

TUGAS AKHIR

ANALISIS STABILITAS LERENG DENGAN PERKUATAN DINDING PENAHAN TANAH BERJENJANG TIPE *CONCRETE CANTILEVER* MENGUNAKAN PROGRAM PLAXIS 8.6

(Studi Kasus di Pasaman, Padang, Sumatera Barat)

**(*SLOPE STABILITY ANALYSIS WITH TIERED
CONCRETE CANTILEVER RETAINING WALL USING
PLAXIS 8.6 PROGRAM*)**

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



المعجزة الإسلامية الأندونيسية

**Rio Rizky Pratama
15511035**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
2021**

TUGAS AKHIR

ANALISIS STABILITAS LERENG DENGAN PERKUATAN DINDING PENAHAN TANAH BERJENJANG TIPE *CONCRETE CANTILEVER* MENGUNAKAN PROGRAM PLAXIS 8.6

(Studi Kasus di Pasaman, Padang, Sumatera Barat)

***(SLOPE STABILITY ANALYSIS WITH TIERED
CONCRETE CANTILEVER RETAINING WALL USING
PLAXIS 8.6 PROGRAM)***

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



**Rio Rizky Pratama
15511035**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
2021**

TUGAS AKHIR

ANALISIS STABILITAS LERENG DENGAN PERKUATAN DINDING PENAHAN TANAH BERJENJANG TIPE *CONCRETE CANTILEVER* MENGUNAKAN PROGRAM *PLAXIS 8.6*

(Studi Kasus di Pasaman, Padang, Sumatera Barat)

(*SLOPE STABILITY ANALYSIS WITH TIERED CONCRETE CANTILEVER
RETAINING WALL USING PLAXIS 8.6 PROGRAM*)

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

Disusun oleh

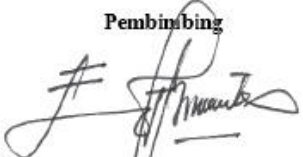
Rio Rizky Pratama
15511035

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

Diuji pada tanggal 27 April 2021

Oleh Dewan Penguji:

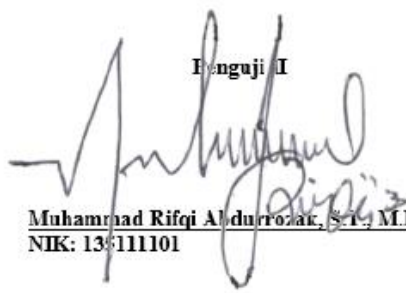
Pembimbing


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

Penguji I


Hanindya Kusuma Astuti, S.T., M.T.
NIK: 045110407

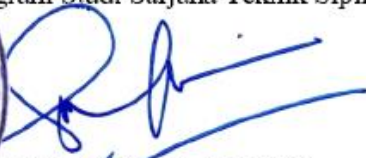
Penguji II


Muhammad Rifqi Abdurrozaq, S.T., M.Eng.
NIK: 136111101

Mengesahkan,



Program Studi Sarjana Teknik Sipil


Dr. E. Sri Amizi Yuni Astuti, M.T.
NIK: 885110101

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa laporan Tugas Akhir yang saya susun sebagai syarat untuk penyelesaian program Sarjana di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia merupakan hasil karya saya sendiri. Adapun beberapa bagian dalam penulisan laporan Tugas Akhir yang saya kutip dari berbagai karya milik orang lain telah dituliskan dalam sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah, dan etika penulisan karya ilmiah sebagai pedoman dan acuan literasi yang jelas dalam Tugas Akhir ini. Apabila di kemudian hari ditemukan plagiasi pada seluruh atau sebagian laporan tugas akhir ini, maka saya siap menerima sanksi sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku.

Yogyakarta, 3 Maret 2021

Yang membuat pernyataan,



Rio Rizky Pratama

(15511035)

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah *rabbi'l'amin*, puji syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT yang senantiasa menghaturkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan sungguh-sungguh.

Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu syarat akademik dalam menyelesaikan studi tingkat sarjana di Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta. Seiring dengan penyusunan Tugas Akhir ini terdapat banyak hambatan yang dihadapi oleh penulis, namun berkat saran, kritik serta dorongan semangat dari berbagai pihak, Alhamdulillah Tugas Akhir ini dapat diselesaikan. Berkaitan dengan ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih dan rasa bersyukur yang sedalam-dalamnya kepada:

1. Bapak Dr. Ir. Edy Purwanto, CES., DEA. selaku dosen pembimbing sekaligus dosen pembimbing akademik yang telah memberikan banyak saran dan bimbingan serta bantuan selama mengerjakan Tugas Akhir ini.
2. Ibu Dr. Ir. Sri Amini Yuni A, M.T. selaku Ketua Program Studi Sarjana Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
3. Seluruh civitas akademika Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia yang telah membantu penulis selama masa perkuliahan.
4. Keluarga tercinta, Papi dan Mami penulis, Bapak Ilham Wahyudi dan Ibu Siti Mayasari yang telah memberikan banyak dukungan secara moril dan materiil serta selalu memberikan doa hingga Tugas Akhir ini dapat diselesaikan.

5. Adik penulis, Reza dan Rayhan yang selalu memberikan dukungan dan motivasi agar penulis segera menyelesaikan masa studi.
6. Ina Masrurroh, karena selalu mendampingi penulis dengan memberikan dukungan yang tiada henti, motivasi serta menjadi penyemangat bagi penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
7. Para sahabat penulis, yang telah membantu penulis berkembang menjadi manusia yang baik. Faishol Jamil, Farah Mawaddah, Farkhan Ramadhan, Nizar Surya Isadono serta pihak-pihak lain yang penulis tak dapat sebutkan satu-persatu namanya.
8. Seluruh pihak yang telah membantu sehingga tugas akhir ini dapat diselesaikan dengan baik.

Akhir kata, penulis berharap agar Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi berbagai pihak yang membacanya.

Yogyakarta, 3 Maret 2021

Penulis,



Rio Rizky Pratama

(15511035)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	ii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xv
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xvi
ABSTRAK	xviii
ABSTRACT	xix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Batasan Penelitian	3
1.6 Lokasi Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Pendahuluan	7
2.1.1 Penelitian Sebelumnya	7
2.1.2 Perbedaan Penelitian yang Dilakukan	15
BAB III LANDASAN TEORI	19
3.1 Tanah	19

3.1.1	Klasifikasi Tanah	19
3.1.2	Sifat Mekanis Tanah yang digunakan pada Analisis Plaxis	24
3.1.3	Properti Tanah	28
3.2	Stabilitas Lereng	31
3.3	Metode Yang Digunakan	32
3.4	Konsep Angka Keamanan Lereng	34
3.5	Perkuatan Tanah	36
3.6	Dinding Penahan Tanah	37
3.7	Dinding Penahan Tanah Kantilever	37
3.8	Dimensi Dinding Kantilever	39
3.9	Stabilitas Dinding Penahan Tanah	39
3.9.1	Stabilitas Terhadap Guling	40
3.9.2	Stabilitas Terhadap Geser	41
3.9.3	Stabilitas Terhadap Kapasitas Daya Dukung Tanah	43
3.10	Program PLAXIS 8.6	45
BAB IV METODE PENELITIAN		47
4.1	Pendahuluan	47
4.2	Bahan dan Alat	47
4.3	Persiapan Penelitian	47
4.4	Pengumpulan data	48
4.5	Tahap Pelaksanaan Penelitian	53
4.6	Tahapan Analisis Stabilitas Lereng dan Input Data pada Plaxis 8.6	54
4.6.1	Input Data Geometri	54
4.6.2	Tahap Analisis	55
4.6.3	<i>Plaxis Calculations</i>	55

4.6.4 <i>Plaxis Output</i>	57
4.7 Bagan Alir Penelitian	58
BAB V Analisis dan pembahasan	60
5.1 Analisis Stabilitas Eksisting Menggunakan Program Plaxis 8.6.	60
5.2 Analisis Stabilitas Lereng menggunakan Metode Fellenius	65
5.3 Analisis Stabilitas Eksternal Dinding Penahan Tanah	69
5.3.1 Perhitungan Manual Dinding Penahan Tanah Berjenjang	70
5.3.2 Rekapitulasi Keseluruhan Perhitungan Stabilitas Eksternal DPT	79
5.4 Perhitungan Kebutuhan Tulangan Dinding Penahan Tanah	79
5.4.1 Kebutuhan Tulangan Dinding Penahan Tanah Tingkat Atas	79
5.4.2 Rekapitulasi Kebutuhan Tulangan Dinding Penahan Tanah	88
5.4.3 Sketsa Penulangan Dinding Penahan Tanah	88
5.5 Analisis Stabilitas Lereng Asli Tanpa Perkuatan Menggunakan Program PLAXIS 8.6	89
5.5.1 Analisis Stabilitas Lereng Tanpa Perkuatan Kondisi Normal	90
5.5.2 Analisis Stabilitas Lereng Tanpa Perkuatan Kondisi Ekstrem atau Muka Air Tanah Rendah	96
5.5.3 Rekapitulasi Hasil Analisis menggunakan Program Plaxis 8.6 pada Lereng tanpa Perkuatan dengan Kondisi Normal	101
5.6 Analisis Stabilitas Lereng dengan Perkuatan Menggunakan Program PLAXIS 8.6	101
5.6.1 Analisis Stabilitas Lereng dengan Perkuatan Kondisi Normal	102
5.6.2 Analisis Stabilitas Lereng dengan Perkuatan Kondisi Ekstrem atau Muka Air Tanah Rendah	110
5.6.3 Rekapitulasi Hasil Analisis menggunakan Program Plaxis 8.6 pada Lereng tanpa Perkuatan dengan Kondisi Normal dan Ekstrem	116

