21,960	22,945	23,930	24,915	25,900	26,885	27,870	28,855	29,840	30,825	31,810	32,795	33,780	34,764	35,749	36,734	37,719	38,704	39,689	40,674

Tabel 8. Hasil Perhitungan Perubahan Tegangan U<100%, Akibat Penimbunan Bertahap 25 Minggu

Perubahan Tegangan	p'o	ΔP1'	ΔP2'	ΔP3'	ΔP4'	ΔP5'	ΔP6'	ΔP1'	ΔP2'	ΔP3'	ΔP4'	ΔP5'	ΔP6'	ΔP1'	ΔP2'	ΔP3'	ΔP4'	ΔP5'	ΔP6'	ΔP1'	ΔP2'	ΔP3'	ΔP4'	ΔP5'	ΔP6'	ΔP6'	Σσ' t/m2
(t/m2)	(t/m2)	(t/m2)	(t/m2)	(t/m2)	(t/m2)	(t/m2)	(t/m2)	(t/m2)	(t/m2)	(t/m2)	(t/m2)	(t/m2)	(t/m2)	(t/m2)	(t/m2)	(t/m2)	(t/m2)	(t/m2)	(t/m2)	(t/m2)	(t/m2)	(t/m2)	(t/m2)	(t/m2)	(t/m2)	(t/m2)	
Tinggi timbunan (m)	H = 0,0	H = 0,5	H = 1,0	H = 1,5	H = 2,0	H = 2,5	H = 3,0	H = 3,5	H = 4,0	H = 4,5	H = 5,0	H = 5,5	H = 6,0	H = 6,5	H = 7,0	H = 7,5	H = 8,0	H = 8,5	H = 9,0	H = 9,5	H = 10,0	H = 10,5	H = 11,0	H = 11,5	H = 12,0	H = 12,5	
Umr Timbunan	-	25 minggu	24 minggu	23 minggu	22 minggu	21 minggu	20 minggu	19 minggu	18 minggu	17 minggu	16 minggu	15 minggu	14 minggu	13 minggu	12 minggu	11 minggu	10 minggu	9 minggu	8 minggu	7 minggu	6 minggu	5 minggu	4 minggu	3 minggu	2 minggu	1 minggu	
U%	100 %	90,154 %	89,208 %	88,171 %	87,034 %	85,788 %	84,421 %	82,922 %	81,279 %	79,476 %	77,500 %	75,332 %	72,953 %	70,345 %	67,483 %	64,342 %	60,896 %	57,112 %	52,959 %	48,398 %	43,386 %	37,877 %	31,817 %	25,141 %	17,770 %	9,586 %	
Kedalaman (m)																											
0-1	0,300	0,813	0,850	0,849	0,842	0,832	0,820	0,806	0,791	0,774	0,755	0,733	0,710	0,685	0,657	0,626	0,592	0,555	0,515	0,470	0,421	0,368	0,308	0,244	0,172	0,093	15,582
1-2	0,900	0,853	0,858	0,853	0,844	0,834	0,821	0,807	0,792	0,774	0,755	0,734	0,711	0,685	0,657	0,626	0,593	0,556	0,515	0,470	0,421	0,368	0,309	0,244	0,172	0,093	16,243
2-3	1,500	0,864	0,862	0,855	0,846	0,835	0,822	0,808	0,792	0,775	0,755	0,734	0,711	0,686	0,657	0,627	0,593	0,556	0,515	0,471	0,422	0,368	0,309	0,244	0,172	0,093	16,871
3-4	2,100	0,870	0,865	0,857	0,847	0,836	0,823	0,809	0,793	0,775	0,756	0,735	0,711	0,686	0,658	0,627	0,593	0,556	0,515	0,471	0,422	0,368	0,309	0,244	0,172	0,093	17,490
4-5	2,700	0,874	0,867	0,858	0,848	0,837	0,824	0,809	0,793	0,776	0,756	0,735	0,712	0,686	0,658	0,627	0,593	0,556	0,516	0,471	0,422	0,368	0,309	0,244	0,172	0,093	18,104
5-6	3,300	0,876	0,869	0,859	0,849	0,837	0,824	0,810	0,794	0,776	0,757	0,735	0,712	0,686	0,658	0,627	0,594	0,556	0,516	0,471	0,422	0,368	0,309	0,244	0,172	0,093	18,715
6-7	3,900	0,878	0,870	0,860	0,850	0,838	0,825	0,810	0,794	0,776	0,757	0,736	0,712	0,687	0,658	0,628	0,594	0,557	0,516	0,471	0,422	0,368	0,309	0,244	0,172	0,093	19,325
7-8	4,500	0,879	0,871	0,861	0,850	0,838	0,825	0,810	0,794	0,777	0,757	0,736	0,712	0,687	0,659	0,628	0,594	0,557	0,516	0,471	0,422	0,368	0,309	0,244	0,172	0,093	19,933
8-9	5,100	0,880	0,871	0,862	0,851	0,839	0,825	0,811	0,795	0,777	0,757	0,736	0,713	0,687	0,659	0,628	0,594	0,557	0,516	0,472	0,422	0,369	0,309	0,244	0,173	0,093	20,540
9-10	5,700	0,881	0,872	0,862	0,851	0,839	0,826	0,811	0,795	0,777	0,758	0,736	0,713	0,687	0,659	0,628	0,594	0,557	0,516	0,472	0,423	0,369	0,309	0,244	0,173	0,093	21,146
10-11	6,400	0,882	0,873	0,863	0,852	0,839	0,826	0,811	0,795	0,777	0,758	0,737	0,713	0,687	0,659	0,628	0,594	0,557	0,517	0,472	0,423	0,369	0,310	0,244	0,173	0,093	21,852
11-12	7,200	0,882	0,873	0,863	0,852	0,840	0,826	0,812	0,795	0,778	0,758	0,737	0,713	0,688	0,659	0,629	0,595	0,557	0,517	0,472	0,423	0,369	0,310	0,245	0,173	0,093	22,658
12-13	8,000	0,883	0,874	0,864	0,852	0,840	0,827	0,812	0,796	0,778	0,758	0,737	0,714	0,688	0,660	0,629	0,595	0,558	0,517	0,472	0,423	0,369	0,310	0,245	0,173	0,093	23,464
13-14	8,800	0,883	0,874	0,864	0,853	0,840	0,827	0,812	0,796	0,778	0,759	0,737	0,714	0,688	0,660	0,629	0,595	0,558	0,517	0,472	0,423	0,369	0,310	0,245	0,173	0,093	24,269
14-15	9,600	0,884	0,874	0,864	0,853	0,841	0,827	0,812	0,796	0,778	0,759	0,737	0,714	0,688	0,660	0,629	0,595	0,558	0,517	0,472	0,423	0,369	0,310	0,245	0,173	0,093	25,074
15-16	10,400	0,884	0,875	0,864	0,853	0,841	0,827	0,813	0,796	0,779	0,759	0,738	0,714	0,688	0,660	0,629	0,595	0,558	0,517	0,472	0,423	0,369	0,310	0,245	0,173	0,093	25,878
16-17	11,150	0,884	0,875	0,865	0,853	0,841	0,828	0,813	0,797	0,779	0,759	0,738	0,714	0,689	0,660	0,629	0,595	0,558	0,517	0,473	0,423	0,369	0,310	0,245	0,173	0,093	26,632
17-18	11,850	0,884	0,875	0,865	0,854	0,841	0,828	0,813	0,797	0,779	0,759	0,738	0,714	0,689	0,660	0,629	0,596	0,558	0,517	0,473	0,424	0,370	0,310	0,245	0,173	0,093	27,335
18-19	12,550	0,885	0,875	0,865	0,854	0,841	0,828	0,813	0,797	0,779	0,759	0,738	0,715	0,689	0,661	0,630	0,596	0,558	0,518	0,473	0,424	0,370	0,310	0,245	0,173	0,093	28,037
19-20	13,250	0,885	0,875	0,865	0,854	0,842	0,828	0,813	0,797	0,779	0,760	0,738	0,715	0,689	0,661	0,630	0,596	0,559	0,518	0,473	0,424	0,370	0,310	0,245	0,173	0,093	28,740
20-21	13,950	0,885	0,876	0,865	0,854	0,842	0,828	0,813	0,797	0,779	0,760	0,738	0,715	0,689	0,661	0,630	0,596	0,559	0,518	0,473	0,424	0,370	0,310	0,245	0,173	0,093	29,443
21-22	14,650	0,885	0,876	0,865	0,854	0,842	0,828	0,813	0,797	0,779	0,760	0,738	0,715	0,689	0,661	0,630	0,596	0,559	0,518	0,473	0,424	0,370	0,310	0,245	0,173	0,093	30,145
22-23	15,350	0,885	0,876	0,866	0,854	0,842	0,828	0,814	0,797	0,779	0,760	0,738	0,715	0,689	0,661	0,630	0,596	0,559	0,518	0,473	0,424	0,370	0,311	0,245	0,173	0,093	30,847
23-24	16,050	0,885	0,876	0,866	0,854	0,842	0,829	0,814	0,797	0,780	0,760	0,739	0,715	0,689	0,661	0,630	0,596	0,559	0,518	0,473	0,424	0,370	0,311	0,245	0,173	0,093	31,549

Tabel 9. Hasil Perhitung Cu baru minggu ke 25

Kedalaman (m)	PI	Cu lama	Cu baru	Cu Transisi
		t/m2	t/m2	t/m3
0-1	36,51	1,50	3,024	2,26
1-2	36,51	1,50	3,149	2,32
2-3	36,51	1,50	3,268	2,38
3-4	36,51	1,50	3,385	2,44
4-5	36,51	1,50	3,501	2,50
5-6	36,51	1,50	3,617	2,56
6-7	36,51	1,50	3,732	2,62
7-8	36,51	1,50	3,847	2,67
8-9	36,51	1,50	3,962	2,73
9-10	36,51	1,50	4,077	2,79
10-11	44,34	1,9	4,208	3,05
11-12	44,34	1,9	4,360	3,13
12-13	44,34	1,9	4,513	3,21
13-14	44,34	1,9	4,665	3,28
14-15	44,34	1,9	4,817	3,36
15-16	44,34	1,9	4,970	3,43
16-17	44,34	1,65	5,112	3,38
17-18	44,34	1,65	5,245	3,45
18-19	44,34	1,65	5,378	3,51
19-20	44,34	1,65	5,511	3,58
20-21	44,34	1,65	5,644	3,65
21-22	44,34	1,65	5,777	3,71
22-23	44,34	1,65	5,910	3,78
23-24	44,34	1,65	6,043	3,85

Lampiran 5 (Perhitungan Perencanaan Perkuatan Geotextile)

Tabel 1. Hasil Perhitungan Kebutuhan Geotextile untuk H = 7,7

SF	Circle center		Radius	Mres	Md	ΔMR	ΣM geotx	Syarat
	x	y	(m)	(kN.m)	(kN.m)	(kN.m)	(kN.m)	
1,099	67,105	48,002	14,336	25791	23468	7064	7169,71	OK

n	H timbunan	Ti	Tallow	r1	r2	Mgeotex	ΣM geotx	Rangkap	Le	Le pakai
lapis	(m)	(m)	(kN/m2)	(kN/m2)	(kN/m2)	(kN/m)	(kN/m)		m	m
1	7,7	8,00	90,158	99,85	34,50	721,443	721,44	1	1,258	2,00
2	7,45	7,75	90,16	97,34	33,46	698,90	1420,35	1	1,292	2,00
3	7,2	7,50	90,16	94,83	32,41	676,36	2096,71	1	1,329	2,00
4	6,95	7,25	90,16	92,32	31,36	653,82	2750,53	1	1,367	2,00
5	6,7	7,00	90,16	89,81	30,32	631,28	3381,82	1	1,407	2,00
6	6,45	6,75	90,16	87,30	29,27	608,75	3990,56	1	1,450	2,00
7	6,2	6,50	90,16	84,79	28,22	586,21	4576,77	1	1,496	2,00
8	5,95	6,25	90,16	82,28	27,17	563,67	5140,44	1	1,544	2,00
9	5,7	6,00	90,16	79,77	26,13	541,13	5681,56	1	1,596	2,00
10	5,45	5,75	90,16	77,27	25,08	518,59	6200,15	1	1,652	2,00
11	5,2	5,50	90,16	74,76	24,03	496,05	6696,20	1	1,711	2,00
12	4,95	5,25	90,16	72,25	22,99	473,51	7169,71	1	1,775	2,00

n	L 1 sisi					L pakai 2 sisi
	Le (m)	Ld (m)	Lo (m)	Sv (m)	L total (m)	
(Lapis)						(m)
1	2,00	17,45	1	0,25	20,70	41,4
2	2,00	17,245	1	0,25	20,50	40,99
3	2,00	17,027	1	0,25	20,28	40,554
4	2,00	16,793	1	0,25	20,04	40,086
5	2,00	16,547	1	0,25	19,80	39,594
6	2,00	16,288	1	0,25	19,54	39,076
7	2,00	16,017	1	0,25	19,27	38,534
8	2,00	15,737	1	0,25	18,99	37,974
9	2,00	15,446	1	0,25	18,70	37,392
10	2,00	15,146	1	0,25	18,40	36,792
11	2,00	14,837	1	0,25	18,09	36,174
12	2,00	14,531	1	0,25	17,78	35,562
Panjang Total						464,128

Lampiran 6 (Perhitungan Perencanaan Perkuatan Geotextile)

Tabel 1. Hasil Perhitungan Kebutuhan Geotextile untuk H = 7,7

SF	Circle center		Radius	Mres	Md	ΔMR	ΣM geotx	Syarat
	x	y	(m)	(kN.m)	(kN.m)	(kN.m)	(kN.m)	
1,099	67,105	48,002	14,336	25791	23468	7064	7169,71	OK

n	H timbunan	Ti	Tallow	r1	r2	Mgeotex	ΣM geotx	Rangkap	Le	Le pakai
lapis	(m)	(m)	(kN/m ²)	(kN/m ²)	(kN/m ²)	(kN/m)	(kN/m)		m	m
1	7,7	8,00	90,158	99,85	34,50	721,443	721,44	1	1,258	2,00
2	7,45	7,75	90,16	97,34	33,46	698,90	1420,35	1	1,292	2,00
3	7,2	7,50	90,16	94,83	32,41	676,36	2096,71	1	1,329	2,00
4	6,95	7,25	90,16	92,32	31,36	653,82	2750,53	1	1,367	2,00
5	6,7	7,00	90,16	89,81	30,32	631,28	3381,82	1	1,407	2,00
6	6,45	6,75	90,16	87,30	29,27	608,75	3990,56	1	1,450	2,00
7	6,2	6,50	90,16	84,79	28,22	586,21	4576,77	1	1,496	2,00
8	5,95	6,25	90,16	82,28	27,17	563,67	5140,44	1	1,544	2,00
9	5,7	6,00	90,16	79,77	26,13	541,13	5681,56	1	1,596	2,00
10	5,45	5,75	90,16	77,27	25,08	518,59	6200,15	1	1,652	2,00
11	5,2	5,50	90,16	74,76	24,03	496,05	6696,20	1	1,711	2,00
12	4,95	5,25	90,16	72,25	22,99	473,51	7169,71	1	1,775	2,00

n	L 1 sisi					L pakai 2 sisi
(Lapis)	Le (m)	Ld (m)	Lo (m)	Sv (m)	L total (m)	(m)
1	2,00	17,45	1	0,25	20,70	41,4
2	2,00	17,245	1	0,25	20,50	40,99
3	2,00	17,027	1	0,25	20,28	40,554
4	2,00	16,793	1	0,25	20,04	40,086
5	2,00	16,547	1	0,25	19,80	39,594
6	2,00	16,288	1	0,25	19,54	39,076
7	2,00	16,017	1	0,25	19,27	38,534
8	2,00	15,737	1	0,25	18,99	37,974
9	2,00	15,446	1	0,25	18,70	37,392
10	2,00	15,146	1	0,25	18,40	36,792
11	2,00	14,837	1	0,25	18,09	36,174
12	2,00	14,531	1	0,25	17,78	35,562
Panjang Total						464,128

