

TUGAS AKHIR

**ANALISIS STABILITAS TIMBUNAN TANAH
MENGUNAKAN PERKUATAN GEOTEKSTIL
DENGAN PROGRAM PLAXIS 8.6 SERTA METODE
FELLENIOUS**

(Studi Kasus di Jalan Tol Balikpapan-Samarinda)

***(ANALYSIS OF SLOPE STABILITY USING
GEOTEXTIL REINFORCEMENT WITH PLAXIS 8.6
AND FELLENIOUS METHOD)***

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



NIZAR SURYA ISADONO

15511010

**PROGRAM SARJANA TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**

2020

TUGAS AKHIR

**ANALISIS STABILITAS TIMBUNAN TANAH
MENGUNAKAN PERKUATAN GEOTEKSTIL
DENGAN PROGRAM PLAXIS 8.6 SERTA METODE
FELLENIOUS**

(Studi Kasus di Jalan Tol Balikpapan-Samarinda)

***(ANALYSIS OF SLOPE STABILITY USING GEOTEXTIL
REINFORCEMENT WITH PLAXIS 8.6 AND FELLENIOUS
METHOD)***

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



NIZAR SURYA ISADONO

15511010

**PROGRAM SARJANA TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**

2020

TUGAS AKHIR

ANALISIS STABILITAS TIMBUNAN TANAH DENGAN PERKUATAN GEOTEKSTIL MENGGUNAKAN PROGRAM PLAXIS 8.6 SERTA METODE FELLENIUS

STUDI KASUS PADA PROYEK JALAN TOL BALIKPAPAN – SAMARINDA

(ANALYSIS OF SLOPE STABILITY WITH GEOTEKSTIL REINFORCEMENT USING PLAXIS ON HIGHWAY BALIKPAPAN – SAMARINDA AND FELLENIUS METHOD)

Disusun oleh

Nizar Surya Isadono

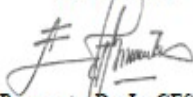
15511010

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

Diuji pada tanggal 25 Agustus 2020

Oleh Dewan Penguji:

Pembimbing



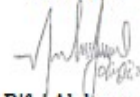
Edy Purwanto, Dr. Ir., CES., DEA.
NIK: 855110101

Penguji I



Akhmad Marzuko, Ir., M.T.
NIK: 885110107

Penguji II



Muhammad Rifqi Abdurrozaq, S.T., M.Eng.
NIK: 135111101

Mengesahkan,

Ketua Program Studi Teknik Sipil



Dr. Ir. Sri Amini Yuni Astuti, M.T
NIK: 885110101

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Dengan ini saya menyatakan sesungguhnya Tugas Akhir yang saya buat sebagai salah satu syarat untuk memperoleh derajat Sarjana Teknik Sipil adalah hasil dari karya sendiri. Ada beberapa hal yang saya kutip dari berbagai karya milik orang lain, namun itu sifatnya adalah sebagai pedoman dan acuan literasi yang jelas dalam Tugas Akhir ini. Pengutipan yang dilakukan juga telah menyertakan nama dan atau sumber yang elas sesuai kaidah penulisan yang berlaku. Apabila dikemudian hari Tugas Akhir saya secara keseluruhan meniru karya orang lain, maka saya siap menerima sanksi sesuai peraturan perundang – undangan yang berlaku

Yogyakarta, Juli 2020

Yang membuat pernyataan



Nizar Surya Isadono

(15 511 010)

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb

Alhamdulillahirabbil'alamin, puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, taufik serta hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan sebaik-baiknya. Shalawat serta salam selalu dilimpahkan kepada junjungan Rasulullah SAW, keluarga, sahabat, serta pengikut beliau hingga yaumul akhir.

Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu syarat akademik dalam menyelesaikan studi tingkat Strata Satu (S1) di Prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia Yogyakarta. Dalam penyusunan Tugas Akhir ini, banyak hambatan yang dihadapi penulis. Tetapi berkat saran, dorongan serta semangat dari berbagai pihak, alhamdulillah Tugas Akhir ini dapat diselesaikan. Berkaitan dengan hal tersebut penulis mengucapkan

terima kasih yang sedalam-dalamnya kepada:

1. Bapak Dr. Ir. Edy Purwanto, CES.,DEA. selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir yang telah memberikan banyak masukan dan bimbingan selama mengerjakan Tugas Akhir ini.
2. Ibu Dr. Ir. Sri Amini Yuni A, M.T. selaku Ketua Prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
3. Ibu Astriana, S.T., M.Engselaku Dosen Pembimbing Akademik yang selalu membimbing serta memberikan banyak masukan dan motivasi selama masa kuliah.
4. Seluruh dosen, pengajar, laboran, asisten, serta staff dan karyawan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia yang telah memberikan banyak ilmu serta memfasilitasi penulis selama masa kuliah.

5. Bapak dan Ibu penulis, Bapak Mustofa dan Ibu Fitri Retnaningsih, yang selalumemberikan doa, dukungan, serta semangat tiada henti hingga selesainya
6. Kakak penulis, Barnas Ajidin yang selalu memberi dukungan dan motivasi agar saya segera menyelesaikan masa studi

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
TUGAS AKHIR	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR LAMPIRAN	xv
DAFTAR NOTASI	xvi
ABSTRAKSI	xix
ABSTRACT	xx
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Batasan Penelitian	4
1.6 Lokasi Studi Kasus	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Tinjauan Umum	7
2.2 Lereng	7
2.3 Analisis Stabilitas Lereng	8
2.4 Geotekstil	10
2.5 Analisis Stabilitas Lereng Menggunakan Geotekstil	11
2.6 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang Akan Dilakukan	14
BAB III LANDASAN TEORI	21
3.1 Tanah	21

3.1.1	Properti Tanah	21
3.1.2	Klasifikasi Tanah	26
3.1.3	Kuat Geser Tanah	34
3.2	Stabilitas Lereng	36
3.2.1	Pengertian Umum	36
3.2.2	Metode Fellenius	38
3.3	Perkuatan Lereng	41
3.3.1	Pengertian Umum	41
3.3.2	Faktor Keamanan	42
3.3.3	Counterweight Berm	43
3.3.4	Geotekstil	44
3.3.5	Analisis Stabilitas Timbunan Menggunakan Geotekstil	45
3.4	Konsolidasi	55
3.4.1	Pengertian Umum	55
3.4.2	Faktor – faktor yang memengaruhi konsolidasi	55
3.4.3	Koefisien Konsolidasi (C_v) (<i>Coefficient of Consolidation</i>)	56
3.4.4	Perhitungan Penurunan Konsolidasi	57
3.5	Plaxis	60
3.5.1	Pendahuluan	60
3.5.2	Analisis stabilitas lereng menggunakan PLAXIS 8.6	61
BAB IV METODE PENELITIAN		63
4.1	Tinjauan Umum	63
4.2	Tahapan Penelitian	63
4.3	Analisis Data	64
4.3.1	Data Potongan Melintang Jalan dan Parameter Tanah Asli	64
4.3.2	Data Beban	65
4.3.3	Data Geotekstil	68
4.3.4	Pemodelan dan Input Data dalam PLAXIS 8.6	68
4.4	Bagan Alur Penelitian	74
BAB V ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN		76
5.1	Analisis Data Lereng	76

5.1.1	Data Potongan Melintang Jalan	76
5.1.2	Data Parameter Tanah	76
5.2	Data BebanLalu Lintas dan Struktur	77
5.3	Data Beban Gempa	77
5.4	Data Geotekstil	77
5.5	Analisis Stabilitas Timbunan Asli tanpa tambahan perkuatan dengan PLAXIS 8.6	77
5.6	Perhitungan dengan Metode Fellenius	100
5.7	Perhitungan dengan Geotekstil	88
5.7.1	Perhitungan kebutuhan geotekstil	88
5.8	Analisis Timbunan dengan Perkuatan Geotekstil	96
5.8.1	Timbunan dengan tinggi muka air 20 m	100
5.8.2	Timbunan dengan tinggi muka air 18 m	107
5.9	Pembahasan	107
5.9.1	Kondisi Umum	115
5.9.2	Analisis stabilitas timbunan tanah asli tanpa perkuatan dengan muka air 20 meter	115
5.9.3	Analisis stabilitas timbunan tanah asli tanpa perkuatan dengan muka air 18 meter	116
5.9.4	Analisis stabilitas timbunan tanah asli dengan muka air 20 meter menggunakan perkuatan geotekstil	116
5.9.5	Analisis stabilitas timbunan tanah asli dengan muka air 18 meter menggunakan perkuatan geotekstil	117
5.9.6	Perbandingan hasil analisis timbunan tanah asli tanpa perkuatan geotekstil dengan diperkuat geotekstil	117
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN		120
6.1	Kesimpulan	120
6.2	Saran	122
DAFTAR PUSTAKA		124
LAMPIRAN		124
lampiran 1 : jadwal pembuatan Tugas Akhir		125
lampiran 2 : Data Proyek jalan tol Balikpapan – Samarinda		126

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Sekarang	14
Tabel 3.1 Nilai Berat Volume Tanah	23
Tabel 3.2 Nilai Koefisien Permeabilitas	24
Tabel 3.3 Nilai Perkiraan Modulus Elastisitas Tanah	24
Tabel 3.4 Hubungan Jenis Tanah dengan Angka Poisson	25
Tabel 3.5 Sistem Klasifikasi <i>Unified</i>	29
Tabel 3.6 Sistem Klasifikasi USCS	30
Tabel 3.7 Sistem klasifikasi tanah berdasarkan AASHTO	33
Tabel 3.8 Hubungan Konsistensi Tanah Terhadap Tekanan Konus dan	35
Tabel 3.9 Hubungan Antara Sudut Geser Dalam dengan Jenis Tanah	35
Lanjutan Tabel 3.10 Hubungan Antara Sudut Geser Dalam dengan Jenis Tanah	36
Tabel 3.11 Rekomendasi Nilai Faktor Keamanan Untuk Lereng	37
Tabel 3.12 Faktor Keamanan Lereng	42
Tabel 4.1 Parameter tanah asli pada	65
Tabel 4.2 Beban Lalu Lintas	66
Tabel 4.3 Data parameter <i>geotextile woven</i>	68
Tabel 5.1 Rekapitulasi Hasil Analisis Seluruh Timbunan Tanah Asli tanpa penambahan perkuatan dengan Plaxis 8.6	99
Tabel 5.2 Perhitungan Manual dengan Metode Fellenius	87
Tabel 5.3 Rekapitulasi hasil perhitungan panjang geotekstil	95
Tabel 5.4 Rekapitulasi hasil analisis stabilitas timbunan yang telah diperkuat geotekstil	114
Tabel 5.5 Rekapitulasi Hasil Analisis Angka Aman Seluruh Timbunan	119
Tabel 5.6 Rekapitulasi Hasil Analisis Penurunan Tanah Seluruh Timbunan	119

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Kondisi tanah pada STA 1+175 sampai STA 2+150	2
Gambar 1.2 Denah Lokasi Pembangunan Jalan Tol Balikpapan – Samarinda	5
Gambar 1.3 Potongan melintang jalan pada	6
Gambar 2.1 Sketsa Gaya yang Bekerja (τ dan s) pada Satu Sayatan	9
Gambar 2.2 Perlawanan Perkuatan Tanah Terhadap Gaya Yang Meruntuhkan	11
Gambar 3.1 Diagram Fase Tanah	21
Gambar 3.2 Tipe Keruntuhan Lereng Gabungan	37
Gambar 3.3 Gambar Ilustrasi gaya pada setiap irisan dengan metode fellenius	39
Gambar 3.4 Counterweight pada timbunan jalan	43
Gambar 3.5 Pemasangan Geotekstil pada Timbunan	45
Gambar 3.6 Tinjauan Stabilitas Terhadap Guling	51
Gambar 3.7 Kurva Hubungan antara Tekanan dengan Angka Pori	56
Gambar 4.1 Potongan jalan melintang	64
Gambar 4.2 Grafik Hubungan antara Percepatan dan Waktu	67
Gambar 4.3 Peta Zonasi Gempa di Indonesia	67
Gambar 4.4 Pemodelan Geometri PLAXIS 8.6	69
Gambar 4.5 Jendela Material Set	70
Gambar 4.6 Pemodelan Setelah Dimasukkan Material Tanah	70
Gambar 4.7 Permodelan Setelah Diberikan Beban Merata	71
Gambar 4.8 Jaringan Elemen Hingga	71
Gambar 4.9 Pemodelan Tekanan Air Pori	72
Gambar 4.10 <i>initial pressure</i>	72
Gambar 4.11 Tampilan layar pada tahap kalkulasi	73
Gambar 4.12 Pemilihan titik kurva yang akan Ditinjau	73
Gambar 4.13 Total Displacement	74
Gambar 4.14 Arah Pergerakan Tanah	74
Gambar 5.1 Lapisan Tanah pada Timbunan	76
Gambar 5.2 Pemodelan timbunan 10,5 meter	78
Gambar 5.3 General Meshing pada timbunan 10,5 meter	79
Gambar 5.4 Tekanan pori air pada timbunan 10,5 meter	79

Gambar 5.5 General Initial Stresses pada Timbunan 10,5 meter	80
Gambar 5.6 Bidang Longsor Timbunan 10,5 meter	81
Gambar 5.7 Model Timbunan 8,4 m dengan muka air 20 meter	81
Gambar 5.8 Bidang longsor pada timbunan 8,4 m dengan muka air 20 meter	82
Gambar 5.9 Perpindahan total pada timbunan 8,4 m dengan muka air 20 meter	82
Gambar 5.10 Kurva SF vs Perpindahan timbunan 8,4 dengan tinggi muka air 20 m	83
Gambar 5.11 Model timbunan 6,3 m dengan tinggi muka air 20 m	83
Gambar 5.12 Bidang Longsor pada timbunan 6,3 m dengan tinggi muka air 20 m	84
Gambar 5.13 Perpindahan Total pada timbunan 6,3 m dengan tinggi muka air 20 m	84
Gambar 5.14 Grafik SF vs Perpindahan Total	85
Gambar 5.15 Model timbunan 4,2 m dengan muka air 20 m	85
Gambar 5.16 Bidang longsor timbunan 4,2 m dengan muka air 20 m	86
Gambar 5.17 Perpindahan total timbunan 4,2 m dengan muka air 20 m	86
Gambar 5.18 Grafik SF vs Perpindahan timbunan 4,2 m dengan muka air 20 m	87
Gambar 5.19 Model timbunan timbunan 2,1 m dengan muka air 20 m	87
Gambar 5.20 Bidang Longsor pada timbunan timbunan 2,1 m dengan muka air 20 m	88
Gambar 5.21 Perpindahan total timbunan 2,1 m dengan muka air 20 m	88
Gambar 5.22 Grafik SF vs Perpindahan timbunan 4,2 m dengan muka air 20 m	89
Gambar 5.23 Model timbunan timbunan 10,5 m dengan muka air 18 m	89
Gambar 5.24 Bidang Longsor pada timbunan timbunan 10,5 m dengan muka air 18 m	90
Gambar 5.25 Perpindahan total timbunan timbunan 10,5 m dengan muka air 18 m	90
Gambar 5.26 Grafik SF vs Perpindahan timbunan 4,2 m dengan muka air 20 m	91
Gambar 5.27 Model timbunan 8,4 m dengan tinggi muka air 18 m	91
Gambar 5.28 Bidang Longsor pada timbunan 8,4 m dengan tinggi muka air 18 m	92
Gambar 5.29 Perpindahan total timbunan 8,4 m dengan tinggi muka air 18 m	92
Gambar 5.30 Grafik SF vs Perpindahan timbunan 8,4 m dengan tinggi muka air 18 m	93

Gambar 5.31 Model timbunan 6,3 m dengan tinggi muka air 18 m	93
Gambar 5.32 Bidang Longsor pada timbunan 6,3 m dengan tinggi muka air 18 m	94
Gambar 5.33 Perpindahan total timbunan 6,3 m dengan tinggi muka air 18 m	94
Gambar 5.34 Grafik SF vs Perpindahan timbunan 6,3 m dengan tinggi muka air 18 m	95
Gambar 5.35 Model timbunan 4,2 m dengan tinggi muka air 18 m	95
Gambar 5.36 Bidang Longsor pada timbunan 4,2 m dengan tinggi muka air 18 m	96
Gambar 5.37 Perpindahan total timbunan 4,2 m dengan tinggi muka air 18 m	96
Gambar 5.38 Grafik SF vs Perpindahan timbunan 4,2 m dengan tinggi muka air 18 m	97
Gambar 5.39 Model timbunan 2,1 m dengan tinggi muka air 18 m	97
Gambar 5.40 Bidang Longsor pada timbunan 2,1 m dengan tinggi muka air 18 m	98
Gambar 5.41 Perpindahan total timbunan 2,1 m dengan tinggi muka air 18 m	98
Gambar 5.42 Grafik SF vs Perpindahan timbunan 2,1 m dengan tinggi muka air 18 m	99
Gambar 5.43 Pemodelan timbunan dalam metode Fellenius	100
Gambar 5.44 Pembagian Zona pada Timbunan	88
Gambar 5.45 Diagram Distribusi tekanan lateral pada timbunan	89
Gambar 5.46 Bidang longsor untuk menentukan panjang geotekstil	94
Gambar 5.47 Pemodelan Timbunan 10,5 meter dengan tinggi muka air 20 meter yang telah diperkuat geotekstil	96
Gambar 5.48 Pemasangan Geotekstil Timbunan 10,5 meter dengan tinggi muka air 20 meter yang telah diperkuat geotekstil	97
Gambar 5.49 Tekanan air pori Timbunan 10,5 meter dengan tinggi muka air 20 meter yang telah diperkuat geotekstil	97
Gambar 5.50 Tegangan efektif Timbunan 10,5 meter dengan tinggi muka air 20 meter yang telah diperkuat geotekstil	98
Gambar 5.51 Hasil Kalkulasi Timbunan 10,5 meter dengan tinggi muka air 20 meter yang telah diperkuat geotekstil	98
Gambar 5.52 Total Displacement Timbunan 10,5 meter dengan tinggi muka air 20 meter yang telah diperkuat geotekstil	99

Gambar 5.53 Bidang Longsor yang dapat terjadi pada Timbunan 10,5 meter dengan tinggi muka air 20 meter yang telah diperkuat geotekstil	99
Gambar 5.54 Grafik SF vs Perpindahan pada Timbunan 10,5 meter dengan tinggi muka air 20 meter yang telah diperkuat geotekstil	100
Gambar 5.55 Bidang Longsor Timbunan 8,4 m dengan tinggi muka air 20 m	101
Gambar 5.56 Perpindahan Total padaTimbunan 8,4 m dengan tinggi muka air 20 m	101
Gambar 5.57 Grafik SF vs Perpindahan totalpada Timbunan 8,4 m dengan tinggi muka air 20 m	102
Gambar 5.58 Bidang Longsor Timbunan 6,3 m dengan tinggi muka air 20 m	102
Gambar 5.59 Perpindahan Total padaTimbunan 6,3 m dengan tinggi muka air 20 m	103
Gambar 5.60 Grafik SF vs Perpindahan totalpada Timbunan 6,3 m dengan tinggi muka air 20 m	103
Gambar 5.61 Bidang Longsor Timbunan 4,2 m dengan tinggi muka air 20 m	104
Gambar 5.62 Perpindahan Total padaTimbunan 4,2 m dengan tinggi muka air 20 m	104
Gambar 5.63 Grafik SF vs Perpindahan totalpada Timbunan 4,2 m dengan tinggi muka air 20 m	105
Gambar 5.64 Bidang Longsor Timbunan 2,1 m dengan tinggi muka air 20 m	105
Gambar 5.65 Perpindahan Total padaTimbunan 2,1 m dengan tinggi muka air 20 m	106
Gambar 5.66 Grafik SF vs Perpindahan totalpada Timbunan 2,1 m dengan tinggi muka air 20 m	106
Gambar 5.67 Bidang Longsor Timbunan 10,5 m dengan tinggi muka air 18 m	107
Gambar 5.68 Perpindahan Total padaTimbunan 10,5 m dengan tinggi muka air 18 m	107
Gambar 5.69 Grafik SF vs Perpindahan totalpada Timbunan 10,5 m dengan tinggi muka air 18 m	108
Gambar 5.70 Bidang Longsor Timbunan 8,4 m dengan tinggi muka air 18 m	108

Gambar 5.71 Perpindahan Total pada Timbunan 8,4 m dengan tinggi muka air 18 m	109
Gambar 5.72 Grafik SF vs Perpindahan total pada Timbunan 8,4 m dengan tinggi muka air 18 m	109
Gambar 5.73 Bidang Longsor Timbunan 6,3 m dengan tinggi muka air 18 m	110
Gambar 5.74 Perpindahan Total pada Timbunan 6,3 m dengan tinggi muka air 18 m	110
Gambar 5.75 Grafik SF vs Perpindahan total pada Timbunan 6,3 m dengan tinggi muka air 18 m	111
Gambar 5.76 Bidang Longsor Timbunan 4,2 m dengan tinggi muka air 18 m	111
Gambar 5.77 Perpindahan Total pada Timbunan 4,2 m dengan tinggi muka air 18 m	112
Gambar 5.78 Grafik SF vs Perpindahan total pada Timbunan 4,2 m dengan tinggi muka air 18 m	112
Gambar 5.79 Bidang Longsor Timbunan 2,1 m dengan tinggi muka air 18 m	113
Gambar 5.80 Perpindahan Total pada Timbunan 2,1 m dengan tinggi muka air 18 m	113
Gambar 5.81 Grafik SF vs Perpindahan total pada Timbunan 2,1 m dengan tinggi muka air 18 m	114
Gambar 5.82 Grafik Perbandingan angka aman timbunan tanah asli tanpa diperkuat geotekstil dan timbunan tanah asli diperkuat geotekstil	118

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Jadwal Pembuatan Tugas Akhir	125
Lampiran 2. Data Proyek Jalan Tol Balikpapan – Samarinda	126

DAFTAR NOTASI

SF	: Safety Factor
IP	: Index Plastisitas
Sv	: Spasi Vertikal Lapis Geotekstil
Gs	: Berat jenis tanah
w	: Kadar air
wN	: Kadar air asli dilapangan
τ	: Kekuatan geser
α	: Sudut kemiringan lereng
σ_v	: Tegangan vertikal
φ	: Sudut geser
φ'	: Sudut geser dalam tanah efektif
γ	: Berat volume
γ_w	: Berat isi air
γ'	: Berat volume jenuh tanah
e	: Angka Pori
e0	: Angka pori awal
e1	: Angka pori pada perubahan volume tertentu
b	: Lebar
c	: Kohesi tanah
c'	: Kohesi tanah efektif
Cc	: Indeks pemampatan
Cr	: Indeks pemampatan kembali
Cv	: Koefisien konsolidasi
G	: Berat jenis

H	: Tebal lapis tanah
$H\omega$: Kedalaman muka air tanah
H_c	: Ketebalan kritis
LL	: Batas cair
l	: Panjang dasar pada bidang geser
P_c'	: tekanan prakonsolidasi
P_o'	: tekanan overburden efektif mula-mula sebelum dibebani
S_c	: penurunan konsolidasi primer total
T	: Waktu penurunan
T_v	: Faktor waktu
u	: Tekanan air pori
τ_d	: Tegangan geser yang terjadi akibat gaya berat tanah yang akan longsor
σ	: Tegangan normal
σ'	: Tegangan normal efektif
Δe	: Perubahan angka pori
ΔH	: Perubahan tebal
Δp	: Penambahan tegangan
ΔV	: Perubahan volume
γ_{sat}	: Berat isi tanah jenuh
γ_{unsat}	: Berat isi tanah tak jenuh
ψ	: Sudut dilatansi
ε	: Regangan
q	: Beban merata
L	: Panjang
L_o	: Panjang geotekstil “overlapping”

- W : berat irisan tanah ke-I
- U_i : tekanan air pori pada irisan ke-I
- R : jari-jari lingkaran bidang longsor
- σ_{hc} : tekanan horizontal rata-rata pada lipatan

ABSTRAK

Proyek Jalan tol Balikpapan – Samarinda terletak di Provinsi Kalimantan Timur. Kondisi tanah pada proyek ini sangat beragam. Tanah eksisting di lapangan merupakan tanah rawa. Dalam pembangunan jalan tol tersebut, tanah rawa mendapat perhatian khusus karena berdampak pada penurunan tanah atau potensi longsor yang besar. Adanya potensi longsor serta penurunan tanah yang besar maka perlu dilakukan analisis timbunan diatas tanah rawa tersebut. Analisis timbunan bertujuan untuk mengetahui angka aman terhadap longsor serta angka penurunan tanah

Analisis stabilitas timbunan dilakukan dengan menggunakan bantuan software PLAXIS 8.6. Variasi tinggi timbunan yang digunakan adalah 2,1 m, 4,2 m, 6,3 m, 8,4 m, dan 10,5 m. Variasi yang diterapkan juga termasuk variasi tinggi muka air tanah. Tinggi muka air tanah terdapat pada ketinggian 20 meter dan 18 meter sesuai dengan parameter tanah yang didapat. Tahap awal adalah melakukan pemodelan serta kalkulasi pada timbunan tanah asli tanpa perkuatan geotekstil untuk mendapat nilai SF dan penurunan tanah. Timbunan yang mengalami collapse pada tahap ini maka dilakukan perhitungan manual (metode fellenius) untuk mendapat nilai SF. Tahap kedua adalah melakukan perhitungan kebutuhan geotekstil. Tahap selanjutnya, melakukan pemodelan dan kalkulasi timbunan dengan perkuatan geotekstil yang mengacu pada perhitungan kebutuhan geotekstil.

Analisis tahap pertama dilakukan pada variasi muka air 20 m dengan variasi tinggi timbunan. Hasil analisis pada timbunan dengan tinggi 2,1 meter diperoleh SF sebesar 2,379 serta penurunan tanah sebesar 0,986 meter. Timbunan dengan tinggi 4,2 meter diperoleh hasil angka aman sebesar 2,009 serta penurunan tanah sebesar 0,127 meter. Pada timbunan dengan tinggi 6,3 meter memperoleh hasil angka aman sebesar 1,6919 serta penurunan tanah 0,237 meter. Timbunan dengan tinggi 8,4 meter diperoleh angka aman sebesar 1,514 dan penurunan tanah sebesar 0,20834 meter. timbunan dengan tinggi 10,5 meter mengalami collaps. Untuk dapat mengetahui angka aman timbunan 10,5 meter maka dilakukan perhitungan dengan metode fellenius. Hasil perhitungan fellenius didapat angka aman sebesar 0,946. Tahap berikutnya adalah melakukan analisis yang sama pada variasi muka air 18m dan analisis pada timbunan yang telah diperkuat geotekstil. Pada analisis timbunan yang telah diperkuat geotekstil mengalami peningkatan SF serta mengecilnya angka penurunan tanah. Contoh pada timbunan muka air 20 m, timbunan dengan tinggi 2,1 meter diperoleh SF sebesar 3,2248 serta penurunan tanah sebesar 0,0964 meter. Timbunan dengan tinggi 4,2 meter diperoleh SF sebesar 3,0511 serta penurunan tanah sebesar 0,1609 meter. Timbunan dengan tinggi 6,3 meter memperoleh SF sebesar 2,5303 serta penurunan tanah 0,2308 meter. Timbunan dengan tinggi 8,4 meter diperoleh SF sebesar 2,0385 dan penurunan tanah sebesar 0,32 meter. Sedangkan pada timbunan dengan tinggi 10,5 meter diperoleh angka aman sebesar 1,7528 serta penurunan tanah didapat sebesar 0,423 meter. Hasil analisis pada variasi timbunan keseluruhan juga mengalami peningkatan kualitas dari segi SF dan penurunan tanahnya setelah diperkuat geotekstil.

Kata kunci : Angka Aman, Geotekstil, PLAXIS 8.6, Penurunan Tanah

ABSTRACT

The Balikpapan – Samarinda toll road project is located in East Kalimantan Province. The soil conditions on this project are very heterogen. On , the existing soil on the location has swampy soil. Under construction process, swamp land got special attention because it could involve land subsidence or landslides. Therefore it is necessary to have an analisis stability of soil to get safety factor or the number of soil subsidences.

The embankment stability analysis was performed using PLAXIS 8.6 software. The height variation of the embankment used is 2.1 m, 4.2 m, 6.3 m, 8.4 m and 10.5 m. The variations applied also include variations in groundwater level. Ground water level is found at a height of 20 meters and 18 meters in accordance with the parameters of the soil. The initial step is modeling and calculating the original landfill without geotextile reinforcement to obtain SF values and land subsidence. If the stockpile collapses at this stage, a manual calculation (fellenius method) is performed to obtain the SF value. The second step is to calculate the geotextile requirements. The next step is modeling and calculating the embankment with geotextile reinforcement which refers to the calculation of geotextile requirements..

Firstly analysis was carried out on a 20 m water level variation with a pile height variation. The results of the analysis on the heap with a height of 2.1 meters obtained SF of 2,379 and a decrease in land of 0,986 meters. Heap with a height of 4.2 meters obtained the results of a safe figure of 2.009 and land subsidence of 0.127 meters. In piles with a height of 6.3 meters, the result is a safe figure of 1.6919 and a decrease in land of 0.237 meters. Heap with a height of 8.4 meters obtained safe figures of 1.514 and land subsidence of 0.20834 meters. heaps of 10.5 meters have collapsed. To be able to find out the safe number of 10.5 meters of pile, the calculation is done using the fellenius method. The fellenius calculation results obtained a safe number of 0.946. The next step is to carry out the same analysis of 18m water level variations and analysis of the geotextile-reinforced pile. In the analysis of the embankment which has been strengthened by geotextiles there has been an increase in SF and a reduction in the rate of land subsidence. For example on a 20 m heap, heap with a height of 2.1 meters obtained SF of 3,2248 and land subsidence of 0.0964 meters. Heap with 4.2 meters height obtained by SF of 3.0511 and land subsidence of 0.1609 meters. Heaps with a height of 6.3 meters obtain an SF of 2.5303 and a land subsidence of 0.2308 meters. Heap with a height of 8.4 meters obtained by SF of 2.0385 and land subsidence of 0.32 meters. Whereas the heap with a height of 10.5 meters obtained a safe figure of 1.7528 and a decrease in land obtained of 0.423 meters. The results of the analysis on the variation of the overall embankment have also improved the quality in terms of SF and land subsidence after reinforcing geotextiles

Keywords : *Safety Factor, Geotextile, PLAXIS 8.6, soi ldecrease*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pembangunan infrastruktur menjadi salah satu fokus pemerintahan saat ini. Sejak tahun 2015 pemerintah telah menaikkan anggaran pembangunan infrastruktur dari 155 milyar pada tahun 2014 menjadi 410 milyar pada tahun 2018. Salah satu infrastruktur yang gencar dibangun adalah jalan. Kementerian PUPR melalui Ditjen Bina Marga telah berhasil menyelesaikan pembangunan jalan nasional sepanjang 3.432 km termasuk jalan di perbatasan Papua, Kalimantan, dan NTT. Kemudian telah dibangun jalan tol baru sepanjang 941 km dengan target akhir 2019 mencapai 1.852 km. Upaya tersebut membuat suatu konsekuensi untuk membuka lahan – lahan baru bahkan di daerah rawa. Namun kondisi ini menimbulkan resiko penurunan tanah atau longsor yang terjadi pada daerah tersebut karena memiliki tanah lunak

Seperti yang terjadi pada proyek Jalan tol Balikpapan – Samarinda terletak di Provinsi Kalimantan Timur. Kondisi tanah pada proyek ini beragam. Pada STA 1+750 sampai dengan STA 2+150, tanah eksisting di lapangan merupakan tanah rawa. Dalam pembangunan jalan tol, tanah rawa menjadi perhatian penting akibat peristiwa yang dapat terjadi seperti penurunan (settlement) dan longsor. Oleh karena itu, perlu dilakukan analisis timbunan di atas tanah rawa. Gambaran umum mengenai kondisi tanah pada STA tersebut ditampilkan pada Gambar 1.1



Gambar 1.1 Kondisi tanah pada STA 1+175 sampai STA 2+150

(Sumber : PT. Wijaya Karya, 2017)

Ada beberapa perkuaatan dalam analisis stabilitas lereng, salah satunya menggunakan perkuaatan geotekstil. Geotekstil itu sendiri merupakan metode dalam Geoteknik yang menggunakan bahan sintesis polimer yaitu geosintetik. Geosintetik tersebut berfungsi sebagai penahanlongsoran yang mungkin terjadi pada lereng. Geosintetik ini mempunyai beberapa kelebihan dibanding metode lainnya, sebagai berikut ini :

1. geosintetik sebagai perkuaatan dinding penahan tanah lebih mudah serta lebih efisien dalam pelaksanaannya mengingat geosintetik sebagai bahan yang sudah jadi, sedangkan konstruksi beton bertulang / batu kali yang digunakan sebagai dinding penahan tanah memerlukan waktu pengolahan bahan yang relatif lama campuran semen, pasir, kerikil, baja tulangan, air serta material lain yang diperlukan). Bahan geosintetik yang dipakai sebagai dinding penahan tanah dapat ditempatkan pada permukaan tanah, sehingga akan mengurangi biaya galian dan ketinggian total konstruksinya.

2. bahan geosintetik bersifat tembus air (*porous*) yang mampu menahan tarikan dan menahan geser (akibat gesekan antara geosintetik dengan tanah), sehingga dapat pula berfungsi sebagai penulangan pada tanah (seperti tulangan pada konstruksi beton).

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas maka dapat dirumuskan masalah sebagai berikut ini.

1. Bagaimana angka aman timbunan tanah asli tanpa perkuatan geotekstil?
2. Bagaimana angka aman timbunan tanah asli menggunakan perkuatan geotekstil sebanyak 2 lapis dengan variasi tinggi muka air dan tinggi timbunan?
3. Berapa besar penurunan tanah timbunan tanah asli dan tanah asli yang telah diperkuatan geotekstil dengan variasi tinggi muka air dan tinggi timbunan?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian adalah sebagai berikut.

1. Mengetahui angka aman timbunan tanah asli tanpa perkuatan geotekstil
2. Mengetahui angka aman timbunan tanah asli menggunakan perkuatan geotekstil sebanyak 2 lapis dengan variasi jumlah lapisan geotekstil
3. Mengetahui besar penurunan tanah antara timbunan tanah asli dengan tanah asli yang telah diperkuat geotekstil

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah untuk mengetahui desain paling efektif untuk lereng pada Proyek Jalan dengan bahan perkuatan geotekstil serta mengaplikasikan program komputasi dalam menganalisis kestabilan lereng. Manfaat lainnya yaitu sebagai bahan masukan dalam pengembangan ilmu pengetahuan di bidang teknik sipil terutama dalam konsentrasi studi Geoteknik terlebih khusus dalam hal kestabilan lereng

1.5 Batasan Penelitian

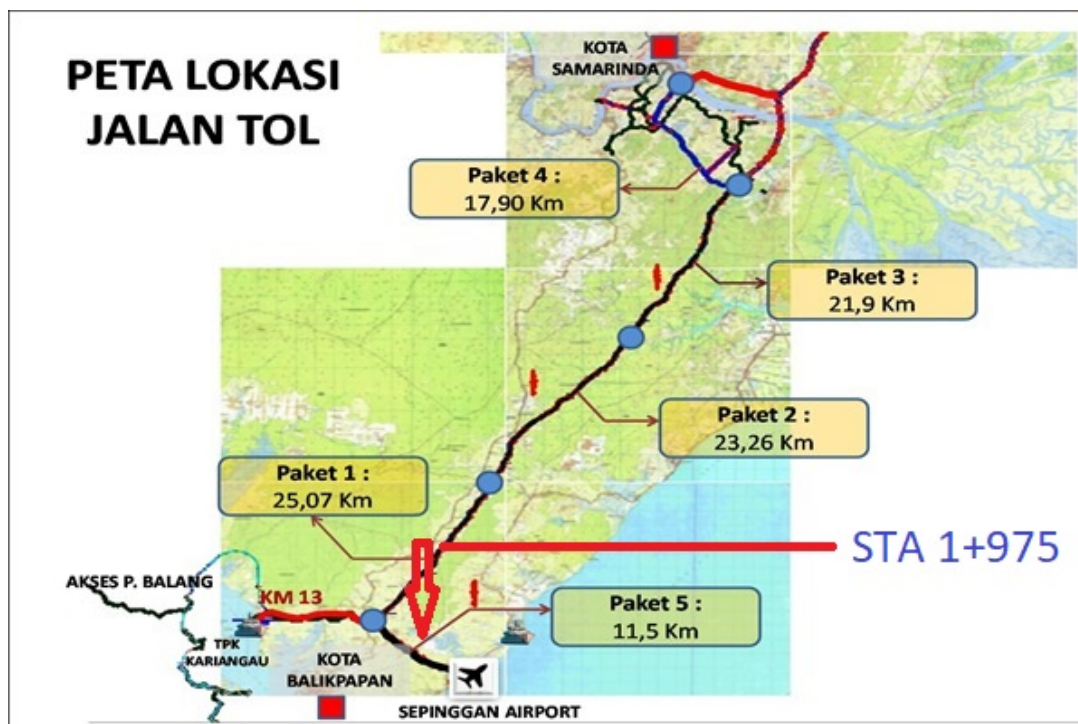
Agar penelitian ini dapat berjalan sistematis, maka perlu diberikan batasan-batasan sebagai berikut ini.

1. Timbunan pada jalan tol Balikpapan – Samarinda
2. Metode perbaikan tanah menggunakan geosintetik Woven UW 250 dari PT.Teknindo Geosistem Unggul dengan kuat tarik ultimit 52 kN/m.
3. Perencanaan konstruksi hanya pada badan jalan
4. Data tanah yang digunakan berasal dari laporan evaluasi hasil analisis timbunan pada Tol Balikpapan-Samarinda (sumber : PT.Pembangunan Perumahan 2017)
5. Nilai faktor gempa yang dimasukkan pada perhitungan adalah nilai gempa dinamik
6. Beban gempa yang diperhitungkan berdasarkan *Whitter Narrow California* dan PUSKIM
7. Beban gempa yang dimasukkan dalam analisis program PLAXIS tidak menggunakan data beban sebenarnya, namun menggunakan data gempa yang mengacu pada peta zonasi gempa berdasarkan SNI 1726:2012
8. Pembebanan sesuai dengan Peraturan dari Departemen Pekerjaan Umum tahun 2009 tentang Persyaratan Teknis Jalan dan Kriteria Perencanaan Teknis Jalan

9. Variasi tinggi timbunan adalah 2,1 m, 4,2 m, 6,3 m, 8,4 m, dan 10,5 m
10. Tinggi counterweight 2,1 meter dengan slope 2H:1V
11. Variasi tinggi muka air adalah 18 m dan 20 m. Tinggi muka air dihitung dari permukaan tanah dasar lapis paling bawah.
12. Kemiringan lereng 1 : 2
13. Perhitungan manual menggunakan metode fellenius untuk mengetahui angka aman timbunan tanah aslitampa perkuatan geotekstil
14. Analisis menggunakan bantuan program PLAXIS 8.6 2 Dimensi

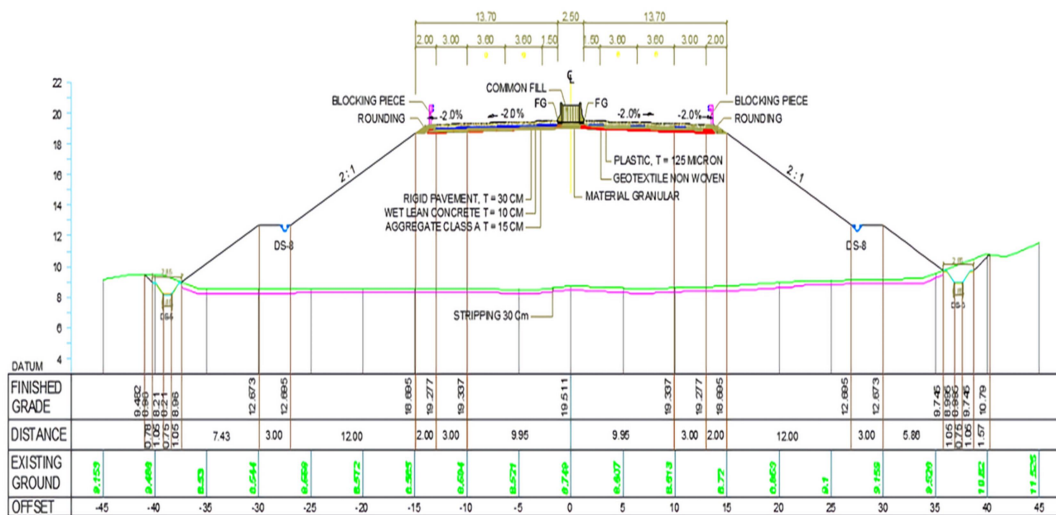
1.6 Lokasi Studi Kasus

Pada penelitian ini, diambil lokasi studi kasus yaitu Proyek Pembangunan Jalan Tol Balikpapan – Samarinda . Denah lokasi pembangunan Jalan Tol Balikpapan – Samarinda dapat dilihat pada Gambar 1.1 berikut ini



Gambar 1.2 Denah Lokasi Pembangunan Jalan Tol Balikpapan – Samarinda

Denah Lokasi Pembangunan Jalan Tol Balikpapan – Samarinda Berdasarkan gambar diatas maka total keseluruhan panjang Jalan Tol tersebut adalah 99,63 km. Dalam penelitian ini diambil sebagai objek yang dianalisis. Potongan melintang jalan pada dapat dilihat pada Gambar 1.2 berikut ini



Gambar 1.3 Potongan melintang jalan pada

(Sumber: PT. Pembangunan Perumahan, 2017)

Gambar yang lebih jelas dapat dilihat Lampiran 2 halaman 126.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Umum

Longsor adalah perpindahan material pembentuk lereng berupa batuan, tanah, atau material campuran tersebut, bergerak kebawah atau keluar lereng. Proses terjadinya longsor diawali oleh air yang meresap ke dalam tanah akan menambah bobot tanah. Jika air tersebut menembus sampai ke tanah kedap air yang berperan sebagai bidang gelincir, maka tanah menjadi licin, dan tanah pelapukan di atasnya akan bergerak mengikuti lereng dan keluar lereng. Faktor - faktor yang menyebabkan terjadinya longsor yaitu, Gaya pendorong pada lereng lebih besar dari gaya penahan. Gaya pendorong dipengaruhi oleh besarnya sudut kemiringan lereng, air, beban, berat jenis tanah atau batuan, dan gempa. Gaya penahan dipengaruhi oleh kekuatan batuan dan kepadatan tanah. Faktor penyebab terjadinya gerakan pada lereng juga tergantung kondisi batuan dan tanah penyusun lereng, struktur geologi, curah hujan, vegetasi penutup dan penggunaan lahan pada lereng tersebut.

2.2 Lereng

Chasanah (2012) menyatakan bahwa lereng adalah suatu permukaan yang miring dan membentuk sudut tertentu terhadap suatu bidang horizontal. Pada tempat dimana terdapat dua permukaan tanah yang berbeda ketinggian, maka akan ada gaya-gaya yang mendorong sehingga tanah yang lebih tinggi kedudukannya cenderung bergerak ke arah bawah yang disebut dengan gaya potensial gravitasi yang menyebabkan terjadinya longsor. Longsoran lereng adalah pergerakan massa tanah batuan dalam arah tegak, mendatar, atau miring dari kedudukan semula sebagai akibat ketidakmampuan lereng menahan gaya geser yang bekerja.