5.7 Pembahasan	116
5.7.1 Kondisi Umum	116
5.7.2 Analisis Stabilitas Lereng Eksisting menggunakan Plaxis 8.6 dan Metode Fellenius	117
5.7.3 Analisis Stabilitas Eksternal Dinding Penahan Tanah Kantilever	117
5.7.4 Analisis Stabilitas Lereng Asli tanpa Perkuatan Menggunakan Plaxis 8.6	118
5.7.5 Analisis Stabilitas Lereng dengan Perkuatan Menggunakan Plaxis 8.6	118
5.7.6 Analisis Faktor Gempa pada Lereng dengan Perkuatan Menggunakan Plaxis 8.6	119
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	120
6.1 Kesimpulan	120
6.2 Saran	122
DAFTAR PUSTAKA	123
LAMPIRAN	126

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbedaan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Sekarang	15
Tabel 3.1 Sistem Klasifikasi Tanah Unified	22
Table 3.2 Sistem Klasifikasi Tanah AASHTO	24
Tabel 3.3 Nilai Koefisien Permeabilitas Tanah	25
Tabel 3.4 Hubungan Angka Poisson dengan Jenis Tanah dan Konsistensi	26
Tabel 3.5 Nilai Perkiraan Modulus Elastisitas	26
Tabel 3.6 Hubungan Antara Sudut Geser Dalam dengan Jenis Tanah	27
Tabel 3.7 Hubungan Antara Angka Pori, Kelembaban Dan Berat Volume Tanah Kering	28
Tabel 3.8 Nilai Faktor Keamanan Persyaratan Departemen Pekerjaan Umum	35
Tabel 3.9 Faktor Keamanan Lereng	36
Tabel 3.10 Koefisien Gesek (f) Antara Dasar Fondasi Dan Tanah Dasar	43
Tabel 4.1 Parameter Tanah Pada BT.01 – BT.02	48
Tabel 4.2 Beban Lalu Lintas	51
Tabel 4.3 Parameter Desain Dinding Penahan Tanah Kantilever	52
Tabel 5.2 Data Parameter Tanah Dinding Penahan Tanah Berjenjang	73
Tabel 5.3 Rekapitulasi Perhitungan Gaya dan Momen Vertikal	74
Tabel 5.4 Tekanan Tanah Aktif	75
Tabel 5.5 Tekanan Tanah Pasif	76
Tabel 5.6 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Stabilitas Eksternal DPT	79
Tabel 5.7 Rekapitulasi Kebutuhan Tulangan Dinding Penahan Tanah	88
Tabel 5.8 Data Parameter Tanah Setiap Lapisan	90