Tabel 2. Hasil Perhitungan Kebutuhan Geotextile untuk H = 7

SF	Circle center		Radius	Mres	Md	ΔMR	ΣM geotx	Syarat
	x	y	(m)	(kN.m)	(kN.m)	(kN.m)	(kN.m)	
1,175	67,159	50,991	15,438	22676	19299	6273	6463,14	OK

n	H timbunan	Ti	Tallow	r1	r2	Mgeotex	ΣM geotx	Rangkap	Le	Le pakai
lapis	(m)	(m)	(kN/m ²)	(kN/m ²)	(kN/m ²)	(kN/m)	(kN/m)		m	m
1	7	10,99	90,16	92,82	31,57	990,92	990,92	1	1,359	2,00
2	6,75	10,74	90,16	90,31	30,52	968,38	1959,31	1	1,399	2,00
3	6,5	10,49	90,16	87,80	29,48	945,85	2905,15	1	1,441	2,00
4	6,25	10,24	90,16	85,30	28,43	923,31	3828,46	1	1,486	2,00
5	6	9,99	90,16	82,79	27,38	900,77	4729,23	1	1,520	2,00
6	5,75	9,74	90,16	80,28	26,34	878,23	5607,45	1	1,586	2,00
7	5,5	9,49	90,16	77,77	25,29	855,69	6463,14	1	1,640	2,00

n	L 1 sisi					L pakai 2 sisi
(Lapis)	Le (m)	Ld (m)	Lo (m)	Sv (m)	L total (m)	(m)
1	2,00	19,279	1	0,25	22,53	45,058
2	2,00	18,981	1	0,25	22,23	44,462
3	2,00	18,675	1	0,25	21,93	43,85
4	2,00	18,361	1	0,25	21,61	43,222
5	2,00	18,039	1	0,25	21,29	42,578
6	2,00	17,71	1	0,25	20,96	41,92
7	2,00	17,374	1	0,25	20,62	41,248
Panjang Total						302,338

Tabel 3. Hasil Perhitungan Kebutuhan Geotextile untuk H = 6,2

SF	Circle center		Radius	Mres	Md	ΔMR	ΣM geotx	Syarat
	x	y	(m)	(kN.m)	(kN.m)	(kN.m)	(kN.m)	
1,288	66,057	49,887	14,022	17976	13955	2957	3430,32	OK

n	H timbunan	Ti	Tallow	r1	r2	Mgeotex	ΣM geotx	Rangkap	Le	Le pakai
lapis	(m)	(m)	(kN/m ²)	(kN/m ²)	(kN/m ²)	(kN/m)	(kN/m)		m	m
1	6,2	9,89	90,16	84,79	28,22	891,39	891,39	1	1,496	2,00
2	5,95	9,64	90,16	82,28	27,17	868,85	1760,24	1	1,544	2,00
3	5,7	9,39	90,16	79,77	26,13	846,31	2606,55	1	1,596	2,00
4	5,45	9,14	90,16	77,27	25,08	823,77	3430,32	1	1,652	2,00

n	L 1 sisi					L pakai 2 sisi
(Lapis)	Le (m)	Ld (m)	Lo (m)	Sv (m)	L total (m)	(m)
1	2,00	17,726	1	0,25	20,98	41,952
2	2,00	17,406	1	0,25	20,66	41,312
3	2,00	17,077	1	0,25	20,33	40,654
4	2,00	16,74	1	0,25	19,99	39,98
Panjang Total						163,898

Tabel 4. Hasil Perhitungan Kebutuhan Geotextile untuk H = 5,5

SF	Circle center		Radius	Mres	Md	ΔMR	ΣM geotx	Syarat
	x	y	(m)	(kN.m)	(kN.m)	(kN.m)	(kN.m)	
1,362	64,225	45,502	10,218	11176	8205,9	1133	1420,53	OK

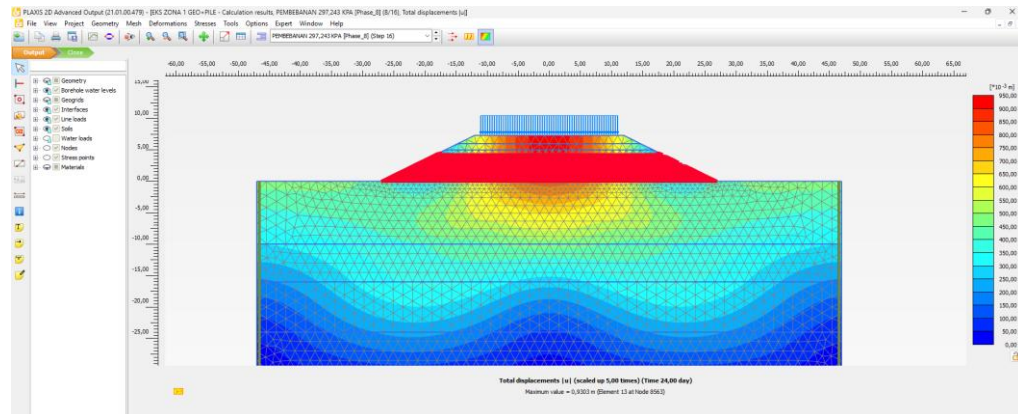
n	H timbunan	Ti	Tallow	r1	r2	Mgeotex	ΣM geotx	Rangkap	Le	Le pakai
lapis	(m)	(m)	(kN/m ²)	(kN/m ²)	(kN/m ²)	(kN/m)	(kN/m)		m	m
1	5,5	5,50	90,16	77,77	25,29	496,05	496,05	1	1,640	2,00
2	5,25	5,25	90,16	75,26	24,24	473,51	969,56	1	1,699	2,00
3	5	5,00	90,16	72,75	23,20	450,97	1420,53	1	1,762	2,00

n	L 1 sisi					L pakai 2 sisi
(Lapis)	Le (m)	Ld (m)	Lo (m)	Sv (m)	L total (m)	(m)
1	2,00	12,475	1	0,25	15,73	31,45
2	2,00	12,219	1	0,25	15,47	30,938
3	2,00	11,946	1	0,25	15,20	30,392
Panjang Total						92,78

Lampiran 7 (Hasil Permodelan Perkuatan pada Plaxis)

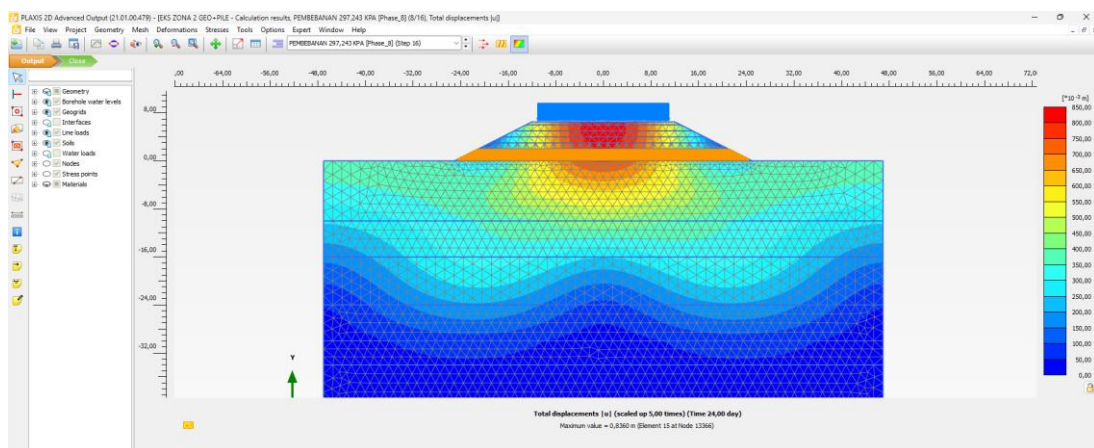
5. Alternatif 1 (Geotextile)

• Segmen 1 STA 0+625



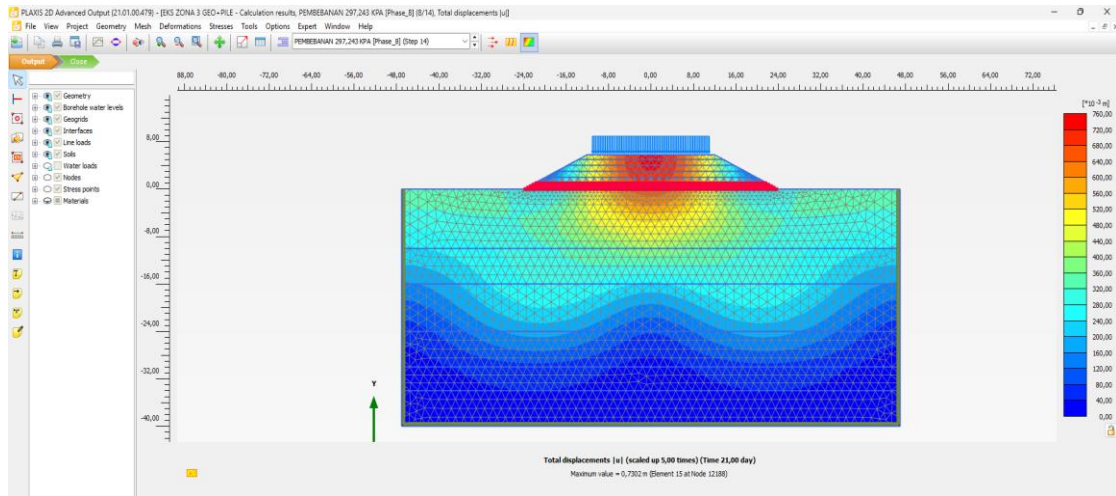
Reached values	
Reached total time	24,00 day
CSP - Relative stiffness	0,390 1E-3
ForceX - Reached total force	0,000 kN
ForceY - Reached total force	0,000 kN
Pmax - Reached max pp	172,2 kN/m ²
ΣM_{stage} - Reached phase p	0,000
ΣM_{weight} - Reached weight	1,000
ΣM_{sf} - Reached safety fact	1,503

• Segmen 2 STA 0+650



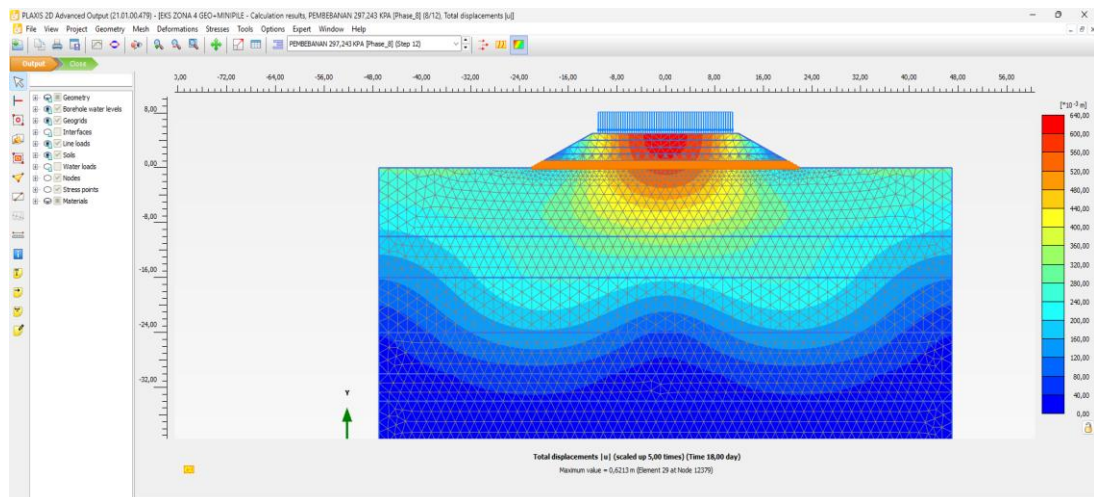
Reached values	
Reached total time	24,00 day
CSP - Relative stiffness	0,1578E-3
ForceX - Reached total force	0,000 kN
ForceY - Reached total force	0,000 kN
Pmax - Reached max pp	156,8 kN/m ²
ΣM_{stage} - Reached phase p	0,000
ΣM_{weight} - Reached weight	1,000
ΣM_{sf} - Reached safety fact	1,610

- **Segmen 3 STA 0+675**



Reached values	
Reached total time	21,00 day
CSP - Relative stiffness	0,2011E-3
ForceX - Reached total force	0,000 kN
ForceY - Reached total force	0,000 kN
Pmax - Reached max pp	157,2 kN/m ²
ΣM_{stage} - Reached phase p	0,000
ΣM_{weight} - Reached weight	1,000
ΣM_{sf} - Reached safety fact	1,673

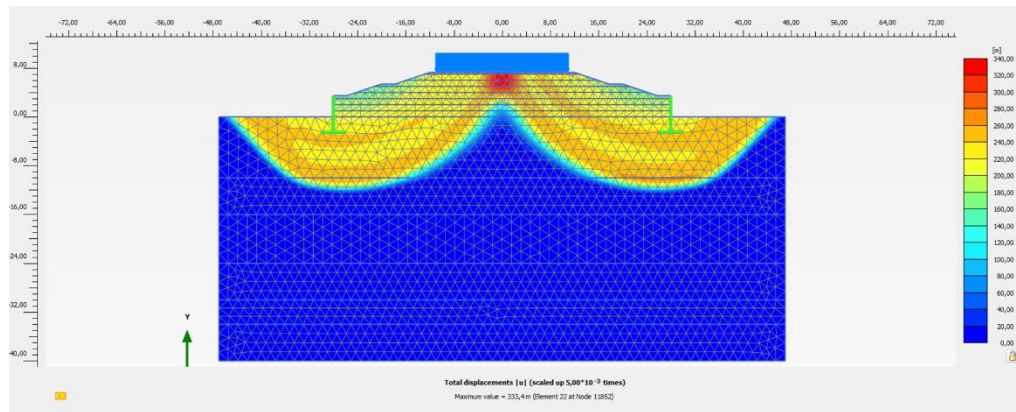
- **Segmen 4 STA 0+700**



Reached values	
Reached total time	18,00 day
CSP - Relative stiffness	0,1595E-3
ForceX - Reached total force	0,000 kN
ForceY - Reached total force	0,000 kN
Pmax - Reached max pp	154,7 kN/m ²
ΣM_{stage} - Reached phase p	0,000
ΣM_{weight} - Reached weight	1,000
ΣM_{sf} - Reached safety fact	1,699

