

**TUGAS AKHIR**

**ANALISIS STABILITAS LERENG MENGGUNAKAN  
MINI PILE DENGAN METODE ELEMEN HINGGA  
(STUDI KASUS : LERENG JALAN TOL SEKSI V PEKANBARU-DUMAI  
STA 79+550)**

***(SLOPE STABILITY ANALYSIS USING MINI PILE  
WITH FINITE ELEMENT METHOD)***

**Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Yogyakarta Untuk Memenuhi  
Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana Teknik Sipil**



**الجامعة الإسلامية  
الاستدراكية**

**RAHMITA ZERISA  
18511208**

**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK SIPIL  
JURUSAN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA  
2022**

## TUGAS AKHIR

### **ANALISIS STABILITAS LERENG MENGGUNAKAN MINI PILE DENGAN METODE ELEMEN HINGGA (STUDI KASUS : LERENG JALAN TOL SEKSI V PEKANBARU-DUMAI STA 79+550)**

### **(SLOPE STABILITY ANALYSIS USING MINI PILE WITH FINITE ELEMNT METHOD)**

Disusun oleh

**Rahmita Zerisa**

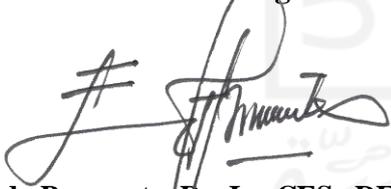
**18511208**

Telah diterima sebagai salah satu persyaratan  
untuk memperoleh derajat Sarjana Teknik Sipil

Diuji pada tanggal

Oleh Dewan Penguji

**Pembimbing**



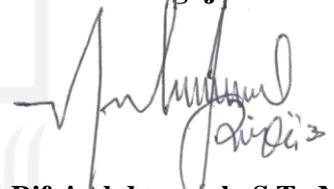
**Edy Purwanto, Dr. Ir., CES., DEA.**  
NIK : 855110101

**Penguji I**



**Hanindya Kusuma Artati, S.T., M.T.**  
NIK : 045110407

**Penguji II**



**M. Rifqi Abdurrozak, S.T., M.Eng.**  
NIK : 135111101

Mengesahkan

Ketua Program Studi Teknik Sipil



**Sri Amini Yuni Astuti Dr.Ir.,M.T.**  
NIK : 88511010



# PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

## PERTANYAAN BEBAS PLAGIASI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Tugas Akhir yang saya susun sebagai syarat untuk penyelesaian program Sarjana di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia merupakan hasil karya saya sendiri. Adapun bagian – bagian tertentu dalam penulisan laporan Tugas Akhir yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan dalam sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah dan etika penulisan karya ilmiah. Apabila di kemudian hari ditemukan seluruh atau sebagian dari laporan Tugas Akhir ini bukan hasil karya saya sendiri atau adanya plagiasi dalam bagian-bagian tertentu, saya bersedia menerima sanksi, termasuk pencabutan gelar akademik yang saya sandang sesuai dengan perundang-undangan yang berlaku.

Yogyakarta, 11 Mei 2022

Yang Membuat Pernyataan,



Rahmita Zerisa

## DEDIKASI

### *Bismillahirrohmanirrohim*

*Segala puji hanya milik Allah Ta'ala sholawat serta salam kepada baginda Muhammad Sallahualihiwassalam, Dengan ini saya dedikasikan tugas akhir ini kepada kedua orang tua dan kakak – kakak saya yang selalu memberikan dukungann dan doanya sehingga saya bersemangat dalam menyusun Tugas Akhir ini hingga selesai.*

*Terima kasih juga saya ucapkan kepada teman- teman atas semua dukungan, bantuan serta kebersamaan yang luar biasa selama menempuh perkualiahan.*

*Semoga Allah SWT membalas jasa dan budi kalian suatu saat nanti baik di dunia ataupun di akhirat.*

الجمعة، الأستد، الأندو  
الجمعة، الأستد، الأندو

## KATA PENGANTAR

*Assalamu'alaikum Wr. Wb.*

*Alhamdulillah* rabbi'l'alamin, puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan segala rahmat, taufik serta hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini tentang Analisis Stabilitas Lereng Menggunakan Mini Pile dengan Metode Elemen Hingga Pada Jalan Tol Peknabaru-Dumai Sta. 79+550 dengan sebaik – baiknya. Shalawat serta salam selalu dilimpahkan kepada junjungan Rasulullah SAW, keluarga, sahabat, serta para pengikut beliau hingga yaumul akhir.

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini, banyak hambatan yang dihadapi penulis. Tetapi berkat saran, semangat serta dorongan dari berbagai pihak, alhamdulillah Tugas Akhir ini dapat diselesaikan. Berkaitan dengan itu, penulis mengucapkan terima kasih yang sedalam – dalamnya kepada :

1. Bapak Dr. Ir. Edy Puwanto, CES., DEA, selaku dosen pembimbing Tugas Akhir.
2. Ibu Hanindya Kusuma Artati, S.T., M.T. selaku penguji 1 dan Bapak M. Rifqi Abdurrozak, S.T., M.Eng. selaku dosen penguji 2.
3. Ibu Dr. Ir. Sri Amini Yuni Astuti, M.T., selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
4. Orang tua Bapak Zuhir.Y, S.Pd. dan Ibu Elisawati, S.Pd. yang selalu memberikan semangat untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini
5. Abang dan kakak saya Zelmi Ilham, S.T., M.BA., Rian Wahyu, S.Ip., dr.Elsa Amimi dan Elmira, S.Tr.Keb.yang selalu memberikan semangat untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini
6. Semua teman-teman seperjuangan yang tidak bisa disebutkan satu persatu.

Semoga penelitian yang telah dilaksanakan dan disajikan dalam bentuk laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat yang berarti bagi dunia Teknik Sipil dan bermanfaat untuk penelitian- penelitian selanjutnya.

Yogyakarta, 11 Mei 2022

Penulis,

Rahmita Zerisa

18511208



## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSETUJUAN	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
DEDIKASI	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR NOTASI	xvii
ABSTRAK	xix
<i>ABSTRACT</i>	xx
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	5
1.5 Batasan Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Analisis Stabilitas Lereng Tanpa Perkuatan <i>Mini Pile</i>	7
2.2 Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan <i>Mini Pile</i>	8
2.3 Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan <i>Tiang + Geotextile</i>	9
2.4 Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Sekarang	11
BAB III LANDASAN TEORI	14
3.1 Tanah	14
3.1.1 Propertis Tanah	14
3.1.2 Klasifikasi Tanah	20
3.2 Penyelidikan Tanah di Lapangan	27
3.2.1 <i>Cone Penetration Test (CPT)</i>	27

3.3	Stabilitas Lereng	29
3.3.1	Umum	29
3.3.2	Analisis Stabilitas Lereng Menggunakan Metode Fellinius	32
3.4	Perkuatan Lereng	35
3.4.1	Umum	35
3.4.2	Faktor Keamanan	36
3.4.3	Geotekstil	37
3.4.4	Mekanisme Kerja geotekstil pada Tanah	38
3.4.5	Pondasi <i>mini pile</i>	39
3.4.6	Analisis Daya Dukung Mini pile	40
3.5	Konsolidasi	43
3.5.1	Pendahuluan	43
3.5.2	Faktor-faktor yang mempengaruhi konsolidasi	43
3.5.3	Koefisien konsolidasi ( $C_v$ ) ( <i>Coefficient of Consolidation</i> )	44
3.6	Penurunan	45
3.6.1	Penurunan segera	45
3.6.2	Penurunan konsolidasi	45
3.7	Plaxis	46
3.7.1	Pendahuluan	46
3.7.2	Analisis stabilitas lereng menggunakan <i>Plaxis v.8.5</i>	48
<b>BAB IV METODE PENELITIAN</b>		<b>50</b>
4.1	Tinjauan Umum	50
4.2	Data Penelitian	50
4.3	Lokasi Penelitian	51
4.4	Tahapan Penelitian	52
4.4.1	Pengumpulan data	52
4.5	Analisis Data	53
4.5.1	Parameter Tanah	53
4.5.2	Data Beban	55
4.5.3	Data Penampang Melintang Lereng	56
4.5.4	<i>Mini Pile</i>	57

4.5.5	Geotekstil	57
4.6	Analisis Data dengan Software Plaxis 8.5	58
4.6.1	<i>Plaxis Input</i>	58
4.6.2	<i>Plaxis Calculation</i>	64
4.6.3	<i>Plaxis Output</i>	65
4.7	Bagan Alir	65
BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN		68
5.1	Gambaran Umum Analisis	68
5.2	Analisis Data Lereng	68
5.2.1	Kondisi eksisting lereng	69
5.2.2	Data Tanah	69
5.2.3	Data Beban Gempa	73
5.2.4	Data Beban Lalu Lintas dan Stuktur	74
5.2.5	Data Mini Pile	74
5.2.6	Data Geotekstil	75
5.3	Analisis Stabilitas Timbunan Asli Tanpa Tambahan Perkuatan dengan Plaxis V.8.5.	75
5.4	Perhitungan dengan Metode Fellinius	81
5.5	Analisis Daya Dukung <i>Mini Pile</i>	86
5.5.2	Beban yang Bekerja	86
5.5.3	Kapasitas Dukung Mini Pile dengan Panjang 12 m	87
5.5.4	Kapasitas Dukung Mini Pile dengan Panjang 15 m	94
5.6	Cek Gaya Tarik Yang Bekerja Pada Geotekstil	101
5.7	Analisis Awal Stabilitas Lereng dengan Perkuatan Geotekstil	102
5.8	Analisis Stabilitas Lereng Dengan <i>Mini Pile</i> Menggunakan Program Plaxis 8.5	104
5.8.1	Analisis Model 1 Perkuatan <i>Mini Pile + Geotextile</i> Tanpa <i>Replacement</i>	106
5.8.2	Analisis Model 2 Perkuatan <i>Mini Pile + Geotextile</i> Dengan <i>Replacement 1,25m</i>	116
5.9	Pembahasan	129

5.9.1 Hasil Analisis Lereng Tanpa Perkuatan	129
5.9.2 Hasil Analisis Lereng Dengan Perkuatan	130
<b>BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN</b>	<b>133</b>
6.1 Kesimpulan	133
6.2 Saran	134
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	<b>135</b>
<b>LAMPIRAN</b>	<b>137</b>



## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Sekarang	11
Tabel 3.1	Sudut Geser Dalam	17
Tabel 3.2	Kisaran Nilai Permeabilitas Tanah	18
Tabel 3.3	Nilai Perkiraan Modulus Elastisitas Tanah	19
Tabel 3.4	Perkiraan Rasio Poisson	20
Tabel 3.5	Klasifikasi Tanah System AASHTO	22
Tabel 3.6	Klasifikasi Tanah Sistem <i>Unifield</i>	25
Tabel 3.7	Klasifikasi Tanah Sistem USCS	26
Tabel 3.8	Hubungan Nilai SF dan Kemungkinan Kelongsoran Lereng	31
Tabel 3.9	Rekomendasi Nilai Faktor Keamanan Untuk Lereng	31
Tabel 3.10	Faktor Keamanan (SF) Lereng	36
Tabel 3.11	Hubungan Tahanan Gesek Tiang dengan $q_c$ (Meigh, 1987)	42
Tabel 3.12	Faktor Aman yang Disarankan (Reese & O'neil, 1989)	43
Tabel 4.1	Data Parameter Tanah	54
Tabel 4.2	Beban Lalu Lintas	55
Tabel 4.3	Data Parameter <i>Mini Pile</i>	57
Tabel 4.4	Data Parameter Geotekstil	58
Tabel 5.1	Data Parameter Tanah	72
Tabel 5.2	Beban Lalu Lintas	74
Tabel 5.3	Data Parameter Mini Pile	74
Tabel 5.4	Data Parameter Geotekstil	75
Tabel 5.5	Rekapitulasi Hasil Analisis Timbunan Tanah Asli	81
Tabel 5.6	Rekapitulasi Perhitungan Menggunakan Metode Fellinius	83
Tabel 5.7	Kapasitas Dukung Mini Pile pada Panjang 12 m	93
Tabel 5.8	Kapasitas Dukung Mini Pile pada Panjang 15 m	100
Tabel 5.9	Tahapan Analisis ( <i>Calculations Phase</i> )	105
Tabel 5.10	Rangkuman SF Perkuatan <i>Mini Pile</i> Tanpa <i>Replacement</i>	114
Tabel 5.11	Rangkuman SF Perkuatan <i>Mini Pile</i> Dengan <i>Replacement</i>	125

Tabel 5.12 Rangkuman Penurunan Dengan Metode Elemen Hingga 130

Tabel 5.13 Rangkuman Angka Aman (SF) 131



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Peta Lokasi Jalan Tol Pekanbaru-Dumai Sta 79+550	3
Gambar 1.2	Kerusakan yang Terjadi di Sta 79+550	3
Gambar 3.1	Diagram Fase Tanah	15
Gambar 3.2	Bentuk Konus Litrik dan Sondir Mekanis	27
Gambar 3.3	Contoh Hasil CPTU Sta. 79+550	28
Gambar 3.4	Pola Keruntuhan Lereng	30
Gambar 3.5	Gambar Gaya Yang Bekerja Pada Irisan	33
Gambar 3.6	Geotekstil Non Woven dan Woven	38
Gambar 3.7	Dasar Mekanisme Perkuatan Lereng dengan Tanah	38
Gambar 3.8	Kurva Hubungan Antara Tekanan dan Angka Pori	44
Gambar 4.1	Peta Lokasi Jalan Tol Pekanbaru-Dumai	51
Gambar 4.2	Grafik Hubungan Antara Percepatan dan Waktu	56
Gambar 4.3	Peta Zonasi Gempa Indonesia	56
Gambar 4.4	Penampang Melintang Lereng	57
Gambar 4.5	Kotak Dialog <i>Create/Open Project</i>	58
Gambar 4.6	Tab <i>Project</i> dari Menu <i>General Setting</i>	59
Gambar 4.7	Tab Dimension dari Jendela <i>General Setting</i>	60
Gambar 4.8	Lembar Tab <i>General</i> dari Jendela <i>Material Sets</i>	62
Gambar 4.9	Lembar Tab <i>Parameters</i> dari Jendela <i>Material Sets</i>	62
Gambar 4.10	Jaringan Elemen Hingga ( <i>Meshing</i> )	63
Gambar 4.11	Tegangan awal pada Geometri	63
Gambar 4.12	Jendela Calculations dengan Lembar Tab General	64
Gambar 4.13	Pemilihan Titik Kurva yng Ditinjau	65
Gambar 4.14	Bagan Alir Penelitian	66
Gambar 4.15	Bagan Alir Pemodelan Lereng Pada Program PLAXIS	67
Gambar 5.1	Geometri Kondisi Eksisting lereng Tanah Asli	69
Gambar 5.2	Stratifikasi Tanah CPTu-01 STA 79+000	70
Gambar 5.3	Stratifikasi Tanah CPTu-02 STA 79+000	70

Gambar 5.4	Stratifikasi Tanah CPTu-03 STA 79+000	71
Gambar 5.5	Grafik Hubungan Antara Percepatan dan Waktu	73
Gambar 5.6	Peta Zonasi Gempa Indonesia	73
Gambar 5.7	Pemodelan Timbunan 8 Meter	76
Gambar 5.8	General Meshing Pada Timbunan 8 Meter	76
Gambar 5.9	Tekanan Pori Air Pada Timbunan 8 Meter	77
Gambar 5.10	General Initial Stresses Pada Timbunan 8 Meter	77
Gambar 5.11	<i>Deformed Mesh</i> Lereng Asli	78
Gambar 5.12	Bidang Longsor Timbunan Asli 8 Meter	79
Gambar 5.13	Arah Pergerakan Tanah Lereng Asli	79
Gambar 5.14	Effective Stresses Lereng Timbunan Asli	80
Gambar 5.15	Hasil Kalkulasi	80
Gambar 5.16	Penampang Irisan pada Lereng Timbunan Tanah Asli	82
Gambar 5.17	Formasi Mini Piles	86
Gambar 5.18	Formasi <i>Mini Pile</i> dan Geotekstil	101
Gambar 5.19	Layout Pemodelan Perkuatan Geotekstil dengan <i>Replacement</i>	102
Gambar 5.20	Hasil <i>Calculation</i> Perkuatan Geotekstil dengan <i>Replacement</i>	103
Gambar 5.21	Pola Deformasi Yang Terjadi Pada Saat Keruntuhan Lereng dengan Perkuatan Geotekstil Dengan <i>Replacement</i> 1,25m	103
Gambar 5.22	Pola <i>Displacement</i> Yang Terjadi Pada Saat Keruntuhan Lereng Dengan Perkuatan Geotekstil Dengan <i>Replacement</i> 1,25m	104
Gambar 5.23	Layout Model 1 Perkuatan Tanpa <i>Replacement</i>	106
Gambar 5.24	<i>Meshing</i> pada Model 1 Perkuatan Tanpa <i>Replacement</i>	106
Gambar 5.25	Generate Water Pressures pada Model 1 Tanpa <i>Replacement</i>	107
Gambar 5.26	Intial Soil Stresses Pada Model 1 Tanpa <i>Replacement</i>	107
Gambar 5.27	Deformend Mesh pada Model 1 Perkuatan Tanpa <i>Replacement</i>	108
Gambar 5.28	Total Displacement Perkuatan Tanpa <i>Replacement</i>	109
Gambar 5.29	Pola Deformasi <i>Total Displacement</i> Perkuatan <i>Mini Pile</i> + <i>Geotextile</i> Tanpa <i>Replacement</i>	109
Gambar 5.30	Penurunan Segera Perkuatan <i>Mini Pile</i> + <i>Geotextile</i> Tanpa <i>Replacement</i>	110

Gambar 5.31	Pola Penurunan Segera Perkuatan <i>Mini Pile + Geotextile</i> Tanpa <i>Replacement</i>	110
Gambar 5.32	<i>Total Displacement</i> Pada Model Tanpa <i>Replacement</i> Saat Konsolidasi Selesai	111
Gambar 5.33	Pola Deformasi <i>Total Displacement</i> Pada Model Tanpa <i>Replacement</i> Saat Konsolidasi Selesai	111
Gambar 5.34	Penurunan Konsolidasi Pada Model Tanpa <i>Replacement</i>	112
Gambar 5.35	Pola Penurunan Konsolidasi Pada Model Tanpa <i>Replacement</i>	112
Gambar 5.36	Hubungan Waktu vs Penurunan Konsolidasi Masa Konstruksi	113
Gambar 5.37	Hubungan Waktu vs Penurunan Konsolidasi Pasca Konstruksi	113
Gambar 5.38	Rangkuman Angka Aman (SF) Perkuatan <i>Mini Pile</i> Tanpa <i>Replacement</i>	114
Gambar 5.39	Bidang Kelongsoran Pada Saat Kontruksi Timbunan	115
Gambar 5.40	Bidang Kelongsoran Pada Saat Penerapan Beban Jalan	115
Gambar 5.41	Bidang Kelongsoran Pada Saat Pasca Konsolidasi	116
Gambar 5.42	Bidang Kelongsoran Pada Saat Beban Gempa	116
Gambar 5.43	Layout Model 2 Perkuatan <i>Mini Pile + Geotextile</i> Dengan <i>Replacement 1,25 m</i>	117
Gambar 5.44	<i>Meshing</i> pada model 2 perkuatan <i>mini pile + Geotextile</i> dengan <i>replacement 1,25m</i>	117
Gambar 5.45	Generate Water Pressures pada model 2 perkuatan <i>mini pile</i> dengan <i>replacement 1,25m</i>	118
Gambar 5.46	intial soil stresses pada model 2 perkuatan <i>mini pile</i> dengan <i>replacement 1,25m</i>	118
Gambar 5.47	<i>Deformend Mesh</i> pada model 2 perkuatan <i>mini pile</i> dengan <i>replacement 1,25m</i>	119
Gambar 5.48	<i>Total Displacement</i> Perkuatan <i>Mini Pile + Geotextile</i> Dengan <i>Replacement 1,25 m</i>	120
Gambar 5.49	Pola Deformasi <i>Total Displacement</i> Perkuatan <i>Mini Pile + Geotextile</i> Dengan <i>Replacement 1,25 m</i>	120

Gambar 5.50	Penurunan Segera Perkuatan <i>Mini Pile</i> + <i>Geotextile</i> Dengan <i>Replacement</i> 1,25 m	121
Gambar 5.51	Pola Penurunan Segera Perkuatan <i>Mini Pile</i> + <i>Geotextile</i> Dengan <i>Replacement</i> 1,25 m	121
Gambar 5.52	<i>Total Displacement</i> Pada Model Dengan <i>Replacement</i> 1,25 m Saat Konsolidasi Selesai	122
Gambar 5.53	Pola Deformasi <i>Total Displacement</i> Pada Model Dengan <i>Replacement</i> Saat Konsolidasi Selesai	122
Gambar 5.54	Penurunan Konsolidasi Pada Model Dengan <i>Replacement</i>	123
Gambar 5.55	Pola Penurunan Konsolidasi Pada Model Dengan <i>Replacement</i>	124
Gambar 5.56	Hubungan Waktu vs Penurunan Konsolidasi Masa Konstruksi	124
Gambar 5.57	Hubungan Waktu vs Penurunan Konsolidasi Pasca Konstruksi	125
Gambar 5.58	Rangkuman Angka Aman (SF) Perkuatan <i>Mini Pile</i> Dengan <i>Replacement</i> 1,25 m	126
Gambar 5.59	Bidang Kelongsoran Pada Saat Kontruksi Timbunan	126
Gambar 5.60	Bidang Kelongsoran Pada Saat Penerapan Beban Jalan	127
Gambar 5.61	Bidang Kelongsoran Pada Saat Pasca Konsolidasi	128
Gambar 5.62	Bidang kelongsoran pada saat beban gempa	128
Gambar 5.63	Rangkuman Hubungan Waktu vs Penurunan Konsolidasi	131

## DAFTAR NOTASI

$A_p$	: Luas penampang ujung tiang ( $m^2$ )
$A_s$	: Luas penampang sisi tiang ( $m^2$ )
$c$	: Kohesi ( $kN/m^2$ )
$E$	: Modulus elastisitas tanah ( $kN/m^2$ )
$F$	: Faktor aman
$L_i$	: panjang bagian tiang dengan keliling $\Theta_i$ (m)
$n$	: Jumlah irisan
$q_c$	: Tahanan konus ( $kg/cm^2$ )
$q_p$	: nilai tahanan ujung tiang persatuan luas penampang tiang (kN)
$Q_p$	: Tahanan ujung ultimit (kN)
$q_s$	: nilai tahanan sisi tiang persatuan luas sisi tiang (kN)
$Q_p$	: Tahanan ujung ultimit (kN)
$Q_s$	: Tahanan gesek ultimit (kN)
$Q_u$	: Kapasitas dukung ultimit (kN)
$R$	: Jari-jari lingkaran bidang longsor (m)
$S_c$	: Penurunan konsolidasi (m)
SF	: Safety Factor
$V$	: Volume total ( $m^3$ )
$V_a$	: Volume udara ( $m^3$ )
$V_s$	: Volume butiran padat ( $m^3$ )
$V_s$	: Angka poisson tanah
$V_v$	: Volume udara ( $m^3$ )
$V_w$	: Volume air ( $m^3$ )
$W$	: Berat struktur (kN/m)
$W_i$	: berat irisan tanah ke-I (kN)

$W_p$	: Berat tiang (kN)
$W_s$	: Berat butiran padat (gr)
$W_w$	: Berat air (gr)
$\gamma_b$	: Berat volume tanah basah (kN/m <sup>3</sup> )
$\gamma_{sat}$	: Berat volume tanah jenuh (kN/m <sup>3</sup> )
$\gamma$	: Berat volume tanah (kN/m <sup>3</sup> )
$\gamma_b$	: Berat volume tanah basah (kN/m <sup>3</sup> )
$\gamma_{sat}$	: Berat volume tanah jenuh (kN/m <sup>3</sup> )
$\psi$	: Sudut dilatasi (°)
$\tau$	: Tahanan geser yang dapat dikerahkan tanah (kN/m <sup>2</sup> )
$\tau_d$	: Tegangan geser yang akibat gaya berat tanah longsor (kN/m <sup>2</sup> )
$\phi$	: Sudut gesek dalam tanah (°)
$\sigma$	: Tegangan normal (kN/m <sup>2</sup> )
$a_i$	: Panjang lengkung lingkaran pada irisan ke-I (m)
$u_i$	: tekanan air pori pada irisan ke-I (kN/m <sup>2</sup> )
$\theta_i$	: Sudut yang didefinisikan (°)
$\Theta_i$	: Keliling tiang pada selang

## ABSTRAK

Proyek Jalan Tol Seksi V Pekanbaru-Dumai Sta. 79+550 merupakan bagian dari ruas Jalan Tol Trans Sumatra yang menghubungkan Kota Pekanbaru dengan Kota Dumai. Pembangunan ruas Jalan Tol ini melalui daerah lembah dan perbukitan sehingga untuk mencapai elevasi rencana diperlukan pekerjaan timbunan yang cukup tinggi. Permasalahan yang muncul di lapangan ialah setelah selesai pekerjaan timbunan tanah lunak untuk badan jalan yang sudah mencapai ketinggian finish grade ( $H= 8$  m) terjadi penurunan yang disertai dengan kelongsoran setengah lebar badan jalan. Oleh karena itu perlu adanya analisis timbunan diatas tanah rawa tersebut untuk menentukan angka aman terhadap longsor serta angka penurunan tanah yang terjadi.

Analisis stabilitas lereng timbunan dilakukan perhitungan dengan metode elemen hingga menggunakan Program PLAXIS 8.5. penelitian ini dilakukan pada timbunan setinggi 8 meter dengan menganalisis stabilitas lereng timbunan perhitungan manual dan metode elemen hingga.

Hasil dari pemodelan lereng asli tanpa perkuatan didapatkan nilai SF sebesar 0,4668 menggunakan metode Fellinius karena plaxis tidak dapat menampilkan nilai SF. Hasil dari perhitungan daya dukung mini pile panjang 12 m  $\leq 177$  kN sedangkan yang 15 m  $\geq 177$  kN sehingga panjang mini pile 15 m yang digunakan untuk analisis stabilitas lereng dengan perkuatan mini pile variasi tanpa replacement tanah dasar pada kondisi konstruksi timbunan, penerapan beban jalan, konsolidasi dan gempa berturut-turut adalah 1,62, 1,218, 1,47, 1,179. Angka aman tidak memenuhi kriteria pada kondisi penerapan beban jalan  $\leq 1,25$ . Sedangkan hasil angka aman (SF) model 2 perkuatan mini pile dengan replacement tanah dasar 1,25 m pada kondisi konstruksi timbunan, penerapan beban jalan, konsolidasi dan gempa berturut-turut adalah 1,64, 1,478, 1,473, 1,175. Dengan angka aman  $\geq 1,25$ , maka lereng aman terhadap keruntuhan.

**Kata kunci :** Angka Aman (SF), *Mini Pile*, Geotekstil, PLAXIS 8.5, Timbunan, Penurunan

## **ABSTRACT**

*Section V Pekanbaru-Dumai Toll Road Project Sta. 79+550 is part of the Trans Sumatra Toll Road section that connects Pekanbaru City with Dumai City. The construction of this toll road section passes through valleys and hills so that to achieve the planned elevation, a fairly high embankment work is required. The problem that arises in the field is that after completion of the soft earth embankment work for the road body that has reached a finish grade height ( $H = 8\text{ m}$ ) there is a decrease accompanied by a slide of half the width of the road. Therefore, it is necessary to analyze the embankment above the swamp to determine the safe number against landslides and the rate of land subsidence that occurs.*

*The embankment slope stability analysis was calculated using the finite element method using the PLAXIS 8.5 program. This research was conducted on an 8 meter high embankment by analyzing the stability of the embankment slope by manual calculations and the finite element method.*

*The results of the original slope modeling without reinforcement obtained an SF value of 0,4668 using the Fellenius method because Plaxis cannot display the SF value. The results of the calculation of the carrying capacity of the mini pile length of  $12\text{ m} \leq 177\text{ kN}$  while the  $15\text{ m} \geq 177\text{ kN}$ . so that the length of the mini pile of  $15\text{ m}$  is used for slope stability analysis with mini pile reinforcement variations without subgrade replacement in embankment construction conditions, application of road loads, consolidation and consecutive earthquakes were 1,62, 1,218, 1,47, 1,179. The safe number does not meet the criteria in the condition of applying a road load  $\leq 1,25$ . Meanwhile, the results of the safe number (SF) model 2 for mini pile reinforcement with subgrade replacement of  $1,25\text{ m}$  under embankment construction conditions, road load application, consolidation and earthquakes were 1,64, 1,478, 1,473, 1,175, respectively. With a safe number  $\geq 1,25$ , the slope is safe against collapse.*

**Keywords :** *Safety Factor (SF), Mini Pile, Geotextile, PLAXIS 8.5, Embankment, Settlement*

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Negara Indonesia merupakan negara berkembang yang saat ini aktif dalam melakukan pembangunan infrastruktur. Salah satunya adalah proyek pembangunan Jalan Tol Pekanbaru – Dumai. Pembangunan jalan tol bertujuan untuk memperlancar lalu lintas pada suatu kawasan yang telah berkembang dan meningkatkan pelayanan distribusi barang dan jasa guna meningkatkan pertumbuhan ekonomi pada kawasan tersebut. Ruas Jalan Tol ini merupakan Ruas jalan Tol yang menghubungkan Kota Pekanbaru dengan Kota Dumai.

Meningkatnya kebutuhan lahan dan berkembangnya pembangunan, mengakibatkan lahan-lahan yang awalnya dianggap tidak layak untuk menopang beban konstruksi justru difungsikan sebagai area pembangunan infrastruktur. Proses pembangunan jalan, sering ditemukan sejumlah permasalahan atau rintangan yang harus ditempuh. Hal tersebut tidak dapat dipungkiri karena Negara Indonesia mempunyai topografi dan jenis tanah yang beragam. Salah satu tantangan yang dihadapi ialah dalam proses pembangunan Jalan Tol Trans Sumatra Seksi V Pekanbaru-Dumai Sta. 79+550 yaitu berada di atas tanah lunak.

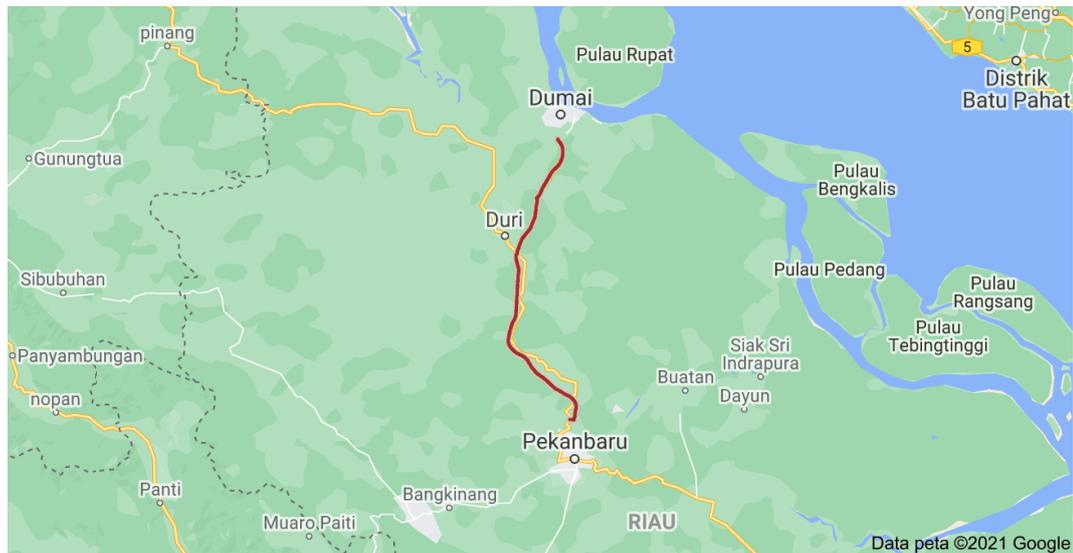
Tanah lunak adalah jenis tanah yang tidak cocok untuk mendukung fondasi pada kondisi alaminya, karena memiliki kadar air tinggi, derajat kejenuhan tinggi, angka pori dan porositas tinggi, tekanan air pori awal tinggi, dan kompresibilitas tinggi sehingga kuat gesernya rendah, dan jika dibebani kerap mengalami penurunan berlebih dan tidak seragam dalam jangka panjang.

Dalam Panduan Geoteknik 4 tahun 2002 dinyatakan tiang berfungsi untuk memindahkan beban timbunan ke lapisan yang lebih teguh di bawah lapisan lunak atau berfungsi untuk mendistribusikan beban melalui kedalaman lapisan dengan memanfaatkan lekatan antara tanah dan permukaan tiang. Tiang akan dapat mengurangi penurunan dan meningkatkan stabilitas timbunan. Konstruksi sistem pelat terpaku yang ditemukan oleh Hardiyatmo (2008) merupakan salah satu sistem

konstruksi yang menggunakan tiang-tiang mini dengan untuk meningkatkan interaksi antara tanah – struktur. Sistem konstruksi ini umumnya diterapkan pada konstruksi perkerasan.

Pada Pembangunan Jalan Trans Sumatra Seksi V Pekanbaru-Dumai Sta. 79+550 merupakan ruas jalan tol yang melewati cekungan serta lembah sehingga diperlukan pekerjaan timbunan tanah yang relatif tinggi guna mencapai elevasi rencana. Lokasi proyek terletak di daerah yang mempunyai curah hujan sedang dengan durasi hujan yang lama, bahkan hujan turun setiap hari yang mengakibatkan air hujan yang jatuh di daerah lereng secara alami akan mengalir ke daerah rendah dengan kecenderungan mengalir ke arah melintang rencana jalan.

Permasalahan yang muncul di lapangan sta.79+550 ialah setelah selesai pekerjaan timbunan tanah untuk badan jalan sudah mencapai ketinggian *finish grade* ( $H= 8$  m) terjadi penurunan yang disertai dengan kelongsoran setengah lebar badan jalan. Kerusakan yang terjadi pada lokasi tersebut berupa penurunan disertai retakan-retakan memanjang arah jalan yang cukup signifikan disertai dengan pergeseran tanah ke arah samping (longsor). Kerusakan tersebut terlokalisir di setengah bagian lebar jalan dan kerusakan memanjang kurang lebih 50 m di Sta, 79+550. Faktor eksternal yang ditengarai ikut berkontribusi atau memperparah kerusakan adalah adanya sumber air permanen di Sta. 79+550, dimana air mengalir secara bebas (air tidak dikendalikan). Aliran air yang berasal dari mata air (sumber air) menyebabkan tanah dasar terendam air, tanah timbunan menyerap air sehingga menyebabkan parameter geser tanah turun yang berakibat pada instabilitas tanah .



**Gambar 1.1 Peta Lokasi Jalan Tol Pekanbaru-Dumai Sta 79+550**  
(Sumber: Google Maps ,2021)



**Gambar 1.2 Kerusakan yang Terjadi di Sta 79+550**  
(Sumber: Geotechnical PT. Eskapindo Matra ,2020)

Berdasarkan persoalan di atas, untuk mencegah terjadi kelongsoran, digunakan perkuatan tanah jenis *mini pile*. perkuatan dengan *mini pile* ini juga dibantu dengan geotekstil supaya tanah tidak turun kebawah. Pemilihan perkuatan tanah jenis ini di dasarkan sebagai perkuatan tanah dasar dalam menyalurkan beban ke lapisan tanah yang lebih bagus di bawahnya. Oleh karena itu diharapkan mampu meningkatkan daya dukung serta angka aman pada lereng tersebut sehingga ruas jalan tol yang dibangun dapat berfungsi secara optimal.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah penulis jabarkan, maka rumusan masalah yang penulis angkat adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana angka aman (*safety factor*) timbunan eksisting?
2. Bagaimana angka aman (*safety factor*) desain lereng dengan perkuatan *geotextile* dengan *replacement* tanah dasar menggunakan metode elemen hingga?
3. Bagaimana daya dukung *mini pile* sebagai perkuatan timbunan dengan data sondir?
4. Bagaimana angka aman (*safety factor*) desain lereng dengan perkuatan *mini pile + geotextile* dengan variasi tanpa *replacement* dan dengan *replacement* tanah dasar menggunakan metode elemen hingga?
5. Bagaimana penurunan segera dan konsolidasi desain lereng dengan perkuatan *mini pile + geotextile* dengan variasi tanpa *replacement* dan dengan *replacement* tanah dasar menggunakan metode elemen hingga?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut.

1. Mengetahui angka aman pada lereng timbunan tanah asli dengan metode elemen hingga dan Fellenius.
2. Mengetahui angka aman (*safety factor*) desain lereng dengan perkuatan *geotextile* dengan *replacement* tanah dasar menggunakan metode elemen hingga
3. Mengetahui daya dukung *mini pile* sebagai perkuatan timbunan dengan data sondir
4. Mengetahui angka aman (*safety factor*) desain lereng dengan perkuatan *mini pile + geotextile* dengan variasi tanpa *replacement* dan dengan *replacement* tanah dasar menggunakan metode elemen hingga
5. Mengetahui penurunan segera dan konsolidasi desain lereng dengan perkuatan *mini pile + geotextile* dengan variasi tanpa *replacement* dan dengan *replacement* tanah dasar menggunakan metode elemen hingga

#### 1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini sebagai berikut.

1. Memberikan informasi lebih jauh serta pengetahuan lebih luas mengenai metode perbaikan tanah menggunakan tiang pondasi *mini pile + geotextile*.
2. Sebagai acuan dalam perencanaan menggunakan *mini pile + geotextile* pada lereng timbunan badan jalan.
3. Memberikan pemahaman terkait kapasitas dukung dan penurunan berbagai dimensi fondasi mini pile pada Proyek Jalan Tol Pekanbaru-Dumai Seksi V.

#### 1.5 Batasan Penelitian

Mengingat kompleksnya permasalahan dalam perhitungan analisis stabilitas lereng dengan perkuatan *mini pile + geotextile* pada lereng jalan, serta porsi Pendidikan sarjana strata satu, maka tugas akhir ini dibatasi pada Batasan masalah sebagai berikut.

1. Data karakteristik tanah yang digunakan adalah data yang berkaitan dengan Proyek Jalan Tol Pekanbaru-Dumai Seksi V Sta. 79+550 tahun 2020.
2. Data Geoteknik yang digunakan adalah hasil penyelidikan tanah Proyek Jalan Tol Pekanbaru-Dumai Seksi V Sta. 79+550 tahun 2020.
3. Analisis timbunan dilakukan dengan perangkat lunak PLAXIS 8.5 2D .
4. Perhitungan manual menggunakan metode Fellenius.
5. Spesifikasi mini pile yang dianalisis diperoleh dari katalog PT. Beton Elemenindo Perkasa.
6. Analisis daya dukung mini pile dilakukan dengan panjang 12m dan 15 m.
7. Analisis elemen hingga dilakukan dengan model *existing* dengan *replacement*, perkuatan *geotextile* dengan *replacement*, perkuatan *mini pile + geotextile* tanpa *replacement* dan perkuatan *mini pile + geotextile* dengan *replacement* 1,25 m.
8. Perencanaan konstruksi hanya pada badan jalan.
9. Dimensi pondasi beton bertulang yang di produksi adalah *Mini piles* beton bertulang ( $f'c = 25$  mpa) ukuran 20 cm x 20 cm.
10. Angka aman (*safety factor*) yang digunakan sebesar 2.

11. Analisis difokuskan pada perilaku penurunan tanah fondasi dan stabilitas lereng timbunan.
12. Beban gempa yang digunakan adalah beban gempa yang mengacu pada peta zonasi gempa ( SNI 1726-2012).
13. Pembebanan lalu lintas sesuai peraturan dari Departemen Pekerjaan Umum tahun 2009 tentang Persyaratan Teknis jalan dan Kriteria Perencanaan Teknis Jalan.
14. Tidak menghitung rencana anggaran biaya.



## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Analisis Stabilitas Lereng Tanpa Perkuatan *Mini Pile*

Kharisma (2020) melakukan penelitian analisis stabilitas lereng dengan perhitungan manual menggunakan metode Fellenius serta metode elemen hingga yaitu Plaxis. Sementara untuk variasi tinggi timbunannya adalah 4m, 6 m, dan 8 m. adapun ketinggian muka air tanah yang terdapat di bawah lapisan tanah keras sesuai dengan parameter tanah yang di dapat. Tahap awal yang dilakukan adalah menganalisis timbunan tanah asli tanpa perkuatan dengan program plaxis. Hasilnya yaitu timbunan dengan tinggi 4 m didapat SF sebesar 1,4866 dan penurunan sebesar 0,371. Untuk timbunan setinggi 6 m didapat SF sebesar 1,7407 dan penurunan sebesar 0,277. Sedangkan timbunan setinggi 8 m mengalami *collapse* sehingga harus dihitung secara manual yaitu menggunakan metode fellenius. Hasil dari perhitungan Fellenius didapat SF 0,802. Hasil tersebut belum memenuhi angka keamanan sebesar 1,5 Selanjutnya dilakukan perhitungan dengan perkuatan geotekstil. Hasil analisis pada timbunan dengan tinggi 4 meter diperoleh hasil angka aman sebesar 2,0216 serta penurunan tanah sebesar 0,277 meter. Hasil tersebut menunjukkan timbunan tanah sangat aman karena memenuhi syarat angka aman sebesar 1,5. Sedangkan pada timbunan dengan tinggi 6 meter diperoleh hasil angka aman sebesar 1,6505serta penurunan tanah sebesar 0,342 meter. Hasil tersebut juga telah memenuhi angka aman sebesar 1,5. Sementara pada timbunan dengan tinggi 8meter memperoleh hasil angka aman sebesar 1,5002 serta penurunan tanah 0,2308 meter. Hasil tersebut tentu aman karena lebih besar dari syarat angka aman sebesar 1,5.

Kurniawan dkk (2003) melakukan kajian analisis stabilitas lereng dengan metode irisan yaitu metode Fellenius dan metode Bishop yang disederhanakan dengan penggunaan aplikasi Geo-Slope dan program Excel. Lereng yang diteliti terdiri dari 3 lapisan tanah yang 7 berbeda, mempunyai  $\gamma_1 = 86 \text{ kN/m}^3$  pada lapisan tanah atas,  $\gamma_2 = 14,87 \text{ kN/m}^3$  pada lapisan tanah tengah dan  $\gamma_3 = 14,35 \text{ kN/m}^3$

pada lapisan tanah bawah. Hasil dari penelitian ini adalah nilai faktor keamanan program Excel menggunakan metode Fellenius dan metode Bishop memiliki nilai lebih besar dari 1 untuk sudut  $45^\circ$ ,  $60^\circ$  dan  $75^\circ$ . Nilai faktor keamanan ini dianggap belum minimum, karena hanya dihitung dengan R dan sudut AOC tetap untuk setiap kemiringan. Sedangkan nilai faktor keamanan program GeoSlope dengan metode Fellenius dan metode Bishop memiliki nilai 1,26 dan 1,31 untuk sudut  $45^\circ$ , memiliki nilai 0 untuk sudut  $60^\circ$ , 0,97 dan 0,99 dan untuk sudut  $75^\circ$  memiliki nilai 0,78 dan 0,76. Dari sini dapat disimpulkan bahwa nilai faktor keamanan teraman adalah pada kemiringan  $45^\circ$ , karena nilai faktor keamanan teraman lebih besar dari 1,

## **2.2 Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan *Mini Pile***

Rachman (2011) melakukan kajian analisis perencanaan perkuatan tanah dasar yang terletak di bawah konstruksi tanggul. Ada tiga perencanaan konstruksi tanggul yaitu Inlet, *Connecting Channel I* dan *Connecting Channel II*. Tanah dasar ini berada di atas tanah lunak setebal  $\pm 9$  m dibawah konstruksi tanggul dan memiliki muka air tanah yang tinggi. Dikarenakan berada di atas tanah lunak, maka kemungkinan akan terjadi pemampatan dari lapisan tanah dasar yang mengakibatkan terjadinya retakan pada badan dan leruntuhan terhadap konstruksi tanggul. Tanah dasar di lokasi ini ternyata tidak mampu menahan beban sebesar tinggi timbunan yang direncanakan, oleh karena itu direncanakan pemberian perkuatan tanah dasar dengan tiga buah perkuatan yaitu Cerucuk, *Stone Column*, dan *Mini pile*. pemasangan perkuatan dibawah konstruksi tanggul dilakukan pada jarak tiap 1 m dengan kedalaman dari hasil analisa yaitu 5m dan 12 m. setelah dilakukan analisa dari tiga buah perkuatan itu, ternyata yang hanya memberikan nilai angka aman yang diinginkan ( $SF > 1,5$ ) hanya perkuatan *Mini pile* sedalam 12 m pada tanah dasar dibawah konstruksi tanggul. Sebelum diberi perkuatan, didapat  $SF < 1$ . Setelah diberi perkuatan yaitu cerucuk, *mini pile* dan *stone column*, didapat perkuatan *mini pile* sedalam 12 m yang memiliki nilai SF 1,889 sehingga jenis perkuatan yang dipilih ialah perkuatan tanah dasar dengan *mini pile*.

Aprillia, dkk (2014) melakukan penelitian analisis tentang perbaikan tanah dasar akibat timbunan. Hal pertama yang dilakukan adalah perhitungan daya dukung untuk mengetahui kemampuan tanah menahan beban tanpa mengalami keruntuhan akibat geser yang juga ditentukan oleh kekuatan geser tanah. Penelitian ini dilakukan di dua lokasi yaitu Desa Piasak dengan jenis tanah gambut dan Desa Kawat dengan jenis tanah lunak. Kegagalan dalam subgrade pondasi timbunan yg terjadi umumnya dalam tanah lunak dan tanah gambut. Tanah lunak dan tanah gambut ini mempunyai kapasitas daya dukung yang kecil, sehingga tidak mampu menahan suatu timbunan yang mungkin cukup besar. Akibatnya, penurunan yang terjadi pada tanah dasarnya dan pada suatu timbunan sendiri sangat besar. Oleh karena itu diberikan perbaikan tanah dasar akibat timbunan dengan cara perkuatan tiang pancang. Dari hasil analisa perhitungan maka didapat hasil perhitungan yang menunjukkan bahwa total pembebanan yang terjadi di kedua desa tersebut, yaitu Dan Desa Piasak dengan total pembebanan sebesar 11,943 t/m<sup>2</sup> Dan Desa Kawat dengan total pembebanan sebesar 18,42 t/m<sup>2</sup>. Daya dukung sebelum perbaikan tanah dasar untuk Desa Piasak dan Desa Kawat menghasilkan daya dukung yang tidak mampu menerima beban yang ada. Karena daya dukung tidak mampu menahan beban sebelum dilakukan perbaikan maka dilakukan perhitungan daya dukung dengan menggunakan perkuatan tiang pancang, dan hasil daya dukung kedua desa tersebut mampu menerima beban yang diterima dan penurunan total yang terjadi di dua lokasi menghasilkan penurunan yang relatif kecil.