Menurut Surjandari dkk (2012), lereng adalah permukaan tanah yang miring dan membentuk sudut tertentu terhadap bidang horizontal. Apabila dijumpai dua permukaan tanah yang berbeda ketinggiannya, maka akan ada gaya-gaya yang bekerja mendorong sehingga tanah yang lebih tinggi kedudukannya cenderung bergerak ke arah bawah yang menyebabkan terjadinya longor

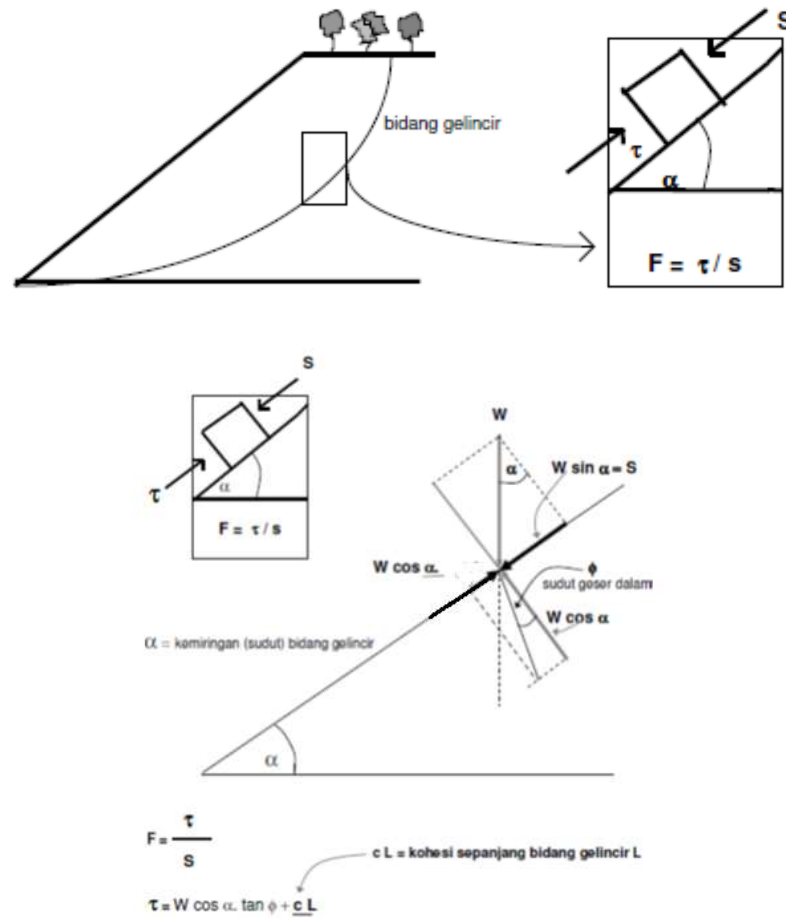
2.3 Analisis Stabilitas Lereng

Lereng dapat dianalisis melalui perhitungan faktor keamanan lereng dengan melibatkan data sifat fisik tanah, mekanika tanah, dan bentuk geometri lereng. Menurut Zakaria (2009), secara khusus analisis dapat dipertajam dengan melibatkan aspek fisik lain secara regional yaitu dengan memperhatikan kondisi lingkungan yang dapat mempengaruhi gerakan tanah dan merupakan karakter perbukitan rawan longsor. Tujuan utama stabilitas lereng adalah untuk memberikan kompetensi terhadap suatu perencanaan konstruksi yang aman dan ekonomis. Analisis stabilitas lereng tidak mudah karena terdapat banyak faktor yang mempengaruhi hasil hitungan, antara lain: kondisi tanah yang berlapis-lapis, kuat gesertanah yang anisotropis, aliran rembesan air dalam tanah, dan lain-lain. Analisis stabilitas lereng didasari pada konsep keseimbangan batas plastis. Tujuan analisis stabilitas lereng adalah mendapatkan faktor aman dari bidang longsor potensial. Faktor aman (SF) didefinisikan sebagai nilai banding antara gaya yang menahan dan gaya yang menggerakkan.

Menurut Pradhana (2018), kelongsoran tanah merupakan akibat meningkatnya tegangan geser dari suatu massa tanah atau menurunnya kekuatan geser suatu massa tanah. Kekuatan geser dari suatu massa tanah tidak mampu memikul beban kerja yang terjadi. Gangguan terhadap stabilitas lereng dapat disebabkan oleh berbagai kegiatan manusia maupun kondisi alam. Lereng yang tidak stabil sangat berbahaya bagi lingkungan sekitarnya, oleh sebab itu analisis stabilitas lereng sangat diperlukan.

Zakaria (2009) menyatakan bahwa salah satu metode yang digunakan untuk analisis stabilitas terhadap kelongsoran lereng yaitu *Fellenius Slices Method*. Rumus perhitungan faktor keamanan lereng yang diperkenalkan untuk mengetahui tingkat kestabilan lereng. Rumus dasar faktor keamanan lereng yang diperkenalkan oleh *Fellenius*. Pada Gambar 2.1 memperlihatkan sketsa gaya yang bekerja pada lereng.

Gambar



Gambar 2.1 Sketsa Gaya yang Bekerja (τ dan s) pada Satu Sayatan

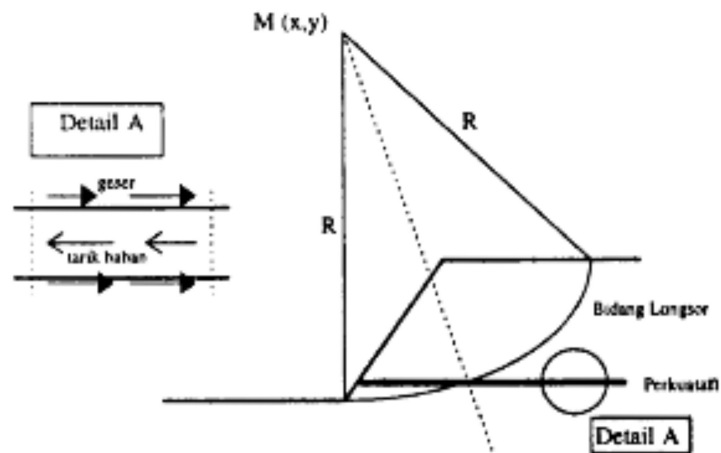
(Sumber: Hardiyatmo, 2008)

Iskandar (2013) menyatakan bahwa dari sekian banyak metode analisa lereng, yang paling banyak digunakan ialah metode keseimbangan yang umum disebut metode *limit equilibrium* yaitu metode *fellenius*, metode *bishop simplified*, metode *janbu simplified*, metode *spencer* dan metode *morgenstem & price*. Untuk melakukan perhitungan dalam penyelesaian digunakan perangkat lunak *limit equilibrium* (LEM). Untuk analisa keseimbangan batas dan perangkat lunak *finite element* untuk perhitungan analisa elemen hingga (FEM). Perbedaan antara dua pendekatan analisis adalah bahwa metode LEM didasar pada keseimbangan statis, sedangkan FEM metode memanfaatkan hubungan tegangan-regangan

2.4 Geotekstil

Budiasto (2018) mengatakan bahwa geotekstil adalah salah satu jenis geosintetik atau produk buatan dari polimer yang berfungsi untuk memperbaiki kinerja pada tanah. Fungsi perkuatan pada geotekstil dapat diterjemahkan sebagai fungsi tulangan, seperti istilah pada beton bertulang. Dalam pengertian yang identik tanah hanya mempunyai kekuatan untuk menahan tekan, tapi tidak dapat menahan tarik. Kelemahan terhadap tarik ini dapat dipengaruhi oleh geotekstil. Material ini dapat diletakkan di bawah timbunan yang dibangun di atas tanah lunak, dapat digunakan untuk membangun penahan tanah, dapat pula digunakan untuk perkuatan bahan perkerasan jalan

Chasanah (2012) menyebutkan bahwa pemilihan geotekstil dipengaruhi dua faktor, yaitu faktor internal dan eksternal. Faktor internal geotekstil terdiri dari kuat tarik geotekstil, sifat perpanjangan (*creep*), struktur geotekstil, dan daya tahan terhadap faktor lingkungan. Sedangkan faktor eksternal adalah jenis bahan timbunan yang berinteraksi dengan geotekstil. Waktu pembebanan juga mengurangi kekuatan geotekstil karena akan terjadi degradasi pada geotekstil oleh faktor *fatigue* dan *aging*. Untuk menutupi kekurangan tersebut, tidak seluruh kuat tarik geotekstil yang tersedia dapat dimanfaatkan dalam perencanaan konstruksi perkuatan. Pada konstruksi lereng dengan sistem perkuatan lereng, gaya yang meruntuhkan akan dilawan oleh kemampuan geser dan tarik dari bahan perkuatan tersebut. Pada Gambar 2.2 tampak pengaruh geotekstil dalam memberikan kontribusi perlawanan terhadap gaya yang melongsorkan cukup berperan, apabila bahan tersebut terpotong oleh bidang longsor.



Gambar 2.2 Perlawanan Perkuatan Tanah Terhadap Gaya-Gaya Yang Meruntuhkan

(Sumber: Hardiyatmo, 2008)

2.5 Analisis Stabilitas Lereng Menggunakan Geotekstil

Budiasto (2018) melakukan penelitian dengan judul Analisis Stabilitas Timbunan Badan Jalan dengan Perkuatan Geotekstil menggunakan aplikasi PLAXIS. Studi kasus yang diteliti adalah proyek jalan tol solo – kertosono STA 118+700–139 +760. Penelitian tersebut bertujuan untuk mengetahui safety factor timbunan dan penurunan tanah selama 200 hari. Pemodelan timbunan menggunakan variasi tinggi 2 m, 4 m, 6 m, dan 8 m. Selain itu, variasi pemodelan dibedakan pada tiga kondisi yaitu, timbunan tanah asli, timbunan dengan tanah replacement, dan timbunan tanah replacement yang diperkuat geotekstil. Dari analisis program Plaxis didapatkan angka aman yang lebih besar dari angka aman yang disyaratkan 1,4 dan besar penurunan yaitu pada timbunan 2 m kondisi tanah asli dengan geotekstil 1,785 saat konstruksi, 1,452 saat paska konstruksi dan penurunan -0,038 m, tanah asli replacement 0,5 m dengan geotekstil 1,859 saat konstruksi, 1,529 saat paska konstruksi dan penurunan -0,038 m, tanah asli replacement 1 m dengan geotekstil 2,065 saat konstruksi, 1,716 saat paska konstruksi dan penurunan -0,043 m. Pada timbunan 4 m kondisi tanah asli replacement 1 m dengan geotekstil 1,645 saat konstruksi, 1,512 saat paska konstruksi dan penurunan -0,005 m. Pada timbunan 6 m kondisi tanah asli replacement 1 m dengan geotekstil 1,457 saat konstruksi, 1,410

saat paska konstruksi dan penurunan 0,045 m. Pada timbunan 8 m kondisi tanah asli replacement 1 m dengan geotekstil dan counterweight 1,504 saat konstruksi, 1,501 saat paska konstruksi penurunan 0,471 m.

Annisa (2018) melakukan penelitian mengenai analisis stabilitas dinding penahan tanah serta perkuatan lereng menggunakan geotekstil. Penelitian tersebut mengambil lokasi pada Sungai Gajah Putih. Penelitian tersebut dilakukan karena adanya lereng yang mengalami kelongsoran meskipun telah diberi DPT. Tujuan dari penelitian tersebut adalah untuk mengetahui besar safety factor pada lereng yang telah diberi dinding penahan tanah serta merencanakan perkuatan yang aman pada lereng menggunakan geotekstil. Metode yang digunakan adalah metode elemen hingga dengan bantuan program PLAXIS. Perencanaan perkuatan lereng menggunakan geotekstil digunakan variasi model lereng 1 jenjang dan lereng 2 jenjang. Dalam penelitian ini analisis dilakukan pada kondisi muka air normal dan muka air banjir dengan memperhitungkan akibat beban merata pejalan kaki dan beban gempa. Nilai angka aman dinding pasangan batu pada kondisi muka air normal dengan beban pejalan dan beban gempa sebesar 1,232 dan 1,016, pada kondisi muka air banjir sebesar 1,235 dan 1,015. Angka aman tersebut menunjukkan bahwa lereng sungai dengan dinding pasangan batu tersebut kritis dan tidak stabil sehingga terjadi keruntuhan. Hasil analisis stabilitas dinding penahan tanah pada kondisi muka air normal memiliki angka aman stabilitas terhadap penggeseran, penggulingan, dan kapasitas dukung tanah berturut-turut sebesar 4,346; 7,520; dan 4,288. Pada kondisi muka air banjir sebesar 3,885; 6,923; dan 3,590; sedangkan dengan program Plaxis diperoleh angka aman dengan beban pejalan dan beban gempa pada kondisi muka air normal sebesar 2,949 dan 1,563, pada kondisi muka air banjir sebesar 3,027 dan 1,564. Hasil tersebut menunjukkan bahwa dinding penahan tanah aman dan stabil. Dalam perencanaan perkuatan lereng dengan geotekstil untuk lereng variasi 1 didapatkan nilai angka aman pada kondisi muka air normal 2,433 dan 1,579 dan pada muka air banjir 2,494 dan 1,574. Angka aman untuk lereng variasi 2 pada kondisi muka air normal sebesar 2,665 dan 1,569 dan pada kondisi muka air banjir 2,733 dan 1,567. Hasil tersebut menunjukkan bahwa

perencanaan perkuatan lereng dengan geotekstil aman dan stabil serta dapat digunakan sebagai alternatif perkuatan pada lereng bantaran sungai Gajah Putih.

Prasetyo (2016) melakukan penelitian mengenai analisa stabilitas lereng memakai perkuatan geotekstil dengan bantuan software program Plaxis 2D 8.2 dengan metode elemen hingga. Tujuan dari penelitian tersebut adalah untuk mengetahui tingkat keamanan suatu lereng yang digunakan sebagai infrastruktur jalan dan merencanakan perkuatan lereng yang aman dengan perkuatan geotekstil menggunakan bantuan perangkat lunak Plaxis 2D v 8.2. Kesimpulan yang didapat dari penelitian tersebut diantaranya adalah kondisi lereng sebelum ada perkuatan kurang stabil karena untuk pendekatan sudut geser Meyerhoff adalah 1,2221 sehingga menurut keamanan *Bowless* angka aman tersebut di bawah angka keamanan *Bowless* dan kelongsoran bisa saja terjadi karena tanpa perkuatan, maka perlu adanya perkuatan. Dari hasil analisa dengan perkuatan geotekstil diperoleh desain tersebut mampu menahan kelongsoran dengan angka keamanan yang didapatkan 1,25 sehingga longsor terjadi. Pamungkas, dkk (2015) melakukan penelitian Analisis Stabilitas Lereng Memakai Perkuatan Geotekstil Dengan Bantuan Perangkat Lunak yang berisi tentang peristiwa longsor yang terjadi di kabupaten Trenggalek. Lereng memiliki ketinggian antara 8 m sampai 8,5 m dengan panjang dinding penahan 375 m dan mengalami kelongsoran pada bagian struktur sepanjang 90 m. Dianalisa menggunakan perangkat lunak SLOPE/W pada lereng tersebut didapatkan angka keamanan hanya 0,660 sehingga terjadi longsor. Dilakukan desain ulang lereng tersebut dengan menggunakan perkuatan geotekstil dengan jumlah 5 lapis, kapasitas tarik 400 kN/m, kohesi 0 kN/m dan sudut geser terhadap tanah 38°, jarak vertikal 1 m. Dengan analisa menggunakan SLOPE/W didapatkan angka keamanan 1,893.

2.6 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang Akan Dilakukan

Perbandingan penelitian atau tugas akhir ini dengan beberapa penelitian diatas disajikan dalam bentuk tabel, dapat dilihat pada Tabel 2.1 berikut.

Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Sekarang

No	Peneliti	Judul Penelitian	Metode	Tujuan	Hasil	Perbedaan Penelitian
1.	Chasanah (2012)	Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan <i>Geoslope</i>	Analisis dengan perhitungan manual, yaitu stabilitas internal dan eksternal serta perhitungan dengan <i>software Geoslope</i> untuk kestabilan lereng.	Untuk mengetahui nilai angka aman pada lereng dengan perkuatan geotekstil menggunakan program <i>Geoslope</i> .	Dari hasil analisa dengan perkuatan geotekstil menggunakan program <i>Geoslope</i> rata-rata nilai SF bertambah pada panjang, kemiringan lereng, jarak vertikal antar geotekstil maka	Program yang digunakan berbeda yaitu <i>Geoslope</i> sedangkan peneliti menggunakan <i>PLAXIS</i> . Chasanah (2012) tidak menghitung angka penurunan tanah

2	Pamungkas, dkk (2015)	Analisis Stabilitas Lereng Memakai Perkuatan Geotekstil Dengan Bantuan Perangkat Lunak SLOPE/W (Studi Kasus Pada Sungai Parit Raya)	<ul style="list-style-type: none"> • Melakukan analisis stabilitas lereng memakai perkuatan geotekstil pada sungai parit raya • Menghitung nilai faktor keamanan melalui 2 cara yaitu : Perhitungan Manual dan Perhitungan secara komputasi menggunakan Program <i>Geoslope</i> • Melakukan perbandingan 	Mengetahui perbandingan perhitungan manual, dan komptasi pada analisis stabilitas lereng memakai perkuatan geotekstil pada sungai parit raya.	Perbandingan rata-rata selisih SF menggunakan hitungan manual dan program <i>SLOPE/W</i>	<p>Studi kasus berbeda dengan penelitian saat ini. Program yang digunakan adalah SLOPE/W sedangkan saat ini menggunakan PLAXIS.</p> <p>Tidak Menghitung angka penurunan tanah</p>
---	-----------------------	---	---	---	--	---

			nilai faktor keamanan antara Perhitungan Manual dengan Perhitungan Secara Komputasi.			
3	Prasetyo (2016)	Analisis Stabilitas Lereng Bertingkat Dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Metode Elemen Hingga	Analisis menggunakan <i>software Plaxis</i> dengan metode elemen hingga untuk kestabilan lereng	Untuk mengetahui nilai angka aman menggunakan metode elemen hingga cara <i>Bowless</i> .	Dari hasil analisis menggunakan Plaxis diperoleh angka keamanan 1,25 dimana hasil tersebut diatas angka keamanan <i>Bowless</i> sehingga longsor jarang terjadi.	Tidak menggunakan metode fellenius dalam perhitungan manual. Angka keamanan lereng mengacu pada angka keamanan bowless
4	Rinanditya	Analisis Stabilitas	Analisis menggunakan	Untuk mengetahui	Dari hasil analisis	

	(2016)	Lereng Dengan Dinding Penahan Tanah Kantilever Menggunakan Program Plaxis (Studi Kasus Jalan Piyungan-Batas Gunungkidul, Yogyakarta)	Elemen Hingga untuk Faktor Keamanan terhadap gelincir dan untuk kestabilan lereng digunakan program <i>Plaxis</i>	angka aman pada dinding penahan tanah lereng di Jalan Piyungan-Batas Gunungkidul, Yogyakarta.	menggunakan program <i>Plaxis</i> menunjukkan nilai Faktor Keamanan dari lereng di Piyungan, Yogyakarta adalah $0,95 < 1,5$ (belum aman). Kemudian diperbaiki dengan menggunakan dinding penahan tanah.	Perkuatan tanah yang digunakan Adalah Dinding Penahan Tanah tipe kantilever. Lokasi studi Kasus Berbeda. Perhitungan manual dengan metode elemen hingga
5	Adi Budiastho (2018)	Analisis Stabilitas Timbunan pada Badan Jalan dengan Perkuatan Geotekstil	Analisis stabilitas menggunakan perangkat lunak PLAXIS untuk mendapatkan nilai SF. Semetara pada timbunan	Untuk mengetahui nilai angka aman dan besar penurunan	Timbunan tanah asli memiliki safety factor yang lebih dari yang disyaratkan yaitu 1,4. Namun penurunan tanah	Lokasi studi kasus berbeda. Variasi tinggi timbunan berbeda.

		<p>menggunakan program PLAXIS pada Proyek Jalan Tol Solo-Kertosono</p>	<p>yang collapse menggunakan perhitungan manual yaitu metode fellenius.</p> <p>Variasi tinggi timbunan 2m, 4m, 6m, dan 8m.</p> <p>Kondisi tanah yang dianalisis yaitu timbunan tanah asli, timbunan tanah replacement, dan timbunan tanah replacement dengan perkuatan geotekstil</p>	<p>tanah pada timbunan badan jalan dengan variasi tinggi timbunan 2m, 4m, 6m, dan 8m.</p>	<p>sangat besar sehingga perlu adanya perkuatan. Setelah diperkuat dengan tanah replacement serta geotekstil penurunan tanah bisa direduksi.</p>	<p>Peneliti tidak menggunakan berm dalam pemodelan serta tinggi muka air tidak bervariasi.</p>
--	--	--	---	---	--	--

6	Fuanda (2018)	Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Perangkat Lunak Pada Proyek Jalan Tol Solo - Kertosono Seksi I	Analisis dengan perkuatan geotekstil menggunakan <i>software Plaxis</i> untuk kestabilan lereng.	Untuk mengetahui nilai angka aman dan angka penurunan pada timbunan 3m, 5m, dan 9m dengan menggunakan program <i>Plaxis</i> dan perhitungan manual.	Dari hasil analisa dengan perkuatan geotekstil menggunakan program PLAXIS 8.6 dihasilkan nilai SF yang memenuhi seiring ditambahkan perkuatan geotekstil maka kelongsoran yang terjadi dapat dicegah.	Lokasi studi kasus berbeda. Variasi tinggi timbunan berbeda. Tinggi muka air tidak dibuat variasi tinggi
7.	Peneliti (2020)	Analisis Stabilitas Timbunan Menggunakan Perkuatan Geotekstil dengan Software PLAXIS 8.6 (studi kasus : Proyek Jalan Tol Balikpapan – Samarinda)	Analisis menggunakan software PLAXIS untuk mendapatkan SF dan besar penurunan tanah. Perhitungan manual menggunakan metode fellenius. Variasi tinggi timbunan dibedakan menjadi 2,1 m, 4,2 m 6,3	Untuk mengetahui nilai SF pada timbunan tanah asli dan tanah asli yang diperkuat geotekstil dengan variasi tinggi timbunan serta tinggi muka air	Analisis awal yaitu pada tanah asli didapatkan SF yang tidak aman (collapse) pada timbunan 10,5 m dengan muka air 20 m. Kemudian dicari nilai SF menggunakan metode fellenius dan didapat SF sebesar 0,946. Setelah	

			m, 8,4 m, 10,5 m. Serta menggunakan model timbunan yang diberi berm setinggi 2,1 m. Muka air dibedakan menjadi 18 m dan 20 m		seluruh variasi timbunan diberi perkuatan maka didapatkan nilai SF yang aman serta penurunan tanah yang kecil. Jumlah lapis geotekstil adalah 2	
--	--	--	--	--	---	--

BAB III

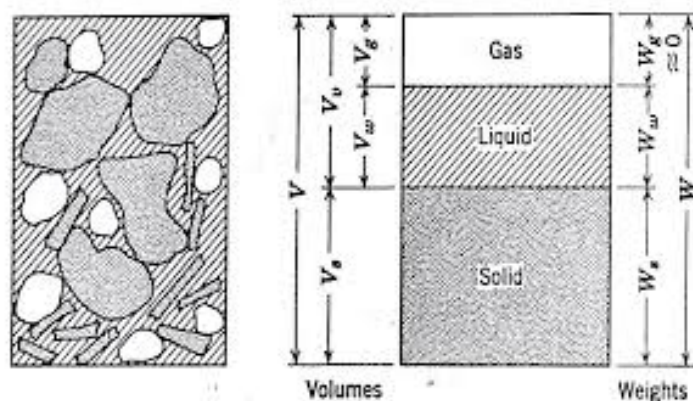
LANDASAN TEORI

3.1 Tanah

Tanah merupakan suatu kumpulan mineral dari bahan organik (tumbuhan) atau anorganik (vulkanik) dan merupakan endapan-endapan yang relatif lepas, yang terletak diatas batuan dasar (Hardiyatmo,2002). Tanah terbentuk dari terjadinya pelapukan batuan menjadi partikel – partikel yang lebih kecil akibat proses mekanis dan kimia. Pelapukan mekanis disebabkan oleh peristiwa pemuaian dan penyusutan batuan karena perubahan suhu secara terus menerus sehingga mengakibatkan hancurnya batuan tersebut.

3.1.1 Properti Tanah

Tanah terdiri dari dua atau tiga bagian, yaitu butiran tanah, air dan udara. Tanah dalam keadaan kering hanya memiliki dua bagian tanah, yaitu butiran tanah dan pori-pori udara. Pada tanah dalam kondisi jenuh hanya terdapat dua bagian yaitu butiran tanah serta air pori. Sedangkan dalam kondisi tidak jenuh tanah terdiri dari tiga bagian, yaitu butiran tanah, pori-pori udara, dan air pori. Hubungan antara bagian-bagian tanah digambarkan dalam bentuk diagram fase yang dapat dilihat pada Gambar 3.1 berikut.



Gambar 3.1 Diagram Fase Tanah

(Lambe dan Whitman, 1969)

Berdasarkan Gambar 3.1 diatas, suatu tanah memiliki tiga elemen dalam setiap butirnya. Ada udara, air dan padatan. Dalam setiap elemen tersebut memiliki volume dan berat masing – masing. Mengacu pada diagram fase tanah maka dapat diketahui pada persamaan 3.1 sampai dengan persamaan 3.3 sebagai berikut.

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

dan

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

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

Dengan

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 Butiran Padat (γ_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 dapat dinyatakan dalam Persamaan 3.4.

$$\gamma_s = \frac{W_s}{V_s} \quad (3.4)$$

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

Berat volume tanah dalam keadaan jenuh air dapat dinyatakan dalam Persamaan 3.5

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

7. Hubungan antara derajat kejenuhan, angka pori, kadar air dan berat jenis Hubungan antara derajat kejenuhan, angka pori, kadar air dan berat jenis dapat dinyatakan dalam Persamaan 3.6.

$$S_e = w G_s \quad (3.6)$$

Korelasi untuk menentukan berat jenis tanah (γ) dan berat jenis tanah jenuh (γ_{sat}) dapat dilihat pada Tabel 3.1

Tabel 3.1 Nilai Berat Volume Tanah

No.	Jenis tanah	γ_{sat} (kN/m ³)	γ_d (kN/m ³)
1	Kerikil	20 - 22	15 - 17
2	Pasir	18 - 20	13 - 16
3	Lanau	18 - 20	14 - 18
4	Lempung	16 - 22	14 - 21

(sumber : Wiley & Sons,2000)

8. Permeabilitas

Permeabilitas didefinisikan sebagai sifat bahan berpori yang memungkinkan terjadinya aliran rembesan dari cairan yang berupa air atau minyak mengalir melewati rongga pori. Pori – pori pada tanah saling terhubung, sehingga air dapat mengalir dari tekanan tinggi menuju tekanan yang lebih rendah. Pada tanah, permeabilitas artikan sebagai sifat tanah yang mengalirkan air melalui

rongga rongga pori tanah. Menurut Das (1983) pada buku Mekanika Tanah 1

Edisi Ke Enam untuk kisaran nilai permeabilitas pada jenis – jenis tanah dapat dilihat pada Tabel 3.2 berikut.

Tabel 3.2 Nilai Koefisien Permeabilitas

No.	Jenis Tanah	k (mm/detik)
1.	Butiran Kasar	$10^{-1} - 10^3$
2.	Kerikil halus, butiran kasar bercampur pasir 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, 2012)

9. Modulus Elastisitas

Modulus elastisitas merupakan nilai yang menunjukkan besarnya angkaelastisitas tanah dari perbandingan antara tegangan yang terjadi terhadapregangan. Perkiraan nilai ini dapat ditentukan dari jenis tanah seperti padaTabel 3.3 berikut ini.

Tabel 3.3 Nilai Perkiraan Modulus Elastisitas Tanah

No.	Jenis Tanah	E (kN/m ²)
1.	Lempung : Sangat lunak Lunak Sedang Keras Berpasir	300 – 3000 2000 – 4000 4500 – 9000 7000 – 20000 30000 - 42500
2.	Pasir : Berlanau Tidak padat Padat	5000 – 20000 10000 – 250000 50000 - 100000

Lanjutan Tabel 3.3 Nilai Perkiraan Modulus Elastisitas Tanah

3.	Pasir dan kerikil : Padat Tidak padat	80000 – 200000 50000 - 140000
4.	Lanau	2000 – 20000
5.	Loses	15000 – 60000
6.	Cadas	140000 - 1400000

(Sumber : Bowles,1977)

10. Poisson Ratio

Nilai poisson ratio ditentukan sebagai rasio kompresi poros terhadapregangan pemuaian lateral. Nilai ini dapat ditentukan berdasarkan jenis tanahseperti pada Tabel 3.4.

Tabel 3.4 Hubungan Jenis Tanah dengan Angka Poisson

No	Jenis Tanah	<i>Poisson Ratio</i>
1	Lempung jenuh	0,4 – 0,5
2	Lempung tak jenuh	0,1 – 0,3
3	Lempung berpasir	0,2 – 0,3
4	Lanau	0,3 – 0,35
5	Pasir Padat	0,2 – 0,4
6	Pasir tidak padat	0,15
7	Pasir halus	0,25
8	Batu	0,1 – 0,4
9	Loess	0,1 – 0,3

(Sumber : Hardiyatmo,2003)

3.1.2 Klasifikasi Tanah

Sistem klasifikasi tanah adalah suatu sistem pengaturan beberapa jenis tanah yang berbeda-beda tapi mempunyai sifat yang serupa kedalam kelompok-kelompok dan subkelompok-kelompok berdasarkan pemakaiannya. Sebagian besar sistem klasifikasi tanah yang telah dikembangkan untuk tujuan rekayasa didasarkan pada sifat-sifat indeks tanah yang sederhana seperti distribusi ukuran dan plastisitas.

1. Klasifikasi berdasarkan *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. Pertama adalah menentukan kategori tanah berupa butiran halus atau butiran kasar secara visual atau dengan cara menyaring menggunakan saringan nomor 200
- b. Jika tanah berupa butiran kasar:

- 1) tanah harus disaring kemudian hasil saringan dapat digambar grafik distribusinya
 - 2) menentukan berapa persen butiran yang lolos saringan no 4. Apabila yang lolos kurang dari 50% maka tanah tersebut diklasifikasikan sebagai kerikil. Apabila butiran yang lolos lebih dari 50% maka tanah tersebut diklasifikasikan sebagai pasir
 - 3) menentukan jumlah yang lolos saringan no. 200. Jika persentase butiran yang lolos kurang dari 5% maka dalam membuat grafik distribusi butiran harus mempertimbangkan hitungan C_u dan C_c . Jika bergradasi baik maka diklasifikasikan menjadi GW (bila kerikil) atau SW (bila pasir). Namun apabila persentase butiran yang lolos saringan no. 200 diantara 5% sampai 12% maka tanah tersebut memiliki simbol ganda dan memiliki sifat keplastisan (GW-GM, SW-SM, dan sebagainya).
 - 4) jika persentase butiran yang lolos saringan no 200 lebih dari 12% maka harus tanah harus dilakukan uji batas – batas Atterberg. Uji tersebut dilakukan dengan menyingkirkan butiran tanah yang tinggal dalam saringan no. 40. Kemudian , tanah dapat diklasifikasikan menggunakan dasar diagram plastisitas
- c. Jika tanah berupa butiran halus :
- 1) terlebih dahulu melakukan uji batas – batas atterberg dengan menyingkirkan tanah yang tertinggal pada saringan no. 40. Apabila batas cair lebih dari 50%, maka tanah diklasifikasikan sebagai H (plastisitas tinggi), apabila batas cair kurang dari 50% maka diklasifikasikan sebagai L (plastisitas rendah)
 - 2) pada kondisi H (plastisitas tinggi), bila plot batas – batas Atterberg di bawah garis A maka dapat ditentukan tanah tergolong organik (OH) atau anorganik (MH). Jika plotnya jatuh di atas garis A maka tanah termasuk golongan CH

- 3) pada kondisi L (plastisitas rendah), jika plot batas – batas Atterberg pada grafik plastisitas jatuh di bawah garis A dan area yang diarsir maka dapat ditentukan tanah tersebut termasuk organic (OL) atau anorganik(ML) berdasarkan warna, bau atau perubahan atas batas cair serta batas plastisitasnya dengan mengeringkan 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, maka tanah memiliki simbol dobel.

Berikut adalah sistem klasifikasi *Unified* yang ditampilkan pada Tabel 3.5.

Tabel 3.5 Sistem Klasifikasi *Unified*

DIVISI UTAMA		SIMBOL KELOMPOK	NAMA JENIS		
Tanah berbutir kasar 50% butiran berbahan saringan No. 200 (0,075 mm)	Kerikil 50% atau lebih dari fraksi kasar bertahan saringan No. 4 (4,75 mm)	Kerikil bersih (hanya kerikil)	GW	Kerikil bergradasi baik dan campuran kerikilpasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran	
		kerikil dengan butiran halus	GP	Kerikil bergradasi buruk dan campuran kerikilpasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran	
			GM	Kerikil berlanau, campuran kerikil-pasir-lanau	
			GC	Kerikil berlempung, campuran kerikil-pasir-lempung	
	Pasir lebih dari 50% fraksi kasar lolos saringan No. 4 (4,75 mm)	Pasir Besih (hanya pasir)	SW	Pasir bergradasi baik, pasir berkerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus	
			SP	Pasir bergradasi buruk dan pasir berkerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus	
		Pasir dengan butiran halus	SM	Pasir berlanau, campuran pasirlanau	
			SC	Pasir berlempung, campuran pasir-lempung	
			Lanau dan Lempung Batas cair 50% atau kurang	ML	Lanau anorganik, pasir halus sekali, serbuk batuan, pasir halus berlanau atau berlempung
				CL	Lempung anorganik dengan plastisitas rendah sampai dengan sedang lempung berkerikil, lempung berpasir, lempung berlanau, lempung "kurus" (lean clays)
OL	Lanau organik dan lempung berlanau dengan plastisitas rendah				
Lanau dan Lempung Batas cair lebih dari 50%	MH	Lanau anorganik atau pasir halus diatomae, atau lanau diatomae, lanau yang elastis			
	CH	Lempung anorganik dengan plastisitas tinggi, lempung "gemuk" (fat clays)			
	OH	Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai dengan tinggi			
Tanah - tanah dengan kandungan organik sangat tinggi		PT	Peat (gambut), muck, dan tanahtanah lain dengan kandungan organik tinggi		

(Sumber: Bowles J.E., 1993)

Berikut adalah klasifikasi tanah berdasarkan sistem USCS yang ditampilkan dalam Tabel 3.6

Tabel 3.6 Sistem Klasifikasi USCS

Klasifikasi Tanah					
<p style="text-align: center;">Klasifikasi Berdasarkan presentase butir halus</p> <p style="text-align: center;">Kurang dari 5% lolos ayakan No. 200 GW, GP, SW, SP</p> <p style="text-align: center;">Lebih dari 12% lolos ayakan No. 200 GM, GC, SM, SC</p> <p style="text-align: center;">5% sampel 12% lolos ayakan No. 200 dari Klasifikasi perbatasan yang memerlukan penggunaan</p>	$C_u = D_{60}/D_{10}$ 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				
	<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%;"> Batas-batas Atterberg di bawah garis A atau $PI < 4$ </td> <td style="width: 50%;"> Batas-batas Atterberg yang digambar dalam daerah yang diarsir merupakan klasifikasi batas yang membutuhkan simbol ganda </td> </tr> <tr> <td> Batas-batas Atterberg di atas garis A atau $PI > 7$ </td> <td></td> </tr> </table>	Batas-batas Atterberg di bawah garis A atau $PI < 4$	Batas-batas Atterberg yang digambar dalam daerah yang diarsir merupakan klasifikasi batas yang membutuhkan simbol ganda	Batas-batas Atterberg di atas garis A atau $PI > 7$	
	Batas-batas Atterberg di bawah garis A atau $PI < 4$	Batas-batas Atterberg yang digambar dalam daerah yang diarsir merupakan klasifikasi batas yang membutuhkan simbol ganda			
	Batas-batas Atterberg di atas garis A atau $PI > 7$				
$C_u = D_{60}/D_{10}$ 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					

Lanjutan Tabel 3.6 Sistem Klasifikasi USCS

	<p>Batas-batas Atterberg di bawah garis A atau $PI < 4$</p>	<p>Batas-batas Atterberg yang digambar dalam daerah yang diarsir merupakan klasifikasi batas yang membutuhkan simbol ganda</p>
	<p>Batas-batas Atterberg di atas garis A atau $PI > 7$</p>	
<p>PLASTICITY CHART For classification of fine-grained soils and fine-grained fraction of coarse-grained soils</p> <p>The chart plots Plasticity Index (PI) on the y-axis (0 to 60) against Liquid Limit (LL) on the x-axis (0 to 110). Key lines include the U-line (solid), A-line (solid), and U-line (dashed). Regions are labeled: CL or ML (shaded), CH or OH, MH or OH, and ML or OL.</p>		
<p>Manual untuk identifikasi secara visual dapat dilihat dalam ASTM Designation D-2488</p>		

(Sumber: Hardiyatmo, 2009)

2. Klasifikasi berdasarkan AASHTO

Sistem klasifikasi AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials Classification) berguna untuk menentukan kualitas tanah untuk perencanaan timbunan jalan, subbase dan subgrade. Sistem ini terutama ditujukan untuk maksud-maksud dalam lingkup tersebut. Sistem klasifikasi AASHTO awalnya membagi tanah kedalam 8 kelompok, A-1 sampai A-8 termasuk subkelompok. Sistem yang direvisi (Proc. 25 th Annual Meeting of Highway Research Board, 1945) mempertahankan delapan kelompok dasar tanah tadi tapi menambahkan dua subkelompok dalam A-1, empat kelompok dalam A-2, dan dua subkelompok dalam A-7. Kelompok A-8 tidak diperlihatkan tetapi merupakan gambut atau rawang yang ditentukan berdasarkan klasifikasi visual. Tanah-tanah dalam tiap kelompoknya dievaluasi terhadap indeks kelompok, yang dihitung dengan rumus-rumus empiris. Pengujian yang dilakukan hanya analisis saringan dan batas-batas Atterberg (Bowles J.E., 1989).

Indeks kelompok (group index) (GI) digunakan untuk mengevaluasi lebih lanjut tanah-tanah dalam kelompoknya. Indeks kelompok dihitung dengan persamaan 3.12

$$GI = (F - 35)[0,2 + 0,005 (LL - 40)] + 0,01 (F - 15)(PI - 10) \quad (3.12)$$

dengan,

GI = indeks kelompok (group index)

F = persen butiran lolos saringan no. 200 (0,075 mm)

LL = batas cair

PI = indeks plastisitas

Berikut adalah sistem klasifikasi tanah berdasarkan AASHTO yang ditampilkan pada Tabel 3.7

Tabel 3.7 Sistem klasifikasi tanah berdasarkan AASHTO

Klasifikasi Umum	Material Berbutir Kasar (35% atau kurang lolos saringan No. 200)						
	A-1		A-3	A-2			
Klasifikasi Group	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7
Analisa ayakan (% lolos) :							
No. 10	Max 50	-	-	-	-	-	-
No. 40	Max 30	Max 50	Min 51	-	-	-	-
No. 200	Max 15	Max 25	Max 10	Max 35	Max 35	Max 35	Max 35
Karakteristik fraksi lolos saringan No.40 :							
Batas Cair (LL)	-			Max 40	Min 41	Max 40	Min 41
Indeks Plastisitas (PI)	Max 6		N.P.	Max 10	Max 10	Min 11	Min 11
Jenis Material Pokok	Batu pecah, kerikil dan pasir		Pasir halus	Kerikil dan Pasir Kelanauan atau Kelempungan			
Tingkat kegunaan sebagai subgrade	Sangat baik hingga baik						
Klasifikasi Group	A-4	A-5	A-6	A-7			
				A-7-5			
				A-7-6			
Analisa Ayakan (% lolos) :							
No. 10	-	-	-	-	-	-	-
No. 40	-	-	-	-	-	-	-
No. 200	Min 36	Min 36	Min 36	Min 36	Min 36	Min 36	Min 36
Karakteristik fraksi lolos saringan No. 40 :							

(sumber : AASHTO, 1993)

3.1.3 Kuat Geser Tanah

Kuat geser tanah adalah kemampuan tanah untuk melawan tegangan geser yang terjadi saat tanah terbebani. Keruntuhan geser (*shear failure*) tanah terjadi bukan disebabkan karena hancurnya butiran tanah tersebut tetapi karena disebabkan oleh gerak relatif antara butiran tanah tersebut (Budi Santoso, dkk, 1998). Dengan dasar pengertian ini, bila tanah mengalami pembebanan akan ditahan oleh (Hardiyatmo, 2009) :

1. kohesi tanah yang bergantung pada jenis tanah dan kepadatannya, tetapi tidak tergantung dari tegangan normal yang bekerja pada bidang geser.
2. gesekan antara butir-butir tanah yang besarnya berbanding lurus dengan tegangan normal pada bidang gesernya

Ada beberapa metode untuk menentukan kuat geser tanah, antara lain:

1. pengujian geser langsung (*Direct shear test*)
2. pengujian triaksial (*Triaksial test*)
3. pengujian tekan bebas (*Unconfined compression test*)

Namun dalam penelitian ini yang digunakan untuk menentukan kuat geser tanah adalah pengujian geser langsung dan pengujian triaksial (*Triaksial test*). Pengujian kuat geser ini dilakukan untuk mendapatkan parameter kuat geser yaitu kohesi (c) dan sudut geser dalam (ϕ).

1. Kohesi

Kohesi adalah gaya tarik antar partikel tanah. Bersama dengan sudut geser dalam, kohesi merupakan 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*. Selain itu, kisaran nilai kohesi dapat ditentukan berdasarkan nilai q_c pada uji sondir seperti pada Tabel 3.8 berikut

Tabel 3.8 Hubungan Konsistensi Tanah Terhadap Tekanan Konus dan Koehsi

No.	Konsentrasi Tanah	Tekanan Konus q_c (kg/cm ²)	Koehsi Derajat ^o
1	Very soft	<2,50	<1,25
2	Soft	2,50 – 5,0	1,25 – 2,50
3	Medium Stiff	5,0 – 10,0	2,50 – 5,0
4	Stiff	10,0 – 20,0	5,0 – 10,0
5	Very Stiff	20,0 – 40,0	10,0 – 20,0
6	Hard	>40,0	20

(sumber : Bowles, 1996)

2. Sudut Geser Dalam

Sudut geser dalam bersamaan dengan koehsi menentukan ketahanan tanah akibat tegangan yang bekerja berupa tekanan lateral tanah. Nilai ini jugadidapat dari pengujian *triaxial test* dan *direct shear test*. Selain itu, kisarannilai sudut geser dalam dapat ditentukan berdasarkarkan jenis tanah seperti pada Tabel 3.9

Tabel 3.9 Hubungan Antara Sudut Geser Dalam dengan Jenis Tanah

Jenis Tanah	Sudut Geser Dalam
Kerikil kepasiran	35 – 40
Kerikil kerakal	35 – 40
Pasir padat	35 – 40

Lanjutan Tabel 3.10 Hubungan Antara Sudut Geser Dalam dengan Jenis Tanah

Pasir lepas	30
Lempung	25 – 30
Lanau	20 - 25

(Sumber: Das 1994)

3.2 Stabilitas Lereng

3.2.1 Pengertian Umum

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

Dalam operasi penambangan masalah kemandapan lereng ini akan ditemukan pada penggalian tambang terbuka, bendungan untuk cadangan air kerja, tempat penimbunan limbah buangan (*tailing disposal*) dan penimbunan bijih (*stockyard*). Apabila lereng-lereng yang terbentuk sebagai akibat dari proses penambangan (*pit slope*) maupun yang merupakan sarana penunjang operasi penambangan (seperti bendungan dan jalan) tidak stabil, maka akan mengganggu kegiatan konstruksi.

Gaya-gaya gravitasi dan rembesan (*seepage*) cenderung menyebabkan ketidakstabilan pada lereng alami, lereng yang dibentuk dengan cara penggalian, pada lereng tanggul serta pada bendungan tanah. Tipe keruntuhan lereng yang terjadi pada analisis yaitu tipe keruntuhan gabungan digambarkan pada Gambar 3.2 sebagai berikut.



Gambar 3.2 Tipe Keruntuhan Lereng Gabungan

(Sumber: DAS, 2002)

Berikut adalah tabel nilai faktor keamanan untuk lereng yang disyaratkan dari Departemen Pekerjaan Umum seperti pada Tabel 3.11.