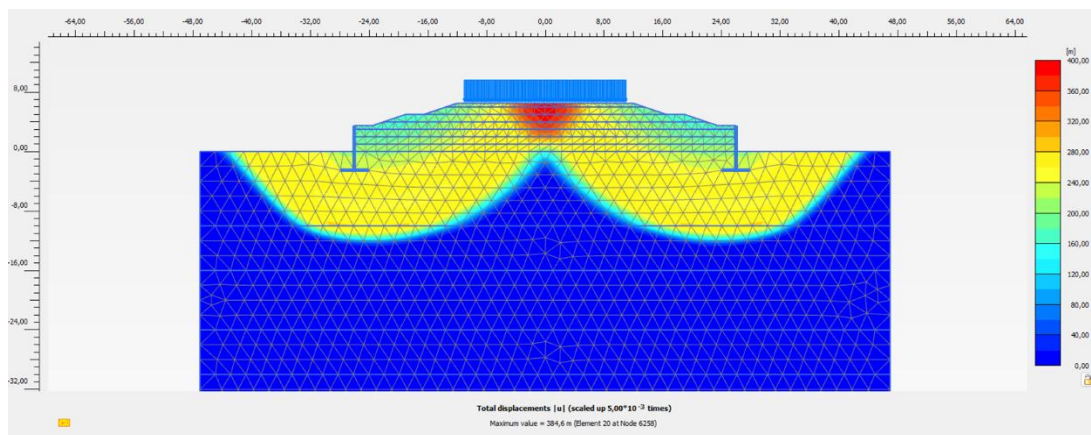
6. Alternatif 2 (Kantilever Wall)

• Segmen 1 STA 0+625



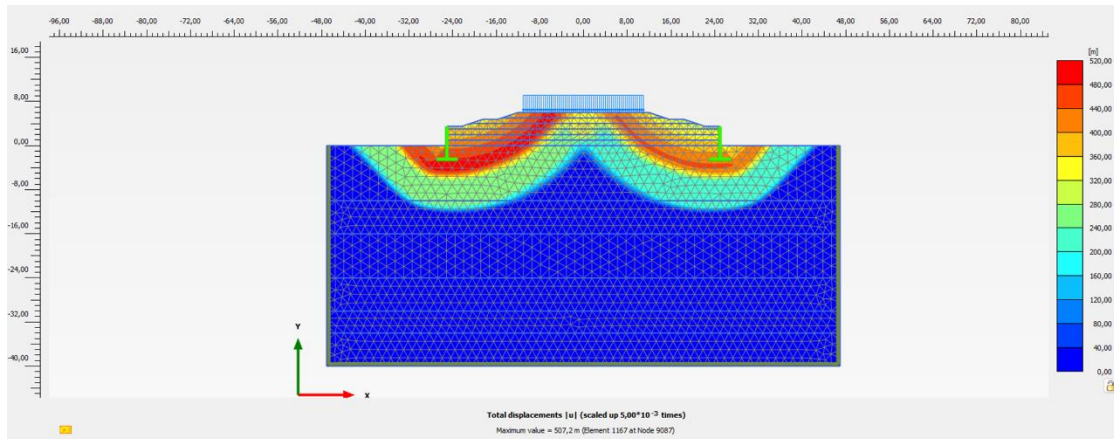
Reached values	
Reached total time	30,00 day
CSP - Relative stiffness	0,1337E-6
ForceX - Reached total force	0,000 kN
ForceY - Reached total force	0,000 kN
Pmax - Reached max pp	155,5 kN/m ²
ΣM_{stage} - Reached phase p	0,000
ΣM_{weight} - Reached weight	1,000
ΣM_{sf} - Reached safety fact	1,625

• Segmen 2 STA 0+650



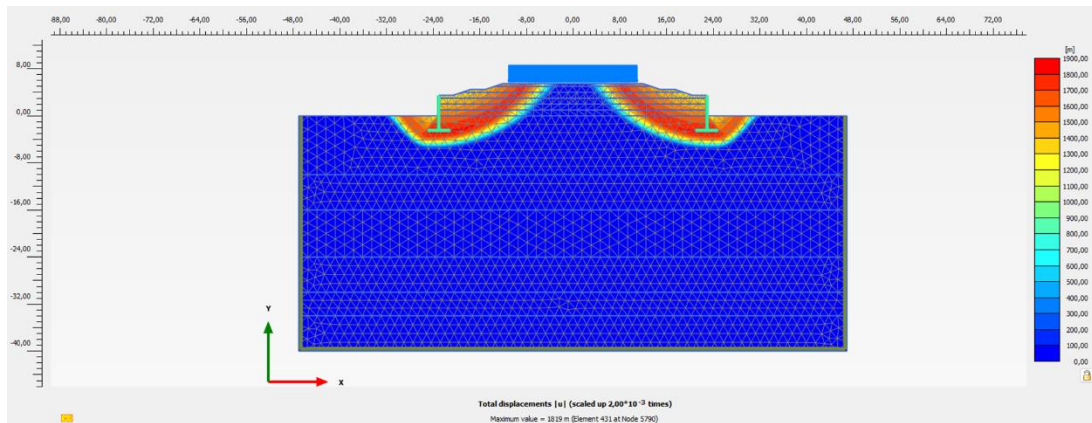
Reached values	
Reached total time	27,00 day
CSP - Relative stiffness	0,1808E-6
ForceX - Reached total force	0,000 kN
ForceY - Reached total force	0,000 kN
Pmax - Reached max pp	157,0 kN/m ²
ΣM_{stage} - Reached phase p	0,000
ΣM_{weight} - Reached weight	1,000
ΣM_{sf} - Reached safety fact	1,656

- **Segmen 3 STA 0+675**



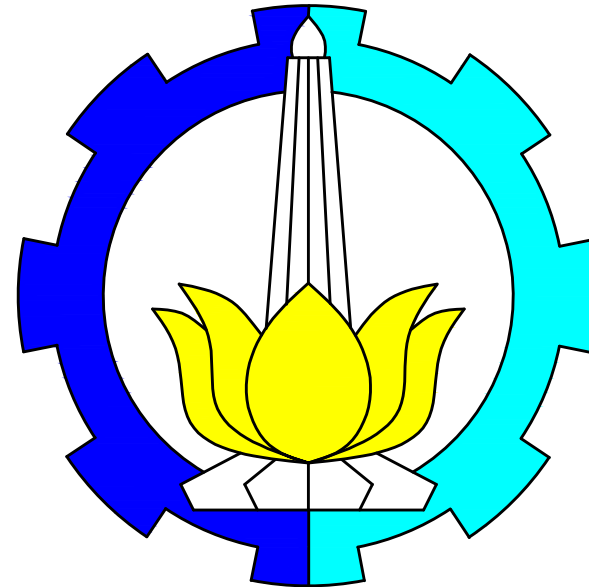
Reached values	
Reached total time	24,00 day
CSP - Relative stiffness	0,01040E-6
ForceX - Reached total force	0,000 kN
ForceY - Reached total force	0,000 kN
Pmax - Reached max pp	141,7 kN/m ²
ΣM_{stage} - Reached phase p	0,000
ΣM_{weight} - Reached weight	1,000
ΣM_{sf} - Reached safety fact	1,752

- **Segmen 4 STA 0+700**



Reached values	
Reached total time	24,00 day
CSP - Relative stiffness	2,977E-9
ForceX - Reached total force	0,000 kN
ForceY - Reached total force	0,000 kN
Pmax - Reached max pp	122,0 kN/m ²
ΣM_{stage} - Reached phase p	0,000
ΣM_{weight} - Reached weight	1,000
ΣM_{sf} - Reached safety fact	1,810

SHOPDRAWING



DI SUSUN OLEH :

MIFTAHUL RAMADHAN RIZKY
NRP.2035211017

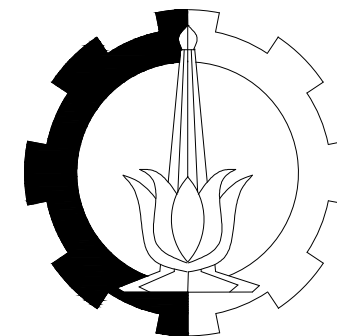
DOSEN PENDAMPING :

DERIS FAISA RALINDRA, S.T., M.T.
NIP.198912 17202406 1 001

JUDUL TUGAS AKHIR :

DESAIN ALTERNATIF PERKUATAN TANAH PADA
OPRIT JEMBATAN STA 0+625 –0+775 PROYEK
JALAN TOL PROBOLINGGO–BANYUWANGI PAKET 2

Program Studi Sarjana Terapan Teknik Sipil
Fakultas Vokasi Institut Teknologi Sepuluh Nopember



TEKNOLOGI REKAYASA PENGELOLAAN DAN
PEMELIHARAAN BANGUNAN SIPIL
DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2025

JUDUL TUGAS AKHIR

DESAIN ALTERNATIF
PERKUATAN TANAH PADA
OPRIT JEMBRAN STA 0+625
-0+775 PROYEK JALAN TOL
PROBOLINGGO-BANYUWANGI
PAKET 2

DOSEN PENDAMPING 1

DERIS FAISA RALINDRA, S.T., M.T.
NIP.198912 17202406 1 001

NAMA MAHASISWA :