### **2.3 Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan *Tiang + Geotextile***

Amin (2019) melakukan penelitian analisis stabilitas lereng Jalan Kemuning Lor Kecamatan Arjasa Kabupaten Jember dengan perkuatan menggunakan geotekstil berlapis. Terjadinya longsor pada musim hujan yang mengakibatkan tanah menjadi jenuh. Untuk mengatasi hal itu, dilakukan analisis stabilitas lereng saat kondisi eksisting, setelah lereng diperbaiki, dan setelah adanya penambahan perkuatan geotekstil berlapis dengan menggunakan program SLOPE/W. pada perhitungan manual menggunakan metode irisan Bishop. Berdasarkan hasil analisis analisis stabilitas lereng pada kondisi eksisting didapat angka keamanan

terhadap longsor lebih kecil dari 1. Setelah itu dilakukan perbaikan kemiringan lereng yang awalnya 320 menjadi 450 dengan ketinggian 24 m. setelah diberi penambahan pemasangan geotekstil berlapis, didapat angka keamanan lebih besar dari 2. Dikarenakan daya dukung tanah dasar kecil maka dilakukan penambahan pondasi tiang cerucuk untuk membantu stabilan daya dukung tanah dasar. Maka stabilitas lereng pada Jalan Kemuning Lor Kabupaten Jember menjadi aman.



## 2.4 Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Sekarang

**Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Sekarang**

Penelitian Terdahulu						Penelitian yang akan dilakukan
Peneliti	Kurniawan, dkk (2003)	Rachman, S.F. (2011)	Aprillia, dkk (2014)	Amin, S.R (2019)	Kharisma, H.I. (2020)	Rahmita Zerisa (2021)
Judul Penelitian	Stabilitas Lereng Berdasarkan Metode Fellinius dan Metode Bishop Terhadap Variasi Tebal Pias dan Sudut Kemiringan.	Perencanaan Perkuatan Tanah Dasar Di Bawah Konstruksi Tanggul Waduk Jabung, Lamongan.	Perbaikan Tanah Dasar Akibat Timbunan Pada jalan Akses Jembatan Tayan.	Analisis Kestabilan Lereng Dengan Perkuatan Geotekstil Pada Lereng Jalan Kemuning Lor Kecamatan Arjasa Kabupaten Jember.	Analisis Stabilitas Lereng Menggunakan Geotekstil dengan Program Plaxis.	Analisis Stabilitas Lereng Menggunakan <i>Mini Pile + Geotextile</i> dengan Program PLAXIS.
Tujuan penelitian	Mengetahui nilai SF yang paling aman.	Mengetahui perkuatan tanah dasar yang tepat dan memiliki nilai SF yang paling aman	Mengetahui metode perbaikan tanah dasar yang mampu untuk mendukung tanah timbunan diatasnya.	Mengetahui nilai angka aman timbunan pada saat kondisi eksisting, timbunan dengan perkuatan geotekstil berlapis.	Mengetahui perbandingan nilai angka aman dan penurunan tanah antara tanah timbunan dengan perkuatan dan tanpa perkuatan.	Mengetahui hubungan stabilitas lereng antara timbunan eksisting, serta timbunan dengan perkuatan mini pile + geotekstil menggunakan program PLAXIS

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Sekarang

Penelitian Terdahulu						Penelitian yang akan dilakukan
Peneliti	Kurniawan, dkk (2003)	Rachman, S.F. (2011)	Aprillia, dkk (2014)	Amin, S.R (2019)	Kharisma, H.I. (2020)	Zerisa (2021)
Metode Penelitian	Metode irisan yaitu metode Fellinius dan metode Bishop yang disederhanakan dengan penggunaan aplikasi program Excel dan Geo-Slope.	Metode elemen hingga yaitu PLAXIS	Metode elemen hingga yaitu PLAXIS	Menggunakan program SLOPE/W serta perhitungan manual menggunakan metode irisan Bishop	Perhitungan manual dengan metode fellinius dan metode elemen hingga yaitu PLAXISs	Metode Fellinius dan metode elemen hingga yaitu PLAXIS
Hasil Penelitian	Nilai faktor keamanan yang paling aman adalah pada kemiringan $45^\circ$ , karena nilai faktor keamanan yang paling aman adalah lebih besar dari 1.	Sebelum diberi perkuatan, didapat $SF < 1$ . Setelah diberi perkuatan yaitu cerucuk, <i>mini pile</i> dan <i>stone column</i> , didapat perkuatan <i>mini pile</i> sedalam 12 m yang	Total pembebanan pada Desa Kawat 18,42 t/m <sup>2</sup> dan Desa Piasak 11,943 t/m <sup>2</sup> . Daya dukung sebelum perbaikan tanah dasar	Stabilitas lereng saat kondisi eksisting didapat angka kemanan $< 1$ . Setelah diberi perkuatan dengan geotekstil berlapis didapat angka kemanan $> 2$ . Karena daya dukung	Timbunan tanah asli mengalami <i>collapse</i> pada tinggi 8m, sementara pada tinggi 6 m mendapat SF sebesar 1,4886 dan tinggi timbunan 4m mendapat SF sebesar 1,7407.	Analisa stabilitas lereng dengan perkuatan mini pile + geotextile dengan replacement 1,25 m dapat meningkatkan angka kemanan dan mengurangi penurunan yang terjadi.

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Sekarang

Penelitian Terdahulu						Penelitian yang akan dilakukan
Peneliti	Kurniawan, dkk (2003)	Rachman, S.F. (2011)	Aprillia, dkk (2014)	Amin, S.R (2019)	Kharisma, H.I. (2020)	Rahmita Zerisa (2021)
Hasil Penelitian		Memiliki nilai SF 1,889 sehingga jenis perkuatan yang dipilih ialah perkuatan tanah dasar dengan <i>mini pile</i>	keduanya tidak mampu menerima beban yang ada. Setelah diberikan perbaikan tiang pancang, daya dukung mampu menerima beban	Tanah dasar yang kecil maka dilakukan penambahan pondasi tiang cerucuk untuk membantu stabilan daya dukung sehingga stabilitas lereng jalan aman.	Setelah timbunan diperkuat geotekstil, timbunan dalam kondisi SF yang aman serta penurunan dapat mengecil	Analisa stabilitas lereng dengan perkuatan mini pile + geotextile dengan replacement 1,25 m dapat meningkatkan angka kemanan dan mengurangi penurunan yang terjadi.

## **BAB III**

### **LANDASAN TEORI**

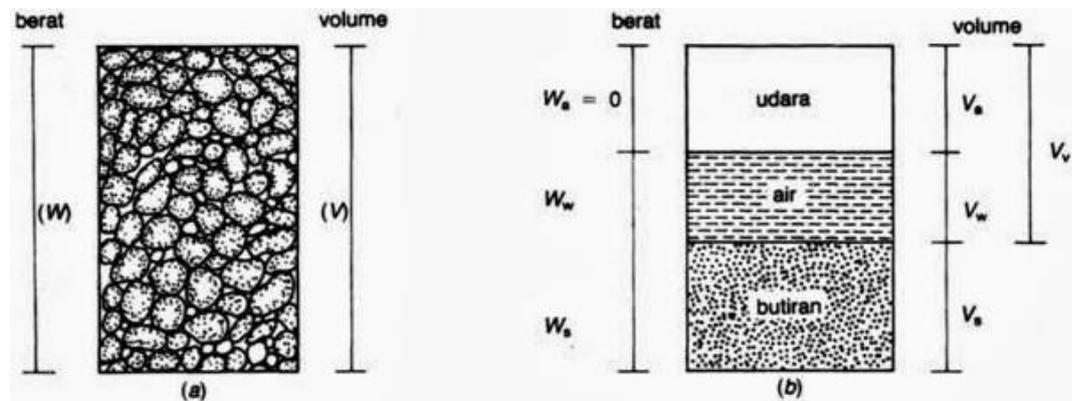
#### **3.1 Tanah**

Tanah adalah himpunan mineral ,bahan organik dan endapan-endapan yang relatif lepas ,yang terletak diatas batuan dasar.Ikatan antara butiran yang relatif lemah dapat disebabkan oleh karbonat,zat organik atau oksida-oksida yang mengendap diantara partikel-partikel. Ruang antara partikel-partikel dapat berisi air,udara ,ataupun keduanya yang terletak diatas batuan dasar (*bed rock*) ( Hardiyatmo, 2002). Istilah pasir ,lempung, lanau ataupun lumpur dimanfaatkan untuk menggambarkan ukuran partikel pada batas ukuran butiran yang telah ditentukan. Istilah tersebut juga dimanfaatkan untuk menggambarkan sifat tanah yang khusus. sebagaimana tanah lempung yang memiliki sifat kohesif dan plastis, dan pasir digambarkan sebagai tanah yang tidak kohesif dan tidak plastis.

Proses pembentukan fisik tanah dimana batuan menjadi partikel yang lebih kecil karena pengaruh erosi, angin, air, es, manusia, atau hancurnya partikel tanah karena perubahan suhu atau cuaca. Partikel bisa bulat, bergerigi, atau bentuk apa pun di antaranya. Secara umum, di bawah pengaruh oksigen, karbon dioksida, air (terutama air asam atau basa) dan proses kimia lainnya, pelapukan dapat terjadi melalui proses kimia. Misalnya, jika hasil pelapukan masih ada, tanah semacam ini disebut tanah sisa, jika tanah berubah posisinya disebut tanah terangkut.

##### **3.1.1 Propertis Tanah**

Pada dasarnya segumpal tanah dapat terdiri dari dua sampai tiga bagian, yaitu partikel tanah, air dan udara. Tanah Dalam keadaan kering, yang hanya memiliki dua bagian, yaitu partikel tanah dan pori-pori udara. Dalam tanah jenuh, ada juga dua bagian: partikel tanah dan air pori. Dalam keadaan tanah tak jenuh, tanah terdiri dari tiga bagian: partikel tanah, stomata dan pori-pori air.



**Gambar 3.1 Diagram Fase Tanah**

(sumber : Hardiyatmo, 2002)

Gambar 3.1a menunjukkan elemen tanah yang mempunyai volume  $V$  dan berat total  $W$ , sedangkan Gambar 3.1b menunjukkan hubungan antara berat dengan volume. Dari gambar tersebut didapatkan persamaan – persamaan yang dinyatakan dalam Persamaan 3.1 – 3.3.

$$W = W_s + W_w \quad (3.1)$$

dan

$$V = V_s + V_w + V_a \quad (3.2)$$

$$V_v = V_w + V_a \quad (3.3)$$

Keterangan :

- $W$  = berat total
- $W_s$  = berat butiran padat
- $W_w$  = berat air
- $V$  = volume total
- $V_s$  = volume butiran padat
- $V_w$  = volume air
- $V_a$  = volume udara
- $V_v$  = volume rongga

1. Berat Volume Basah ( $\gamma_b$ )

Berat tanah basah dalam satu satuan volume tanah atau perbandingan antara berat tanah basah ( $W$ ) dengan volume tanah ( $V$ ) dan dapat dinyatakan dalam Persamaan 3.4.

$$\gamma_b = \frac{W}{V}$$

$$\gamma_b = \frac{G_s \gamma_w (1+w)}{1+e} \quad (3.4)$$

2. Berat Volume Kering ( $\gamma_d$ )

Berat tanah kering dalam satu satuan volume tanah atau perbandingan antara berat tanah kering ( $W_s$ ) dengan volume tanah ( $V$ ) dan dapat dinyatakan dalam Persamaan 3.5.

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V}$$

$$\gamma_d = \frac{G_s \gamma_w}{1+e} \quad (3.5)$$

3. Berat Volume Butiran Padat ( $\gamma_s$ )

Berat tanah butiran tanah kering dalam satu satuan volume butiran tanah atau perbandingan antara berat butiran padat ( $W_s$ ) dengan volume butiran padat ( $V_s$ ) dan dinyatakan dalam Persamaan 3.6.

$$\gamma_s = \frac{W_s}{V_s} \quad (3.6)$$

4. Berat volume tanah dalam keadaan jenuh air ( $S=1$ )

Berat volume tanah dalam keadaan jenuh air dinyatakan dengan Persamaan 3.7

$$\gamma_{sat} = \frac{\gamma_w(G_s + e)}{1 + e} \quad (3.7)$$

5. Sudut geser dalam

Sudut geser dalam pada lereng sta.79+550 diperoleh berdasarkan korelasi nilai- nilai sudut geser dalam lecarlereng pada keadaan asli di lapangan dari berbagai jenis tanah yang disarankan oleh Carter dan Bentley (1991) dalam buku (Das,1995). Tabel nilai-nilai sudut geser dalam pada keadaan asli di lapangan dapat dilihat pada Tabel 3.1.

**Tabel 3.1 Sudut Geser Dalam**

No	Description	Friction Angel (°)	
		Min	Max
1	<i>Silty gravels, silty sandy gravels</i>	30	40
2	<i>Clayey gravels, clayey sandy gravels</i>	28	35
3	<i>Silty sands loose</i>	27	33
4	<i>Silty sands dense</i>	30	34
5	<i>Clayey sands</i>	30	34
6	<i>Clayey sands compacted</i>	-	31
7	<i>Inorganic silt, silty or clayey fine sands, with slight plasticity</i>	27	41
8	<i>Inorganic clays</i>	17	31
9	<i>Peat and other highl organic soils</i>	-	-

Sumber: Carter dan Bantley (1991)

6. Sudut dilatasi

Sudut dilatasi tergantung pada kerapatan dan sudut geser nya. Pada umumnya sudut dilatasi yaitu 30°. Pada tanah pasir biasanya sudut dilatasinya 0°. Untuk tanah lain sudut dilatasi dapat dilihat pada Persamaan 3.8 berikut ini.

$$\psi = \phi - 30^\circ \quad (3.8)$$

7. Kohesi

Kohesi adalah gaya tarik antar partikel tanah. Bersama dengan sudut geser dalam, kohesi ialah parameter kuat geser tanah yang menentukan ketahanan tanah terhadap deformasi akibat tegangan yang bekerja pada tanah. Dalam

hal ini berupa gerakan lateral tanah. Nilai ini didapat dari pengujian *Triaxial test* dan *Direct Shear Test*.

8. Permeabilitas  
Permeabilitas didefinisikan sebagai sifat bahan berpori yang memungkinkan aliran rembesan dalam bentuk air atau minyak mengalir melalui rongga berpori. Pori-pori tanah saling berhubungan sehingga air dapat mengalir dari tekanan tinggi ke tekanan rendah. Dalam tanah, permeabilitas didefinisikan sebagai sifat tanah yang mengalirkan air melalui pori-pori dalam tanah. Menurut Das (1983) dalam Mekanika Tanah 1 Edisi Keenam untuk kisaran nilai permeabilitas untuk jenis tanah, hal ini dapat dilihat pada Tabel 3.2 di bawah ini.

**Tabel 3.2 Kisaran Nilai Permeabilitas Tanah**

No	Jenis Tanah	$k$ (mm/detik)
1	Butiran kasar	$10 - 10^3$
2	Kerikil halus, butiran kasar bercampur pasir butiran sedang	$10^{-2} - 10$
3	Pasir halus, lanau longgar	$10^{-4} - 10^{-2}$
4	Lanau padat, lanau berlempung	$10^{-5} - 10^{-4}$
5	Lempung berlanau, lempung	$10^{-8} - 10^{-5}$

Sumber : Hardiyatmo (2002)

9. Modulus Elastisitas  
Modulus elastisitas adalah suatu nilai yang menunjukkan besarnya angka elastisitas lantai dari perbandingan antara tegangan dan regangan yang terjadi. Perkiraan nilai ini dapat ditentukan dari jenis tanah seperti pada Tabel 3.3. di bawah ini

**Tabel 3.3 Nilai Perkiraan Modulus Elastisitas Tanah**

Macam Tanah	E(kN/m <sup>2</sup> )
<b>LEMPUNG</b>	
Sangat lunak	300-3000
Lunak	2000-4000
Sedang	4500-5000
Keras	7000-20000
Berpasir	30000-42500
<b>PASIR</b>	
Berlanau	5000-20000
Tidak padat	10000-25000
Padat	50000-100000
<b>PASIR DAN KRIKIL</b>	
Padat	80000-200000
Tidak padat	50000-140000
LANAU	2000-20000
LOESS	15000-60000
CADAS	140000-1400000

Sumber : Bowles (1977)

Nilai-nilai  $E$  yang digunakan dalam persamaan (3.9), terdapat beberapa usulan nilai  $E$  yang diberikan oleh peneliti yang lain. Hasil-hasil uji kerucut statis (sondir) yang dilakukan oleh De Beer (1965) memberikan korelasi antara tahanan kerucut  $q_c$  dan  $E$  seperti dalam persamaan 3.9 sebagai berikut:

$$E = 2q_c \quad (3.9)$$

Dengan  $q_c$  dalam kg/cm<sup>2</sup>. Bowles (1977) mengusulkan persamaan yang dihasilkan dari pengumpulan data uji kerucut statis (sondir) seperti dalam persamaan 3.10 dan 3.11 sebagai berikut

$$E = 3 q_c \text{ kg/cm}^2 \text{ (untuk pasir)} \quad (3.10)$$

$$E = 2 q_c \text{ sampai } 8 q_c \text{ kg/cm}^2 \text{ (untuk lempung)} \quad (3.11)$$

#### 10. *Poissson Ratio*

Nilai *poisson ratio* ditentukan sebagai rasio kompresi poros terhadap regangan pemuaian lateral. Nilai ini dapat ditentukan berdasarkan jenis tanah seperti pada Tabel 3.4. di bawah ini.

**Tabel 3.4 Perkiraan Rasio Poisson**

<b>Macam Tanah</b>	<b><math>\nu</math></b>
Lempung jenuh	0,40 – 0,50
Lempung tak jenuh	0,10 – 0,50
Lempung berpasir	0,20 – 0,30
Lanau	0,30 – 0,35
Pasar padat	0,20 – 0,40
Pasar kasar ( $e= 0,4 - 0,7$ )	0,15
Pasar halus ( $e= 0,4 - 0,7$ )	0,25
Batu	0,10 – 0,40
Loesss	0,10 – 0,30
Beton	0,15

Sumber: Bowles(1977)

#### 3.1.2 Klasifikasi Tanah

Sistem klasifikasi tanah adalah suatu sistem pengaturan beberapa jenis tanah yang berbeda-beda tapi mempunyai sifat yang serupa ke dalam kelompok-kelompok dan subkelompok-subkelompok berdasarkan pemakaiannya. Sistem klasifikasi berfungsi sebagai penjelasan singkat dari sifat-sifat umum tanah yang sangat bervariasi tanpa penjelasan yang terperinci. Sistem klasifikasi yang sudah ada dan dikembangkan sebagian besar didasarkan pada sifat-sifat indeks tanah yang sederhana (Das,1995).

##### 1. Sistem klasifikasi AASHTO

Sistem klasifikasi ini dikembangkan dalam tahun 1929 sebagai *Public Road Administration Classification System*. Dalam sistem ini tanah diklasifikasikan menjadi 7 kelompok besar yaitu A-1 sampai dengan A-7. Tanah yang diklasifikasikan ke dalam A-1, A-1, dan A-3 merupakan tanah berbutir dimana 35% atau kurang dari jumlah butiran tanah tersebut lolos ayakan No. 200. Sedangkan tanah yang lebih dari 35% butirannya lolos ayakan No.200

diklasifikasikan ke dalam kelompok A-4, A-5, A-6, dan A-7 yang sebagian besar adalah lanau dan lempung. Untuk pengklasifikasiannya dapat dilihat seperti pada Tabel 3.5. dibawah ini.



**Tabel 3.5 Klaisifikasi Tanah System AASHTO**

Klasifikasi umum	Material granuler (< 35% lolos saringan no.200)							Tanah-tanah lanau-lempung (< 35% lolos saringan no.200)			
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
Klasifikasi kelompok	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5/A-7-6
Analisis saringan (% lolos)											
2,00 mm (no.10)	50 maks	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,425 mm (no.40)	30 maks	50 maks	51 min	-	-	-	-	-	-	-	-
0,075 mm (no.200)	15 maks	25 maks	10 maks	35 maks	35 maks	35 maks	35 maks	36 min	36 min	36 min	36 min
Sifat fraksi lolos saringan no.4											
Batas cair (LL)	-	-	-	40 maks	41 min	40 maks	41 min	40 maks	41 min	40 maks	41 min
Indeks plastis (PI)	6 maks		Np	10 maks	10 maks	11 min	11 min	10 maks	10 maks	11 min	11 min
Indeks kelompok (G)	0		0	0		4 maks		8 maks	12 maks	16 maks	2- maks
Tipe material yang pokok pada umumnya	Pecahan batu, kerikil dan pasir		Pasir halus	Kerikil berlanau atau berlempung dan pasir				Kerikil berlanau atau berlempung dan pasir		Tanah berlempung	
Penilaian umum sebagai tanah dasar	Sangat baik sampai baik							Sedang sampai buruk			
Catatan: Kelompok A-7 dibagi atas A-7-5 dan A-7-6 bergantung pada batas plastisnya (PL) Untuk PL > 30, klasifikasinya A-7-5 Untuk PL < 30, klasifikasinya A-7-6 Np = nonplastis											13

Sumber: Hardiyatmo (2002)

## 2. Klasifikasi Tanah Sistem *Unified*

Pada sistem *Unified*, tanah diklasifikasikan ke dalam tanah berbutir kasar (kerikil dan pasir) jika kurang dari 50% lolos saringan nomor 200, dan sebagai tanah berbutir halus (lanau/lempung) jika lebih dari 50% lolos saringan nomor 200. Selanjutnya, tanah diklasifikasikan dalam sejumlah kelompok dan sub kelompok yang dapat dilihat dalam Tabel 3.1. Simbol-simbol yang digunakan tersebut adalah:

*G* = kerikil (*gravel*)

*S* = pasir (*sand*)

*C* = lempung (*clay*)

*M* = lanau (*silt*)

*O* = lanau atau lempung organik (*organic silt or clay*)

*Pt* = tanah gambut dan tanah organik tinggi (*peat and highly organic soil*)

*W* = gradasi baik (*well-graded*)

*P* = gradasi buruk (*poorly graded*)

*H* = plastisitas tinggi (*high-plasticity*)

*L* = plastisitas rendah (*low plasticity*)

Prosedur untuk menentukan klasifikasi tanah sistem *Unified* adalah sebagai berikut:

- a. Menentukan apakah tanah berupa butiran halus atau butiran kasar secara visual atau dengan cara menyaringnya dengan saringan nomor 200.
- b. Jika tanah berupa butiran kasar;
  - 1) Menyaring tanah tersebut dan gambarkan grafik distribusi
  - 2) Menentukan persen butiran lolos saringan no.4. Bila persentase yang lolos kurang dari 50%, klasifikasikan tanah tersebut sebagai kerikil. Bila persen butiran yang lolos lebih dari 50%, klasifikasikan sebagai pasir.
  - 3) Menentukan jumlah butiran yang lolos saringan no.200. Jika persentase butiran yang lolos kurang dari 5%, pertimbangkan bentuk grafik distribus butiran dengan menghitung  $C_u$  dan  $C_c$ . Jika

termasuk bergradasi baik, maka klasifikasikan sebagai GW (bila kerikil) atau SW (bila pasir). Jika termasuk bergradasi buruk, klasifikasikan sebagai GP (bila kerikil) atau SW (bila pasir). Jika persentase butiran tanah yang lolos saringan no.200 diantara 5 sampai 12%, tanah akan mempunyai simbol dobel dan mempunyai sifat keplastisan (GW - GM, SW - SM, dan sebagainya).

- 4) Jika persentase butiran yang lolos saringan no.200 lebih besar 12%, harus dilakukan uji batas-batas Atterberg. dengan menyingkirkan butiran tanah yang tinggal dalam saringan no.40. Kemudian, dengan menggunakan diagram plastisitas, ditentukan klasifikasinya (GM, GC, SM, SC, GM - GC atau SM - SC).

c. Jika tanah berbutir halus:

- 1) Menyingkirkan butiran tanah yang tinggal dalam saringan no.40. Jika batas cair lebih dari 50, klasifikasikan sebagai H (plastisitas tinggi) dan jika kurang dari 50, klasifikasikan sebagai L (plastisitas rendah).
- 2) Untuk H (plastisitas tinggi), jika plot batas-batas Atterberg pada grafik plastisitas di bawah garis A, tentukan apakah tanah organik (OH) atau anorganik (MH). Jika plotnya jatuh di atas garis A, klasifikasikan sebagai CH.
- 3) Untuk L (plastisitas rendah), jika plot batas-batas Atterberg pada grafik plastisitas di bawah garis A dan area yang diarsir, tentukan apakah tanah organik (OL) atau anorganik (ML) berdasar warna, bau, atau perubahan batas cair dan batas plastisnya dengan mengeringkannya di dalam oven.
- 4) Jika plot batas-batas Atterberg pada grafik plastisitas jatuh pada area yang diarsir, dekat dengan garis A atau nilai LL sekitar 50, gunakan simbol dobel. Berikut adalah sistem klasifikasi Unified yang ditampilkan pada Tabel 3.6. di bawah ini.

Tabel 3.6 Klasifikasi Tanah Sistem *Unifield*

Divisi utama		Simbol kelompok	Nama jenis	
Tanah berbutir kasar 50% atau lebih lolos saringan no. 200 (0,075 mm)	Kerikil 50% atau lebih dari fraksi kasar tertahan saringan no. 4 (4,75 mm)	Kerikil bersih (sedikit atau tak ada butiran halus)	GW	Kerikil gradasi baik dan campuran pasir-kerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran Halus
			GP	Kerikil gradasi buruk dan campuran pasir-kerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran Halus
		Kerikil banyak kandungan butiran halus	GM	Kerikil berlanau, campuran kerikil pasir-lempung
			GC	Kerikil berlempung, campuran kerikil pasir-lempung
	Pasir lebih dari lolos saringan no. 4 (4,75 mm)	Kerikil bersih (sedikit atau tak ada butiran halus)	SW	Pasir gradasi baik, pasir berkerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus
			SP	Pasir gradasi buruk, pasir berkerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus
		Kerikil banyak kandungan butiran halus	SM	Pasir berlanau, campuran pasir-lanau
			SC	Pasir berlempung, campuran pasir-lempung
Tanah berbutir halus 50% atau lebih lolos saringan no. 200 (0,075 mm)	Lanau dan lempung batas cair 50% atau kurang	ML	Lanau tak organik dan pasir sangat halus, serbuk batuan atau pasir halus berlanau atau Berlempung	
		CL	Lempung tak organik dengan plastisitas rendah sampai sedang, lempung berkerikil, lempung berpasir, lempung berlanau	
		OL	Lanau organik dan lempung berlanau organik dengan plastisitas rendah	
	Lanau dan lempung batas cair > 50%	MH	Lanau tak organik atau pasir halus, lanau elastis	
		CH	Lempung tak organik dengan plastisitas tinggi	
		OH	Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai tinggi	
Tanah dengan kadar organik tinggi		P <sub>t</sub>	Gambut dan tanah lain dengan kandungan organik tinggi	

Sumber : Hardiyatmo (2002)

Berikut adalah klasifikasi tanah berdasarkan sistem USCS yang ditampilkan dalam Tabel 3.7 berikut ini.

**Tabel 3.7 Klasifikasi Tanah Sistem USCS**

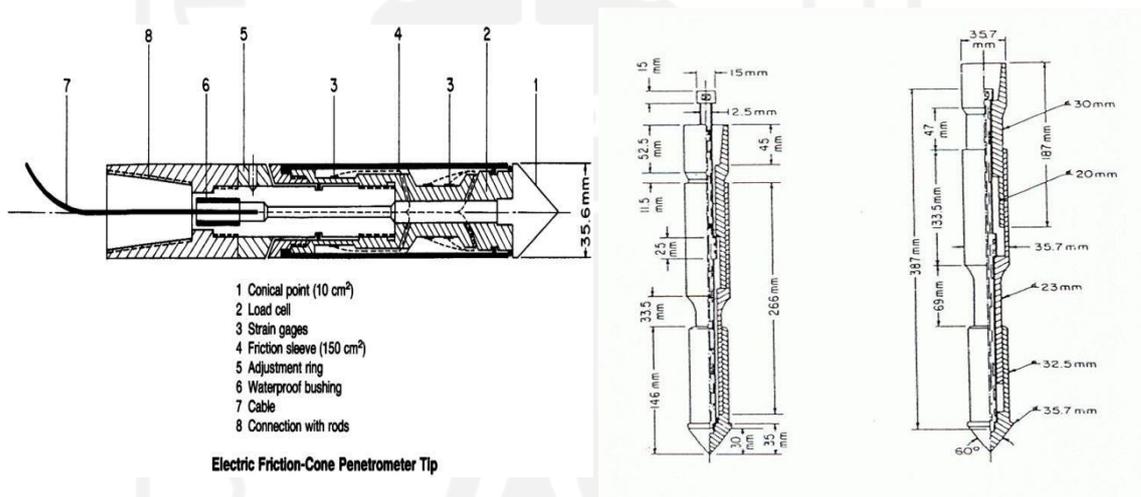
		Kriteria Klasifikasi	
Klasifikasi berdasarkan persentas butir halus	GW, GP, SW, SP GM, GC, SM, SC Klasifikasi perbatasan yang memerlukan penggunaan	$C_u = D_{60} / D_{10}$ Lebih besar dari 4 $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ Antara 1 dan 3	
		Tidak memenuhi kedua kriteria untuk GW	
	Batas-batas <i>Atterberg</i> di bawah garis A atau $PI < 4$	Batas-batas <i>Atterberg</i> yang digambar dalam daerah yang diarsir merupakan klasifikasi batas yang membutuhkan simbol ganda	
	Batas-batas <i>Atterberg</i> di atas garis A atau $PI > 7$		
	Kurang dari 5% lolos ayakan No. 200 Lebih dari 12% lolos ayakan No. 200 5% sampel 12% lolos ayakan No.200	$C_u = D_{60} / D_{10}$ Lebih besar dari 6 $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ Antara 1 dan 3	
		Tidak memenuhi kedua kriteria untuk SW	
		Batas-batas <i>Atterberg</i> di bawah garis A atau $PI < 4$	Batas-batas <i>Atterberg</i> yang digambar dalam daerah yang diarsir merupakan klasifikasi batas yang membutuhkan simbol ganda
		Batas-batas <i>Atterberg</i> di atas garis A atau $PI > 7$	
<p>Untuk mengklasifikasi kadar butiran halus yang terkandung dalam tanah berbutir halus dan kasar. Batas <i>Atterberg</i> yang termasuk dalam daerah yang diarsir berarti Batasan klasifikasinya Menggunakan simbol.            Persamaan garis A :  <math>PI = 0,78(LL-20)</math></p>			
Manual untuk identifikasi secara visual dapat dilihat dalam ASTM Designation D-2488			

Sumber : Hardiyatmo (2002)

## 3.2 Penyelidikan Tanah di Lapangan

### 3.2.1 Cone Penetration Test (CPT)

*Cone Penetration Test (CPT)* atau Uji Sondir adalah pengujian sederhana yang digunakan untuk lempung lunak dan pasir halus hingga pasir semi kasar. Pengujian ini tidak digunakan pada tanah berkerikil dan tanah liat yang kaku/keras. Tes ini dilakukan dengan mendorong kerucut baku ke dalam tanah dengan kecepatan 10mm hingga 20mm per detik. Pengujian ini dimaksudkan untuk mengetahui perlawanan penetrasi ujung konus ( $q_c$ ) dan hambatan lekat ( $f_s$ ) tanah. Alat-alat yang digunakan untuk pengujian ini ditunjukkan pada Gambar 3.2. berikut ini.



**Gambar 3.2 Bentuk Konus Litrik dan Sondir Mekanis**

(Sumber : Raharjo, 2005)

Interpretasi *Cone Penetration Test (CPT)*:

#### 1. Tahanan Ujung ( $q_c$ )

Tahanan ujung didapat dari penekanan ujung konus guna memperoleh perlawanan tanah yang dipenetrasi. Tahanan ujung diukur sebagai gaya penetrasi satuan luas ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ ) dari penampang ujung konus ( $q_c$ ). Besarnya nilai ini menunjukkan identifikasi jenis tanah. Di tanah berpasir, perlawanan ujung yang besar menunjukkan tanah berpasir yang padat. Sedangkan perlawanan ujung yang kecil menunjukkan pasir halus.

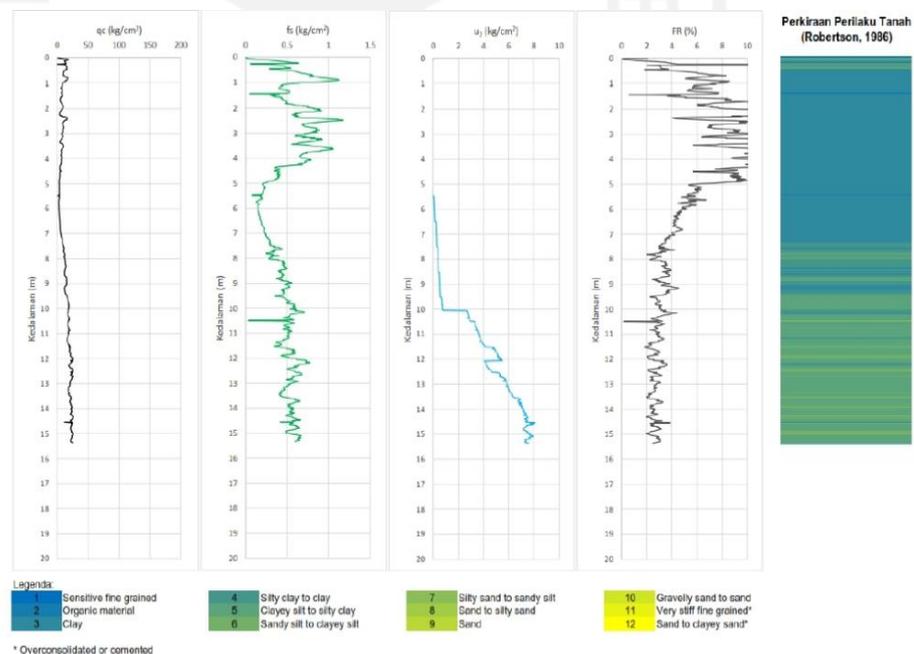
Perlawanan ujung yang kecil juga menunjukkan tanah lempung karena kekuatan geser yang rendah dan pengaruh tekanan air pori saat penetrasi.

2. Gesekan selimut ( $f_s$ )

Gesekan selimut ( $f_s$ ) dihasilkan dari perlawanan geser tanah terhadap selubung konus. Gesekan selimut diukur sebagai gaya penetrasi per satuan panjang (kg/cm).

3. *Friction Ratio* ( $f_g$ )

*Friction Ratio* adalah rasio antara gesekan selimut ( $f_s$ ) dan tahanan ujung ( $q_c$ ) dikalikan 100%. Rasio gesekan ( $f_s/q_c$ ) dari hasil Sondir dapat digunakan untuk membedakan tanah berbutir halus dengan tanah berbutir kasar (memperkirakan jenis tanah yang diperiksa). Gambut umumnya mempunyai rasio gesekan  $f_g > 5$  atau 6 persen dan pasir umumnya mempunyai rasio gesekan  $f_g < 1$  persen, serta rasio gesekan lempung lebih besar (Bowles, 1997). Contoh hasil pengujian Sondir atau Cpt ditunjukkan pada Gambar 3.3. berikut ini.



Gambar 7 – Stratifikasi tanah CPTU – 03 STA 79+000

**Gambar 3.3 Contoh Hasil CPTU Sta. 79+550**

(Sumber: PT.Eskapindo, 2020)

### 3.3 Stabilitas Lereng

#### 3.3.1 Umum

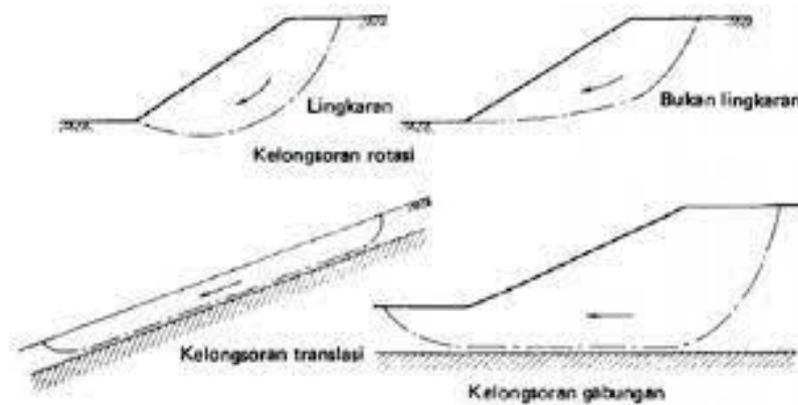
Stabilitas lereng adalah suatu faktor yang sangat penting dalam pekerjaan yang berkaitan dengan penimbunan tanah, penggalian, batuan, dan bahan galian karena berkaitan dengan persoalan manusia (pekerja), kelamcaran produksi serta keamanan peralatan. Kondisi ini terdapat dalam bermacam-macam jenis pekerjaan, misalnya pada pembuatan bendungan, penggalian untuk konstruksi, penggalian kanal, penambangan, dan lain-lain.

Pada permukaan tanah non horizontal, gravitasi cenderung menggerakkan tanah ke bawah. Jika gerakan gravitasi melebihi perlawanan terhadap geseran yang dapat dikerahkan tanah pada bidang longsornya, maka akan terjadi keruntuhan lereng. Penyebab terjadinya keruntuhan lereng adalah tidak tersedianya kuat geser tanah yang cukup untuk menahan gerakan tanah longsor kebawah, pada bidang longsornya. Namun, keruntuhan dapat terjadi lereng karena hal berikut.

1. Penambahan beban pada lereng
2. Pemotongan atau penggalian tanah pada kaki lereng
3. Perubahan posisi muka air dengan cepat
4. Penggalian yang mengakaibatkan semakin tajamnya kemiringan lereng
5. Kenaikan tekanan lateral oleh air, dan
6. Gempa bumi

Pada dasarnya bentuk atau pola keruntuhan lereng bergantung pada jenis tanah yang terdapat pada lereng tersebut. Pengamatan longSORan lereng oleh Collin (1846) menunjukkan bahwa sebagian besar keruntuhan lereng terjadi dalam bentuk bidang longSOR berupa lengkungan atau rotasi. Pada tanah kohesif, keruntuhan sering terjadi karena peningkatan kadar air. Namun, ada juga bentuk atau pola keruntuhan translasi. Keruntuhan jenis ini biasanya terjadi pada tanah dasar keras.

Tipe pola keruntuhan dapat dilihat pada Gambar 3.4. berikut ini.



**Gambar 3.4 Pola Keruntuhan Lereng**  
(Sumber : Craig, 1989)

Tanah longsor dapat terjadi pada suatu lereng. Oleh karena itu perlu dilakukan pemeriksaan terhadap lereng tersebut apakah longsor atau tidak. Analisis stabilitas lereng adalah upaya untuk memverifikasi keamanan lereng alami, lereng galian, atau lereng timbunan. Melakukan analisis ini tidak mudah karena banyak faktor yang dapat mempengaruhi hasil perhitungan, seperti pada jenis tanah yang beragam, nilai kuat geser dapat berubah-ubah tergantung iklim, terdapat aliran rembesan air dalam tanah dan lain sebagainya.

Berdasarkan Hardiyatmo (2003) faktor keamanan didefinisikan sebagai nilai banding antara gaya yang menahan dan gaya yang menggerakkan, yang dinyatakan dengan Persamaan 3.12. berikut ini.

$$F = \frac{\tau}{\tau d} \quad (3.12)$$

Keterangan:

$\tau$  = tahanan geser yang dapat dikerahkan tanah ( $\text{kN/m}^2$ )

$\tau d$  = tegangan geser yang terjadi akibat gaya berat tanah yang akan longsor ( $\text{kN/m}^2$ )

F = faktor aman

Menurut teori Mohr-Coulomb dalam Hardiyatmo (2003), tahanan

terhadap tegangan geser ( $\tau$ ) yang dapat dikerahkan oleh tanah, di sepanjang bidanganya, dinyatakan dalam Persamaan 3.13.

$$\tau = c + \sigma \tan \phi \quad (3.13)$$

Keterangan:

$\tau$  = tahanan geser yang dapat dikerahkan tanah ( $\text{kN/m}^2$ )

$c$  = kohesi ( $\text{kN/m}^2$ )

$\phi$  = sudut gesek dalam tanah ( $^\circ$ )

$\sigma$  = tegangan normal ( $\text{kN/m}^2$ )

Hubungan beberapa variasi nilai faktor keamanan terhadap kemungkinan longsor lereng maupun pada perancangan lereng menurut Bowles (1989) dapat dilihat pada Tabel 3.8. Berikut.

**Tabel 3.8 Hubungan Nilai *Safety Factor* dan Kemungkinan Kelongsoran Lereng**

No	Nilai <i>Safety Factor</i>	Kemungkinan Longsor
1	< 1,07	Kelongsoran bisa terjadi
2	1,07 < SF < 1,25	Kelongsoran pernah terjadi
3	> 1,25	Kelongsoran jarang terjadi

sumber : Bowles (1989)

**Tabel 3.9 Rekomendasi Nilai Faktor Keamanan Untuk Lereng**

Resiko terhadap nyawa	Rekomendasi nilai faktor keamanan terhadap resiko kehilangan nyawa manusia		
	Tak diperhatikan	Rendah	Tinggi
Manusia Resiko Ekonomis			
Rekomendasi	Diabaikan	1,1	1,2
			1,5

**Lanjutan Tabel 3.9 Rekomendasi Nilai Faktor Keamanan Untuk Lereng**

	Rendah	1,2	1,2	1,5
	Tinggi	1,4	1,4	1,5
Catatan :				
<p>1. Meskipun nilai faktor keamanan lerengnya 1,4, jika beresiko tinggi terhadap keselamatan orang – orang disekitarnya maka harus diubah menjadi 1,1 berdasarkan hasil prediksi kondisi air tanah terburuk</p> <p>2. Faktor Keamanan yang tercantum di dalam tabel ini adalah nilai – nilai yang direkomendasikan. Faktor keamanan yang lebih tinggi atau lebih rendah mungkin saja</p> <p>3. teraman keamanannya pada situasi – situasi khusus dalam hubungannya dengan dengan resiko kehilangan nyawa dan ekonomis</p>				

Sumber: Departemen Pekerjaan Umum (2005)

### 3.3.2 Analisis Stabilitas Lereng Menggunakan Metode Fellenius

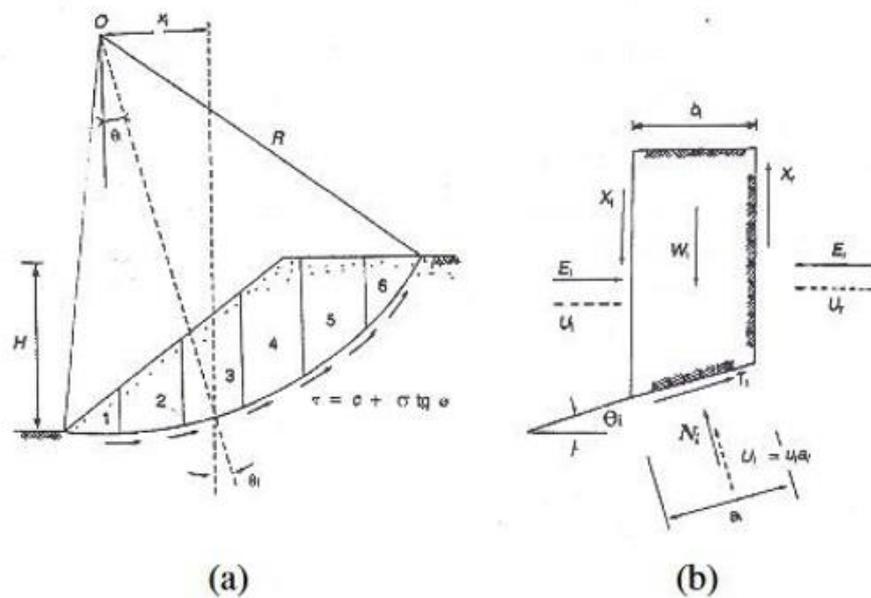
Metode Fellenius (*Ordinary Method of Slice*) pertama kali diperkenalkan oleh Fellenius (1927, 1936) yang beranggapan gaya-gaya yang bekerja pada sisi kanan-kiri dari sembarang irisan mempunyai nilai resultan nol pada arah tegak lurus bidang longsor.

Fellenius mengusulkan metodenya, dengan asumsi bahwa kegagalan terjadi oleh rotasi blok tanah pada permukaan tanah longsor melingkar dengan titik O sebagai pusat rotasi. metode ini mengasumsikan bahwa gaya normal P bekerja di tengah slice. Diasumsikan juga bahwa resultan gaya-gaya antar irisan pada tiap irisannya adalah sama dengan nol, atau bias juga disebutkan bahwa resultan gaya-gaya antar irisan diabaikan. Jadi total asumsi yang dibuat oleh metode ini adalah :

- a. Posisi gaya normal P terletak di tengah alas irisan: n
- b. Resultan gaya antar irisan sama dengan nol: n-1

Total : 2n-1

Metode Fallenius ini mengasumsikan kelongsoran berbentuk busur lingkaran dan analisis penentuan faktor keamanan yang paling kritis dilakukan secara *trial* untuk lingkaran dan jari-jari pusatnya. Dalam perhitungannya, massa tanah yang longsor dipecah – pecah menjadi beberapa irisan vertikal terhadap dasar. Gaya yang berkerja pada irisan tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.5. Penyelesaian pada Metode Fallenius menggunakan Persamaan 3.17 dan 3.18 berikut.