Tabel 3.11 Rekomendasi Nilai Faktor Keamanan Untuk Lereng

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

Lanjutan Tabel 3.11 Rekomendasi Nilai Faktor Keamanan Untuk Lereng

3. teraman keamanannya pada situasi – situasi khusus dalam hubungannya dengan dengan resiko kehilangan nyawa dan ekonomis

(Sumber: Departemen Pekerjaan Umum, 2005)

3.2.2 Metode Fellenius

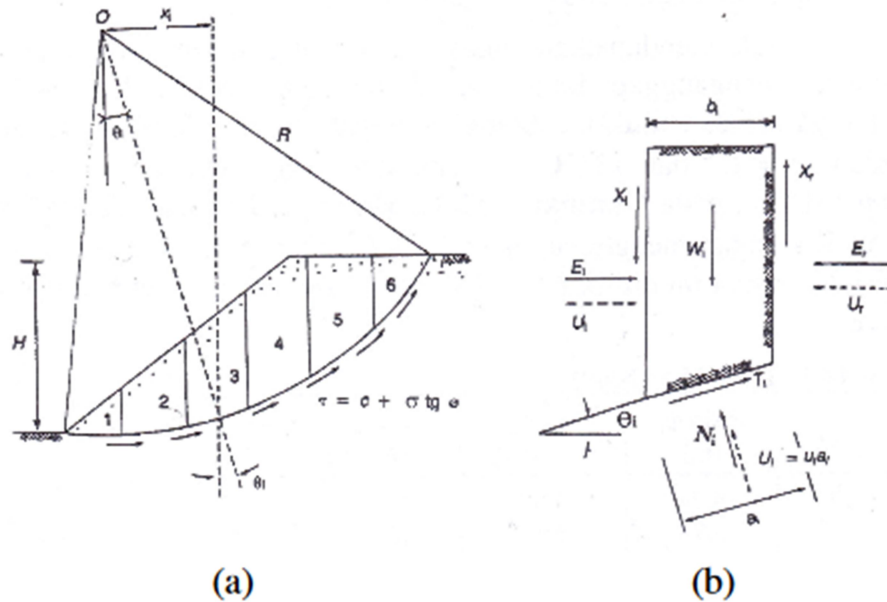
Metode Fellenius (*Ordinary Method of Slice*) diperkenalkan pertama kali oleh Fellenius (1927, 1936) menganggap gaya-gaya yang bekerja pada sisi kanan-kiri dari sembarang irisan memiliki resultan nol pada arah tegak lurus bidang longsor.

Fellenius mengemukakan metodenya dengan menyatakan asumsi bahwa keruntuhan terjadi melalui rotasi dari suatu blok tanah pada permukaan longsor berbentuk lingkaran (sirkuler) dengan titik O sebagai titik pusat rotasi. Metode ini juga menganggap bahwa gaya normal P bekerja di tengah-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 :

1. posisi gaya normal P terletak di tengah alas irisan: n
2. resultan gaya antar irisan sama dengan nol: n – 1

Total : $2n - 1$

Ilustrasi mengenai pemodelan metode fellenius dapat dilihat pada Gambar 3.3 berikut ini



Gambar 3.3 Gambar Ilustrasi gaya gaya pada setiap irisan dengan metode fellenius

(Sumber : Hardiyatmo, 2010)

Dengan anggapan-anggapan tersebut maka dapat diuji persamaan keseimbangan momen untuk seluruh irisan terhadap titik pusat rotasi dan diperoleh suatu nilai Faktor Keamanan. Anggapan ini menunjukkan keseimbangan arah vertikal dan gaya-gaya bekerja dapat dilihat pada Persamaan 3.7 sampai dengan Persamaan 3.9 berikut ini

$$N_i + U_i = W_i \cos \theta_i \quad (3.7)$$

Atau,

$$N_i = W_i \cos \theta_i - U_i \quad (3.8)$$

$$N_i = W_i \cos \theta_i - u_i a_i \quad (3.9)$$

Faktor aman didefinisikan sebagai,

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

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

Lengan momen dari berat massa tanah tiap irisan adalah $R \sin \theta$ dapat dilihat pada Persamaan 3.10

$$\sum M_d = R \sum_{n=1}^{i=n} W_i \sin \theta_i \quad (3.10)$$

Dengan:

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

θ_i = sudut yang didefinisikan

Dengan cara yang sama, momen yang menahan tanah akan longsor dapat dilihat pada Persamaan 3.11 berikut

$$\sum M_r = R \sum_{n=1}^{i=n} (c_{ai} + N_i \operatorname{tg} \varphi) \quad (3.11)$$

Maka rumus untuk faktor aman seperti pada Persamaan 3.12 berikut.

$$F = \frac{\sum_{n=1}^{i=n} (c_{ai} + N_i \operatorname{tg} \varphi)}{\sum_{n=1}^{i=n} W_i \sin \theta_i} \quad (3.12)$$

Apabila terdapat air pada lereng, tekanan air pori pada bidang longsor tidak menambah momen akibat tanah yang akan longsor (M_d), karena resultan

gaya akibat tekanan air pori lewat titik pusat lingkaran. Faktor aman tersebut menjadi seperti pada Persamaan 3.13 berikut

$$F = \frac{\sum_{n=1}^{i=n} cai + (Wi \cos \theta_i - uiai) \operatorname{tg} \varphi}{\sum_{n=1}^{i=n} Wi \sin \theta_i} \quad (3.13)$$

dengan:

F = faktor aman

C = kohesi tanah (kN/m^2)

φ = sudut gesek dalam tanah ($^{\circ}$)

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^2)

θ_i = sudut yang didefinisikan

Apabila terdapat gaya-gaya selain dari berat tanahnya sendiri, seperti bangunan yang ada di atas lereng, maka momen akibat beban ini diperhitungkan sebagai M_d .

3.3 Perkuatan Lereng

3.3.1 Pengertian Umum

Perkuatan lereng (*revetments*) adalah bangunan yang ditempatkan pada permukaan suatu lereng guna melindungi suatu tebing alur sungai atau permukaan lereng tanggul dan secara keseluruhan berperan meningkatkan stabilitas alur sungai atau tubuh tanggul yang dilindunginya. Terjadinya perkembangan yang sangat pesat dalam konstruksi bangunan persungai yang sangat vital ini maka pada saat ini telah dimungkinkan memilih salah satu konstruksi bangunan, bahan dan cara pelaksanaan yang paling cocok disesuaikan dengan berbagai kondisi pada lokasi. Walaupun demikian konstruksi perkuatan lereng secara terus menerus dikembangkan dan disempurnakan.

3.3.2 Faktor Keamanan

Dalam analisis kemantapan lereng dengan permukaan gelincir yang diasumsikan sebagai lengkungan lingkaran, maka gaya yang mendorong massa tanah di atas 25 lengkungan lingkaran sehingga menggelincir harus dibandingkan dengan gaya geser sepanjang lengkungan lingkaran yang menahan longsoran itu. Karena gaya dorong dan gaya tahan berbeda dengan kedudukan dan jari-jari lengkung lingkaran, maka harus dilakukan analisis dengan mengubah kedudukan dan jari-jari lengkung lingkaran untuk beberapa nilai dengan cara asumsi. Berbagai metode diusulkan untuk perbandingan antara gaya dorong dan gaya penahan. Sehingga angka aman adalah: gaya yang menggelincirkan gaya penahan $SF =$ Bila faktor keamanan didapat 1, ini berarti bahwa lereng sudah hampir dalam bahaya keruntuhan lereng/longsor. Akibatnya, untuk mendapatkan lereng yang ditetapkan maka safety factor (SF) $\geq 1,0$. Dalam buku Mekanika Tanah I karya Hardiyatmo (2009), dan Bowles (1989) menjelaskan bahwa keadaan lereng berdasarkan nilai safety factor (SF) nya dapat dilihat pada Tabel 3.11 berikut ini.

Tabel 3.12 Faktor Keamanan Lereng

Faktor Keamanan	Status Lereng	Intensitas Longsor
$SF < 1,07$	Lereng Labil	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

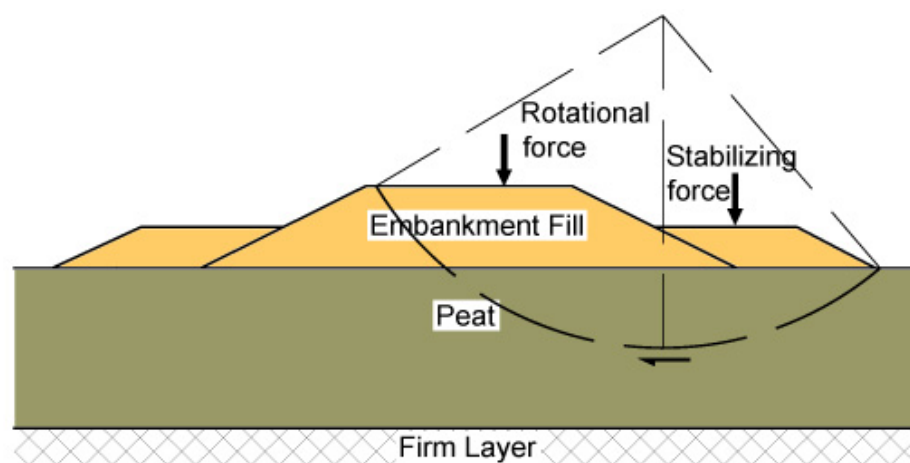
(Sumber: Bowles, 1989)

Lereng yang labil merupakan lereng yang sering terjadi longsor, ditandai dengan nilai faktor aman (SF) dibawah 1,07. Lereng kritis merupakan lereng yang pernah terjadi longsor, ditandai dengan nilai faktor aman (SF) antara 1,07 hingga 1,25.

Sedangkan lereng yang relatif stabil merupakan lereng yang jarang terjadi longsor dan tergolong lereng yang aman, ditandai dengan nilai faktor aman (SF) diatas 1,25.

3.3.3 Counterweight Berm

Counterweight berm adalah salah satu metode perkuatan lereng dengan cara menambahkan beban pada sisi timbunan/lereng untuk menaikkan gaya yang melawan longsoran atau gaya lateral. Counterweight menjadi solusi yang sederhana dalam memperkuat desain timbunan jalan yang berada diatas tanah dasar lunak. Berikut ini adalah Gambar 3.4 contoh penerapan counterweight pada timbunan jalan



Gambar 3.4 Counterweight pada timbunan jalan

(Nurmunira : 2014)

Adanya counterweight berm maka bidang longsor dapat ditekan lebih kedalam mencapai tanah keras sehingga timbunan lebih stabil. Ukuran/dimensi berm pemberat ditentukan berdasarkan hasil perhitungan stabilitas lereng. Berm pemberat ini diletakkan pada bagian kaki timbunan seperti gambar 3.4. Kelemahan dari cara ini adalah membutuhkan ruangan luas yang berarti menambah biaya pembebasan tanah, dan deformasi vertikalnya secara praktis tidak bisa dihindari terutama untuk timbunan yang tinggi.

3.3.4 Geotekstil

Geotekstil banyak digunakan untuk perkuatan tanah dasar pada struktur perkerasan jalan. Geotekstil juga telah sering digunakan untuk stabilisasi timbunan badan jalan yang terletak pada pondasi tanah lunak. Pengaruh penting yang menguntungkan dari macam-macam pemakaian geotekstil untuk perkuatan timbunan adalah berfungsi utama sebagai pemisah, geotekstil juga berfungsi sebagai tulangan atau perkuatan yang menaikkan kapasitas dukung tanah dasar oleh kekuatan komposit tanah dengan geotekstil.

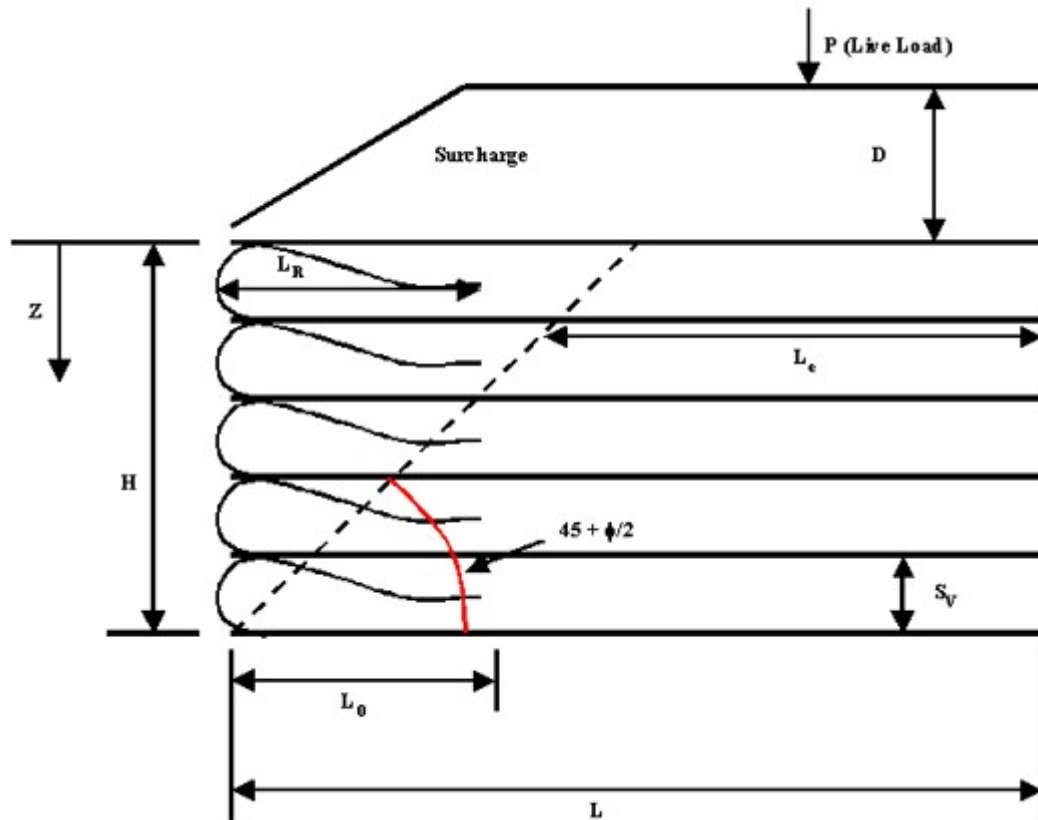
Geotekstil meliputi woven (tenun) dan non woven (tanpa tenun). Tenun dihasilkan dari *interlaying* antara benang-benang melalui proses tenun, sedangkan non woven dihasilkan dari beberapa proses seperti : *heat bonded* (dengan panas), *needle punched* (dengan jarum), dan *chemical bonded* (menggunakan bahan kimia). Baik woven maupun non woven dihasilkan dari benang dan serat polimer terutama : polypropelene, poliester, polyethylene dan polyamide

Timbunan yang dibangun pada tanah lunak mempunyai kecenderungan bergerak ke arah lateral, karena akibat dari tekanan tanah horizontal yang bekerja pada timbunan tersebut. Tekanan ini menyebabkan timbulnya tegangan geser pada dasar timbunan yang harus ditahan oleh tanah pondasi yang lunak tersebut agar tidak mengalami keruntuhan. Oleh karena itu, pada dasar timbunan dapat dipasang geotekstil dengan kuat tarik tinggi yang berguna untuk menambah nilai stabilitas timbunan tersebut.

Pemasangan geotekstil pada timbunan harus memiliki nilai faktor keamanan yang disyaratkan, untuk timbunan yang bersifat sementara ataupun permanen. Perancangan lereng timbunan dianggap pada kondisi kritis jika:

1. keruntuhan lereng mengakibatkan adanya korban atau kerusakan pemukiman yang signifikan,
2. adanya gaya tarik termobilisasi dalam tulangan perkuatan pada umur rancangan struktur,
3. keruntuhan tulangan perkuatan mengakibatkan runtuhnya struktur.

Perkuatan geotekstil dapat dipasang satu lapis atau lebih tergantung besarnya gaya geser yang akan ditahan, seperti pada Gambar 3.5 berikut ini



Gambar 3.5 Pemasangan Geotekstil pada Timbunan

(Christopher dkk, 1985)

3.3.5 Analisis Stabilitas Timbunan Menggunakan Geotekstil

Analisis gaya-gaya yang bekerja untuk stabilitas terhadap gaya-gaya internal digunakan analisis tegangan seperti pada dinding penahan tanah dengan menggunakan teori klasik Rankine dan Coulomb. Metode yang digunakan ada dua macam dengan anggapan bentuk longsoran tanah adalah segitiga dan trapesium yang masih dalam taraf penelitian lanjutan.

Panjang geotekstil dianalisis berdasarkan asumsi bentuk bidang longsor dengan sudut kemiringan sebesar $(45 - \frac{\phi}{2})^\circ$.

Analisis stabilitas konstruksi memiliki 2 pendapat yaitu sebagai berikut ini.

1. Menggunakan koefisien tekanan tanah diam, dengan Persamaan 3.11 berikut.

$$K_0 = 1 - \sin \varphi \quad (3.11)$$

Keterangan:

K_0 = koefisien tekanan tanah diam,

φ = sudut geser dalam ($^{\circ}$).

2. Menggunakan koefisien tanah aktif, dengan menggunakan Persamaan 3.12 berikut.

$$K_a = \tan^2 \left(45 - \frac{\varphi}{2} \right) \quad (3.12)$$

Keterangan:

K_a = koefisien tanah aktif,

φ = sudut geser dalam ($^{\circ}$)

Pada penelitian ini digunakan koefisien tekanan tanah aktif dengan menggunakan Persamaan 3.21 di atas. Selanjutnya perhitungan akan ditinjau dari stabilitas internal dan eksternal sebagai berikut ini.

1. Stabilitas Internal

Tegangan horizontal tanah yaitu tegangan tanah yang diakibatkan oleh adanya pergerakan tanah ke arah horizontal. Pada penelitian ini tegangan horizontal dipengaruhi oleh adanya tegangan akibat tanah itu sendiri dan tegangan akibat beban yang bekerja di atas timbunan. Berikut Persamaan 3.13 untuk menghitung tekanan tanah horizontal.

$$\sigma_{hc} = q \cdot K_a + K_a \cdot H_i \cdot \gamma \quad (3.13)$$

Keterangan:

- σ_{hc} = tekanan tanah horizontal (kN/m^2),
 q = beban merata (kN/m),
 K_a = koefisien tanah aktif,
 H_i = tinggi tanah yang ditinjau dihitung dari permukaan tanah (m),
 γ = berat volume tanah (kN/m^3).

Selanjutnya menghitung jarak vertikal antar lapisan geotekstil (S_v) dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.14 berikut ini.

$$S_v = \frac{T_{all}}{\sigma_{hc} \cdot SF} \quad (3.14)$$

Keterangan:

- S_v = jarak vertikal antar lapisan geotekstil (m),
 T_{all} = kuat tarik ijin geotekstil (kN/m),
 σ_{hc} = tekanan tanah horizontal (kN/m^2),
 SF = faktor keamanan (digunakan 1,5).

Panjang geotekstil dianalisis berdasarkan asumsi bentuk bidang longsor dengan sudut kemiringan sebesar $(45 - \frac{\phi}{2})^\circ$.

Perhitungan panjang geotekstil (L) sesuai hasil perhitungan jarak vertikal geotekstil (S_v) di atas, sehingga digunakan panjang terbesar geotekstil pada masing-masing zona. Berikut ini Persamaan 3.15 untuk menghitung tekanan tanah vertikal.

$$\sigma_v = \gamma \cdot H_i \quad (3.15)$$

Keterangan:

- σ_v = tekanan tanah vertikal (kN/m^2),
 γ = berat volume tanah (kN/m^3),
 H_i = tinggi tanah yang ditinjau dari permukaan tanah (m).

Berikut ini Persamaan 3.16 untuk menghitung panjang geotekstil di daerah longsor aktif.

$$L_R = \frac{H-Z_i}{\tan(45+\frac{\varphi}{2})} \quad (3.16)$$

L_R = panjang geotekstil di daerah longsor aktif (m),

H = tinggi tanah timbunan (m),

Z_i = tinggi tanah yang ditinjau dari permukaan tanah (m),

φ = sudut geser dalam ($^{\circ}$).

Berikut ini Persamaan 3.17 untuk menghitung panjang geotekstil yang bekerja sebagai angker.

$$L_C = \frac{1}{\beta} \frac{T_{all}}{2(c + \sigma_v \cdot \tan \varphi)} \quad (3.17)$$

Keterangan:

L_C = panjang geotekstil yang bekerja sebagai angker (m),

β = koefisien *interface* tanah terhadap geotekstil (dipakai 0,67),

T_{all} = kuat tarik geotekstil (kN/m),

c = kohesi tanah (kN/m²),

σ_v = tekanan tanah vertikal (kN/m²),

φ = sudut geser dalam ($^{\circ}$).

Perhitungan L_R dan L_C di atas selanjutnya akan dijumlahkan dan menjadi panjang geotekstil total, seperti pada Persamaan 3.18 berikut.

$$L_{tot} = L_R + L_C \quad (3.18)$$

Keterangan:

L_R = panjang geotekstil di daerah longsor aktif (m),

L_C = panjang geotekstil yang bekerja sebagai angker (m).

Panjang *overlapping* geotekstil tidak ada analisis khusus, karena secara teoritis tidak diperlukan tetapi dalam praktek dilakukan agar konstruksi menjadi satu kesatuan. Persamaan 3.19 berikut dapat digunakan untuk menghitung panjang *overlapping* (L_o).

$$L_o = \frac{1}{\beta} \frac{T_{all}}{4(c + \sigma_v \cdot \tan \varphi)} \geq 1 \text{ m} \quad (3.19)$$

Keterangan:

L_o = panjang *overlapping* geotekstil (m),

β = koefisien *interface* tanah terhadap geotekstil (dipakai 0,67),

T_{all} = kuat tarik geotekstil (kN/m),

c = kohesi tanah (kN/m²),

σ_v = tekanan tanah vertikal (kN/m²),

φ = sudut geser dalam (°).

2. Stabilitas Eksternal

Stabilitas eksternal pada tanah timbunan meninjau pada 3 stabilitas yaitu sebagai berikut ini.

a. Stabilitas terhadap guling

Stabilitas terhadap guling ditinjau terhadap titik A. berikut ini persamaan-persamaan gaya aktif.

1) Gaya Aktif

Persamaan gaya aktif akibat tanah (E_a) dapat menggunakan Persamaan 3.20 dan 3.21 untuk lengan gaya aktif akibat tanah seperti berikut ini

$$E_a = \frac{1}{2} H^2 \cdot \gamma \cdot K_a \quad (3.20)$$

dan

$$\text{Lengan} = \frac{H}{3} \quad (3.21)$$

Keterangan:

K_a = koefisien tanah aktif,

H = tinggi tanah timbunan (m),

γ = berat volume tanah (kN/m^3).

sehingga momen akibat tanah dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.22 berikut.

$$M_{A\text{tanah}} = E_a \cdot \text{Lengan} \quad (3.22)$$

Keterangan:

$M_{A\text{tanah}}$ = momen akibat tanah terhadap titik A (kN.m),

E_a = gaya aktif akibat tanah (kN).

Persamaan gaya aktif akibat beban (E_q) dapat menggunakan Persamaan 3.23 dan Persamaan 3.24 untuk lengan gaya aktif akibat beban seperti berikut ini.

$$E_q = q \cdot H \cdot K_a \quad (3.23)$$

dan

$$\text{Lengan} = \frac{H}{2} \quad (3.24)$$

Keterangan:

q = beban merata (kN/m),

H = tinggi tanah timbunan (m),

K_a = koefisien tanah aktif.

Sehingga momen akibat beban dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.25 berikut.

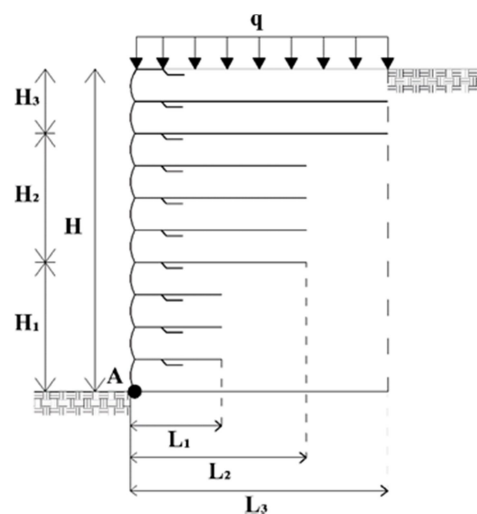
$$M_{A\text{beban}} = E_q \cdot \text{Lengan} \quad (3.25)$$

Keterangan:

$M_{A\text{beban}}$ =momen akibat beban terhadap titik A (kN.m),

E_q = gaya aktif akibat beban (kN).

Berikut ini tinjauan stabilitas terhadap gaya guling dapat dilihat pada Gambar 3.9 berikut ini.



Gambar 3.6 Tinjauan Stabilitas Terhadap Guling

(Sumber: Suryolelono, 1993)

2) Gaya Pasif

Persamaan untuk menghitung gaya pasif dapat dilihat pada Persamaan 3.26 dan Persamaan 3.27 untuk menghitung lengan gaya pasif seperti berikut.

$$W = Li \cdot Hi \cdot \gamma \quad (3.26)$$

dan

$$\text{Lengan} = \frac{Li}{2} \quad (3.27)$$

Keterangan:

W = gaya pasif (kN),

Li = panjang geotekstil lapisan ke-I (m),

Hi = tinggi tanah pada masing-masing zona (m),

γ = berat volume tanah (kN/m³).

Sehingga momen pasif terhadap titik A dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.28 berikut.

$$Mp = Wi \cdot \text{Lengan} \quad (3.28)$$

Keterangan:

Mp = momen pasif (kN.m),

Wi = gaya pasif pada zona ke-i (kN).

Sehingga stabilitas timbunan terhadap guling dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.29 berikut.

$$SF = \frac{\sum Mp}{\sum MA} > 1,5 \quad (3.29)$$

Keterangan:

SF = faktor aman,

$\sum Mp$ = jumlah momen pasif (kN.m),

$\sum MA$ = jumlah momen aktif (kN.m).

b. Stabilitas terhadap geser

1) Gaya yang melawan

Persamaan untuk menghitung gaya yang melawan dapat dilihat pada Persamaan 3.30 berikut ini.

$$F = [C_g + \frac{W_{total}}{l_g} \cdot \tan \delta] l_g \quad (3.30)$$

Keterangan:

F = gaya yang melawan (kN),

C_g = lekatan antara geotekstil dan tanah dasar pondasi = $\frac{2}{3} c$,

W_{total} = total gaya pasif (kN),

δ = $\frac{2}{3} \phi$ (ϕ sudut geser dalam dari tanah dasar pondasi),

l_g = panjang geotekstil paling bawah (m).

2) Gaya yang mendorong

Persamaan untuk menghitung gaya yang mendorong dapat dilihat pada Persamaan 3.31 berikut.

$$E = E_a + E_q \quad (3.31)$$

Keterangan:

E = gaya yang mendorong (kN),

E_a = gaya aktif akibat tanah (kN),

E_q = gaya aktif akibat beban (kN).

Sehingga stabilitas timbunan terhadap geser dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.32 berikut.

$$SF = \frac{F}{E} > 1,5 \quad (3.32)$$

Keterangan:

SF = faktor aman terhadap geser,

F = gaya yang melawan (kN).

E = gaya yang mendorong (kN).

c. Stabilitas terhadap kuat dukung yang terjadi

Perhitungan stabilitas terhadap kuat dukung ini didasarkan pada beban yang bekerja di atasnya.

1) Kuat dukung ijin

Berikut ini Persamaan 3.33 untuk menghitung kuat dukung ijin tanah.

$$\sigma_{ult} = c \cdot N_c + q \cdot N_q + 0,5 \cdot \gamma \cdot L \cdot N_\gamma \quad (3.33)$$

Keterangan:

σ_{ult} = kuat dukung ijin (kN/m^2),

c = kohesi tanah (kN/m^2),

N_c, N_q, N_γ = faktor daya dukung tanah Terzaghi,

γ = berat volume tanah (kN/m^3),

L = panjang geotekstil (m).

2) Kuat dukung yang terjadi

Berikut ini Persamaan 3.34 untuk menghitung kuat dukung yang terjadi.

$$\sigma_{terjadi} = H \cdot \gamma + q \quad (3.34)$$

Keterangan:

$\sigma_{terjadi}$ = kuat dukung yang terjadi (kN/m^2),

H = tinggi tanah timbunan (m),

- γ = berat volume tanah (kN/m^3),
 q = beban yang bekerja di atas timbunan (kN/m).

Sehingga stabilitas timbunan terhadap kuat dukung dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.35 berikut ini.

$$SF = \frac{\sigma_{ult}}{\sigma_{terjadi}} > 1,5 \quad (3.35)$$

Keterangan:

- SF = faktor aman terhadap kuat dukung,
 σ_{ult} = kuat dukung ijin (kN/m^2),
 $\sigma_{terjadi}$ = kuat dukung yang terjadi (kN/m^2).

3.4 Konsolidasi

3.4.1 Pengertian Umum

Bila lapisan tanah jenuh dengan permeabilitas rendah diberi beban, maka tekanan airpori dalam tanah tersebut segera bertambah. Perbedaan tekanan air pori pada lapisan tanah mengaibatkan air mengalir ke lapisan tanah dengan tekanan air pori yang lebih rendah yang diikuti dengan penurunan tanah. Permeabilitas tanah yang rendah mengakibatkan proses ini membutuhkan waktu. Konsolidasi adalah proses berkurangnya volume atau berkurangnya rongga pori dari tanah jenuh berpermeabilitas rendah akibat permbebanan dimana porsesnya dipengaruhi oleh kecepatan terperasnya airpori keluar dari rongga tanah. Besarnya penurunan dapat diukur dengan berpedoman pada titik referensi ketinggian pada tempat tertentu (Hardiyatmo H.C., 2010).

3.4.2 Faktor – faktor yang memengaruhi konsolidasi

Menurut Whittaker and Reddish (1989), secara garis besar penurunan tanah bisa disebabkan oleh beberapa hal antara lain sebagai berikut ini.

1. Penurunan muka tanah alami (*natural subsidence*) yang disebabkan oleh proses-proses geologi seperti aktifitas 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 tanah ini sering juga disebut dengan *settlement*.
4. Penurunan muka tanah akibat pengambilan bahan padat dari tanah (aktivitas penambangan).



Gambar 3.7 Kurva Hubungan antara Tekanan dengan Angka Pori

(Sumber: Hardiyatmo, 2009)

3.4.3 Koefisien Konsolidasi (C_v) (*Coefficient of Consolidation*)

Kecepatan penurunan konsolidasi dapat dihitung menggunakan koefisien konsolidasi C_v . Kecepatan penurunan perlu diperhitungkan bila penurunan konsolidasi yang terjadi pada struktur diperkirakan besar. Bila penurunan sangat kecil. Kecepatan penurunan sejalan dengan waktunya tidak menghasilkan perbedaan

yang berarti. Derajat konsolidasi untuk sembarang waktu ditentukan dengan menggambarkan grafik penurunan vs, waktu untuk satu beban tertentu yang diterapkan pada alat konsolidasi. Caranya, yaitu dengan mengukur penurunan total pada akhir fase konsolidasi. Kemudian, dari data penurunan dan waktu sembarang waktu yang dihubungkan dengan derajat konsolidasi rata-rata tertentu (misalnya $U = 50\%$) ditentukan. Walaupun fase konsolidasi telah selesai, yaitu ketika tekanan air pori telah 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 di buat untuk menentukan kapan konsolidasi telah selesai. Kecuali, jika sejumlah kecil udara terhisap masuk ke dalam air pori akibat penurunan tekanan pori dari lokasi aslinya di lapangan, kemungkinan terdapat juga penurunan yang berlansung dengan cepat, yang bukan bagian dari proses konsolidasi. Oleh karena itu, tinggi awal atau saat kondisi sebelum adanya penurunan saat permulaan proses konsolidasi juga harus diinterpretasikan

3.4.4 Perhitungan Penurunan Konsolidasi

Ditinjau pada lapisan tanah lempung jenuh dengan tebal H . karena adanya beban yang bekerja, lapisan tanah menerima tambahan tegangan geser sebesar (Δp) . Dianggap regangan arah lateral nol. Pada akhir konsolidasi, terdapat tambahan tegangan efektif vertikal sebesar (Δp) . Sebagai akibat penambahantegangan dari p_0' ke p_1' (dengan $p_1' = p_0' + \Delta p$) terjadi pengurangan angka pori dari e_0 ke e_1 . Pengurangan volume persatuan volume lempung dinyatakan oleh persamaan angka pori pada Persamaan 3.36.

$$\frac{\Delta V}{V} = \frac{\Delta H}{H} = \frac{e_0 - e_1}{1 + e_0} = \frac{\Delta e}{1 + e_0} \quad (3.36)$$

dengan:

V = Volume awal

H = Tebal lapisan tanah awal

ΔV = Perubahan volume ΔH = Perubahan tebal

e_0 = Angka pori awal

e_1 = Angka pori pada perubahan volume tertentu

Δe = Perubahan angka pori

Karena regangan lateral nol, pengurangan volume per volume satuan sama dengan pengurangan tebal persatuan tebalnya, yaitu penurunan persatuan ketinggian atau panjangnya. Besarnya penurunan lapisan tanah setebal dh dapat dinyatakan dalam Persamaan 3.37 di bawah ini.

$$\begin{aligned} dS_c &= \frac{e_0 - e_1}{1 + e_0} dh & (3.37) \\ &= \frac{e_0 - e_1}{1 + e_0} \frac{p_1 - p_0}{1 + e_0} dh \\ &= m_v \Delta p dh \end{aligned}$$

S_c adalah penurunan konsolidasi primer total atau ultimit. Untuk penurunan

lapisan tanah dengan tebal H , maka persamaan menjadi seperti Persamaan 3.38.

$$S_c = \int_0^H m_v \Delta p dh \quad (3.38)$$

Jika m_v dan Δp dianggap sama pada sembarang kedalaman tanah, maka diperoleh persamaan penurunan konsolidasi primer total seperti Persamaan 3.39.

$$S_c = m_v \Delta p h \quad (3.39)$$

Jika ingin menghitung besarnya penurunan konsolidasi dengan menggunakan nilai m_v dan Δp , maka pada sembarang kedalaman lapisan yang ditinjau nilai keduanya ditentukan dan penurunan dihitung dengan menambahkan secara aljabar dari penurunan pada tiap lapisan. Nilai tambahan regangan Δp dapat ditentukan dengan memperhatikan distribusi tegangan akibat beban fondasi pada setiap lapisan yang

ditinjau. Penurunan konsolidasi primer total adalah jumlah dari penurunan tiap lapisannya, yaitu pada Persamaan 3.40.

$$S_c = \sum m v_i \Delta p \quad (3.40)$$

Persamaan konsolidasi dengan menggunakan grafik e - $\log p'$ adalah sebagai berikut ini.

Bila $\Delta H = S_c$, maka dapat dibuat persamaan umum menjadi

seperti Persamaan 3.41.

$$S_c = \frac{e_0 - e_1}{1 + e_0} H = \frac{\Delta e}{1 + e_0} H \quad (3.41)$$

Untuk lempung tertentu, penurunan konsolidasi primer total dinyatakan oleh persamaan-persamaan berikut ini. Bila didefinisikan seperti Persamaan 3.42.

$$P'_1 = P'_0 + \Delta p \quad (3.42)$$

1. Penurunan untuk lempung *normally consolidated* ($P_c' = P_0'$) dengan tegangan efektif sebesar p_1' seperti pada Persamaan 3.43

$$S_c = C_c \frac{H}{1 + e_0} \log \frac{P_1'}{P_0'} \quad (3.43)$$

2. Penurunan lempung *overconsolidated* ($P_c' > P_0'$) penurunan konsolidasi primer total dinyatakan oleh persamaan yang bergantung nilai P_1' seperti pada Persamaan 3.44 dan Persamaan 3.45

- a. Bila, $P_1' < P_c'$

$$S_c = C_r \frac{H}{1 + e_0} \log \frac{P_1'}{P_0'} \quad (3.44)$$

- b. Bila, $P_1' > P_c'$

$$S_c = C_r \frac{H}{1 + e_0} \log \frac{P_1'}{P_0'} + C_c \frac{H}{1 + e_0} \log \frac{P_1'}{P_c'} \quad (3.45)$$

$$C_c = \frac{\Delta e}{\Delta \log p'} ; \text{ pada kurva penambahan beban atau pada } p' > P_c'$$

$$C_r = \frac{\Delta e}{\Delta \log p'} ; \text{ pada kurva penambahan beban atau pada } p' < P_c'$$

Dengan:

C_r = indeks pemampatan kembali

C_c = indeks pemampatan

H = tebal lapisan tanah

P_c' = tekanan prakonsolidasi e_0 = angka pori awal

Δp = tambahan tegangan akibat beban fondasi

P_0' = tekanan overburden efektif mula-mula sebelum dibebani

Untuk perhitungan waktu konsolidasi yang terjadi, maka rumus yang digunakan dapat dilihat Persamaan 3.46.

$$T = \frac{T_v \times H^2}{C_v} \quad (3.46)$$

Dengan :

T = waktu penurunan

H = tebal lapisan

C_v = koefisien konsolidasi

T_v = faktor waktu (time factor)

3.5 Plaxis

3.5.1 Pendahuluan

Plaxis adalah program analisis geoteknik yang dipilih karena dapat menganalisa stabilitas tanah dengan menggunakan metode elemen hingga yang mampu melakukan analisis yang dapat mendekati perilaku sebenarnya. Plaxis menyediakan berbagai analisis tentang displacement, tegangan-tegangan yang terjadi pada tanah, faktor keamanan lereng dan lain-lain.

Kondisi di lapangan yang disimulasikan dengan program Plaxis ini bertujuan untuk diaplikasikan dari pengerjaan program ke tahapan pelaksanaan di lapangan. Sehingga hasil dari program tersebut lebih memudahkan pada proses olah data yang diharapkan dapat menghemat waktu namun hasilnya sesuai dengan perhitungan manual.

3.5.2 Analisis stabilitas lereng menggunakan PLAXIS 8.6

Dari data-data yang ada kemudian diolah dengan memasukkan data-data dari lereng untuk dilakukan pengolahan data oleh program, maka akan diketahui perlu tidaknya lereng diberi perkuatan. Dengan program ini juga dapat dilakukan pengontrolan angka faktor keamanan (SF) terhadap lereng dengan perkuatan menggunakan geotekstil. Dalam pengoperasian program PLAXIS 8.6 diperlukan langkah sebagai berikut ini.

1. Tahap awal adalah membuka program PLAXIS 8.6, kemudian memberi nama *project* dan mengatur dimensi pada pengaturan global.
2. Setelah itu adalah menggambar penampang lereng yang akan dianalisis, kemudian menekan opsi *Standart Fixities*.
3. Membuat jenis *properties* material yang akan dipakai pada lereng, dan mengisi data-data lereng seperti γ_d , γ_b , ϕ , dan lain sebagainya. Lalu mengaplikasikan material yang telah dibuat ke setiap lapisan tanah.
4. Kemudian mengubah *mesh generating setup* sesuai dengan *mesh* dan lalu melakukan *generate*.
5. Kemudian membuat lapisan muka air tanah pada penampang dengan menggunakan *initial conditions*.
6. Kemudian melakukan *calculating* dan isi setiap *phase* yang akan dilakukan analisis.
7. Kemudian membuat *curve displacement*, dan baru dapat dilakukan *calculate*
8. Setelah proses *calculate* selesai maka didapatkan *output* sebagai berikut

Dari tahapan-tahapan yang telah dilakukan oleh program PLAXIS 8.6 didapatkan berupa *curve displacement* dan juga nilai SF. Output tersebut dapat

dilihat apakah lereng aman mengalami kelongsoran atau sudah aman sehingga tidak diperlukan perkuatan tambahan. Apabila lereng belum aman terhadap longsor, maka akan dilakukan analisis kembali menggunakan perkuatan geotekstil dan akan didapatkan Safety Factor yang baru setelah diberi perkuatan. Cara untuk menambahkan perkuatan geotekstil pada Plaxis adalah sebagai berikut ini:

1. Tahap awal adalah membuka program PLAXIS 8.6, kemudian memberi nama project dan mengatur dimensi pada pengaturan global.
2. Setelah itu adalah menggambar penampang lereng yang akan dianalisis, kemudian menekan opsi Standart Fixities.
3. Membuat jenis properties material yang akan dipakai pada lereng, dan mengisi data-data lereng seperti γ_d , γ_b , ϕ , dan lain sebagainya. Lalu mengaplikasikan material yang telah dibuat ke setiap lapisan tanah.
4. Membuat profil geotekstil sesuai spesifikasi yang diperlukan dengan klik tombol geometri, kemudian memilih opsi geogrid.
5. Kemudian mengubah *mesh generating setup* sesuai dengan *mesh* dan lalu melakukan *generate*.
6. Kemudian membuat lapisan muka air tanah pada penampang dengan menggunakan *initial conditions*.
7. Kemudian melakukan *calculating* dan isi setiap *phase* yang akan dilakukan analisis.
8. Kemudian membuat *curve displacement*, dan baru dapat dilakukan *calculate*
9. Setelah proses *calculate* selesai maka didapatkan *output* berupa bentuk bidang longsor, nilai SF, angka penurunan tanah, kurva dengan berbagai hubungan variable, dll.

BAB IV

METODE PENELITIAN

4.1 Tinjauan Umum

Metode penelitian adalah tata cara yang dilakukan oleh peneliti dalam rangka untuk mengumpulkan informasi atau data serta melakukan investigasi terhadap data yang telah didapatkan. metode penelitian ini harus dilakukan sesuai dengan rumusan masalah yang nantinya akan didapatkan hasil dari identifikasi, analisis dan mengolah data dari rumusan masalah tersebut. Penelitian yang akan dilakukan ini merupakan analisis stabilitas lereng dengan perkuatan geotekstil pada proyek Jalan Tol Balikpapan - Samarinda.

Analisis yang dilakukan pada penelitian ini adalah analisis stabilitas internal dan eksternal pada lereng dengan menggunakan program PLAXIS 8.6, kemudiandidapatkan output berupa nilai Safety Factor dan nilai displacement. Kestabilan lereng pada Proyek Jalan Tol Balikpapan - Samarinda digunakan perkuatan dengan bahan geosintetik jenis geotekstil serta dikombinasikan dengan berm. Dari analisis tersebut, diharapkan dapat ditentukan kondisi mana yang menghasilkan faktor keamanan (safety factor) yang paling baik, sehingga pada perencanaan kekuatan stabilitas lereng dapat dijadikan sebagai acuan untuk kondisi tanah dan nilai pembebanan tertentu

4.2 Tahapan Penelitian

Dalam penelitian ini proses penelitian dibagi menjadi beberapa tahapan, diantaranya yaitu sebagai berikut

1. Tahap pengumpulan data yang meliputi tahap pengambilan data tanah dan data lereng (data uji lapangan dan laboratorium) yang dibutuhkan untuk analisis dari Tugas Akhir analisis stabilitas timbunan tanah pada proyek jalan tol Balikpapan-Samarinda STA 1+975

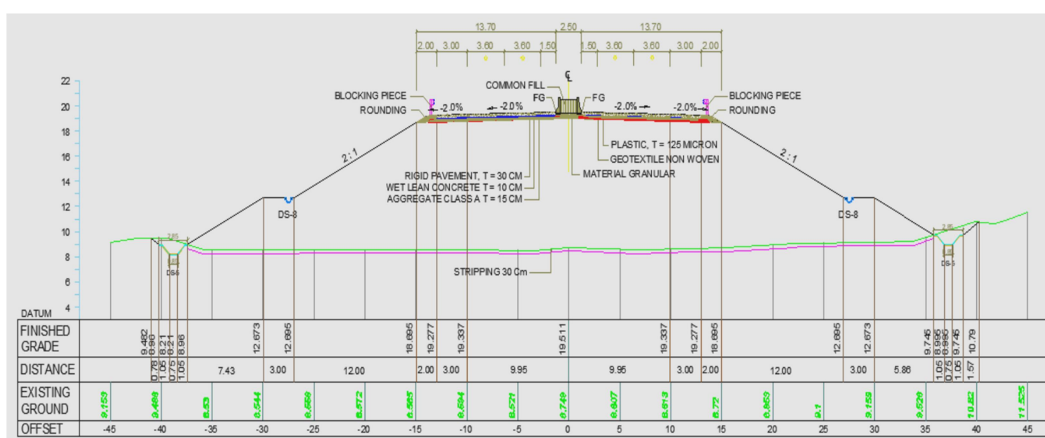
2. Tahap pengolahan data software dan analisis, pada tahapan ini data yang telah didapatkan kemudian akan diolah untuk melakukan analisis stabilitas timbunan badan jalan dan di *input* kedalam *software Plaxis* dengan variasi permodelan yaitu kondisi timbunan tanah asli, timbunan tanah asli dengan geotekstil. Setelah itu, dilakukan analisis secara manual sebagai perbandingan dan koreksi terhadap pengolahan data menggunakan *software*.
3. Tahap pembahasan dan penarikan kesimpulan, tahap ini akan dilakukan penulisan kedalam laporan yang dimana berisi hasil-hasil yang telah didapatkan dari tahapan analisis, kemudian akan dihasilkan solusi dari masalah-masalah yang timbul dan diambil kesimpulan berdasarkan teori yang ada.