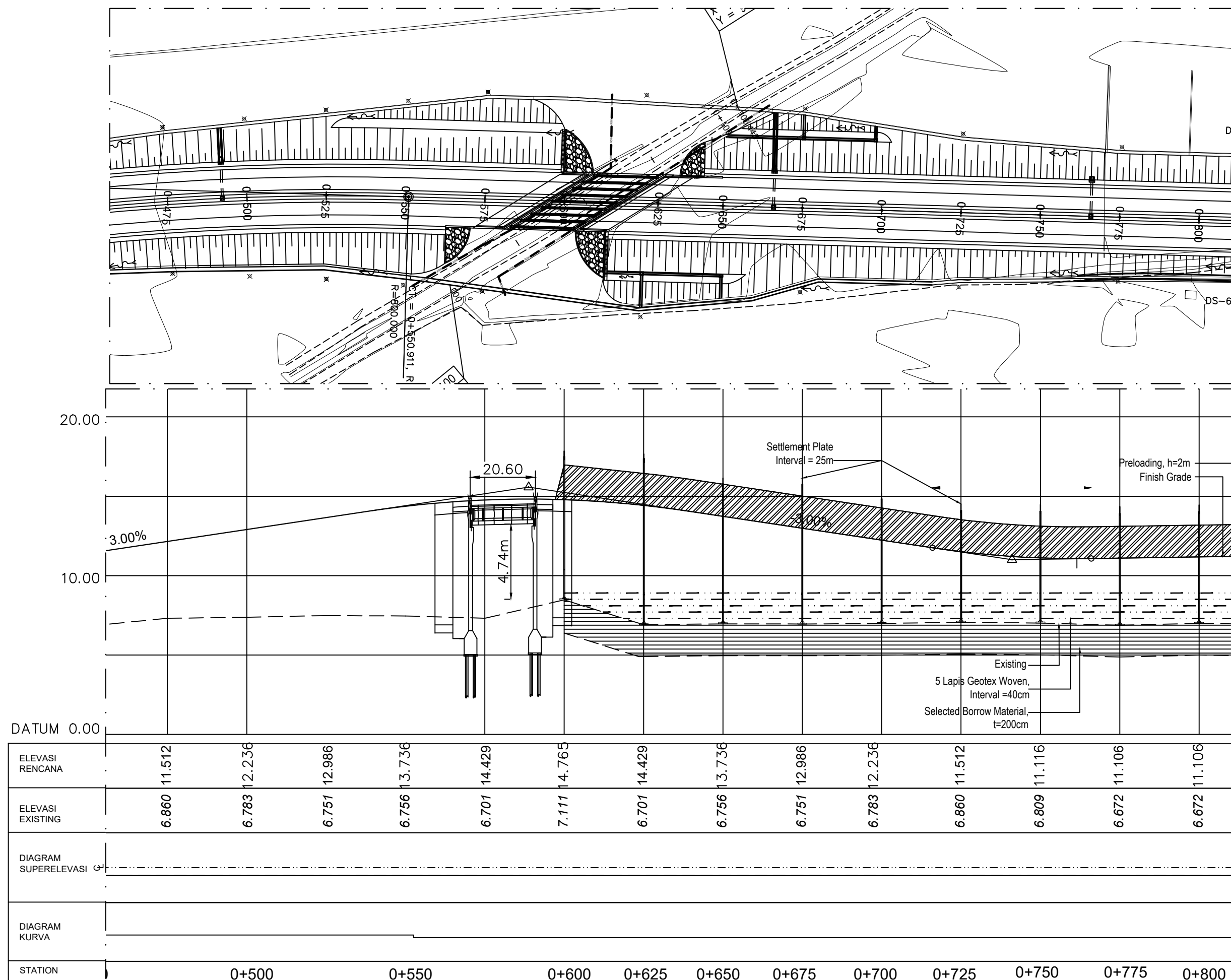
MIFRTAHUL RAMADHAN RIZKY
2035211017

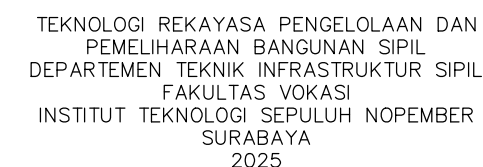
CATATAN

NAMA GAMBAR

NO.LEMBAR

JMLH LEMBAR





DESAIN ALTERNATIF
PERKUATAN TANAH PADA
OPRIT JEMBATAN STA 0+625
-0+775 PROYEK JALAN TOL
PROBOLINGGO-BANYUWANGI
PAKET 2

DERIS FAISA RALINDRA, S.T., M.T.
NIP.198912 17202406 1 001

MIFRTAHUL RAMADHAN RIZKY
2035211017

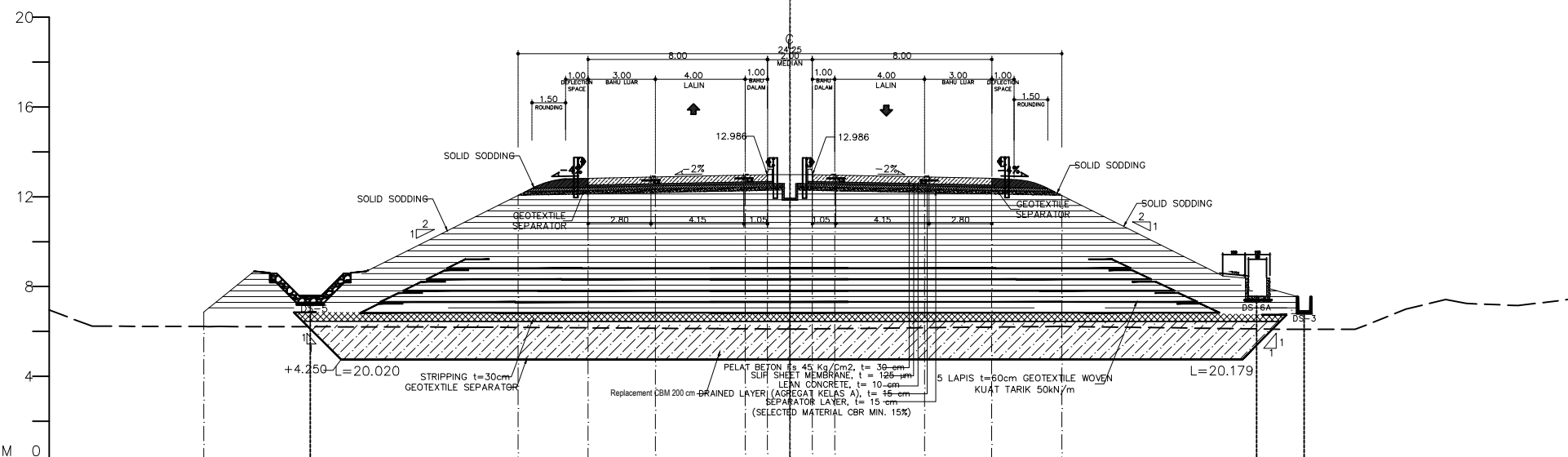
NAMA GAMBAR

JMLH	LEMBAR
------	--------

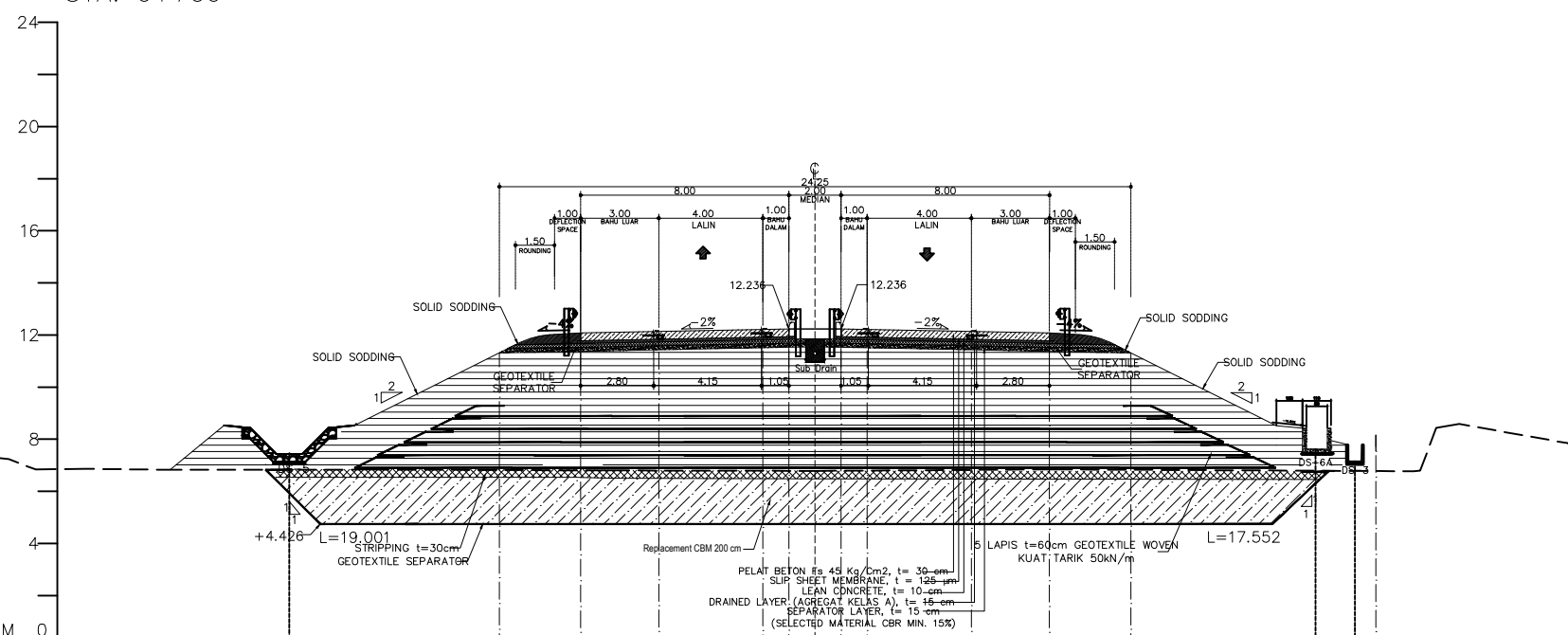


ACCES ROAD
STA. 0+650

[illegible]

[illegible]

ACCES ROAD
STA. 0+700



EXISTING		RENCANA	
JARAK	ELEVASI	JARAK	ELEVASI FINISH GRADE
-17.33	6.835	-20.189	7.433
-9.18	6.842	-12.124	11.314
-7.84	6.800	-9.000	2.076
		-6.000	2.136
			2.216
		-2.000	2.236
0.00	6.783	-1.000	
		1.000	2.236
		2.000	2.216
			2.136
		6.000	
		9.000	2.076
		11.500	11.314
19.89	6.751	19.217	7.619
22.43	8.980	21.533	7.154

TEKNOLOGI REKAYASA PENGELOLAAN DAN
PEMELIHARAAN BANGUNAN SIPIL
DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2025

JUDUL TUGAS AKHIR

DESAIN ALTERNATIF
PERKUATAN TANAH PADA
OPRIT JEMBATAN STA 0+625
-0+775 PROYEK JALAN TOL
PROBOLINGGO-BANYUWANGI
PAKET 2

DOSEN PENDAMPING 1

DERIS FAISA RALINDRA, S.T., M.T.
NIP.198912 17202406 1 001

NAMA MAHASISWA :

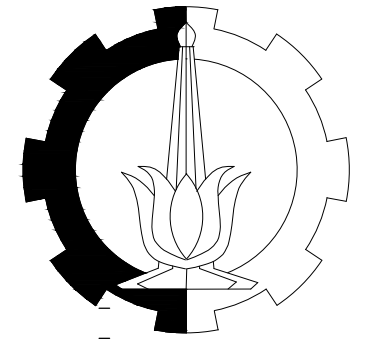
MIFRTAHUL RAMADHAN RIZKY
2035211017

CATATAN

NAMA GAMBAR

NO. LEMBAR

JMLH	LEMBAR
------	--------



TEKNOLOGI REKAYASA PENGELOLAAN DAN
PEMELIHARAAN BANGUNAN SIPIL
DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2025

JUDUL TUGAS AKHIR

DESAIN ALTERNATIF
PERKUATAN TANAH PADA
OPRIT JEMBATAN STA 0+625
-0+775 PROYEK JALAN TOL
PROBOLINGGO-BANYUWANGI
PAKET 2

DOSEN PENDAMPING 1

DERIS FAISA RALINDRA, S.T., M.T.
NIP.198912 17202406 1 001

NAMA MAHASISWA :

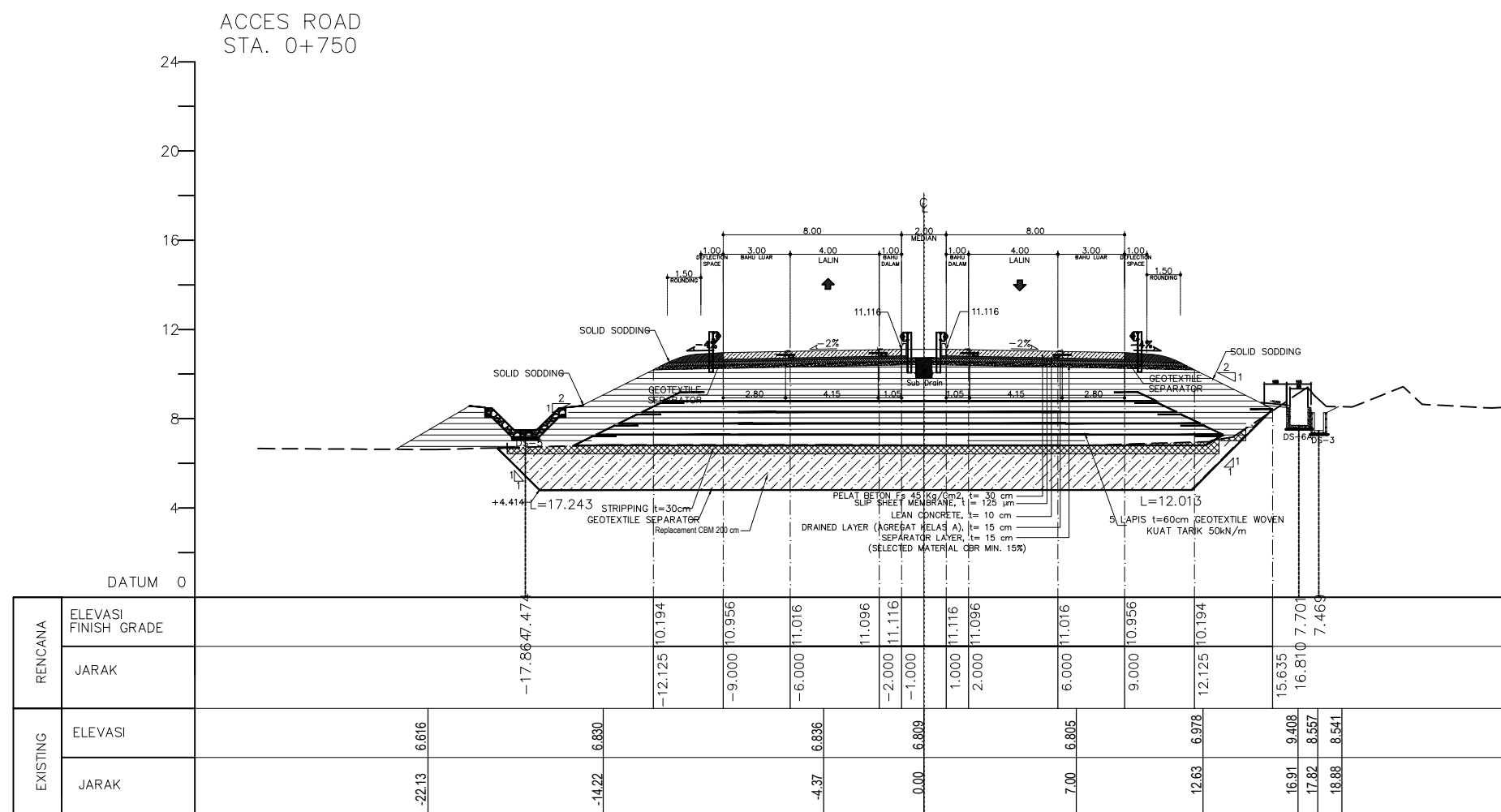
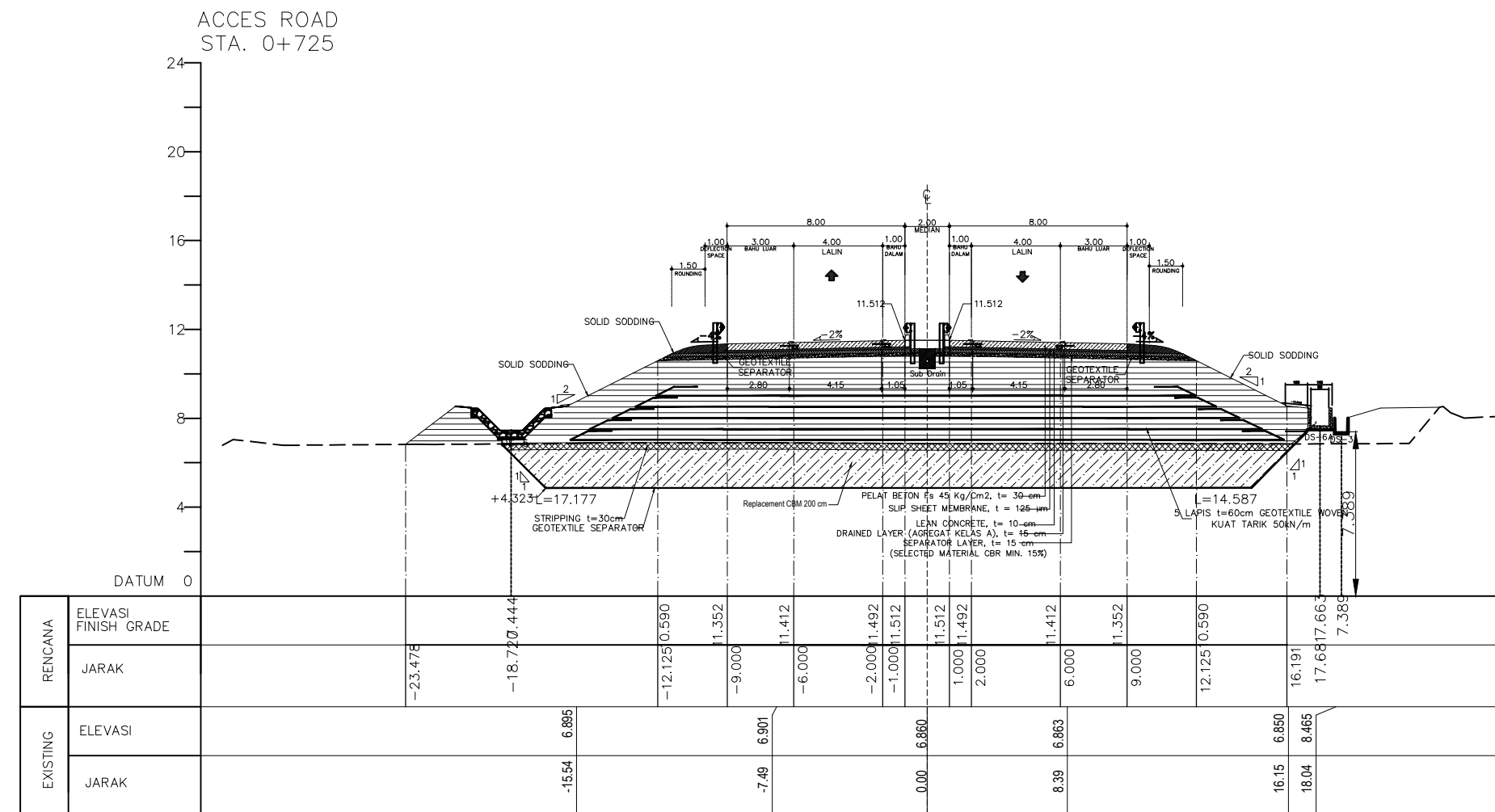
MIFRTAHUL RAMADHAN RIZKY
2035211017

CATATAN

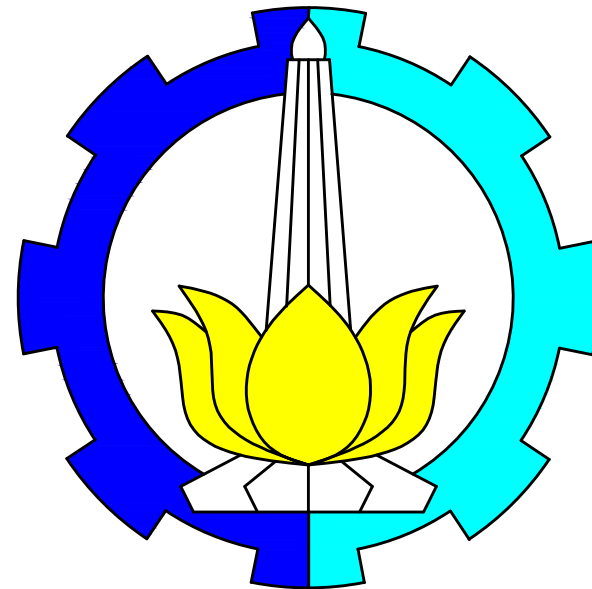
NAMA GAMBAR

NO.LEMBAR

JMLH LEMBAR



SHOPDRAWING



DI SUSUN OLEH :