**Gambar 3.5 Gambar Gaya Yang Bekerja Pada Irisan**

(sumber: Hardiyatmo, 2003)

Dengan adanya anggapan tersebut, maka dapat diuji persamaan keseimbangan momen untuk semua irisan terhadap titik pusat rotasi dan diperoleh suatu nilai Faktor keamanan. Dengan anggapan ini maka keseimbangan arah vertikal dan gaya-gaya bekerja adalah:

$$N_i + U_i = W_i \cos \theta_i$$

Atau,

$$\begin{aligned} N_i &= W_i \cos \theta_i - U_i \\ &= W_i \cos \theta_i - u_i a_i \end{aligned} \quad (3.14)$$

Faktor aman didefinisikan sebagai,

$$SF = \frac{\text{Jumlah momen dari tahanan geser sepanjang bidang longsor}}{\text{Jumlah momen dari berat massa tanah yang longsor}}$$

$$= \frac{\sum Mr}{\sum Md}$$

Lengan momen dari berat massa tanah tiap irisan adalah  $R \sin \theta$ , maka:

$$\sum M_d = R \sum_{n=1}^{i=n} W_i \sin \theta_i \quad (3.15)$$

Keterangan:

$R$  = jari-jari lingkaran bidang longsor

$n$  = jumlah irisan

$W_i$  = berat massa tanah irisan ke- $i$

$N_i$  = resultan gaya normal efektif yang bekerja sepanjang dasar irisan

$\theta_i$  = sudut yang didefinisikan

Dengan cara yang sama, momen yang menahan tanah akan longsor adalah:

$$\sum M_r = R \sum_{n=1}^{i=n} (ca_i + N_i \operatorname{tg} \varphi) \quad (3.16)$$

Maka persamaan untuk faktor aman sebagai berikut:

$$SF = \frac{\sum_{n=1}^{i=n} (ca_i + N_i \operatorname{tg} \varphi)}{\sum_{n=1}^{i=n} W_i \sin \theta_i}$$

(3.17)

apabila ada air di lereng, tekanan air pori di bidang longsor tidak meningkatkan momen akibat tanah yang akan longsor ( $M_d$ ), karena resultan gaya yang disebabkan oleh tekanan air di pori-pori melalui pusat lingkaran.

$$SF = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} ca_i + (W_i \cos \theta - u_i a_i) \operatorname{tg} \varphi}{\sum_{i=1}^{i=n} W_i \sin \theta_i}$$

(3.18)

Keterangan:

 $SF$  = faktor aman $C$  = kohesi tanah (kN/m<sup>2</sup>) $\varphi$  = sudut gesek dalam tanah (°) $a_i$  = panjang lengkung lingkaran pada irisan ke-I (m) $W_i$  = berat irisan tanah ke-I (kN) $u_i$  = tekanan air pori pada irisan ke-I (kN/m<sup>2</sup>) $\theta_i$  = sudut yang didefinisikan

Jika ada gaya selain berat tanah itu sendiri, hal. misalnya sebuah bangunan di atas lereng, maka momen akibat beban ini dihitung sebagai  $M_d$ .

### 3.4 Perkuatan Lereng

#### 3.4.1 Umum

Perkuatan lereng (*revetments*) adalah bangunan yang ditempatkan pada permukaan lereng untuk melindungi tebing saluran sungai atau permukaan lereng tanggul dan secara keseluruhan berperan dalam meningkatkan stabilitas alur sungai atau badan tanggul yang dilindunginya. Telah terjadi perkembangan konstruksi yang sangat maju, salah satunya bangunan sungai yang paling vital dan saat ini dimungkinkan untuk memilih salah satu konstruksi, bahan dan metode konstruksi yang paling cocok untuk berbagai kondisi setempat dan secara terus menerus dikembangkan.

### 3.4.2 Faktor Keamanan

Dalam analisis kestabilan lereng dengan permukaan gelincir diasumsikan melengkung melingkar, maka gaya yang mendorong massa tanah di atas 25 lengkungan lingkaran sehingga dapat menggelincir harus dibandingkan dengan gaya geser sepanjang lengkungan lingkaran yang menahan longsoran. Karena gaya dorong dan gaya tahan berbeda dengan posisi dan jari-jari lingkaran, maka perlu dilakukan analisis dengan mengubah posisi dan jari-jari lengkung lingkaran untuk beberapa nilai dengan menggunakan asumsi. Berbagai metode diusulkan untuk membandingkan gaya dorong dan gaya penahan sehingga SF: gaya yang menggelincirkan gaya penahan SF = Jika faktor keamanannya 1, berarti lereng hampir berisiko mengalami penurunan lereng / longsor. Akibatnya, untuk mendapatkan kemiringan yang ditentukan, faktor keamanan (SF)  $\geq 1,0$ . Dalam buku Mekanika Tanah I karya (Hardiyatmo H.C., 2008), Bowles J.E. (1989) menjelaskan bahwa kondisi lereng berdasarkan nilai faktor keamanannya (SF) dapat dilihat pada Tabel 3.10 berikut.

**Tabel 3.10 Faktor Keamanan (SF) Lereng**

<b>Faktor Keamanan</b>	<b>Status Lereng</b>	<b>Intensitas longsor</b>
$SF < 1,07$	Lereng stabil	Longsor sering terjadi
$1,07 \geq SF \geq 1,25$	Lereng kritis	Longsor pernah terjadi
$1,25 \geq SF$	Lereng relatif stabil	Longsor jarang terjadi

Sumber : Bowles J.E (1989)

Lereng tidak stabil merupakan lereng yang sering terjadi longsor yang ditandai dengan nilai safety factor (SF) kurang dari 1,07. Lereng kritis adalah lereng yang pernah mengalami longsor yang ditandai dengan nilai faktor keamanan (SF) antara 1,07 hingga 1,25. Sedangkan lereng yang relatif stabil adalah lereng yang jarang terjadi longsor dan tergolong lereng aman yang ditandai dengan nilai faktor keamanan (SF) lebih tinggi dari 1,25.

### 3.4.3 Geotekstil

Geotekstil merupakan material lembaran yang dibuat dari bahan tekstil *polymeric*, bersifat yang lolos air, yang dapat berbentuk bahan nir-anyam (non woven), rajutan atau anyaman (woven) yang digunakan dalam kontak dengan tanah/batu dan material geoteknik yang lain di dalam aplikasi teknik sipil. Geotekstil umumnya tidak tahan atau mengalami degradasi apabila terkena sinar ultra violet dari matahari. Dengan berbagai macam jenis material dan cara pemrosesannya, maka diperlukan pemilihan tipe geotekstil yang tepat dalam aplikasi proyek di lapangan. Suatu hal yang sangat penting terkait dengan geotekstil adalah kuat tariknya. Tipe geotekstil tertentu menentukan tipe penggunaan tertentu yang cocok, misalnya fungsi geotekstil untuk tulangan atau pemisah, filtrasi atau drainase (Fluet, 1998).

Jika ditinjau menurut fungsinya, beberapa aplikasi geotekstil yang telah digunakan hingga saat ini adalah sebagai berikut ini.

1. Pemisah antar material yang berbeda. Pada struktur perkerasan jalan dan bandara geotekstil diletakkan di antara tanah dasar (*subgrade*) dan lapis pondasi agregat batuan dan diletakkan di antara lapisan aspal lama dan baru (*overlay*). Pada timbunan, geotekstil diletakkan pada dasar timbunan di atas tanah lunak berfungsi sebagai pemisah sekaligus sebagai perkuatan timbunan.
2. Sebagai filter. Dalam aplikasinya sebagai filter, geotekstil sering dipasang melingkari agregat batuan atau pipa pengumpul pada saluran drainase bawah tanah. Apabila geotekstil dipasang dalam timbunan dapat berfungsi sebagai penyaring agar butiran halus tidak terangkut aliran rembesan.
3. Perkuatan bangunan pada tanah lunak. Dalam fungsinya sebagai perkuatan, terutama perkuatan lereng pada timbunan terjal maupun landai, geotekstil diletakkan dibagian lereng dengan jarak tertentu sehingga terjaga kestabilannya (Hardiyatmo, 2008).

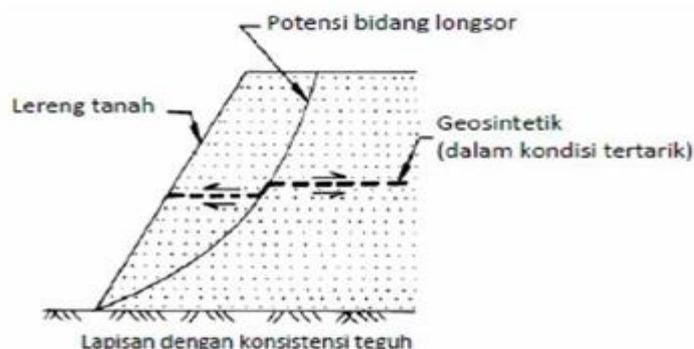
Geotekstil *Non Woven*Geotekstil *Woven*

### Gambar 3.6 Geotekstil Non Woven dan Woven

(Sumber : Geotextile Nusantara, 2016)

#### 3.4.4 Mekanisme Kerja geotekstil pada Tanah

Salah satu kegunaan geotekstil dalam rekayasa teknik sipil adalah sebagai fungsi stabilisasi tanah untuk meningkatkan sifat mekanis massa tanah, meningkatkan faktor keamanan lereng dan menstabilkan lereng dengan kemiringan curam ( $< 70^\circ$ ). Lereng tanah yang diperkuat umumnya terdiri dari timbunan padat yang digabungkan dengan perkuatan geotekstil yang disusun ke arah horisontal. Ketika tanah dan geotekstil digabungkan, material komposit (tanah yang diperkuat) tersebut menghasilkan kekuatan tekan dan tarik tinggi sehingga dapat menahan gaya yang bekerja dan deformasi. Pada tahapan tersebut, geotekstil berlaku sebagai bagian tahanan tarik gesekan (adhesi), saling mengikat (*interlocking*) atau pengurungan (*confinement*) yang digabungkan ke tanah/timbunan dan menjaga stabilitas massa tanah seperti yang digambarkan pada Gambar 3.7 di bawah ini.



### Gambar 3.7 Dasar Mekanisme Perkuatan Lereng dengan Tanah

(Sumber: Kementerian Pekerjaan Umum, 2009)

### 3.4.5 Pondasi *mini pile*

Pondasi tiang pancang digunakan apabila tanah yang berada dibawah dasar bangunan tidak mempunyai daya dukung (*bearing capacity*) yang cukup untuk memikul berat bangunan atau tanah yang daya dukungnya mencukupi untuk memikul berat bangunan dan seluruh beban yang bekerja berada pada lapisan yang sangat dalam dari permukaan tanah yaitu lebih dari 8 meter. Fungsi dari pondasi tiang pancang adalah untuk meneruskan beban-beban dari konstruksi di atasnya (super struktur) ke lapisan tanah keras yang letaknya sangat dalam. Dalam pelaksanaan pemancangan pada umumnya dipancangkan tegak lurus dalam tanah, tetapi ada juga dipancangkan miring (*battle pile*) untuk dapat menahan gaya-gaya horizontal yang bekerja, Hal seperti ini sering digunakan pada konstruksi dermaga yang terjadi tekanan kesamping dari kapal dan perahu. Sudut kemiringan yang dapat dicapai oleh tiang tergantung dari alat yang dipergunakan serta disesuaikan pula dengan perencanaannya.

Pondasi *mini pile* merupakan modifikasi dari pondasi tiang pancang beton pracetak berupa beton prategang (*precast prestressed concrete pile*) ataupun beton bertulang (*precast reinforced concrete pile*) dengan dimensi yang lebih kecil dari ukuran standart.

*Precast Reinforced Concrete Pile* adalah tiang pancang terbuat dari beton bertulang yang dicetak dan di cor dalam acuan beton (bekisting), kemudian setelah keras dianagkat lalu dipancangkan. Tiang pancang ini mampu memikul beban yang besar (lebih besar 50 ton untuk setiap tiang), ini tergantung dari dimensinya (Sardjono, 1991).

Sedangkan *precast prestressed concrete pile* adalah tiang pancang yang dibentuk dengan menekan baja berkekuatan tinggi, yakni yang mempunyai  $f_{ult}$  sebesar I 705 sampai I 860 Mpa, dengan mempertegangkan kabel-kabel ke suatu nilai pada orde 0,5 sampai 0,7  $f_{ult}$ . serta denan tiang-pancang beton di sekitar kabel tersebut. Bila beton mengeras, maka kabel-kabel prategang dipotong dengan gaya tegangan di dalam kabel yang menghasilkan tegangan tekan dalam tiang-pancang beton sewaktu baja tersebut mencoba kembali kepanjang tak teregang (*unstrectched length*) (Bowles, 1991).

Dengan dimensi *mini pile* yang kecil, luas penampang dan volume beton sebagai material tiang juga akan relatif kecil, dan jumlah mini pile yang diangkut dalam satu trailer akan lebih banyak dari tiang pancang ukuran standar. Dari uraian di atas dapat disimpulkan bahwa mini pile dapat mengurangi biaya bahan baku untuk membuat tiang pancang dan mengangkut tiang pancang. Karena dimensinya yang relatif kecil, *mini pile* dapat diatur secara kompak dan ringan, juga dapat dengan mudah dibongkar sehingga dapat dilakukan kapan saja

Pondasi tiang pancang ialah suatu konstruksi pondasi untuk bangunan yang dapat menyalurkan seluruh beban yang bekerja pada struktur tersebut ke dalam tanah dengan kedalaman tertentu yaitu sampai lapisan tanah keras. Tiang pancang kecil ini dimanfaatkan untuk bangunan-bangunan bertingkat rendah dan tanah relatif baik. Ukuran dan kekuatan yang ditawarkan adalah sebagai berikut:

- a. Bentuk bujur sangkar dengan ukuran 25 x 25 dan 20 x 20 dan
  - 1) Tiang pancang dengan bentuk bujur sangkar berukuran 25 x 25 dapat menopang tekanan 40-50 ton.
  - 2) Tiang pancang dengan bentuk bujur sangkar berukuran 20 x 20 dapat menopang tekanan 30-35 ton
- b. Bentuk penampang segitiga dengan ukuran 28 dan 32.
  - 1) Tiang pancang bentuk penampang segitiga dengan ukuran 28 dapat menopang beban 25-30 ton.
  - 2) Tiang pancang bentuk penampang segitiga dengan ukuran 32 dapat

#### 3.4.6 Analisis Daya Dukung Mini pile

Daya dukung *mini pile* dapat diperoleh dari daya dukung ujung (*end bearing capacity*) yang mana diperoleh dari tekanan ujung tiang dan daya dukung selimut (*friction bearing capacity*) yang diperoleh daya dukung gesek antara *mini pile* dengan tanah di sekelilingnya.

Sama seperti pondasi tiang pancang lainnya, *mini pile* tidak bekerja sebagai tiang tunggal dalam menerima beban melainkan sebagai kelompok tiang yang disambung oleh *pile cap*. Ukuran *pile cap* tergantung dari jumlah, jarak antar tiang, formasi yang direncanakan.

Pada dasarnya *mini pile* mempunyai prinsip dan sifat yang sama dengan tiang pancang beton biasa, maka kapasitas dukung *mini pile* dapat dihitung sebagai tiang individu dan kelompok, efisiensi kelompok tiang, formasi tiang, serta *settlement* yang terjadi. Untuk menghitung kapasitas daya dukung bisa menggunakan rumus-rumus perhitungan seperti yang diaplikasikan pada tiang pancang beton pracetak ukuran *standart*.

Rumusan umum yang digunakan untuk memperkirakan daya dukung dengan data sondir seperti Persamaan 3.23, 3.24. dan 3.25 berikut.

$$Q_u = Q_p + Q_s - W_p \quad (3.19)$$

$$W_p' = W_p - U \quad (3.20)$$

$$W_p = A_p L \gamma_{\text{beton}} \quad (3.21)$$

$$U = A_p ((L - H_w) \gamma_w) \quad (3.22)$$

dengan

$$Q_p = A_p q_p \quad (3.23)$$

dan

$$Q_s = \sum f_s A_s \quad (3.24)$$

Keterangan:

$Q_u$  = kapasitas dukung ultimit (kN)

$Q_p$  = tahanan ujung ultimit (kN)

$Q_s$  = tahanan gesek ultimit (kN)

$q_p$  = nilai tahanan ujung tiang persatuan luas penampang tiang (kN/m<sup>2</sup>)

$A_p$  = luas penampang ujung tiang (m<sup>2</sup>)

$A_s$  = luas penampang sisi tiang ( $m^2$ )

$f_s$  = tahanan gesek persatuan luas ( $kN/m^2$ )

$W_p$  = berat tiang ( $kN$ )

Dalam praktek analisis daya dukung tiang, rumusan diatas diadopsi langsung untuk digunakan sebagai daya dukung tiang dengan menggunakan data sondir sehingga dituliskan pada Persamaan 3.25 berikut.

$$Q_u = A_p q_c + (\sum f_s A_s) - W_p \quad (3.25)$$

Keterangan:

$q_c$  = nilai tahanan ujung dari data sondir tepat pada posisi ujung tiang

$f_s$  = tahanan gesek persatuan luas ( $kN/m^2$ ) (Tabel 3.11)

$A_p$  = luas penampang ujung tiang

$A_s$  = luas penampang sisi tiang ( $m^2$ )

**Tabel 3.11 Hubungan Tahanan Gesek Tiang dengan  $q_c$  (Meigh, 1987)**

<i>Pile Type</i>	<i>Ultimate Unit Shaft Friction</i>
<i>Timber</i>	0,012 $q_c$
<i>Precast concrete</i>	0,012 $q_c$
<i>Precast concrete enlarged base<sup>a</sup></i>	0,018 $q_c$
<i>Steel displacement</i>	0,012 $q_c$
<i>Open-ended steel tube<sup>b</sup></i>	0,008 $q_c$
<i>Open-ended steel tube driven into fine to medium sand</i>	0,0033

Sumber : Tomlinson (2008)

Untuk mendapatkan kapasitas ijin tiang, maka diperlukan untuk membagi kapasitas ultimit dengan angka faktor aman. Faktor aman bertujuan untuk:

- Untuk memberikan keamanan terhadap ketidakpastian metode hitungan yang digunakan
- Untuk memberikan keamanan terhadap variasi kuat geser dan kompresibilitas tanah

- c. Untuk meyakinkan bahwa bahan tiang cukup aman mendukung beban yang bekerja
- d. Untuk meyakinkan bahwa penurunan total yang terjadi pada tiang tunggal atau kelompok tiang masih dalam batas-batas toleransi
- e. Untuk meyakinkan bahwa penurunan tidak seragam diantara tiang-tiang masih dalam batas toleransi.

Reese and O'neil (1989) dalam Hardiyatmo (2008) menyarankan pemilihan faktor aman (F) untuk pondasi tiang sesuai dengan Tabel 3.12. berikut ini.

**Tabel 3.12 Faktor Aman yang Disarankan (Reese & O'neil, 1989)**

Klasifikasi Tanah	Faktor Aman (F)			
	Kontrol baik	Kontrol normal	Kontrol jelek	Kontrol sangat jelek
Monumental	2,3	3	3,5	4
Permanen	2	2,5	2,8	3,4
Sementara	1,4	2	2,3	2,8

Sumber : Hardiyatmo (2008)

### 3.5 Konsolidasi

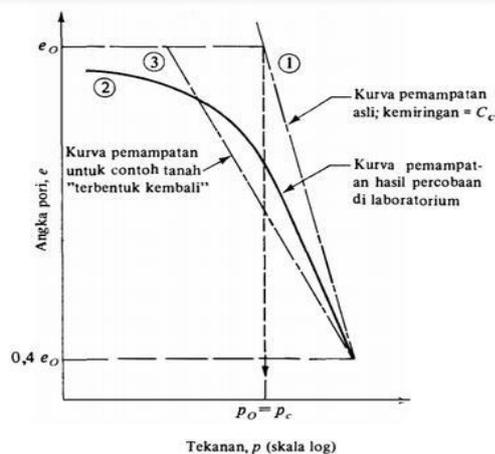
#### 3.5.1 Pendahuluan

Apabila lapisan tanah jenuh berpermeabilitas rendah diberi beban, maka tekanan air pori dalam tanah tersebut akan bertambah. Akibat dari perbedaan tekanan air pori pada lapisan tanah ialah air mengalir ke lapisan tanah dengan tekanan air pori yang lebih rendah yang diikuti penurunan tanah. Akibat permeabilitas tanah yang rendah, maka proses ini memerlukan waktu. Konsolidasi adalah proses berkurangnya volume atau berkurangnya rongga pori dari tanah jenuh berpermeabilitas rendah akibat pembebanan yang mana prosesnya dipengaruhi oleh kecepatan terperasnya air pori keluar dari rongga tanah. Besarnya penurunan dapat diukur dengan berpedoman pada titik referensi ketinggian pada tempat tertentu (Hardiyatmo, 2003).

#### 3.5.2 Faktor-faktor yang mempengaruhi konsolidasi

Secara garis besar penurunan tanah dapat disebabkan oleh beberapa hal diantaranya sebagai berikut (Whittaker and Reddish, 1989).

1. Penurunan muka tanah alami (*natural subsidence*) yang disebabkan oleh proses-proses geologi seperti aktivitas vulkanik dan tektonik, siklus geologi, adanya rongga di bawah permukaan tanah dan sebagainya.
2. Penurunan muka tanah yang disebabkan oleh pengambilan bahan cair dari dalam tanah seperti air tanah atau minyak bumi.
3. Penurunan muka tanah yang disebabkan oleh adanya beban-beban berat di atasnya seperti struktur bangunan sehingga lapisan-lapisan tanah dibawahnya mengalami kompaksi/konsolidasi. Penurunan muka air tanah ini sering juga disebut dengan *settlement*.
4. Penurunan muka tanah akibat pengambilan bahan padat dari tanah (aktivitas penambangan).



**Gambar 3.8 Kurva Hubungan Antara Tekanan dan Angka Pori**

(Sumber: Hardiyatmo, 2003)

### 3.5.3 Koefisien konsolidasi ( $C_v$ ) (*Coefficient of Consolidation*)

kecepatan penurunan konsolidasi bisa dihitung menggunakan koefisien konsolidasi  $C_v$ . Kecepatan penurunan perlu diperhitungkan apabila penurunan konsolidasi yang terjadi dalam struktur diperkirakan besar. Jika penurunan sangat kecil, kecepatan penurunan sejalan dengan waktunya tidak akan menghasilkan perbedaan yang berarti. Derajat konsolidasi untuk sembarang waktu ditentukan dengan menggambarkan grafik penurunan vs, wktu untuk satu beban tertentu yang diterapkan pada alat konsolidasi. Caranya yaitu dengan mengukur penurunan total pada akhir fase konsolidasi. Kemudian, berdasarkan data penurunan dan waktu

sembarang waktu yang dihubungkan dengan derajat konsolidasi rata-rata tertentu (misalnya  $U = 50\%$ ) ditentukan. Walaupun fase konsolidasi sudah selesai, yaitu saat tekanan air pori sudah nol, benda uji di dalam alat konsolidasi masih terus mengalami penurunan akibat konsolidasi sekunder. Oleh karena itu, tekanan air pori mungkin perlu diukur selama proses pembebanan atau suatu interpretasi data penurunan dan waktu harus dibuat untuk menentukan kapan konsolidasi telah selesai. Kecuali, bila sejumlah kecil udara terhisap masuk ke dalam air pori akibat penurunan tekanan pori dari lokasi aslinya di lapangan, kemungkinan terdapat juga penurunan yang berlangsung dengan cepat, yang bukan bagian dari proses konsolidasi. Oleh karena itu, sebelum adanya penurunan saat permulaan proses konsolidasi juga harus diinterpretasikan.

### **3.6 Penurunan**

#### **3.6.1 Penurunan segera**

Penurunan akibat beban adalah jumlah total dari penurunan segera dan penurunan konsolidasi. Penurunan yang terjadi pada tanah berbutir halus dan tanah berbutir kasar atau tidak jenuh terjadi segera sesudah beban kerja. Penurunan pada konsisi ini disebut penurunan segera (*immediate settlement*). Penurunan segera adalah bentuk penurunan elastis. Dalam prakteknya, sangat sulit untuk memperkirakan besarnya penurunan segera. Karena, tanah dalam kondisi alam tidak homogen dan anisotropis dengan modulus elastisitas yang bertambah dengan kedalaman serta juga akibat kesulitan dalam mengevakuasi konsisi tegangan-regangan yang terjadi di lapisan tanah. Penurunan segera banyak diperhatikan pada pondasi bangunan yang terletak pada tanah granuler atau tanah berbutir kasar. (Hardiyatmo, 2003).

#### **3.6.2 Penurunan konsolidasi**

Penurunan konsolidasi (*consolidation settlement*) terjadi pada tanah berbutir halus yang terletak dibawah muka air. Penurunan yang terjadi memerlukan waktu yang lamanya tergantung pada konsisi lapisan tanah. Bila tanah mengalami pembebanan dan berkonsolidasi, maka penurunan tersebut berlangsung dalam tiga fase (Leonard, 1962):

Fase awal, yaitu fase yang penurunannya terjadi dengan segera sesudah beban bekerja. Disini, penurunan terjadi akibat proses penekanan udara keluar dari dalam pori tanah. Pada lempung jenuh, kemungkinan ini sangat kecil. Tetapi dalam lempung yang tidak jenuh sangat besar pengaruhnya terhadap penurunan. Proporsi penurunan awal dapat diberikan dalam perubahan angka pori, dan dapat ditentukan dari kurva waktu terhadap penurunan dari uji konsolidasi.

Fase konsolidasi primer, yaitu penurunan yang dipengaruhi oleh kecepatan aliran air yang meninggalkan rongga pori tanah akibat adanya tambahan tekanan. Proses konsolidasi primer sangat dipengaruhi oleh sifat tanah, seperti angka pori, permeabilitas, kompresibilitas, bentuk geometri tanah termasuk tebal lapisan mampat, pengembangan arah horizontal dari zona mampat dan batas lapisan lolos air, dimana air keluar menuju lapisan yang lolos air ini.

Fase konsolidasi sekunder merupakan proses lanjutan dari konsolidasi primer, yaitu prosesnya berjalan sangat lambat. Pada tanah-tanah anorganik penurunan konsolidasi sekunder jarang diperhitungkan, karena pengaruhnya sangat kecil. Kecuali pada jenis tanah organik tinggi dan beberapa lempung anorganik yang sangat mudah mampat. (Hardiyatmo, 2003).

Bangunan dengan jenis fondasi rakit-tiang, tidak boleh mengalami penurunan lebih dari 15 cm, kecuali dapat dibuktikan bahwa struktur bangunan dapat mendukung penurunan maksimum yang terjadi dan tidak berdampak pada lingkungan sekitar (SNI 8640:2017 Persyaratan Perancangan Geoteknik, 2017).

### **3.7 Plaxis**

#### **3.7.1 Pendahuluan**

PLAXIS merupakan salah satu perangkat lunak yang berdasarkan analisis menggunakan metode elemen hingga. Pengembangan PLAXIS dimulai pada tahun 1987 di Universitas Teknik Delft (*Technical University of Delft*) inisiatif Departemen Tenaga Kerja dan Pengelolaan Sumber Daya Air Belanda (*Dutch department of public work and water management*). Pemodelan yang digunakan yaitu Mohr-Coulomb. Model Mohr-Coulomb adalah model elastis-plastis yang terdiri dari lima parameter yaitu  $E$  dan  $\nu$  untuk memodelkan elastis tanah;  $\phi$  dan  $c$

untuk memodelkan plastisitas tanah dan sebagai sudut dilatasi (Brinkgreve, 2007). Model Mohr-Coulomb disarankan untuk digunakan dalam analisis awal dari masalah yang dihadapi karena relatif sederhana, cepat dan saat tidak diperoleh data tanah yang memadai. Titik-titik kritis permodelan Mohr-Coulomb memiliki nilai yang berdekatan dengan titik-titik kritis tanah sebenarnya di sepanjang bidang kelongsoran. Oleh karena itu pemodelan Mohr-Coulomb sangat cocok untuk menganalisa stabilitas lereng. Kelebihan metode elemen hingga dengan metode keseimbangan batas (Griffiths dan Lane, 1999) sebagai berikut.

1. Asumsi bidang longsor tidak diperlukan. Longsoran terjadi secara natural melalui zona dalam massa tanah di mana kekuatan geser tanah tidak dapat menahan tegangan geser yang ada,
2. Tidak adanya konsep irisan (*slice*) pada pendekatan elemen hingga sehingga tidak perlu adanya asumsi gaya-gaya yang terjadi pada tiap irisan (*slice side force*). Metode elemen hingga menjaga keseimbangan global hingga kelongsoran terjadi,
3. Jika terdapat data *soil compressibility*, metode elemen hingga dapat memberikan informasi deformasi yang terjadi, dan
4. Metode elemen hingga dapat memantau *progressive failure* termasuk *shear failure* secara keseluruhan.

Model material yang digambarkan pada program Plaxis adalah bentuk persamaan matematika yang menggambarkan hubungan antara tegangan dan regangan. Model material ini sering diekspresikan dalam bentuk pertambahan tegangan dan pertambahan regangan. Pemodelan Plaxis dapat dianalisa dalam kondisi *plane strain* maupun *axisymmetry*. *Plane strain* digunakan untuk menganalisis struktur yang memiliki potongan melintang dengan pembebanan dan kondisi tegangan yang seragam dan perpindahan pada arah ini dianggap nol, sedangkan pemodelan *axisymmetry* digunakan untuk analisa struktur lingkaran yang memiliki potongan radial dan pembebanan seragam terhadap pusat, dengan deformasi dan tegangan yang besarnya dianggap sama pada arah radialnya. Untuk mendapatkan hasil analisis metode elemen hingga yang akurat diperlukan

pemodelan tanah yang sesuai dengan keadaan sesungguhnya di lapangan (Hendroatmo, 2008).

### 3.7.2 Analisis stabilitas lereng menggunakan *Plaxis v.8.5*

Dari data-data yang ada, yang kemudian diolah dengan memasukkan data kemiringan lereng untuk proses program, maka diketahui apakah lereng tersebut perlu diperkuat atau tidak. Dengan program ini juga dimungkinkan untuk mengontrol faktor keamanan (SF) timbunan dengan perkuatan *mini pile*. Langkah-langkah berikut diperlukan untuk mengoperasikan program *Plaxis v.8.5*:

1. Buka program *Plaxis v.8.5*. kemudian masukkan data dimensi dan *title* program yang akan dibuat.
2. Gambar penampang lereng yang akan dianalisis, kemudian klik *Standard Fixities*.
3. Buat jenis *properties* material yang akan digunakan pada lereng, lalu isi data-data lereng seperti  $\gamma_d$ ,  $\gamma_b$ ,  $\phi$ ,  $c$ ,  $E$ ,  $\nu$ ,  $\Psi$ ,  $k_x$ ,  $k_y$  dan lainnya. Kemudian material yang telah dibuat diaplikasikan ke setiap lapisan tanah.
4. Kemudian ganti *mesh generating setup* dengan *mesh* dan lalu *generate*
5. Pada penampang tanah buatlah lapisan muka air tanah dengan menggunakan *initial conditions*.
6. Setelah itu lakukan *calculating* dan isi masing-masing *phase* yang akan dilakukan analisis.
7. Buat *curve displacement*, lalu baru bisa dilakukan *calculate*.
8. Setelah proses *calculate* selesai, maka diperoleh *output*.

Dari tahapan-tahapan program *Plaxis v.8.5* diatas, Didapatkan berupa *curve displacement* dan nilai SF. Hasilnya menunjukkan apakah lereng tersebut tahan slip atau sangat aman sehingga tidak diperlukan perkuatan tambahan. Jika lereng mengalami keruntuhan, analisis baru dilakukan dengan perkuatan *mini pile* dan faktor keamanan baru ditentukan setelah perkuatan. Anda dapat menambahkan perkuatan *mini pile* ke *Plaxis* sebagai berikut:

1. Buka program *Plaxis v.8.5* kemudian masukkan data dimensi dan *title* program yang akan dibuat.
2. Modelkan penampang lereng yang akan dianalisis, kemudian klik *Standart*

*Fixities.*

3. Buat jenis properties material yang akan digunakan pada lereng, lalu isi data-data lereng seperti  $\gamma_d$ ,  $\gamma_b$ ,  $\phi$  dan lainnya. Kemudian material yang telah dibuat diaplikasikan ke setiap lapisan tanah.
4. Buat profil *mini pile* sesuai spesifikasi yang diperlukan dengan klik tombol geometri, kemudian pilih opsi geogrid.
5. Kemudian ganti *mesh generatng setup* dengan *mesh* dan lalu *generate*
6. Pada penampang tanah buatlah lapisan muka air tanah dengan menggunakan *initial conditions*.
7. Setelah itu lakukan *calculating* dan isi masing-masing *phase* yang akan dilakukan analisis.
8. Buat *curve displacement*, lalu baru bisa dilakukan *calculate*.
9. Setelah proses *calculate* selesai, maka diperoleh *output*

Dari tahapan-tahapan yang dilakukan di *Plaxis v.8.5* diatas , maka diperoleh *curve displacement* dan juga nilai SF. Dari *Output* tersebut dapat dilihat apakah lereng mengalami kelongsoran atau sudah aman sehingga tidak diperlukan perkuatan tambahan. Apabila lereng belum aman terhadap longsor, maka akan dilakukan analisis kembali menggunakan perkuatan mini pile dan akan didapatkan *Safety Factor* yang baru setelah diberikan perkuatan.

## **BAB IV**

### **METODE PENELITIAN**

#### **4.1 Tinjauan Umum**

Pembangunan Jalan Tol Pekanbaru-Dumai, Seksi V melalui daerah perbukitan dan daerah lembah atau cekungan. Berdasarkan hasil penyelidikan tanah di lokasi yang berupa sondir (CPTu), lapisan tanah adalah jenis tanah lunak (*soft soil*) yang banyak mengandung air dengan ketebalan 15 m dari muka tanah. Jenis tanah lunak yang demikian mempunyai daya dukung tanah yang relatif kecil/rendah (*low bearing capacity*) dan kompresibilitas yang tinggi (*high compressibility*).

Pada Sta 79+550 melewati daerah cekungan sehingga diperlukan pekerjaan timbunan tanah yang cukup tebal untuk mencapai *finish grade*. Namun setelah selesai pekerjaan timbunan tanah untuk badan jalan sudah mencapai ketinggian *finish grade* (H= 8 m) terjadi penurunan yang disertai dengan kelongsoran separoh lebar badan jalan. Kerusakan yang terjadi pada Sta 79+550 berupa penurunan disertai retakan-retakan memanjang arah jalan yang cukup signifikan disertai dengan pergeseran tanah ke arah samping (longsor). Kerusakan tersebut terlokalisir di separuh bagian lebar jalan dan kerusakan memanjang kurang lebih 50 m di Sta, 79+550.

Penelitian dilakukan dengan terlebih dahulu menganalisis kestabilan lereng timbunan asli. Setelah hasil perhitungan angka aman timbunan asli didapatkan, maka dilakukan perencanaan dan perhitungan angka aman menggunakan program PLAXIS V.8.5 2D dari lereng tersebut setelah diperkuat dengan *mini pile*. Hasil analisis tersebut, diharapkan dapat mengatasi permasalahan yang ada pada Jalan tol Pekanbaru- Dumai Seksi V Sta 79+550.

#### **4.2 Data Penelitian**

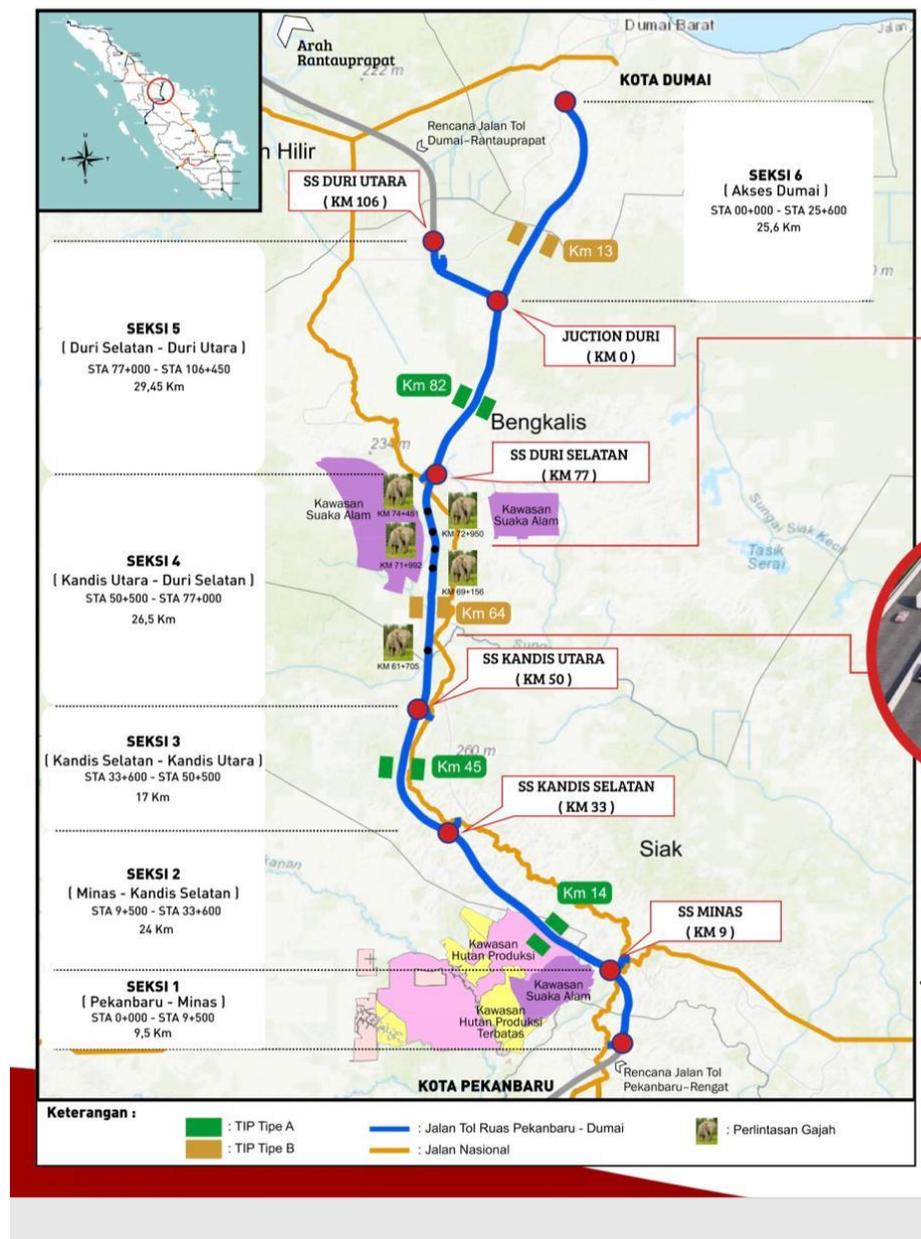
Adapun data penelitian yang akan dianalisis pada tugas akhir ini adalah data sekunder sebagai berikut.

1. Data penyelidikan tanah

2. Peta lokasi
3. Gambar penampang

#### 4.3 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian terletak pada Sta 79+550 Jalan Tol Pekanbaru-Dumai , Seksi V. secara detail, lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Peta Lokasi Jalan Tol Pekanbaru-Dumai

(Sumber: Skyscrapercity.com)

#### 4.4 Tahapan Penelitian

##### 1. Tahap Persiapan

Pada tahap ini dilakukan penelitian dan studi literatur tentang topik penelitian.

##### 2. Tahap Pengumpulan Data

Pada tahap ini, dilakukan pengumpulan data yang meliputi pengambilan data Sekunder tanah (data tanah uji laboratorium dan data tanah uji lapangan), data topografi lereng Jalan Tol Pekanbaru – Dumai.

##### 3. Tahap Analisis Data

- a. Analisis stabilitas lereng timbunan asli dilakukan dengan program PLAXIS V.8.5 2D dan perhitungan manual menggunakan metode Fellinius.
- b. Analisis lereng dengan *geotextile* menggunakan program Plaxis V.8.5 2D
- c. Perhitungan kapasitas dukung *mini pile* serta kuat tarik *geotextile*
- d. Analisis lereng dengan *mini pile* + *Geotextile* menggunakan program Plaxis V.8.5 2D

##### 4. Pembahasan hasil analisis stabilitas lereng timbunan asli, lereng dengan *mini pile*.

##### 5. Penarikan kesimpulan dan saran atas penelitian yang telah dilakukan

###### 4.4.1 Pengumpulan data

Pengumpulan data adalah hasil mengumpulkan data yang diperoleh dari instansi terkait. Data yang diperoleh adalah sebagai berikut ini.

##### 1. Data tanah

Tanah yang terdapat di konstruksi Geotechnical P.T Eskapindo Matra terdiri dari 5 lapisan tanah dan setiap lapisan tanah berbeda jenisnya diantaranya *replacement* (tanah pasir), lempung kaku, gambut, lempung lunak, dan lanau kaku.

2. Data beban lalu lintas

Data beban lalu lintas didapatkan dari Departemen Pekerjaan umum Tahun 2009 meliputi lalu lintas harian rata-rata dan beban lalu lintas sesuai fungsi jalan dan sistem jaringannya.

3. Data gempa

Beban gempa adalah beban yang bekerja pada suatu struktur akibat dari pergerakan tanah yang disebabkan oleh gempa bumi, baik itu gempa tektonik ataupun vulkanik yang mempengaruhi struktur tersebut. Data gempa didapatkan dari SNI 1726 Tahun 2012

4. Data *mini pile*

Tiang pancang *mini pile* yang digunakan merupakan *mini pile* dari beton bertulang  $f'c = 25$  mpa, ukuran 20 cm x 20 cm, jarak antar *mini pile* 1m.

5. Data geotekstil

Geotekstil yang digunakan merupakan jenis geotekstil Woven VT 150 dengan kuat tarik sebesar 150 kN/m

#### 4.5 Analisis Data

##### 4.5.1 Parameter Tanah

Parameter tanah yang digunakan untuk masukan data tanah pada program Plaxis V. maupun dalam perhitungan analisis stabilitas lereng didasarkan pada data tanah yang didapat dari laporan usulan penanganan longsor oleh PT. Eskapindo Matra. Adapun parameter tanah dapat dilihat pada Tabel 4.1 berikut.

Tabel 4.1 Data Parameter Tanah

Parameter	Simbol	Satuan	Tanah Lapisan 1	Tanah Lapisan 2	Tanah Lapisan 3	Tanah Lapisan 4	Tanah Lapisan 5	Tanah Timbunan
Jenis Tanah	-	-	<i>replacement</i> (tanahpasir)	Lempung Kaku	Gambut	Lempung Lunak	Lanau Kaku	TimbunanPilihan
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>
Material Tipe	-	-	<i>Drained</i>	<i>Undrained</i>	<i>Undrained</i>	<i>Undrained</i>	<i>Undrained</i>	<i>Drained</i>
Kedalaman Tanah	H	m	1,25	2,50	2,50	1,25	7,50	8,00
Berat Volume Tanah	$\gamma_{unsat}$	kN/m <sup>3</sup>	17,00	14,00	12,00	14,00	15,00	18,00
Berat Volume Jenuh	$\gamma_{sat}$	kN/m <sup>3</sup>	18,00	15,00	13,00	15,00	16,00	19,00
Kohesi	$c$	kN/m <sup>2</sup>	1	50	4	32	80	12
SudutGeserDalam	$\phi$	°	25	1	4	1	1	22
Modulus elastisitas	E	kN/m <sup>2</sup>	15000	10400	4000	6400	16000	14000
IndeksPermeabilitas	$k_x, k_y$	m/hari	1,0	0,000864	0,00864	0,000864	0,000864	0,864
Angka Poisson	$\nu$	-	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
SudutDilatasi	$\Psi$	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Sumber: PT. Eskapindo (2020)

#### 4.5.2 Data Beban

##### 1. Beban perkerasan dan lalu lintas

Jalan Tol Pekanbaru-Dumai mempunyai beban perkerasan sebesar  $10 \text{ kN/m}^2$  dari data sekunder, sedangkan beban lalu lintas sebesar  $15 \text{ kN/m}^2$  sesuai fungsi jalan dan sistem jaringan jalan pada Tabel 4.2 berikut ini.

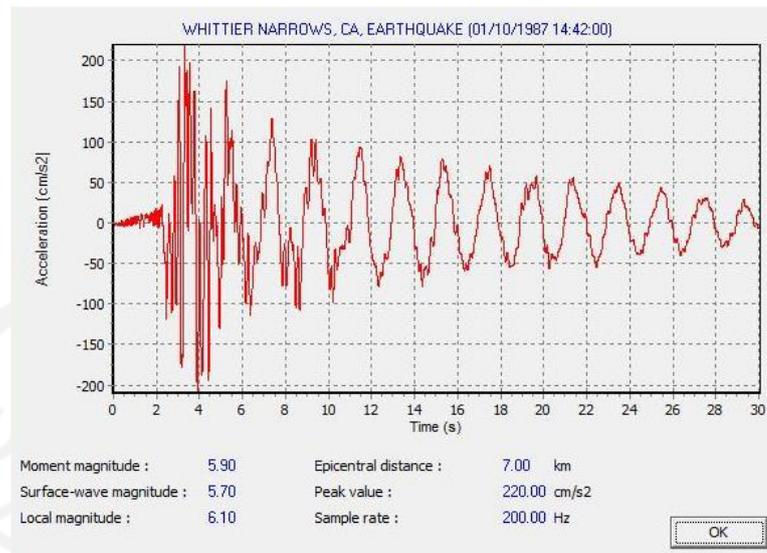
**Tabel 4.2 Beban Lalu Lintas**

Fungsi	Sistem Jaringan	Lalu Lintas Harian Rata-rata (LHR)	Beban Lalu Lintas ( $\text{kN/m}^2$ )
Primer	Arteri	Semua	15
	Kolektor	$>10.000$	15
		$<10.000$	12
Sekunder	Arteri	$>20.000$	15
		$<20.000$	12
	Kolektor	$>6000$	12
		$<6000$	10
	Lokal	$>500$	10
		$<500$	10

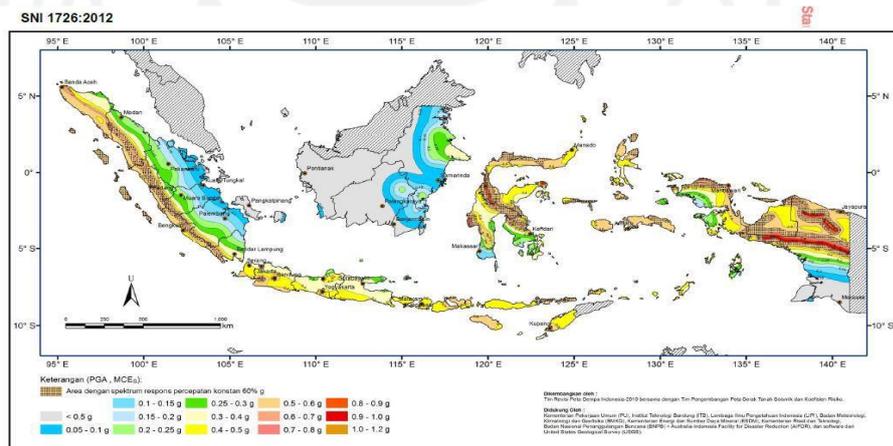
Sumber: Departemen Pekerjaan Umum (2009)

##### 2. Data Gempa

Wilayah Riau memasuki zona gempa dengan percepatan puncak gempa (PGA) sebesar  $0,2 - 0,25 \text{ g}$ . Digunakan nilai percepatan sebesar  $0,22 \text{ g}$  dengan waktu interval sebesar 3 detik yang didapatkan data dari grafik hubungan antara waktu dan percepatan gempa kawasan Whittier Narrows pada 1 Oktober 1987 yang dapat dilihat pada Gambar 4.2 dan 4.3. Dalam analisis stabilitas lereng, digunakan metode *pseudostatik*. Berdasarkan Melo dan Sharma (2004) beban gempa tersebut dikalikan  $1/2$  hingga  $1/3$  dari PGA. Oleh karena itu, digunakan beban sebesar  $1/2$  dari  $0,22 \text{ g}$  yaitu sebesar  $0,11 \text{ g}$ .