4.3 Analisis Data

Analisis data adalah suatu cara yang digunakan untuk memudahkandalam mengolah data yang diperoleh kemudian dianlisi berdasarkan tahap pengerjaannya. Data yang diperoleh dapat dilihat sebagai berikut.

4.3.1 Data Potongan Melintang Jalan dan Parameter Tanah Asli

Mengacu pada data yang diperoleh dari PT. Pembangunan Perumahan tahun 2017, berikut ini adalah gambar potongan melintang jalan dan parameter tanah asli



Gambar 4.1 Potongan jalan melintang

Berdasarkan Gambar 4.1 diketahui bahwa ketinggian timbunan tertinggi diukur dari permukaan tanah adalah 10,5 m. Kemiringan lereng adalah 2H:1V.

Berikut ini adalah data mengenai parameter tanah asli sebelum dilakukan perkuatan dapat dilihat pada Tabel 4.1

Tabel 4.1 Parameter tanah asli pada

Nama	Satuan	Timbunan pilihan	Pasir Abu Kehitaman	Lempung Abu	Pasir Lepas Abu	Lempung Kuning
Simbol	-	C	S	C	S	C
Jenis	-	Undraind	Drained	Undraind	Drained	Undraind
γ unsat	kN/m ³	16,6	19	15	11	15
γ sat	kN/m ³	17,6	20	16	12	16
Eref	kN/m ²	25000	25600	9000	6080	3000
V		0,3	0,3	0,25	0,3	0,25
C	kN/m ²	20	5	144	5	24
ϕ	°	10	47,93	3	26,93	3
Kedalaman	m		(8-20)	(6-8)	(2-6)	(0-2)

(sumber : PT. Pembangunan Perumahan, 2017)

4.3.2 Data Beban

1. Beban Lalu lintas

Beban-beban yang bekerja pada lereng tersebut adalah beban perkerasan, beban lalu lintas dan beban gempa. Data-data yang tertera pada data beban dapat dilihat pada Tabel 4.2 berikut ini.

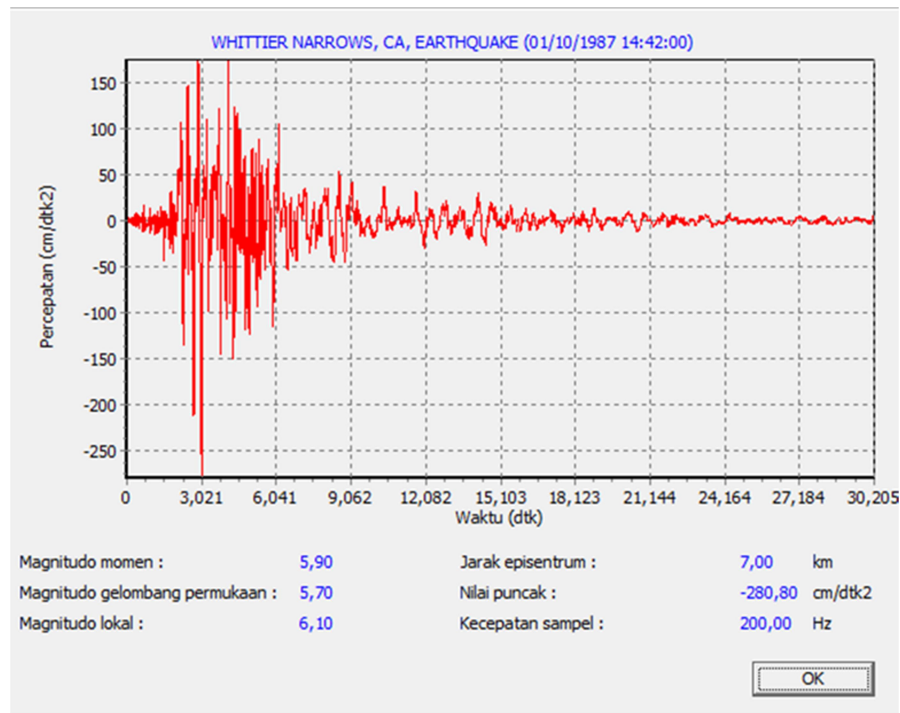
Tabel 4.2Beban Lalu Lintas

Fungsi	Sistem Jaringan	Lalu Lintas Harian Rata-rata (LHR)	Beban Lalu Lintas (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)

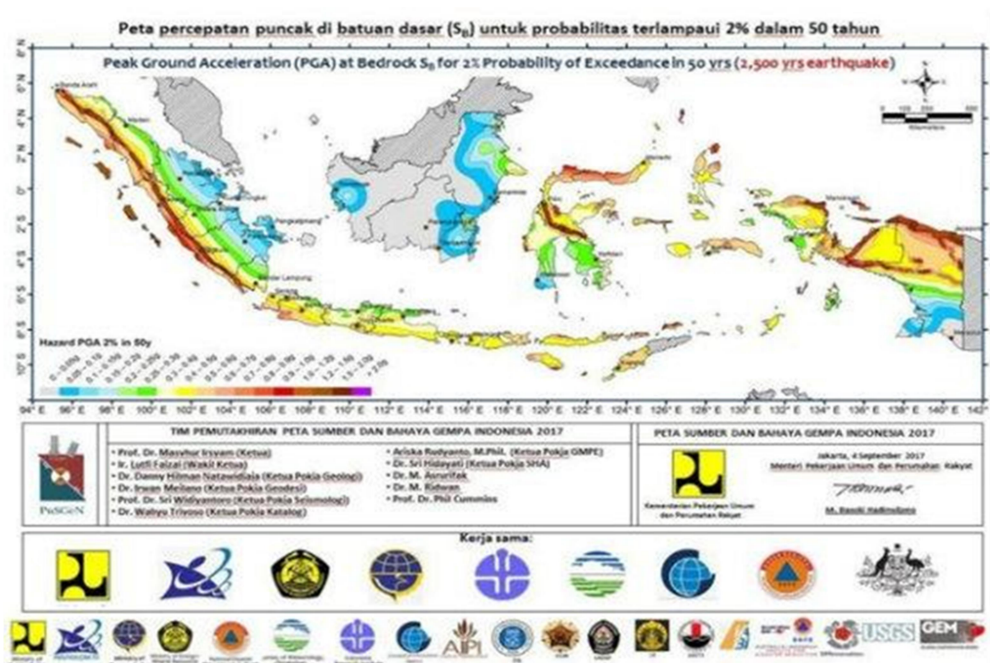
2. Beban Gempa

Pulau Kalimantan adalah pulau di Indonesia yang relatif paling aman dari ancaman gempa bumi. Meskipun demikian, faktor beban gempa akan tetap dimasukkan dalam analisis guna memperoleh hasil yang sekomprensif mungkin. Beban gempa nantinya akan dimasukkan dalam kalkulasi pada PLAXIS 8.6. Kalkulasi nantinya dikategorikan menjadi analisis dinamis dikarenakan beban gempa memiliki interval waktu, percepatan, dan sifatnya dinamis. Pada peta zonasi gempa yang diperoleh dari SNI 1726:2012 maka diperoleh percepatan gempa pada lokasi penelitian sebesar 0,15g – 0,3g. Oleh karena itu, waktu interval yang dimasukkan dalam program plaxis adalah 4,4 s. Berikut gambar grafik percepatan gempa dari whitter narrow california dan peta zonasi gempa Indonesia dapat dilihat pada Gambar 4.2 dan Gambar 4.3



Gambar 4.2 Grafik Hubungan antara Percepatan dan Waktu

(Sumber: Data Gempa Whittier Narrows California, 1987)



Gambar 4.3 Peta Zonasi Gempa di Indonesia

(Sumber: SNI 1726:2012)

4.3.3 Data Geotekstil

Geotekstil yang digunakan merupakan geotekstil jenis woven atau geotekstileranyam. Data parameter geotekstil dari PT. Teknindo Geosistem Unggul dapat dilihat pada Lampiran 3. Adapun data geotekstil dapat dilihat pada Tabel 4.3 berikut ini.

Tabel 4.3 Data parameter *geotextile woven*

Parameter	Notasi	Nilai	Satuan
Kuat Tarik Ijin	T	52	kN/m
Regangan	ε	20	%
Kekakuan Normal	EA	260	kN/m

(sumber: PT. Teknindo Geosistem Unggul, 2015)

4.3.4 Pemodelan dan Input Data dalam PLAXIS 8.6

Setelah mendapatkan data-data yang diperlukan maka dilakukan proses olah data menggunakan Program Plaxis. Adapun langkah-langkahnya dapat dilihat sebagai berikut.

1. Pemodelan, data – data dan parameter tanah
 - a. Model Geometri
 - 1) Melakukan permodelan geometri dengan memulai klik opsi *Geometriline* lalu menempatkan pada koordinat 0.0;0.0 sebagai titik awal setelah gambar geometri sesuai yang telah ditentukan.
 - 2) Setelah menggambar permodelan, menekan opsi *standart fixities* dan *standard earthquake boundaries* pada menu loads.


Contoh permodelan geometri yang telah dibuat dapat dilihat pada Gambar 4.4 sebagai berikut.

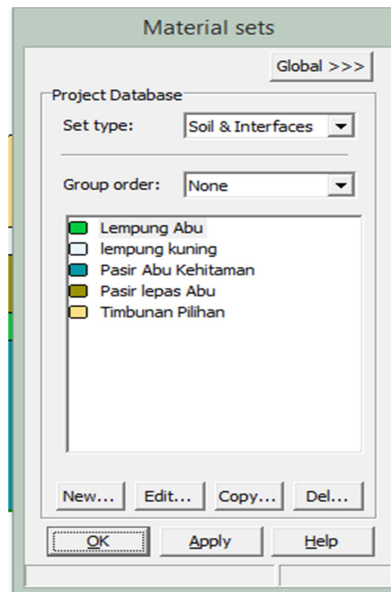


Gambar 4.4 Pemodelan Geometri PLAXIS 8.6

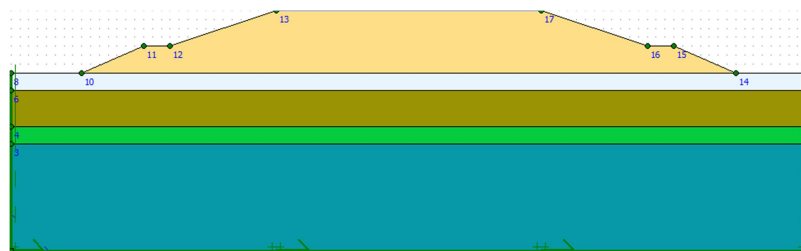
b. Data – data tanah

Memasukkan data material set dapat dengan cara menekan

Tombol  pada toolbar kemudian definisikan parameter dari masing-masing seperti Gambar 4.5. Kemudian mendrag kumpulan material sesuai lapisan geometri tanah. Maka material akan menyesuaikan dalam gambar permodelan dan dibedakan dalam bentuk warna seperti Gambar 4.6.



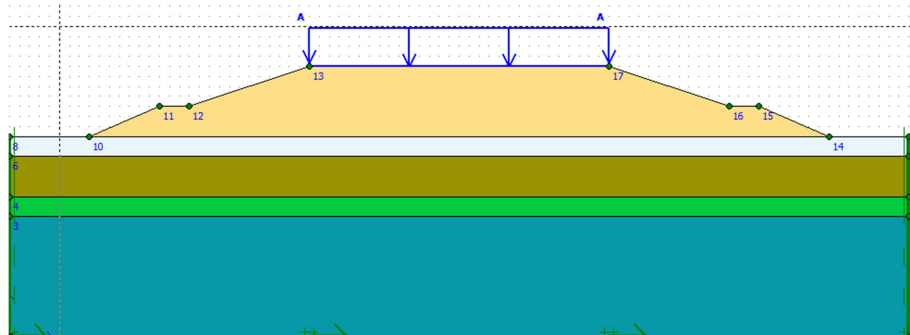
Gambar 4.5 Jendela Material Set



Gambar 4.6 Pemodelan Setelah Dimasukkan Material Tanah

c. **Beban Struktur**

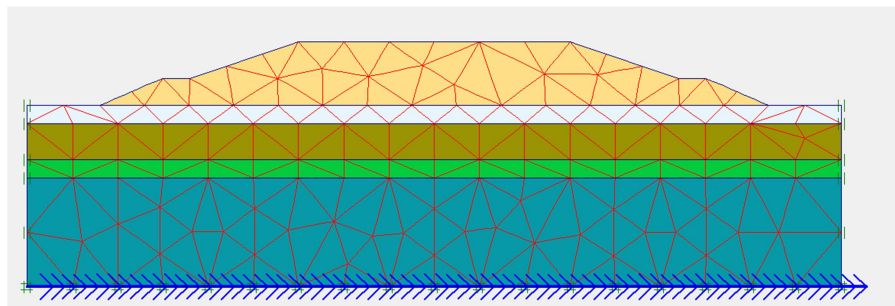
Meng-klik tombol distributed load system A pada toolbar , kemudian klik pada 2 titik tiap ujung (diseret) pada timbunan yang akan menerima beban untuk beban merata. Selanjutnya memasukkan nilai beban merata 25 kN/m² saat pasca konstruksi. Permodelan yang telah diberikan beban dapat dilihat pada Gambar 4.7 sebagai berikut.



Gambar 4.7 Permodelan Setelah Diberikan Beban Merata

d. *General Meshing*

Melakukan klik tombol Generate mesh pada toolbar setelah penyusunan jaringan elemen maka muncul jendela baru yang akan memunculkan jaring elemen hingga yang terbentuk seperti pada Gambar 4.8 berikut ini

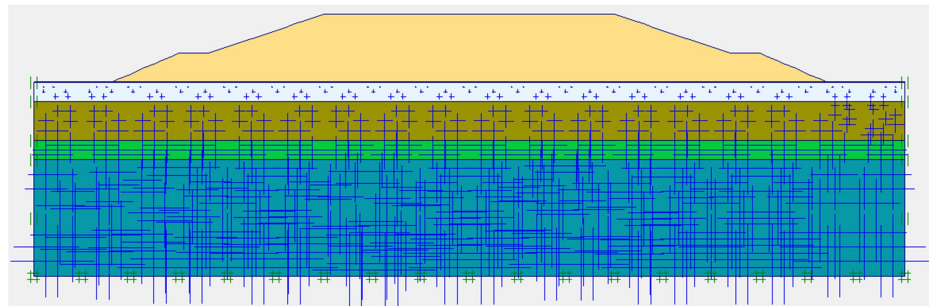


Gambar 4.8 Jaringan Elemen Hingga

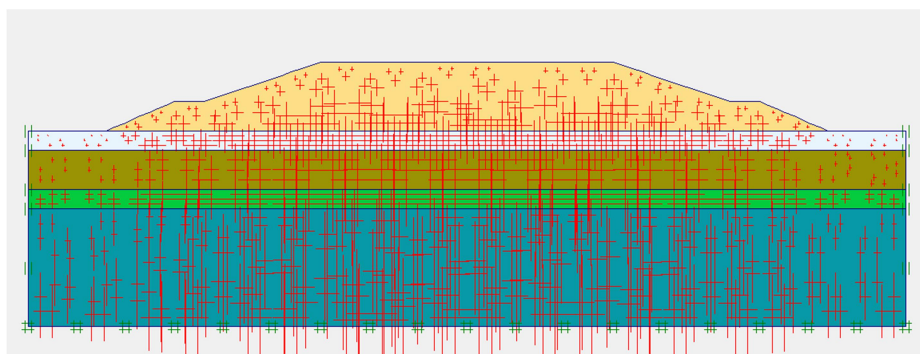
e. *Initial Condition*

- 1) Melakukan klik tombol *initial conditions* pada toolbar, kemudian jendela akan berubah ke tahap selanjutnya dan menunjukkan pra-pilih berat isi air yaitu 10 kN/m^3 dan klik OK untuk menerima nilai tersebut dan drag dari ujung titik awal hingga ujung titik akhir pada permukaan tanah asli.
- 2) Untuk *initial conditions* terdiri dari 2 tombol yaitu *generate water pressures* dan *generate initial stresses*. Perpindahan antara

kedua modus dilakukan dengan menggunakan tombol switch. Pada modus *generate water pressures*, untuk melakukan olah tekanan air pori yang dilakukan dengan klik untuk melihat gambar tekanan air pori yang dapat dilihat pada Gambar 4.9 kemudian *update*, lalu switch modus satunya yaitu *generate initial stresses* lalu klik untuk melihat gambar tegangan awal yang dapat dilihat pada Gambar 4.6 kemudian *update*.



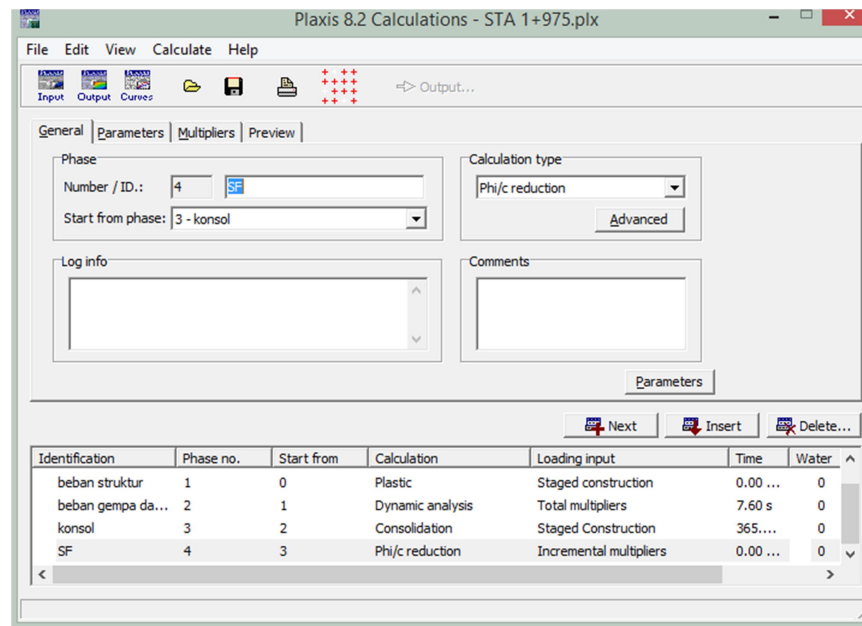
Gambar 4.9 Pemodelan Tekanan Air Pori



Gambar 4.10 *initial pressure*

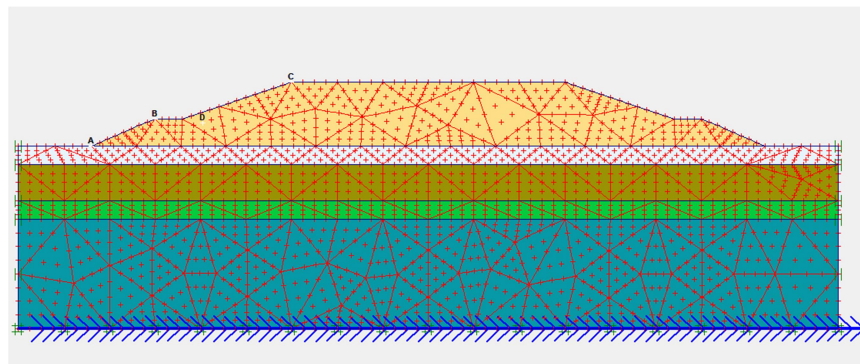
2. Proses kalkulasi pada program PLAXIS 8.6

Pada jendela *calculations* (lihat Gambar 4.9) terdapat 4 lembar tab, yaitu: *general*, *parameters*, *multipliers* dan *preview*. Dalam lembar tab *general* pada *calculation type* pilih *plastic analysis* untuk beban struktur, *dynamic analysis* untuk beban gempa, *phi/c reduction* untuk SF struktur dan gempa serta *consolidation* untuk pengolahan konsolidasi atau mengetahui penurunan yang terjadi. Tahap – tahap kalkulasi dapat dilihat pada Gambar 4.11 berikut ini.



Gambar 4.11 Tampilan layar pada tahap kalkulasi

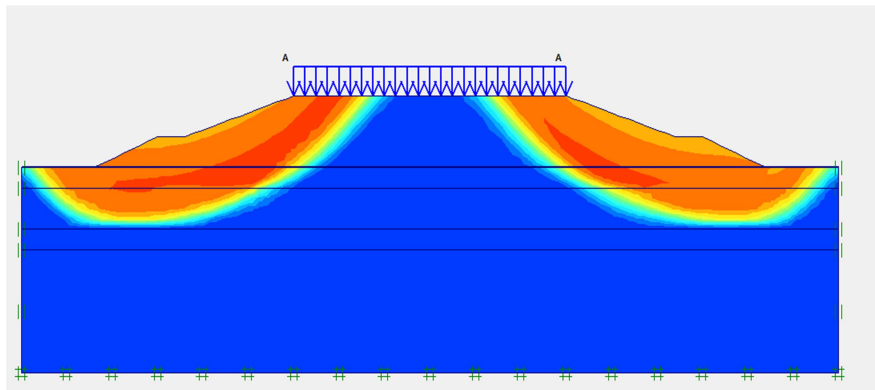
Melakukan klik point of curves untuk menentukan titik yang akan ditinjau untuk potensi kelongsoran yang akan menggambarkan tampilan kurva. Titik-titik yang akan ditinjau dapat dilihat pada Gambar 4.12 sebagai berikut



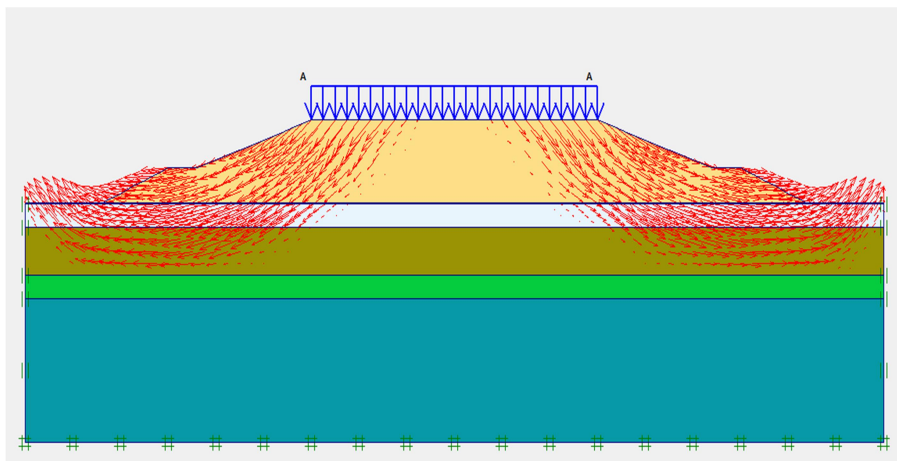
Gambar 4.12 Pemilihan titik kurva yang akan Ditinjau

3. Output

Melakukan klik tombol output setelah proses calculation untuk menampilkan hasil dari tahap perhitungan. Hasil perhitungan dapat dilihat pada Gambar 4.13 dan Gambar 4.14 berikut ini.



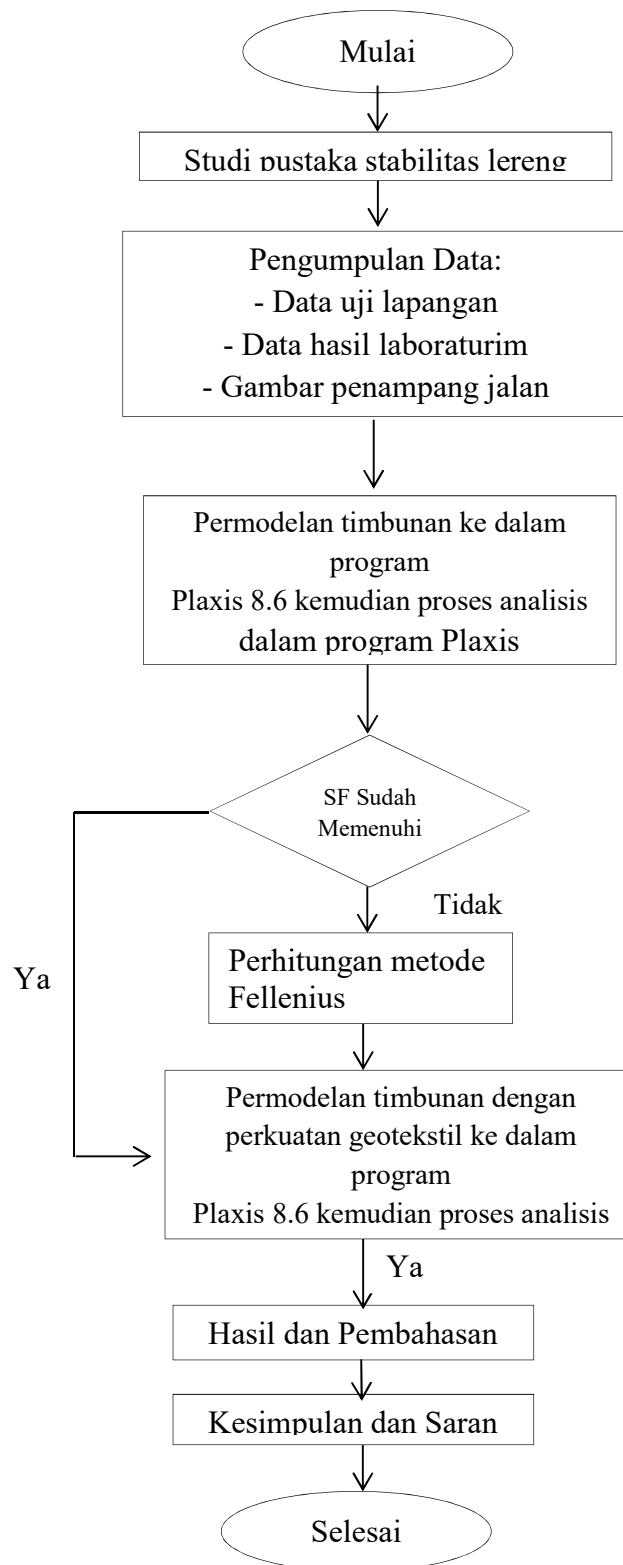
Gambar 4.13 Total Displacement



Gambar 4.14 Arah Pergerakan Tanah

4.4 Bagan Alur Penelitian

Jalan dari penelitian ini dapat dilihat pada flowchart yang dilampirkan pada Gambar 4.13 berikut ini



Gambar 4.13 Bagan Alir Penelitian

BAB V

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

5.1 Analisis Data Lereng

5.1.1 Data Potongan Melintang Jalan

Data tanah diperoleh dari PT. Pembangunan Perumahan dalam proyek pembangunan Jalan Tol Balikpapan – Samarinda . Pada data tersebut diperoleh tinggi timbunan sebesar 10,5 m dengan lebar 90 m serta sudut lereng sebesar 27° . Pada timbunan juga dipasang berm dengan tinggi 2,1 m dan slope 2H:1V. Dari data tersebut juga diperoleh gambar potongan melintang yang dapat dilihat pada Gambar 4.1

5.1.2 Data Parameter Tanah

Selain data potongan melintang jalan, diperoleh data parameter tanah yang digunakan pada proyek. Data parameter tanah tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.1. Berdasarkan data parameter tanah tersebut maka jika diplot pada timbunan akan seperti Gambar 5.1 berikut ini



Gambar 5.1 Lapisan Tanah pada Timbunan

5.2 Data BebanLalu Lintas dan Struktur

Data perkerasan yang digunakan adalah 10 kN/m^2 yang diperoleh dari data sekunder. Sementara beban lalu lintas yang digunakan sebesar 15 kN/m^2 . karena jalan tol Balikpapan – Samarinda termasuk dalam kelas jalan primer arteri berdasarkan Tabel 4.2 pada Bab IV.

5.3 Data Beban Gempa

Pulau Kalimantan adalah pulau di Indonesia yang relatif paling aman dari ancaman gempa bumi. Meskipun demikian, faktor beban gempa akan tetap dimasukkan dalam analisis guna memperoleh hasil yang sekomprensif mungkin. Beban gempa nantinya akan dimasukkan dalam kalkulasi pada PLAXIS 8.6. Kalkulasi nantinya dikategorikan menjadi analisis dinamis dikarenakan beban gempa memiliki interval waktu, percepatan, dan sifatnya dinamis. Pada peta zonasi gempa yang diperoleh dari SNI 1726:2012 maka diperoleh percepatan gempa sebesar $0,25g - 0,3g$. Oleh karena itu, waktu interval yang dimasukkan dalam program plaxis adalah $4,4 \text{ s}$ karena dianggap telah melewati waktu puncak. Gambar grafik percepatan gempa dari whitter narrow california dan peta zonasi gempa Indonesia dapat dilihat pada Gambar 4.3 dan Gambar 4.4

5.4 Data Geotekstil

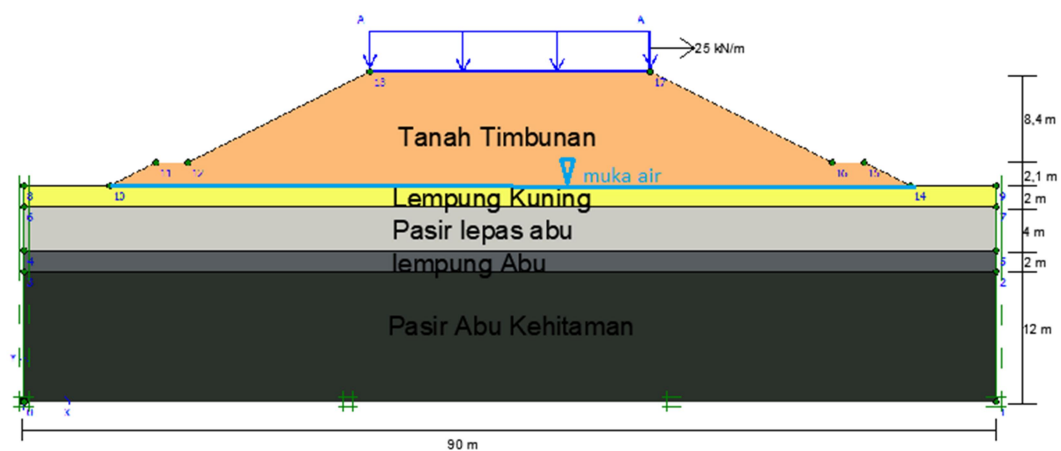
Sementara geotekstil yang digunakan adalah produk dari PT.Teknindo Geosistem Unggul. Data Geotekstil yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 4.3

5.5 Analisis Stabilitas Timbunan Asli tanpa tambahan perkuatan dengan PLAXIS 8.6

Langkah pertama yang dilakukan adalah mencari Safety Factor dari timbunan tanah asli tanpa tambahan perkuatan dan mencari bentuk bidang longsor dari timbunan tanah asli. Dalam menganalisis dua hal tersebut digunakan software PLAXIS 8.6. Analisis yang ditampilkan dibawah ini adalah timbunan dengan tinggi $10,5 \text{ meter}$ dengan tinggi muka air 20 m . Tinggi muka air dihitung dari lapisan paling bawah tanah dasar. Berikut ini adalah tahap – tahap analisis stabilitas timbunan tanah asli tanpa perkuatan dengan ketinggian $10,5 \text{ meter}$.

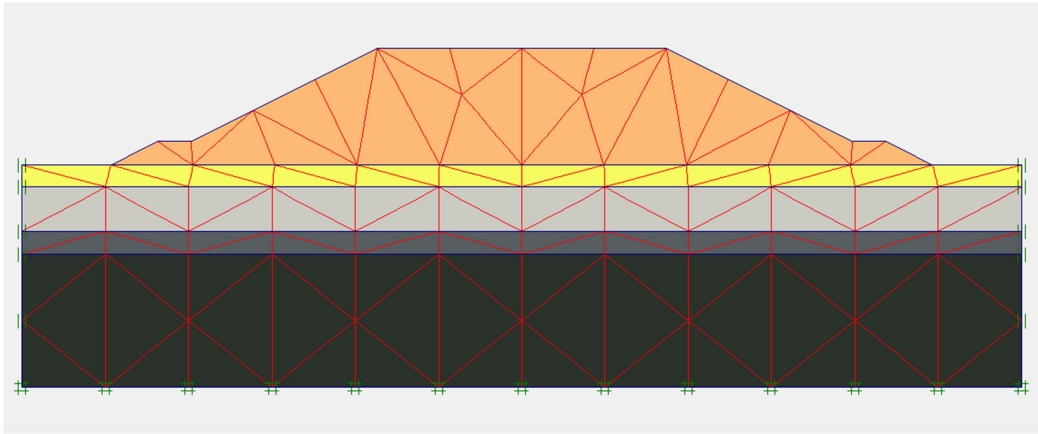
1. Pemodelan Timbunan 10,5 meter dengan muka air 20 meter

Pemodelan awal timbunan menggunakan data potongan melintang jalan pada dan data parameter tanah yang diperoleh. Pemodelan meliputi geometri timbunan, properti tanah, beban merata sebesar 25 kN/m akibat beban struktur dan beban lalu lintas. Sementara beban gempa berdasarkan peta zonasi gempa Indonesia diperoleh percepatan puncak sebesar 0,15 – 0,3 g. Pemodelan timbunan 10,5 meter dapat dilihat pada Gambar 5.2 berikut ini.



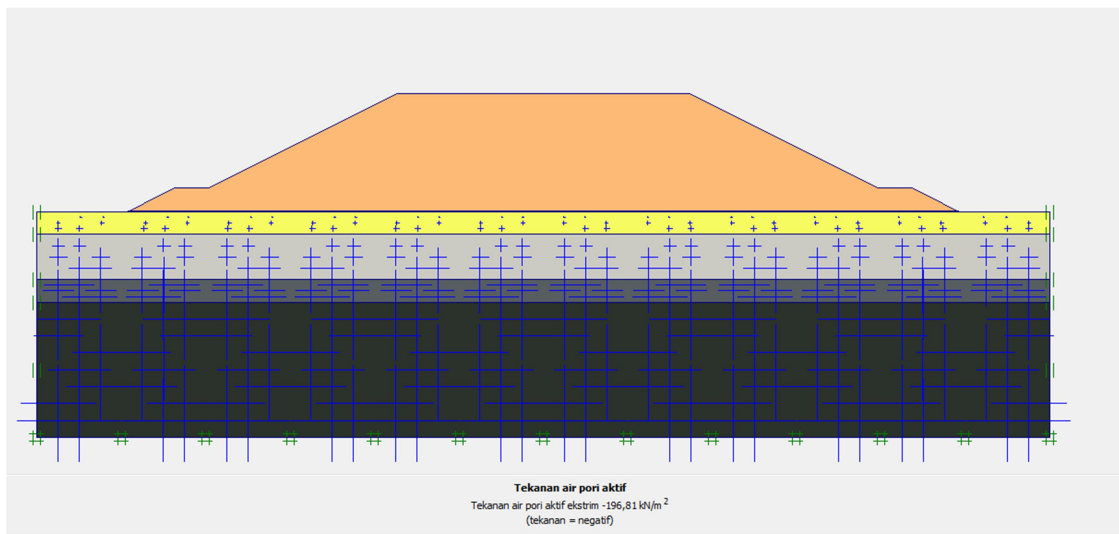
Gambar 5.2 Pemodelan timbunan 10,5 meter

Setelah selesai melakukan pemodelan maka dilakukan tahapan meshing. Tingkat kekasaran meshing yang digunakan adalah pada level medium. Hasil general meshing dapat dilihat pada Gambar 5.3 berikut ini



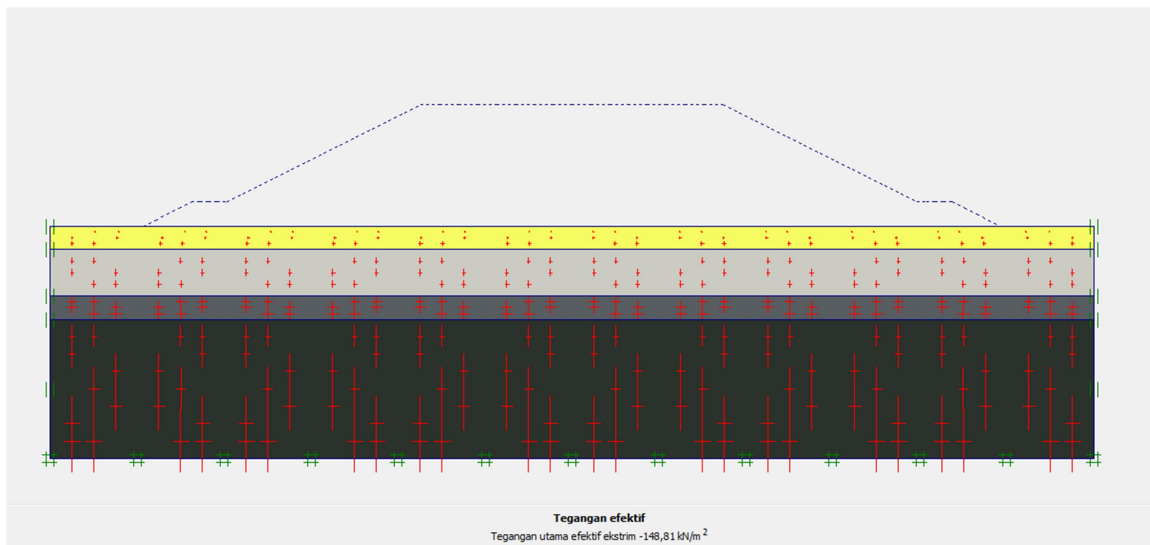
Gambar 5.3 General Meshing pada timbunan 10,5 meter

Setelah melakukan general meshing, langsung dilanjutkan ke perhitungan kondisi awal. Pertama menentukan tekanan pori air yang terjadi. Tekanan pori air dapat dilihat pada Gambar 5.4 berikut ini



Gambar 5.4 Tekanan pori air pada timbunan 10,5 meter

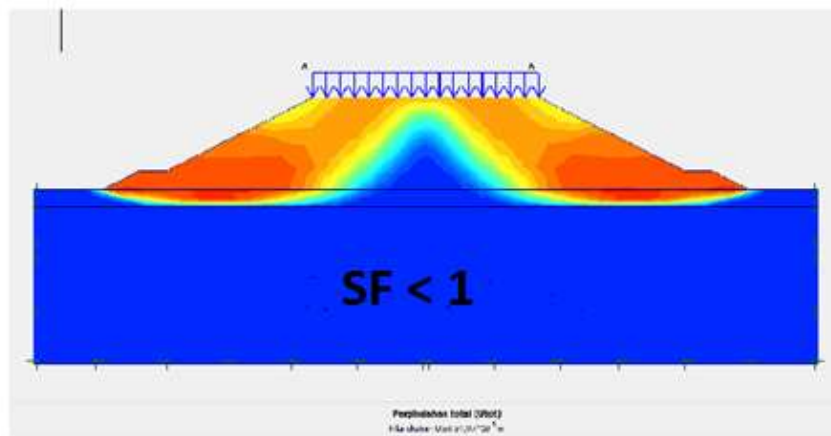
Setelah mengetahui tekanan pori air, kemudian masuk ke tahapan menentukan initial stresses. Hasil initial stresses dapat dilihat pada Gambar 5.5 berikut ini



Gambar 5.5 General Initial Stresses pada Timbunan 10,5 meter

2. Tahapan Kalkulasi model timbunan 10,5 meter

Setelah menyelesaikan tahapan pemodelan, maka masuk tahap kalkulasi. Tahapan kalkulasi pertama adalah memasukan 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 potensi longsor pada timbunan 10,5 meter yang dapat dilihat pada Gambar 5.6 berikut ini berikut ini

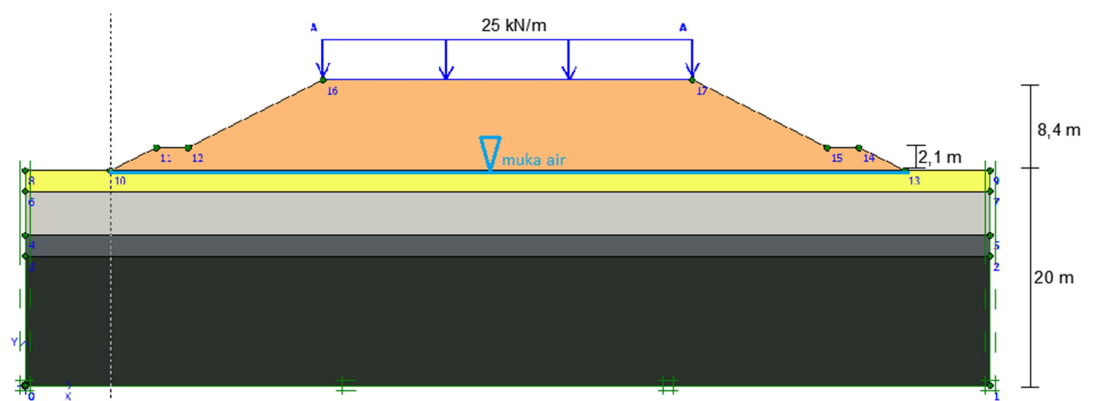


Gambar 5.6 Bidang Longsor Timbunan 10,5 meter

Pada Gambar 5.6 diatas safety factor tidak diketahui karena timbunan mengalami *collapse* ($SF < 1$). Sementara itu total displacement yang dihasilkan juga tidak diketahui karena mengalami *collapse*

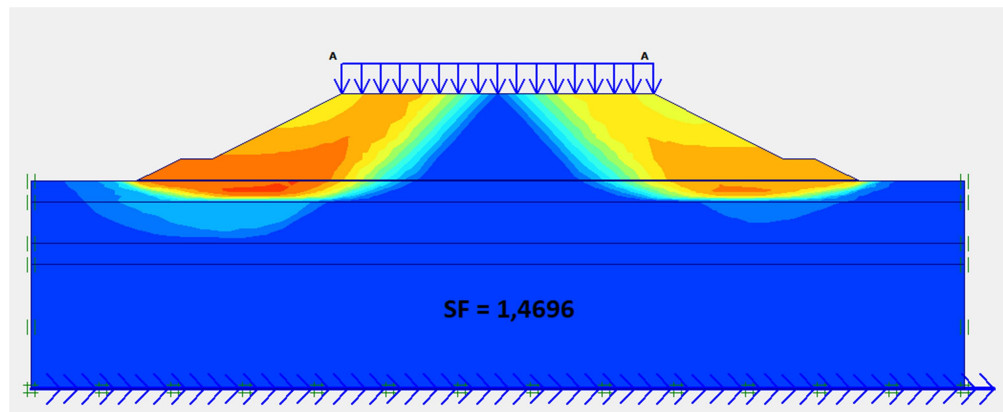
- a. Timbunan 8,4 m dengan tinggi muka air 20 m

Pemodelan selanjutnya adalah timbunan 8,4 m dengan tinggi muka air 20 m. Model timbunan tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.7 berikut ini



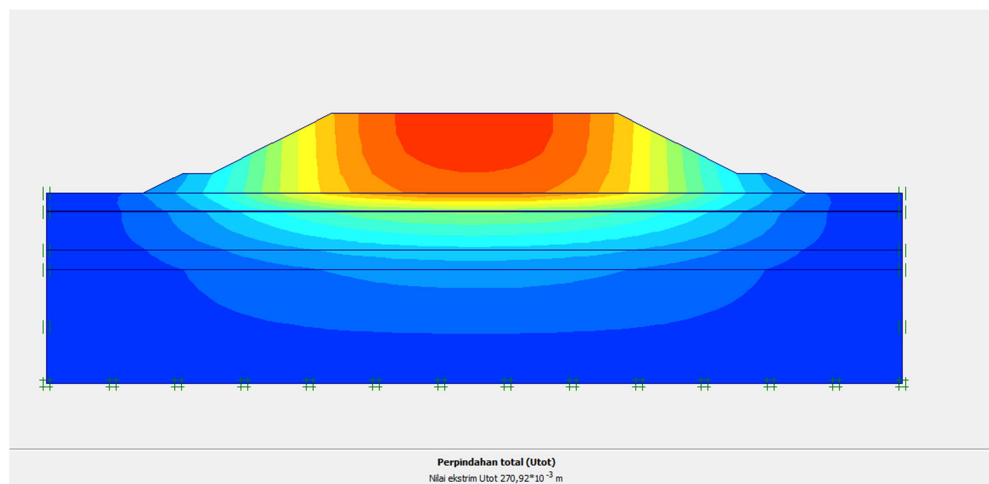
Gambar 5.7 Model Timbunan 8,4 m dengan muka air 20 meter

Sementara analisis stabilitas timbunan dengan tinggi 8,4 m dan muka air 20 meter dapat dilihat pada gambar – gambar berikut ini



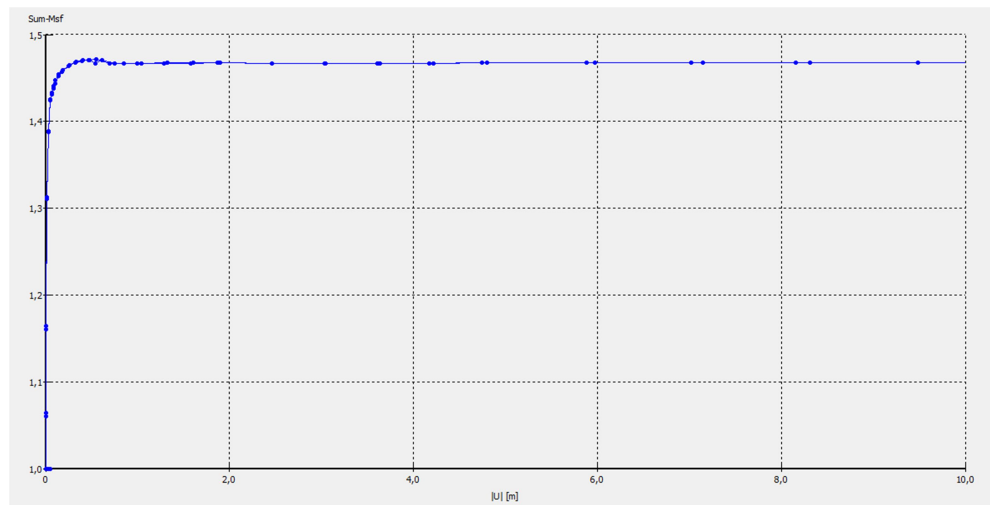
Gambar 5.8 Bidang longsor pada timbunan 8,4 m dengan muka air 20 meter

Pada Gambar diatas , model timbunan tersebut menghasilkan SF sebesar 1,4696. Konsolidasi pada timbunan tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.9 berikut ini.