MIFTAHUL RAMADHAN RIZKY
NRP.2035211017

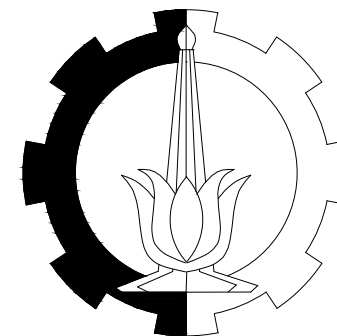
DOSEN PENDAMPING :

DERIS FAISA RALINDRA, S.T., M.T.
NIP.198912 17202406 1 001

JUDUL TUGAS AKHIR :

DESAIN ALTERNATIF PERKUATAN TANAH PADA
OPRIT JEMBATAN STA 0+625 –0+775 PROYEK
JALAN TOL PROBOLINGGO–BANYUWANGI PAKET 2

Program Studi Sarjana Terapan Teknik Sipil
Fakultas Vokasi Institut Teknologi Sepuluh Nopember



TEKNOLOGI REKAYASA PENGELOLAAN DAN
PEMELIHARAAN BANGUNAN SIPIL
DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2025

JUDUL TUGAS AKHIR

DESAIN ALTERNATIF
PERKUATAN TANAH PADA
OPRIT JEMBRAN STA 0+625
-0+775 PROYEK JALAN TOL
PROBOLINGGO-BANYUWANGI
PAKET 2

DOSEN PENDAMPING 1

DERIS FAISA RALINDRA, S.T., M.T.
NIP.198912 17202406 1 001

NAMA MAHASISWA :

MIFRTAHUL RAMADHAN RIZKY
2035211017

CATATAN

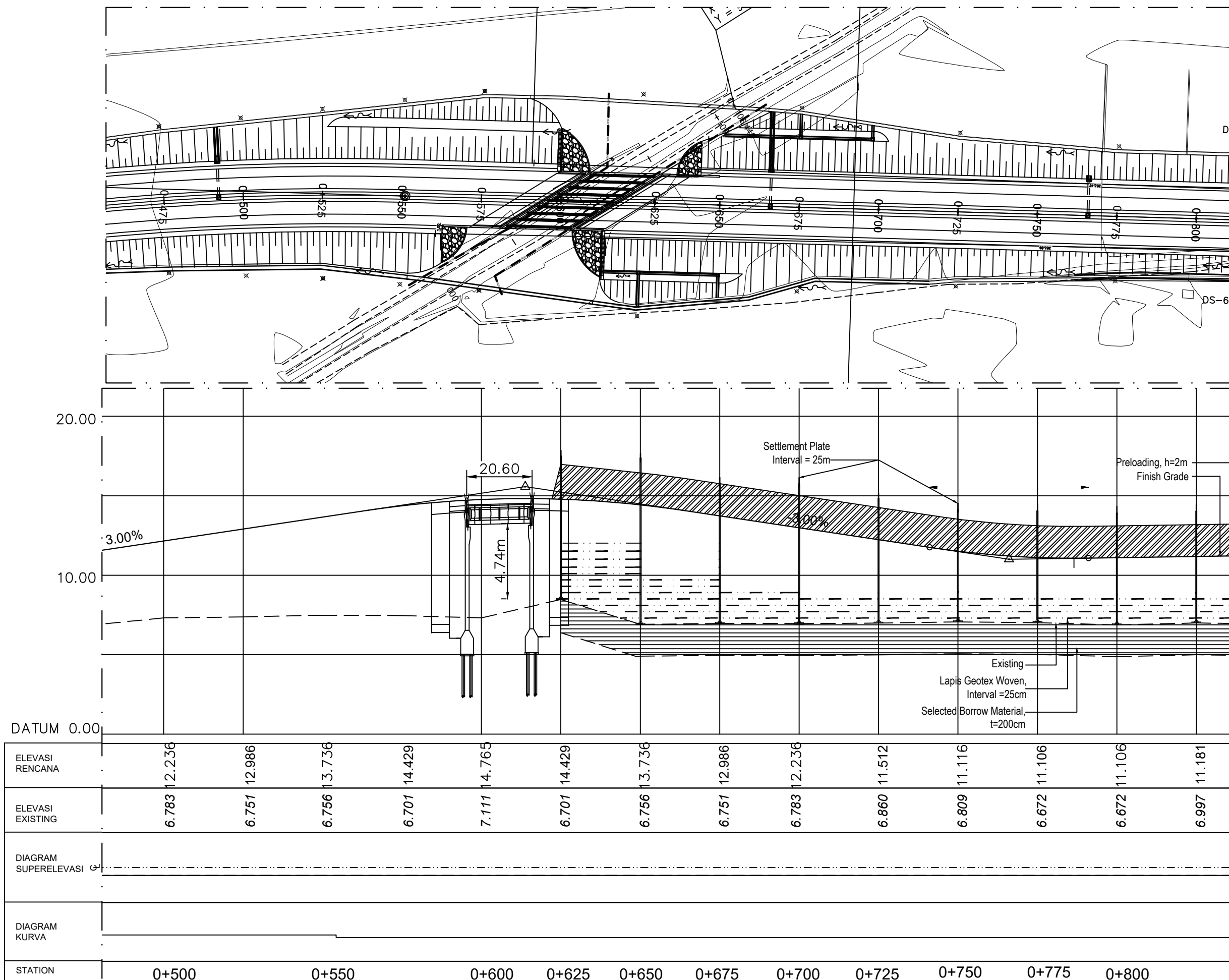
NAMA GAMBAR

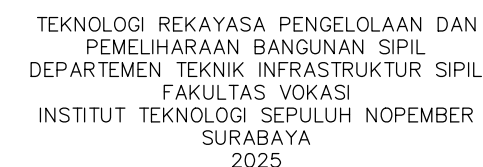
SKALA

1 : 1500

NO.LEMBAR

JMLH LEMBAR





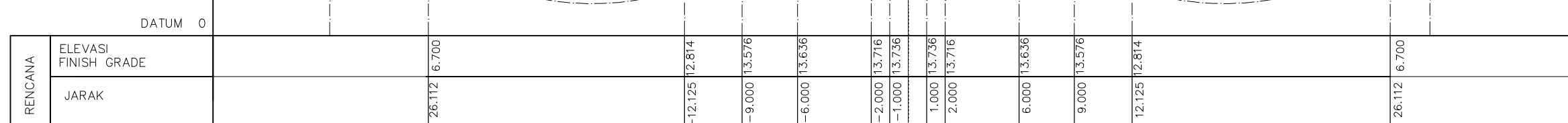
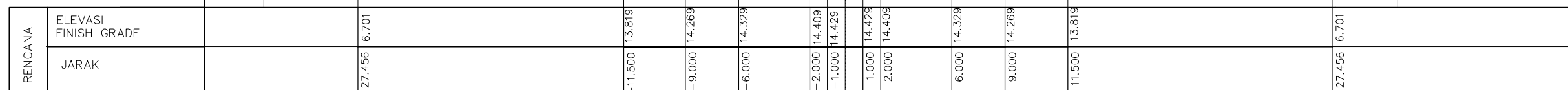
DESAIN ALTERNATIF
PERKUATAN TANAH PADA
OPRIT JEMBATAN STA 0+625
-0+775 PROYEK JALAN TOL
PROBOLINGGO-BANYUWANGI
PAKET 2

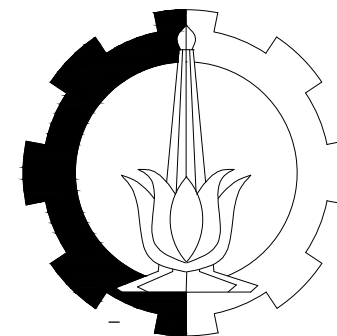
DERIS FAISA RALINDRA, S.T., M.T.
NIP.198912 17202406 1 001

MIFRTAHUL RAMADHAN RIZKY
2035211017

SKALA

JMLH LEMBAR





TEKNOLOGI REKAYASA PENGELOLAAN DAN
PEMELIHARAAN BANGUNAN SIPIL
DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2025

JUDUL TUGAS AKHIR

DESAIN ALTERNATIF
PERKUATAN TANAH PADA
OPRIT JEMBATAN STA 0+625
-0+775 PROYEK JALAN TOL
PROBOLINGGO-BANYUWANGI
PAKET 2

DOSEN PENDAMPING 1

DERIS FAISA RALINDRA, S.T., M.T.
NIP.198912 17202406 1 001

NAMA MAHASISWA :

MIFRTAHUL RAMADHAN RIZKY
2035211017

CATATAN

NAMA GAMBAR

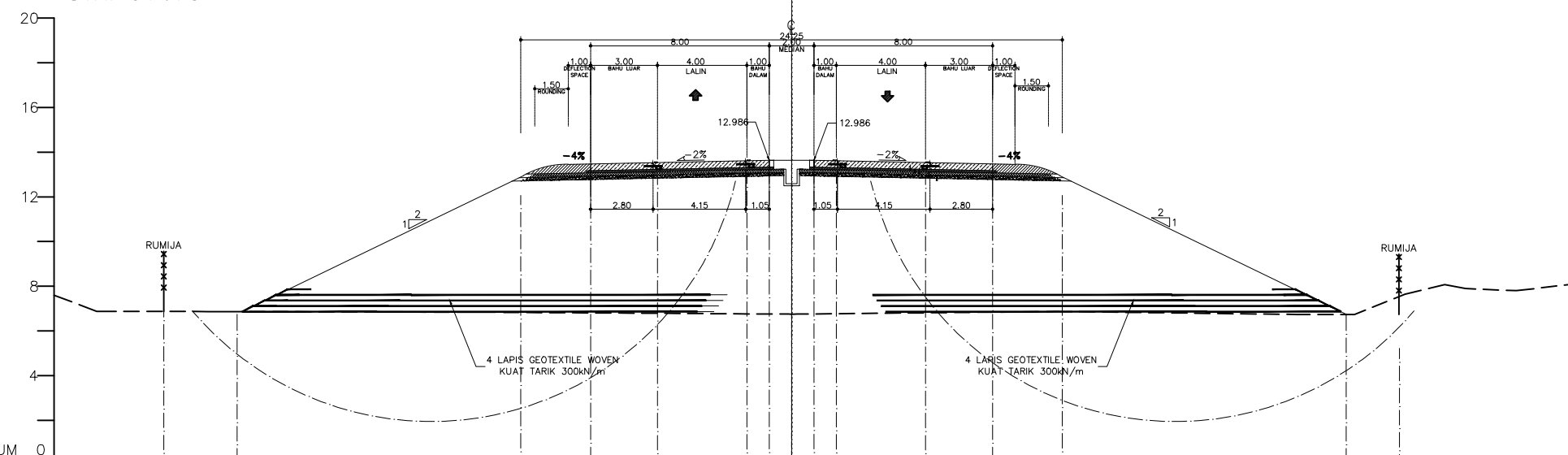
SKALA

1:275

NO.LEMBAR

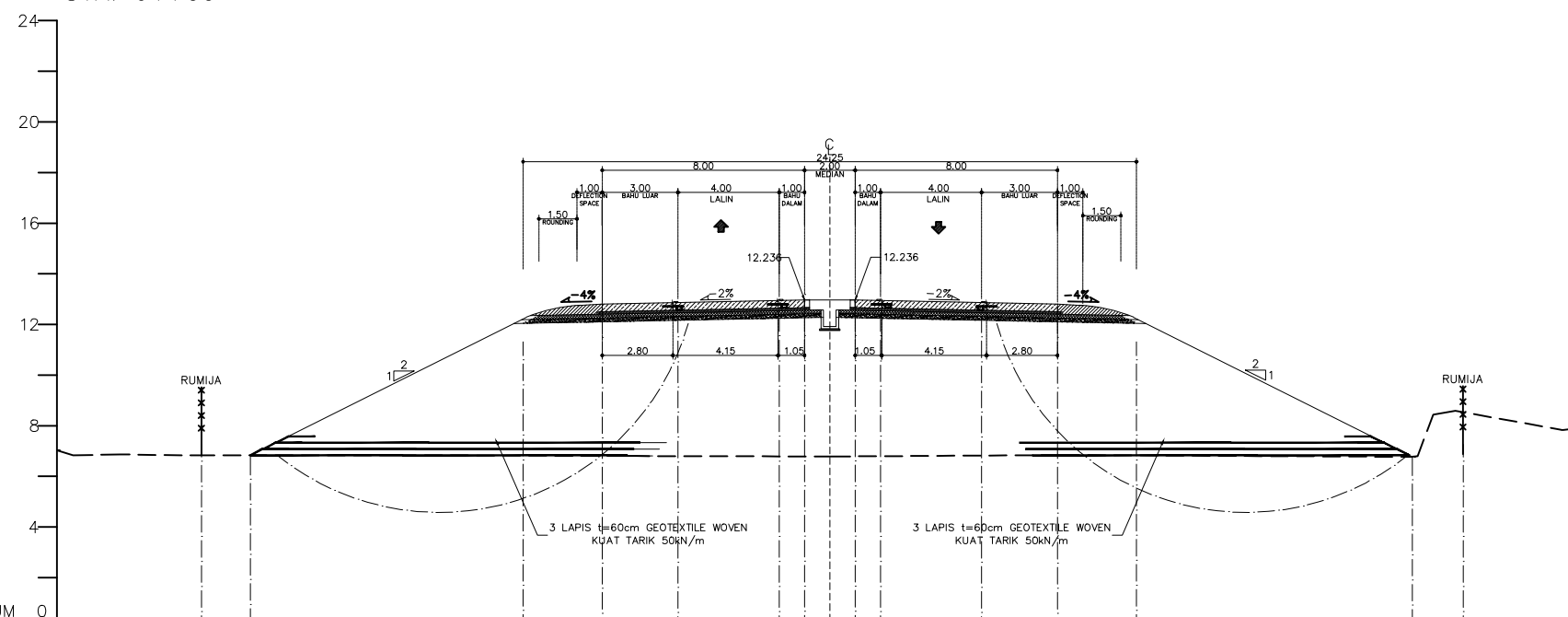
JMLH LEMBAR

ACCES ROAD
STA. 0+675

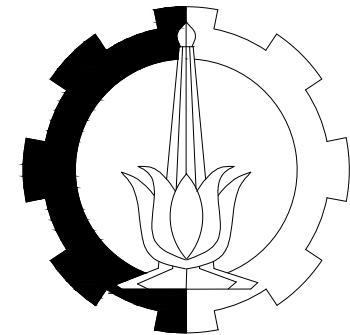


RENCANA	ELEVASI FINISH GRADE		24.828	6.738		12.376	12.826	12.886	12.966	12.986	12.986	12.986	12.886	12.826	12.064	24.828	6.738
	JARAK					-12.125	-9.000	-6.000	-2.000	-1.000	1.000	2.000	6.000	9.000	12.125		

ACCES ROAD
STA. 0+700



RENCANA	ELEVASI FINISH GRADE		24.841	22.909	6.831	11.314	12.076	12.136	12.216	12.236	12.236	12.216	12.136	12.076	11.314	23.020	6.775
	JARAK					12.124	9.000	6.000	2.000	1.000	1.000	2.000	6.000	9.000	11.500	23.020	25.037