**Gambar 4.2 Grafik Hubungan Antara Percepatan dan Waktu**  
 (Sumber: Data Gempa Whittier Narrows California, 1987)



**Gambar 4.3 Peta Zonasi Gempa Indonesia**  
 (Sumber: SNI 1726:2012)

#### 4.5.3 Data Penampang Melintang Lereng

Adapun data penampang melintang lereng jalan Tol Pekanbaru – Dumai Sta 79+550 yang digunakan pada penelitian dapat dilihat pada Gambar 4.4 berikut.



**Tabel 4.4 Data Parameter Geotekstil**

<i>Parameters</i>	<i>Name</i>	<i>Layer1</i>	<i>Units</i>
<i>TensileStrength</i>	<i>Ta</i>	150	<i>KN/m</i>
<i>Normal Stiffnes</i>	<i>EA</i>	1250	<i>KN/m</i>

(Sumber: PT. Tetrasa Geosinindo, 2022)

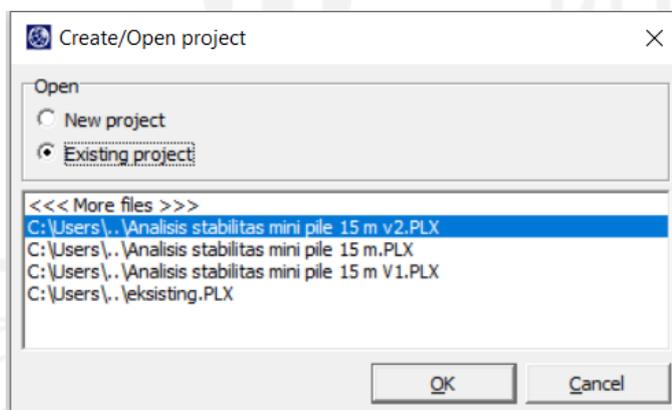
#### 4.6 Analisis Data dengan Software Plaxis 8.5

Adapun metode tahapan dengan analisis menggunakan *software plaxis* untuk tanah yang diberikan beban gempa dan beban lalu lintas dengan variasi kondisi tanah undrained dan drained dengan dan tanpa perkuatan tiang pancang mini pile melalui 3 tahapan yaitu *Plaxis Input*, *Calculation* dan *Output*

##### 4.6.1 Plaxis Input

###### 1. Buka/Open Program Plaxis

Buka aplikasi *Plaxis* dengan cara klik ganda *icon* program *Plaxis Input*, lalu akan muncul kotak dengan menu pilihan *Create/Open project*. Kemudian pilih new project ilau klik OK untuk memulai pekerjaan baru yang dapat dilihat pada Gambar 4.5. berikut ini.

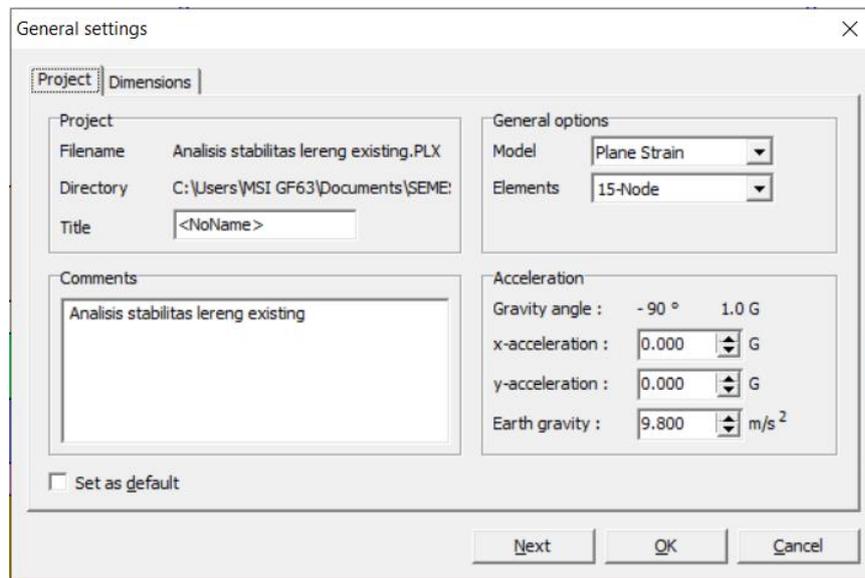


**Gambar 4.5 Kotak Dialog Create/Open Project**

###### 2. General Setting

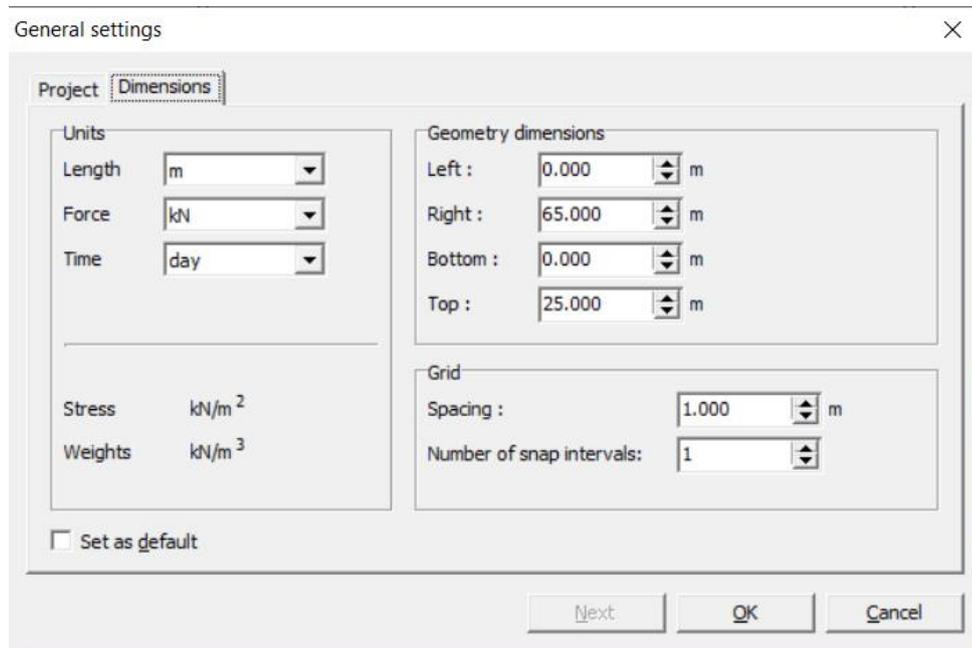
Pada pengaturan *general setting* ini terdapat dua tab dialog yaitu *project* dan *dimensions*. Pada pilihan lembar tab *project*, masukkan judul proyek yang akan dimodelkan dalam kotak dialog *title*. Selanjutnya untuk analisis model yang ada pada kotak *general*, pilih *plane strains* (regangan bidang) dan pilih jenis elemen dasar *15-Node* untuk analisis yang menghasilkan tegangan dan

beban runtuh yang tepat/akurat/. Untuk lebih detail dapat dilihat pada Gambar 4.6. berikut ini.



**Gambar 4.6 Tab *Project* dari Menu *General Setting***

Adapun dalam pilihan tab *dimensions*, pada kota *unit* gunakan satuan ( $Length = m$ ,  $Force = kN$ ,  $Time = day$ ). Dalam kotak *geometry dimensions*, ukuran dari bidang gambar harus diinput dan saat menginput koordinat teratas dan terbawah dari geometri yang akan dibuat, maka *Plaxis* akan menambahkan sebuah margin kecil sehingga geometri akan berada pada bidang gambar. Selanjutnya, masukkan 0,0; 65,0; 0,0; 25,0 masing-masing pada kotak isian *left*, *right*, *bottom*, dan *top* pada kotak dialog. Kotak *Grid* berisikan nilai-nilai-untuk mengatur spasi *grid*. *Grid* ini berfungsi untuk membentuk matriska titik-titik untuk memasukkan penggambaran tepat pada *grid* yang telah ada saat pembuatan model. Spasi akan menentukan jarak antara titik, kemudian untuk spacing masukkan nilai 1,0 dan 1 untuk *number of snap intervals*. Untuk detailnya dapat dilihat pada Gambar 4.7. berikut ini



**Gambar 4.7 Tab Dimension dari Jendela *General Setting***

3. Pemodelan Geometri

Adapun tahapan-tahapan yang dilakukan dalam penggambaran model geometri adalah sebagai berikut:

- a.  Pilih/klik opsi *Geometry line* ( telah diaktifkan)

Pastikan posisi kursor pada pusat koordinat. Kemudian letakkan kursor pada koordinat 0,0; 0,0 ini sebagai titik awal dalam penggambaran *geometry*. Selanjutnya gambar atau modelkan geometri sesuai koordinat yang sudah ditentukan.

- b.  Pilih/klik tombol *standard fixities* pada *toolbar*.

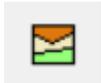
Maka *Plaxis* akan secara otomatis menerapkan kondisi batal umum pada model geometri.

- c.  Pilih/klik tombol *Distributed load-load system A* pada *toolbar*.

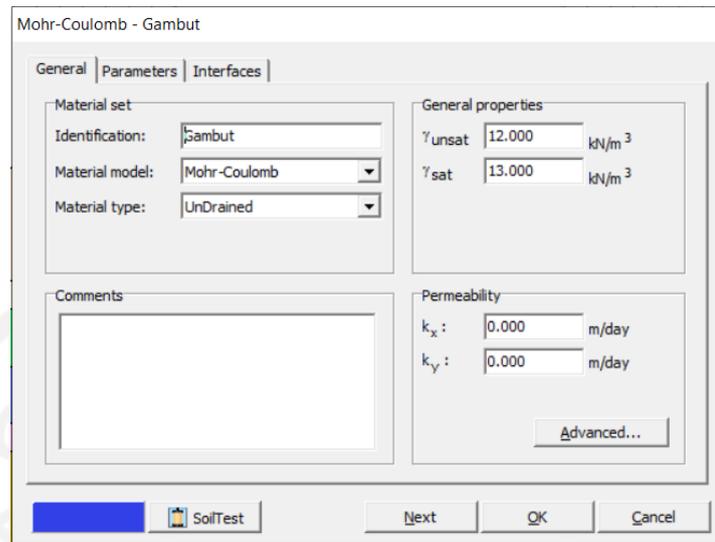
Lalu klik pada titik awal pada geometri dan titik akhir geometri yang akan menerima beban. Selanjutnya klik kanan mouse untuk mengakhiri masukan beban merata. Masukkan beban merata sebesar  $25 \text{ kN/m}^2$ .

#### 4. *Input Parameter Material*

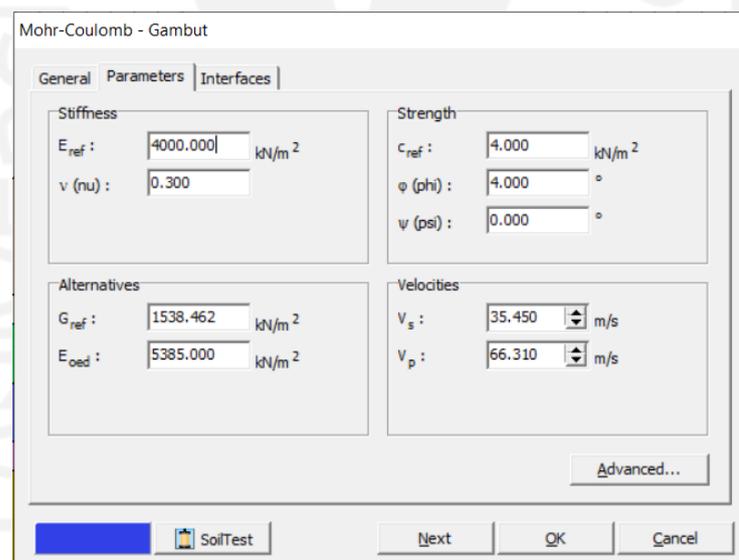
Data material dapat dimasukkan pada program ini dengan menggunakan tombol *material sets* pada *toolbar* atau melalui pilihan yang tersedia pada

menu *materials*.  pilih tombol *material sets* pada menu *toolbar*.

- a. Pada pilihan di sisi bawah dari jendela *material sets* pilih pilihan (*new*). Maka sebuah kotal dilaog akan muncul dengan tiga buah lembar-tab, yaitu *general*, *parameters*, dan *interface* (Lihat Gambar 4.8 dan 4.9.)
- b. Dalam kotak dialog *material sets* dalam lembar-tabs *general*, tuliskan “Gambut” dalam kotak *identification*.
- c. Selanjutnya pilih *Mohr-coloumb* pada *combo box material model* dan *UnDrained* pada *combo box material type*.
- d. Masukkan nilai yang akan diinput pada *general properties* dan pada kotak *permeability* sesuai dengan sifat material yang digunakan.
- e. Klik pada tab menu *parameters*, ada empat lebar-tab dan masukkan nilai sesuai dengan sifat material yang digunakan. kemudian untuk tab menu *interface* menggunakan nilai *rigid* dari *Plaxis*. Lalu klik OK untuk menyimlan material.
- f. Klik dan *drag* kumpulan data yang telah dibuat dari jendela *material sets* ke klaster tanah pada bidang gambar dan lepas di atasnya. Maka material sudah masuk dalam bidang gambar apabila bidang gambar berubah warna berarti sudah masuk ke dalam bidang gambar.
- g. Selanjutnya klik tombol OK pada jendela *material sets* untuk menutup basis data.



**Gambar 4.8 Lembar Tab *General* dari Jendela *Material Sets***

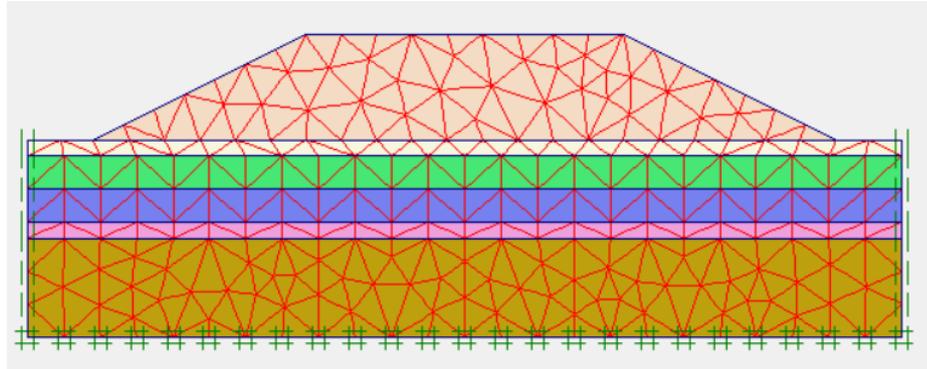


**Gambar 4.9 Lembar Tab *Parameters* dari Jendela *Material Sets***

## 5. Mesh Generation



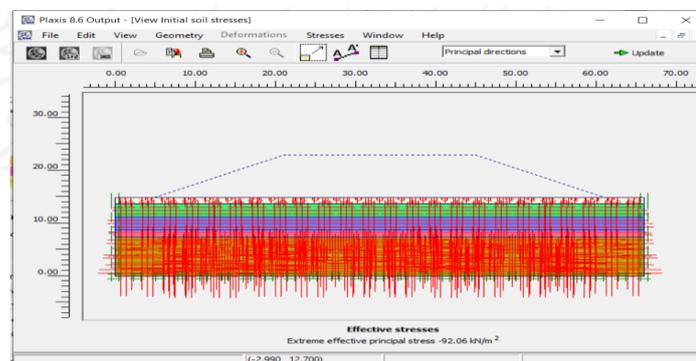
Klik pilihan Generate Mesh pada toolbar atau pilih susunan dari menu mesh. Setelah penyusunan jaringan elemen maka setelah itu sebuah jendela baru akan terbuka dimana jaringan elemen hingga terbentuk seperti Gambar 4.10. kemudian klik tombol <perbarui> untuk kembali ke modus masukkan geometri.



**Gambar 4.10 Jaringan Elemen Hingga (*Meshing*)**

6. *Initial Condition*

- a. Klik/pilih tombol  *initial conditions* pada toolbar.
- b. Klik /pilih tombol  *phreatic level* lalu klik titik awal dan titik akhir untuk meletakkan muka air.
- c. Klik tombol  *generate pressure water*.
- d.  Klik tombol sebelah kanan dari “switch”.
- e.  Klik pilihan *General initial stresses* pada toolbar. Kotak dialog *Ko-procedure* akan muncul lalu pilih OK seperti pada Gambar 4.11. berikut ini.

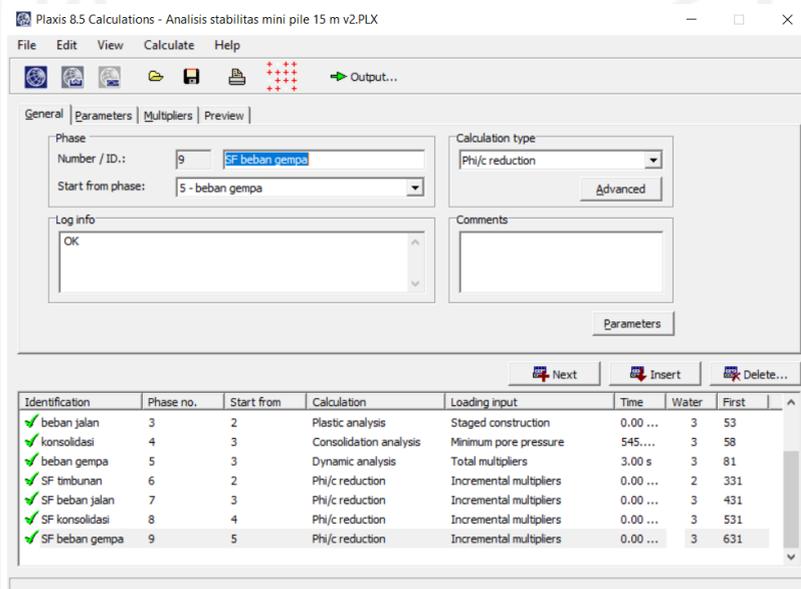


**Gambar 4.11 Tegangan awal pada Geometri**

- a.  kemudian klik *Calculate*.

#### 4.6.2 Plaxis Calculation

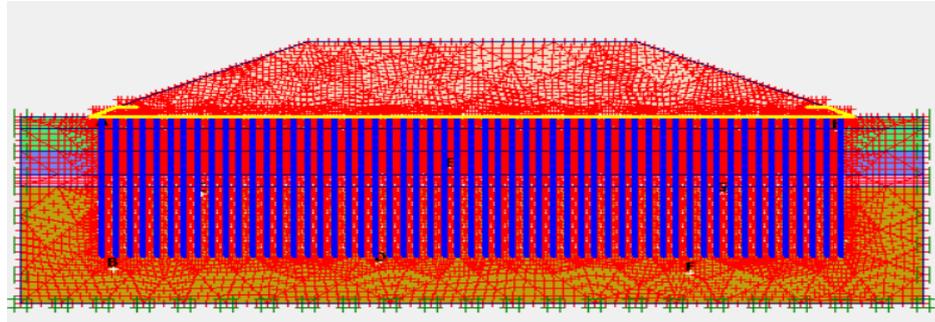
Pada bagian *calculation*, terdapat empat lembar tab yaitu *generate*, *parameters*, *multipliers* dan *preview*. Dalam lembar tab *general*, pada *calculation type* dipilih *plastic analysis* yang digunakan untuk mengetahui besar displacement dari kondisi yang ditinjau, dipilih *phi/c reduction* untuk mengetahui pengaruh dari akibat gempa sedangkan pada lembar tab *parameters* dipilih *staged construction* untuk *loading input*. Untuk detailnya dapat dilihat pada Gambar 4.12. berikut ini.



**Gambar 4.12 Jendela Calculations dengan Lembar Tab General**



Langkah selanjutnya adalah menentukan titik yang akan ditinjau untuk menggambarkan dalam tampilan kurva yaitu dengan cara klik tombol *select point for curve* seperti Gambar 4.13. berikut ini.



**Gambar 4.13 Pemilihan Titik Kurva yng Ditinjau**

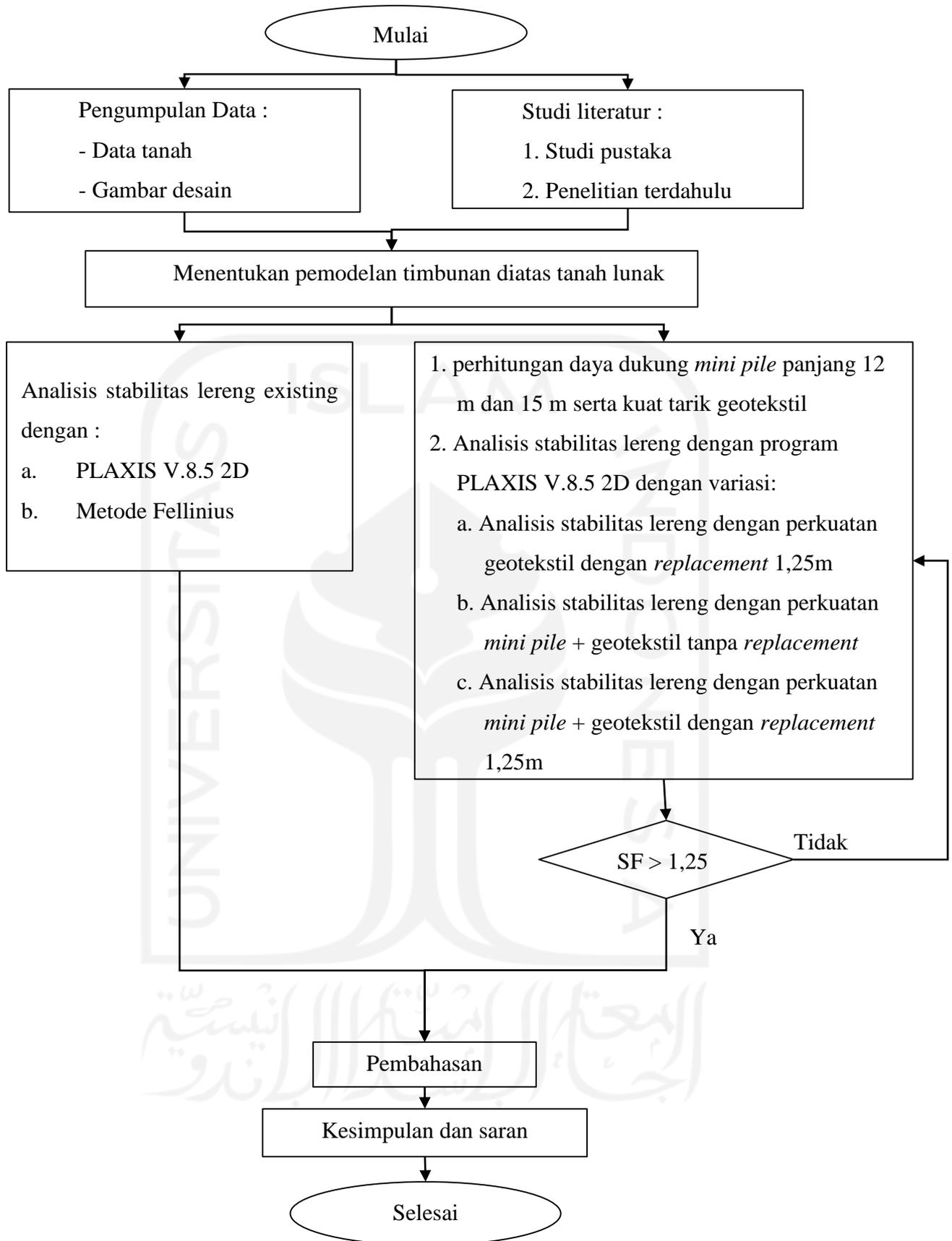
Kemudian langkah selanjutnya adalah klik tombol *calculation* untuk menjalankan analisis perhitungan.

#### 4.6.3 *Plaxis Output*

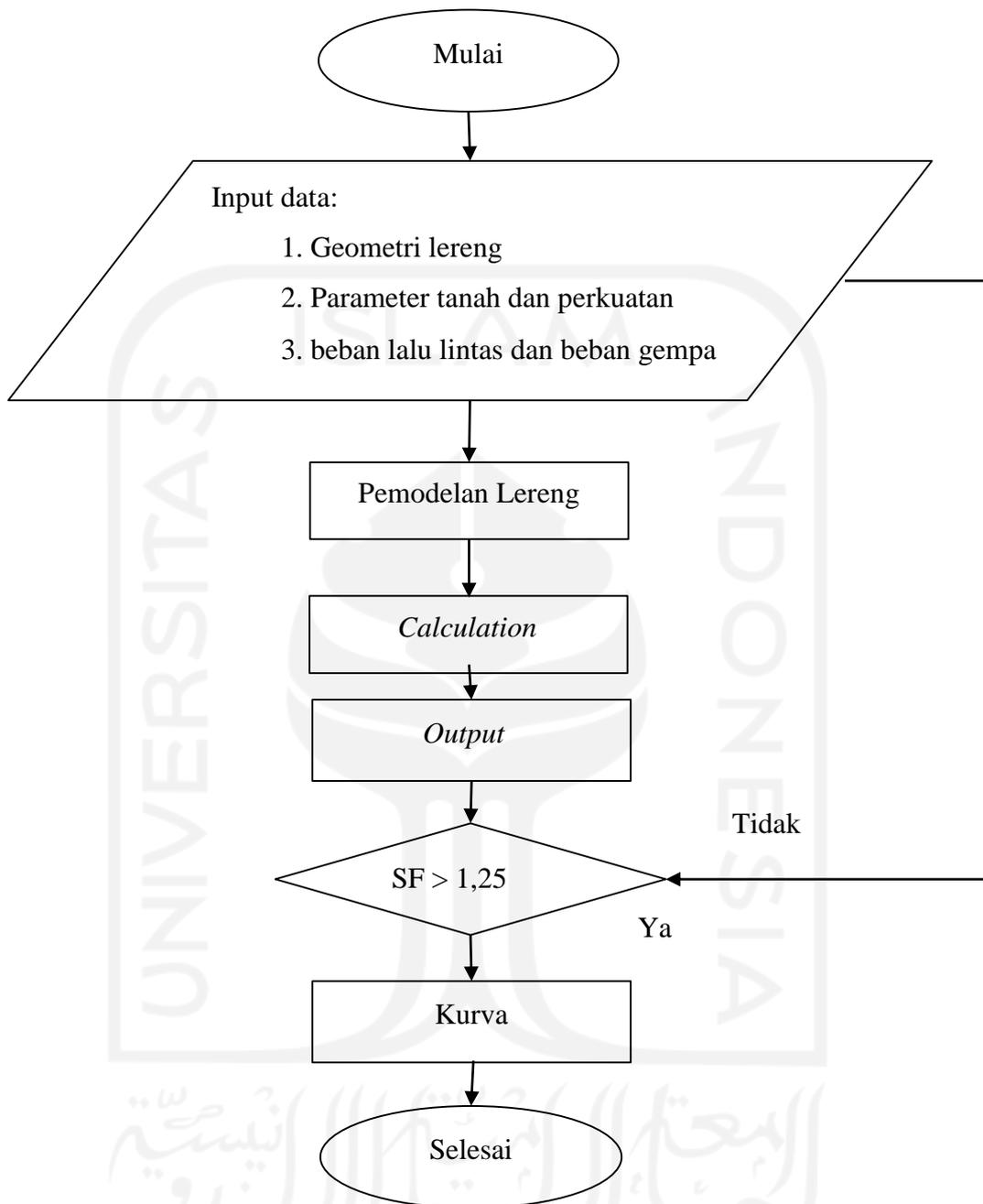
Setelah semua tahap analisis perhitungan selesai, selanjutnya klik tombol  *Output...* untuk menampilkan hasil dari tahap analisis perhitungan yang telah dilakukan.

#### 4.7 **Bagan Alir**

Bagan alir atau *flow chart* ialah langkah-langkah yang dilalui pada proses penelitian. Dengan adanya bagan alir ini, kita dapat melakukan evaluasi prosedur yang ada apakah sudah optimal atau masih diperlukannya perbaikan. Adapun bagan alir penelitian dalam Tugas Akhir ini dapat dilihat pada Gambar 4.14 dan bagan alir pemodelan lereng pada *Plaxis* dapat dilihat pada Gambar 4.15.



**Gambar 4.14 Bagan Alir Penelitian**



**Gambar 4.15 Bagan Alir Pemodelan Lereng Pada Program PLAXIS**

## **BAB V**

### **ANALISIS DAN PEMBAHASAN**

#### **5.1 Gambaran Umum Analisis**

Kondisi lereng timbunan pada proyek jalan tol seksi v Pekanbaru-Dumai Sta 79+550 adalah tempat sebagai studi kasus yang akan dilakukan penelitian ini. Lapisan tanah pada lokasi proyek ini di dominasi oleh tanah lempung dan lanau, dan lapisan tanah yang digunakan sampai lapisan ketiga pada kedalaman 15 meter. Sedangkan tanah yang digunakan untuk timbunan ialah tanah lempung berpasir yang dipadatkan. Analisis ini dilakukan untuk mengetahui pada ketinggian yang sudah ditentukan apakah mengalami kelongsoran pada lereng. Keruntuhan yang terjadi dapat disebabkan karena tanah timbunan sudah tidak dapat menahan gaya-gaya yang terjadi akibat beban pada saat timbunan sudah akan digunakan maupun saat pembuatan timbunan.

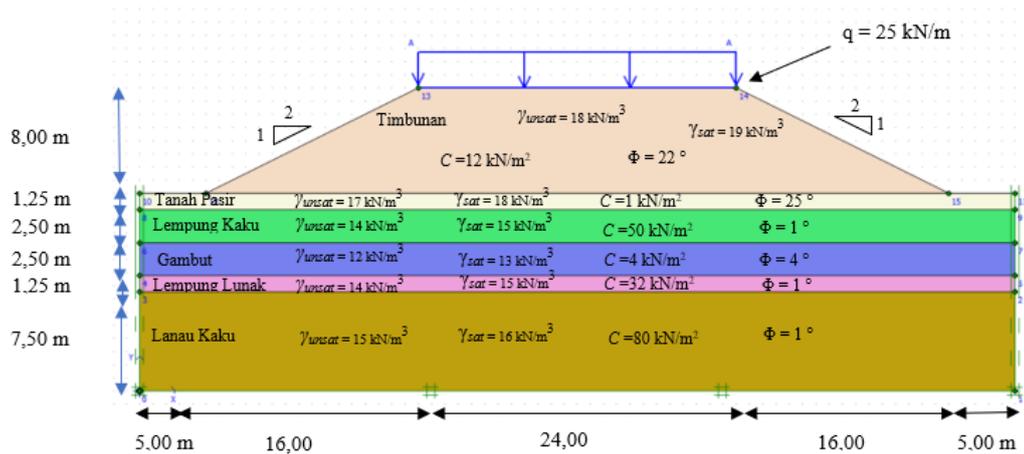
Analisis dilakukan menggunakan tinggi timbunan 8 m. parameter beban yang digunakan adalah beban struktur dari perkerasan jalan dan beban lalu lintas. Pada lereng timbunan dengan angka aman yang belum memenuhi syarat angka aman, maka akan dilakukan perkuatan menggunakan tambahan perkuatan *mini pile + geotextile*. Oleh karena itu perlu dilakukan analisis dengan menggunakan perkuatan pada lereng timbunan yang tidak aman, sehingga dapat diketahui apakah tambahan *mini pile + geotextile* mampu menahan kelongsoran yang dapat terjadi dan meningkatkan nilai angka aman dari timbunan lereng jalan.

#### **5.2 Analisis Data Lereng**

Hal yang diperlukan dalam melakukan analisis stabilitas lereng ialah data tanah dari lapangan. Dalam penelitian ini, data tanah yang digunakan adalah data sekunder yang diperoleh dari proyek Jalan Tol Seksi V Pekanbaru-Dumai Sta. 79+550 Geotechnical PT. Eskapindo Matra 2020. Berikut ini adalah kondisi eksisting lereng, parameter tanah, beban-beban yang bekerja serta geometri lereng.

### 5.2.1 Kondisi eksisting lereng

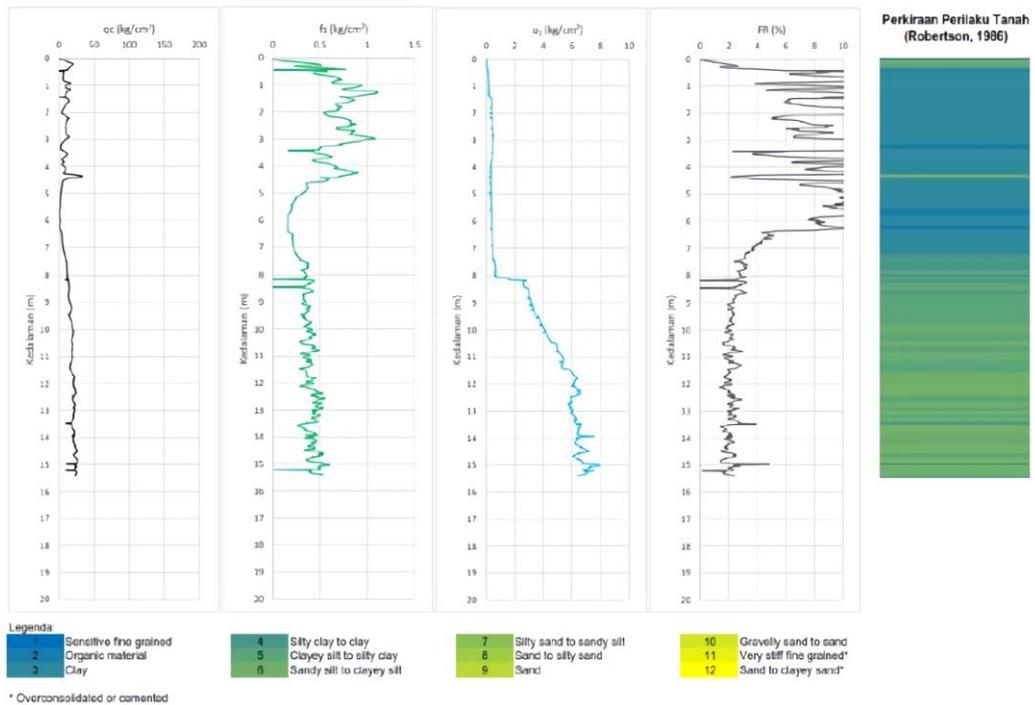
Data lereng proyek pembangunan Jalan Tol Pekanbaru-Dumai STA. 79+550 diperoleh dari Geotechnical PT. Eskapindo Matra. Berdasarkan data yang diperoleh, gambar potongan melintang jalan dapat dilihat pada Gambar 5.1.



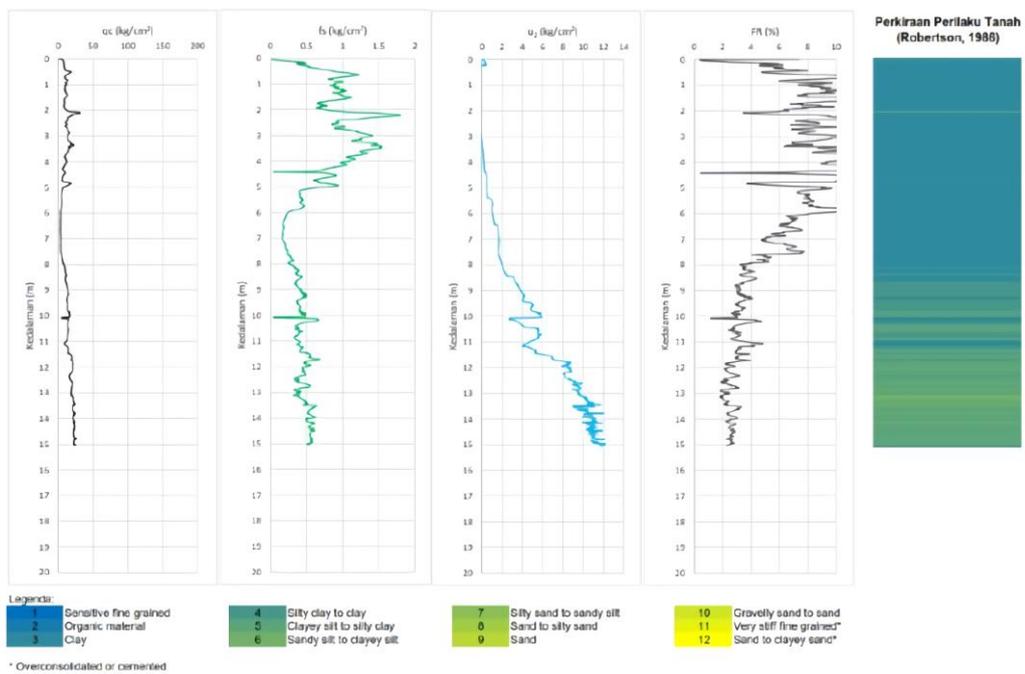
**Gambar 5.1 Geometri Kondisi Eksisting lereng Tanah Asli**

### 5.2.2 Data Tanah

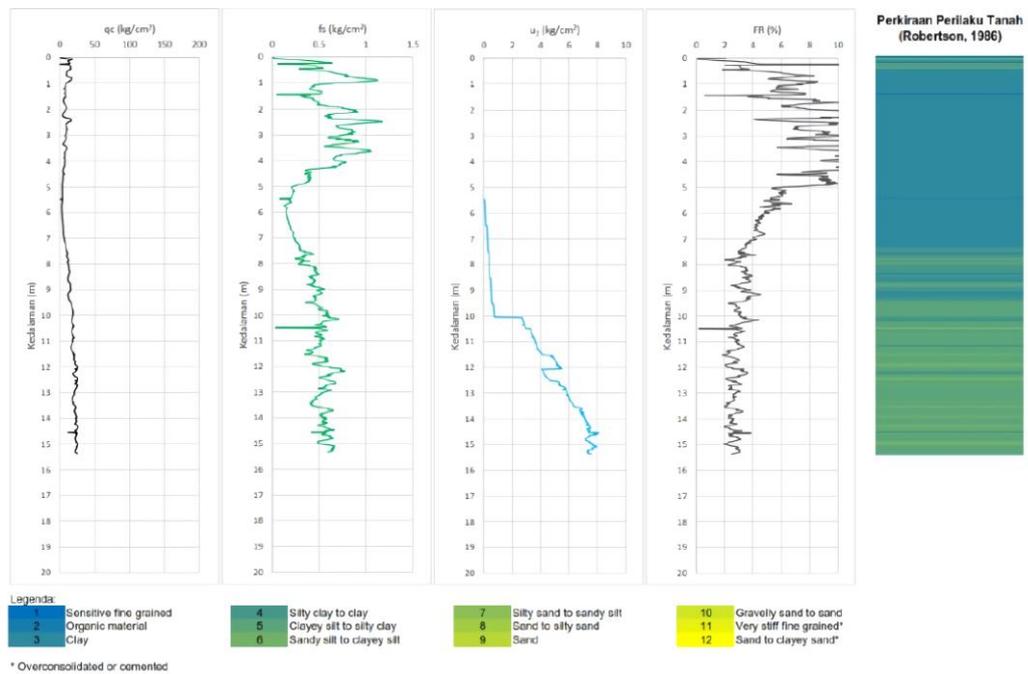
Data tanah yang digunakan dalam perencanaan perbaikan lereng mengacu pada penyelidikan tanah yang dilakukan oleh PT. Eskapindo Matra yaitu uji sondir (*cone penetration test*). Hasil uji sondir dapat dilihat pada Gambar 5.2, 5.3 dan 5.4 berikut.



**Gambar 5.2 Stratifikasi Tanah CPTu-01 STA 79+000**



**Gambar 5.3 Stratifikasi Tanah CPTu-02 STA 79+000**



**Gambar 5.4 Stratifikasi Tanah CPTu-03 STA 79+000**

Adapun parameter tanah yang digunakan dalam perencanaan stabilitas lereng ini dapat dilihat pada Tabel 5.1.

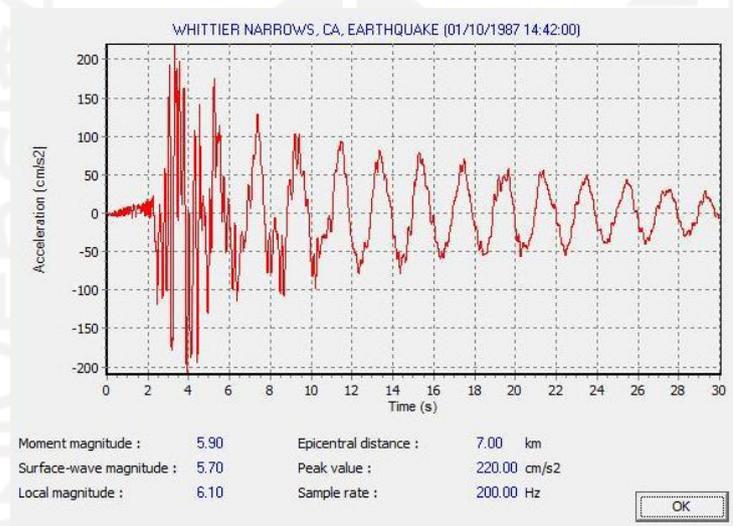
Tabel 5.1 Data Parameter Tanah

Parameter	Simbol	Satuan	Tanah Lapisan 1	Tanah Lapisan 2	Tanah Lapisan 3	Tanah Lapisan 4	Tanah Lapisan 5	Tanah Timbunan
Jenis Tanah	-	-	<i>replacement</i> (tanahpasir)	Lempung Kaku	Gambut	Lempung Lunak	Lanau Kaku	TimbunanPilihan
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>
Material Tipe	-	-	<i>Drained</i>	<i>Undrained</i>	<i>Undrained</i>	<i>Undrained</i>	<i>Undrained</i>	<i>Drained</i>
Kedalaman Tanah	H	m	1,25	2,50	2,50	1,25	7,50	8,00
Berat Volume Tanah	$\gamma_{unsat}$	kN/m <sup>3</sup>	17,00	14,00	12,00	14,00	15,00	18,00
Berat Volume Jenuh	$\gamma_{sat}$	kN/m <sup>3</sup>	18,00	15,00	13,00	15,00	16,00	19,00
Kohesi	$c$	kN/m <sup>2</sup>	1	50	4	32	80	12
SudutGeserDalam	$\phi$	°	25	1	4	1	1	22
Modulus elastisitas	E	kN/m <sup>2</sup>	15000	10400	4000	6400	16000	14000
IndeksPermeabilitas	$k_x, k_y$	m/hari	1,0	0,000864	0,00864	0,000864	0,000864	0,864
Angka Poisson	$\nu$	-	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
SudutDilatasi	$\Psi$	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

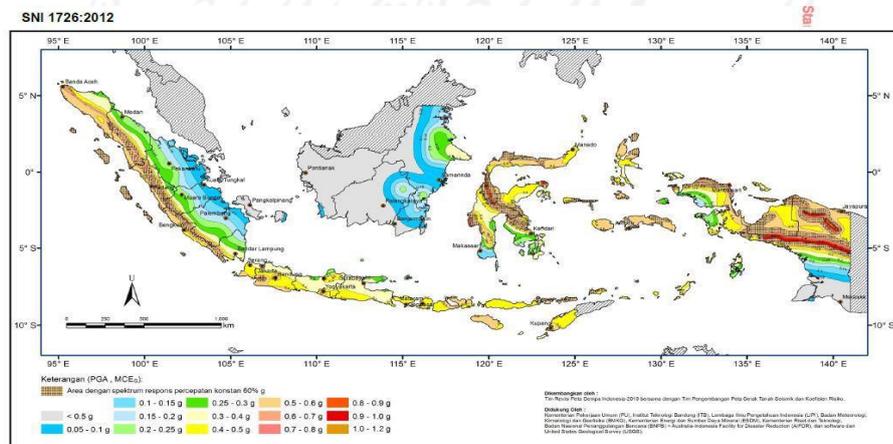
Sumber: PT. Eskapindo (2020)

### 5.2.3 Data Beban Gempa

Wilayah Riau memasuki zona gempa dengan percepatan puncak gempa (PGA) sebesar 0,2 – 0,25 g. Digunakan nilai percepatan sebesar 0,22 g dengan waktu interval sebesar 3 detik yang didapatkan data dari grafik hubungan antara waktu dan percepatan gempa kawasan Whittier Narrows pada 1 Oktober 1987 yang dapat dilihat pada Gambar 5.5 dan 5.6. Dalam analisis stabilitas lereng, digunakan metode *pseudostatik*. Berdasarkan Melo dan Sharma (2004) beban gempa tersebut dikalikan 1/2 hingga 1/3 dari PGA. Oleh karena itu, digunakan beban sebesar 1/2 dari 0,22 g yaitu sebesar 0,11 g.