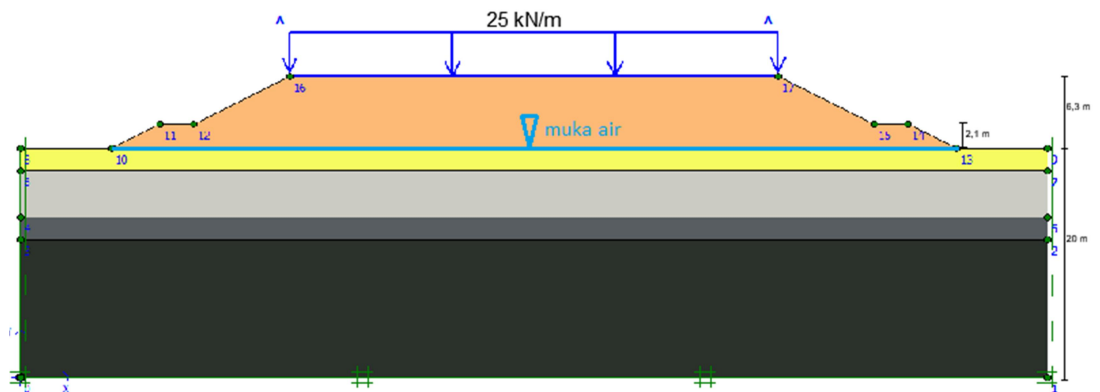
Gambar 5.9 Perpindahan total pada timbunan 8,4 m dengan muka air 20 meter

Perpindahan tanah yang terjadi sebesar 0,2709 meter. Berdasarkan hasil diatas, maka didapat kurva SF vs Perpindahan pada Gambar 5.10 berikut ini.



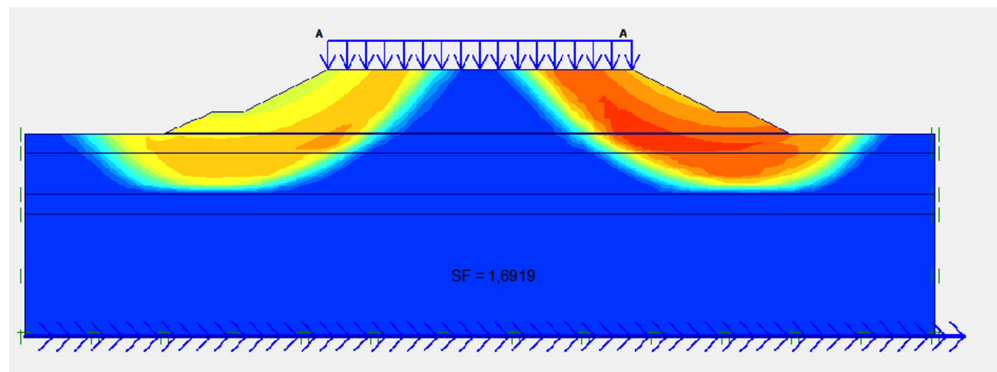
Gambar 5.10 Kurva SF vs Perpindahan timbunan 8,4 dengan tinggi muka air 20 m

- b. Timbunan 6,3 m dengan muka air 20 m
 Model timbunan 6,3 m dengan muka air 20 m dapat dilihat pada Gambar 5.11 berikut ini



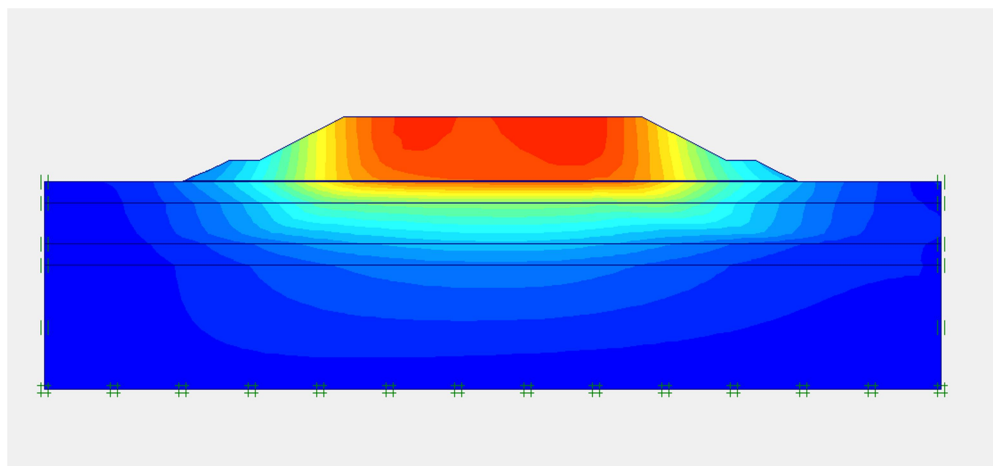
Gambar 5.11 Model timbunan 6,3 m dengan tinggi muka air 20 m

Setelah dilakukan proses kalkulasi didapatkan hasil bidang longsor seperti pada Gambar 5.12 berikut ini.



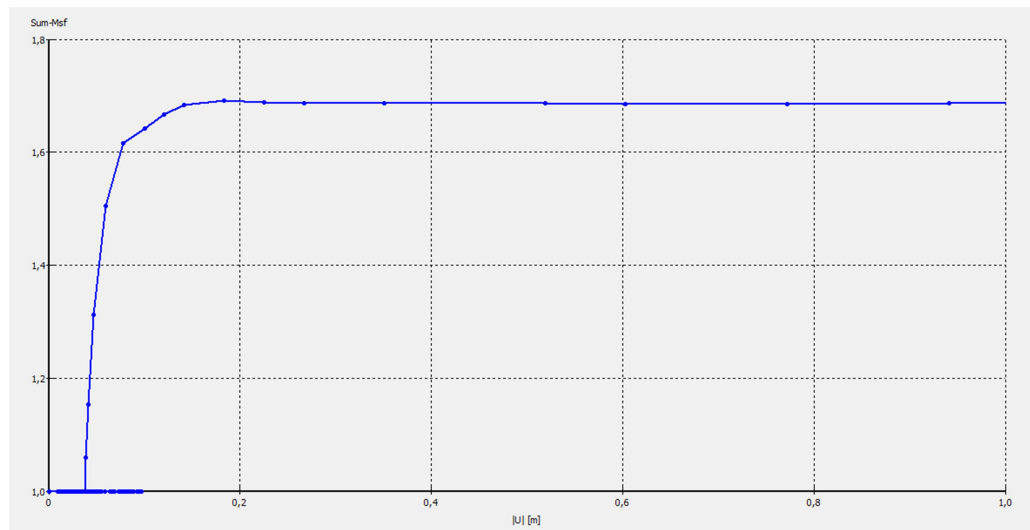
Gambar 5.12 Bidang Longsor pada timbunan 6,3 m dengan tinggi muka air 20 m

Dari gambar diatas dapat dilihat bahwa timbunan memiliki SF sebesar 1,6919. Sementara untuk perpindahan total dari timbunan dapat dilihat pada Gambar 5.13 berikut ini



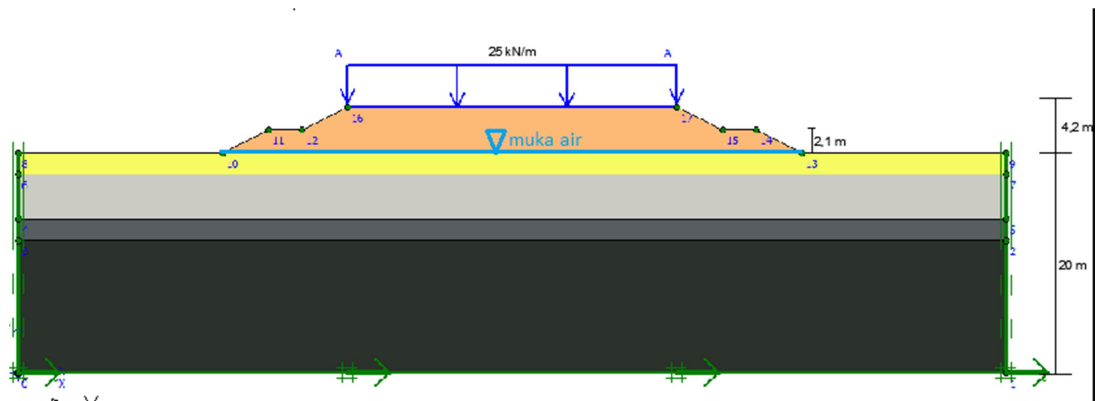
Gambar 5.13 Perpindahan Total pada timbunan 6,3 m dengan tinggi muka air 20 m

Dari gambar diatas dapat dilihat nilai perpindahan sebesar 0,249 m. Dari analisis juga didapatkan Grafik antara SF dengan perpindahan seperti Gambar 5.14 berikut ini



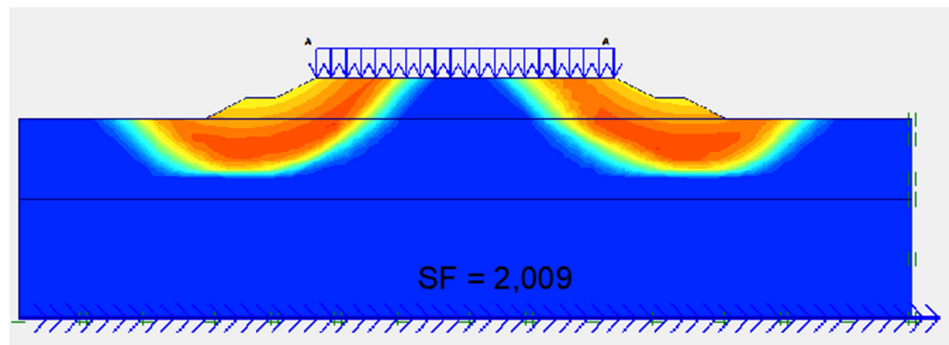
Gambar 5.14 Grafik SF vs Perpindahan Total

- c. Timbunan 4,2 m dengan tinggi muka air 20 m
 Model timbunan 4,2 m dengan muka air 20 m dapat dilihat pada Gambar 5.15 berikut ini



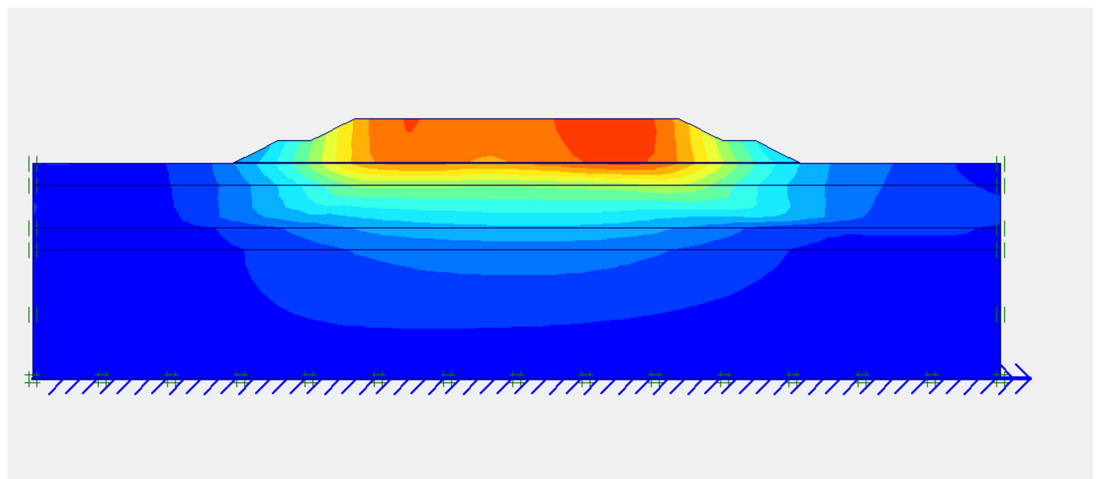
Gambar 5.15 Model timbunan 4,2 m dengan muka air 20 m

Setelah dilakukan proses kalkulasi didapatkan hasil bidang longsor seperti pada Gambar 5.16 berikut ini



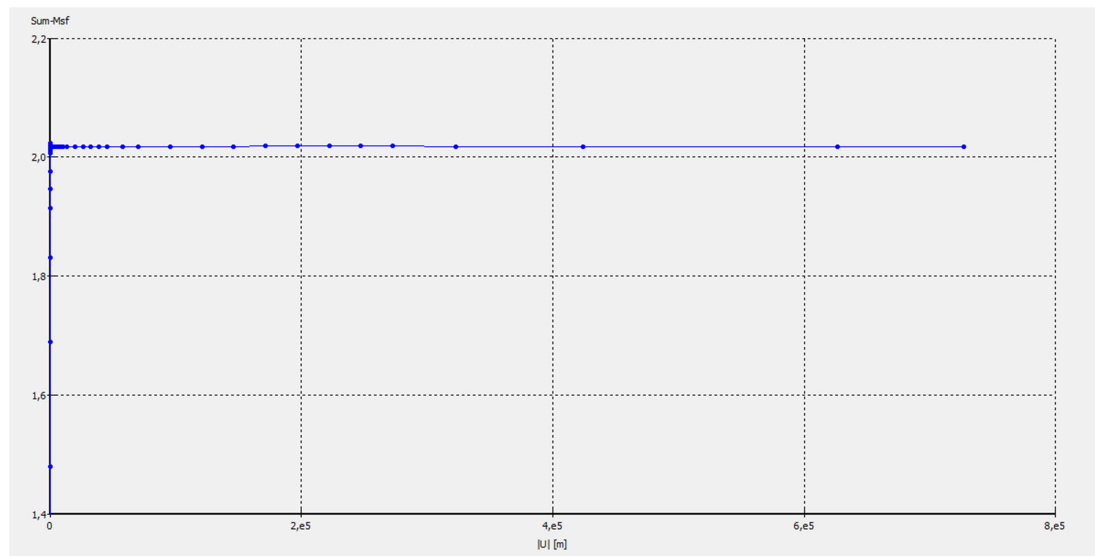
Gambar 5.16 Bidang longsor timbunan 4,2 m dengan muka air 20 m

Dari gambar diatas dapat dilihat bahwa timbunan memiliki SF sebesar 2,009. Sementara untuk perpindahan total dari timbunan dapat dilihat pada Gambar 5.17 berikut ini



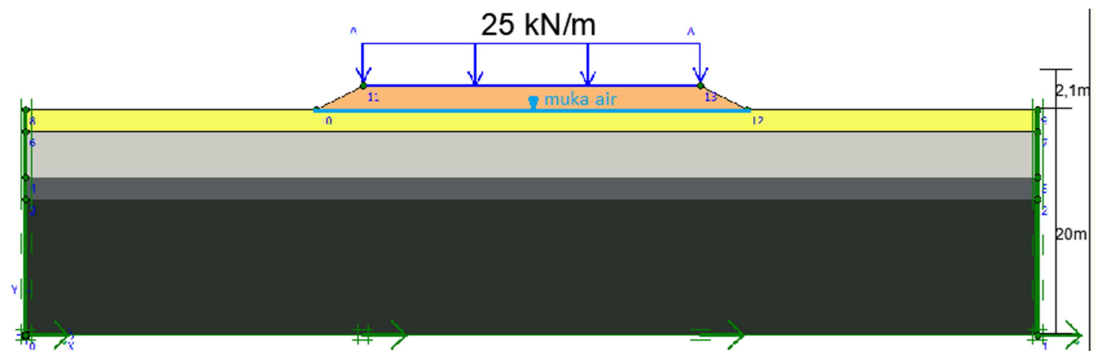
Gambar 5.17 Perpindahan total timbunan 4,2 m dengan muka air 20 m

Dari gambar diatas nilai perpindahan sebesar 0,162 m. Dari analisis juga didapatkan Grafik antara SF dengan perpindahan seperti Gambar 5.18 berikut ini



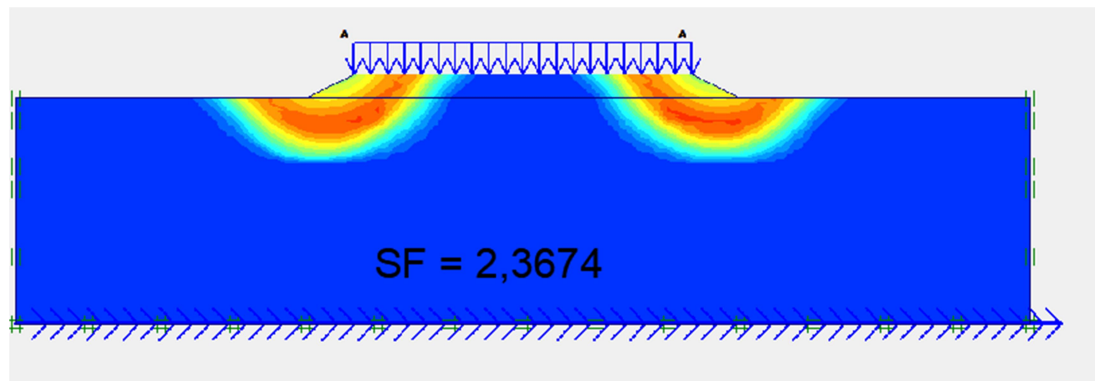
Gambar 5.18 Grafik SF vs Perpindahan timbunan 4,2 m dengan muka air 20 m

- d. Timbunan 2,1 m dengan tinggi muka air 20 m
 Model timbunan 2,1 m dengan muka air 20 m dapat dilihat pada Gambar 5.19 berikut ini



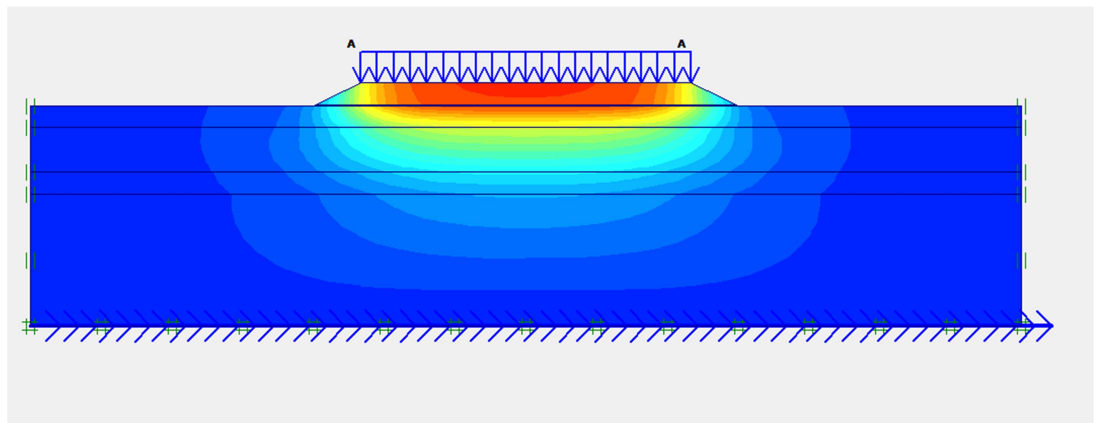
Gambar 5.19 Model timbunan timbunan 2,1 m dengan muka air 20 m

Setelah dilakukan proses kalkulasi didapatkan hasil bidang longsor seperti pada Gambar 5.20 berikut ini



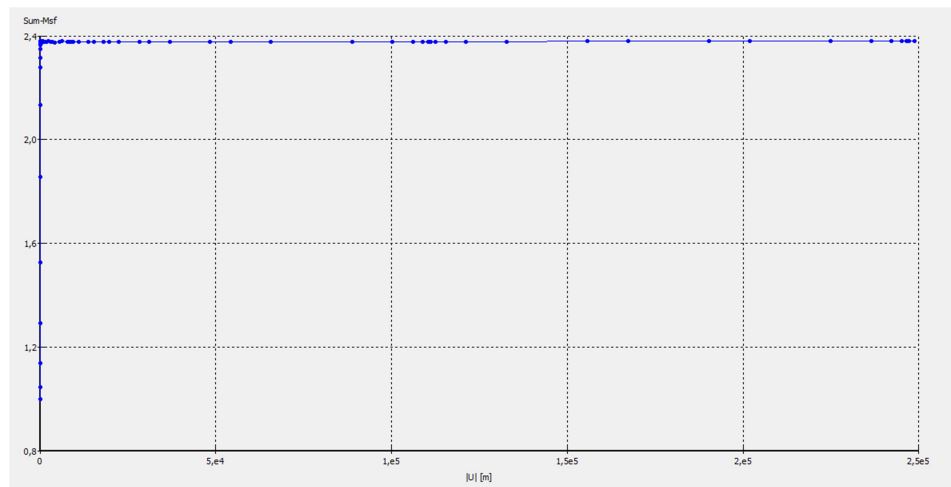
Gambar 5.20 Bidang Longsor pada timbunan timbunan 2,1 m dengan muka air 20 m

Dari gambar diatas dapat dilihat bahwa timbunan memiliki SF sebesar 2,3674. Sementara untuk perpindahan total dari timbunan dapat dilihat pada Gambar 5.21 berikut ini;



Gambar 5.21 Perpindahan total timbunan 2,1 m dengan muka air 20 m

Dari gambar diatas dapat dilihat nilai perpindahan sebesar 0,105 m. Dari analisis juga didapatkan Grafik antara SF dengan perpindahan seperti Gambar 5.22 berikut ini

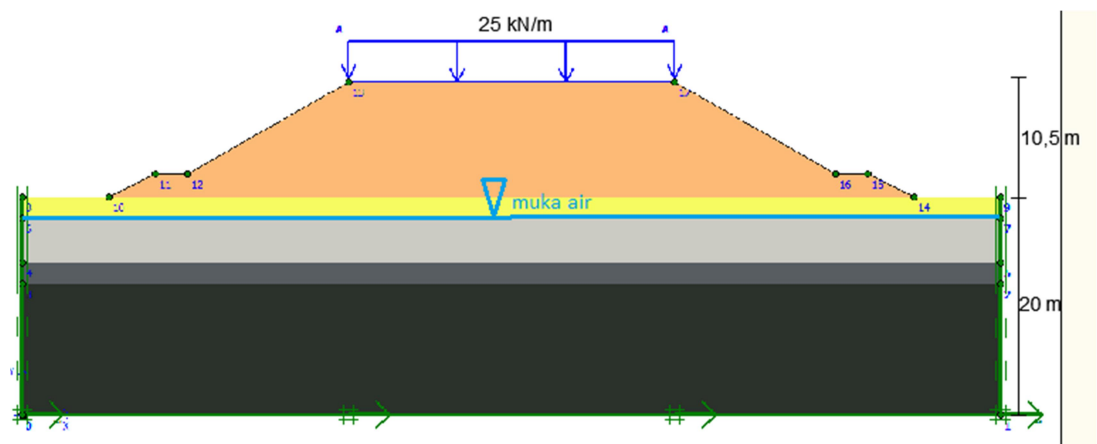


Gambar 5.22 Grafik SF vs Perpindahan timbunan 4,2 m dengan muka air 20 m

Selanjutnya dilakukan analisis pada kondisi tinggi muka air 18 m. Tinggi muka air juga dihitung dari lapisan paling bawah tanah dasar. Berikut ini adalah analisis pada timbunan dengan tinggi muka air 18 m.

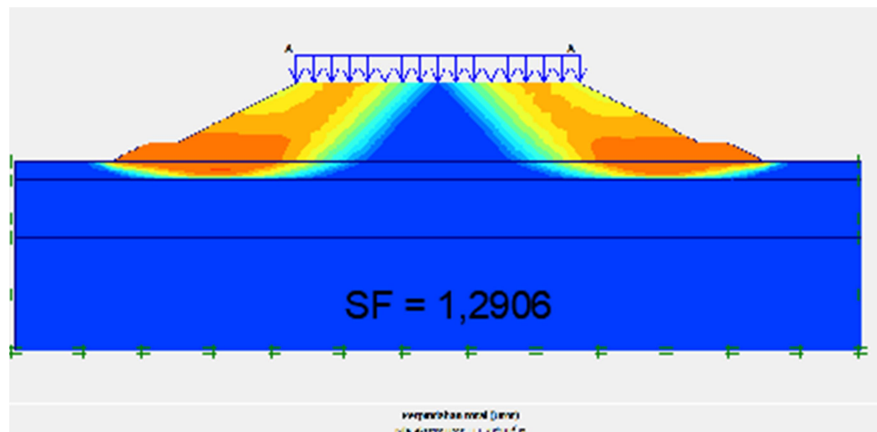
- a. Timbunan 10,5 m dengan tinggi muka air 18 m

Model timbunan 10,5 m dengan muka air 18m dapat dilihat pada Gambar 5.23 berikut ini



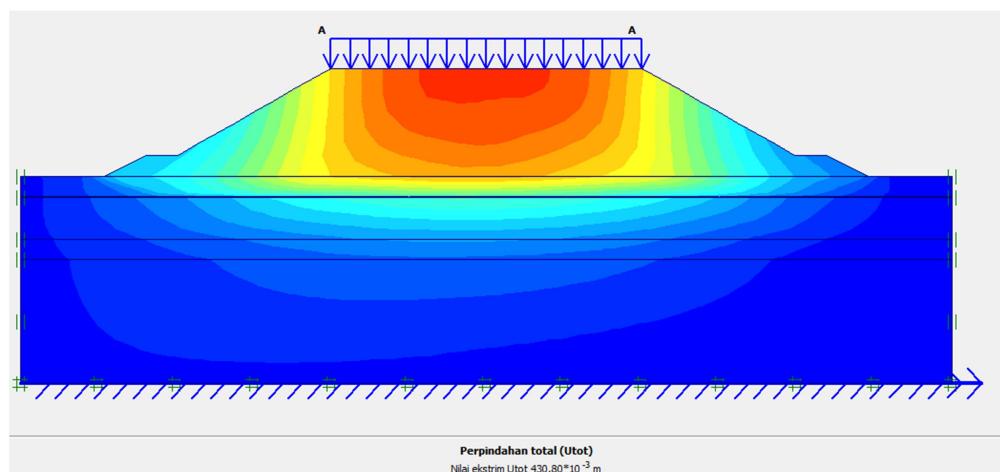
Gambar 5.23 Model timbunan timbunan 10,5 m dengan muka air 18 m

Setelah dilakukan proses kalkulasi didapatkan hasil bidang longsor seperti pada Gambar 5.24 berikut ini



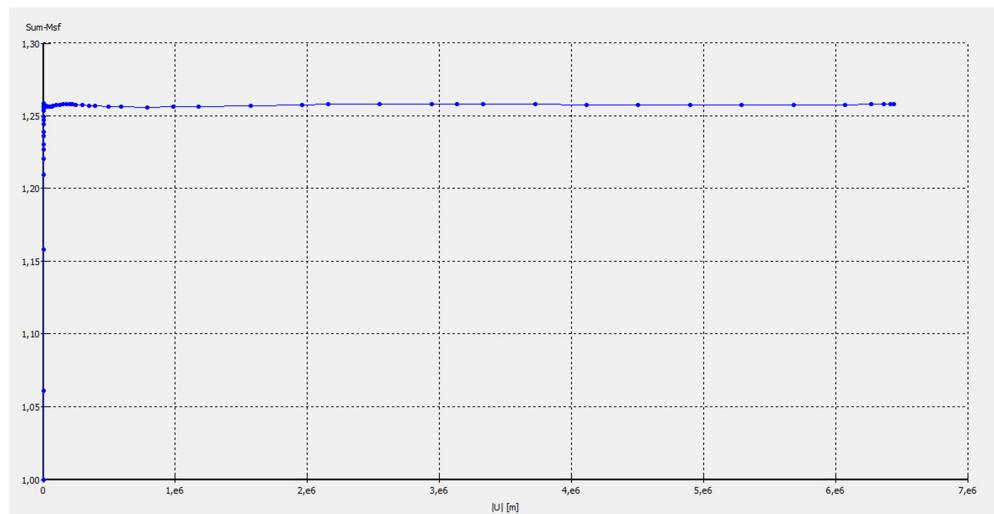
Gambar 5.24 Bidang Longsor pada timbunan timbunan 10,5 m dengan muka air 18 m

Dari gambar diatas dapat dilihat bahwa timbunan memiliki SF sebesar 1,2906. Sementara untuk perpindahan total dari timbunan dapat dilihat pada Gambar 5.25 berikut ini



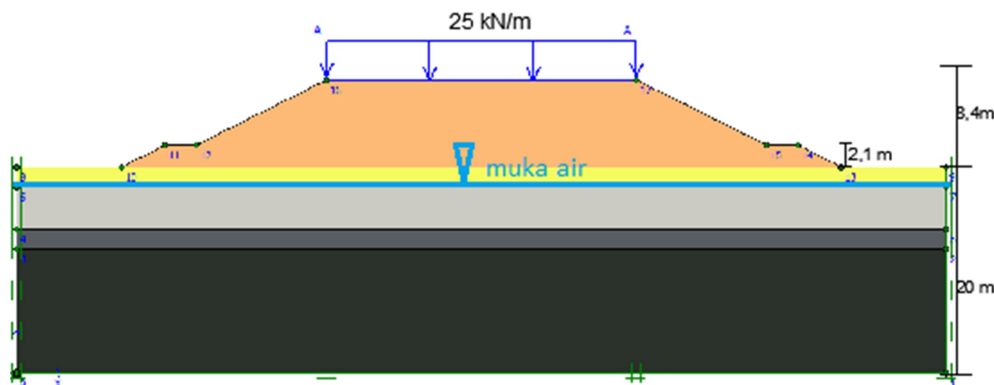
Gambar 5.25 Perpindahan total timbunan timbunan 10,5 m dengan muka air 18 m

Dari gambar diatas dapat dilihat nilai perpindahan sebesar 0,431 m. Dari analisis juga didapatkan Grafik antara SF dengan perpindahan seperti Gambar 5.26 berikut ini



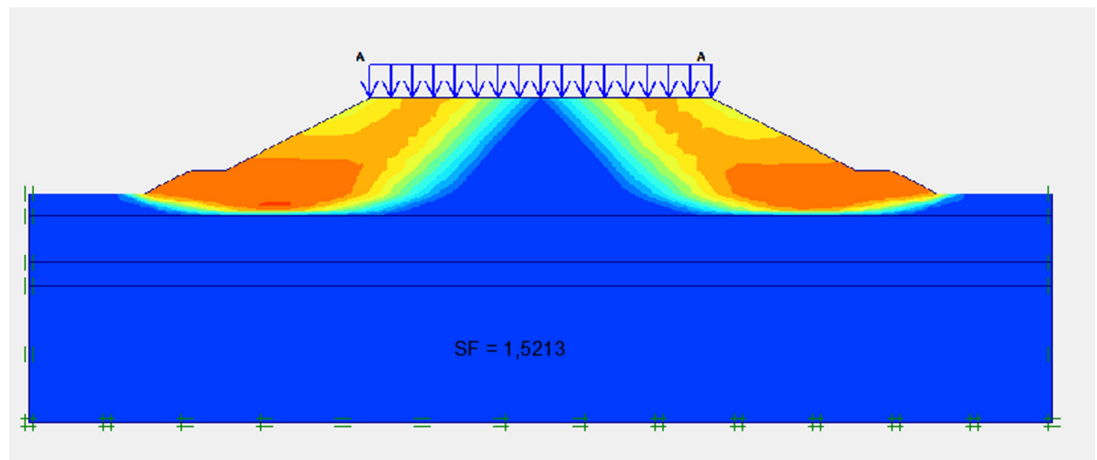
Gambar 5.26 Grafik SF vs Perpindahan timbunan 4,2 m dengan muka air 20 m

- b. Timbunan 8,4 m dengan tinggi muka air 18 m
 Model timbunan 8,4 m dengan tinggi muka air 18 m dapat dilihat pada Gambar 5.27 berikut ini



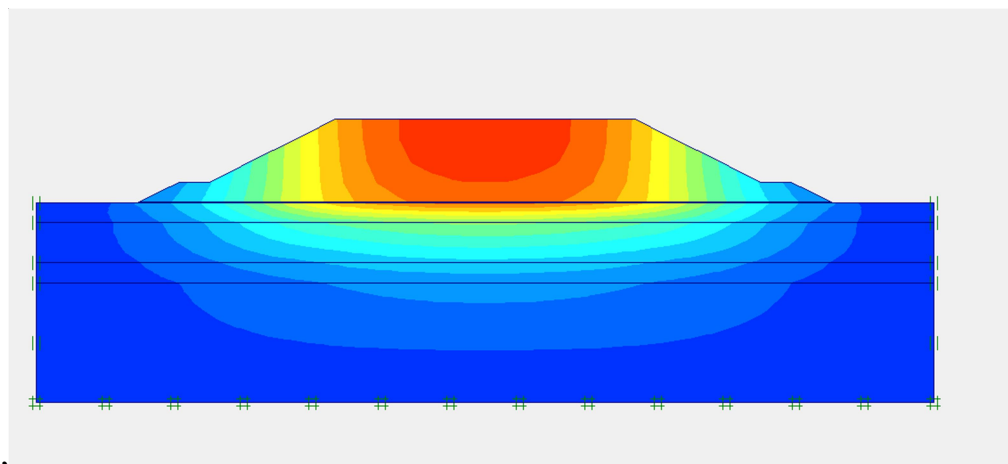
Gambar 5.27 Model timbunan 8,4 m dengan tinggi muka air 18 m

Setelah dilakukan proses kalkulasi didapatkan hasil bidang longsor seperti pada Gambar 5.26 berikut ini



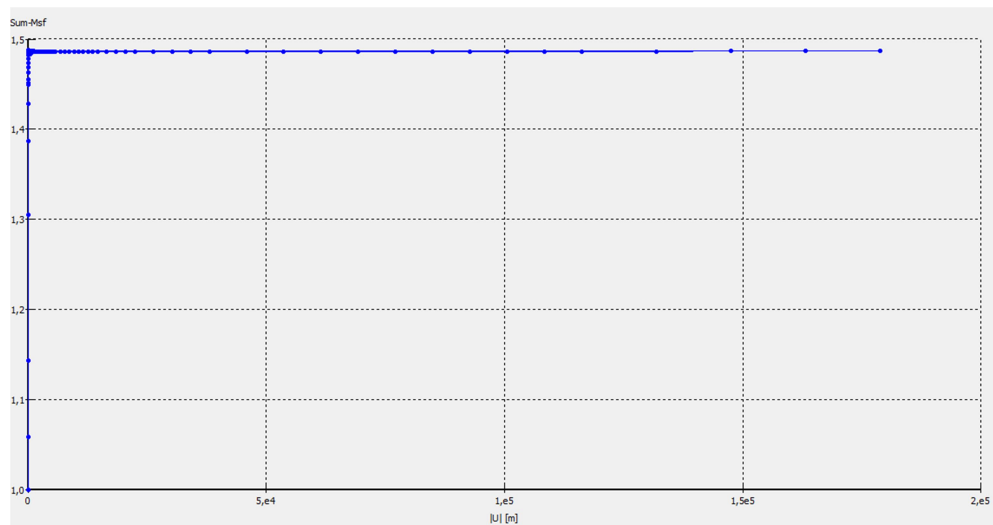
Gambar 5.28 Bidang Longsor pada timbunan 8,4 m dengan tinggi muka air 18 m

Dari gambar diatas dapat dilihat bahwa timbunan memiliki SF sebesar 1,5213. Sementara untuk perpindahan total dari timbunan dapat dilihat pada Gambar 5.29 berikut ini



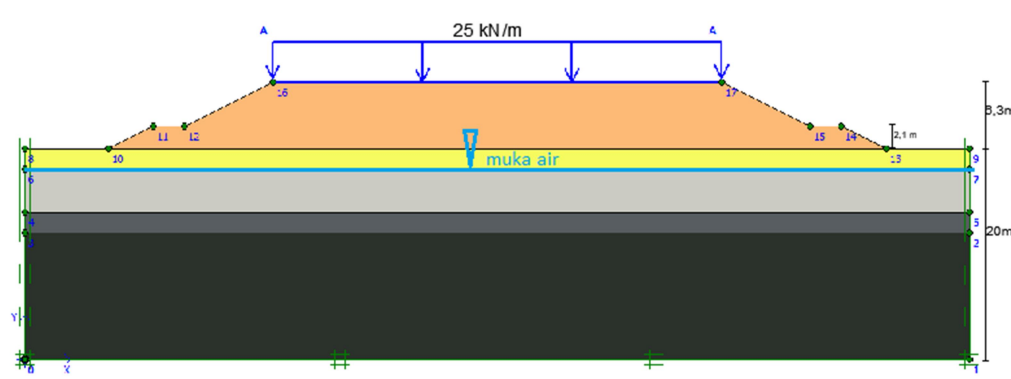
Gambar 5.29 Perpindahan total timbunan 8,4 m dengan tinggi muka air 18 m

Dari gambar diatas dapat dilihat nilai perpindahan sebesar 0,255 m. Dari analisis juga didapatkan Grafik antara SF dengan perpindahan seperti Gambar 5.30 berikut ini



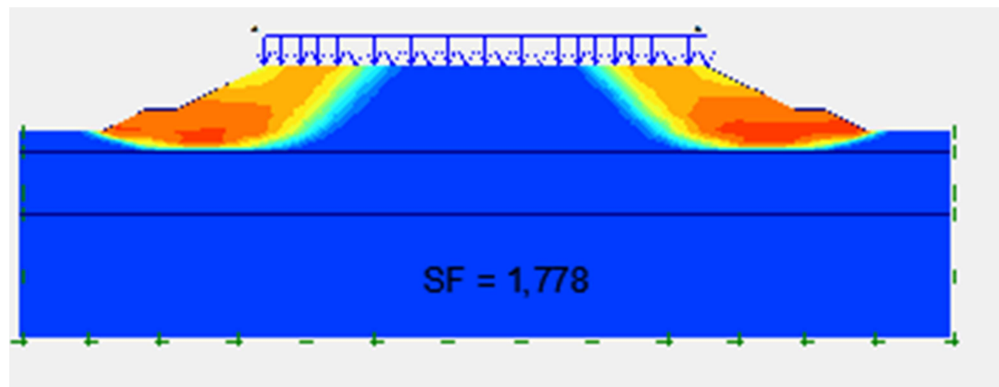
Gambar 5.30 Grafik SF vs Perpindahan timbunan 8,4 m dengan tinggi muka air 18 m

- c. Timbunan 6,3 m dengan tinggi muka air 18 m
 Model 6,3 m dengan tinggi muka air 18 m dapat dilihat pada Gambar 5.31 berikut ini



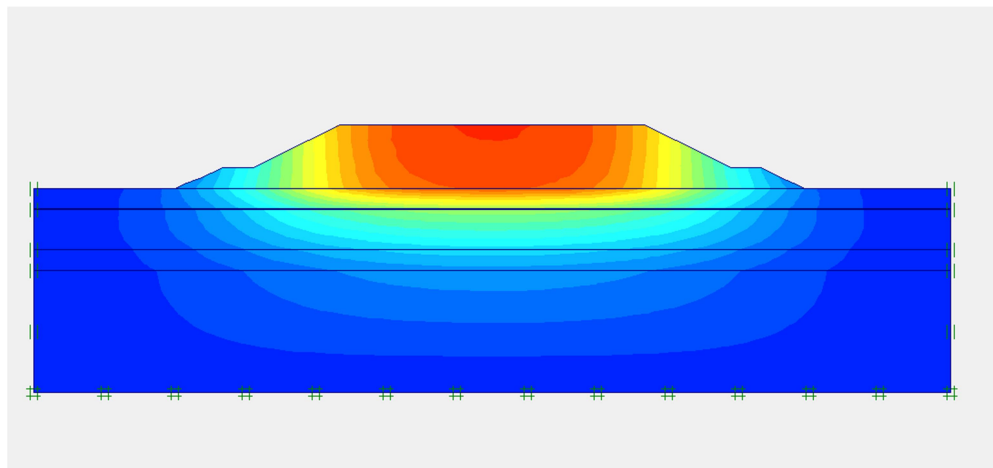
Gambar 5.31 Model timbunan 6,3 m dengan tinggi muka air 18 m

Setelah dilakukan proses kalkulasi didapatkan hasil bidang longsor seperti pada Gambar 5.32 berikut ini