TEKNOLOGI REKAYASA PENGELOLAAN DAN
PEMELIHARAAN BANGUNAN SIPIL
DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2025

JUDUL TUGAS AKHIR

DESAIN ALTERNATIF
PERKUATAN TANAH PADA
OPRIT JEMBRAN STA 0+625
-0+775 PROYEK JALAN TOL
PROBOLINGGO-BANYUWANGI
PAKET 2

DOSEN PENDAMPING 1

DERIS FAISA RALINDRA, S.T., M.T.
NIP.198912 17202406 1 001

NAMA MAHASISWA :

MIFRTAHUL RAMADHAN RIZKY
2035211017

CATATAN

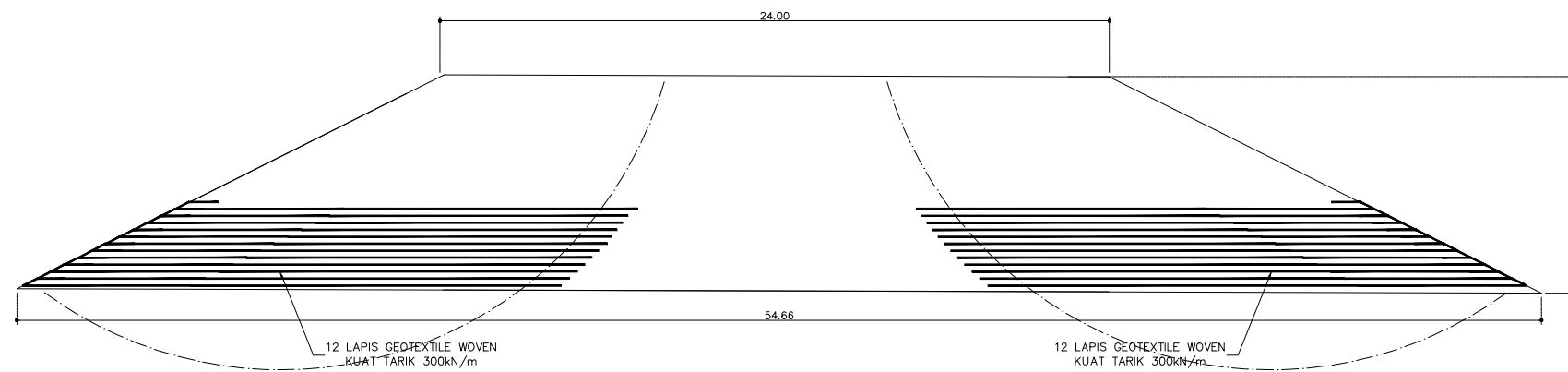
NAMA GAMBAR

SKALA

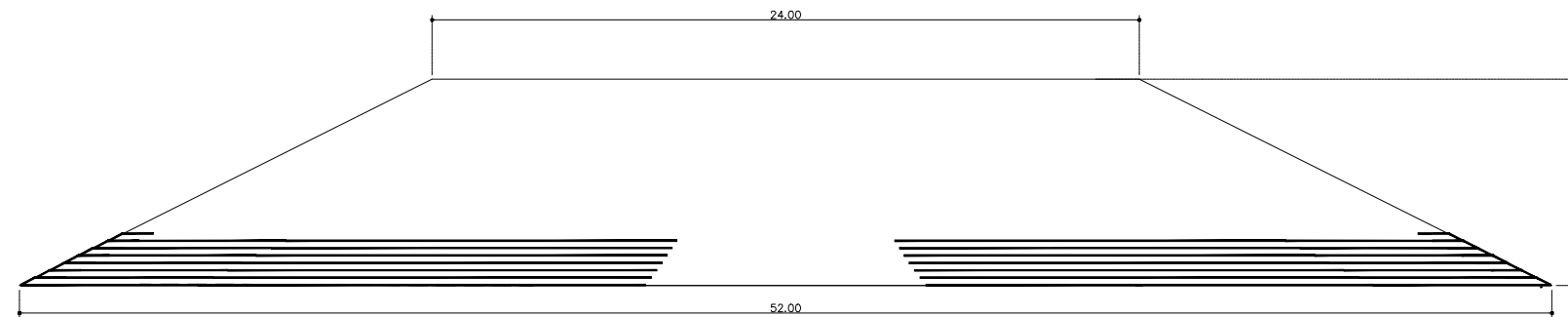
1:275

NO.LEMBAR

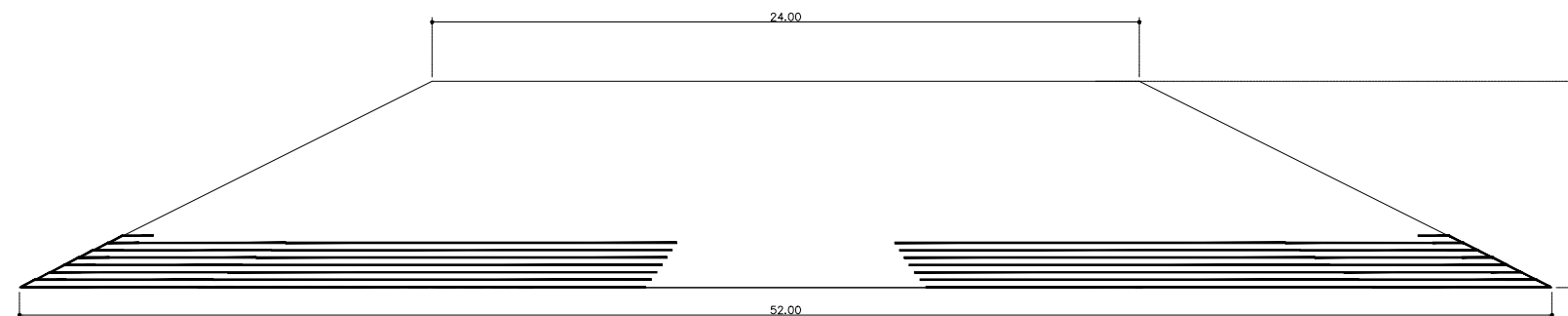
JMLH LEMBAR



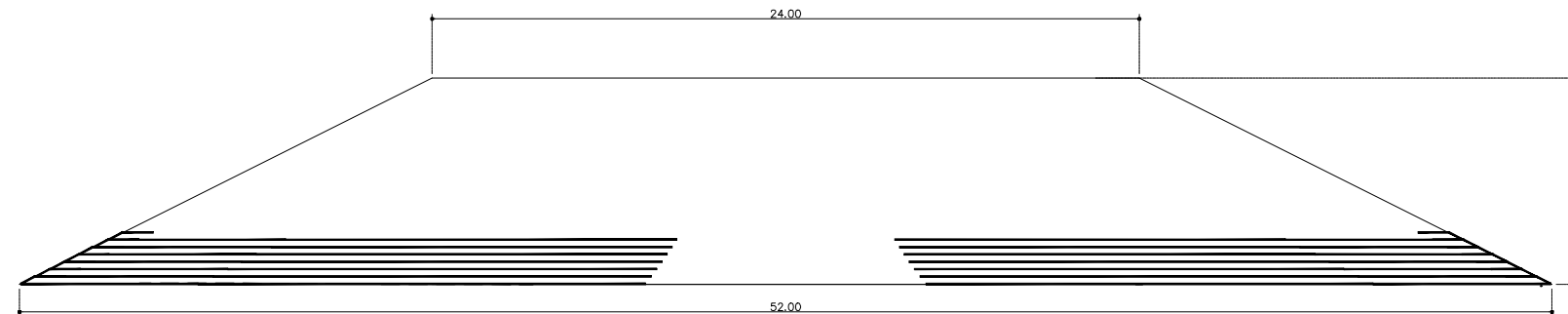
LAPISAN GEOTEKSTIL WOVEN STA 0+625
SCALE 1 : 275



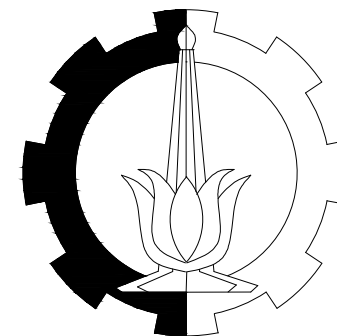
LAPISAN GEOTEKSTIL WOVEN STA 0+650
SCALE 1 : 275



LAPISAN GEOTEKSTIL WOVEN STA 0+675
SCALE 1 : 275



LAPISAN GEOTEKSTIL WOVEN STA 0+700
SCALE 1 : 275



TEKNOLOGI REKAYASA PENGELOLAAN DAN
PEMELIHARAAN BANGUNAN SIPIL
DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2025

JUDUL TUGAS AKHIR

DESAIN ALTERNATIF
PERKUATAN TANAH PADA
OPRIT JEMBATAN STA 0+625
-0+775 PROYEK JALAN TOL
PROBOLINGGO-BANYUWANGI
PAKET 2

DOSEN PENDAMPING 1

DERIS FAISA RALINDRA, S.T., M.T.
NIP.198912 17202406 1 001

NAMA MAHASISWA :

MIFRTAHUL RAMADHAN RIZKY
2035211017

CATATAN

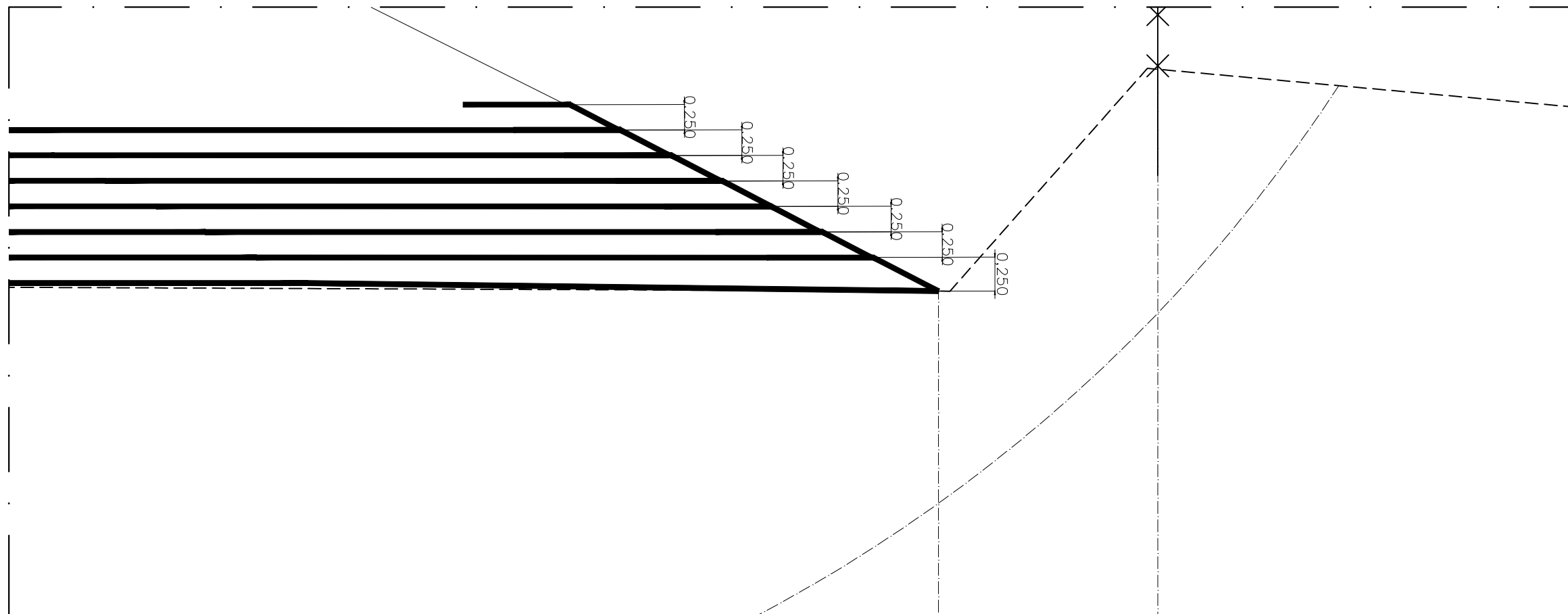
NAMA GAMBAR

SKALA

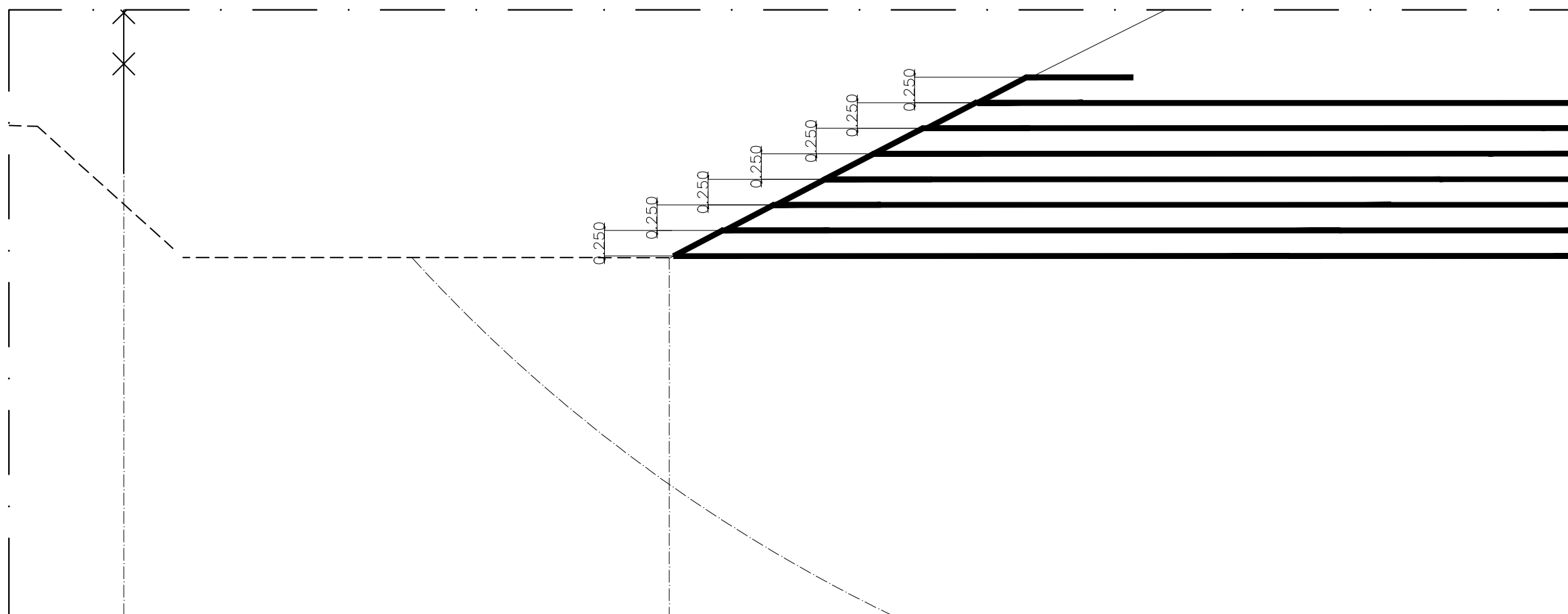
1: 275

NO.LEMBAR

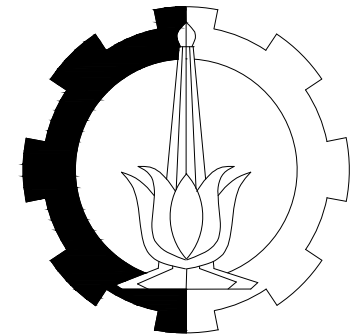
JMLH LEMBAR



DETAIL B PEMASANGAN GEOTEXTILE (STA 0+650)
SCALE 1 : 10



DETAIL A PEMASANGAN GEOTEXTILE (STA 0+650)
SCALE 1 : 10



TEKNOLOGI REKAYASA PENGELOLAAN DAN
PEMELIHARAAN BANGUNAN SIPIL
DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2025