**Gambar 5.5 Grafik Hubungan Antara Percepatan dan Waktu**  
(Sumber: Data Gempa Whittier Narrows California, 1987)



**Gambar 5.6 Peta Zonasi Gempa Indonesia**  
(Sumber: SNI 1726:2012)

#### 5.2.4 Data Beban Lalu Lintas dan Stuktur

Jalan Tol Pekanbaru-Dumai mempunyai beban perkerasan sebesar  $10 \text{ kN/m}^2$  dari data sekunder, sedangkan beban lalu lintas sebesar  $15 \text{ kN/m}^2$  sesuai fungsi jalan dan sistem jaringan jalan pada Tabel 5.2.

**Tabel 5.2 Beban Lalu Lintas**

Fungsi	Sistem Jaringan	Lalu Lintas Harian Rata-rata (LHR)	Beban Lalu Lintas ( $\text{kN/m}^2$ )
Primer	Arteri	Semua	15
	Kolektor	$>10.000$	15
		$<10.000$	12
Sekunder	Arteri	$>20.000$	15
		$<20.000$	12
	Kolektor	$>6000$	12
		$<6000$	10
	Lokal	$>500$	10
		$<500$	10

Sumber: Departemen Pekerjaan Umum (2009)

#### 5.2.5 Data Mini Pile

*Mini piles* yang digunakan adalah dari beton bertulang  $f'c = 25 \text{ Mpa.}$ , ukuran  $20 \text{ cm} \times 20 \text{ cm}$ , jarak antar *mini pile*  $1 \text{ m}$  (disusun dalam bentuk segi empat) dengan panjang  $12 \text{ m}$  dan  $15 \text{ m}$  di lapangan. Data Parameter mini pile dari PT. Eskapindo Matra yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 5.3

**Tabel 5.3 Data Parameter Mini Pile**

<i>Parameters</i>	<i>Name</i>		<i>Units</i>
<i>Type of Behavior</i>	<i>Type</i>	<i>Elastoplastic</i>	-
<i>Normal Stiffness</i>	<i>EA</i>	$8,31 \times 10^6$	$\text{kN/m}$
<i>Flexural Rigidity</i>	<i>EI</i>	$2,75 \times 10^4$	$\text{kNm}^2/\text{m}$
<i>Equivalent Thickness</i>	<i>d</i>	0,2	$\text{m}$
<i>Poisson Ratio</i>	$\nu$	0,2	-
<i>Momen Crack</i>	<i>Mp</i>	18,32	$\text{kNm/m}$
<i>Allowable Axial Load</i>	<i>Np</i>	560	$\text{kN/m}$
<i>Weight</i>	<i>w</i>	0,96	$\text{kN}$

(Sumber: PT. Eskapindo, 2020)

### 5.2.6 Data Geotekstil

Geotekstil yang digunakan merupakan geotekstil jenis *woven* atau geotekstil teranyam. data geotekstil yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 5.4.

**Tabel 5.4 Data Parameter Geotekstil**

<i>Parameters</i>	<i>Name</i>	<i>Layer1</i>	<i>Units</i>
<i>TensileStrength</i>	<i>Ta</i>	150	<i>KN/m</i>
<i>Normal Stiffnes</i>	<i>EA</i>	1250	<i>KN/m</i>

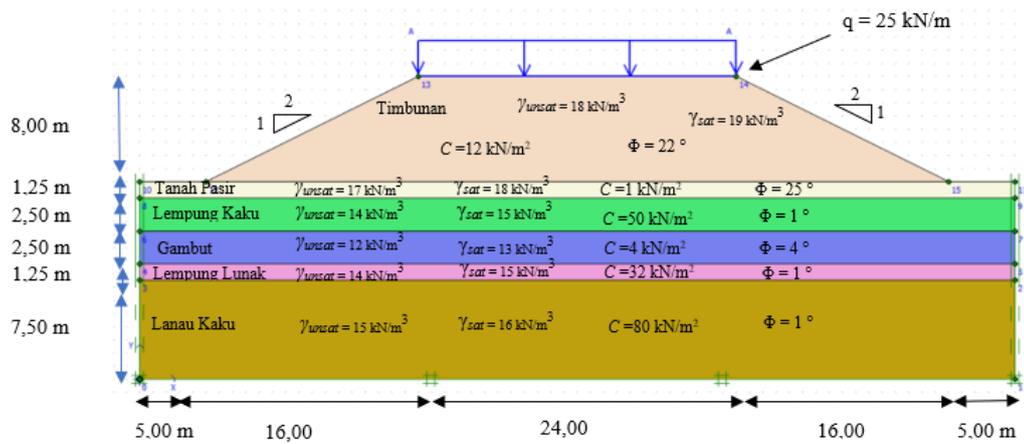
(Sumber: PT. Tetrasa Geosinindo, 2022)

### 5.3 Analisis Stabilitas Timbunan Asli Tanpa Tambahan Perkuatan dengan Plaxis V.8.5.

Langkah yang pertama kali dilakukan adalah mencari faktor keamanan timbunan asli tanpa tanpa perkuatan tambahan (eksisting) dan mencari bentuk longsor dari timbunan asli. Gunakan software PLAXIS 8.5 untuk menganalisis kedua hal tersebut. Analisis yang ditunjukkan di bawah ini merupakan timbunan dengan ketinggian 8 m. Berikut ini adalah tahapan analisis stabilitas timbunan tanah asli tanpa perkuatan setinggi 8m.

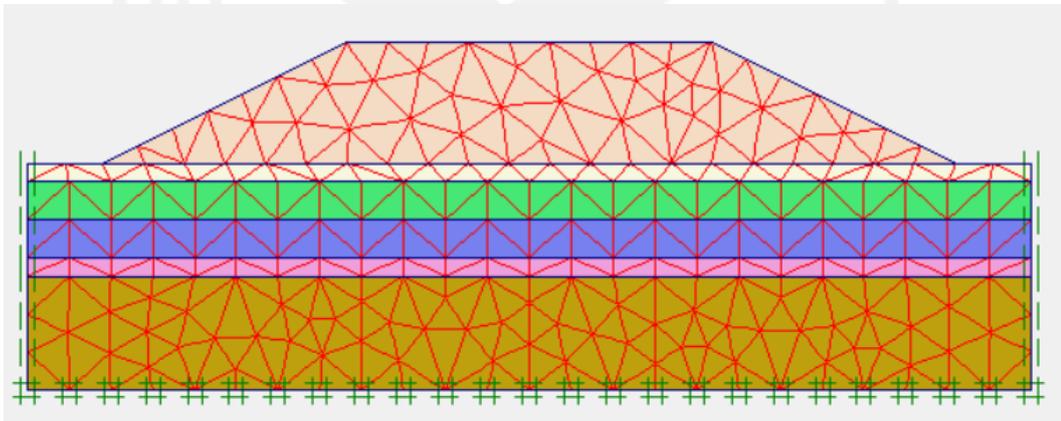
#### 1. Pemodelan Timbunan 8 meter

Pemodelan awal timbunan yang digunakan adalah data potongan melintang jalan dan data parameter yang didapatkan. Pemodelan meliputi properti tanah, geometri timbunan, beban merata sebesar 25 kN/m akibat beban struktur dan beban lalu lintas. Adapun beban gempa didasarkan pada peta zonasi gempa Indonesia yang mana percepatan puncak sebesar 0,2 – 0,25 g. dalam analisis stabilitas lereng, digunakan metode *pseudostatik*. Berdasarkan Melo dan Sharma (2004) beban gempa tersebut dikalikan 1/2 hingga 1/3 dari PGA. Oleh karena itu, digunakan beban sebesar 1/2 dari 0,22 g yaitu sebesar 0,110 g. pemodelan timbunan 8 meter dapat dilihat pada Gambar 5.7. berikut ini.



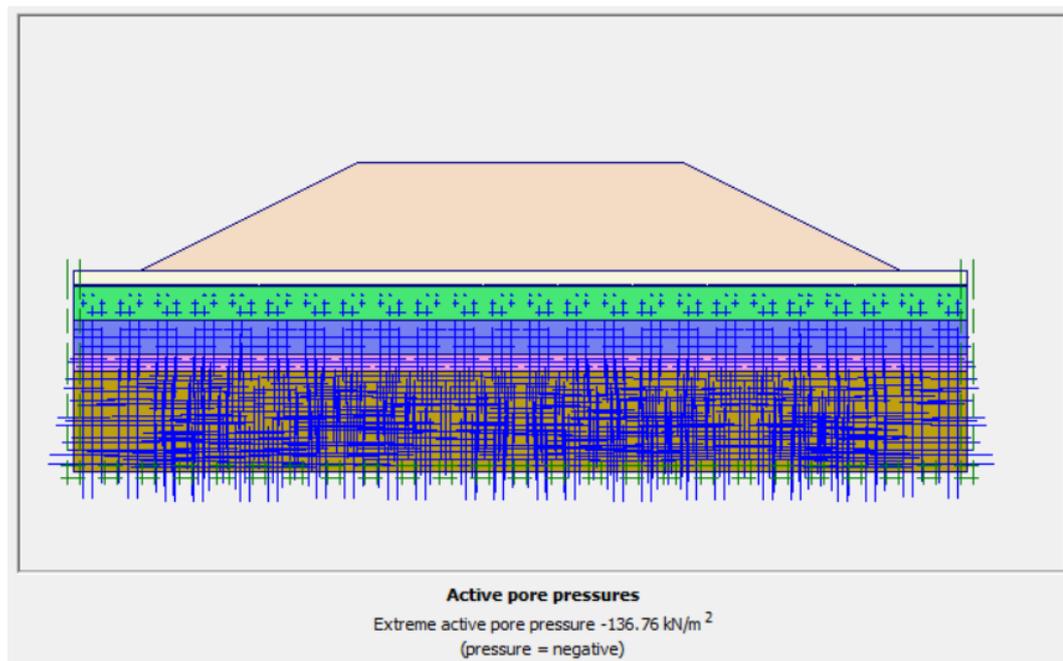
**Gambar 5.7 Pemodelan Timbunan 8 Meter**

Setelah selesai melakukan pemodelan maka tahapan selanjutnya adalah tahapan meshing. Tingkat kekasaran meshing yang digunakan adalah pada leel fine. Hasil general meshing dapat dilihat pada Gambar 5.8 berikut ini.



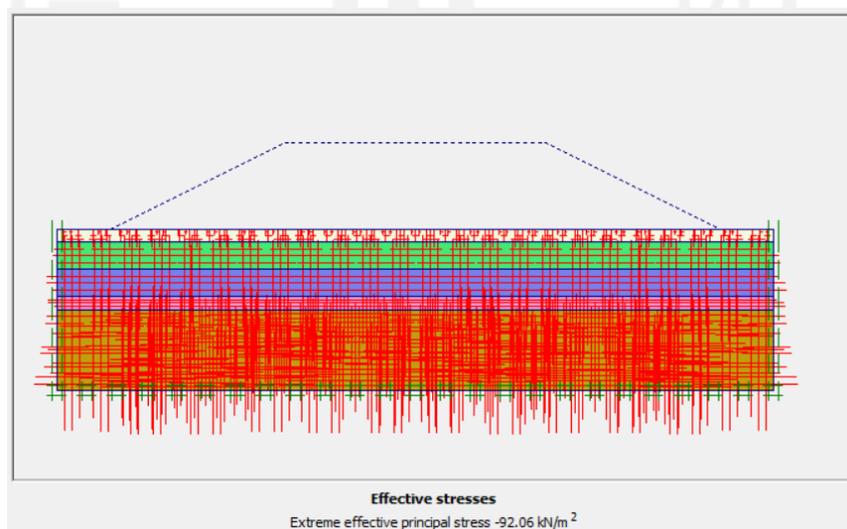
**Gambar 5.8 General Meshing Pada Timbunan 8 Meter**

Setelah tahapan meshing selesai dilakukan, langsung dilanjutkan ke tahapan perhitungan kondisi awal. Per45tama menentukan tekanan pori air yang terjadi. Tekanan pori air dapat dilihat pada Gambar 5.9. berikut ini.



**Gambar 5.9 Tekanan Pori Air Pada Tinbunan 8 Meter**

Setelah tekanan pori air diketahui, maka selanjutnya adalah tahapan menentukan initial stresses. Hasil initial stresses dapat dilihat pada Gambar 5.10. berikut ini.

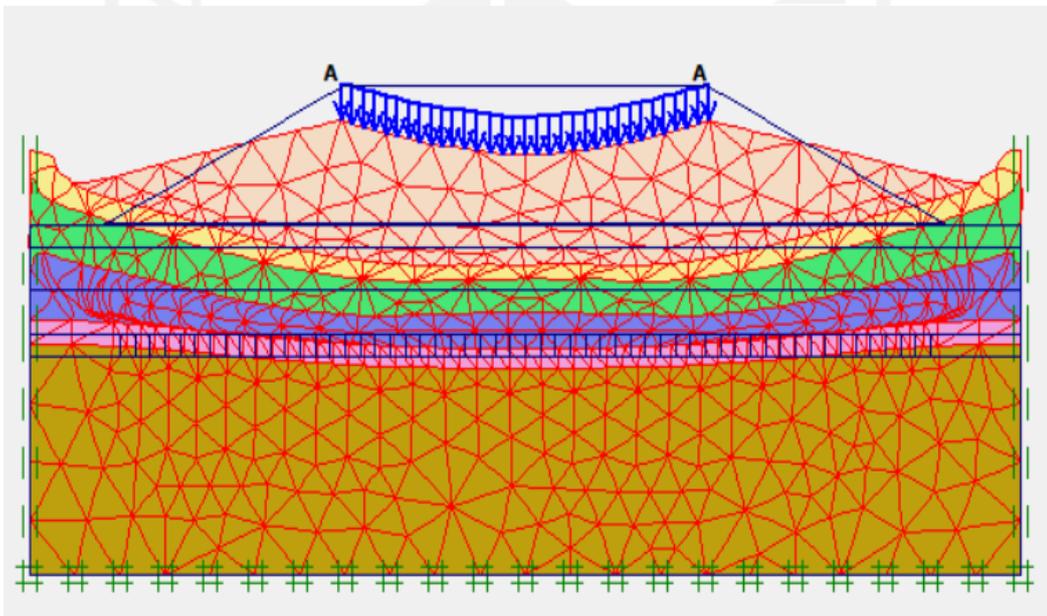


**Gambar 5.10 General Initial Stresses Pada Timbunan 8 Meter**

2. Tahapan kalkulasi model timbunan 8 meter

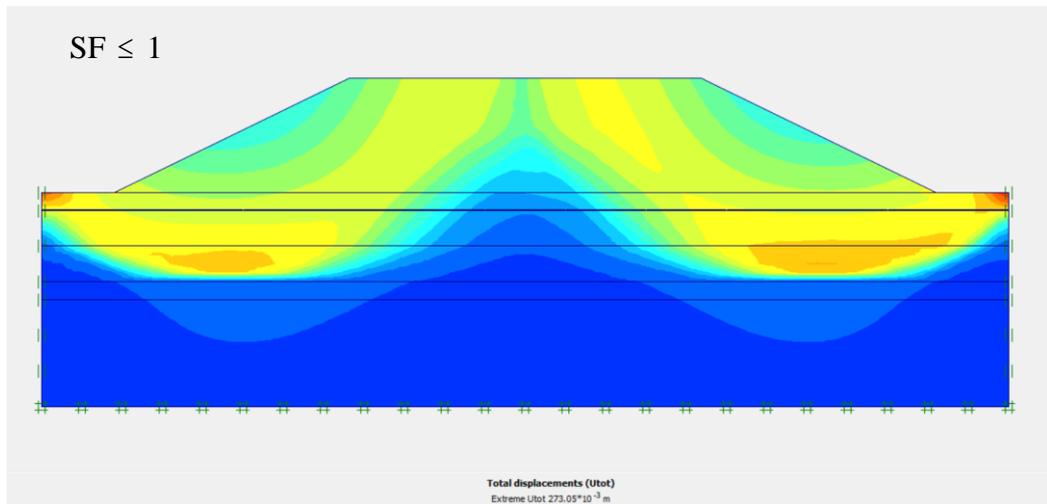
Setelah dilakukan tahapan pemodelan, maka tahapan selanjutnya adalah tahap kalkulasi. Adapun yang dimaksud dengan tahapan kalkulasi adalah memasukkan Base Soil, kedua timbunan, ketiga beban struktur dan beban lalu lintas, keempat adalah perhitungan safety factor beban struktur, dan yang kelima adalah terkait konsolidasi. Hasil dari kalkulasi menunjukkan adanya potensi longsor pada timbunan 8 meter.

Berikut adalah gambar deformed mesh untuk lereng asli timbunan 8 meter terdapat pada Gambar 5.11.

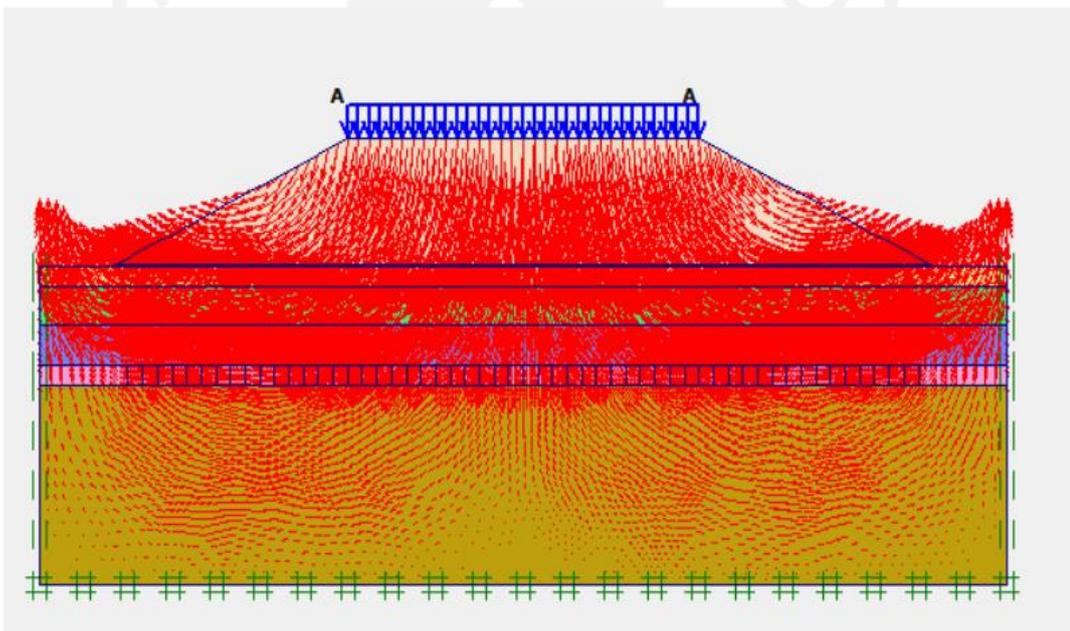


**Gambar 5.11 Deformed Mesh Lereng Asli**

Selanjutnya ditampilkan total displacement dan arah pergerakan tanah lereng asli yang terdapat pada Gambar 5.12 dan 5.13.

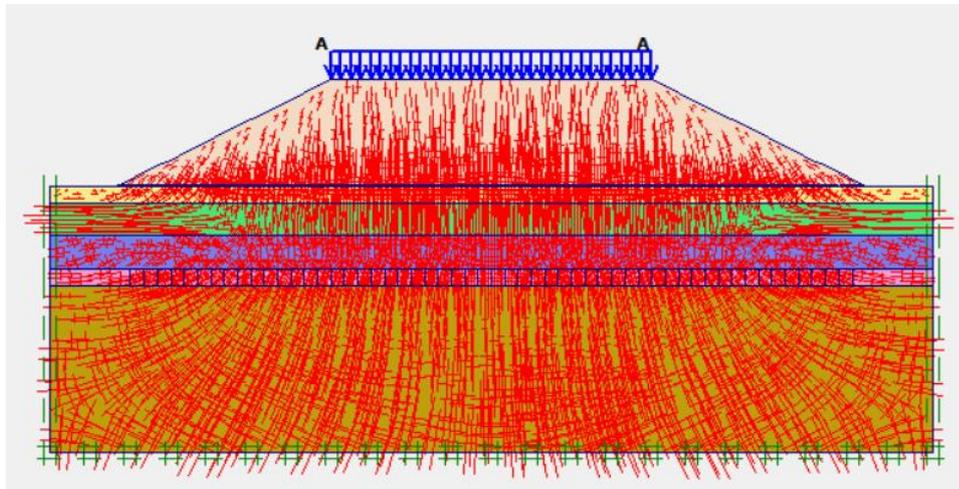


**Gambar 5.12 Bidang Longsor Timbunan Asli 8 Meter**



**Gambar 5.13 Arah Pergerakan Tanah Lereng Asli**

Besarnya nilai effective stresses pada lereng timbunan asli 8 meter sebesar  $-155,81 \text{ kN/m}^2$ . Hasil tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.14 berikut ini.



**Gambar 5.14 Effective Stresses Lereng Timbunan Asli**

Hasil kalkulasi pada timbunan 8 m mengalami *collapse* seperti dilihat pada Gambar 5.15. berikut ini.

Plaxis 8.5 Calculations - Analisis stabilitas lereng existing.PLX

File Edit View Calculate Help

Control parameters  
 Additional Steps: 250  
 Reset displacements to zero  
 Ignore undrained behaviour  
 Delete intermediate steps

Iterative procedure  
 Standard setting  
 Manual setting

Loading input  
 Staged construction  
 Total multipliers  
 Incremental multipliers  
 Time interval : 0.0000 day  
 Realised end time : 0.0000 day

Identification	Phase no.	Start from	Calculation	Loading input	Time	Water	First
Initial phase	0	0	N/A	N/A	0.00 ...	0	0
X tanah timbunan	1	0	Plastic analysis	Staged construction	0.00 ...	1	1
→ konsolidasi	2	1	Consolidation analysis	Minimum pore pressure	0.00 ...	1	
→ beban	3	2	Plastic analysis	Staged construction	0.00 ...	3	
→ SF 1	4	1	Phi/c reduction	Incremental multipliers	0.00 ...	1	
→ SF 2	5	2	Phi/c reduction	Incremental multipliers	0.00 ...	1	
→ SF 3	6	3	Phi/c reduction	Incremental multipliers	0.00 ...	3	

**Gambar 5.15 Hasil Kalkulasi**

Rekapitulasi hasil perhitungan dengan PLAXIS 8.5 pada tinggi timbunan 8 m dapat dilihat pada Tabel 5.5. berikut ini.

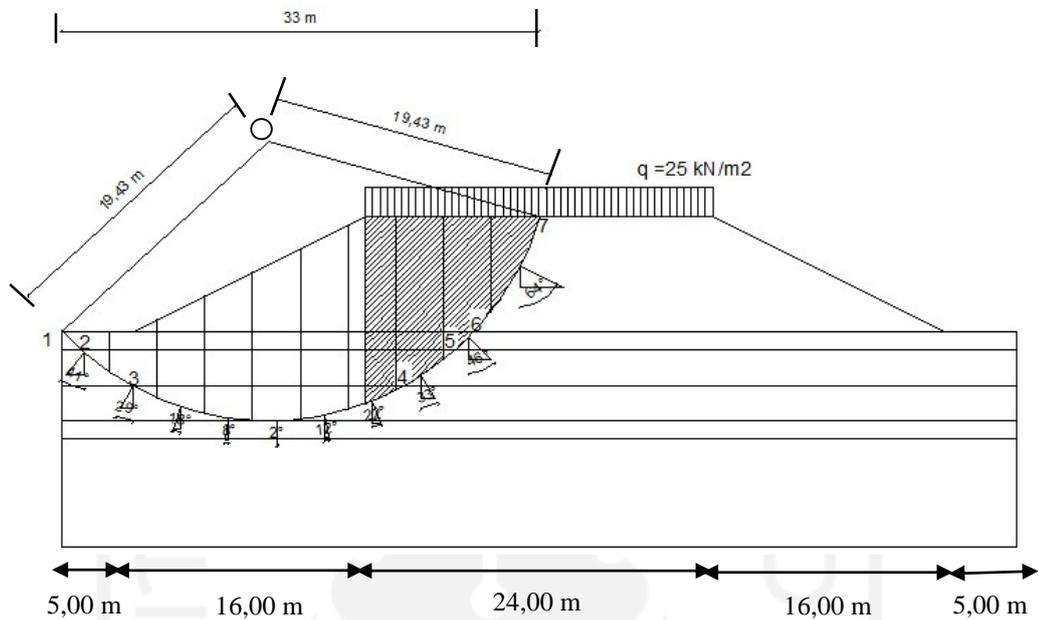
**Tabel 5.5 Rekapitulasi Hasil Analisis Seluruh Timbunan Tanah Asli Tanpa Penambahan Perkuatan dengan Plaxis 8.5**

No.	Tinggi Timbunan	SF	Penurunan Tanah (m)
1	8	<i>Collapse</i>	-

Berdasarkan hasil analisis diatas maka dapat disimpulkan bahwa timbunan dengan tinggi 8 meter mengalami *collapse*, yang mana belum memenuhi angka keamanan menurut Bowless ( $SF \geq 1,25$ ). Maka tahapan selanjutnya yang dapat dilakukan ialah perhitungan dengan metode Fellinius agar mendapatkan angka aman dari timbunan 8 m.

#### 5.4 Perhitungan dengan Metode Fellinius

Berdasarkan analisis PLAXIS timbunan 8 meter yang telah dilakukan sebelumnya, maka timbunan yang memiliki *safety factor* tidak aman . pada perhitungan ini akan dijelaskan contoh perhitungan manual pada timbunan 8 meter sehingga dapat diketahui nilai *safety factor* yang terjadi. Perhitungan manual yang akan digunakan ialah metode Fellinius. Sebelum melakukan perhitungan, maka harus dibuat pemodelan timbunan sehingga diperoleh pias-pias yang akan menjadi dasar perhitungan. Untuk pemodelan dalam perhitungan manual dapat dilihat pada Gambar 5.16. berikut ini.



**Gambar 5.16 Penampang Irisan pada Lereng Timbunan Tanah Asli**

Bidang longsor dibagi menjadi 10 irisan. Panjang total dari bidang longsor (arah horizontal) adalah sebesar 33 m, maka tiap irisan akan mempunyai lebar  $33/10 = 3,3$  m. Untuk hasil rekapitulasi perhitungan menggunakan Metode Fellenius dapat dilihat pada Tabel 5.6. berikut ini.

**Tabel 5.6 Rekapitulasi Perhitungan Menggunakan Metode Fellinius**

No Irisan	Lapisan Tanah	$\theta$ (°)	A (m <sup>2</sup> )	W (kN)	W.sin $\theta$ (kN)	W.cos $\theta$ (kN)	W.cos $\theta$ .tan $\phi$ (kN)
1	Timbunan	-41	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	1		3.359	57.103	-37.463	43.096	20.096
	2		1.706	8.684	-5.697	6.554	0.114
	3		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2	Timbunan	-29	0.640	11.520	-5.585	10.076	4.071
	1		4.125	70.125	-33.997	61.333	28.600
	2		7.624	38.806	-18.814	33.941	0.592
	3		0.892	2.845	-1.380	2.489	0.174
3	Timbunan	-18	5.363	96.534	-29.831	91.809	37.093
	1		4.125	70.125	-21.670	66.693	31.099
	2		8.250	41.993	-12.976	39.937	0.697
	3		4.998	15.944	-4.927	15.163	1.060
4	Timbunan	-8	10.808	194.544	-27.075	192.651	77.836
	1		4.125	70.125	-9.760	69.443	32.382
	2		8.250	41.993	-5.844	41.584	0.726
	3		7.536	24.040	-3.346	23.806	1.665
5	Timbunan	2	16.253	292.554	10.210	292.376	118.127
	1		4.125	70.125	2.447	70.082	32.680
	2		8.250	41.993	1.466	41.967	0.733
	3		8.145	25.983	0.907	25.967	1.816

**Lanjutan Tabel 5.6 Rekapitulasi Perhitungan Menggunakan Metode Fellenius**

No Irisan	Lapisan Tanah	$\theta$ (°)	A (m <sup>2</sup> )	W (kN)	W.sin $\theta$ (kN)	W.cos $\theta$ (kN)	W.cos $\theta$ .tan $\phi$ (kN)
6	Timbunan	12	21.698	390.564	81.203	382.029	154.350
	1		4.125	70.125	14.580	68.593	31.985
	2		8.250	41.993	8.731	41.075	0.717
	3		6.881	21.950	4.564	21.471	1.501
7	Timbunan	22	26.040	557.670	208.907	517.063	208.907
	1		4.125	159.075	59.591	147.492	68.777
	2		8.250	130.943	49.052	121.408	2.119
	3		3.624	100.511	37.652	93.192	6.517
8	Timbunan	33	26.400	573.525	312.364	480.999	194.336
	1		4.125	168.450	91.744	141.274	65.877
	2		6.120	129.476	70.518	108.588	1.895
	3		0.138	98.765	53.791	82.831	5.792
9	Timbunan	46	25.642	579.706	417.006	402.698	162.700
	1		1.924	150.858	108.518	104.795	48.867
	2		0.341	119.886	86.239	83.280	1.454
	3		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10	Timbunan	64	12.728	421.029	378.418	184.567	74.570
	1		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	2		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	3		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Jumlah				4889.558	1779.542	4110.317	1419.925

Berdasarkan hasil pengukuran panjang garis lengkung tanah lapis 3 (3-4) = 19,931 m, panjang garis lengkung tanah lapis 2 ((2-3) + (4-5)) = 8,584 m dan lapis 1 ((1-2) + (5-6)) = 3,558 m dan panjang garis lengkung tanah lapis Timbunan (6-7) = 9,242 m. Dari panjang garis lengkung tersebut dapat dihitung nilai tahanan kelongsoran yang dikerahkan oleh komponen kohesi sebagai berikut.

$$\begin{aligned}\sum c_i a_i &= (12 \times 9,242) + (1 \times 3,558) + (50 \times 8,584) + (4 \times 19,931) \\ &= 623,386 \text{ kN/m}\end{aligned}$$

Pada tanah timbunan terdapat beban merata yang dihasilkan dari beban struktur dan beban lalu lintas sebesar 25 kN/m<sup>2</sup>. Berdasarkan hasil pengukuran panjang garis lengkung tanah yang menerima beban pada pias 7 = 2,294 m, pias 8 = 3,933 m, pias 9 = 4,726 m, dan pias 10 = 7,459 m. Maka dari itu, momen yang dihasilkan dari beban merata tersebut diperhitungkan sebagai momen yang menggerakkan.

$$\begin{aligned}Mq &= (q \times A) \\ &= (25 \times 12) \\ &= 300 \text{ kN}\end{aligned}$$

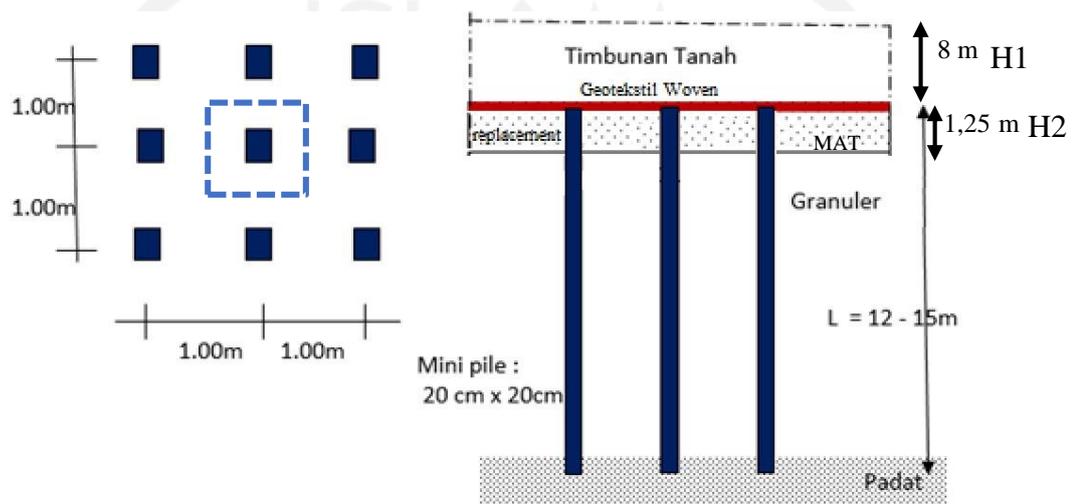
Nilai *Safety factor* pada lereng timbunan tanah asli dengan perhitungan manual menggunakan metode Fellenius adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}SF &= \frac{623,386 + 1419,925}{2597,73 + 1779,542} \\ &= 0,9826 \leq 1,25 \text{ (Lereng Labil)}\end{aligned}$$

Berdasarkan nilai angka aman yang didapat pada lereng timbunan tanah asli, diketahui bahwa semua nilai angka aman tidak memenuhi persyaratan yang ditetapkan oleh Bowless yaitu  $SF \geq 1,25$ . Oleh karena itu perlu dilakukan perkuatan tanah untuk meningkatkan angka aman pada lereng tersebut. Perkuatan tanah yang digunakan adalah mini pile. perkuatan tersebut diharapkan mampu meningkatkan daya dukung tanah dasar.

### 5.5 Analisis Daya Dukung Mini Pile

*Mini piles* yang digunakan adalah dari beton bertulang  $f'c = 25$  Mpa, dengan ukuran 20 cm x 20 cm dengan panjang 12 m dan 15 m di lapangan. Supaya *mini pile* dapat bekerja dengan baik, maka saat pemancangan *mini piles*, ujung *mini piles* harus tertumpu pada lapisan tanah keras atau dengan kata lain *final set*  $< 5$  cm. untuk gambarnya dapat dilihat pada Gambar 5.17.



**Gambar 5.17 Formasi Mini Piles**

#### 5.5.2 Beban yang Bekerja

- a. Data Jalan

$$\text{Beban jalan} = 25 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Berat aksial asumsi } 1 \text{ m}^2 = 25 \text{ kN}$$

- b. Data Timbunan

$$\text{berat volume} = 19 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{tinggi timbunan} = 8 \text{ m}$$

$$\text{berat tanah timbunan} = \text{berat volume} \times \text{tinggi timbunan}$$

$$= 19 \times 8$$

$$= 152 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Berat aksial asumsi } 1 \text{ m}^2 = 152 \text{ kN}$$

- e. Berat aksial total

$$\text{Berat aksial total} = 177 \text{ kN}$$

### 5.5.3 Kapasitas Dukung Mini Pile dengan Panjang 12 m

1. Perhitungan kapasitas dukung mini pile pada data CPTu-01 STA 79+550 dapat dilihat dibawah ini.

- a. Data Tiang

$$\text{Sisi (S)} = 0,2 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas (A}_p) &= 0,2 \text{ m} \times 0,2 \text{ m} \\ &= 0,04 \text{ m}^2 \\ &= 400 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Panjang tiang (L)} &= 12 \text{ m} \\ &= 1200 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Keliling tiang } (\Theta) &= 0,8 \text{ m} \\ &= 80 \text{ cm} \end{aligned}$$

- b. Tahanan Ujung ( $Q_p$ )

$$q_c = 27 \text{ kg/cm}^2$$

$$\begin{aligned} Q_p &= A_p \times q_c \\ &= 10800 \text{ kg} \\ &= 105,948 \text{ kN} \end{aligned}$$

- c. Tahanan Friksi ( $Q_s$ )

- 1) Lapisan 1

$$q_{c1} = 19 \text{ kg/cm}^2$$

$$H1 = 300 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} F_s &= 0,012 \times q_c \\ &= 0,228 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{s1} &= 5472 \text{ kg} \\ &= 53,680 \text{ kN} \end{aligned}$$

- 2) Lapisan 2

$$q_{c2} = 15,5 \text{ kg/cm}^2$$

$$H2 = 150 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} F_s &= 0,012 \times q_c \\ &= 0,186 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

$$Q_{s2} = 2232 \text{ kg}$$

$$= 21,896 \text{ kN}$$

3) Lapisan 3

$$q_{c3} = 8 \text{ kg/cm}^2$$

$$H_3 = 250 \text{ cm}$$

$$F_s = 0,012 \times q_c$$

$$= 0,096 \text{ kg/cm}^2$$

$$Q_{s3} = 1960 \text{ kg}$$

$$= 18,835 \text{ kN}$$

4) Lapisan 4

$$q_{c4} = 18 \text{ kg/cm}^2$$

$$H_4 = 400 \text{ cm}$$

$$F_s = 0,012 \times q_c$$

$$= 0,216 \text{ kg/cm}^2$$

$$Q_{s4} = 6912 \text{ kg}$$

$$= 67,807 \text{ kN}$$

5) Lapisan 5

$$q_{c5} = 27 \text{ kg/cm}^2$$

$$H_5 = 100 \text{ cm}$$

$$F_s = 0,012 \times q_c$$

$$= 0,324 \text{ kg/cm}^2$$

$$Q_{s5} = 2592 \text{ kg}$$

$$= 25,428 \text{ kN}$$

$$Q_s \text{ Total} = 187,646 \text{ kN}$$

d. Berat Tiang ( $W_p$ )

$$W_p = A_p \times L \times \gamma_w$$

$$= 0,04 \times 12 \times 2400$$

$$= 1152 \text{ kg}$$

$$U = A_p \times (L - H_w) \times 1000$$

$$= 0,04 \times (12 - 1,25) \times 1000$$

$$= 430 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned}
 W_p' &= W_p - U \\
 &= 1152 - 430 \\
 &= 722 \text{ kg} \\
 &= 7,083 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

e. Kapasitas Dukung Ultimit ( $Q_u$ )

$$\begin{aligned}
 Q_u &= Q_p + Q_s - W_p \\
 Q_u &= 105,948 + 187,646 - 7,083 \\
 &= 286,511 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

f. Kapasitas Dukung Ijin ( $Q_{all}$ )

$$\begin{aligned}
 Q_{all} &= Q_u / SF \\
 &= 286,511 / 2 \\
 &= 143,255 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

2. Perhitungan kapasitas dukung mini pile pada data CPTu-02 STA 79+550 dapat dilihat dibawah ini.

a. Data Tiang

$$\begin{aligned}
 \text{Sisi (S)} &= 0,2 \text{ m} \\
 \text{Luas (A}_p) &= 0,2 \text{ m} \times 0,2 \text{ m} \\
 &= 0,04 \text{ m}^2 \\
 &= 400 \text{ cm}^2 \\
 \text{Panjang tiang (L)} &= 12 \text{ m} \\
 &= 1200 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Keliling tiang } (\Theta) &= 0,8 \text{ m} \\
 &= 80 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

b. Tahanan Ujung ( $Q_p$ )

$$\begin{aligned}
 q_c &= 23 \text{ kg/cm}^2 \\
 Q_p &= A_p \times q_c \\
 &= 9200 \text{ kg} \\
 &= 89,467 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

c. Tahanan Friksi ( $Q_s$ )

1) Lapisan 1

$$q_{c1} = 19 \text{ kg/cm}^2$$

$$\begin{aligned}
 H1 &= 500 \text{ cm} \\
 F_s &= 0,012 \times q_c \\
 &= 0,228 \text{ kg/cm}^2 \\
 Q_{s1} &= 9120 \text{ kg} \\
 &= 89,467 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

2) Lapisan 2

$$\begin{aligned}
 q_{c2} &= 16 \text{ kg/cm}^2 \\
 H2 &= 300 \text{ cm} \\
 F_s &= 0,012 \times q_c \\
 &= 0,192 \text{ kg/cm}^2 \\
 Q_{s2} &= 4608 \text{ kg} \\
 &= 45,204 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

3) Lapisan 3

$$\begin{aligned}
 q_{c3} &= 18 \text{ kg/cm}^2 \\
 H3 &= 350 \text{ cm} \\
 F_s &= 0,012 \times q_c \\
 &= 0,216 \text{ kg/cm}^2 \\
 Q_{s3} &= 6048 \text{ kg} \\
 &= 59,331 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

4) Lapisan 4

$$\begin{aligned}
 q_{c4} &= 23 \text{ kg/cm}^2 \\
 H4 &= 50 \text{ cm} \\
 F_s &= 0,012 \times q_c \\
 &= 0,276 \text{ kg/cm}^2 \\
 Q_{s4} &= 1104 \text{ kg} \\
 &= 10,830 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$Q_s \text{ Total} = 204.833 \text{ kN}$$

d. Berat Tiang ( $W_p$ )

$$\begin{aligned}
 W_p &= A_p \times L \times \gamma_w \\
 &= 0,04 \times 12 \times 2400 \\
 &= 1152 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 U &= A_p \times (L - H_w) \times 1000 \\
 &= 0,04 \times (12 - 1,25) \times 1000 \\
 &= 430 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 W_p' &= W_p - U \\
 &= 1152 - 430 \\
 &= 722 \text{ kg} \\
 &= 67,083 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

e. Kapasitas Dukung Ultimit ( $Q_u$ )

$$\begin{aligned}
 Q_u &= Q_p + Q_s - W_p \\
 Q_u &= 90,252 + 204,833 - 7,083 \\
 &= 288,002 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

f. Kapasitas Dukung Ijin ( $Q_{all}$ )

$$\begin{aligned}
 Q_{all} &= Q_u / SF \\
 &= 288,002 / 2 \\
 &= 144,001 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

3. Perhitungan kapasitas dukung mini pile pada data CPTu-03 STA 79+550 dapat dilihat dibawah ini.

a. Data Tiang

$$\begin{aligned}
 \text{Sisi (S)} &= 0,2 \text{ m} \\
 \text{Luas (A}_p\text{)} &= 0,2 \text{ m} \times 0,2 \text{ m} \\
 &= 0,04 \text{ m}^2 \\
 &= 400 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang tiang (L)} &= 12 \text{ m} \\
 &= 1200 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Keliling tiang (}\Theta\text{)} &= 0,8 \text{ m} \\
 &= 80 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

b. Tahanan Ujung ( $Q_p$ )

$$\begin{aligned}
 q_c &= 30 \text{ kg/cm}^2 \\
 Q_p &= A_p \times q_c \\
 &= 12000 \text{ kg} \\
 &= 117,720 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

c. Tahanan Friksi ( $Q_s$ )

## 1) Lapisan 1

$$q_{c1} = 18 \text{ kg/cm}^2$$

$$H1 = 300 \text{ cm}$$

$$F_s = 0,012 \times q_c$$

$$= 0,216 \text{ kg/cm}^2$$

$$Q_{s1} = 5184 \text{ kg}$$

$$= 50,855 \text{ kN}$$

## 2) Lapisan 2

$$q_{c2} = 11 \text{ kg/cm}^2$$

$$H2 = 450 \text{ cm}$$

$$F_s = 0,012 \times q_c$$

$$= 0,132 \text{ kg/cm}^2$$

$$Q_{s2} = 4752 \text{ kg}$$

$$= 46,617 \text{ kN}$$

## 3) Lapisan 3

$$q_{c3} = 13 \text{ kg/cm}^2$$

$$H3 = 350 \text{ cm}$$

$$F_s = 0,012 \times q_c$$

$$= 0,156 \text{ kg/cm}^2$$

$$Q_{s3} = 4368 \text{ kg}$$

$$= 42,850 \text{ kN}$$

## 4) Lapisan 4

$$q_{c4} = 30 \text{ kg/cm}^2$$

$$H4 = 100 \text{ cm}$$

$$F_s = 0,012 \times q_c$$

$$= 0,360 \text{ kg/cm}^2$$

$$Q_{s4} = 2880 \text{ kg}$$

$$= 28,253 \text{ kN}$$

$$Q_s \text{ Total} = 168,575 \text{ kN}$$

d. Berat Tiang ( $W_p'$ )

$$\begin{aligned} W_p &= A_p \times L \times \gamma_w \\ &= 0,04 \times 12 \times 2400 \\ &= 1152 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} U &= A_p \times (L - H_w) \times 1000 \\ &= 0,04 \times (12 - 1,25) \times 1000 \\ &= 430 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_p' &= W_p - U \\ &= 1152 - 430 \\ &= 722 \text{ kg} \\ &= 7,083 \text{ kN} \end{aligned}$$

e. Kapasitas Dukung Ultimit ( $Q_u$ )

$$\begin{aligned} Q_u &= Q_p + Q_s - W_p \\ Q_u &= 117,72 + 168,575 - 7,083 \\ &= 279,212 \text{ kN} \end{aligned}$$

f. Kapasitas Dukung Ijin ( $Q_{all}$ )

$$\begin{aligned} Q_{all} &= Q_u / SF \\ &= 279,212 / 2 \\ &= 139,606 \text{ kN} \end{aligned}$$

Adapun rekap kapasitas dukung mini pile dapat dilihat pada Tabel 5.7. berikut ini.