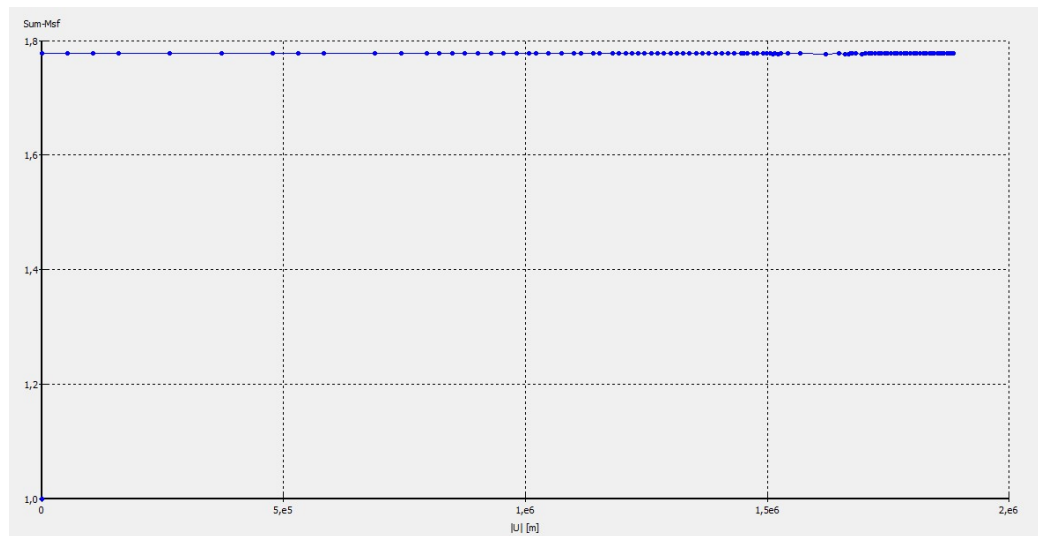
Gambar 5.32 Bidang Longsor pada timbunan 6,3 m dengan tinggi muka air 18 m

Dari gambar diatas dapat dilihat bahwa timbunan memiliki SF sebesar 1,778. Sementara untuk perpindahan total dari timbunan dapat dilihat pada Gambar 5.33 berikut ini



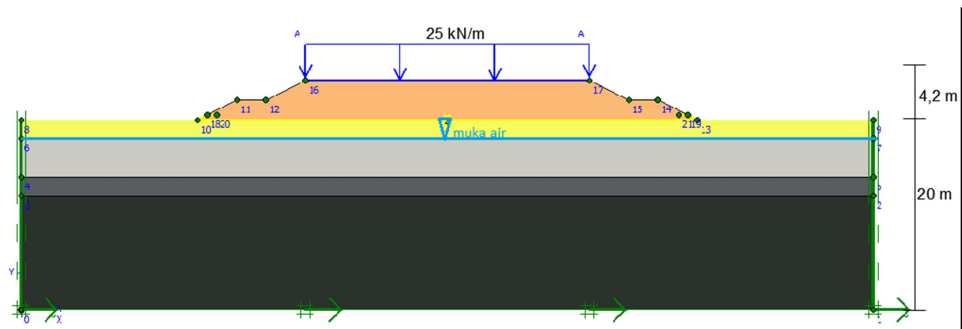
Gambar 5.33 Perpindahan total timbunan 6,3 m dengan tinggi muka air 18 m

Dari gambar diatas dapat dilihat nilai perpindahan sebesar 0,238 m. Dari analisis juga didapatkan Grafik antara SF dengan perpindahan seperti Gambar 5.34 berikut ini



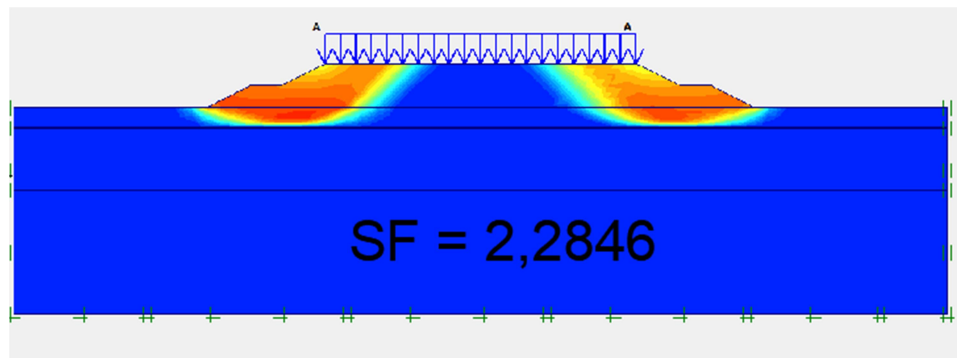
Gambar 5.34 Grafik SF vs Perpindahan timbunan 6,3 m dengan tinggi muka air 18 m

Timbunan 4,2 m dengan tinggi muka air 18 m
 Model timbunan 4,2 m dengan tinggi muka air 18 m dapat dilihat pada Gambar 5.35 berikut ini



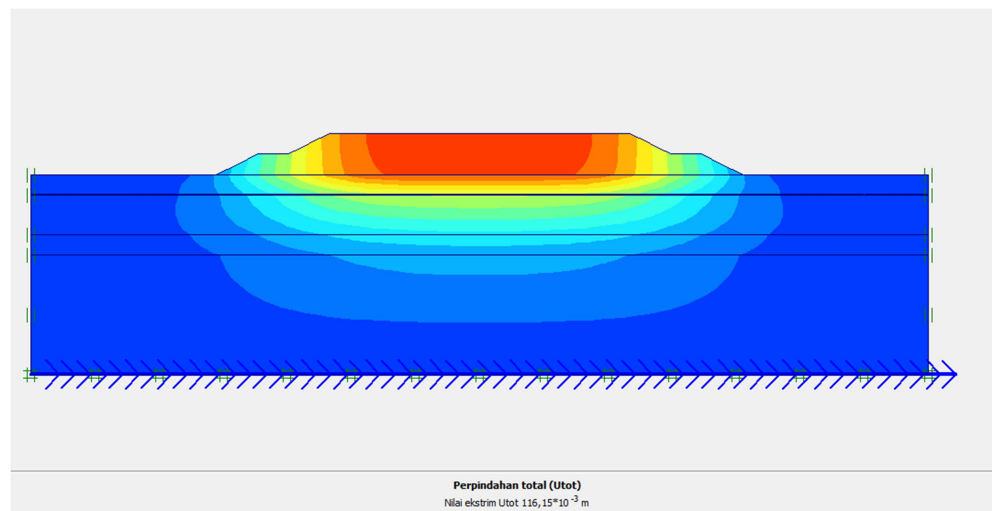
Gambar 5.35 Model timbunan 4,2 m dengan tinggi muka air 18 m

Setelah dilakukan proses kalkulasi didapatkan hasil bidang longsor seperti pada Gambar 5.36 berikut ini



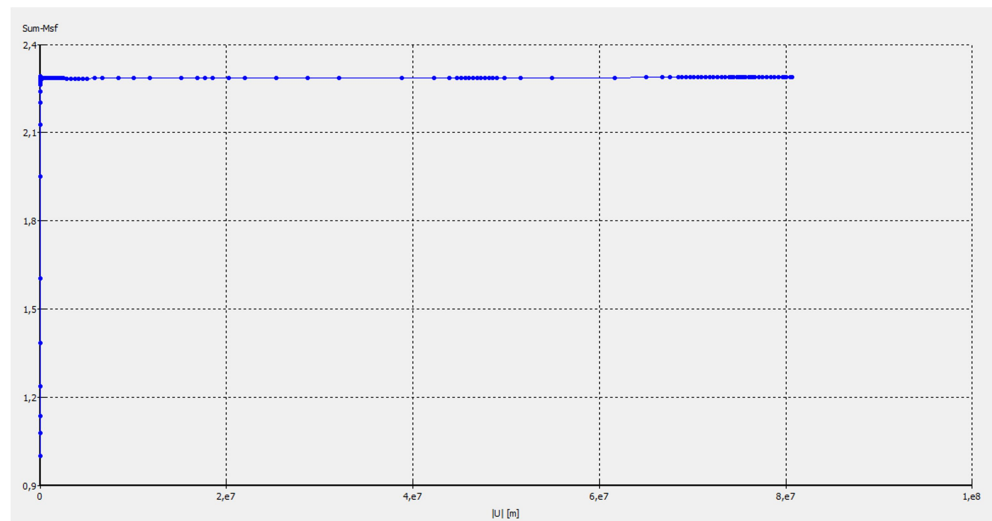
Gambar 5.36 Bidang Longsor pada timbunan 4,2 m dengan tinggi muka air 18 m

Dari gambar diatas dapat dilihat bahwa timbunan memiliki SF sebesar 2,2846. Sementara untuk perpindahan total dari timbunan dapat dilihat pada Gambar 5.37 berikut ini



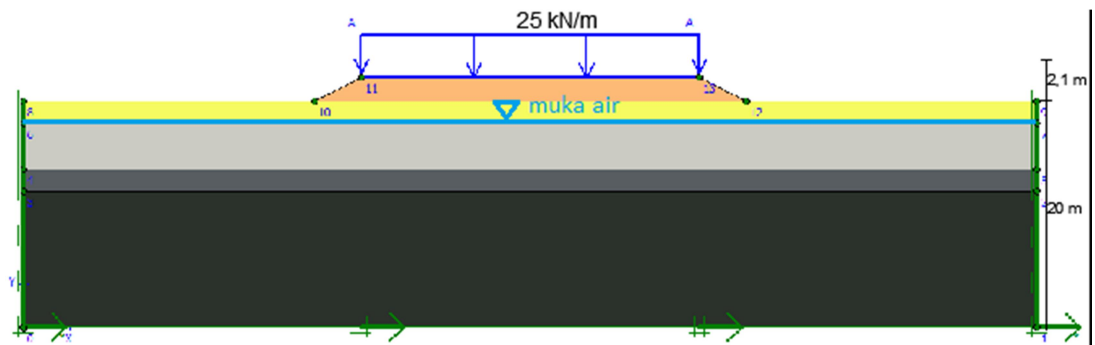
Gambar 5.37 Perpindahan total timbunan 4,2 m dengan tinggi muka air 18 m

Dari gambar diatas dapat dilihat nilai perpindahan sebesar 0,127 m. Dari analisis juga didapatkan Grafik antara SF dengan perpindahan seperti Gambar 5.38 berikut ini



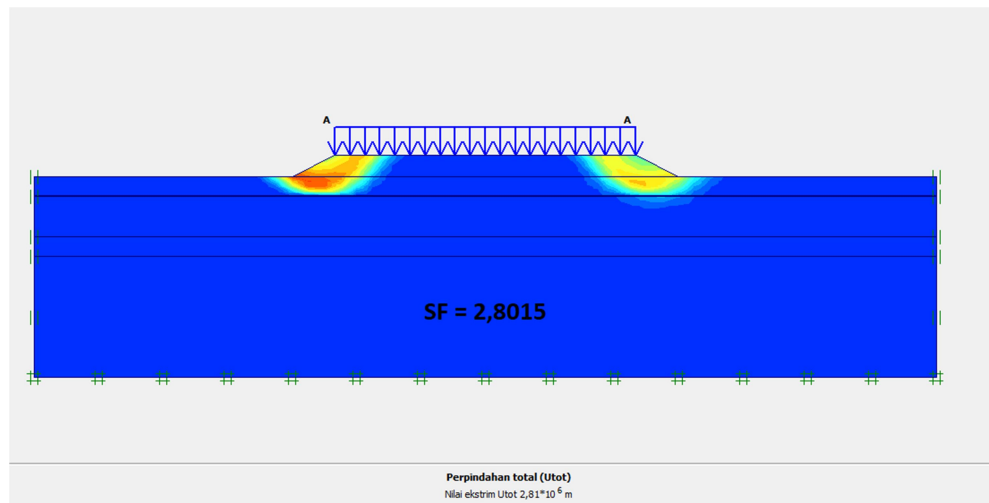
Gambar 5.38 Grafik SF vs Perpindahan timbunan 4,2 m dengan tinggi muka air 18 m

- d. Timbunan 2,1 m dengan tinggi muka air 18 m
 Model timbunan 2,1 m dengan tinggi muka air 18 m dapat dilihat pada Gambar 5.39 berikut ini



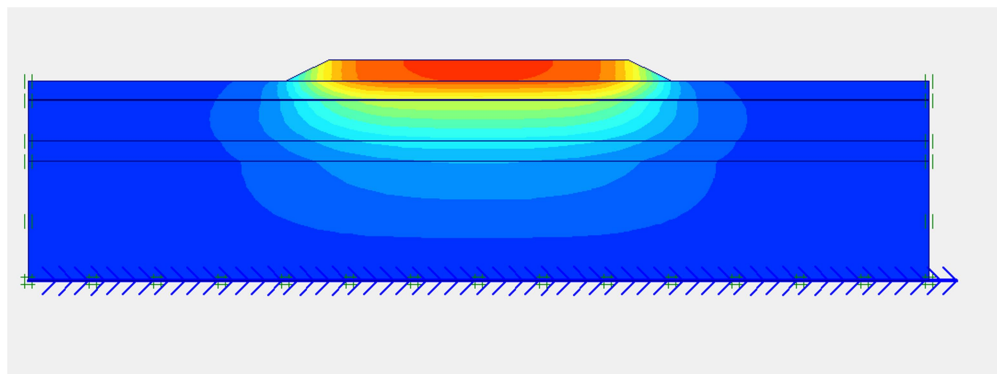
Gambar 5.39 Model timbunan 2,1 m dengan tinggi muka air 18 m

Setelah dilakukan proses kalkulasi didapatkan hasil bidang longsor seperti pada Gambar 5.40 berikut ini



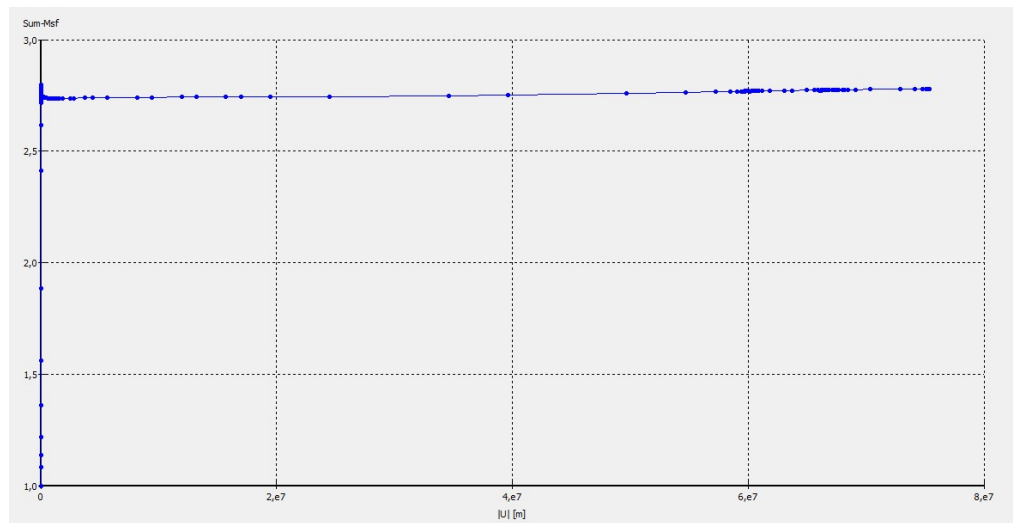
Gambar 5.40 Bidang Longsor pada timbunan 2,1 m dengan tinggi muka air 18 m

Dari gambar diatas dapat dilihat bahwa timbunan memiliki SF sebesar 2,8015. Sementara untuk perpindahan total dari timbunan dapat dilihat pada Gambar 5.41 berikut ini



Gambar 5.41 Perpindahan total timbunan 2,1 m dengan tinggi muka air 18 m

Dari gambar diatas dapat dilihat nilai perpindahan sebesar 0,098 m. Dari analisis juga didapatkan Grafik antara SF dengan perpindahan seperti Gambar 5.42 berikut ini



Gambar 5.42 Grafik SF vs Perpindahan timbunan 2,1 m dengan tinggi muka air 18 m

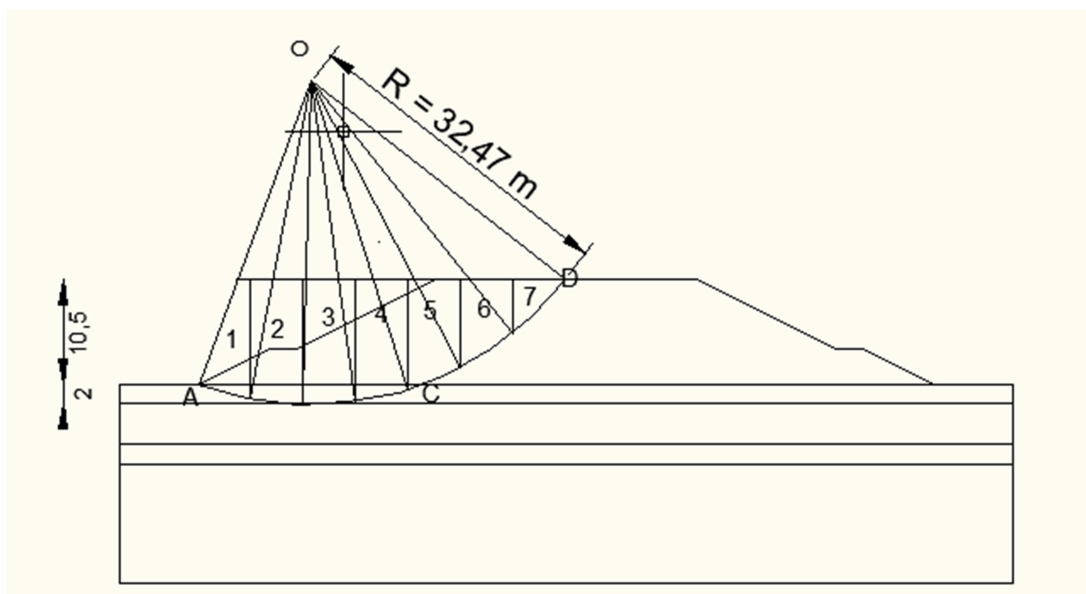
Rekapitulasi seluruh hasil perhitungan dengan PLAXIS 8.6 pada semua variasi tinggi timbunan dapat dilihat pada Tabel 5.1 berikut ini

Tabel 5.1 Rekapitulasi Hasil Analisis Seluruh Timbunan Tanah Asli tanpa penambahan perkuatan dengan Plaxis 8.6

Tinggi Timbunan (meter)	Tinggi muka air (meter)	Safety Factor (>1,5)	Penurunan Tanah (meter)
2,1	18	2,8015	0,098
	20	2,3674	0,105
4,2	18	2,2846	0,127
	20	2,009	0,162
6,3	18	1,778	0,238
	20	1,6919	0,249
8,4	18	1,5213	0,255
	20	1,4696	0,271
10,5	18	1,2906	0,423
	20	<i>Collapse</i>	<i>Collapse</i>

5.6 Perhitungan dengan Metode Fellenius

Berdasarkan analisis PLAXIS diatas maka timbunan yang memiliki safety factor tidak aman yaitu timbunan 10,5 meter dengan muka air 20 meter. Pada perhitungan ini akan dijabarkan contoh perhitungan manual pada timbunan 10,5 meter sehingga dapat diketahui nilai *safety factory* yang terjadi. Perhitungan manual yang digunakan adalah metode fellenius. Sebelum melakukan perhitungan maka harus dibuat pemodelan timbunan sehingga diperoleh pias – pias yang akan menjadi dasar perhitungan. Pemodelan dalam melakukan perhitungan manual dapat dilihat pada Gambar 5.43 berikut ini



Gambar 5.43 Pemodelan timbunan dalam metode Fellenius

- a. Perhitungan berat irisan tanah

Luas per pias didapatkan dengan bantuan program Autocad 2013.

$$W_i = \gamma \times A_i$$

Untuk irisan yang terdapat beban lalu lintas di atasnya, maka berat irisan dapat diperhitungkan dengan rumus berikut ini.

$$W_i = (\gamma \times A_i) + (q \times L)$$

Dimana q merupakan besarnya beban lalu lintas dan L merupakan lebar irisan yang terkena beban (m).

Berikut ini merupakan perhitungan berat irisan 1 sampai dengan 7 untuk lereng tanpa perkuatan.

$$W1 = \gamma \times A1 = (16,6 \times 8,478) + (24 \times 6,406) = 236,819 \text{ kN}$$

$$W2 = \gamma \times A2 = (16,6 \times 12,482) + (24 \times 7,560) = 320,586 \text{ kN}$$

$$W3 = \gamma \times A3 = (16,6 \times 20,041) + (24 \times 7,983) = 452,433 \text{ kN}$$

$$W4 = \gamma \times A4 = (16,6 \times 29,155) + (24 \times 4,545) = 552,149 \text{ kN}$$

$$W5 = \gamma \times A5 = (16,6 \times 36,196) = 600,859 \text{ kN}$$

$$W6 = \gamma \times A6 = (16,6 \times 17,9837) = 524,628 \text{ kN}$$

$$W7 = \gamma \times A7 = (16,6 \times 17,9837) = 423,768 \text{ kN}$$

b. Perhitungan $W_t \times \sin \alpha$

$$W_{t1} = W_t \times \sin \alpha = 236,819 \times \sin 11^\circ = 45,187 \text{ kN}$$

c. Perhitungan $N = W_t \times \cos \alpha$

$$W_{t1} = W_t \times \cos \alpha = 236,819 \times \cos 11^\circ = 232,468 \text{ kN}$$

d. Perhitungan $N \times \tan \alpha$

$$N_{t1} = N \times \tan \alpha = 232,468 \times \tan 11^\circ = 12,183 \text{ kN}$$

Hasil selengkapnya perhitungan dengan metode fellenius dapat dilihat pada Tabel 5.2 berikut ini

Tabel 5.2 Perhitungan Manual dengan Metode Fellenius

Pias	Hi (m)		B (m)	W = bh γ (kN)	θ (°)	N = w cos θ tan ϕ (kN)	N* tan ϕ (kN)	T = W sin θ (kN)
	timbunan	lapis 1						
1	1,8	1,360	4,71	236,819	-11,000	232,468	12,183	-45,187
2	2,65	1,605	4,71	320,586	-4,000	319,805	16,760	-22,363
3	4,255	1,695	4,71	452,433	3,000	451,813	103,345	23,679
4	6,190	0,965	4,71	552,149	10,000	543,760	124,377	95,880
5	7,685		4,71	600,859	16,000	577,583	132,113	165,619
6	6,710		4,71	524,628	22,000	486,427	111,263	196,529
7	5,420		4,71	423,768	28,000	374,165	85,585	198,947
JUMLAH							585,626	628,170

Nilai faktor keamanan dari perhitungan tersebut di atas adalah:

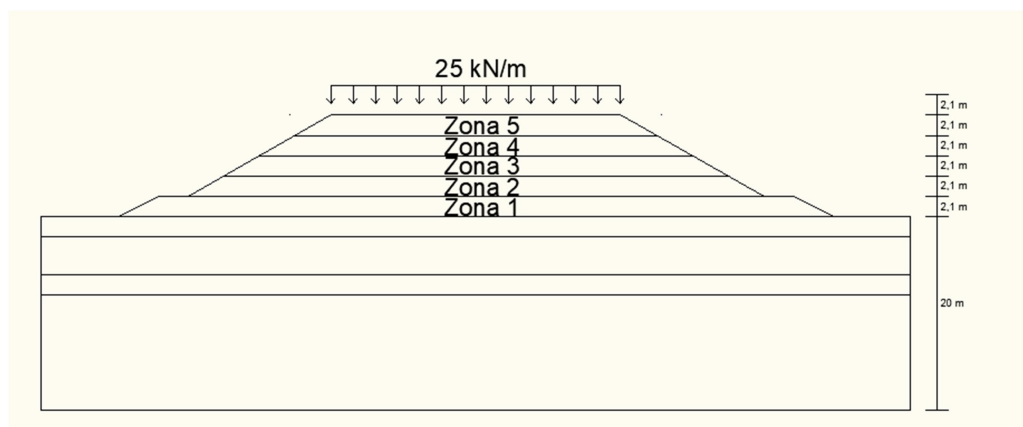
$$\begin{aligned}
 SF &= \frac{\sum (c \times L + \tan \theta \times W \cos \alpha)}{\sum W \sin \alpha + \sum C_{iai}} \\
 &= \frac{\sum (20 \times 37,41 + 58,626)}{\sum 628,170 + (20,39 \times 24) + (12,08 \times 20)} \\
 &= 0,946 < 1,5
 \end{aligned}$$

Nilai faktor keamanan yang dihasilkan metode *Fellenius* secara perhitungan manual tanpa perkuatan yaitu sebesar 0,946.

5.7 Perhitungan dengan Geotekstil

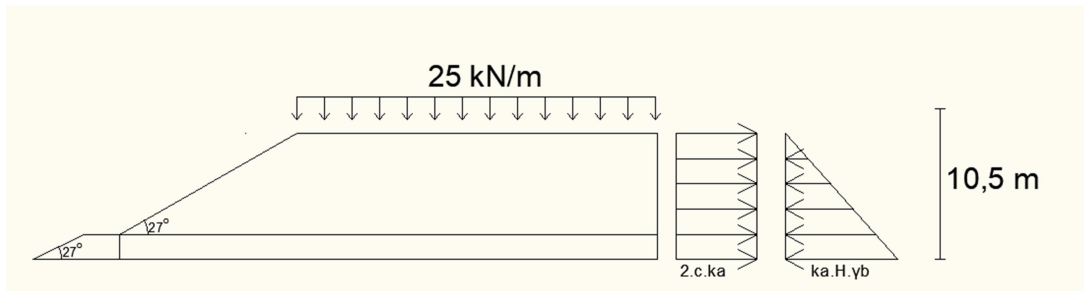
5.7.1 Perhitungan kebutuhan geotekstil

Data diatas menjadi dasar untuk menghitung kebutuhan geotekstil yang tepat. Spesifikasi geotekstil yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 5.3 diatas. Dalam melakukan perhitungan kebutuhan geotekstil, timbunan dibagi menjadi 5 zona dengan tinggi masing – masing 2,1 meter. Contoh pemodelan zona yang dilakukan dapat dilihat pada Gambar 5.44 berikut ini



Gambar 5.44 Pembagian Zona pada Timbunan

Sementara distribusi tekanan lateral yang terjadi pada timbunan dapat dilihat pada Gambar 5.45 berikut ini



Gambar 5.45 Diagram Distribusi tekanan lateral pada timbunan

Berikut ini adalah rincian perhitungan kebutuhan geotekstil pada timbunan tanah jalan tol Balikpapan – Samarinda .

1. Menghitung jumlah lapis dan jarak vertikal antar lapis

$$\begin{aligned} K_a &= \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\phi}{2} \right) \\ &= \tan^2 \left(45^\circ - \frac{10}{2} \right) \\ &= 0,704 \end{aligned}$$

- 1) Timbunan 2,1 m

$$\begin{aligned} H_1 &= 2,1 \text{ m} \\ \sigma_{hc1} &= q \cdot K_a + K_a \cdot H_1 \cdot \gamma_b \\ &= 25 \cdot 0,704 + 0,704 \cdot 2,1 \cdot 17,6 \\ &= 40,0998 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

$$SF = 1,5$$

$$\begin{aligned} S_{v1} &= \frac{T_{all}}{\sigma_{hc1} \cdot SF} \\ &= \frac{34,6}{40,0998 \cdot 1,5} \\ &= 0,864 \text{ m (dipakai 1 m)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah lapis geotekstil} &= \frac{H_1}{S_{v1}} \\ &= \frac{2,1}{1} \\ &= 3 \text{ lapis} \end{aligned}$$

Pada penelitian akan digunakan perkuatan geotekstil sebanyak 1 lapis

- 2) Timbunan 4,2 meter

$$\begin{aligned}
 H_2 &= 4,2 \text{ m} \\
 \sigma_{hc2} &= q \cdot K_a + K_a \cdot H_2 \cdot \gamma_b \\
 &= 25 \cdot 0,704 + 0,704 \cdot 4,2 \cdot 17,6 \\
 &= 66,119 \text{ kN/m}^2 \\
 SF &= 1,5 \\
 S_{v2} &= \frac{T_{all}}{\sigma_{hc2} \cdot SF} \\
 &= \frac{34,6}{66,119 \cdot 1,5} \\
 &= 0,524 \text{ m (dipakai 1 m)} \\
 \text{Jumlah lapis geotekstil} &= \frac{H_2}{S_{v2}} \\
 &= \frac{4,2}{1} \\
 &= 4 \text{ lapis}
 \end{aligned}$$

Pada penelitian akan digunakan perkuatan geotekstil sebanyak 1 lapis

3) Timbunan 6,3 meter

$$\begin{aligned}
 H_3 &= 6,3 \text{ m} \\
 \sigma_{hc3} &= q \cdot K_a + K_a \cdot H_3 \cdot \gamma_b \\
 &= 25 \cdot 0,704 + 0,704 \cdot 6,3 \cdot 17,6 \\
 &= 92,139 \text{ kN/m}^2 \\
 SF &= 1,5 \\
 S_{v3} &= \frac{T_{all}}{\sigma_{hc3} \cdot SF} \\
 &= \frac{34,6}{92,139 \cdot 1,5} \\
 &= 0,376 \text{ m (dipakai 0,5 m)} \\
 \text{Jumlah lapis geotekstil} &= \frac{H_3}{S_{v3}}
 \end{aligned}$$

$$= \frac{6,3}{0,5}$$

$$= 12,6 \text{ lapis}$$

Pada penelitian akan digunakan perkuatan geotekstil sebanyak 2 lapis

4) Timbunan 8,4 meter

$$H_3 = 8,4 \text{ m}$$

$$\sigma_{hc3} = q \cdot K_a + K_a \cdot H_3 \cdot \gamma b$$

$$= 25 \cdot 0,704 + 0,704 \cdot 8,4 \cdot 17,6$$

$$= 118,159 \text{ kN/m}^2$$

$$SF = 1,5$$

$$Sv_3 = \frac{T_{all}}{\sigma_{hc3} \cdot SF}$$

$$= \frac{52}{118,159 \cdot 1,5}$$

$$= 0,293 \text{ m (dipakai 0,5 m)}$$

$$\text{Jumlah lapis geotekstil} = \frac{H_3}{Sv_3}$$

$$= \frac{8,4}{0,5}$$

$$= 16,8 \text{ lapis}$$

Pada penelitian akan digunakan perkuatan geotekstil sebanyak 2 lapis

5) Timbunan 10,5 meter

$$H_3 = 10,5 \text{ m}$$

$$\sigma_{hc3} = q \cdot K_a + K_a \cdot H_3 \cdot \gamma b$$

$$= 25 \cdot 0,704 + 0,704 \cdot 10,5 \cdot 17,6$$

$$= 144,179 \text{ kN/m}^2$$

$$SF = 1,5$$

$$\begin{aligned}
 Sv_3 &= \frac{Tall}{\phi hc^3 \cdot SF} \\
 &= \frac{52}{144,179 \cdot 1,5} \\
 &= 0,240 \text{ m (dipakai 0,5 m)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah lapis geotekstil} &= \frac{H3}{Sv3} \\
 &= \frac{10,5}{0,5} \\
 &= 21 \text{ lapis}
 \end{aligned}$$

Pada penelitian akan digunakan perkuatan geotekstil sebanyak 2 lapis

2. Menghitung panjang geotekstil

a. Stabilitas terhadap guling

$$SF = \frac{\Sigma M_P}{\Sigma M_A} > 1,5$$

$$L^2 = \frac{SF \cdot (1/2 \cdot q \cdot ka \cdot H^2 + 1/6 \cdot Ka \cdot H^3 \cdot \gamma b - c \cdot \sqrt{Ka \cdot H^2})}{(\frac{1}{2} \cdot q + \frac{1}{2} \cdot \gamma b \cdot H)}$$

$$L^2 = \frac{1,5 \cdot (\frac{1}{2} \cdot 25 \cdot 10,5^2 + \frac{1}{6} \cdot 0,704 \cdot 10,5^3 \cdot 17,6 - 40 \cdot \sqrt{0,704} \cdot 10,5^2)}{(\frac{1}{2} \cdot 25 + \frac{1}{2} \cdot 17,64,75 \cdot 10,5)}$$

$$L = 3,369 \text{ m}$$

$$= 3,5 \text{ m}$$

b. Stabilitas terhadap geser

$$SF = \frac{(q \cdot \tan \delta \cdot L + H \cdot \gamma b \cdot \tan \delta \cdot L)}{(q \cdot Ka \cdot H + 0,5 \cdot Ka \cdot \gamma b \cdot H^2 - 2 \cdot c \cdot \sqrt{Ka \cdot H \phi}}$$

$$1,5 = \frac{25 \cdot \tan 6,667 \cdot L + 10,5 \cdot 17,6 \cdot \tan 6,667 \cdot L}{25 \cdot 0,704 \cdot 10,5 + 0,5 \cdot 0,704 \cdot 10,5^2 - 2 \cdot 40 \cdot \sqrt{0,704} \cdot 10,5}$$

$$L = \frac{1,5 \cdot 126,0613}{23,938}$$

$$L = 9,972 \text{ m}$$

$$L = 10 \text{ m}$$

c. Stabilitas Kapasitas dukung tanah

$$N_c = 9,6$$

$$N_q = 2,7$$

$$N_\gamma = 1,2$$

$$\begin{aligned} Q_{ult} &= c.N_c + 0,5.L.\gamma_b.N_\gamma \\ &= 40.9,6 + 0,5 . L . 17,6 . 1,2 \\ &= 384 + 10,56 L \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{ult} &= q_{ult} . SF \\ &= (384 + 10,56 L) . 1,5 \\ &= 576 + 15,84 L \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L &\leq \frac{\sigma_{ult}}{H.\gamma_b+q} \\ &\leq \frac{576 + 15,84L}{10,5 . 17,6 + 25} \\ &= 3,048 \text{ m} \end{aligned}$$

d. Stabilitas terhadap eksentrisitas

$$\frac{1}{6} x L \geq e$$

$$e = \frac{\Sigma MP}{\Sigma MA} = \frac{\text{Momen menahan}}{\text{Momen menggulingan}} \geq 1,5$$

$$\Sigma MP = \left(q x Ka x \frac{1}{2} x H^2 \right) + \left(\frac{1}{2} x Ka x \gamma b x H^2 x \frac{1}{3} x H \right) -$$

$$2 . c . \sqrt{Ka . H^2}$$

$$\begin{aligned} &= (25 x 0,704 x \frac{1}{2} x 10,5^2 + (\frac{1}{6} x 0,704 x 17,6 x 10,5^2) - (2 x 40 \\ &x \sqrt{0,704 x 10,5^2} \\ &= 299,0341 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{1}{6} L &= \frac{299,0341}{q.L + \gamma_b.H.L} \\ &= \frac{299,0341}{25.L + 17,6.10,5.L} \end{aligned}$$

$$L^2 = 8,761$$

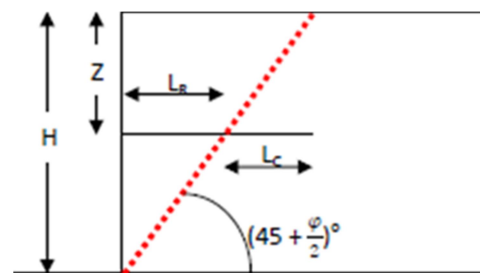
$$L = 2,959$$

$$L = 3 \text{ meter}$$

Dari perhitungan diatas maka panjang geotekstil yang digunakan adalah 10 meter.

3. Stabilitas Internal

Perhitungan panjang geotekstil dianalisis berdasarkan asumsi bentuk bidang longsor dengan sudut kemiringan sebesar $(45 - \frac{\phi}{2})^\circ$. Sketsa bidang longsor untuk menghitung panjang geotekstil dapat dilihat pada Gambar 5.46 berikut ini



Gambar 5.46 Bidang longsor untuk menentukan panjang geotekstil

(sumber: Suryolelono, K.B., 1993)

Nilai koefisien interface tanah terhadap geotekstil (β) = 0,67. Perhitungan panjang geotekstil sesuai hasil perhitungan jarak vertikal geotekstil di atas, sehingga digunakan panjang terbesar geotekstil pada masing – masing zona. Berikut ini adalah contoh perhitungan pada zona 1.

$$Z_1 = 1 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{v1} &= \gamma b \cdot Z_1 \\ &= 17,6 \cdot 1 \\ &= 17,6 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

$$L_R = \frac{H - Z_1}{\tan(45 + \frac{\phi}{2})}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{10,5-1}{\tan(45+\frac{10}{2})} \\
 &= 7,9714 \text{ m} \\
 L_C &= \frac{1}{\beta} \cdot \frac{T_{all}}{2(c+\sigma v_1 \cdot \tan \phi)} \\
 &= \frac{1}{0,67} \cdot \frac{52}{2(40+17,6 \cdot \tan 10)} \\
 &= 1,0388 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 L_{tot} &= L_R + L_C \\
 &= 7,9714 + 1,0388 \\
 &= 9,0102
 \end{aligned}$$

4. Menghitung Panjang *overlapping* (lipatan) Geotekstil

Panjang *overlapping* geotekstil dapat dihitung sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 L_0 &= \frac{1}{\beta} \frac{T_{all}}{4(c+\sigma v \cdot \tan \phi)} \geq 1 \text{ m} \\
 &= \frac{1}{0,67} \frac{52}{4(40+35,2 \cdot \tan 10)} \\
 &= 0,419 \text{ m (dipakai 0,5 m)} \\
 &= \frac{477,9}{204,8} > 1,5 \\
 &= 2,33 > 1,5 \text{ (Aman)}
 \end{aligned}$$

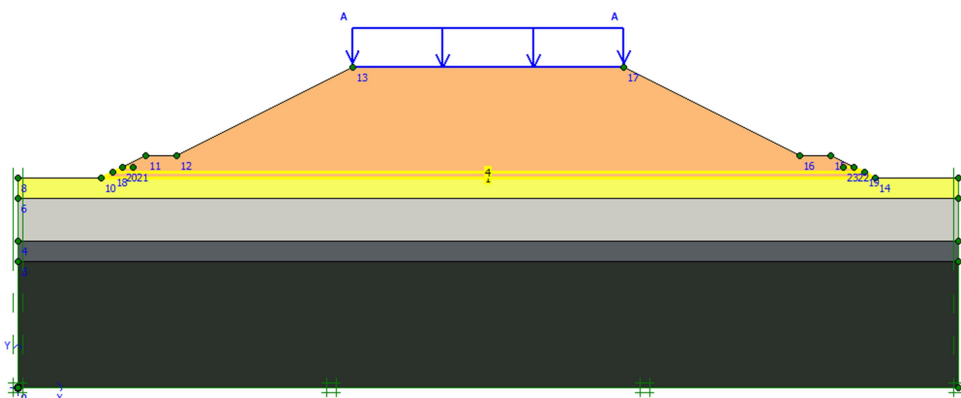
Hasil keseluruhan perhitungan panjang geotekstil dapat dilihat pada Tabel 5.3 berikut ini

Tabel 5.3 Rekapitulasi hasil perhitungan panjang geotekstil

Tinggi Timbunan (m)	Jumlah Lapisan	Sv (m)	Panjang Overlapping (m)	Panjang Total Geotekstil (m)
2,1	1	1	1	2
4,2	2	1	1	4
6,3	2	0,5	1	5
8,4	2	0,5	1	7
10,5	2	0,5	1	10

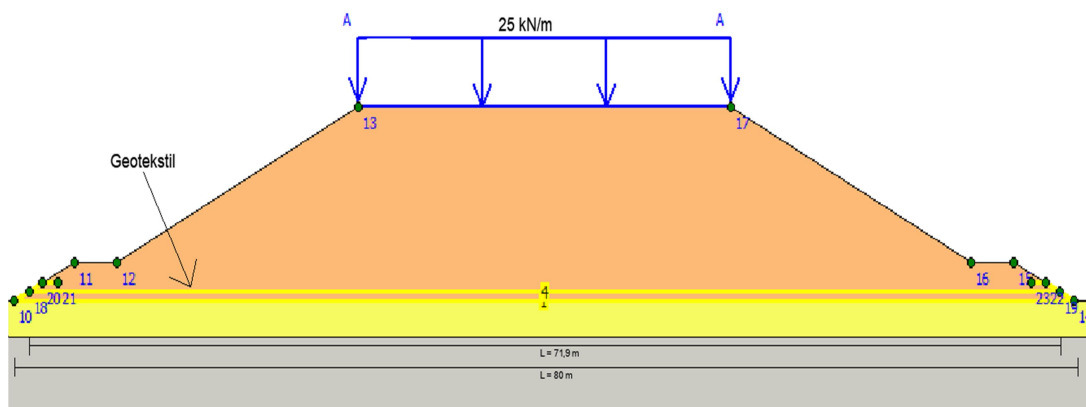
5.8 Analisis Timbunan dengan Perkuatan Geotekstil

Tahap analisis dengan perkuatan geotekstil dimulai dengan membuat pemodelan sesuai hasil perhitungan kebutuhan geotekstil. Pemasangan geotekstil dilakukan secara mendatar sepanjang lereng dengan asumsi telah memenuhi kebutuhan panjang geotekstil. Contoh pemodelan yang dicantumkan dibawah ini adalah pada timbunan 10,5 meter dengan tinggi muka air 20 meter. Pada timbunan tersebut dipasang perkuatan geotekstil sejumlah 2 lapis dengan SV sebesar 0,5 meter dan L_o sebesar 1 meter. Pemodelan pada timbunan 10,5 meter dengan tinggi muka air 20 meter yang telah diperkuat geotekstil dapat dilihat pada Gambar 5.47 dan 5.48 berikut ini



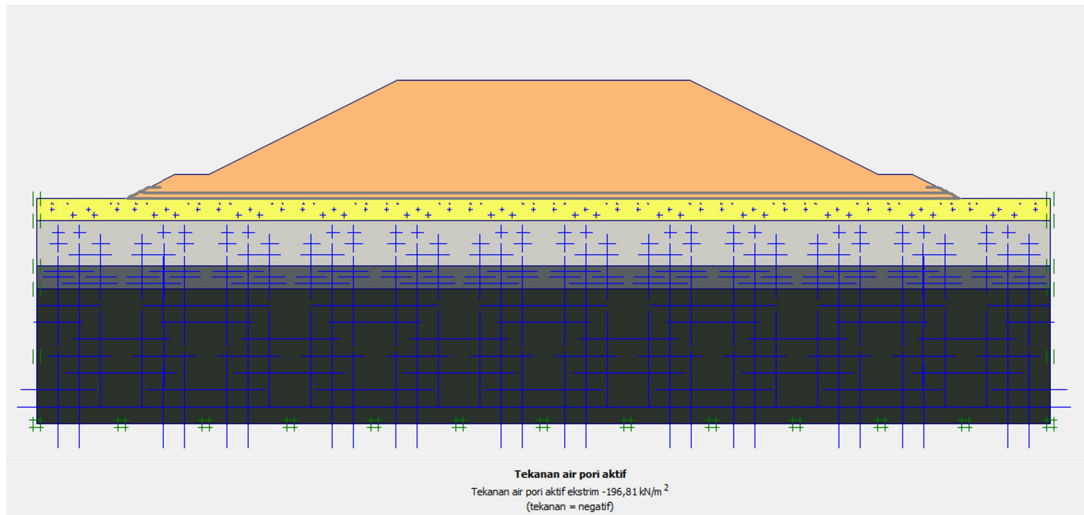
Gambar 5.47 Pemodelan Timbunan 10,5 meter dengan tinggi muka air 20 meter yang telah diperkuat geotekstil

Setelah memodelkan geometrinya, maka selanjutnya adalah melakukan tahapan *general meshing* seperti tertera pada gambar 5.13 berikut ini



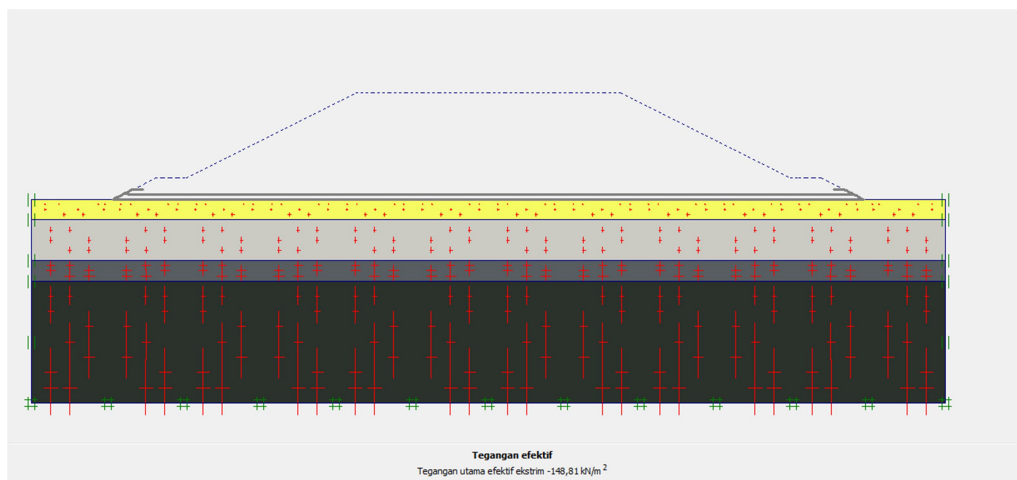
Gambar 5.48 Pemasangan Geotekstil Timbunan 10,5 meter dengan tinggi muka air 20 meter yang telah diperkuat geotekstil