JUDUL TUGAS AKHIR

DESAIN ALTERNATIF
PERKUATAN TANAH PADA
OPRIT JEMBRAN STA 0+625
-0+775 PROYEK JALAN TOL
PROBOLINGGO-BANYUWANGI
PAKET 2

DOSEN PENDAMPING 1

DERIS FAISA RALINDRA, S.T., M.T.
NIP.198912 17202406 1 001

NAMA MAHASISWA :

MIFRTAHUL RAMADHAN RIZKY
2035211017

CATATAN

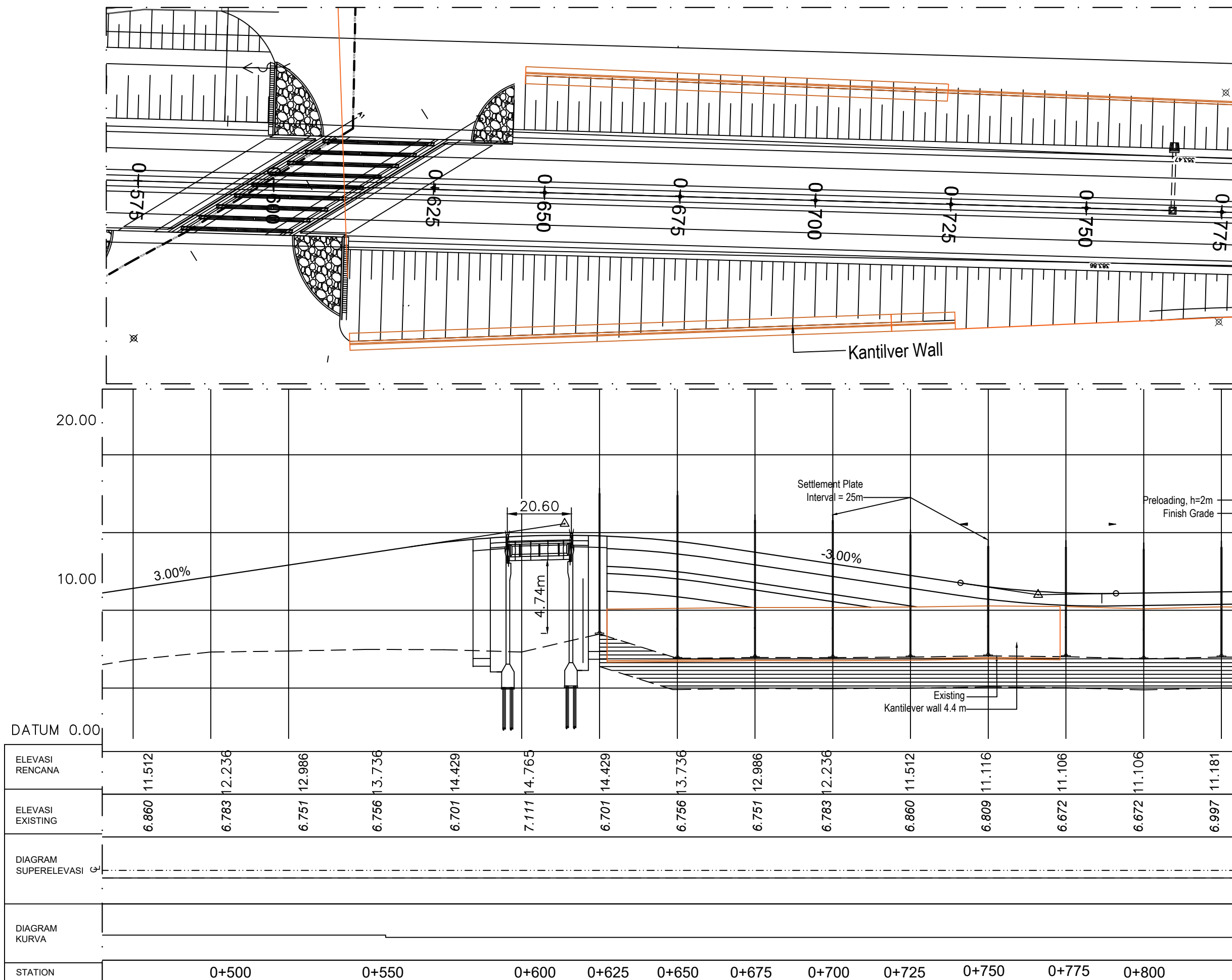
NAMA GAMBAR

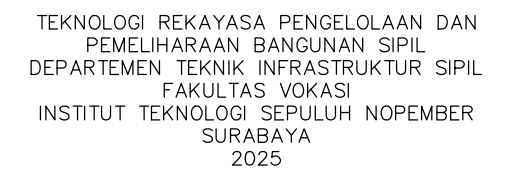
SKALA

1 : 1500

NO.LEMBAR

JMLH LEMBAR





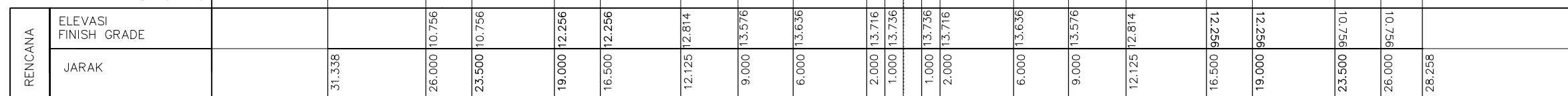
DESAIN ALTERNATIF
PERKUATAN TANAH PADA
OPRIT JEMBATAN STA 0+625
-0+775 PROYEK JALAN TOL
PROBOLINGGO-BANYUWANGI
PAKET 2

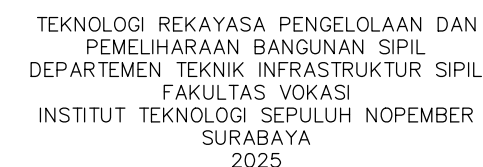
DERIS FAISA RALINDRA, S.T., M.T.
NIP.198912 17202406 1 001

MIFRTAHUL RAMADHAN RIZKY
2035211017

1:275

JMLH LEMBAR





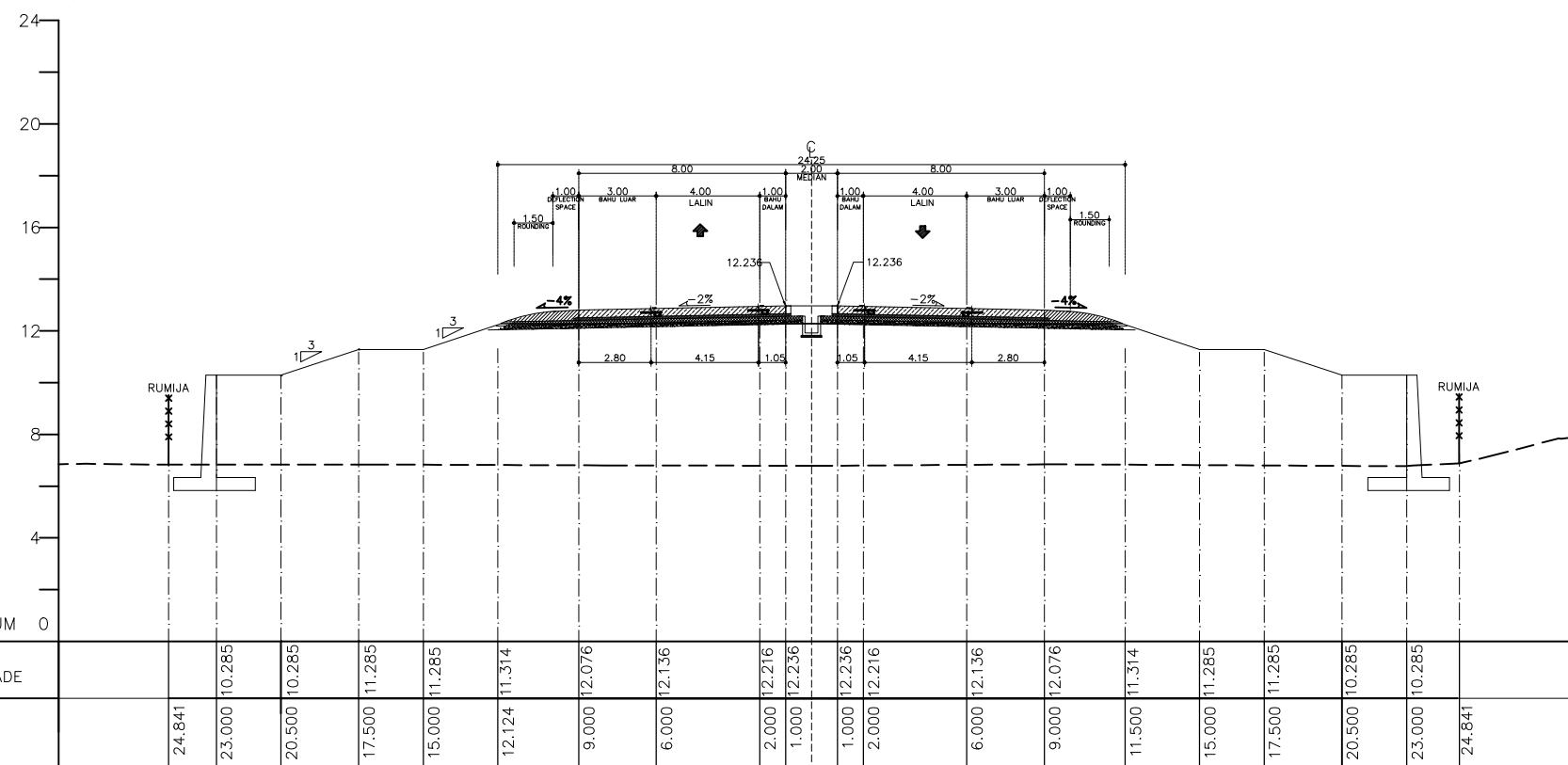
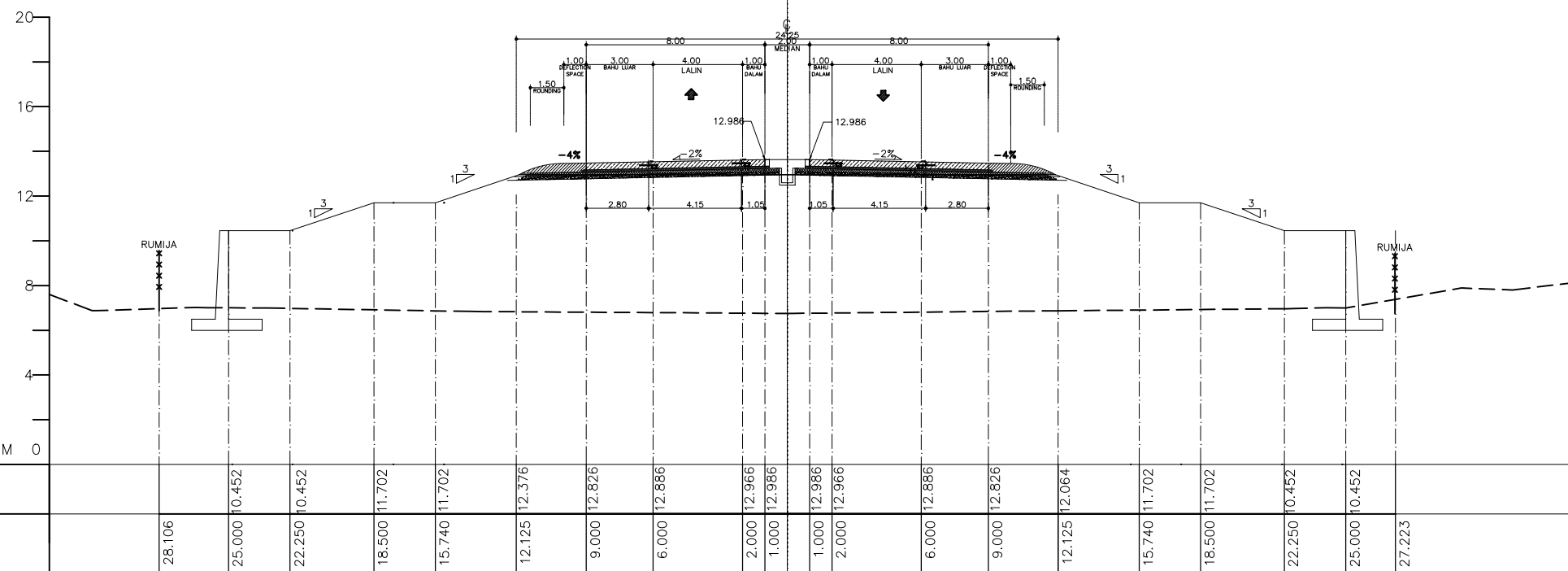
DESAIN ALTERNATIF
PERKUATAN TANAH PADA
OPRIT JEMBATAN STA 0+625
-0+775 PROYEK JALAN TOL
PROBOLINGGO-BANYUWANGI
PAKET 2

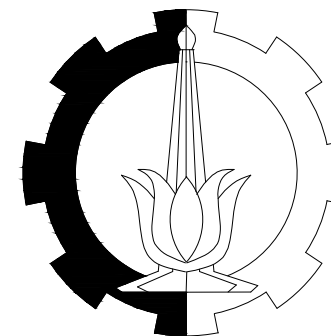
DERIS FAISA RALINDRA, S.T., M.T.
NIP.198912 17202406 1 001

MIFRTAHUL RAMADHAN RIZKY
2035211017

SKALA

JMLH	LEMBAR
------	--------





TEKNOLOGI REKAYASA PENGELOLAAN DAN
PEMELIHARAAN BANGUNAN SIPIL
DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2025

JUDUL TUGAS AKHIR

DESAIN ALTERNATIF
PERKUATAN TANAH PADA
OPRIT JEMBRAN STA 0+625
-0+775 PROYEK JALAN TOL
PROBOLINGGO-BANYUWANGI
PAKET 2

DOSEN PENDAMPING 1

DERIS FAISA RALINDRA, S.T., M.T.
NIP.198912 17202406 1 001

NAMA MAHASISWA :