**Tabel 5.7 Kapasitas Dukung Mini Pile pada Panjang 12 m**

No	Nilai	CPTu-01	CPTu-02	CPTu-03
1	$Q_p$ (kN)	105,948	90,252	117,720
2	$Q_s$ (kN)	187,646	204,833	168,575
3	$W_p'$ (kN)	7,083	7,083	7,083
4	$Q_u$ (kN)	286,511	288,002	279,212
5	$Q_{all}$ (kN)	$143,255 \leq 177$ (tidak aman)	$144,001 \leq 177$ (tidak aman)	$139,606 \leq 177$ (tidak aman)

Dari tabel diatas, dapat diketahui bahwa mini pile dengan panjang 12 m tidak dapat memenuhi kapasitas dukung dalam menahan beban karena nilai  $Q_{all} < 177 \text{ Kn}$  → Tidak aman

#### 5.5.4 Kapasitas Dukung Mini Pile dengan Panjang 15 m

1. Perhitungan kapasitas dukung mini pile pada data CPTu-01 STA 79+550 dapat dilihat dibawah ini.

a. Data Tiang

$$\begin{aligned} \text{Sisi (S)} &= 0,2 \text{ m} \\ \text{Luas (A}_p\text{)} &= 0,2 \text{ m} \times 0,2 \text{ m} \\ &= 0,04 \text{ m}^2 \\ &= 400 \text{ cm}^2 \\ \text{Panjang tiang (L)} &= 12 \text{ m} \\ &= 1200 \text{ cm} \\ \text{Keliling tiang (}\Theta\text{)} &= 0,8 \text{ m} \\ &= 80 \text{ cm} \end{aligned}$$

b. Tahanan Ujung ( $Q_p$ )

$$\begin{aligned} q_c &= 27 \text{ kg/cm}^2 \\ Q_p &= A_p \times q_c \\ &= 10800 \text{ kg} \\ &= 105,948 \text{ kN} \end{aligned}$$

c. Tahanan Friksi ( $Q_s$ )

1) Lapisan 1

$$\begin{aligned} q_{c1} &= 19 \text{ kg/cm}^2 \\ H1 &= 300 \text{ cm} \\ F_s &= 0,012 \times q_c \\ &= 0,228 \text{ kg/cm}^2 \\ Q_{s1} &= 5472 \text{ kg} \\ &= 53,680 \text{ kN} \end{aligned}$$

2) Lapisan 2

$$\begin{aligned} q_{c2} &= 15,5 \text{ kg/cm}^2 \\ H2 &= 150 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$F_s = 0,012 \times q_c$$

$$= 0,186 \text{ kg/cm}^2$$

$$Q_{s2} = 2232 \text{ kg}$$

$$= 21,896 \text{ kN}$$

## 3) Lapisan 3

$$q_{c3} = 8 \text{ kg/cm}^2$$

$$H_3 = 250 \text{ cm}$$

$$F_s = 0,012 \times q_c$$

$$= 0,096 \text{ kg/cm}^2$$

$$Q_{s3} = 1920 \text{ kg}$$

$$= 18,835 \text{ kN}$$

## 4) Lapisan 4

$$q_{c4} = 18 \text{ kg/cm}^2$$

$$H_4 = 400 \text{ cm}$$

$$F_s = 0,012 \times q_c$$

$$= 0,216 \text{ kg/cm}^2$$

$$Q_{s4} = 6912 \text{ kg}$$

$$= 67,807 \text{ kN}$$

## 5) Lapisan 5

$$q_{c5} = 27 \text{ kg/cm}^2$$

$$H_5 = 400 \text{ cm}$$

$$F_s = 0,012 \times q_c$$

$$= 0,324 \text{ kg/cm}^2$$

$$Q_{s5} = 10368 \text{ kg}$$

$$= 101,710 \text{ kN}$$

$$Q_s \text{ Total} = 263,928 \text{ kN}$$

d. Berat Tiang ( $W_p$ )

$$W_p = A_p \times L \times \gamma_w$$

$$= 0,04 \times 15 \times 2400$$

$$= 1440 \text{ kg}$$

$$U = A_p \times (L - H_w) \times 1000$$

$$= 0,04 \times (15 - 1,25) \times 1000$$

$$= 550 \text{ kg}$$

$$W_p' = W_p - U$$

$$= 1440 - 550$$

$$= 890 \text{ kg}$$

$$= 8,731 \text{ kN}$$

e. Kapasitas Dukung Ultimit ( $Q_u$ )

$$Q_u = Q_p + Q_s - W_p$$

$$Q_u = 105,948 + 263,928 - 8,731$$

$$= 361,145 \text{ kN}$$

f. Kapasitas Dukung Ijin ( $Q_{all}$ )

$$Q_{all} = Q_u / SF$$

$$= 361,145 / 2$$

$$= 180,573 \text{ kN}$$

2. Perhitungan kapasitas dukung mini pile pada data CPTu-02 STA 79+550 dapat dilihat dibawah ini.

a. Data Tiang

$$\text{Sisi (S)} = 0,2 \text{ m}$$

$$\text{Luas (A}_p) = 0,2 \text{ m} \times 0,2 \text{ m}$$

$$= 0,04 \text{ m}^2$$

$$= 400 \text{ cm}^2$$

$$\text{Panjang tiang (L)} = 12 \text{ m}$$

$$= 1200 \text{ cm}$$

$$\text{Keliling tiang (}\Theta) = 0,8 \text{ m}$$

$$= 80 \text{ cm}$$

b. Tahanan Ujung ( $Q_p$ )

$$q_c = 23 \text{ kg/cm}^2$$

$$Q_p = A_p \times q_c$$

$$= 9600 \text{ kg}$$

$$= 94,176 \text{ kN}$$

c. Tahanan Friksi ( $Q_s$ )

## 1) Lapisan 1

$$q_{c1} = 20 \text{ kg/cm}^2$$

$$H1 = 500 \text{ cm}$$

$$F_s = 0,012 \times q_c$$

$$= 0,240 \text{ kg/cm}^2$$

$$Q_{s1} = 9600 \text{ kg}$$

$$= 94,176 \text{ kN}$$

## 2) Lapisan 2

$$q_{c2} = 16 \text{ kg/cm}^2$$

$$H2 = 300 \text{ cm}$$

$$F_s = 0,012 \times q_c$$

$$= 0,192 \text{ kg/cm}^2$$

$$Q_{s2} = 4608 \text{ kg}$$

$$= 45,204 \text{ kN}$$

## 3) Lapisan 3

$$q_{c3} = 18 \text{ kg/cm}^2$$

$$H3 = 300 \text{ cm}$$

$$F_s = 0,012 \times q_c$$

$$= 0,216 \text{ kg/cm}^2$$

$$Q_{s3} = 5184 \text{ kg}$$

$$= 50,855 \text{ kN}$$

## 4) Lapisan 4

$$q_{c4} = 23 \text{ kg/cm}^2$$

$$H4 = 400 \text{ cm}$$

$$F_s = 0,012 \times q_c$$

$$= 0,276 \text{ kg/cm}^2$$

$$Q_{s4} = 8832 \text{ kg}$$

$$= 86,642 \text{ kN}$$

$$Q_s \text{ Total} = 276,877 \text{ kN}$$

d. Berat Tiang ( $W_p$ )

$$W_p = A_p \times L \times \gamma_w$$

$$= 0,04 \times 15 \times 2400$$

$$= 1440 \text{ kg}$$

$$U = A_p \times (L - H_w) \times 1000$$

$$= 0,04 \times (15 - 0) \times 1000$$

$$= 550 \text{ kg}$$

$$W_p' = W_p - U$$

$$= 1440 - 550$$

$$= 890 \text{ kg}$$

$$= 8,731 \text{ kN}$$

e. Kapasitas Dukung Ultimit ( $Q_u$ )

$$Q_u = Q_p + Q_s - W_p$$

$$Q_u = 90,252 + 276,877 - 8,731$$

$$= 358,399 \text{ kN}$$

f. Kapasitas Dukung Ijin ( $Q_{all}$ )

$$Q_{all} = Q_u / SF$$

$$= 358,399 / 2$$

$$= 179,199 \text{ kN}$$

3. Perhitungan kapasitas dukung mini pile pada data CPTu-03 STA 79+550 dapat dilihat dibawah ini.

a. Data Tiang

$$\text{Sisi (S)} = 0,2 \text{ m}$$

$$\text{Luas (A}_p) = 0,2 \text{ m} \times 0,2 \text{ m}$$

$$= 0,04 \text{ m}^2$$

$$= 400 \text{ cm}^2$$

$$\text{Panjang tiang (L)} = 12 \text{ m}$$

$$= 1200 \text{ cm}$$

$$\text{Keliling tiang } (\Theta) = 0,8 \text{ m}$$

$$= 80 \text{ cm}$$

b. Tahanan Ujung ( $Q_p$ )

$$q_c = 30 \text{ kg/cm}^2$$

$$Q_p = A_p \times q_c$$

$$= 12000 \text{ kg}$$

$$= 117,72 \text{ kN}$$

c. Tahanan Friksi ( $Q_s$ )

1) Lapisan 1

$$q_{c1} = 18 \text{ kg/cm}^2$$

$$H1 = 300 \text{ cm}$$

$$F_s = 0,012 \times q_c \\ = 0,216 \text{ kg/cm}^2$$

$$Q_{s1} = 5184 \text{ kg} \\ = 50,855 \text{ kN}$$

2) Lapisan 2

$$q_{c2} = 11 \text{ kg/cm}^2$$

$$H2 = 450 \text{ cm}$$

$$F_s = 0,012 \times q_c \\ = 0,132 \text{ kg/cm}^2$$

$$Q_{s2} = 4752 \text{ kg} \\ = 46,617 \text{ kN}$$

3) Lapisan 3

$$q_{c3} = 13 \text{ kg/cm}^2$$

$$H3 = 350 \text{ cm}$$

$$F_s = 0,012 \times q_c \\ = 0156 \text{ kg/cm}^2$$

$$Q_{s3} = 4368 \text{ kg} \\ = 42,850 \text{ kN}$$

4) Lapisan 4

$$q_{c4} = 30 \text{ kg/cm}^2$$

$$H4 = 400 \text{ cm}$$

$$F_s = 0,012 \times q_c \\ = 0,360 \text{ kg/cm}^2$$

$$Q_{s4} = 11520 \text{ kg} \\ = 113,011 \text{ kN}$$

$$Q_s \text{ Total} = 253,333 \text{ kN}$$

d. Berat Tiang ( $W_p'$ )

$$\begin{aligned} W_p &= A_p \times L \times \gamma_w \\ &= 0,04 \times 15 \times 2400 \\ &= 1440 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} U &= A_p \times (L - H_w) \times 1000 \\ &= 0,04 \times (15 - 1,25) \times 1000 \\ &= 550 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_p' &= W_p - U \\ &= 1440 - 550 \\ &= 890 \text{ kg} \\ &= 8,731 \text{ kN} \end{aligned}$$

e. Kapasitas Dukung Ultimit ( $Q_u$ )

$$\begin{aligned} Q_u &= Q_p + Q_s - W_p \\ Q_u &= 117,72 + 253,333 - 8,731 \\ &= 362,323 \end{aligned}$$

f. Kapasitas Dukung Ijin ( $Q_{all}$ )

$$\begin{aligned} Q_{all} &= Q_u / SF \\ &= 362,323 / 2 \\ &= 181,161 \text{ kN} \end{aligned}$$

Adapun rekap kapasitas dukung mini pile dapat dilihat pada Tabel 5.8. berikut ini.

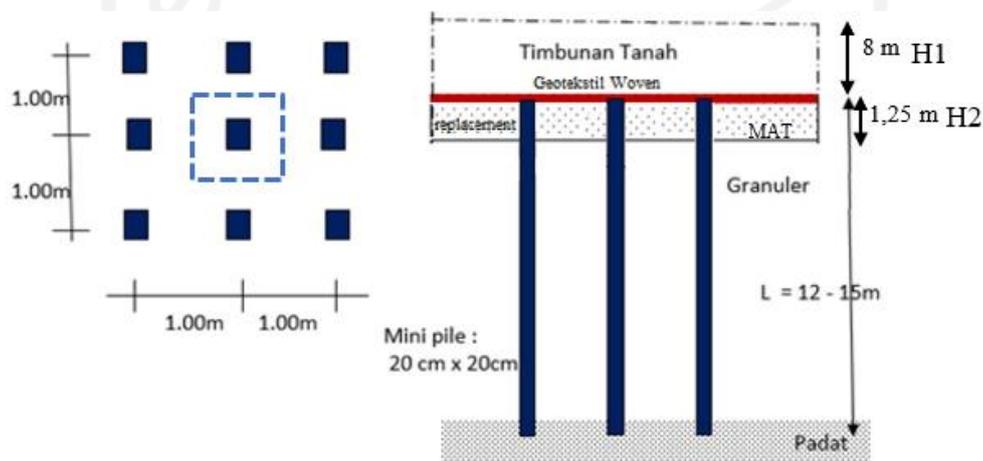
**Tabel 5.8 Kapasitas Dukung Mini Pile pada Panjang 15 m**

No	Nilai	CPTu-01	CPTu-02	CPTu-03
1	$Q_p$ (kN)	105,948	90,252	117,72
2	$Q_s$ (kN)	263,928	276,877	253,333
3	$W_p'$ (kN)	8,731	8,731	8,731
4	$Q_u$ (kN)	361,145	358,39	362,323
5	$Q_{all}$ (kN)	$180,573 \geq 177$ (aman)	$179,179,199 \geq 177$ (aman)	$181,161 \geq 177$ (aman)

Dari tabel diatas, dapat diketahui bahwa mini pile dengan panjang 15 m dapat memenuhi kapasitas dukung dalam menahan beban karena nilai  $Q_{all} > 177 \text{ kN} \rightarrow$  Aman

### 5.6 Cek Gaya Tarik Yang Bekerja Pada Geotekstil

Untuk memastikan apakah geotekstil yang digunakan mampu menahan gaya tarik yang terjadi dengan nilai SV 1 m, maka dilakukan perhitungan tegangan geser yang bekerja. Untuk gambar gesekan tanah-geotekstil dapat dilihat pada Gambar 5.18. berikut.



**Gambar 5.18 Formasi Mini Pile dan Geotekstil**

Ketika geotekstil menerima beban dari atas (tanah) maka geotekstil akan menegang dan mentransfer tegangan tersebut ke daerah pasif. Sehingga geotekstil harus mampu menahan gaya tarik yang bekerja padanya. Oleh karena itu keperluan perancangan jenis geotekstil yang mampu menahan gaya tarik tersebut, maka diperlukan pengecekan terhadap gaya tarik. Gaya tarik yang bekerja pada geotekstil dapat dicari dengan menggunakan persamaan berikut.

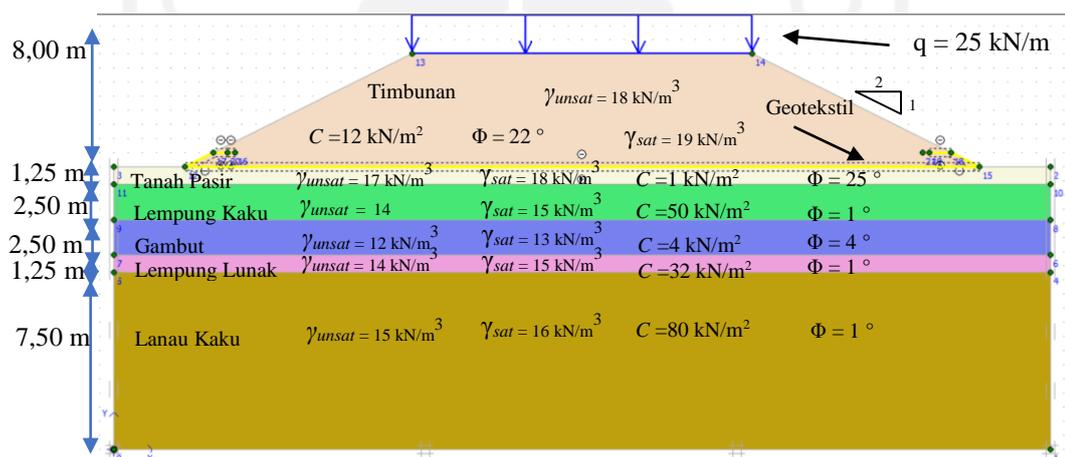
$$\begin{aligned}
 T &= 2x\sigma_n \cdot bxLx \tan \varphi \\
 &= 2 \times 8 \times 19 \times 1 \times 1 \times \tan (22^\circ) \\
 &= 122,824 \text{ kN} < 150 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan gaya tarik yang bekerja diatas pada geotekstil sebesar 122,824 kN, sedangkan jenis geotekstil yang digunakan memiliki kuat tarik sebesar

150 kN/m . maka kekuatan geotekstil kuat menahan gaya tarik yang akan bekerja karena  $150 \text{ kN/m} > 122,824 \text{ kN}$  (Aman).

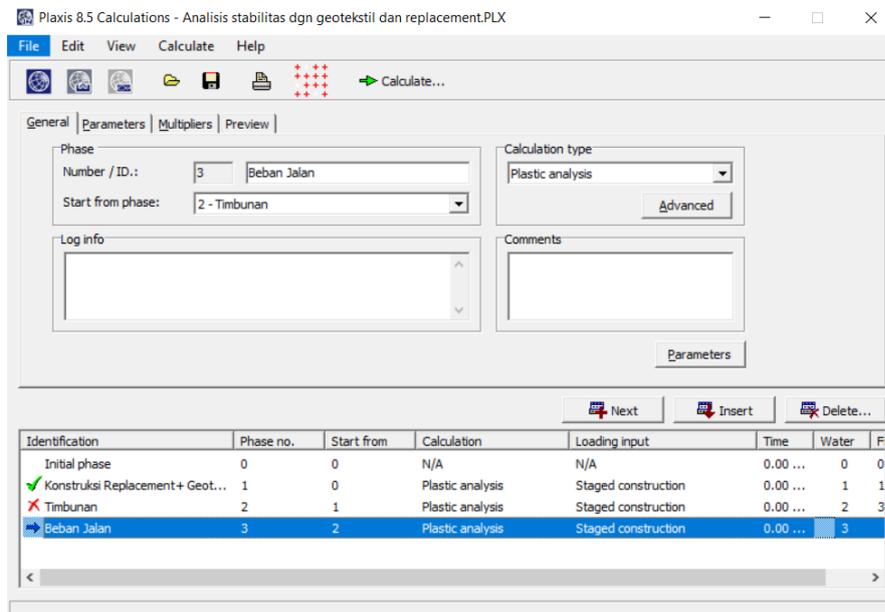
### 5.7 Analisis Awal Stabilitas Lereng dengan Perkuatan Geotekstil

Dari hasil analisis stabilitas lereng eksisting yang dilakukan sebelumnya terlihat permasalahan stabilitas lereng ada pada tanah dasar di bawah timbunan. Upaya awal dicoba dengan menganalisis stabilitas lereng dengan perkuatan geotekstil pada dasar timbunan. Skema perkuatan geotekstil dengan memberikan perkuatan 1 (satu) lapis dengan lapisan ini terdapat 2 (dua) lembar geotekstil woven dengan kuat Tarik 1 lapisnya sebesar 150 kN/m. Layout pemodelan perkuatan lereng dengan geotekstil dengan *replacement* tanah dasar setebal 1,25 m ditunjukkan pada Gambar 5.19.



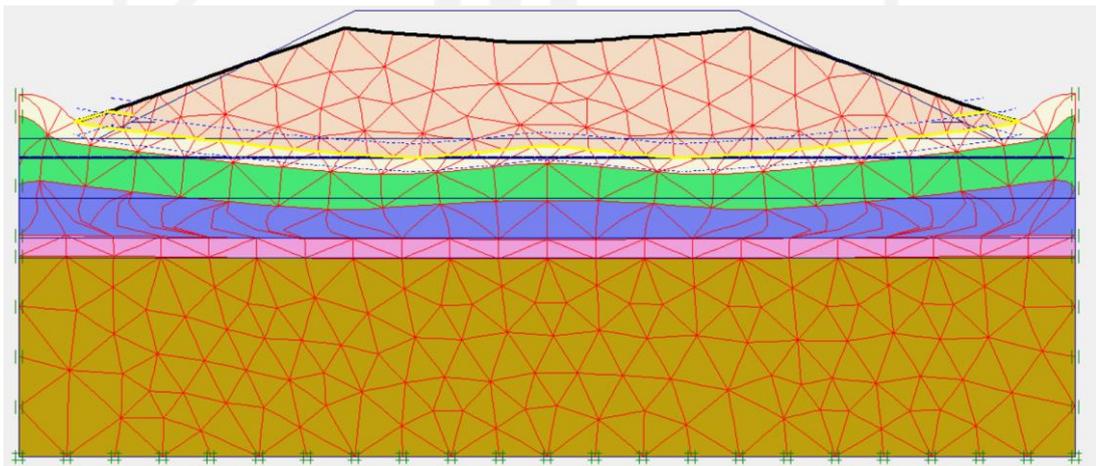
**Gambar 5.19 Layout Pemodelan Perkuatan Geotekstil dengan *Replacement* 1,25m**

Hasil analisis stabilitas lereng dengan perkuatan geotekstil dan *replacement* tanah dasar 1,25m dapat dilihat pada Gambar 5.20.

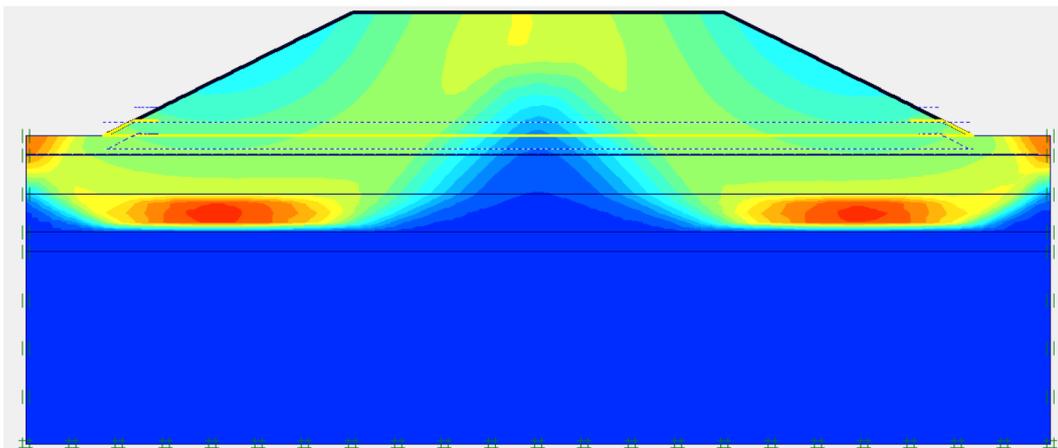


**Gambar 5.20 Hasil Calculation Perkuatan Geotekstil dengan Replacement 1,25m**

Berdasarkan Gambar 5.20, menunjukkan perkuatan geotekstil dengan replacement tanah dasar 1,25 m terjadi keruntuhan atau kegagalan (*collapse*) pada lereng timbunan. Pola deformasi dan *displacement* yang terjadi dapat dilihat pada Gambar 5.21 dan Gambar 5.22.



**Gambar 5.21 Pola Deformasi Yang Terjadi Pada Saat Keruntuhan Lereng dengan Perkuatan Geotekstil Dengan Replacement 1,25m**



**Gambar 5.22 Pola *Displacement* Yang Terjadi Pada Saat Keruntuhan Lereng Dengan Perkuatan Geotekstil Dengan *Replacement* 1,25m**

Berdasarkan Gambar 5.21, terlihat deformasi terjadi cukup besar pada bagian kaki lereng yang diakibatkan beban yang cukup besar dari timbunan 8 m. Gambar 5.22 menunjukkan pergerakan tanah terbesar terjadi pada lapisan lunak pada kedalaman 6 m. Sehingga dapat disimpulkan perkuatan tanah dasar dengan geotekstil + *replacement* tanah dasar 1,25 m belum mampu menghilangkan permasalahan pada kasus ini sehingga analisis dilanjutkan dengan stabilitas lereng menggunakan perkuatan *mini pile*.

### **5.8 Analisis Stabilitas Lereng Dengan *Mini Pile* Menggunakan Program Plaxis 8.5**

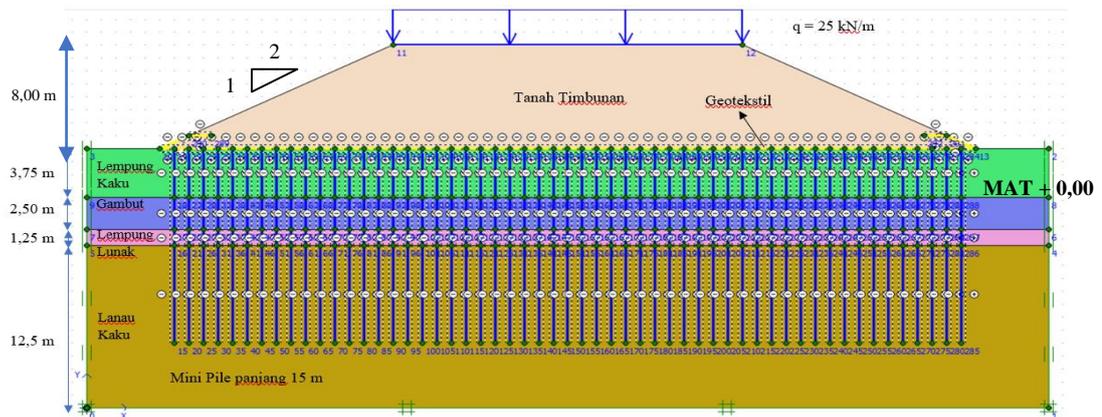
Dari hasil perhitungan manual kapasitas dukung *mini pile* di atas, diperoleh konfigurasi *mini pile* dengan panjang 15 m dan jarak antar tiang sebesar 1 m. selanjutnya analisis stabilitas timbunan jalan dilakukan dengan metode elemen hingga menggunakan program Plaxis 8.5. Pada penelitian ini, analisis stabilitas timbunan jalan dengan perkuatan *mini pile* + *geotextile* menggunakan metode elemen hingga dilakukan dengan 2 (dua) pemodelan yaitu model pertama tanpa *replacement* tanah dasar dan model kedua dengan *replacement* tanah dasar setebal 1,25 m. Tahapan analisis ditunjukkan pada Tabel 5.9 berikut.

**Tabel 5.9 Tahapan Analisis (*Calculations Phase*)**

<b>Model</b>	<b>No</b>	<b>Fase</b>	<b>Keterangan</b>
Tanpa <i>replacement</i> (Model 1)	1	Kondisi awal	Tanah kondisi belum terbebani
	2	Konstruksi mini pile dan geotekstil	Mini pile dan geotekstil diaktifkan
	3	Konstruksi timbunan	Lapisan timbunan 8 m di aktifkan
	4	Beban jalan	Beban jalan 25 kN/m <sup>2</sup> diaktifkan di atas timbunan
	5	Konsolidasi	Analisis konsolidasi dilakukan pada fase beban jalan
	6	Beban gempa	Analisis beban gempa psuedostatik dilakukan pada fase beban jalan
	7	SF Timbunan	Analisis angka aman fase Konstruksi timbunan
	8	SF beban jalan	Analisis angka aman fase Beban jalan
	9	SF konsolidasi	Analisis angka aman fase Konsolidasi 10 tahun masa layan
	10	SF beban gempa	Analisis angka aman fase Beban gempa
<i>Replacement</i> tanah dasar 1,25 m (Model 2)	1	Kondisi awal	Tanah kondisi belum terbebani
	2	Konstruksi mini pile, geotekstil dan <i>replacement</i>	Mini pile, geotekstil dan <i>replacement</i> diaktifkan
	3	Konstruksi timbunan	Lapisan timbunan 8 m di aktifkan
	4	Beban jalan	Beban jalan 25 kN/m <sup>2</sup> diaktifkan di atas timbunan
	5	Konsolidasi	Analisis konsolidasi dilakukan pada fase beban jalan
	6	Beban gempa	Analisis beban gempa psuedostatik dilakukan pada fase beban jalan
	7	SF Timbunan	Analisis angka aman fase Konstruksi timbunan
	8	SF beban jalan	Analisis angka aman fase Beban jalan
	9	SF konsolidasi	Analisis angka aman fase Konsolidasi 10 tahun masa layan
	10	SF beban gempa	Analisis angka aman fase Beban gempa

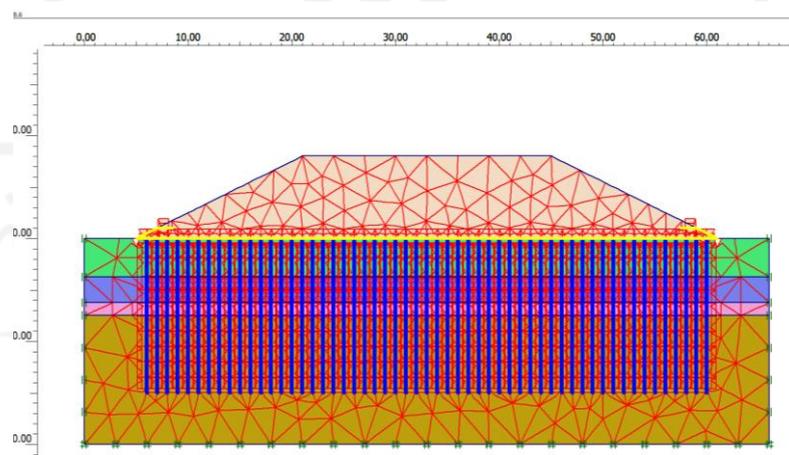
### 5.8.1 Analisis Model 1 Perkuatan *Mini Pile* + *Geotextile* Tanpa *Replacement*

Layout pemodelan analisis model 1 perkuatan *mini pile* + *geotextile* tanpa *replacement* dapat dilihat pada Gambar 5.23.



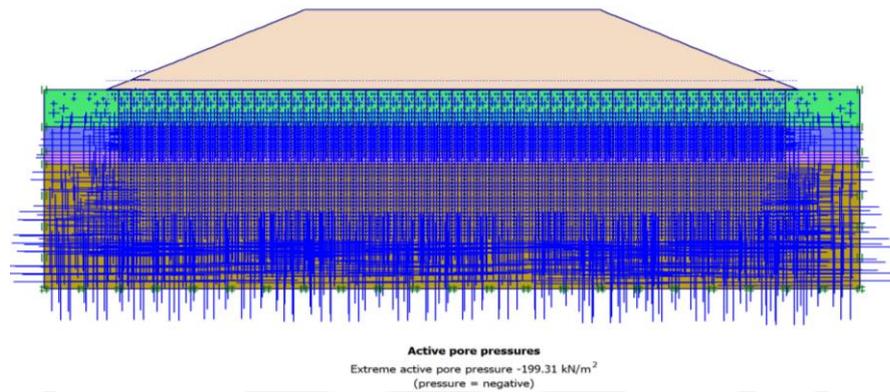
**Gambar 5.23 Layout Model 1 Perkuatan *Mini Pile* + *Geotextile* Tanpa *Replacement***

Kemudian dilakukan penyusunan jaringan elemen (*meshing*), setelah dilakukan input parameter tanah dan bahan pada pemodelan timbunan lereng. Hasil dari jaringan elemen hingga (*meshing*) pada lereng timbunan dapat dilihat pada Gambar 5.24 berikut ini.

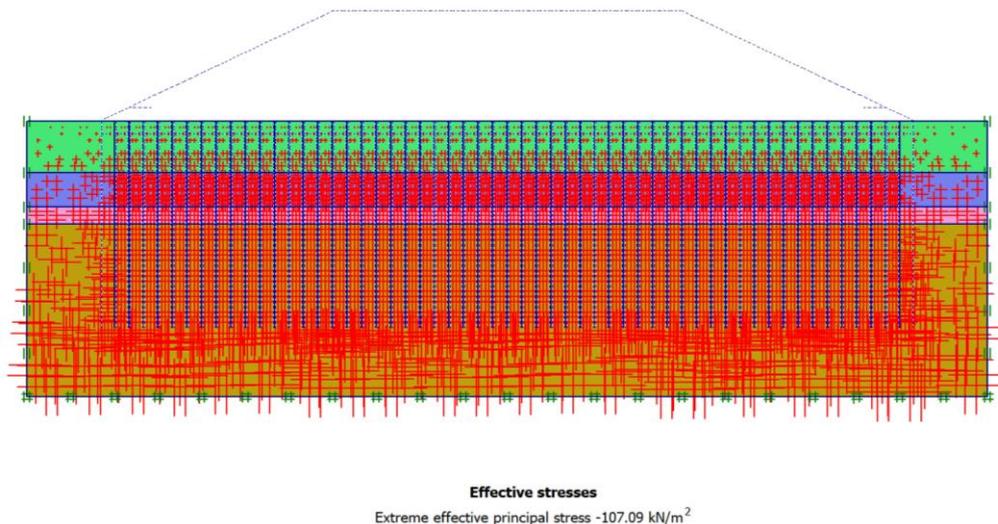


**Gambar 5.24 Meshing pada Model 1 Perkuatan *Mini Pile* + *Geotextile* Tanpa *Replacement***

Setelah *meshing* selesai dilakukan maka akan dilanjutkan dengan kondisi (*initial condition*). Pada data proyek yang didapatkan muka air tanah berada di elevasi 0,00 m dari permukaan tanah asli, maka dilakukan proses tekanan air (*generate water pressures*) sesuai dengan muka air tanah. Kemudian dilanjutkan dengan konfigurasi geometri awal langsung dengan perhitungan *general intial stresses*. Hasil dari *generate water pressures* dan *intial soil stresses* dapat dilihat pada Gambar 5.25 dan Gambar 5.26 berikut.

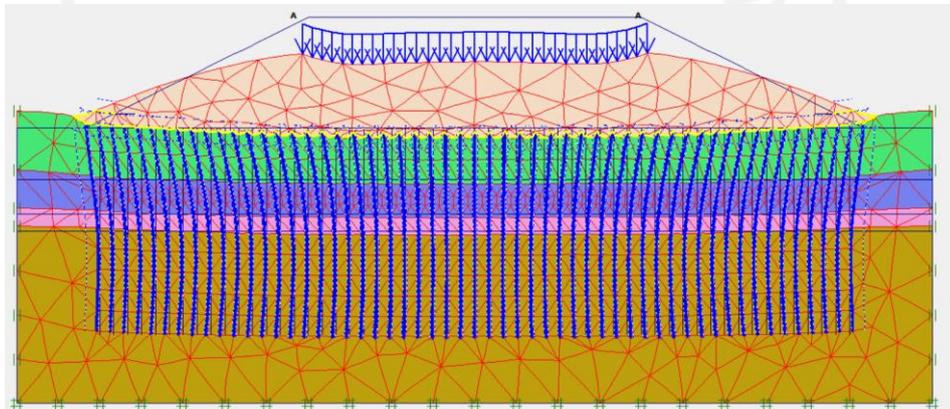


**Gambar 5.25** Generate Water Pressures pada Model 1 Perkuatan *Mini Pile* + *Geotextile Tanpa Replacement*



**Gambar 5.26** Intial Soil Stresses Pada Model 1 Perkuatan *Mini Pile* + *Geotextile Tanpa Replacement*

Berdasarkan Gambar 5.25 dan 5.26 hasil *active pore pressure* sebesar  $-199,931 \text{ kN/m}^2$  serta nilai *effective stresses* sebesar  $-107,09 \text{ kN/m}^2$ . Setelah seluruh proses input sudah dilakukan, selanjutnya dilakukan perhitungan (*calculation*) dengan menggunakan program plaxis yang akan menghasilkan *deformed mesh*. *Deformed mesh* diisyaratkan dengan segitiga jaringan elemen yang berubah dengan tidak beraturan dan penurunan pada bagian bentuk permukaan yang akibatkan oleh beban gravitasi dan beban timbunan. Deformed Mesh timbunan geometri asli akibat beban timbunan (beban sendiri) dapat dilihat pada Gambar 5.27.

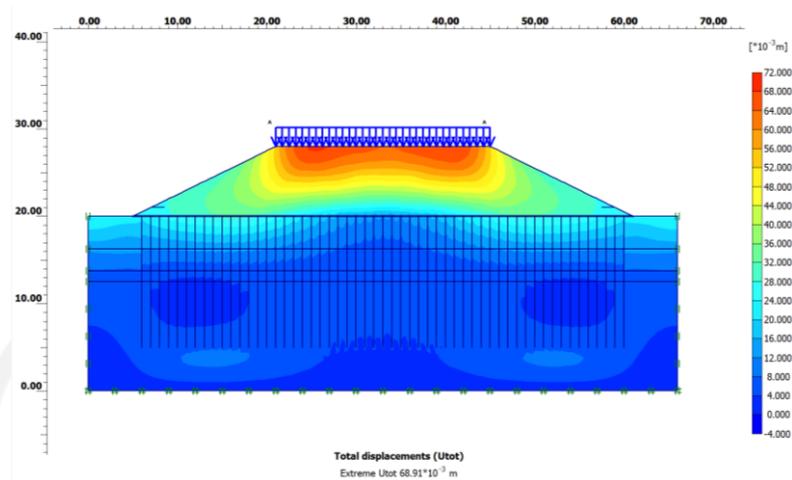


**Gambar 5.27 Deformend Mesh pada Model 1 Perkuatan *Mini Pile* + *Geotextile Tanpa Replacement***

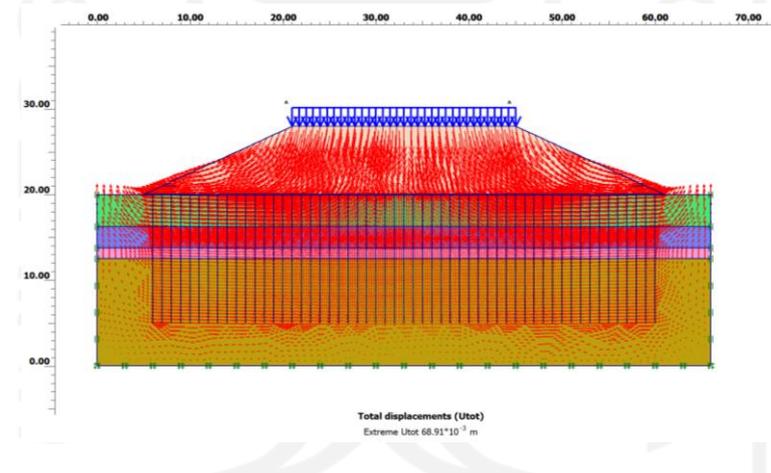
Hasil analisis elemen hingga dengan Plaxis 8.5 yang ingin dicapai pada penelitian ini adalah penurunan segera, penurunan konsolidasi dan angka aman (SF) sebagai berikut:

1. Penurunan Segera (*immediate settlement*)

Hasil analisis penurunan segera diperoleh dari phase pembebanan lalulintas dimana kontruksi mini pile, geotekstil dan timbunan sudah diaktifkan. *Total displacement* menunjukkan kumulatif deformasi arah axial dan lateral yang terjadi. *Total displacement* dapat dilihat pada Gambar 5.28 dan Gambar 5.29.



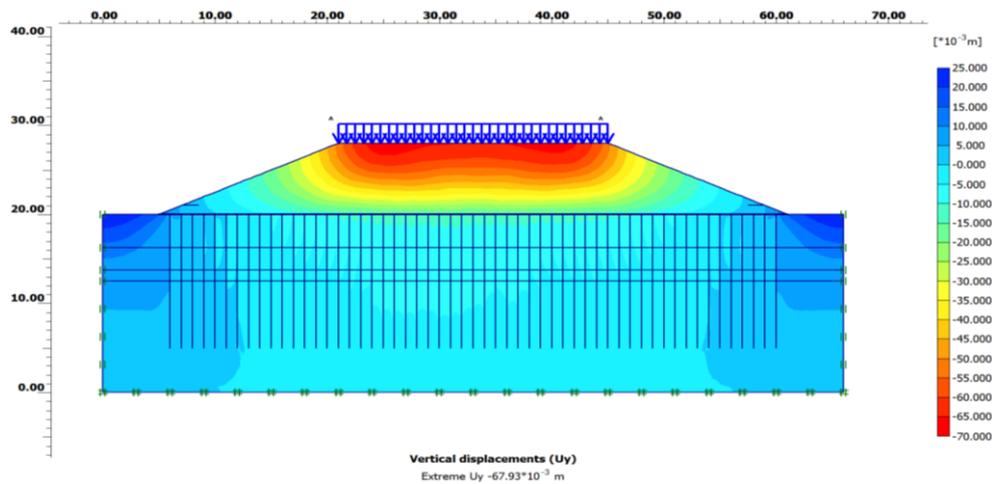
**Gambar 5.28 Total Displacement Perkuatan *Mini Pile* + *Geotextile* Tanpa *Replacement***



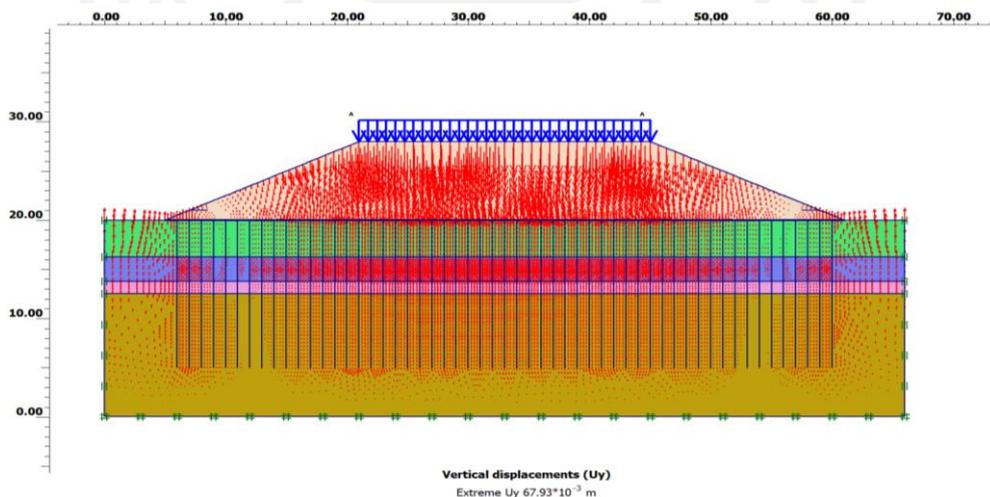
**Gambar 5.29 Pola Deformasi *Total Displacement* Perkuatan *Mini Pile* + *Geotextile* Tanpa *Replacement***

Hasil *total displacement* pada saat beban lalu lintas diterapkan adalah sebesar 0,06891 m. Gambar 5.29 menunjukkan pola pergerakan deformasi tanah pada tengah timbunan mengarah ke bawah sedangkan pada sisi tepi mengarah ke arah samping.

Hasil penurunan segera pada saat beban lalu lintas diterapkan diperoleh deformasi arah aksial yang ditunjukkan pada Gambar 5.30 dan Gambar 5.31.



**Gambar 5.30** Penurunan Segera Perkuatan *Mini Pile + Geotextile Tanpa Replacement*



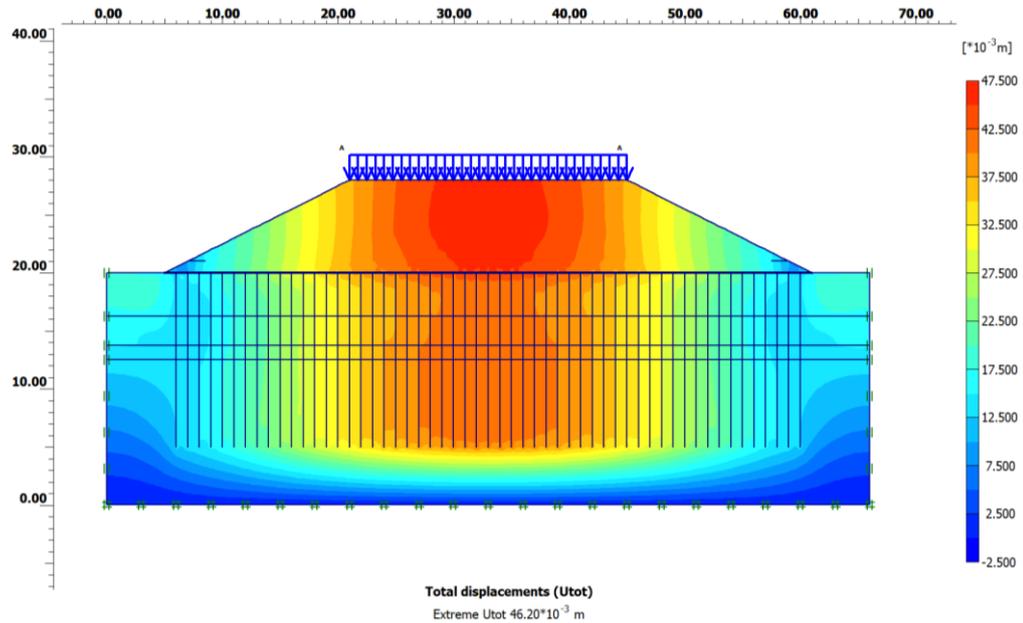
**Gambar 5.31** Pola Penurunan Segera Perkuatan *Mini Pile + Geotextile Tanpa Replacement*

Gambar 5.30 menunjukkan penurunan segera yang terjadi adalah sebesar 0,006793 m. Gambar 5.31 menunjukkan pola penurunan segera terbesar terjadi pada bagian tengah timbunan.

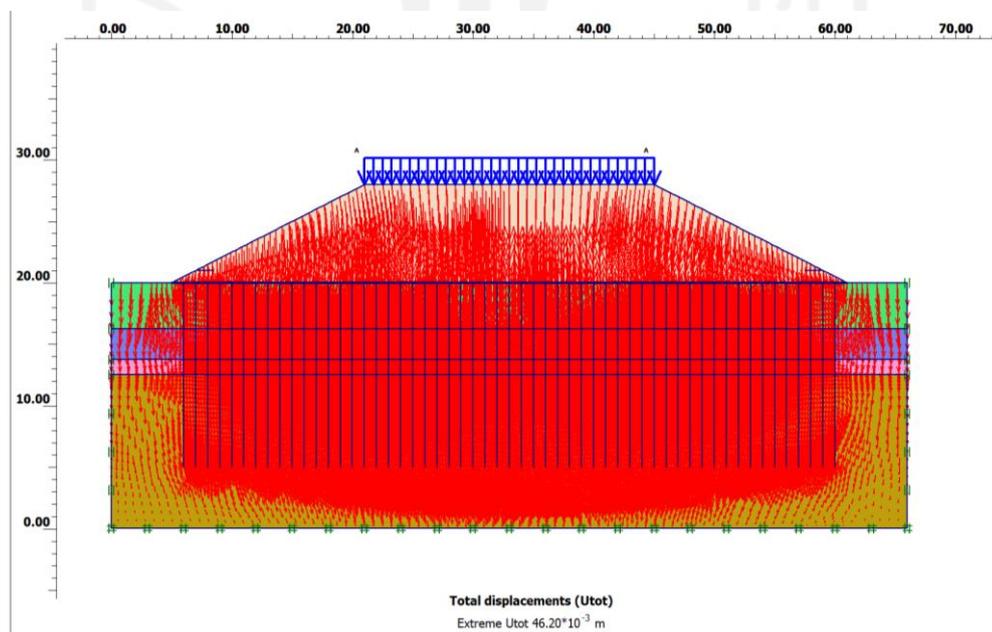
## 2. Penurunan konsolidasi (*consolidation settlement*)

Hasil analisis konsolidasi diperoleh pada saat beban lalu lintas diterapkan, selanjutnya dilakukan *calculation* berapa lama waktu dan besaran dari penurunan konsolidasi. Perhitungan dilakukan sampai *exces poor water preasure* selesai. Total

displacement pada saat konsolidasi selesai ditunjukkan pada Gambar 5.32 dan gambar 5.33.