Setelah melakukan general meshing, langsung dilanjutkan ke perhitungan kondisi awal. Pertama menentukan tekanan pori air yang terjadi. Tekanan pori air dapat dilihat pada Gambar 5.49 berikut ini



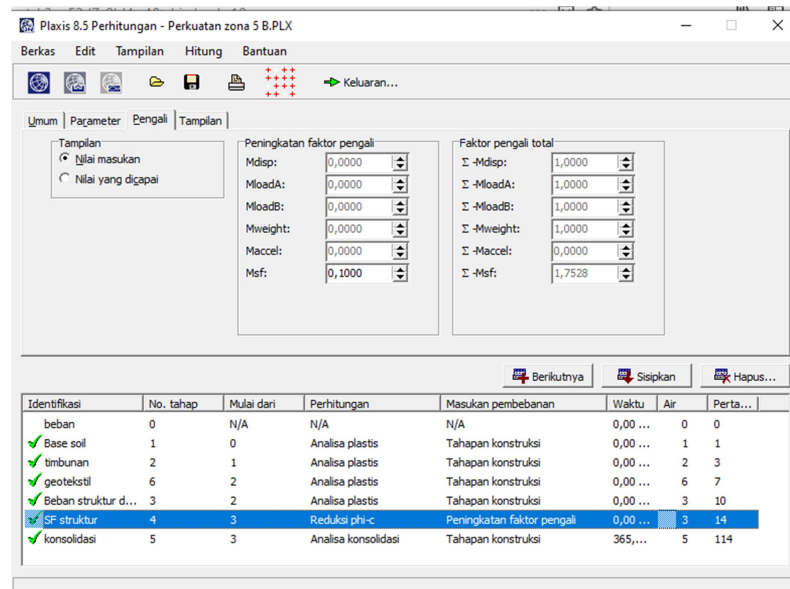
Gambar 5.49 Tekanan air pori Timbunan 10,5 meter dengan tinggi muka air 20 meter yang telah diperkuat geotekstil

Setelah mengetahui tekanan pori air, kemudian masuk ke tahapan menentukan initial stresses. Hasil initial stresses dapat dilihat pada Gambar 5.50 berikut ini



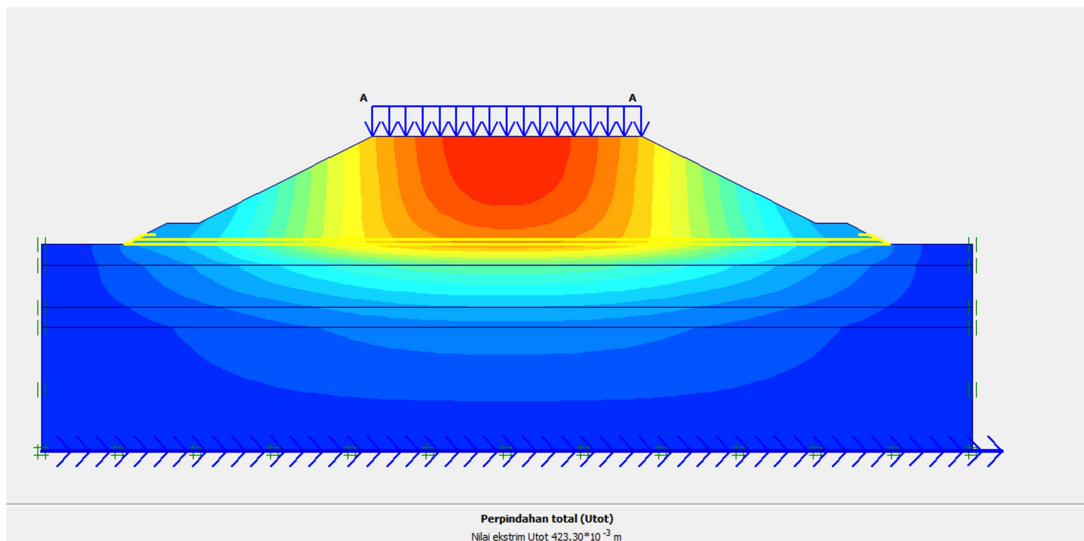
Gambar 5.50 Tegangan efektif Timbunan 10,5 meter dengan tinggi muka air 20 meter yang telah diperkuat geotekstil

Setelah menyelesaikan tahapan pemodelan, maka masuk tahap kalkulasi. Tahapan kalkulasi pertama adalah memasukan Base Soil, kedua timbunan, ketiga geotekstil, keempat beban struktur dan beban lalu lintas, kelima adalah perhitungan safety factor beban struktur, dan yang keenam adalah terkait konsolidasi. Hasil dari kalkulasi dari timbunan 10,5 meter dapat dilihat pada Gambar 5.51 berikut ini



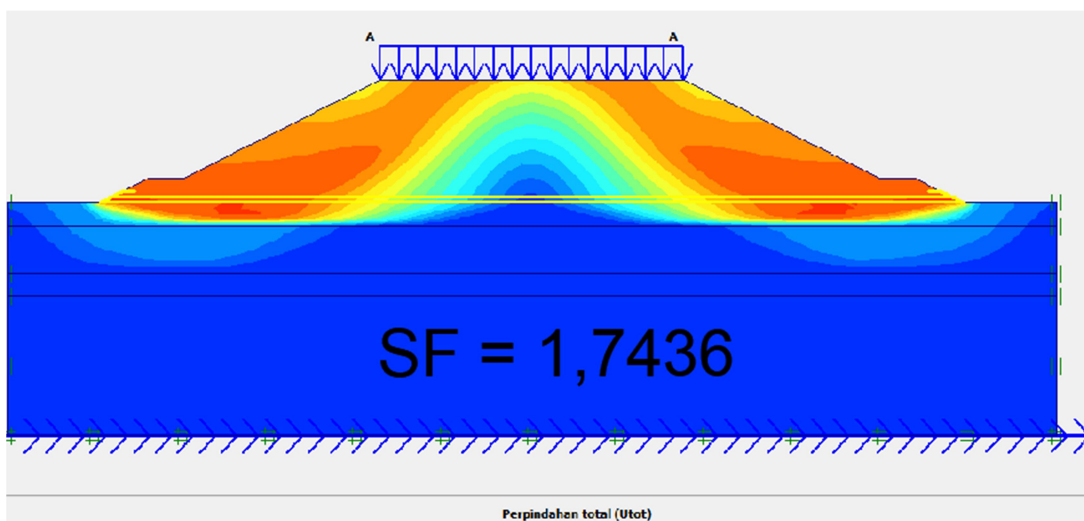
Gambar 5.51 Hasil Kalkulasi Timbunan 10,5 meter dengan tinggi muka air 20 meter yang telah diperkuat geotekstil

Pada Gambar 5.56 diatas dapat dilihat safety factor yang dihasilkan adalah $1,7436 < 1,5$ (aman). Sementara itu total displacement yang dihasilkan sebesar $423,3 \times 10^{-3} \text{ m}$. Total Displacement yang terjadi dapat dilihat Gambar 5.52 berikut ini.

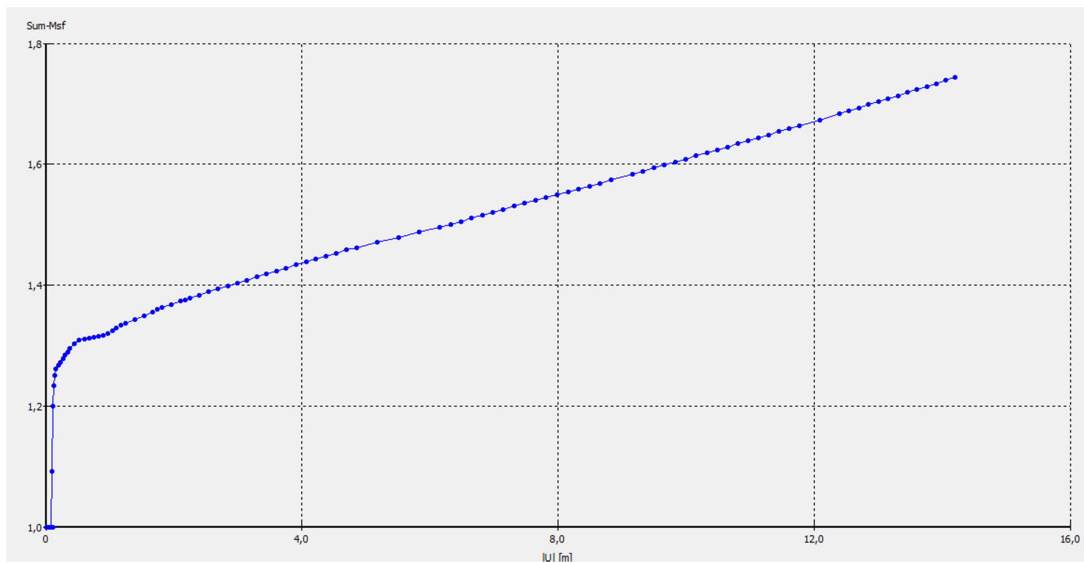


Gambar 5.52 Total Displacement Timbunan 10,5 meter dengan tinggi muka air 20 meter yang telah diperkuat geotekstil

Potensi longsor yang dapat terjadi dan grafik SF vs Perpindahan bisa dilihat pada gambar 5.53 serta gambar 5.54 berikut ini



Gambar 5.53 Bidang Longsor yang dapat terjadi pada Timbunan 10,5 meter dengan tinggi muka air 20 meter yang telah diperkuat geotekstil



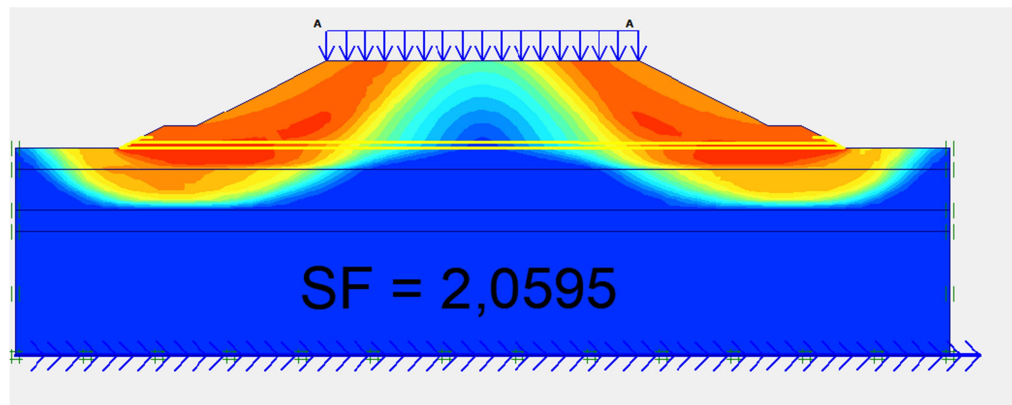
Gambar 5.54 Grafik SF vs Perpindahan pada Timbunan 10,5 meter dengan tinggi muka air 20 meter yang telah diperkuat geotekstil

Analisis timbunan yang diperkuat geotekstil juga diterapkan pada berbagai variasi yang digunakan. Berikut ini adalah analisis yang dilakukan pada variasi timbunan yang lainnya.

5.8.1 Timbunan dengan tinggi muka air 20 m

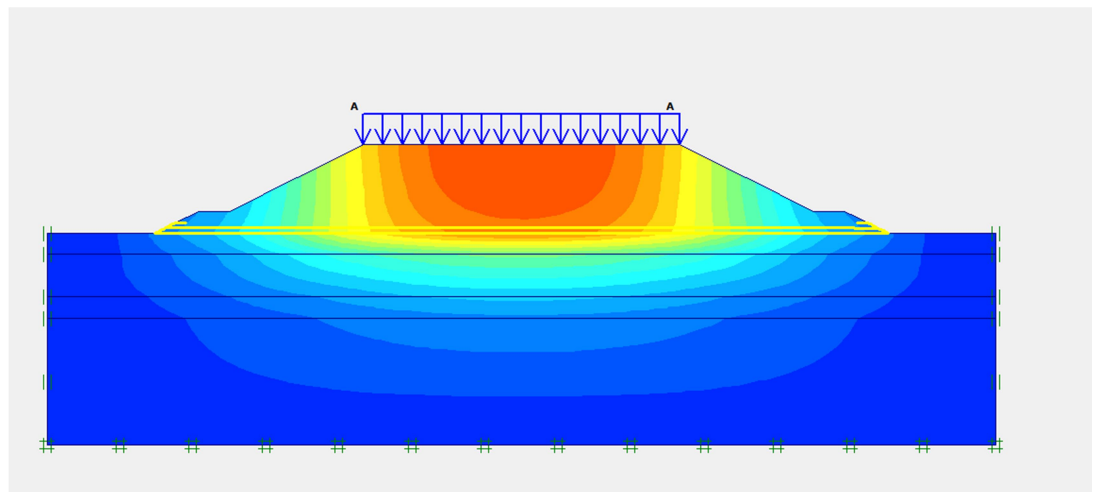
1. Timbunan tinggi 8,4 m

Hasil analisis timbunan 8,4 m ini didapat SF dan bentuk bidang longsor yang bisa terjadi. SF yang didapat adalah 2,095. bidang longsor yang terjadi dapat dilihat pada Gambar 5.55 berikut ini



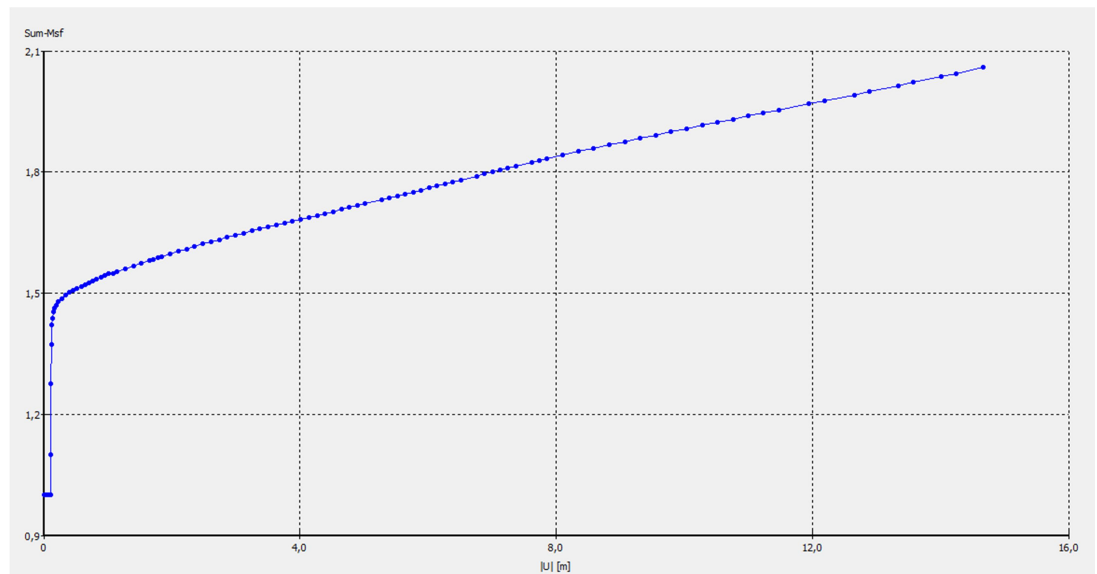
Gambar 5.55 Bidang Longsor Timbunan 8,4 m dengan tinggi muka air 20 m

Sementara nilai perpindahan total didapat sebesar 0,267 m. Bentuk perpindahan total yang terjadi dapat dilihat pada Gambar 5.56 berikut ini.



Gambar 5.56 Perpindahan Total pada Timbunan 8,4 m dengan tinggi muka air 20 m

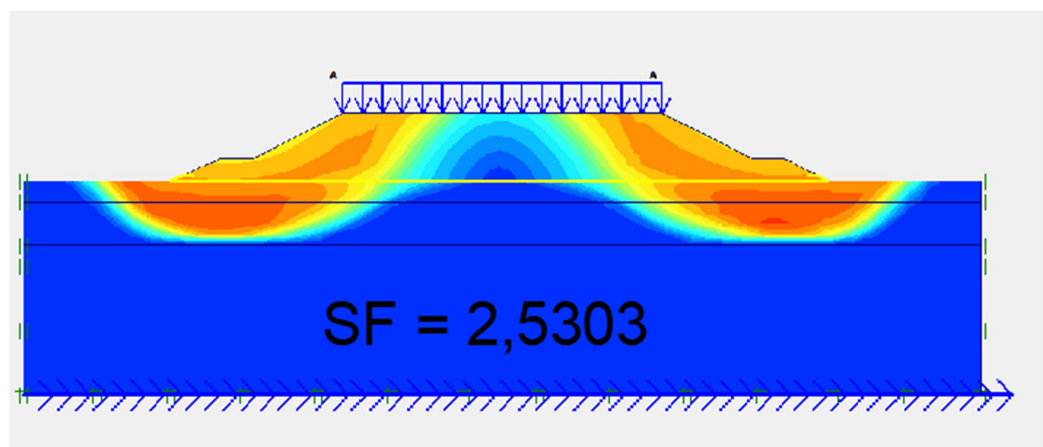
Selain itu didapatkan kurva antara SF dengan perpindahan yang terjadi. Kurva tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.57 berikut ini



Gambar 5.57 Grafik SF vs Perpindahan total pada Timbunan 8,4 m dengan tinggi muka air 20 m

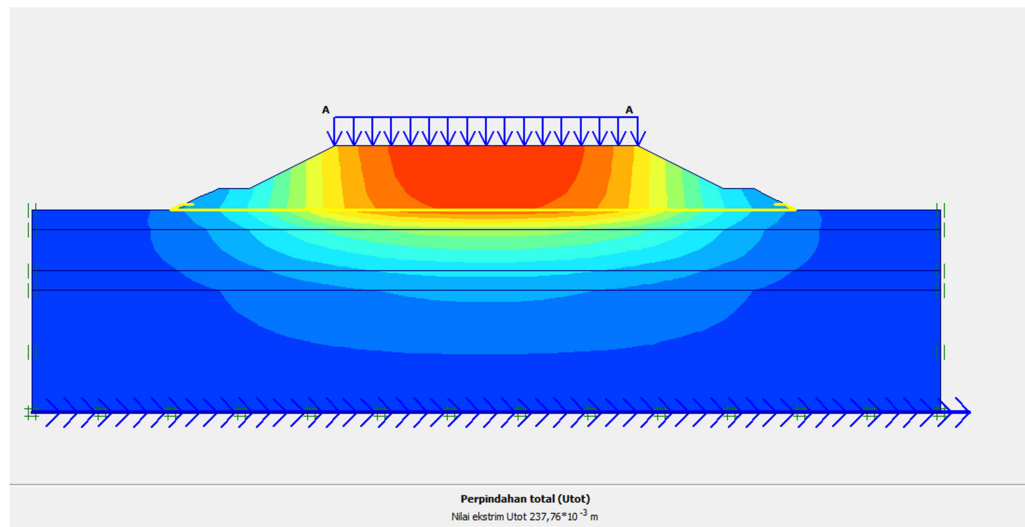
2. Timbunan tinggi 6,3 m

Hasil analisis timbunan 6,3 m ini didapat SF dan bentuk bidang longsor yang bisa terjadi. SF yang didapat adalah 2,5303. bidang longsor yang terjadi dapat dilihat pada Gambar 5.58 berikut ini



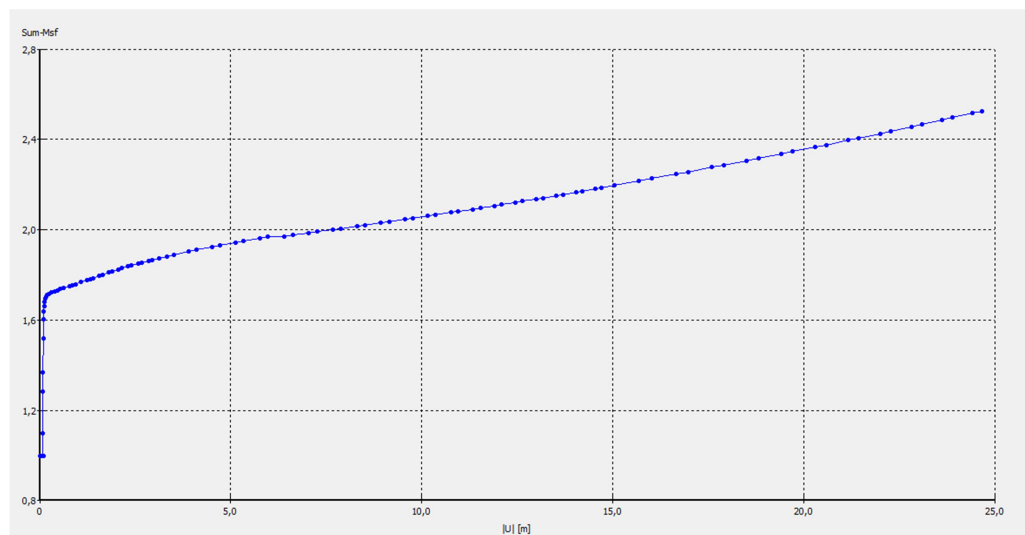
Gambar 5.58 Bidang Longsor Timbunan 6,3 m dengan tinggi muka air 20 m

Sementara nilai perpindahan total didapat sebesar 0,245 m . bentuk perpindahan total yang terjadi dapat dilihat pada Gambar 5.59 berikut ini.



Gambar 5.59 Perpindahan Total pada Timbunan 6,3 m dengan tinggi muka air 20 m

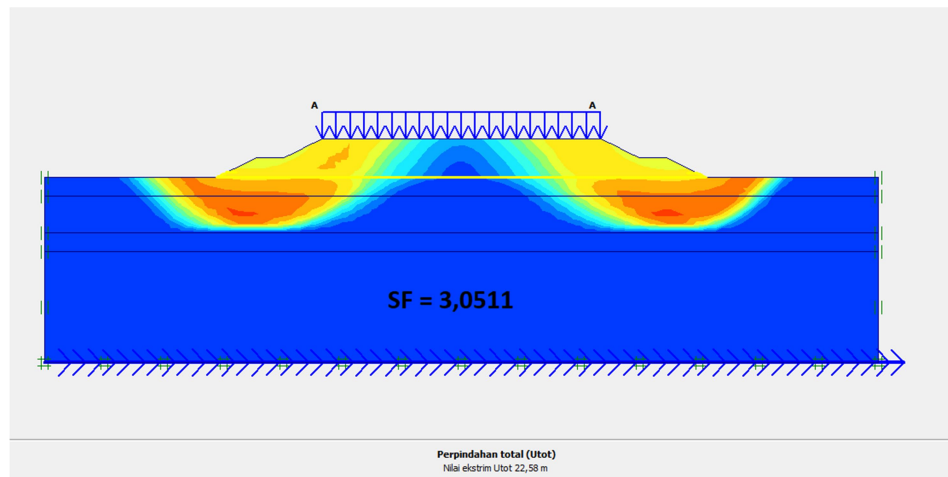
Selain itu didapatkan kurva antara SF dengan perpindahan yang terjadi. Kurva tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.60 berikut ini



Gambar 5.60 Grafik SF vs Perpindahan total pada Timbunan 6,3 m dengan tinggi muka air 20 m

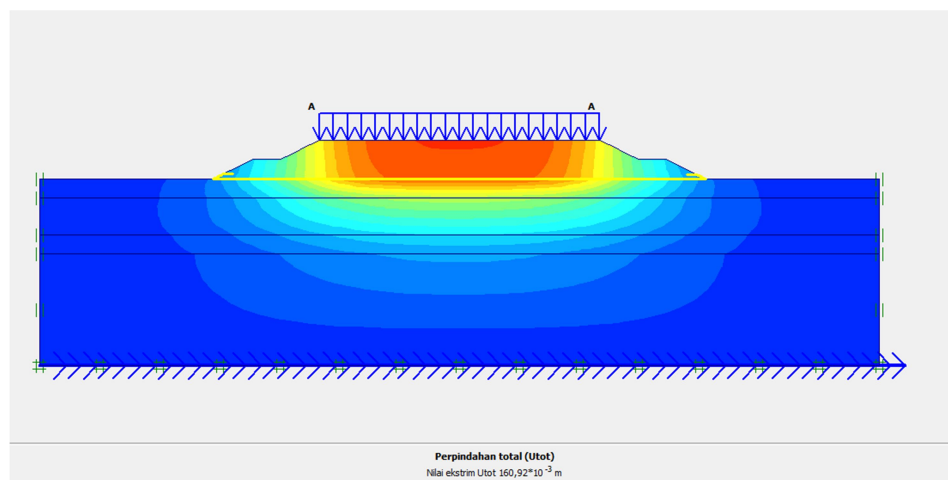
3. Timbunan tinggi 4,2 m

Hasil analisis timbunan 4,2 m ini didapat SF dan bentuk bidang longsor yang bisa terjadi. SF yang didapat adalah 3,097. bidang longsor yang terjadi dapat dilihat pada Gambar 5.61 berikut ini



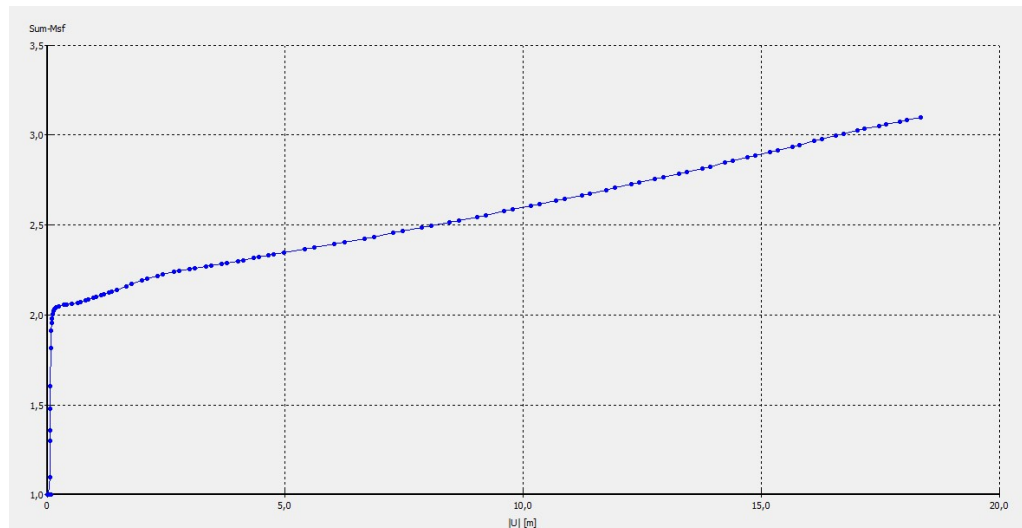
Gambar 5.61 Bidang Longsor Timbunan 4,2 m dengan tinggi muka air 20 m

Sementara nilai perpindahan total didapat sebesar 0,158 m . bentuk perpindahan total yang terjadi dapat dilihat pada Gambar 5.62 berikut ini.



Gambar 5.62 Perpindahan Total pada Timbunan 4,2 m dengan tinggi muka air 20 m

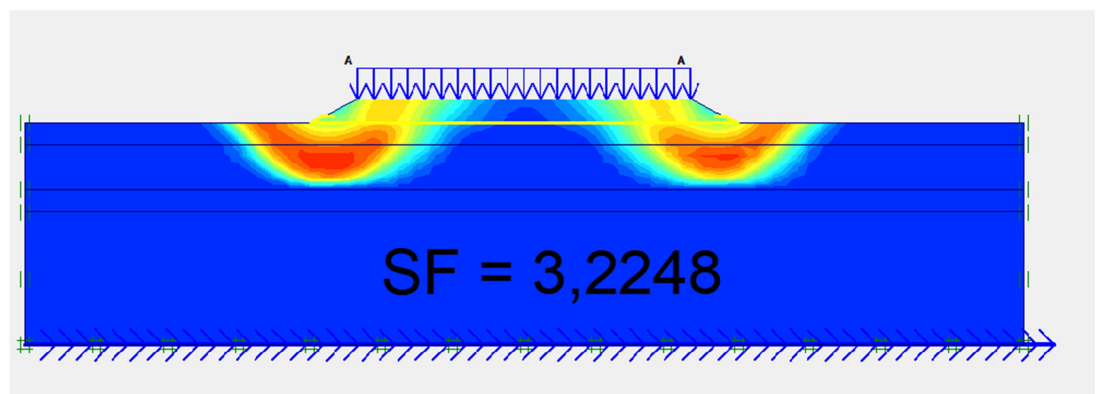
Selain itu didapatkan kurva antara SF dengan perpindahan yang terjadi. Kurva tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.63 berikut ini



Gambar 5.63 Grafik SF vs Perpindahan total pada Timbunan 4,2 m dengan tinggi muka air 20 m

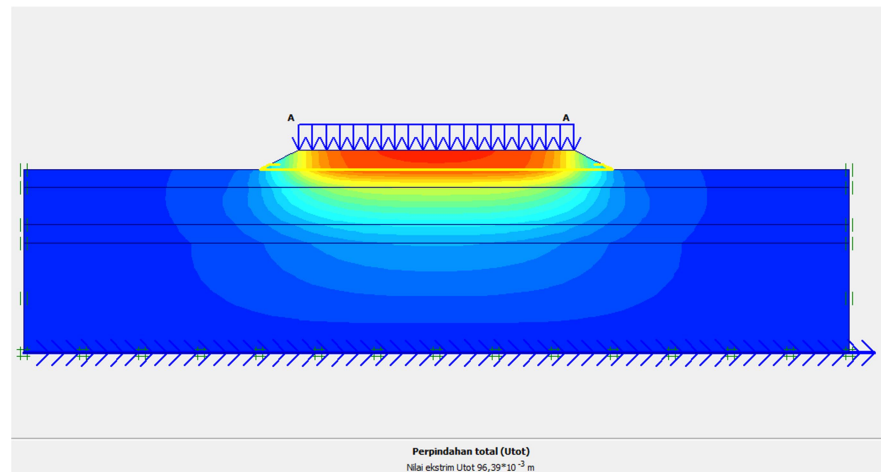
4. Timbunan tinggi 2,1 m

Hasil analisis timbunan 2,1 m ini didapat SF dan bentuk bidang longsor yang bisa terjadi. SF yang didapat adalah 3,2248 . bidang longsor yang terjadi dapat dilihat pada Gambar 5.64 berikut ini



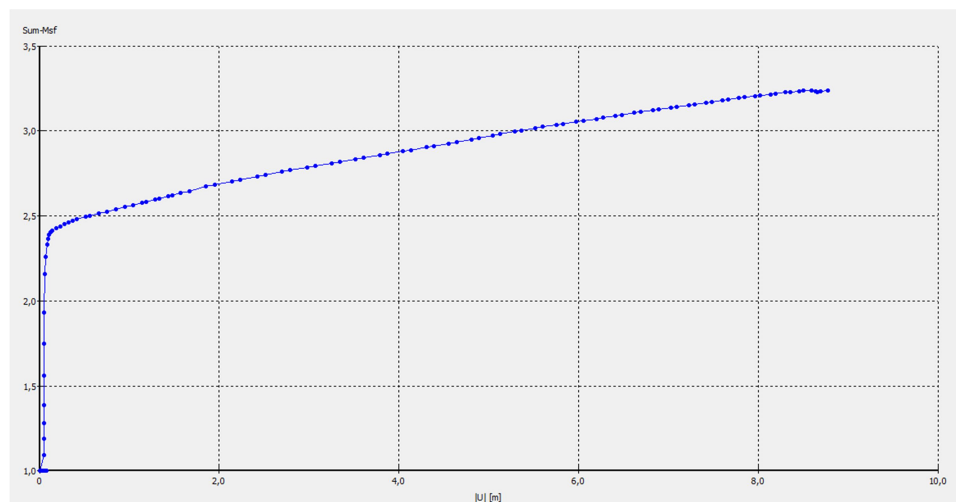
Gambar 5.64 Bidang Longsor Timbunan 2,1 m dengan tinggi muka air 20 m

Sementara nilai perpindahan total didapat sebesar 0,0965 m . bentuk perpindahan total yang terjadi dapat dilihat pada Gambar 5.65 berikut ini.



Gambar 5.65 Perpindahan Total pada Timbunan 2,1 m dengan tinggi muka air 20 m

Selain itu didapatkan kurva antara SF dengan perpindahan yang terjadi. Kurva tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.66 berikut ini

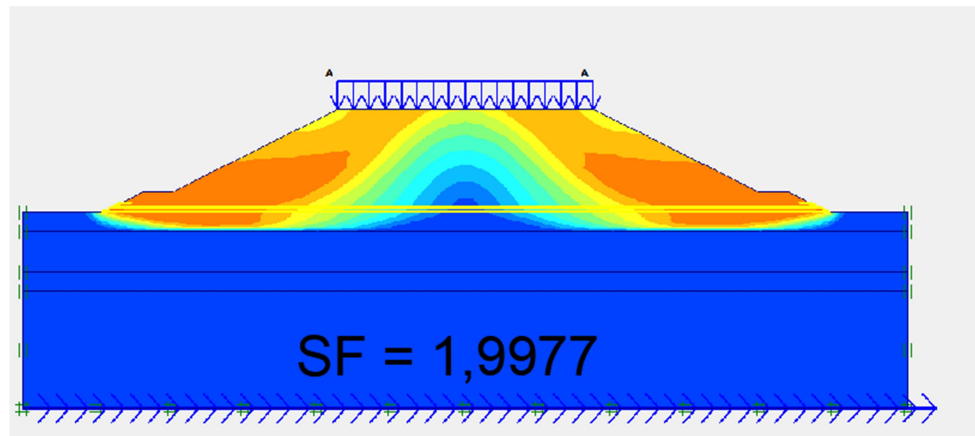


Gambar 5.66 Grafik SF vs Perpindahan total pada Timbunan 2,1 m dengan tinggi muka air 20 m

5.8.2 Timbunan dengan tinggi muka air 18 m

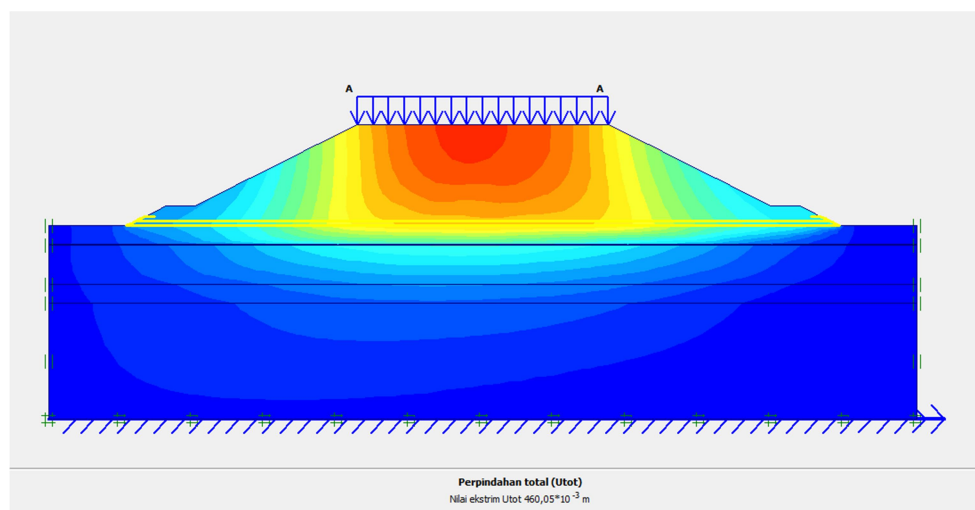
1. Timbunan tinggi 10,5 m

Hasil analisis timbunan 10,5 m ini didapat SF dan bentuk bidang longsor yang bisa terjadi. SF yang didapat adalah 1,9977. bidang longsor yang terjadi dapat dilihat pada Gambar 5.67 berikut ini



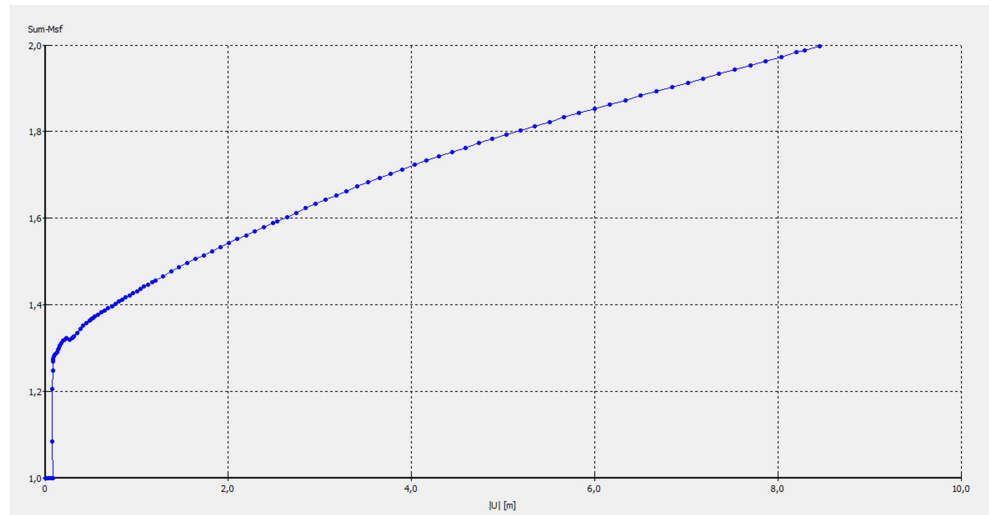
Gambar 5.67 Bidang Longsor Timbunan 10,5 m dengan tinggi muka air 18 m

Sementara nilai perpindahan total didapat sebesar 0,421 m . bentuk perpindahan total yang terjadi dapat dilihat pada Gambar 5.68 berikut ini.



Gambar 5.68 Perpindahan Total pada Timbunan 10,5 m dengan tinggi muka air 18 m

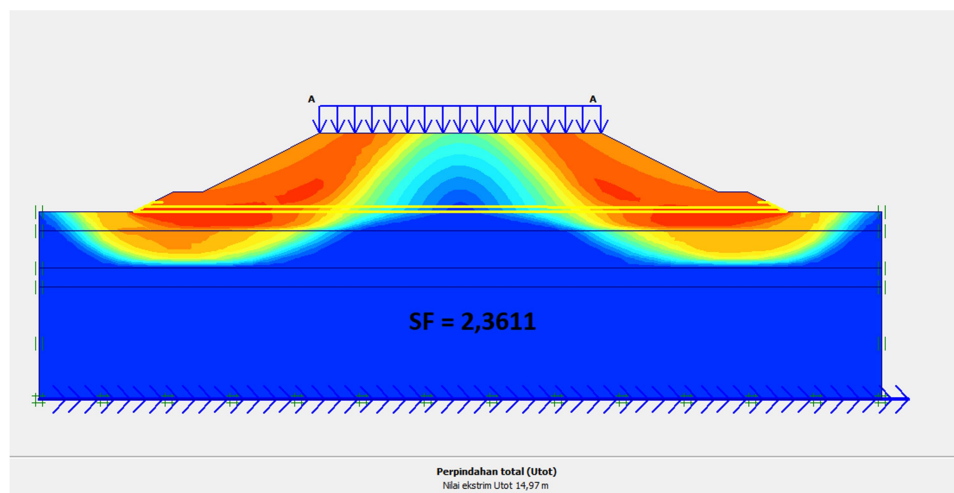
Selain itu didapatkan kurva antara SF dengan perpindahan yang terjadi. Kurva tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.69 berikut ini



Gambar 5.69 Grafik SF vs Perpindahan total pada Timbunan 10,5 m dengan tinggi muka air 18 m

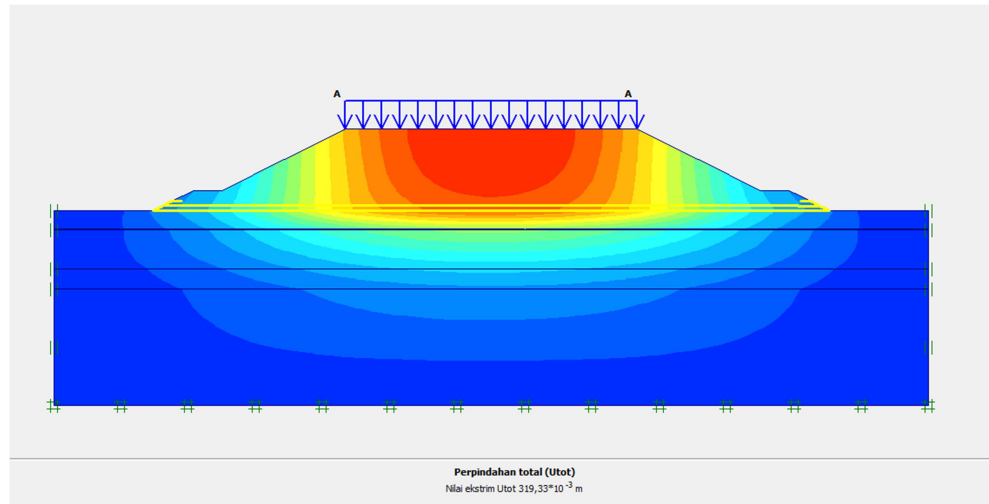
2. Timbunan tinggi 8,4 m

Hasil analisis timbunan 8,4 m ini didapat SF dan bentuk bidang longsor yang bisa terjadi. SF yang didapat adalah 2,3611 . bidang longsor yang terjadi dapat dilihat pada Gambar 5.70 berikut ini



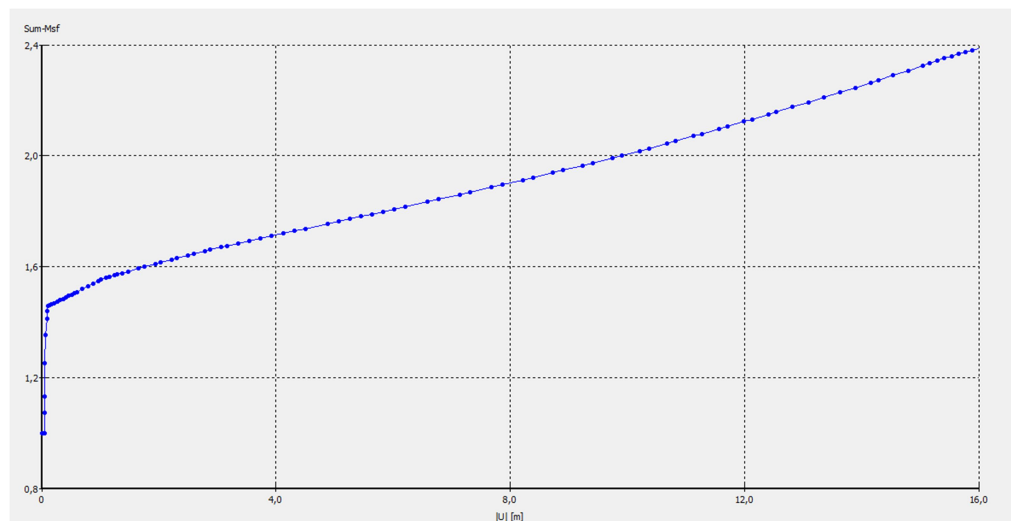
Gambar 5.70 Bidang Longsor Timbunan 8,4 m dengan tinggi muka air 18 m

Sementara nilai perpindahan total didapat sebesar 0,246 m. Bentuk perpindahan total yang terjadi dapat dilihat pada Gambar 5.71 berikut ini.