MIFRTAHUL RAMADHAN RIZKY
2035211017

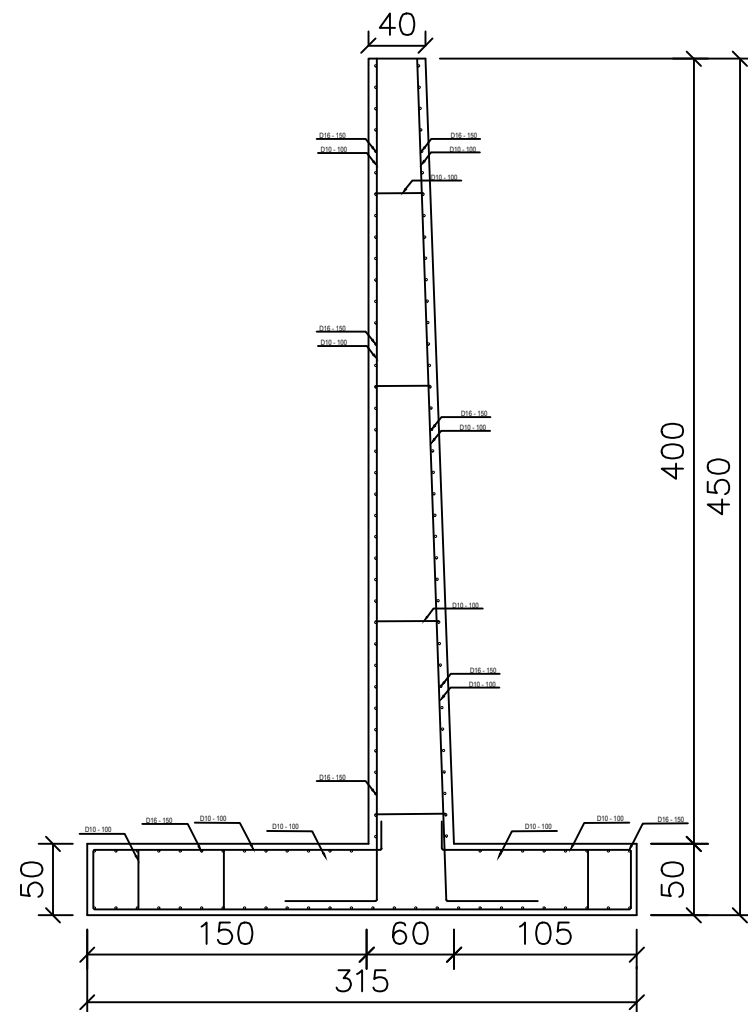
CATATAN

NAMA GAMBAR

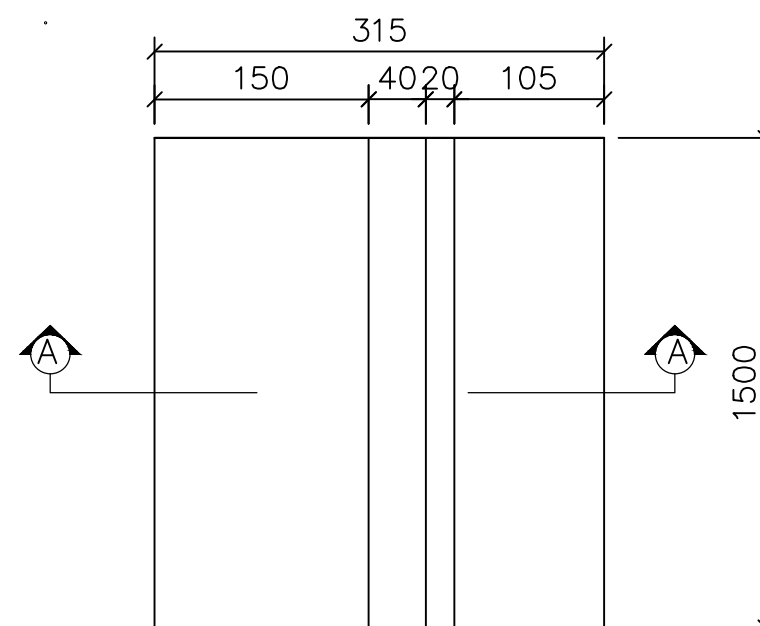
SKALA

NO.LEMBAR

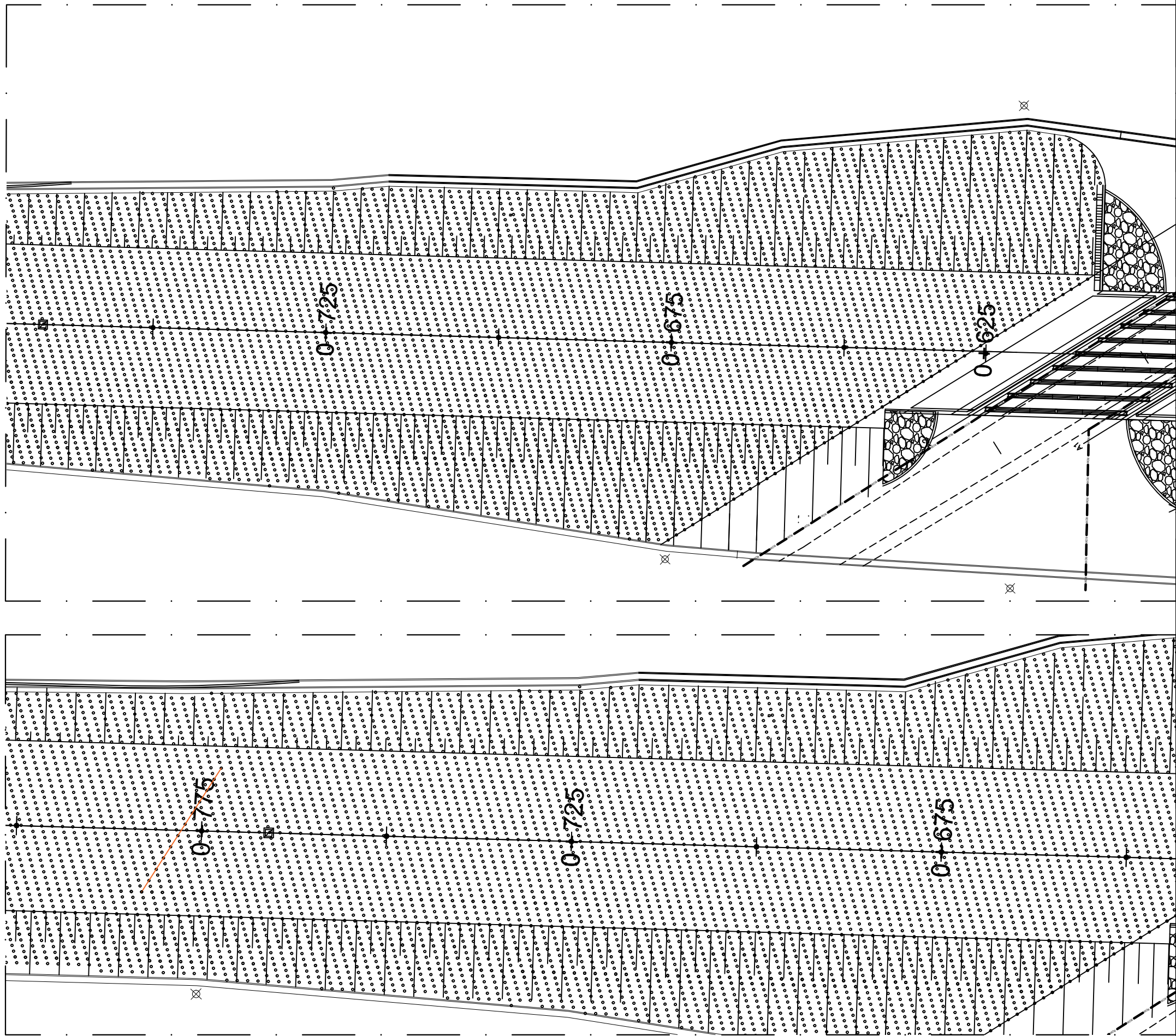
JMLH LEMBAR



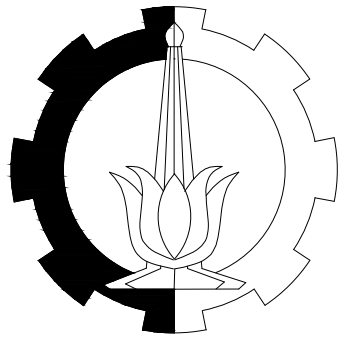
POTONGAN A-A RETAINING WALL
SCALE 1 : 50



DENAH RETAINING WALL
SCALE 1 : 50



DENAH PVD STA 0+675-0+775
SCALE 1 : 325



TEKNOLOGI REKAYASA PENGELOLAAN DAN
PEMELIHARAAN BANGUNAN SIPIL
DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2025

JUDUL TUGAS AKHIR

DESAIN ALTERNATIF
PERKUATAN TANAH PADA
OPRIT JEMBRAN STA 0+625
-0+775 PROYEK JALAN TOL
PROBOLINGGO-BANYUWANGI
PAKET 2

DOSEN PENDAMPING 1

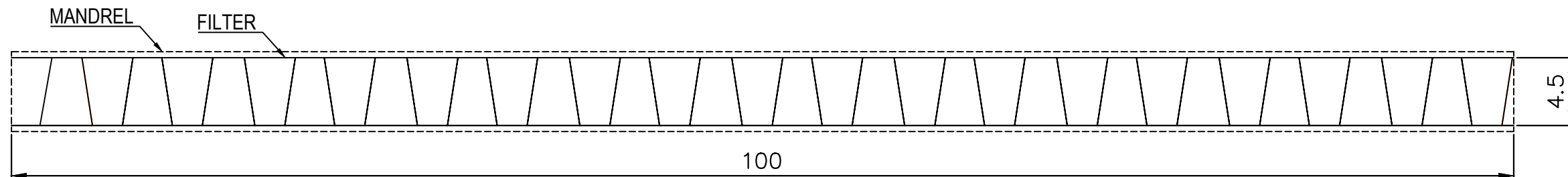
DERIS FAISA RALINDRA, S.T., M.T.
NIP.198912 17202406 1 001

NAMA MAHASISWA :

MIFRTAHUL RAMADHAN RIZKY
2035211017

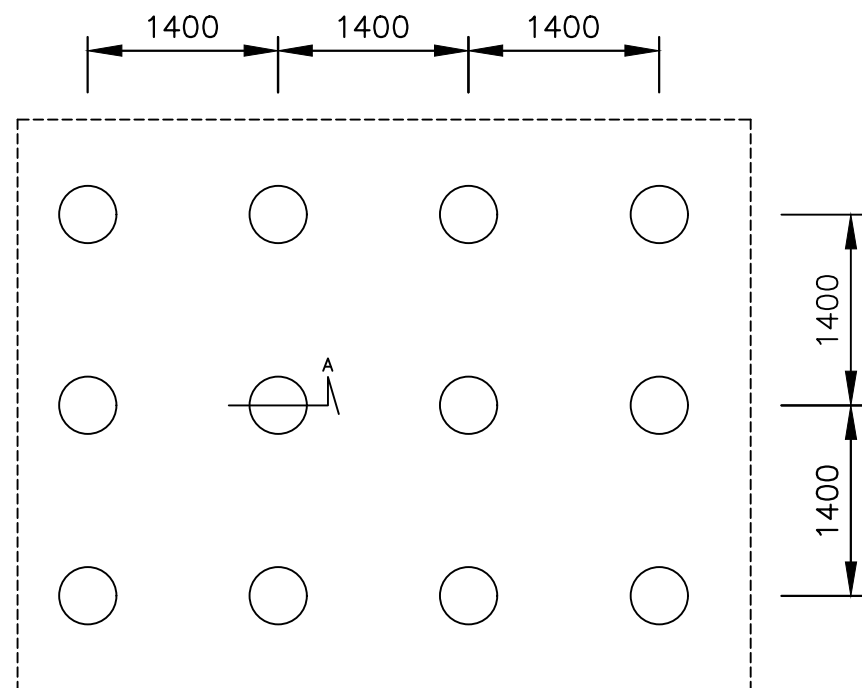
CATATAN

NAMA GAMBAR	SKALA
NO.LEMBAR	JMLH LEMBAR

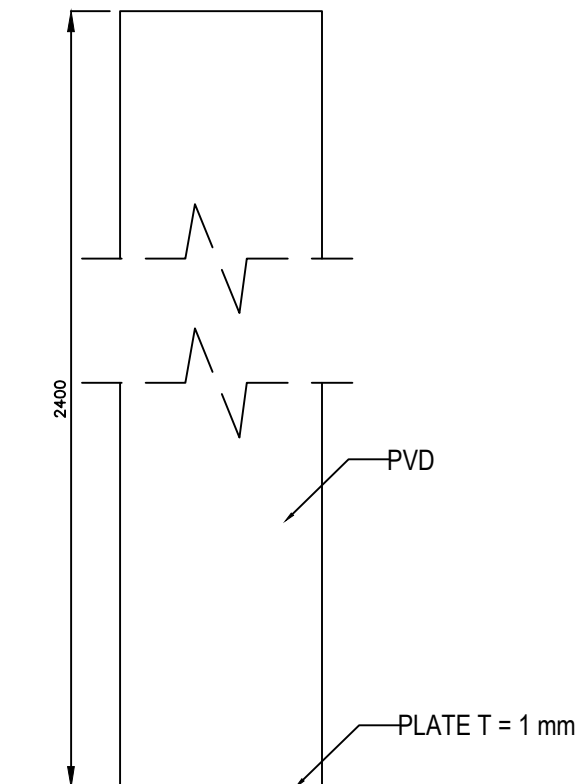


TOP VIEW
SKALA NTS

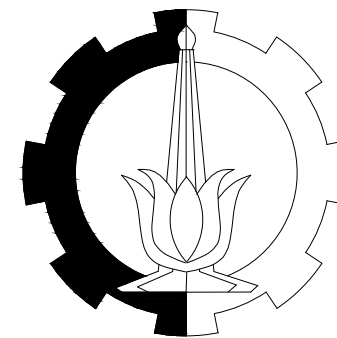
SPESIVIKASI PVD	
TEBAL	PANJANG
4,5 MM	> 100 MM



PVD 1.4mm X 1.4mm
POLA SEGIEMPAT



SECTION A-A
Skala NTS



TEKNOLOGI REKAYASA PENGELOLAAN DAN
PEMELIHARAAN BANGUNAN SIPIL
DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2025

JUDUL TUGAS AKHIR

DESAIN ALTERNATIF
PERKUATAN TANAH PADA
OPRIT JEMBRAN STA 0+625
-0+775 PROYEK JALAN TOL
PROBOLINGGO-BANYUWANGI
PAKET 2

DOSEN PENDAMPING 1

DERIS FAISA RALINDRA, S.T., M.T.
NIP.198912 17202406 1 001

NAMA MAHASISWA :

MIFRTAHUL RAMADHAN RIZKY
2035211017

CATATAN

NAMA GAMBAR SKALA

NO.LEMBAR JMLH LEMBAR

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Surabaya, 26 Oktober 2002, merupakan anak kedua dari 2 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu di TK Negeri Tunas Bangsa, SDN Sememi 1 Surabaya, SMPN 26 Surabaya dan SMAN 11 Surabaya. Setelah lulus dari SMAN tahun 2021, Penulis mengikuti SMNPTN dan diterima di Departemen Teknik Infrastruktur Sipil FV - ITS pada tahun 2021 dan terdaftar dengan NRP 2035211017.

Di Departemen Teknik Infrastruktur Sipil, Penulis sempat aktif di beberapa kegiatan Seminar yang diselenggarakan oleh Departemen, Himpunan Mahasiswa Teknik Infrastruktur Sipil dan aktif di organisasi HMDS FV ITS