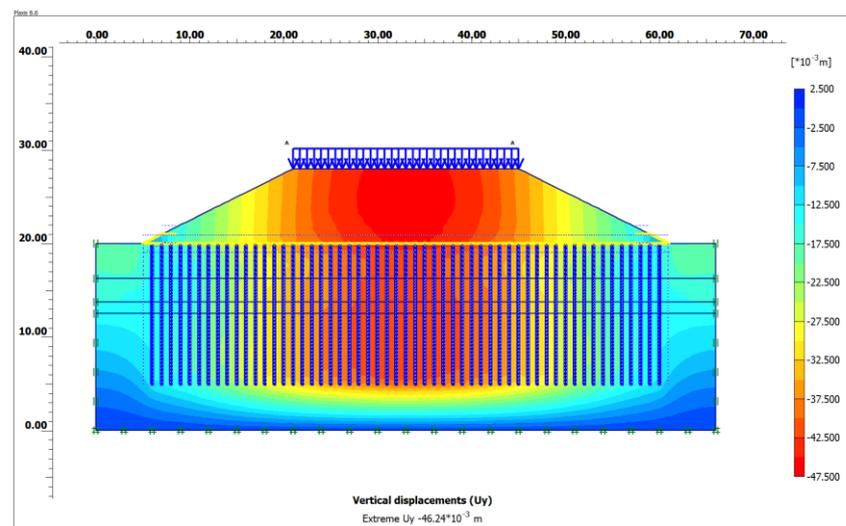
**Gambar 5.32 Total Displacement Pada Model Tanpa Replacement Saat Konsolidasi Selesai**



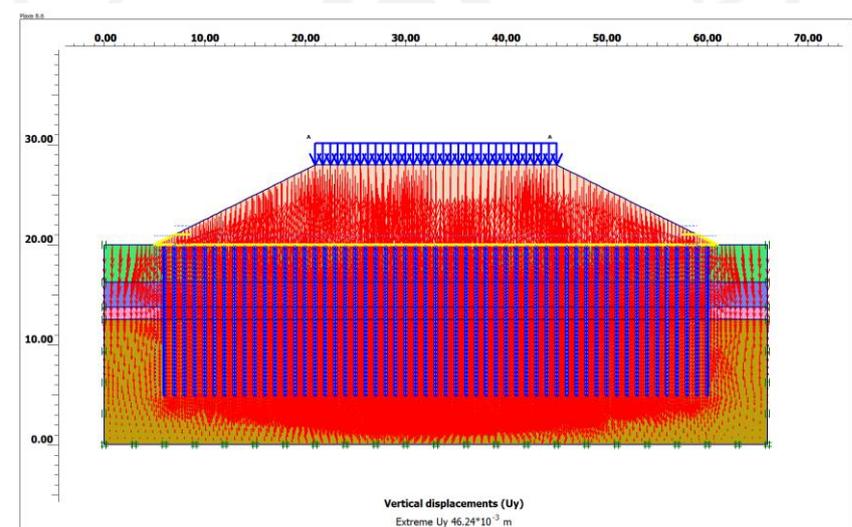
**Gambar 5.33 Pola Deformasi Total Displacement Pada Model Tanpa Replacement Saat Konsolidasi Selesai**

Berdasarkan Gambar 5.32, hasil *total displacement* pada saat konsolidasi selesai adalah sebesar 0,04620 m. Gambar 5.33 menunjukkan pola pergerakan deformasi tanah secara keseluruhan mengarah ke bawah dengan bagian besar pada sisi tengah.

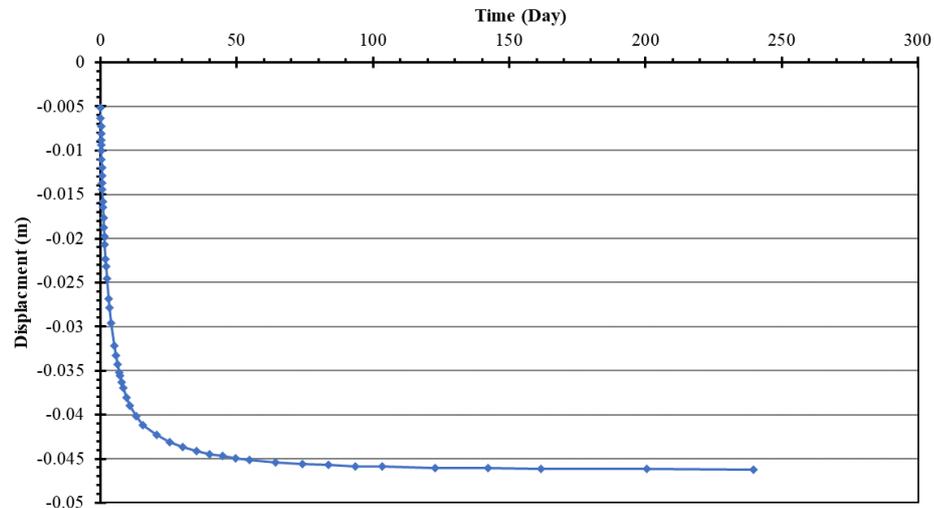
Hasil penurunan konsolidasi diperoleh deformasi arah aksial dan lama waktu penurunan dapat dilihat pada Gambar 5.34, Gambar 5.35, Gambar 5.36 dan Gambar 5.37.



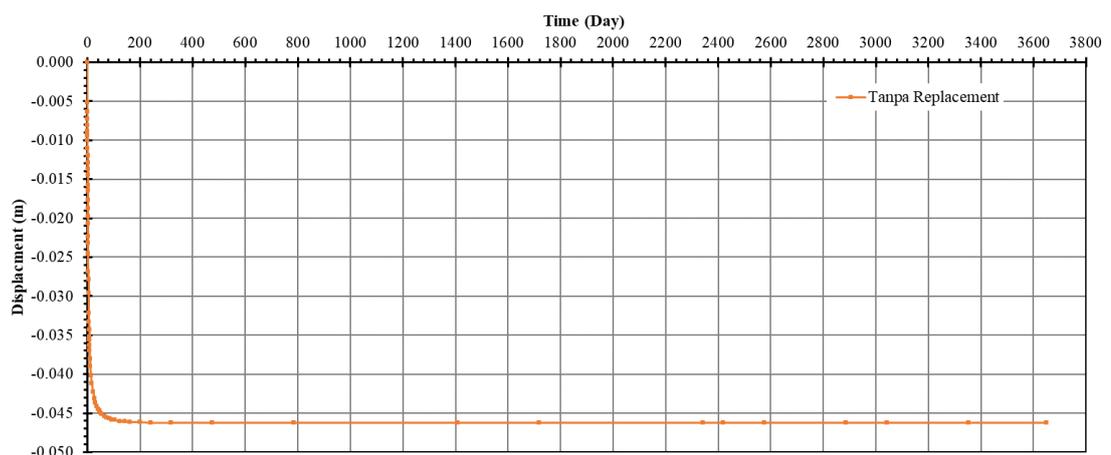
**Gambar 5.34 Penurunan Konsolidasi Pada Model Tanpa Replacement**



**Gambar 5.35 Pola Penurunan Konsolidasi Pada Model Tanpa Replacement**



**Gambar 5.36 Hubungan Waktu vs Penurunan Konsolidasi Masa Konstruksi**



**Gambar 5.37 Hubungan Waktu vs Penurunan Konsolidasi Pasca Konstruksi**

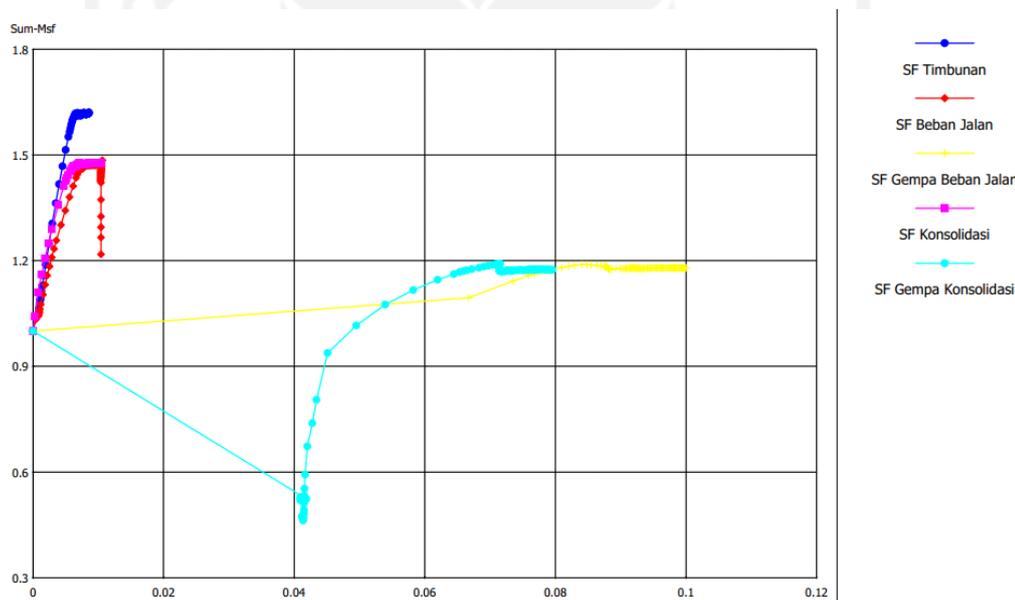
Berdasarkan Gambar 5.34, hasil penurunan konsolidasi adalah sebesar 0,04620 m. Gambar 5.35 menunjukkan pola pergerakan deformasi tanah secara keseluruhan mengarah ke bawah dengan bagian besar pada sisi tengah. Gambar 5.36 menunjukkan lama waktu konsolidasi terjadi selama sekitar 250 hari atau 8 bulan. Selanjutnya pada Gambar 5.337 analisis penurunan konsolidasi dilanjutkan selama 10 tahun (3650 hari) diperoleh sebesar 0,04624 m. hal ini menunjukkan penurunan setelah 250 hari bersifat asimtotif dimana penurunan sangat kecil.

### 3. Angka aman ( $SF$ )

Analisis angka aman ( $SF$ ) dilakukan untuk menentukan stabilitas lereng timbunan dengan tipe analisis *phi/c reduction*. Analisis dilakukan pada kondisi konstruksi timbunan, penerapan beban jalan, pasca konsolidasi dan beban gempa ditunjukkan pada Tabel 5.10 dan Gambar 5.38.

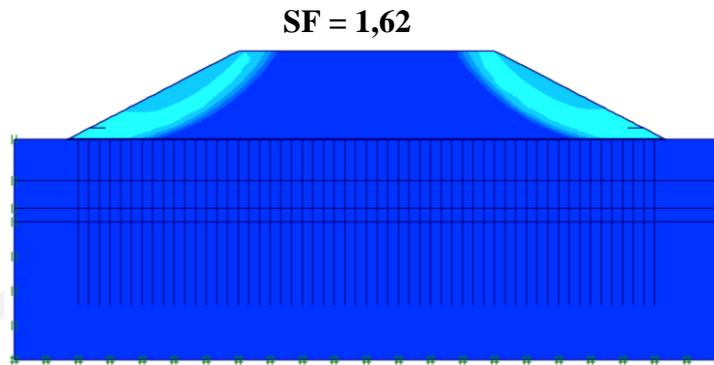
**Tabel 5.10 Rangkuman Angka Aman ( $SF$ ) Perkuatan *Mini Pile* Tanpa *Replacement***

Kondisi	Tanpa <i>replacement</i> / (keterangan)	Angka aman minimum	Keterangan
Timbunan	1.62	1,25	Aman
beban Jalan	1.218	1,25	Tidak aman
Gempa Jalan	1.179	1,1	Aman
Konsolidasi	1.47	1,25	Aman
Gempa Konsolidasi	1.201	1,1	Aman

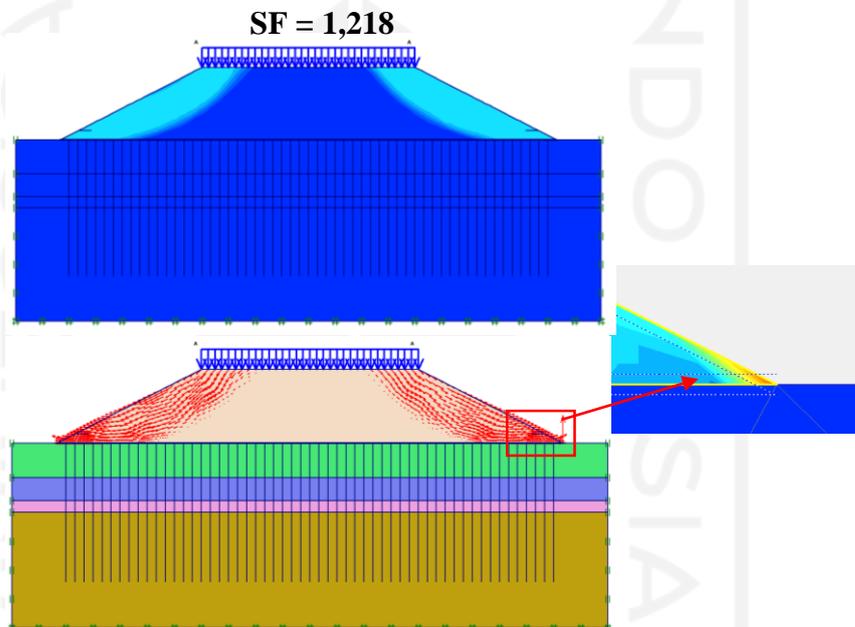


**Gambar 5.38 Rangkuman Angka Aman ( $SF$ ) Perkuatan *Mini Pile* Tanpa *Replacement***

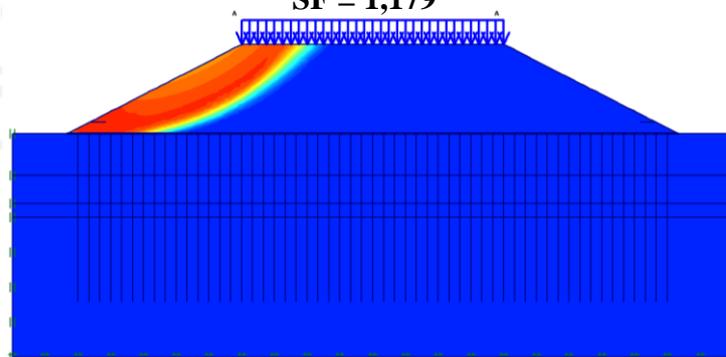
Berdasarkan Tabel 5.10 dan Gambar 5.34, angka aman ( $SF$ ) kondisi saat adanya beban jalan diperoleh tidak aman dengan angka aman kurang dari yang diisyaratkan sebesar 1,25. Pola bidang longsor setiap kondisi dapat dilihat pada Gambar 5.39, 5.40, 5.41 dan 5.42. di bawah ini.



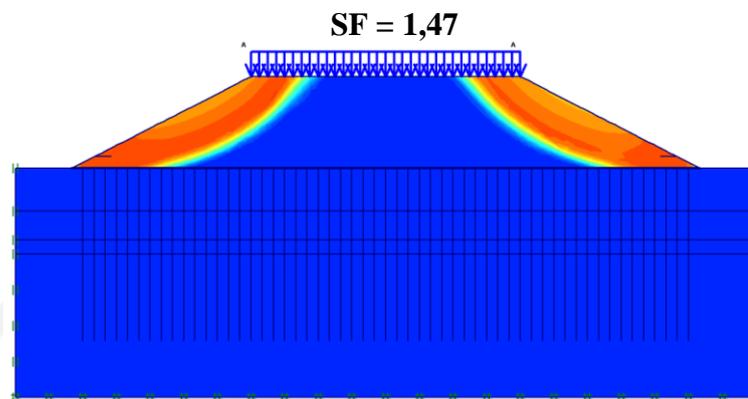
**Gambar 5.39 Bidang Kelongsoran Pada Saat Kontruksi Timbunan**



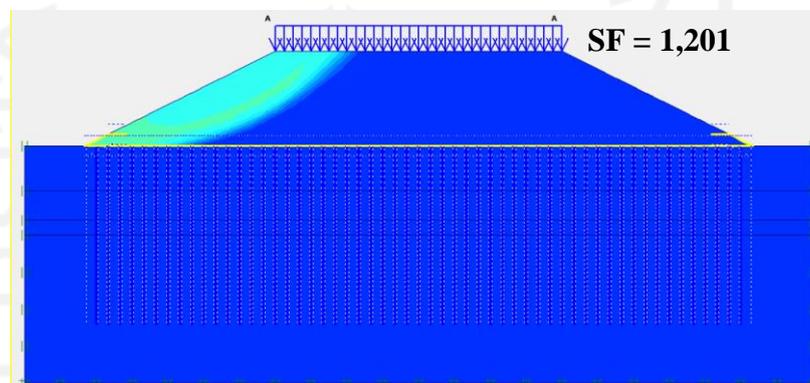
**Gambar 5.40 Bidang Kelongsoran Pada Saat Penerapan Beban Jalan**  
 $SF = 1,179$



**Gambar 5.41 Bidang Kelongsoran Pada Saat Penerapan Beban Gempa saat  
Beban Jalan**



**Gambar 5.42 Bidang Kelongsoran Pada Saat Pasca Konsolidasi**

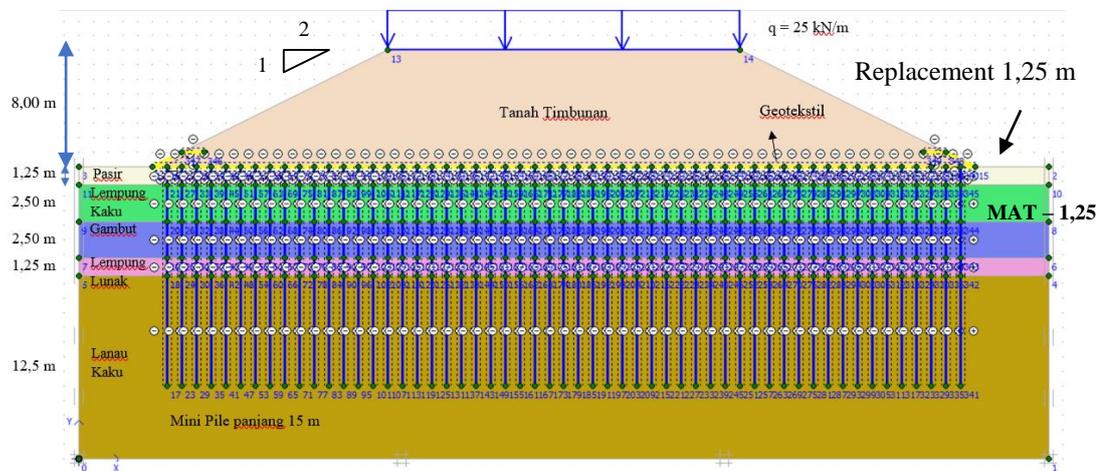


**Gambar 5.43 Bidang Kelongsoran Pada Penerapan Beban Gempa saat Pasca Konsolidasi**

Berdasarkan Gambar di atas, secara umum bidang kelongsoran berada pada lereng timbunan. Sehingga dengan adanya perkuatan mini pile dapat meningkatkan daya dukung tanah dasar. Gambar 5.39 menunjukkan bidang longsor paling kritis berada pada bagian ujung atau di kaki lereng timbunan, hal ini yang mungkin menyebabkan SF pada kondisi adanya beban jalan tidak memenuhi persyaratan angka aman yang disyaratkan.

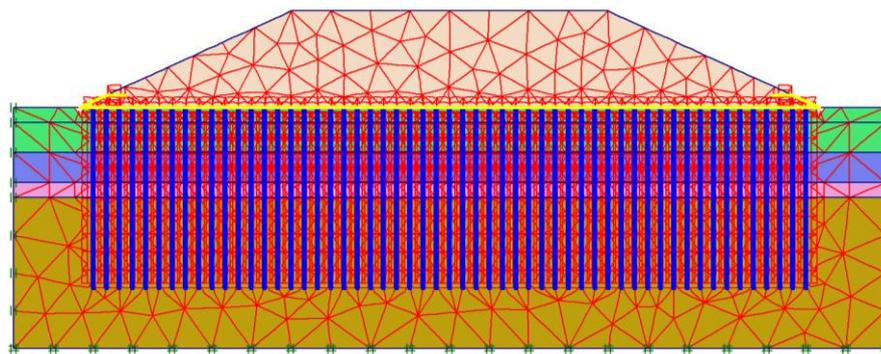
#### 5.8.2 Analisis Model 2 Perkuatan *Mini Pile* + *Geotextile* Dengan *Replacement* 1,25m

Selain diberikan perkuatan mini pile dan geotekstil, dilakukan juga penggantian tanah dasar (*replacement*) setebal 1,25 m dengan material granuler pasir. Layout pemodelan analisis model 2 perkuatan *mini pile* dengan *replacement* 1,25m dapat dilihat pada Gambar 5.43.



**Gambar 5.44 Layout Model 2 Perkuatan *Mini Pile* + *Geotextile* Dengan *Replacement 1,25 m***

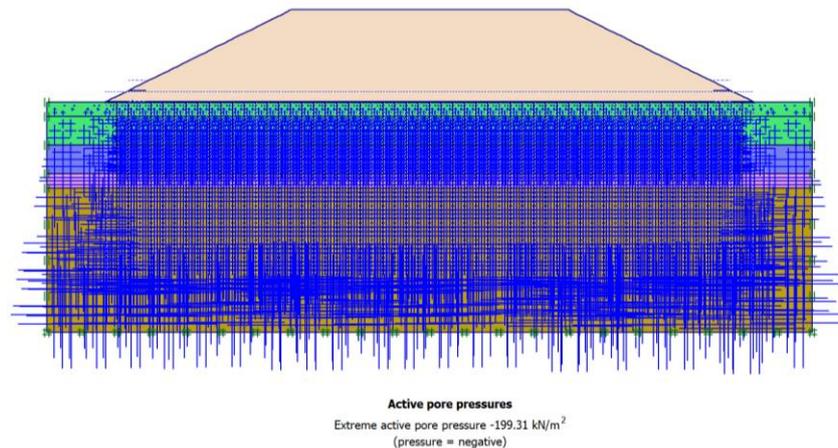
Kemudian dilakukan penyusunan jaringan elemen (meshing), setelah dilakukan input parameter tanah dan bahan pada pemodelan timbunan lereng. Hasil dari jaringan elemen hingga (meshing) pada lereng timbunan dapat dilihat pada Gambar 5.44. berikut ini.



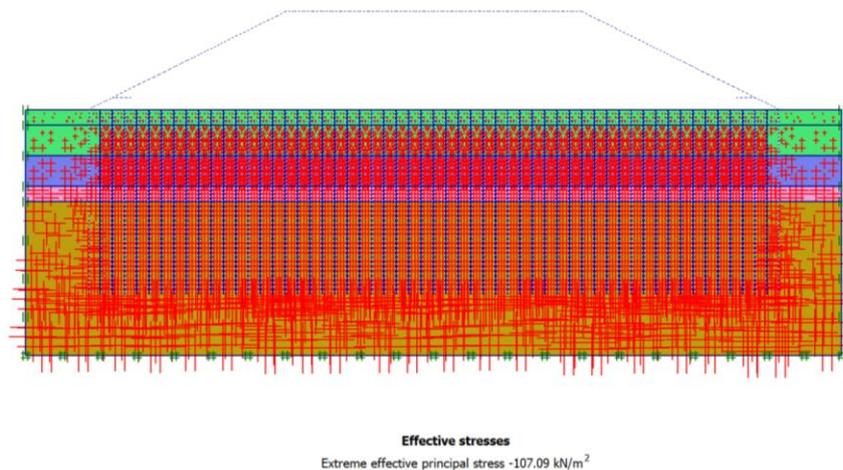
**Gambar 5.45 Meshing pada model 2 perkuatan *mini pile* + *Geotextile* dengan *replacement 1,25m***

Setelah meshing selesai dilakukan maka akan dilanjutkan dengan kondisi (*initial condition*). Pada data proyek yang didapatkan muka air tanah berada di elevasi 0,00 m dari permukaan tanah asli, maka dilakukan proses tekanan air (*generate water pressures*) sesuai dengan muka air tanah. Kemudian dilanjutkan

dengan konfigurasi geometri awal langsung dengan perhitungan *general intial stresses*. Hasil dari *generate water pressures* dan *intial soil stresses* dapat dilihat pada Gambar 5.45 dan Gambar 5.46 berikut.



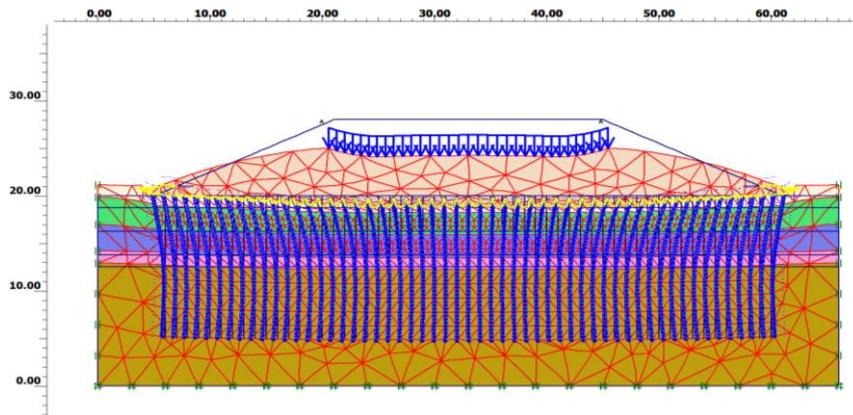
**Gambar 5.46 Generate Water Pressures pada model 2 perkuatan mini pile dengan replacement 1,25m**



**Gambar 5.47 intial soil stresses pada model 2 perkuatan mini pile dengan replacement 1,25m**

Pada proses *calculation*, *phase replacement* dilakukan untuk mengganti material tanah asli setebal 1,25 m dengan material pasir. Setelah seluruh proses input sudah dilakukan, selanjutnya padat dilakukan perhitungan (*calculation*) dengan menggunakan program plaxis yang akan menghasilkan *deformed mesh*.

*Deformed mesh* diisyaratkan dengan segitiga jaringan elemen yang berubah dengan tidak beraturan dan penurunan pada bagian bentuk permukaan yang diakibatkan oleh beban gravitasi dan beban timbunan. *Deformed Mesh* timbunan geometri asli akibat beban timbunan (beban sendiri) dapat dilihat pada Gambar 5.47.

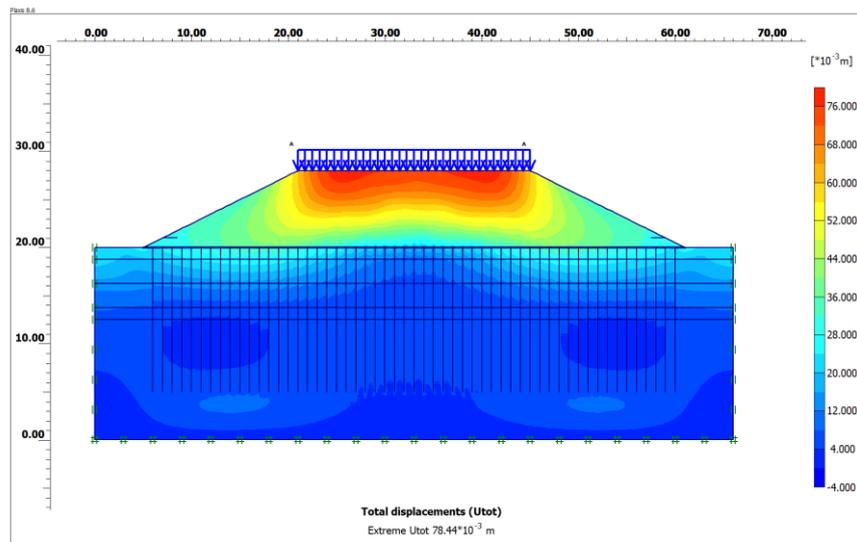


**Gambar 5.48** *Deformed Mesh* pada model 2 perkuatan *mini pile* dengan *replacement* 1,25m

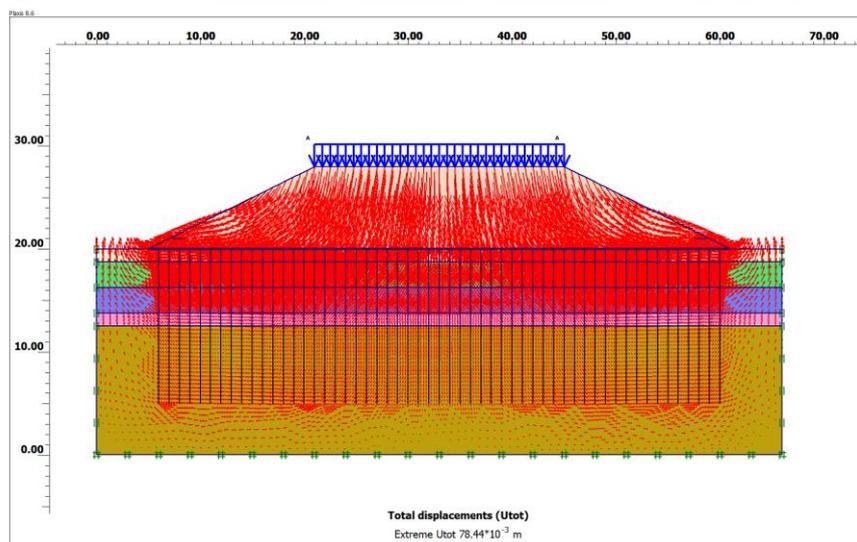
Hasil analisis elemen hingga dengan Plaxis 8.5 pada model 2 perkuatan mini pile dengan *replacement* 1,25 m yang ingin dicapai pada penelitian ini berupa penurunan segera, penurunan konsolidasi dan angka aman (SF) sebagai berikut:

1. Penurunan Segera (*immediate settlement*)

Hasil analisis penurunan segera diperoleh dari fase pembebanan lalu lintas dimana konstruksi *replacement*, *mini pile*, geotekstil dan timbunan sudah diaktifkan. *Total displacement* menunjukkan kumulatif deformasi arah aksial dan lateral yang terjadi. *Total displacement* dapat dilihat pada Gambar 5.48 dan Gambar 5.49.



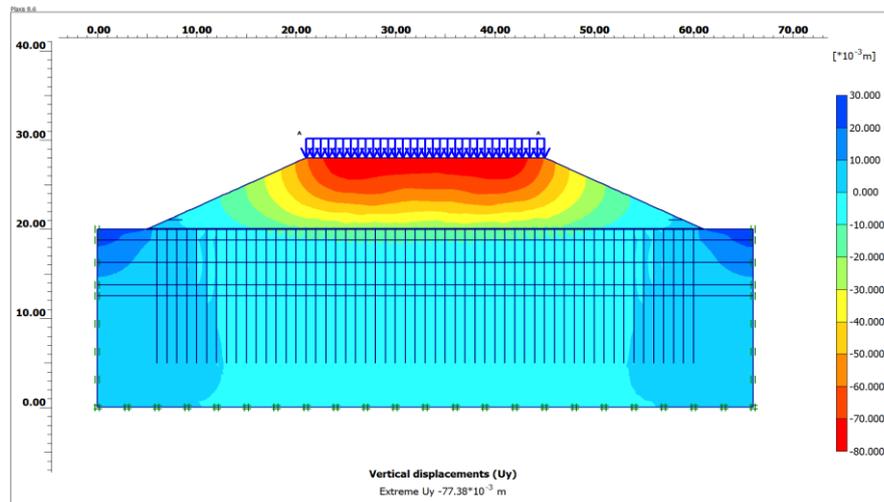
**Gambar 5.49 Total Displacement Perkuatan Mini Pile + Geotextile Dengan Replacement 1,25 m**



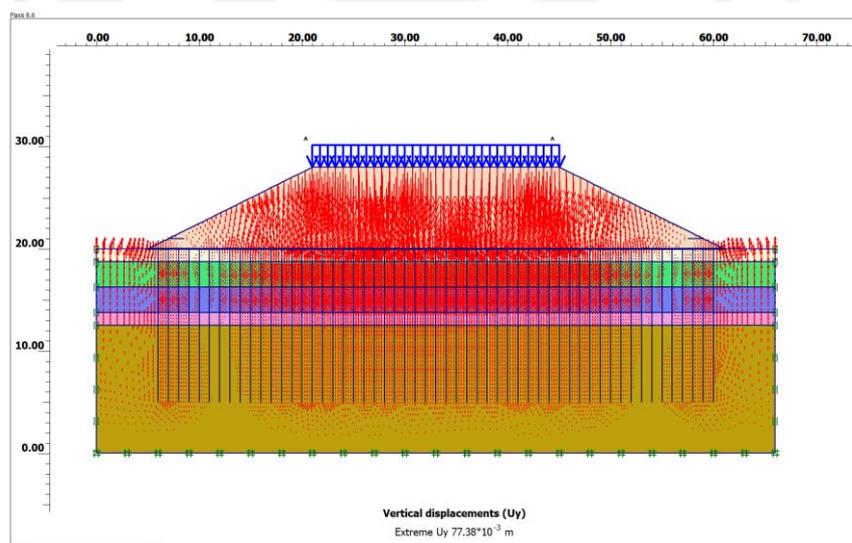
**Gambar 5.50 Pola Deformasi Total Displacement Perkuatan Mini Pile + Geotextile Dengan Replacement 1,25 m**

Hasil *total displacement* pada saat beban lalulintas diterapkan adalah sebesar 0,07844 m. Gambar 5.49 menunjukkan pola pergerakan deformasi tanah pada tengah timbunan mengarah ke bawah sedangkan pada sisi tepi mengarah ke arah samping.

Hasil penurunan segera pada saat beban lalu lintas diterapkan diperoleh deformasi arah aksial yang ditunjukkan pada Gambar 5.50 dan Gambar 5.51.



**Gambar 5.51** Penurunan Segera Perkuatan *Mini Pile + Geotextile* Dengan *Replacement 1,25 m*

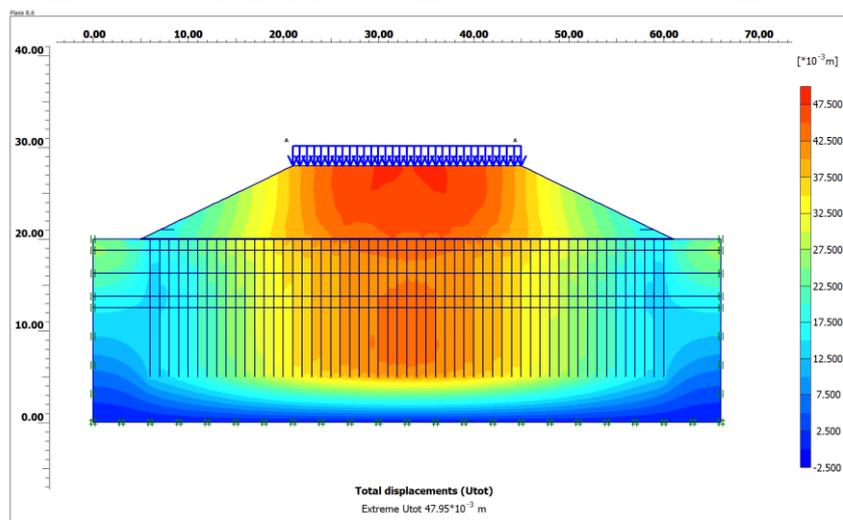


**Gambar 5.52** Pola Penurunan Segera Perkuatan *Mini Pile + Geotextile* Dengan *Replacement 1,25 m*

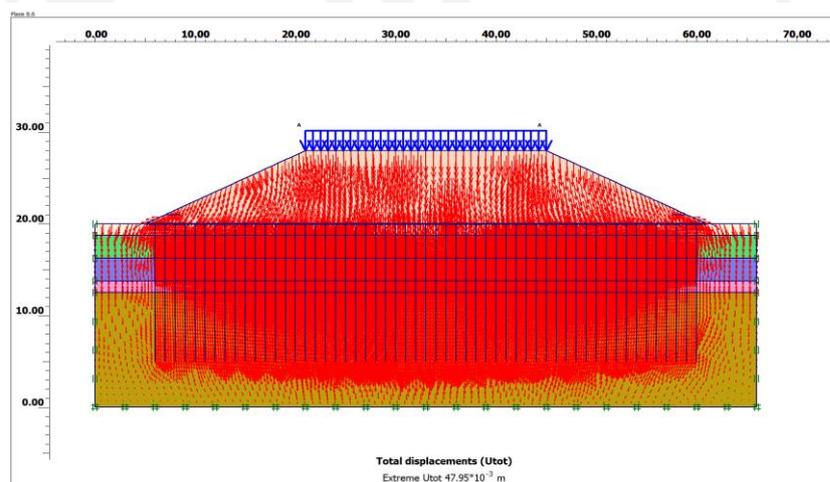
Gambar 5.50 menunjukkan penurunan segera yang terjadi adalah sebesar 0,07738 m. Gambar 5.51 menunjukkan pola penurunan segera terbesar terjadi pada bagian tengah timbunan.

## 2. Penurunan konsolidasi (*consolidation settlement*)

Hasil analisis konsolidasi diperoleh pada saat beban lalu lintas diterapkan, selanjutnya dilakukan *calculation* berapa lama waktu dan besaran dari penurunan konsolidasi. Perhitungan dilakukan sampai *exces poor water preasure* selesai. Total displacement pada saat konsolidasi selesai ditunjukkan pada Gambar 5.52 dan gambar 5.53.



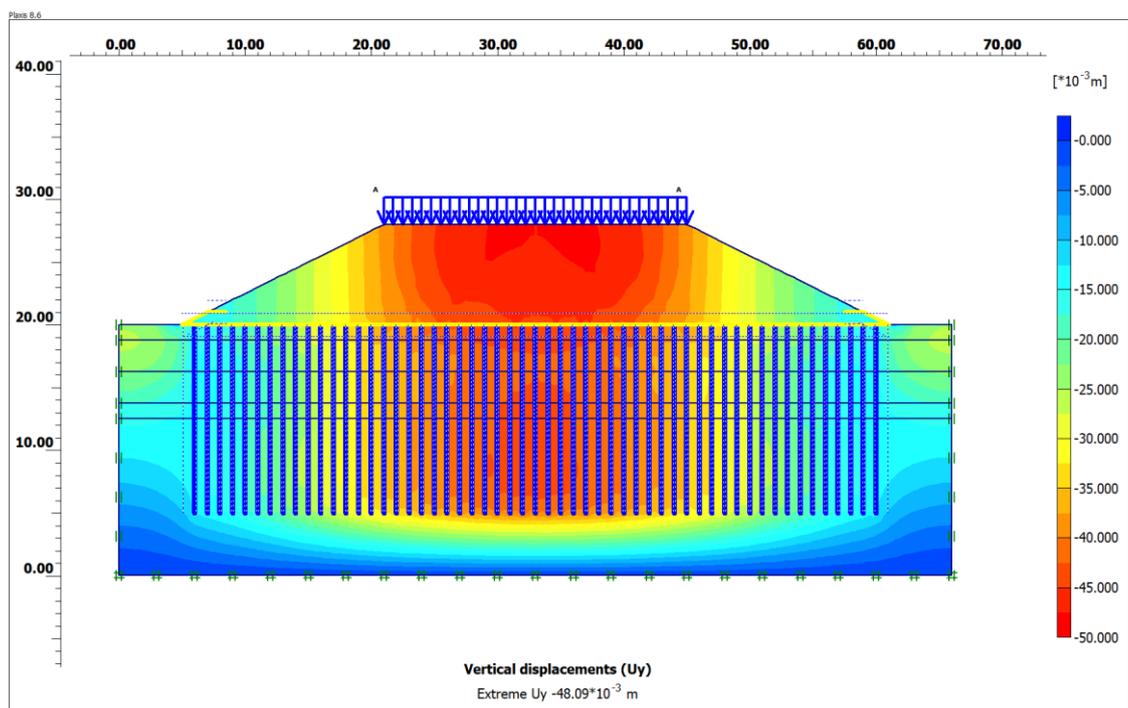
**Gambar 5.53 Total Displacement Pada Model Dengan Replacement 1,25 m Saat Konsolidasi Selesai**



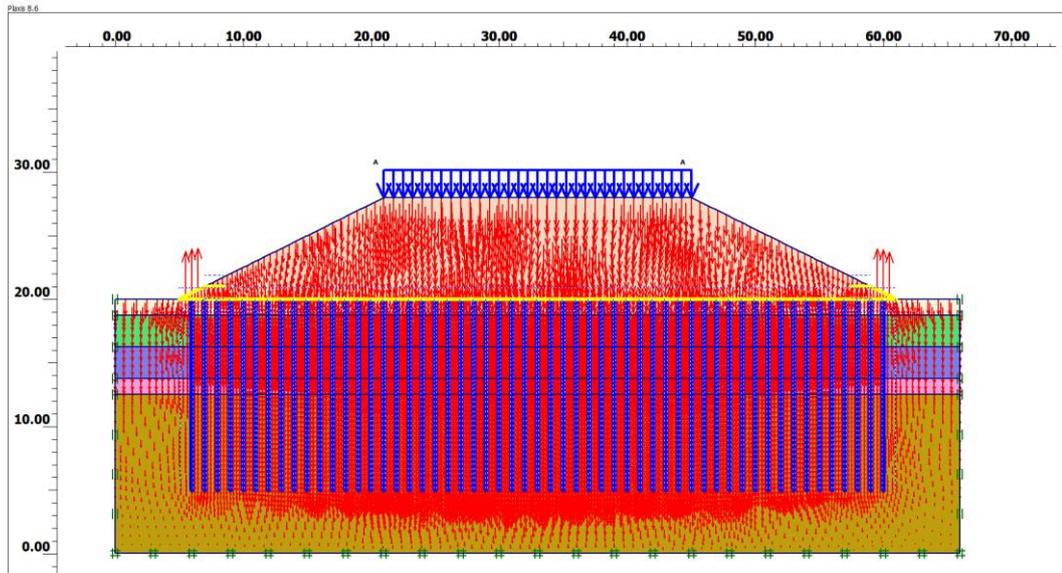
**Gambar 5.54 Pola Deformasi Total Displacement Pada Model Dengan Replacement Saat Konsolidasi Selesai**

Berdasarkan Gambar 5.51, hasil *total displacement* pada saat konsolidasi selesai adalah sebesar 0,04795 m. Gambar 5.53 menunjukkan pola pergerakan deformasi tanah secara keseluruhan mengarah ke bawah dengan bagian besar pada sisi tengah.

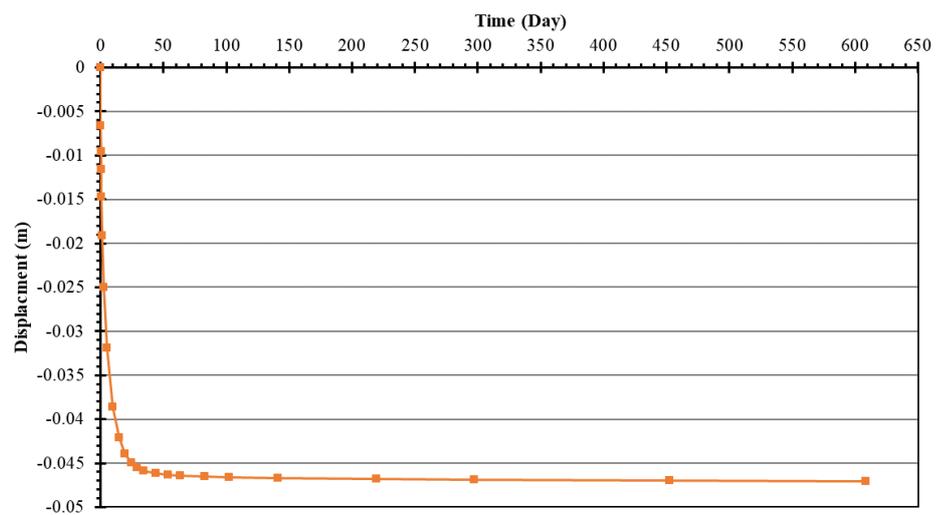
Hasil penurunan konsolidasi diperoleh deformasi arah aksial dan lama waktu penurunan dapat dilihat pada Gambar 5.54, Gambar 5.55, Gambar 5.56. dan Gambar 5.57.