Gambar 5.71 Perpindahan Total pada Timbunan 8,4 m dengan tinggi muka air 18 m

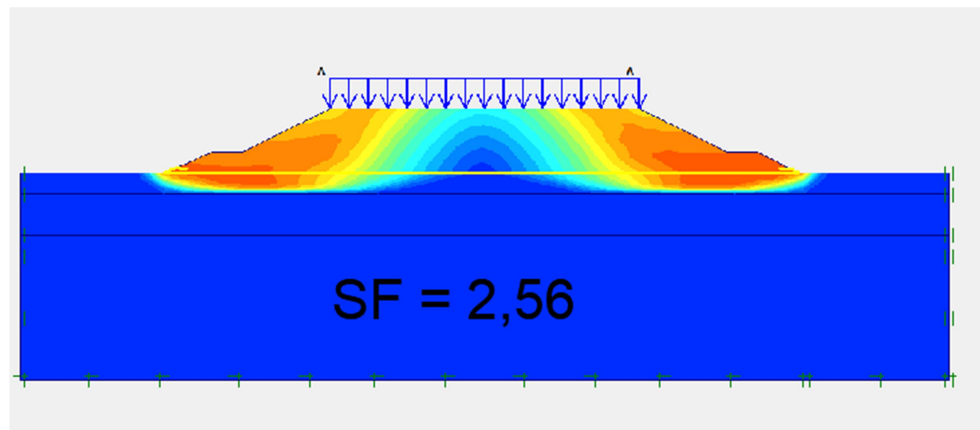
Selain itu didapatkan kurva antara SF dengan perpindahan yang terjadi. Kurva tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.72 berikut ini



Gambar 5.72 Grafik SF vs Perpindahan total pada Timbunan 8,4 m dengan tinggi muka air 18 m

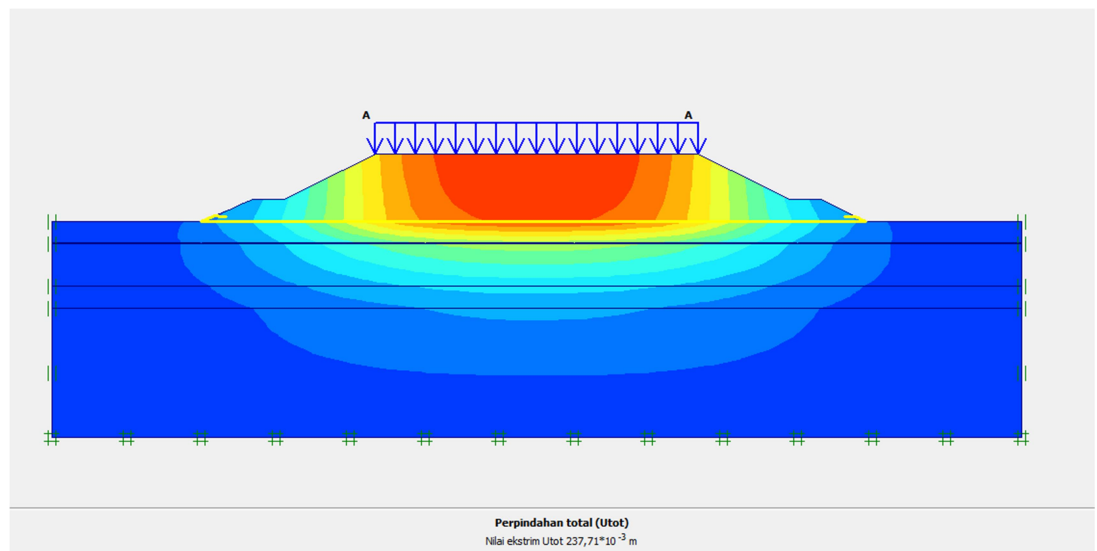
3. Timbunan tinggi 6,3 m

Hasil analisis timbunan 6,3 m ini didapat SF dan bentuk bidang longsor yang bisa terjadi. SF yang didapat adalah 2,56. bidang longsor yang terjadi dapat dilihat pada Gambar 5.73 berikut ini



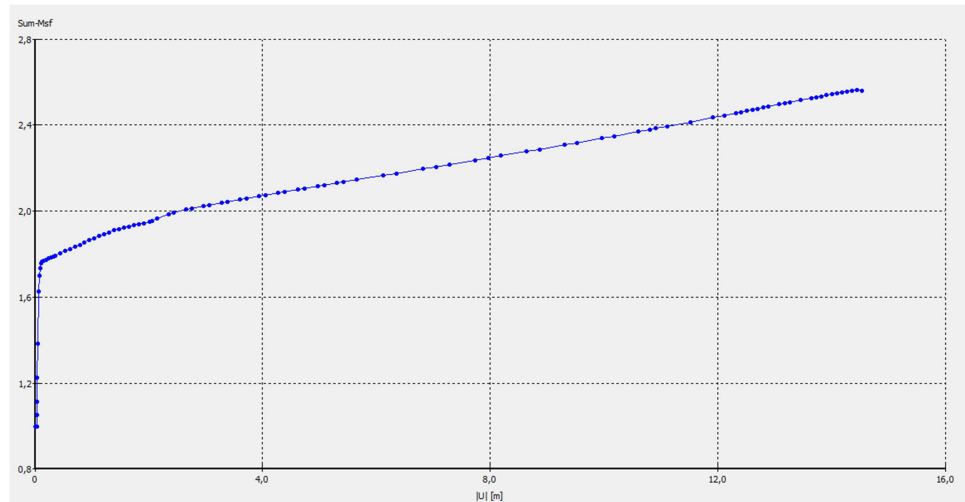
Gambar 5.73 Bidang Longsor Timbunan 6,3 m dengan tinggi muka air 18 m

Sementara nilai perpindahan total didapat sebesar 0,232 m . Bentuk perpindahan total yang terjadi dapat dilihat pada Gambar 5.74 berikut ini.



Gambar 5.74 Perpindahan Total pada Timbunan 6,3 m dengan tinggi muka air 18 m

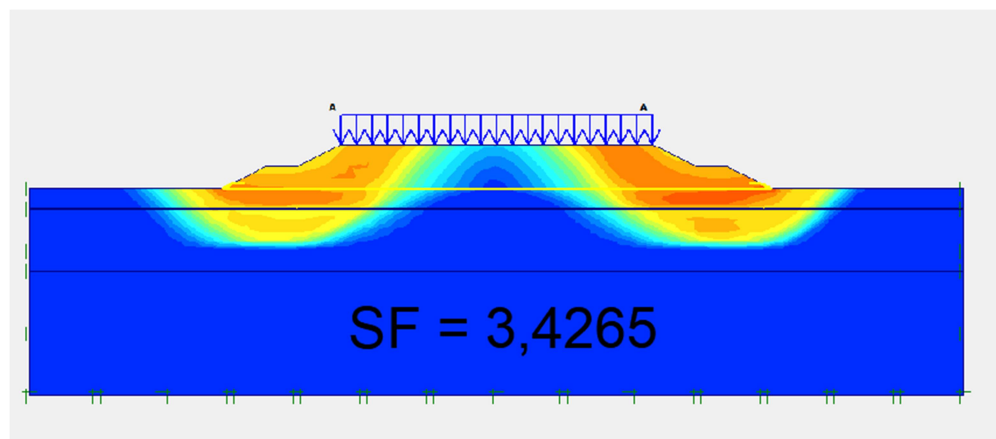
Selain itu didapatkan kurva antara SF dengan perpindahan yang terjadi. Kurva tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.75 berikut ini



Gambar 5.75 Grafik SF vs Perpindahan total pada Timbunan 6,3 m dengan tinggi muka air 18 m

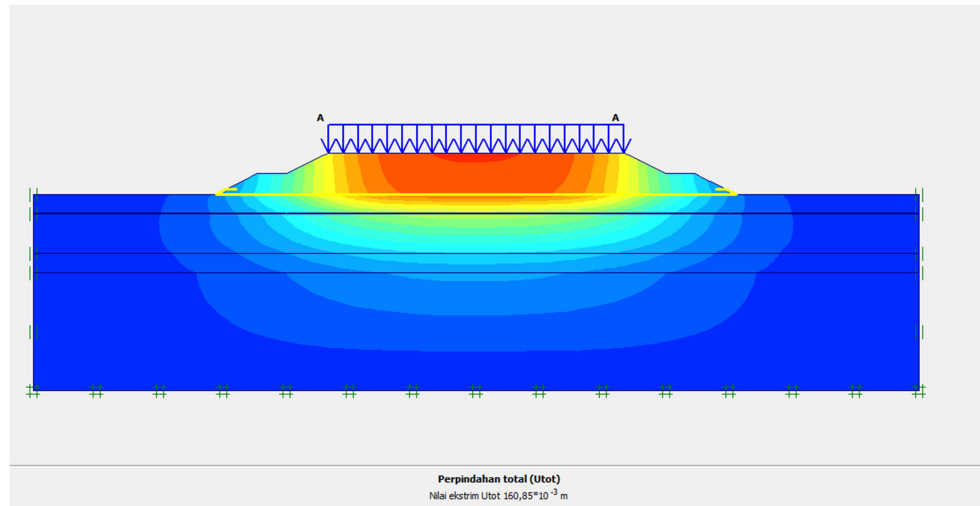
4. Timbunan tinggi 4,2 m

Hasil analisis timbunan 4,2 m ini didapat SF dan bentuk bidang longsor yang bisa terjadi. SF yang didapat adalah 3,426 . bidang longsor yang terjadi dapat dilihat pada Gambar 5.76 berikut ini



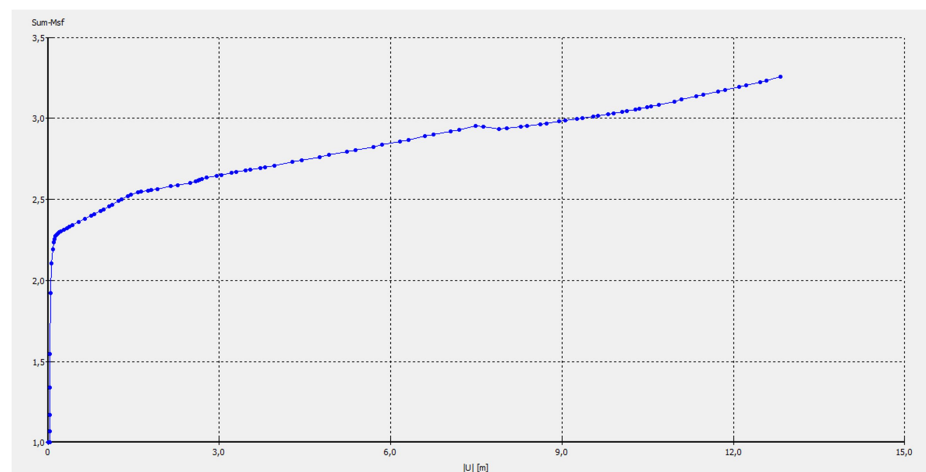
Gambar 5.76 Bidang Longsor Timbunan 4,2 m dengan tinggi muka air 18 m

Sementara nilai perpindahan total didapat sebesar 0,122 m . Bentuk perpindahan total yang terjadi dapat dilihat pada Gambar 5.76 berikut ini



Gambar 5.77 Perpindahan Total pada Timbunan 4,2 m dengan tinggi muka air 18 m

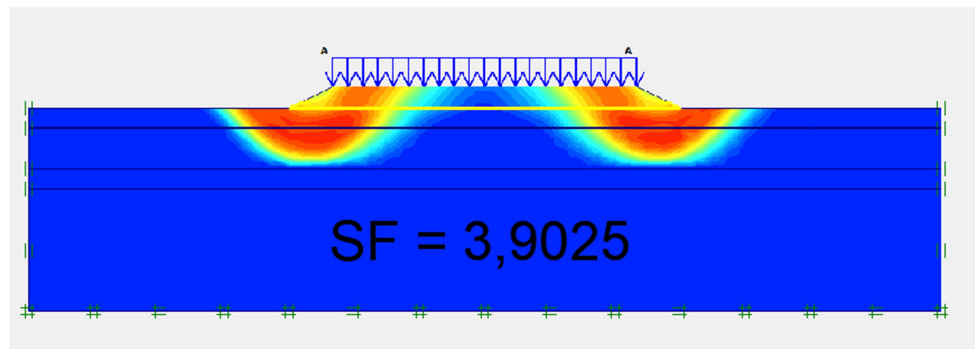
Selain itu didapatkan kurva antara SF dengan perpindahan yang terjadi. Kurva tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.78 berikut ini



Gambar 5.78 Grafik SF vs Perpindahan total pada Timbunan 4,2 m dengan tinggi muka air 18 m

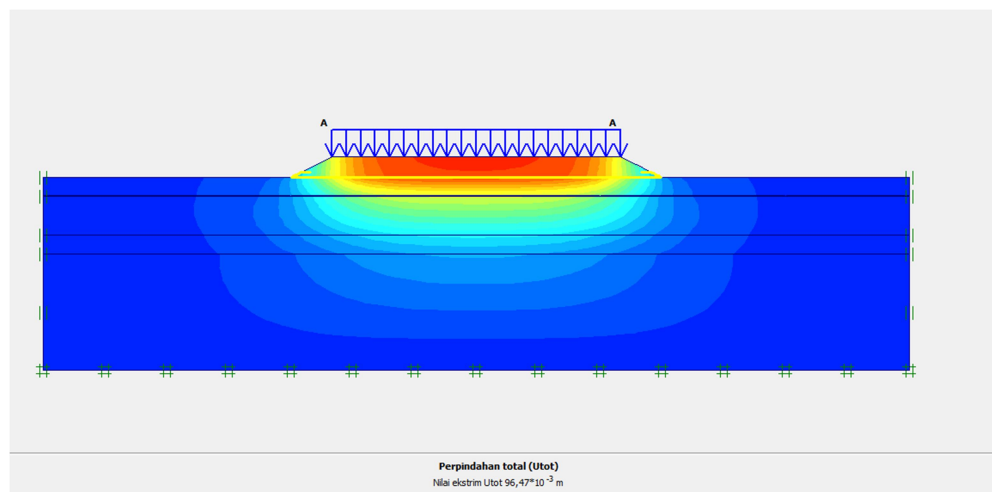
5. Timbunan tinggi 2,1 m

Hasil analisis timbunan 2,1 m ini didapat SF dan bentuk bidang longsor yang bisa terjadi. SF yang didapat adalah 3,9025 . Bidang longsor yang terjadi dapat dilihat pada Gambar 5.79 berikut ini



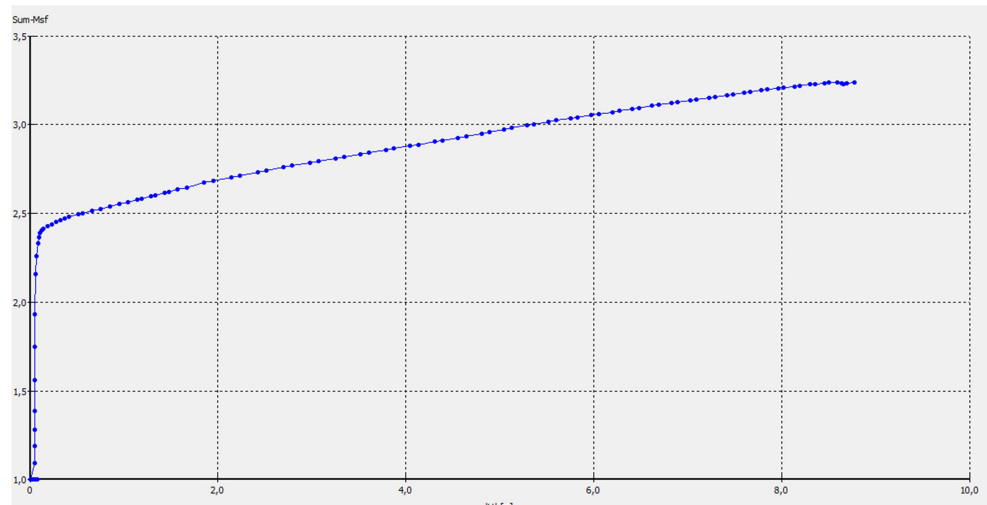
Gambar 5.79 Bidang Longsor Timbunan 2,1 m dengan tinggi muka air 18 m

Sementara nilai perpindahan total didapat sebesar 0,0964 m . Bentuk perpindahan total yang terjadi dapat dilihat pada Gambar 5.80 berikut ini.



Gambar 5.80 Perpindahan Total pada Timbunan 2,1 m dengan tinggi muka air 18 m

Selain itu didapatkan kurva antara SF dengan perpindahan yang terjadi. Kurva tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.81 berikut ini



Gambar 5.81 Grafik SF vs Perpindahan total pada Timbunan 2,1 m dengan tinggi muka air 18 m

Sementara untuk hasil keseluruhan analisis stabilitas semua timbunan dapat dilihat pada Tabel 5.4 berikut ini

Tabel 5.4 Rekapitulasi hasil analisis stabilitas timbunan yang telah diperkuat geotekstil

No	Tinggi Timbunan	Tinggi Muka Air	Safety Factor	Penurunan Tanah (meter)
1	2,1 meter	20 meter	3,2248	0,0965
		18 meter	3,9025	0,0964
2	4,2 meter	20 meter	3,0511	0,158
		18 meter	3,4265	0,122
3	6,3 meter	20 meter	2,5303	0,245
		18 meter	2,56	0,232
4	8,4 meter	20 meter	2,0595	0,267
		18 meter	2,3611	0,246
5	10,5 meter	20 meter	1,7436	0,423
		18 meter	1,997	0,421

5.9 Pembahasan

5.9.1 Kondisi Umum

Analisis stabilitas terhadap timbunan digunakan untuk memperoleh nilai angka aman terhadap longsor serta nilai penurunan tanah. Analisis dilakukan terhadap 5 (lima) variasi timbunan tanah yaitu 2,1 m, 4,2 m, 6,3 m, 8,4 m, dan 10,5 m. Kondisi tinggi muka air adalah 20 meter dan 18 meter. Timbunan juga dilengkapi dengan berm di setiap kaki timbunan setinggi 2,1 m. Sementara parameter yang digunakan adalah beban merata akibat struktur jalan tol serta beban lalu lintas pasca konstruksi. Akumulasi dua beban tersebut adalah 25 kN/m. Dalam melakukan analisis, digunakan software PLAXIS 8.6 untuk membantu proses analisis. Sementara jika terjadi *collapse* maka perhitungan angka aman dilakukan dengan menggunakan metode fellenius.

5.9.2 Analisis stabilitas timbunan tanah asli tanpa perkuatan dengan muka air 20 meter

Hasil analisis pada timbunan dengan tinggi 2,1 meter diperoleh hasil angka aman sebesar 2,3674 serta penurunan tanah sebesar 0,105 meter. Hasil tersebut menunjukkan timbunan tanah sangat aman karena memenuhi syarat angka aman sebesar 1,5. Sedangkan pada timbunan dengan tinggi 4,2 meter diperoleh hasil angka aman sebesar 2,009 serta penurunan tanah sebesar 0,162 meter. Hasil tersebut juga telah memenuhi angka aman sebesar 1,5. Sementara pada timbunan dengan tinggi 6,3 meter memperoleh hasil angka aman sebesar 1,6919 serta penurunan tanah 0,249 meter. Hasil tersebut tentu aman karena lebih besar dari syarat angka aman sebesar 1,5. Sementara pada timbunan dengan tinggi 8,4 meter diperoleh angka aman sebesar 1,4696 dan penurunan tanah sebesar 0,278 meter. Hasil tersebut juga tergolong aman karena memenuhi syarat angka aman sebesar 1,5. Sedangkan pada timbunan dengan tinggi 10,5 meter angka aman dan penurunan tanah tidak diketahui karena timbunan mengalami *collapse*. Untuk dapat mengetahui angka aman timbunan 10,5 meter maka dilakukan perhitungan dengan metode fellenius.

Hasil perhitungan fellenius didapat angka aman sebesar 0,946. Hasil tersebut menunjukkan timbunan 10,5 meter tidak aman terhadap longsor.

5.9.3 Analisis stabilitas timbunan tanah asli tanpa perkuatan dengan muka air 18 meter

Hasil analisis pada timbunan dengan tinggi 2,1 meter diperoleh hasil angka aman sebesar 2,8015 serta penurunan tanah sebesar 0,098 meter. Hasil tersebut menunjukkan timbunan tanah sangat aman karena memenuhi syarat angka aman sebesar 1,5. Sedangkan pada timbunan dengan tinggi 4,2 meter diperoleh hasil angka aman sebesar 2,2846 serta penurunan tanah sebesar 0,127 meter. Hasil tersebut juga telah memenuhi angka aman sebesar 1,5. Sementara pada timbunan dengan tinggi 6,3 meter memperoleh hasil angka aman sebesar 1,778 serta penurunan tanah 0,238 meter. Hasil tersebut tentu aman karena lebih besar dari syarat angka aman sebesar 1,5. Sementara pada timbunan dengan tinggi 8,4 meter diperoleh angka aman sebesar 1,5213 dan penurunan tanah sebesar 0,255 meter. Hasil tersebut juga tergolong aman karena memenuhi syarat angka aman sebesar 1,5. Sedangkan pada timbunan dengan tinggi 10,5 meter diperoleh angka aman sebesar 1,2906 serta penurunan tanah didapat sebesar 0,43 meter.

5.9.4 Analisis stabilitas timbunan tanah asli dengan muka air 20 meter menggunakan perkuatan geotekstil

Setelah mengetahui hasil analisis timbunan tanpa perkuatan maka langkah selanjutnya adalah melakukan analisis stabilitas timbunan dengan perkuatan. Pada dasarnya timbunan yang memerlukan perkuatan dalam hal ini adalah timbunan yang tidak memenuhi syarat angka aman, namun dalam penelitian ini dilakukan analisis terhadap semua variasi timbunan yang telah diperkuat geotekstil.

Hasil analisis pada timbunan dengan tinggi 2,1 meter diperoleh hasil angka aman sebesar 3,2248 serta penurunan tanah sebesar 0,0965 meter. Hasil tersebut menunjukkan timbunan tanah sangat aman karena memenuhi syarat angka aman sebesar 1,5. Sedangkan pada timbunan dengan tinggi 4,2 meter diperoleh hasil angka aman sebesar 3,0511 serta penurunan tanah sebesar 0,158 meter. Hasil

tersebut juga telah memenuhi angka aman sebesar 1,5. Sementara pada timbunan dengan tinggi 6,3 meter memperoleh hasil angka aman sebesar 2,5303 serta penurunan tanah 0,245 meter. Hasil tersebut tentu aman karena lebih besar dari syarat angka aman sebesar 1,5. Sementara pada timbunan dengan tinggi 8,4 meter diperoleh angka aman sebesar 2,0595 dan penurunan tanah sebesar 0,267 meter. Hasil tersebut juga tergolong aman karena memenuhi syarat angka aman sebesar 1,5. Sedangkan pada timbunan dengan tinggi 10,5 meter diperoleh angka aman sebesar 1,7436 serta penurunan tanah didapat sebesar 0,423 meter.

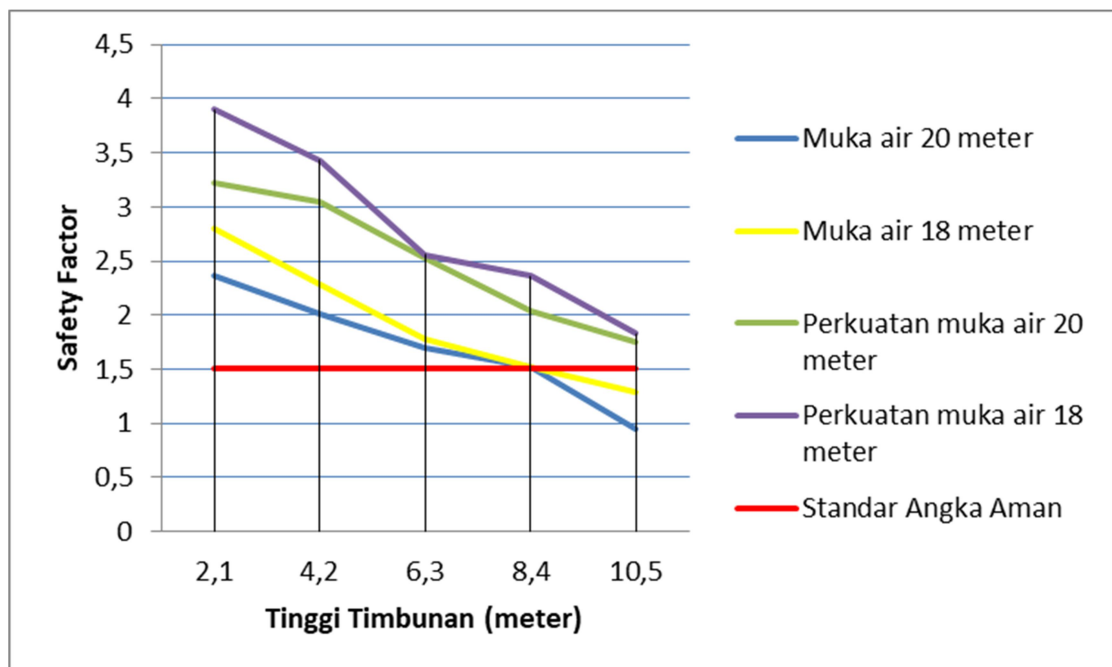
5.9.5 Analisis stabilitas timbunan tanah asli dengan muka air 18 meter menggunakan perkuatan geotekstil

Hasil analisis pada timbunan dengan tinggi 2,1 meter diperoleh hasil angka aman sebesar 3,9025 serta penurunan tanah sebesar 0,0964 meter. Hasil tersebut menunjukkan timbunan tanah sangat aman karena memenuhi syarat angka aman sebesar 1,5. Sedangkan pada timbunan dengan tinggi 4,2 meter diperoleh hasil angka aman sebesar 3,4265 serta penurunan tanah sebesar 0,122 meter. Hasil tersebut juga telah memenuhi angka aman sebesar 1,5. Sementara pada timbunan dengan tinggi 6,3 meter memperoleh hasil angka aman sebesar 2,56 serta penurunan tanah 0,232 meter. Hasil tersebut tentu aman karena lebih besar dari syarat angka aman sebesar 1,5. Sementara pada timbunan dengan tinggi 8,4 meter diperoleh angka aman sebesar 2,3611 dan penurunan tanah sebesar 0,319 meter. Hasil tersebut juga tergolong aman karena memenuhi syarat angka aman sebesar 1,5. Sedangkan pada timbunan dengan tinggi 10,5 meter diperoleh angka aman sebesar 1,997 serta penurunan tanah didapat sebesar 0,421 meter

5.9.6 Perbandingan hasil analisis timbunan tanah asli tanpa perkuatan geotekstil dengan diperkuat geotekstil

Setelah melakukan tahapan analisis , maka dapat dibandingkan hasil dari kedua kondisi analisis tersebut beserta variasi yang diterapkan. Pada analisis timbunan tanah asli tanpa perkuatan ada timbunan yang masih belum memenuhi angka aman bahkan mengalami collapse. Timbunan yang tidak memenuhi angka

aman adalah timbunan 10,5 meter dengan tinggi muka air 18 meter. Sementara timbunan yang mengalami collapse adalah timbunan 10,5 meter dengan tinggi muka air 20 meter. Perlakuan yang digunakan menindaklanjuti hasil tersebut adalah dengan memperkuat timbunan menggunakan geotekstil. Setelah diperkuat geotekstil terbukti seluruh variasi timbunan mengalami peningkatan angka aman. Sementara penurunan tanah dari timbunan mengalami penurunan setelah diperkuat geotekstil. Grafik perbandingan angka aman timbunan tanah asli tanpa diperkuat geotekstil dan timbunan tanah asli diperkuat geotekstil dapat dilihat pada Gambar 5.82 berikut ini.



Gambar 5.82 Grafik Perbandingan angka aman timbunan tanah asli tanpa diperkuat geotekstil dan timbunan tanah asli diperkuat geotekstil

Rekapitulasi hasil seluruh analisis angka aman timbunan tanah dapat dilihat pada Tabel 5.5 , sementara rekapitulasi hasil seluruh analisis angka penurunan tanah timbunan tanah dapat dilihat 5.6 berikut ini.

Tabel 5.5 Rekapitulasi Hasil Analisis Angka Aman Seluruh Timbunan

SAFETY FACTOR	Muka Air	Tinggi Timbunan				
		2,1 meter	4,2 meter	6,3 meter	8,4 meter	10,5 meter
Tanpa Perkuatan Tanah	18 meter	2,8015	2,2846	1,778	1,5213	1,2906
	20 meter	2,3674	2,009	1,6919	1,4696	0,946
Setelah Diperkuat Geotekstil	18 meter	3,9025	3,4265	2,56	2,3611	1,997
	20 meter	3,2248	3,0511	2,5303	2,0595	1,7436

Tabel 5.6 Rekapitulasi Hasil Analisis Penurunan Tanah Seluruh Timbunan

PENURUNAN TANAH (meter)	Muka Air	Tinggi Timbunan				
		2,1 meter	4,2 meter	6,3 meter	8,4 meter	10,5 meter
Tanpa Perkuatan Tanah	18 meter	0,098	0,127	0,238	0,255	0,43
	20 meter	0,105	0,162	0,249	0,278	collapse
Setelah Diperkuat Geotekstil	18 meter	0,0964	0,122	0,232	0,246	0,421
	20 meter	0,0965	0,158	0,245	0,267	0,423

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut.

1. SF timbunan tanah asli tanpa diberi perkuatan adalah:
 - a. Muka air 20 m
 - 1) Tinggi 10,5 m memiliki SF sebesar 0,946 (*collapse*)
 - 2) Tinggi 8,4 m memiliki SF sebesar 1,4696
 - 3) Tinggi 6,3 m memiliki SF sebesar 1,6919
 - 4) Tinggi 4,2 m memiliki SF sebesar 2,009
 - 5) Tinggi 2,1 m memiliki SF sebesar 2,3674
 - b. Muka air 18 m
 - 1) Tinggi 10,5 m memiliki SF sebesar 1,2906
 - 2) Tinggi 8,4 m memiliki SF sebesar 1,5213
 - 3) Tinggi 6,3 m memiliki SF sebesar 1,778
 - 4) Tinggi 4,2 m memiliki SF sebesar 2,2846
 - 5) Tinggi 2,1 m memiliki SF sebesar 2,8015
2. SF timbunan tanah asli yang telah diperkuat geotekstil adalah:
 - a. Muka air 20 m
 - 1) Tinggi 10,5 m memiliki SF sebesar 1,7463
 - 2) Tinggi 8,4 m memiliki SF sebesar 2,0595
 - 3) Tinggi 6,3 m memiliki SF sebesar 2,5303
 - 4) Tinggi 4,2 m memiliki SF sebesar 3,0511
 - 5) Tinggi 2,1 m memiliki SF sebesar 3,2248
 - b. Muka air 18 m
 - 1) Tinggi 10,5 m memiliki SF sebesar 1,997
 - 2) Tinggi 8,4 m memiliki SF sebesar 2,3611
 - 3) Tinggi 6,3 m memiliki SF sebesar 2,56
 - 4) Tinggi 4,2 m memiliki SF sebesar 3,4265
 - 5) Tinggi 2,1 m memiliki SF sebesar 3,9025

3. Angka Penurunan tanah pada timbunan tanah asli tanpa perkuatan geotekstil dengan tanah timbunan yang diperkuat geotekstil adalah sebagai berikut:
- a. Muka air 20 m
 - 1) Tinggi 10,5 m tanpa perkuatan geotekstil mengalami *collapse* sementara setelah diperkuat geotekstil menjadi 0,423 m
 - 2) Tinggi 8,4 m tanpa perkuatan geotekstil memiliki angka penurunan sebesar 0,278 m sementara setelah diperkuat geotekstil menjadi 0,267 m
 - 3) Tinggi 6,3 m tanpa perkuatan geotekstil memiliki angka penurunan sebesar 0,249 m sementara setelah diperkuat geotekstil menjadi 0,245 m
 - 4) Tinggi 4,2 m tanpa perkuatan geotekstil memiliki angka penurunan sebesar 0,162 m sementara setelah diperkuat geotekstil menjadi 0,158 m
 - 5) Tinggi 2,1 m tanpa perkuatan geotekstil memiliki angka penurunan sebesar 0,105 m sementara setelah diperkuat geotekstil menjadi 0,0965 m
 - b. Muka air 18 m
 - 1) Tinggi 10,5 m tanpa perkuatan geotekstil memiliki angka penurunan sebesar 0,43 m sementara setelah diperkuat geotekstil menjadi 0,421 m
 - 2) Tinggi 8,4 m tanpa perkuatan geotekstil memiliki angka penurunan sebesar 0,255 m sementara setelah diperkuat geotekstil menjadi 0,246 m
 - 3) Tinggi 6,3 m tanpa perkuatan geotekstil memiliki angka penurunan sebesar 0,238 m sementara setelah diperkuat geotekstil menjadi 0,232 m
 - 4) Tinggi 4,2 m tanpa perkuatan geotekstil memiliki angka penurunan sebesar 0,127 m sementara setelah diperkuat geotekstil menjadi 0,122 m
 - 5) Tinggi 2,1 m tanpa perkuatan geotekstil memiliki angka penurunan sebesar 0,0983 m sementara setelah diperkuat geotekstil menjadi 0,0964 m

6.2 Saran

Berdasarkan kesimpulan yang dapat ditarik dari analisis stabilitas timbunan pada proyek jalan tol Balikpapan – Samarinda, ada beberapa saran yang dapat dilakukan antara lain sebagai berikut ini.

1. Penelitian ini masih bisa dikembangkan dengan memodifikasi parameter lain seperti berat jenis tanah (γ_b), kohesi (c), atau kuat geser (ϕ).
2. Penelitian bisa dilakukan menggunakan software lain seperti SLOPE/W
3. Perhitungan kebutuhan geotekstil dapat dilakukan dengan pendekatan metode lainnya.
4. Perkuatan timbunan bisa menggunakan Dinding Penahan Tanah, Mini Pile, Bore Pile, atau sheet pile.

DAFTAR PUSTAKA

- Azizah, F.N., Surjandari, N.S., Dan Asád, Sholihin. 2014. Penggunaan Geotekstil Pada Lereng Sungai Putih Surakarta. Penelitian. Universitas SebelasMaret. Surakarta.
- Bina Marga. 2009. *Perencanaan dan Pelaksanaan Perkuatan Tanah dengan Geosintetik*. Departemen Pekerjaan Umum. Jakarta
- Bowles, J.E. 1989. Sifat-sifat Fisik & Geoteknis Tanah. Erlangga. Daerah Khusus Ibukota Jakarta.
- Budiastho, Adi.2018. Analisis Stabilitas Timbunan pada Badan Jalan dengan Perkuatan Geotekstil menggunakan Program Plaxis pada Proyek Jalan Tol Solo-Kertosono. Tugas Akhir. (tidak dipublikasi). Universitas Islam Indonesia.
- Chasanah, Uswatun. 2012. Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Program Geoslope. Tugas Akhir. UniversitasSebelas Maret. Surakarta.
- Christoper dkk. 1985. *Geotextile Engineering Manual*. Federal Highway Administration. Washington, D.C.
- Das, B.M. (1995). *Mekanika Tanah I*. Erlangga. Jakarta
- Departemen Pekerjaan Umum. 2005. Rekayasa Penanganan Keruntuhan Lereng pada Tanah Residual dan Batuan.
- Departemen Pekerjaan Umum. 2009. Modul Pelatihan Geosintetik Volume 3: Perencanaan Geosintetik Untuk Perkuatan Lereng
- Hardiyatmo, H.C. (1994). *Mekanika Tanah 2*. Edisi Pertama. Penerbit PT Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.
- Hardiyatmo, H.C. (1996). *Mekanika Tanah I*. PT. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.
- Hardiyatmo, H.C. (2002). *Mekanika Tanah I*. Penerbit Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.

- Hardiyatmo, H.C. (2006). *Mekanika Tanah I*. Penerbit Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Hardiyatmo, H.C. (2010). *Mekanika Tanah I*. Penerbit Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Hardiyatmo, H.C.. 2013. *Geosintetik Untuk Rekayasa Jalan Raya (Perancangan Dan Aplikasi)*, 2nd Ed. Gadjah Mada University Press. Daerah Istimewa Yogyakarta.
- Hardiyatmo, H.C.. 2014. *Mekanika Tanah 2*, 5th Ed. Gadjah Mada University Press. Daerah Istimewa Yogyakarta.
- Lambe, T.W and Whitman, R.V. (1969). *Soil Mechanics*. John Wiley & Sons. New York.
- Muntahar, A.S. 2015: *Tanah Longsor: Analisis-Prediksi-Mitigasi*. Penerbit Universitas Muhammadiyah Yogyakarta. Yogyakarta.
- Noordarma, F. 2019: *Analisis Stabilitas Lereng dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Metode Elemen Hingga pada Proyek Jalan Tol Solo-Kertosono Seksi 3 Tugas Akhir*. (tidak dipublikasi). Universitas Islam Indonesia
- Prasetyo, Dodik. 2014. *Pengaruh Kemiringan Lereng Dan Jumlah Lapisan Geotekstil Terhadap Daya Dukung Pondasi Pada Permodelan Fisik Lereng Pasir*. *Makalah Jurnal Teknik Sipil*. Vol 3. No. 1. Malang.
- PT. Pembangunan Perumahan (2017). *Laporan Evaluasi Hasil Analisis Timbunan Tol Balikpapan – Samarinda Sta. 1+975*. Jakarta.
- PT. Teknindo Geosistem Unggul (Tanpa Tahun). *Technical Specification. Geotextile Woven*. Surabaya
- Pradhana, R. 2018: *Analisis Stabilitas Lereng dengan Perkuatan Geotekstil (studi kasus Bantaran Sungai Code)*. Tugas Akhir. (Tidak Dipublikasi). Universitas Islam Indonesia

- Purwanto, E. 2012. Perkuatan Tanah. Handout Mata Kuliah, Universitas Islam Indonesia.
- Rinanditya, R.F. 2016. Analisis Stabilitas Lereng Dengan Dinding Penahan Tanah Kantilever Menggunakan Program Plaxis (Studi Kasus Jalan Piyungan-Batas Gunungkidul, Yogyakarta). *Tugas Akhir*. 2017. Univesitas Muhammadiyah Surakarta. Surakarta
- Santoso, B dkk. 1998: *Mekanika Tanah Lanjut*. Penerbit Gunadarma. Jakarta.
- Terzaghi, K. dan Peck, R. B. 1987. *Mekanika Tanah Dalam Praktek Rekayasa*. Penerbit Erlangga. Jakarta
- Zakaria, Z. 2009: Analisis Kestabilan Lereng Tanah. Jurnal Geoteknik. Universitas Padjajaran. Bandung

LAMPIRAN

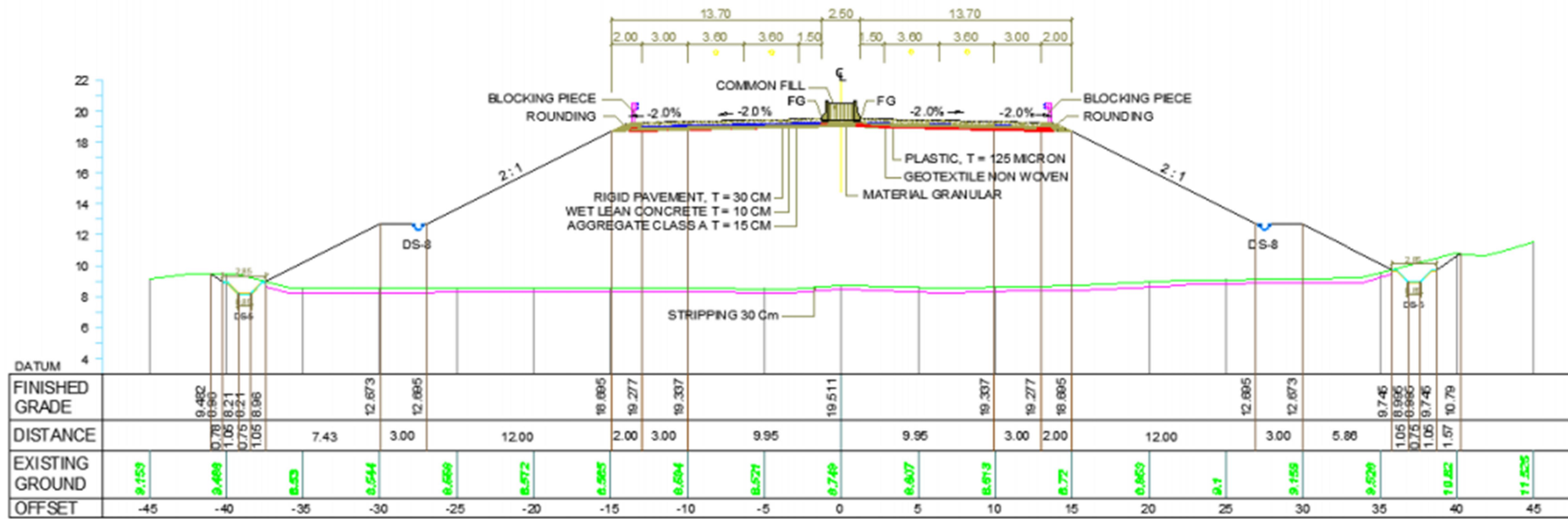
lampiran 1 : jadwal pembuatan Tugas Akhir

JADWAL PEMBUATAN TUGAS AKHIR

Bulan	Bobot (%)	1				2				3				4		
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3
Minggu Ke																
Kegiatan																
Persiapan																
Pengambilan data	5	5														
Instal aplikasi	3	3														
Pengumpulan data																
perhitungan manual Geotekstil	20		6.6667	6.6667	6.6667											
input data di Plaxis	10					3.3333	3.3333	3.3333								
Analisis dan pembahasan																
Analisis data hasil perhitungan manual	19							6.3333	6.3333	6.3333						
Analisis perhitungan di Plaxis	20										6.6667	6.6667	6.6667			
Pembahasan kedua analisis	10													7	3	
Penyusunan Laporan																
Lanjutan Laporan akhir	13					0.6	0.6	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2			2.4	2.4
		8	6.6667	6.6667	6.6667	3.9333	3.9333	10.867	7.5333	7.5333	7.8667	7.8667	6.6667	7	5.4	2.4
	100		14.667	21.333	28	31.933	35.867	46.733	54.267	61.8	69.667	77.533	84.2	91.2	96.6	99

lampiran 2 : Data Proyek jalan tol Balikpapan – Samarinda

1. GAMBAR POTONGAN MELINTANG jalan tol Balikpapan – Samarinda



2. DATA PARAMETER TANAH TIMBUNAN PADA JALAN TOL BALIKPAPAN – SAMARINDA

Sta 1+975												
Kedalaman (m)			Jenis Tanah	NSPT	Simbol	Parameter Short Term						
						Kondisi	Y unsat (KN/m ³)	Y sat (KN/m ³)	E (KN/m ²)	U	cu (KN/m ²)	ϕ
0	-	2	Lempung Kuning	4	C	Undrained	15	16	3000	0,25	24	3,00
2	-	6	Pasir Lepas Abu	4	S	Drained	11	12	6080	0,3	5	26,93
6	-	8	Lempung Abu	24	C	Undrained	15	16	9000	0,25	144	3,00
8	-	20	Pasir Abu Kehitaman	65	S	Drained	19	20	25600	0,3	5	47,93
			Timbunan Pilihan	-	C	Undrained	16,6	17,6	25000	0,3	20	10,00

3. DATA PARAMETER TANAH TIMBUNAN BARU PADA JALAN TOL BALIKPAPAN – SAMARINDA

Sta 1+975												
Kedalaman (m)			Jenis Tanah	NSPT	Simbol	Parameter Short Term						
						Kondisi	Y unsat (KN/m ³)	Y sat (KN/m ³)	E (KN/m ²)	U	cu (KN/m ²)	ϕ
0	-	2	Lempung Kuning	4	C	Undrained	15	16	3000	0,25	24	3,00
2	-	6	Pasir Lepas Abu	4	S	Drained	11	12	6080	0,3	5	26,93
6	-	8	Lempung Abu	24	C	Undrained	15	16	9000	0,25	144	3,00
8	-	20	Pasir Abu Kehitaman	65	S	Drained	19	20	25600	0,3	5	47,93
			Timbunan Pilihan	-	C	Undrained	16,6	17,6	25000	0,3	40	10,00

4.