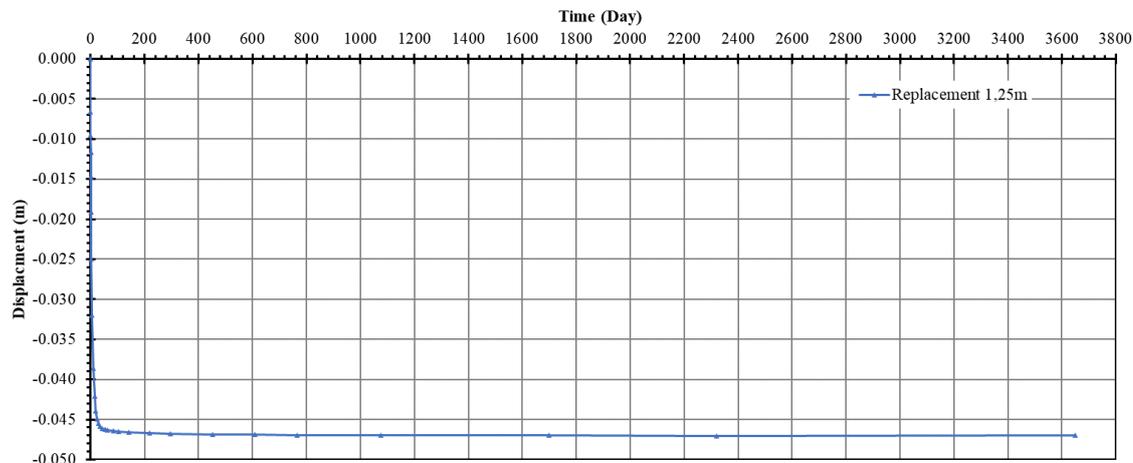
**Gambar 5.55 Penurunan Konsolidasi Pada Model Dengan *Replacement***



**Gambar 5.56 Pola Penurunan Konsolidasi Pada Model Dengan *Replacement***



**Gambar 5.57 Hubungan Waktu vs Penurunan Konsolidasi Masa Konstruksi**



**Gambar 5.58 Hubungan Waktu vs Penurunan Konsolidasi Pasca Konstruksi**

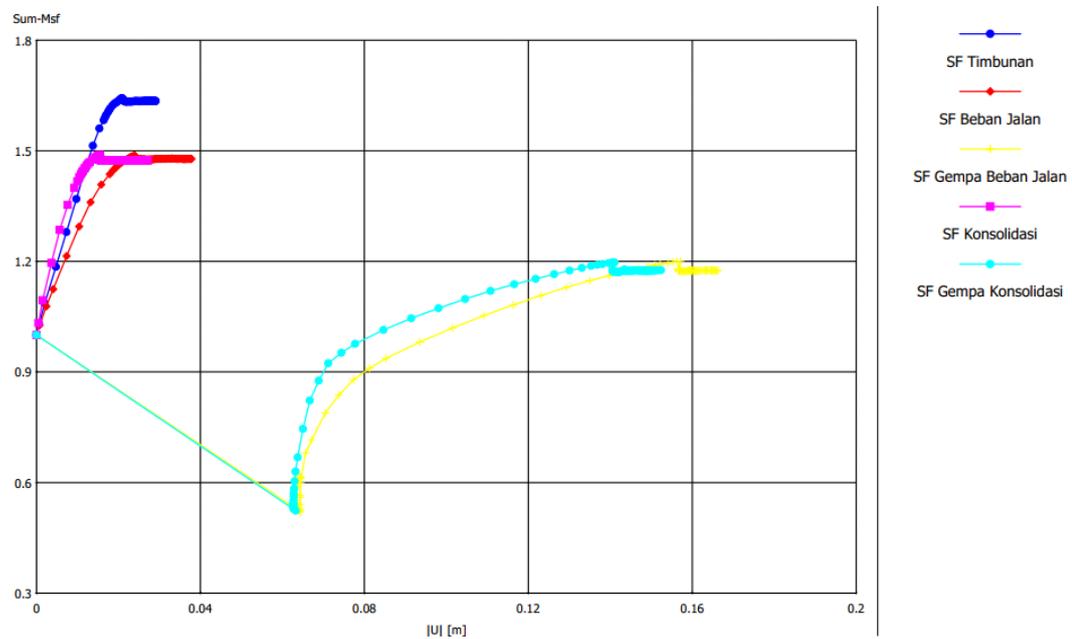
Berdasarkan Gambar 5.54, hasil penurunan konsolidasi adalah sebesar 0,04795 m. Gambar 5.55 menunjukkan pola pergerakan deformasi tanah secara keseluruhan mengarah ke bawah dengan bagian besar pada sisi tengah. Gambar 5.56 menunjukkan lama waktu konsolidasi terjadi selama sekitar 600 hari atau 20 bulan. Selanjutnya Gambar 5.57 menunjukkan analisis penurunan konsolidasi dilanjutkan selama 10 tahun (3650 hari) diperoleh sebesar 0,04809 m. hal ini menunjukkan penurunan setelah 600 hari bersifat asimtotif dimana penurunan sangat kecil.

### 3. Angka aman ( $SF$ )

Analisis angka aman ( $SF$ ) dilakukan untuk menentukan stabilitas lereng timbunan dengan tipe analisis *phi/c reduction*. Analisis dilakukan pada kondisi konstruksi timbunan, penerapan beban jalan, pasca konsolidasi dan beban gempa ditunjukkan pada Tabel 5.11 dan Gambar 5.58.

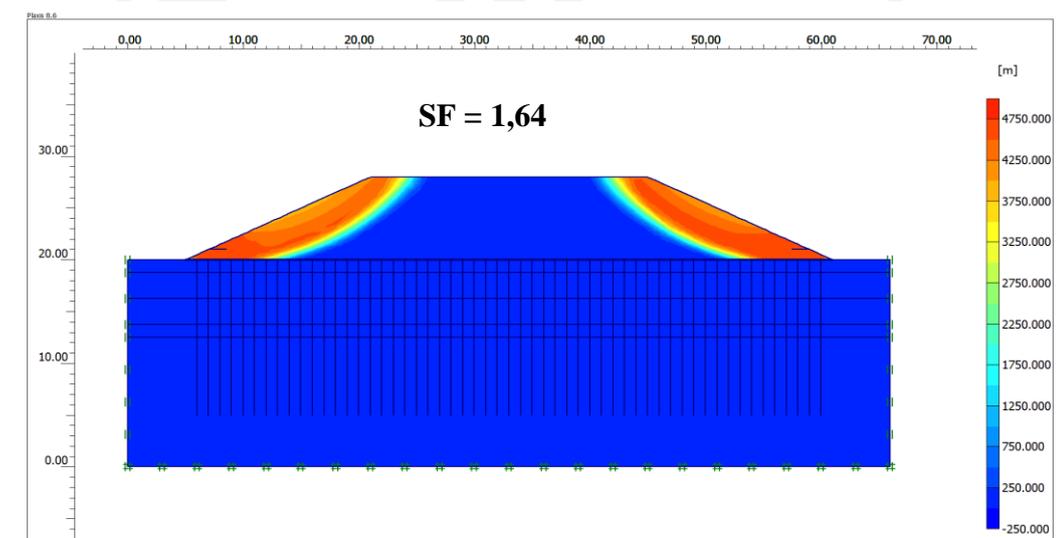
**Tabel 5.11 Rangkuman Angka Aman ( $SF$ ) Perkuatan *Mini Pile* Dengan *Replacement***

Kondisi	Dengan <i>replacement</i> / (keterangan)	Angka aman minimum	Keterangan
Timbunan	1,64	1,25	Aman
beban Jalan	1,478	1,25	Aman
Gempa Jalan	1,175	1,1	Aman
Konsolidasi	1,473	1,25	Aman
Gempa Konsolidasi	1,179	1,1	Aman

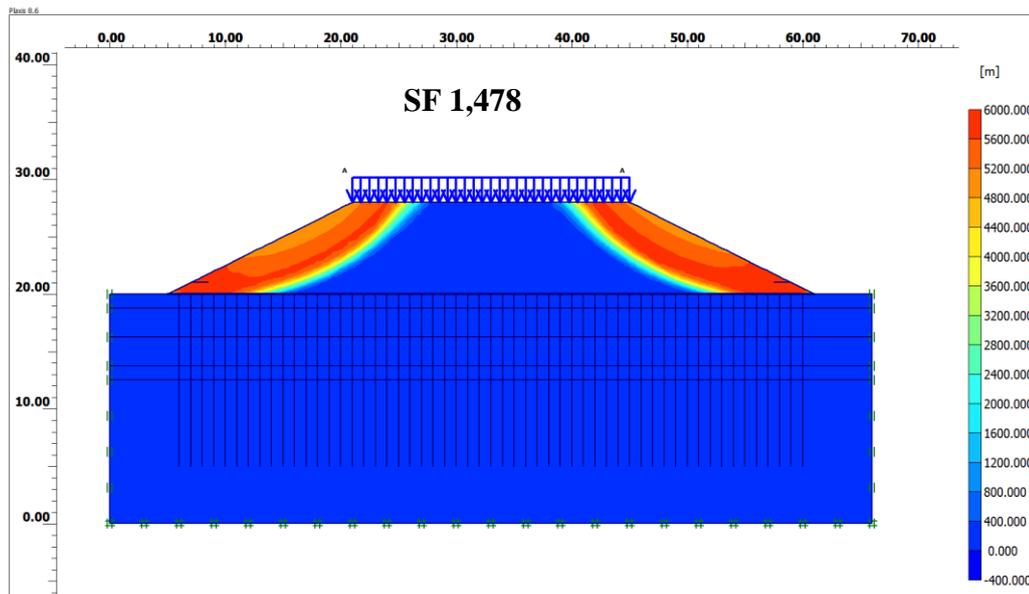


**Gambar 5.59 Rangkuman Angka Aman (SF) Perkuatan *Mini Pile* Dengan *Replacement* 1,25 m**

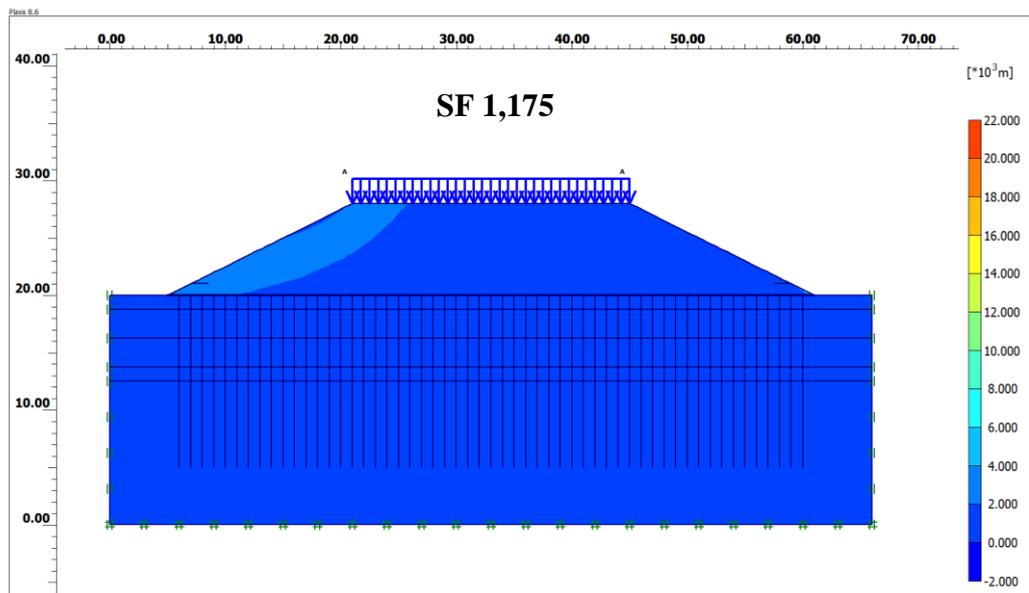
Berdasarkan Tabel 5.11, angka aman (SF) secara keseluruhan sudah memenuhi kriteria yang diisyaratkan sebesar 1,25 kondisi statis dan 1,1 kondisi dinamis. Pola bidang longsor setiap kondisi dapat dilihat pada Gambar di bawah ini.



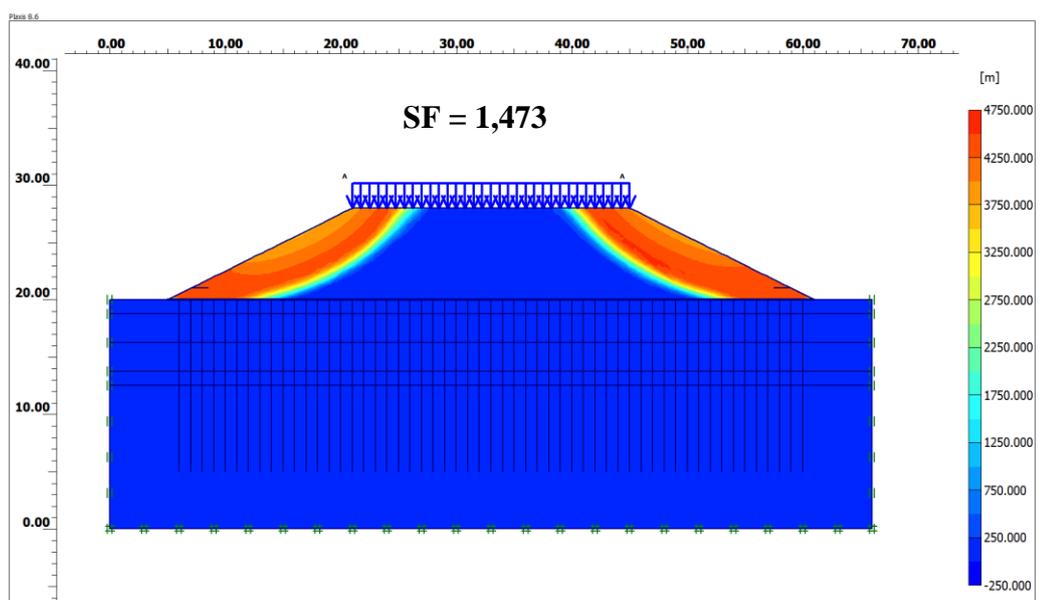
**Gambar 5.60 Bidang Kelongsoran Pada Saat Kontruksi Timbunan**



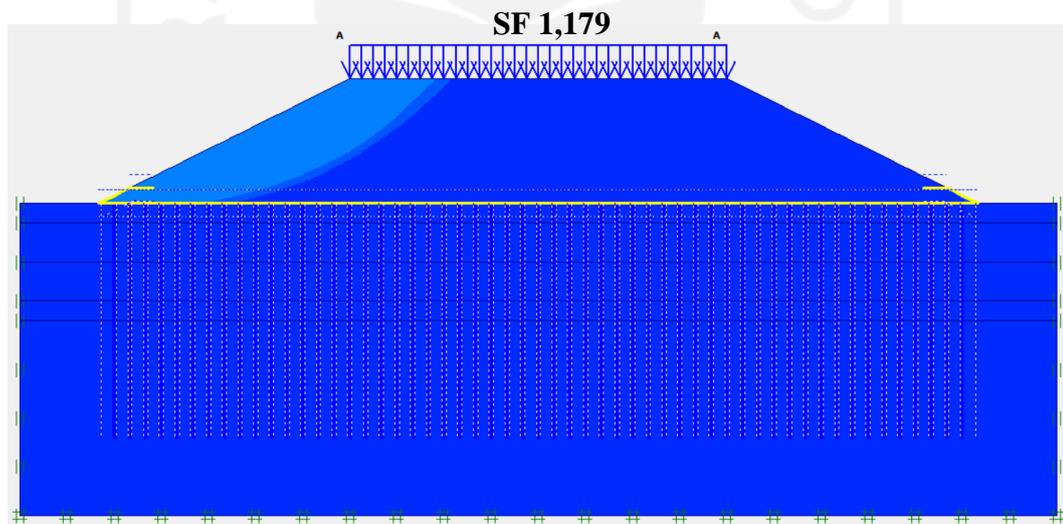
Gambar 5.61 Bidang Kelongsoran Pada Saat Penerapan Beban Jalan



Gambar 5.62 Bidang Kelongsoran Pada Penerapan Beban gempa saat Beban Jalan



**Gambar 5.63 Bidang Kelongsoran Pada Saat Pasca Konsolidasi**



**Gambar 5.64 Bidang kelongsoran pada Penerapan beban gempa saat Pasca Konsolidasi**

Berdasarkan Gambar di atas, secara umum bidang kelongsoran berada pada lereng timbunan. Sehingga dengan adanya perkuatan mini pile dapat meningkatkan daya dukung tanah dasar sehingga stabilitas lereng dapat dikatakan sudah aman.

## 5.9 Pembahasan

### 5.9.1 Hasil Analisis Lereng Tanpa Perkuatan

Penelitian mengenai analisis stabilitas lereng timbunan jalan pada proyek tol seksi v Pekanbaru – Dumai Sta.79+550 merupakan bagian dari ruas jalan Tol Trans Sumatra yang menghubungkan Kota Pekanbaru dengan Kota Dumai. Pembangunan jalan tol seksi sepanjang 29,45 km dengan kemiringan lereng 1V :2H melalui daerah lembah dan perbukitan sehingga untuk mencapai elevasi rencana diperlukan pekerjaan timbunan yang cukup tinggi yaitu 8 m. parameter yang dimasukkan pada analisis ini merupakan beban merata akibat beban lalu lintas kendaraan sebesar  $25 \text{ kN/m}^2$ , beban struktur jalan serta beban gempa yang sesuai dengan zonasi gempa pada daerah Riau. Berdasarkan hasil dari analisis perhitungan stabilitas lereng menggunakan program Plaxis 8.5 didapatkan hasil *collapse*. Dari hasil analisis metode elemen hingga, terlihat pola keruntuhan terjadi pada tanah dasar sampai kedalaman 6m (lapis ketiga) sehingga dimodelkan lagi di Autocad untuk perhitungan selanjutnya. Karena plaxis tidak dapat menampilkan hasil SF, maka selanjutnya dilakukan perhitungan menggunakan perhitungan manual metode Fellinius. Berdasarkan hasil dari perhitungan metode Fellinius, didapatkan nilai SF sebesar 0,9826. Oleh karena lereng timbunan yang belum memenuhi syarat aman untuk spesifikasi jalan tol ( $SF \geq 1,25$ ), maka dari itu harus diberi perkuatan *mini pile + geotextile* yang dapat menambah kekuatan pada tanah timbunan sehingga lereng timbunan dapat difungsikan sebagai jalan tol pada proyek Pekanbaru – Dumai.

Selain menganalisis angka aman pada lereng timbunan asli, pada penelitian ini juga melakukan perhitungan kapasitas daya dukung *mini pile*. penggunaan mini pile sebagai perkuatan untuk meningkatkan kapasitas dukung tanah dasar yang merupakan opsi yang cukup baik dengan mentransfer beban ke lapisan tanah di bawahnya dengan memanfaatkan tahanan gesek antar tanah dan tiang. Tahanan gesek tiang bergantung pada luasan bidang kontak yang terjadi antara tiang dengan tanah sehingga panjang tiang sangat berpengaruh dimana semakin panjang tiang yang tertanam dalam tanah akan meningkatkan nilai tahanan gesek. Perhitungan pada penelitian ini dilakukan dengan dua model panjang tiang, yaitu 12 m dan 15

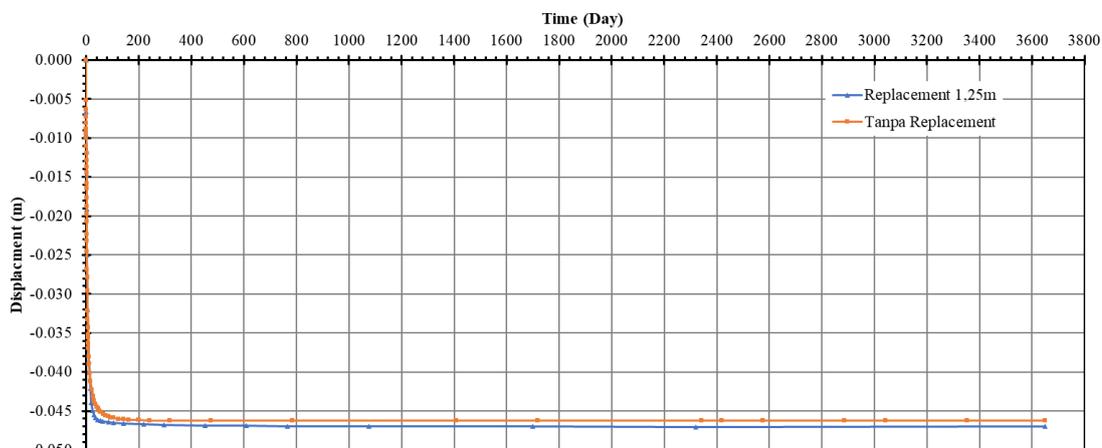
m disusun dengan jarak masing- masing tiang 1 m. Dari hasil perhitungan diperoleh kapasitas dukung tiang 12 m pada CPTu-01, CPTu-02, dan CPTu-03 berturut-turut sebesar 143,255 kN, 144,001 kN, 139,606 kN yang mana tidak mampu menahan beban yang terjadi ( Tidak aman). Adapun kapasitas dukung tiang 15m pada CPTu-01, CPTu-02, dan CPTu-03 berturut-turut sebesar 180,573 kN, 179,199 kN, 181,161 kN dapat memenuhi terhadap beban yang terjadi yaitu  $> 177$  kN (Aman).

#### 5.9.2 Hasil Analisis Lereng Dengan Perkuatan

Pada penelitian ini untuk mengatasi permasalahan pada lereng timbunan yang memiliki angka aman lebih rendah dari yang di syaratkan ( $SF \leq 1,25$ ), maka digunakan perkuatan menggunakan *mini pile + geotextile* woven VT-250 yang diproduksi oleh PT. Tetrasa Geosinindo. Perhitungan dilakukan menggunakan program plaxis. Pada perhitungan awal dilakukan analisis stabilitas lereng menggunakan perkuatan geotekstil dengan replacement 1,25 m, namun hasil analisis yang didapat ialah *collapse*. Karena hanya dengan perkuatan geotekstil saja *collapse*, maka selanjutnya dilakukan analisis dengan dua variasi yaitu analisis perkuatan *mini pile + geotextile* tanpa *replacement* dan analisis perkuatan *mini pile + geotextile* dengan *replacement* 1,25 m. perhitungan dilakukan untuk mendapatkan penurunan dan angka aman (SF) yang terjadi pada konstruksi timbunan jalan tersebut. Perlu diperhatikan pada perkuatan mini pile adalah adanya geotekstil di atas kepala tiang yang berfungsi sebagai pemisah antar material yang berbeda, dalam hal ini antara lapisan timbunan dengan tanah dasar. Selain sebagai pemisah, penggunaan geotekstil woven dengan kuat tarik (*tensile strength*) tinggi dapat meningkatkan stabilitas lereng dengan mengurangi penurunan yang terjadi antar tiang. Adapun hasil rangkuman analisis penurunan dua model yang dilakukan dapat dilihat pada Tabel 5.12 dan Gambar 5.57 berikut.

**Tabel 5.12 Rangkuman Penurunan Dengan Metode Elemen Hingga**

<b>Jenis Penurunan</b>	<b>Tanpa Replacement</b>	<b>Replacement 1,25 m</b>
Penurunan Segera (m)	0,06793	0,07738
Penurunan Konsolidasi (m)	0,04624	0,04809
<b>Total Penurunan</b>	0,11417	0,12547



**Gambar 5.65 Rangkuman Hubungan Waktu vs Penurunan Konsolidasi**

Dari Tabel 5.15, menunjukkan total penurunan (*total settlement*) yang terjadi pada model tanpa *replacement* memberikan nilai yang lebih kecil dibandingkan dengan replacement 1,25 m, hal ini dapat terjadi karena material *replacement* berupa pasir dengan parameter yang lebih besar dibandingkan tanah aslinya seperti berat volume memberikan tambahan tegangan pada tanah dasar di bawahnya. Walaupun demikian, penurunan total yang terjadi pada model *replacement* 1,25 m masih masuk dalam kriteria penurunan menurut SNI 8460 tahun 2017 yaitu 15 cm.

Hasil rangkuman angka aman (SF) dua model dapat dilihat pada Tabel 5.13 berikut.

**Tabel 5.13 Rangkuman Angka Aman (SF)**

Kondisi	Tanpa Replacement/ (keterangan)	Replacement 1,25m/ (keterangan)
Timbunan	1,62 (aman)	1,64 (aman)
beban Jalan	1,218 (tidak aman)	1,478 (aman)
Konsolidasi	1,47 (aman)	1,473 (aman)
Gempa	1,179 (aman)	1,175 (aman)

Berdasarkan Tabel 5.13, angka aman (SF) model 1 perkuatan *mini pile* tanpa *replacement* belum memberikan hasil yang memuaskan dimana angka aman pada kondisi diterapkannya beban jalan tidak memenuhi kriteria angka aman minimum sebesar 1,25 sedangkan model 2 perkuatan *mini pile* dengan *replacement* 1,25 m dapat dikatakan angka aman secara keseluruhan sudah aman dimana angka aman

sudah memenuhi kriteria angka aman yang diisyaratkan yaitu 1,25 kondisi statis dan 1,1 kondisi dinamis.



## BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

### 6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya maka kesimpulan yang diperoleh adalah sebagai berikut ini.

1. Hasil analisis lereng eksisting menggunakan metode elemen hingga mengalami collapse atau terjadi kelongsoran. Bidang longsor terlihat sampai pada lapisan tanah asli dengan kedalaman sekitar 6 m dari permukaan tanah. Karena plaxis tidak dapat menampilkan nilai SF saat perhitungan terjadi collapse maka dilakukan perhitungan manual dengan metode Fellenius dan didapatkan hasil SF untuk lereng eksisting sebesar 0,9826.
2. Hasil angka aman (SF) dari perkuatan geotekstil dengan *replacement* 1,25m tidak diperoleh dikarenakan terjadi keruntuhan (collapse) pada lereng dengan pola keruntuhan menunjukkan pergerakan tanah dasar yang masih cukup besar.
3. Hasil analisis daya dukung ijin mini pile panjang 12 m dengan 3 (tiga) data sondir berturut-turut adalah 143,255 kN, 144,001 kN dan 139,606 kN. Daya dukung lebih kecil dari beban yang terjadi yaitu 177 kN sehingga panjang tiang 12 m tidak dapat digunakan. Hasil analisis daya dukung ijin *mini pile* panjang 15 m dengan 3 (tiga) data sondir berturut-turut adalah 180,573 kN, 179,199 kN dan 181,161 kN. Daya dukung sudah lebih besar dari beban yang terjadi yaitu 177 kN sehingga panjang tiang 15 m dapat digunakan. Selanjutnya juga dilakukan perhitungan cek gaya tarik geotekstil dan didapatkan hasil sebesar  $122,824 \text{ kN} < 150 \text{ kN/m}$  (Aman).
4. Hasil angka aman (SF) model 1 perkuatan *mini pile* tanpa *replacement* tanah dasar pada kondisi konstruksi timbunan, penerapan beban jalan, konsolidasi dan gempa berturut-turut adalah 1,62, 1,218, 1,47, 1,179. Angka aman tidak memenuhi kriteria pada kondisi penerapan beban jalan yaitu kurang dari 1,25. Sedangkan hasil angka aman (SF) model 2 perkuatan *mini pile* dengan *replacement* tanah dasar 1,25 m pada kondisi konstruksi timbunan, penerapan

beban jalan, konsolidasi dan gempa berturut-turut adalah 1,64, 1,478, 1,473, 1,175. Angka aman sudah memenuhi kriteria pada semua kondisi sehingga model 2 lebih aman diaplikasikan di lapangan.

5. Hasil analisis penurunan segera dan penurunan konsolidasi 10 tahun model 1 perkuatan mini pile tanpa *replacement* tanah dasar adalah 0,06793 m dan 0,04624 m sedangkan model 2 perkuatan mini pile dengan *replacement* tanah dasar 1,25 m adalah 0,07738 m dan 0,04809 m. Total penurunan model 1 dan model 2 adalah sebesar 0,11413 m dan 0,12533 m. Total penurunan model 2 lebih besar bisa diakibatkan berat material *replacement* yang lebih besar dibandingkan tanah asli.

## 6.2 Saran

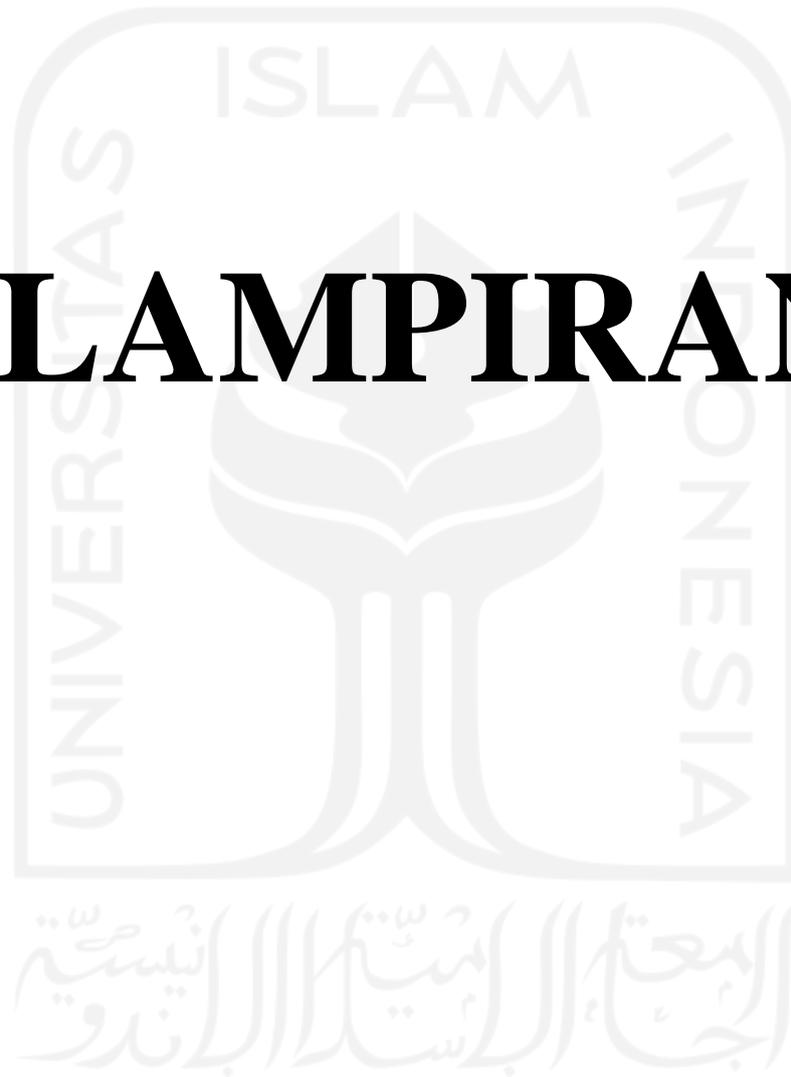
1. Hasil analisis penurunan dapat di bandingkan dengan pengukuran penurunan di lapangan.
2. Parameter tanah dalam analisis metode elemen hingga dapat menggunakan *hardening soil model* atau *soft soil model* yang lebih bagus dalam memodelkan tanah lunak.
3. Perlu dilakukan analisis gaya-gaya dalam (*internal force*) yang terjadi pada *mini pile* dari pemodelan elemen hingga plaxis 2D.
4. Perlu dilakukan analisis perilaku mini pile sebagai perkuatan tanah dasar timbunan dengan variasi formasi tiang bagian tengah dan sisi yang berbeda.
5. Untuk penelitian lebih lanjut dapat dilakukan analisis stabilitas lereng menggunakan perkuatan mini pile dengan variasi jarak dan diameter.
6. Perlu membandingkan analisis 2 dimensi dengan 3 dimensi terhadap perilaku yang terjadi.
7. Untuk penelitian lebih lanjut perlu dilakukan analisis menggunakan program plaxis yang lebih terbaru seperti plaxis 2D Versi 20 dengan memodelkan mini pile sebagai *embedded beam row*.
8. Selain dengan perkuatan mini pile, dapat menggunakan beberapa metode lain seperti sheet pile, geotekstil, dinding penahan tanah atau perkuatan dengan bahan lain, seperti: kapur, injeksi semen, dan sebagainya.

## DAFTAR PUSTAKA

- Amin, Sandra Sari. 2019. *Analisis Kestabilan Lereng Dengan Perkuatan Geotekstil Pada Lereng Jalan Kemuning Lor Kecamatan Arjasa Kabupaten Jember. Skripsi Thesis*. Institut Teknologi Nasional Malang, Malang.
- Aprilia,dkk. 2014. *Perbaikan Tanah Dasar Akibat Timbunan Pada jalan Akses Jembatan Tayan*. Penelitian:1-10. Politeknik Negeri Malang. Malang.
- ASTM D2487-17., 2017. *Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System)*. Pennsylvania, United States.
- Bowles, J.E. (1977; 1996). *Physical and Geotechnical Properties of Soils*, McGraw-Hill Book Company, USA.
- Bowles, J.E. 1989. *Sifat-sifat Fisik & Geoteknis Tanah*. Erlangga. Daerah Khusus Ibukota Jakarta.
- Bowles, J.E 1991. *Analisis dan desain pondasi*. Jakarta :Erlangga, Ed 4<sup>th</sup> Jilid 2. Erlangga Jakarta
- Craig, R.F. 1989. *Mekanika Tanah*. Erlangga. Jakarta.
- Departemen Pekerjaan Umum. 2005. *Pedoman Konstruksi dan Bangunan: Rekayasa penanganan keruntuhan lereng pada tanah residual dan batuan*.
- Geotextile Nusantara, 2016. *Perbedaan Geotextile Woven dan Non Woven*. (<http://geotextilenusantara.blogspot.com/2016/>. Diakses 28 April 2022)
- Kementerian Pekerjaan Umum. 2009. *Modul Pelatihan Geosintetik Volume 3: Perencanaan Geosintetik Untuk Perkuatan Lereng*.
- Hardiyatmo, H. C. 2002. *Mekanika Tanah I. Edisi Ke III*. Gajah Mada University Press. Yogyakarta
- Hardiyatmo, H.C.. 2003. *Mekanika Tanah 2, 3th Ed*. Gajah Mada University Press. Daerah Istimewa Yogyakarta.

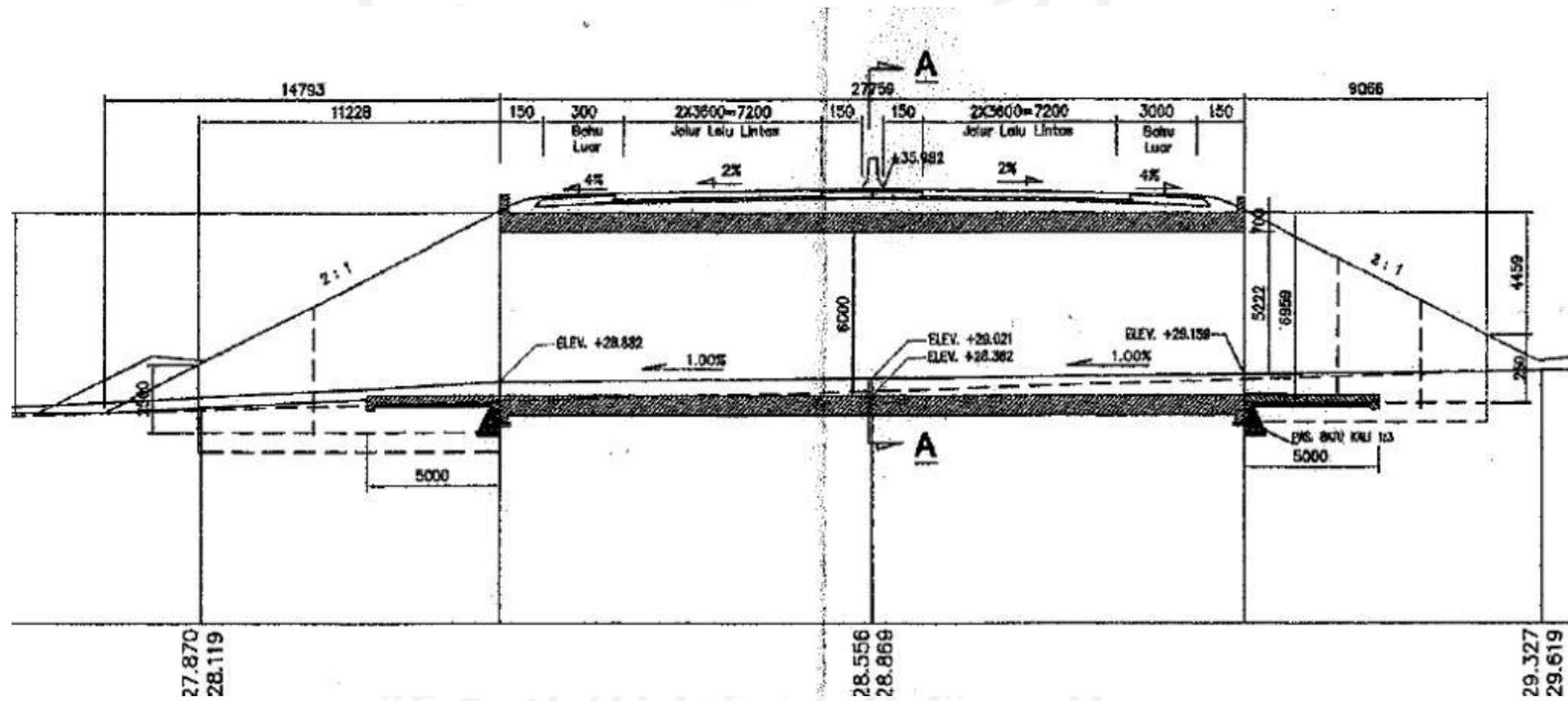
- Hardiyatmo, H.C. 2008. *Geosintetik untuk Rekayasa Jalan Raya*. Edisi Pertama, Gadjah Mada University Press. Yogyakarta
- Hardiyatmo, H.C. 2008. *Teknik Fondasi II*. Edisi Keempat, Gadjah Mada University Press. Yogyakarta
- Huang, P.-T., Patel, M., Santagata, M. C., & Bobet, A., 2009. *FHWA/IN/JTRP-2008/2 Classification Of Organic Soils*. United States: Purdue University.
- Kharisma, H. I.. 2020. *Analisis Stabilitas Lereng Menggunakan Geotekstil dengan Program Plaxis. Tugas Akhir*. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Kurniawan, dkk. 2003. *Stabilitas Lereng Berdasarkan Metode Fellenius dan Metode Bishop Terhadap Variasi Tebal Pias dan Sudut Kemiringan. Tugas Akhir*. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Murali, K., Sambath, K., & Hashir, S. M., 2018. A Review on Clay and its Engineering Significance. *International Journal of Scientific and Research Publication*, Volume 8, Issue 2, 8–11.
- Panduan Geoteknik-1, 2002. *Timbunan Jalan pada Tanah Lunak – Proses Pembentukan dan Sifat-sifat Dasar Tanah Lunak*. Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, Edisi Pertama, WSP International.
- Panduan Geoteknik-4, 2002. *Timbunan Jalan pada Tanah Lunak - Desain dan Konstruksi*. Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, Edisi Pertama, WSP International.
- Rachman, S.F.. 2014. *Perencanaan Perkuatan Tanah Dasar Di Bawah Konstruksi Tanggul Waduk Jabung, Lamongan. Tugas Akhir*. Institut Teknologi Sepuluh November. Surabaya.
- Raharjo, Paulus P. (2005). *Manual Pondasi Tiang. Bandung*: Geotechnical Engineering Center.
- Hakam, Abdul, (2008), *Rekayasa Pondasi: untuk Mahasiswa dan Praktisi*, Padang: CV. Bintang Grafika
- Sardjono, H.S. 1991. *Pondasi Tiang Pancang Jilid 1*. Sinar Wijaya.Surabaya
- Tomlinson, M.J, dan John, W., 2008. *Pile Design and Construction Practice*. Fifth. New York: Taylor & Francis.

# LAMPIRAN

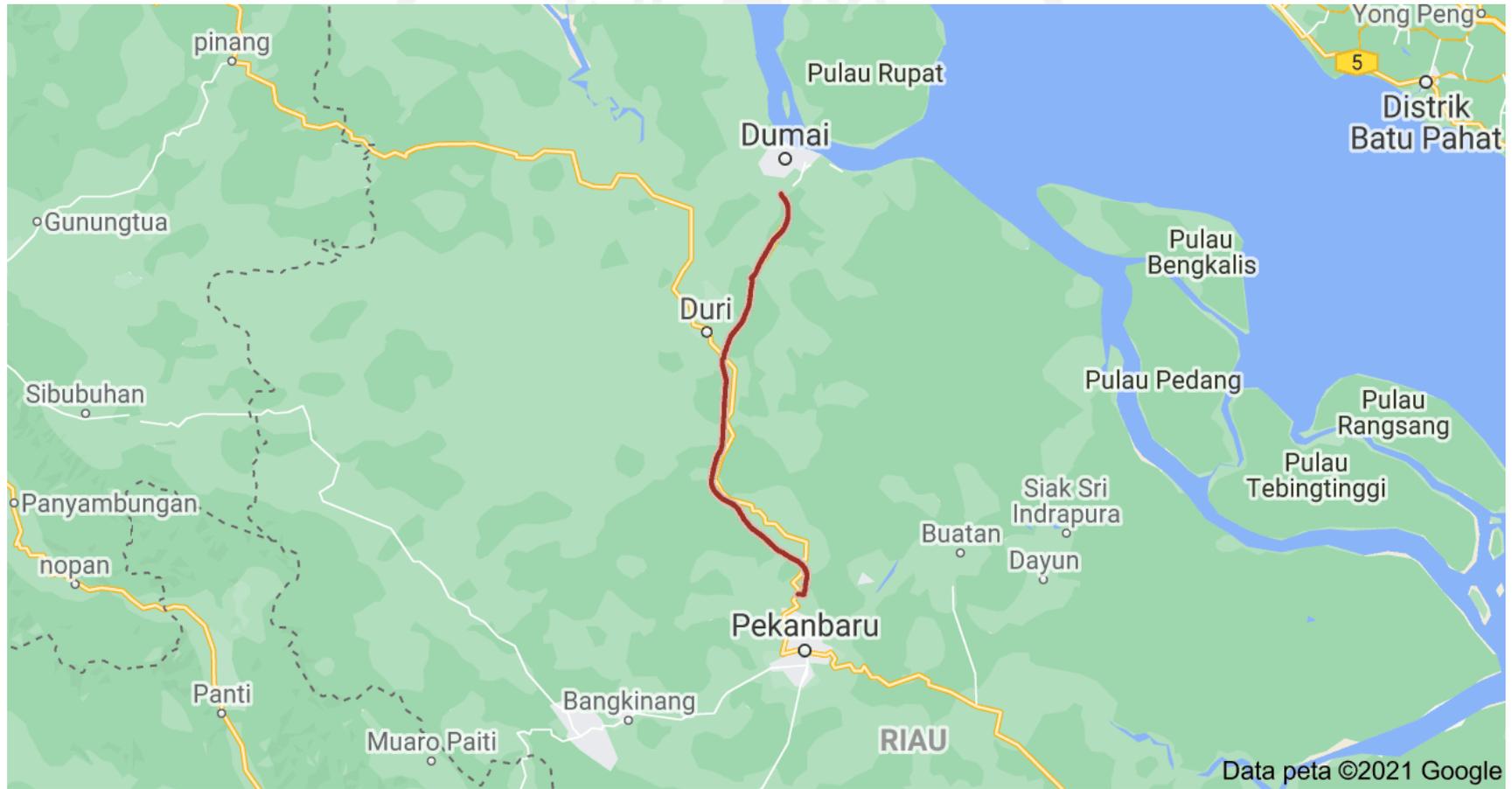


## Lampiran 2 : Data Proyek Jalan Tol Pekanbaru-Dumai

1. Gambar Potongan Melintang Jalan Tol Pekanbaru-Dumai



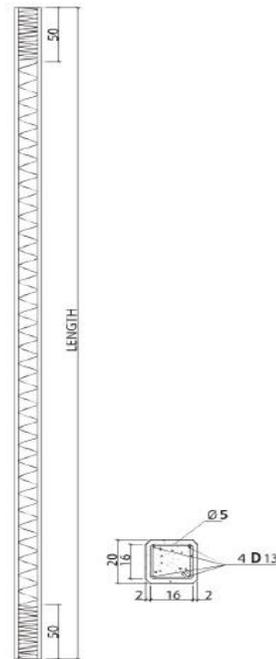
2. Peta Lokasi Jalan Tol Pekanbaru-Dumai





### Lampiran 3 : Spesifikasi Mini Pile 20x20

#### Spesifikasi Teknik Tiang Pancang Beton Segiempat 20.20 (D13)



TIANG PANCANG SEGIEMPAT 20.20 (35 TON)

#### Data-Data Tiang Pancang □ 20.20 (D13)

Tiang segiempat, panjang sisi	20 cm
Mutu Beton	K-450
Ukuran & Jumlah Baja Tulangan	4D13mm
Tulangan Spiral	φ 5 mm (toleransi 0,2 mm)
Luas Baja Tulangan	5,31 cm <sup>2</sup>
Luas Penampang Tiang Netto	329,00 cm <sup>2</sup>

#### Perhitungan:

Tegangan Izin Tekan Beton	168,08 kg/cm <sup>2</sup>
Tegangan Izin Tarik Baja	2.262 kg/cm <sup>2</sup>

#### P Axial yang Dapat Dipikul Square/ □ 20.20 (D13)

P=	77.889 kg = 77,9 ton
Safety Factor	2.1
P Ijin	<b>35 ton</b>

### Lampiran 3 : Specification of High Strength Woven Geotextile



#### HIGH STRENGTH WOVEN GEOTEXTILE

Speravi® high-strength geotextiles are made to fulfil the needs of geotechnical structures where strong reinforcements are needed. Speravi® works by providing tensile strength in the soil layer and increasing the safety factor and increase of the slope angle both of which may, in-turn, lead to lower overall cost and time needed.

#### Technical Specification

Property	Test Method	Unit	VT 100/50	VT 200/50	VT 250/50	VT 300/50	VT 400/50	VT 500/50	VT 600/50	VT 700/50	VT 800/50	VT 1000/50
<b>Initial Mechanical Properties</b>												
Polymer			PET									
Tensile Strength*	EN ISO 10319	kN/m	100/50	200/50	250/50	300/50	400/50	500/50	600/50	700/50	800/50	1000/50
Elongation (MD)	EN ISO 10319	%	10±2	10±2	10±2	10±2	10±2	10±2	10±2	10±2	10±2	10±2
Strength @5% Strain* (MD)	EN ISO 10319	kN/m	45	95	115	140	180	230	270	320	360	450
CBR Puncture Strength*	EN ISO 12236	N	6,000	8,000	9,000	11,000	14,000	-	-	-	-	-
<b>Material Reduction Factor Installation Damage in Clay, Silt or Sand, <math>RF_{ID}</math></b>			1.150	1.150	1.150	1.150	1.150	1.150	1.150	1.150	1.150	1.150
<b>Material Reduction Factor Creep-Rupture, <math>RF_{CR}</math></b>												
at 50 years design life			1.430	1.430	1.430	1.430	1.430	1.430	1.430	1.430	1.430	1.430
at 100 years design life			1.450	1.450	1.450	1.450	1.450	1.450	1.450	1.450	1.450	1.450
at 120 years design life			1.450	1.450	1.450	1.450	1.450	1.450	1.450	1.450	1.450	1.450
<b>Material Reduction Factor Environmental Effects, (<math>4 &lt; pH &lt; 9</math>), <math>RF_{E}</math></b>		kN/m	1.100	1.100	1.100	1.100	1.100	1.100	1.100	1.100	1.100	1.100
<b>Long Term Design Strength in Clay, Silt or Sand, <math>T_d</math></b>												
at 50 years design life			55	111	138	166	221	276	332	387	442	553
at 100 years design life			55	109	136	164	218	273	327	382	436	545
at 120 years design life			55	109	136	164	218	273	327	382	436	545
Roll Size			5.4 x 100	5.4 x 100	5.4 x 100	5.4 x 100	5.3 x 100					

\*Mechanical strength properties tolerance: ±10%  
 Long Term Design Strength ( $T_d = T_u / RF_{ID} \times RF_{CR} \times RF_{E}$ )  
 $RF_{ID}$  = Reduction factor for Installation Damage  
 $RF_{CR}$  = Reduction factor for Creep Deformation  
 $RF_{E}$  = Reduction factor for Environmental Effects