Tabel 5.9 Rekapitulasi Hasil Analisis Lereng tanpa Perkuatan 101

Tabel 5.10 Rekapitulasi Hasil Analisis Lereng dengan Perkuatan 116



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Peta Lokasi Saluran Irigasi BT.01-BT.02 Panti Rao	5
Gambar 1.2 <i>Cross Section</i> Pada P.34	6
Gambar 3.1 (a) Elemen Tanah dalam Kondisi Natural; (b) Tiga Fase Elemen Tanah	29
Gambar 3.2 Gaya Yang Bekerja Pada Irisan	34
Gambar 3.3 Contoh Sederhana Dinding Penahan Tanah Kantilever	38
Gambar 3.4 Dimensi Pendahuluan Dinding Penahan Tanah Kantilever	39
Gambar 4.1 <i>Cross Section</i> Pada STA P.34	50
Gambar 4.2 Peta Zonasi Gempa Indonesia PGA-SNI 1726:2012	52
Gambar 4.3 Tampilan General Settings	54
Gambar 4.4 Tampilan Menu <i>Plaxis Calculations</i>	56
Gambar 4.5 Tampilan <i>Plaxis Output Program</i>	57
Gambar 4.6 Bentuk Bagan Alir Penelitian	59
Gambar 5.1 Permodelan Lereng Eksisting	60
Gambar 5.2 <i>General Meshing</i> pada Lereng Eksisting	61
Gambar 5.3 Tekanan Air Pori pada Lereng Eksisting	62
Gambar 5.4 Tahapan Kalkulasi pada Lereng Eksisting	62
Gambar 5.5 Bidang Longsor pada Lereng Eksisting	63
Gambar 5.6 Perpindahan Total pada Lereng Eksisting	64
Gambar 5.7 Konsolidasi dan Arah Penurunan Tanah pada Lereng Eksisting	64
Gambar 5.8 Grafik SF vs Perpindahan Lereng Eksisting	65
Gambar 5.9 Permodelan Lereng Analisis Metode Fellenius	66

Gambar 5.10 Diagram Distribusi Tekanan Tanah Lateral Dinding Penahan Tanah Berjenjang	71
Gambar 5.11 Dimensi Dinding Penahan Tanah Berjenjang	72
Gambar 5.12 Kodefikasi Dimensi Dinding Penahan Tanah Kantilever Atas	80
Gambar 5.13 Sketsa Penulangan Dinding Penahan Tanah Kantilever Berjenjang	89
Gambar 5.14 Permodelan Lereng Tanpa Perkuatan Kondisi Normal	91
Gambar 5.15 <i>General Meshing</i> pada Lereng Tanpa Perkuatan Kondisi Normal	91
Gambar 5.16 Tekanan Air Pori pada Lereng Tanpa Perkuatan Kondisi Normal	92
Gambar 5.17 Tahapan Kalkulasi pada Lereng Tanpa Perkuatan Kondisi Normal	93
Gambar 5.18 Bidang Longsor pada Lereng Tanpa Perkuatan Kondisi Normal	94
Gambar 5.19 Perpindahan Total pada Lereng Tanpa Perkuatan Kondisi Normal	95
Gambar 5.20 Konsolidasi dan Arah Penurunan Tanah pada Lereng Tanpa Perkuatan Kondisi Normal	95
Gambar 5.21 Grafik SF vs Perpindahan Lereng Tanpa Perkuatan Kondisi Normal	96
Gambar 5.22 Tekanan Air Pori pada Lereng Tanpa Perkuatan Kondisi Ekstrem	97
Gambar 5.23 Tahapan Kalkulasi pada Lereng Tanpa Perkuatan Kondisi Ekstrem	98
Gambar 5.24 Bidang Longsor pada Lereng Tanpa Perkuatan Kondisi Ekstrem	99
Gambar 5.25 Perpindahan Total pada Lereng Tanpa Perkuatan Kondisi Ekstrem	100
Gambar 5.26 Konsolidasi dan Arah Pergerakan Tanah pada Lereng Tanpa Perkuatan Kondisi Ekstrem	100
Gambar 5.27 Grafik SF vs Perpindahan pada Lereng Tanpa Perkuatan Kondisi Ekstrem	101
Gambar 5.28 Permodelan Lereng dengan Perkuatan Kondisi Normal	102

Gambar 5.29 <i>General Meshing</i> pada Lereng dengan Perkuatan Kondisi Normal	103
Gambar 5.30 Tekanan Air Pori pada Lereng dengan Perkuatan Kondisi Normal	104
Gambar 5.31 Tahapan Kalkulasi pada Lereng dengan Perkuatan Kondisi Normal	105
Gambar 5.32 Bidang Longsor Pada Lereng dengan Perkuatan Kondisi Normal	106
Gambar 5.33 Perpindahan Total pada Lereng dengan Perkuatan Kondisi Normal	107
Gambar 5.34 Konsolidasi dan Arah Pergerakan Tanah pada Lereng dengan Perkuatan Kondisi Normal	108
Gambar 5.35 Grafik SF vs Perpindahan pada Lereng dengan Perkuatan Kondisi Normal	109
Gambar 5.36 Grafik SF Gempa vs Perpindahan pada Lereng dengan Perkuatan Kondisi Normal	110
Gambar 5.37 Tekanan Air Pori pada Lereng dengan Perkuatan Kondisi Ekstrem	111
Gambar 5.38 Tahapan Kalkulasi pada Lereng dengan Perkuatan Kondisi Ekstrem	112
Gambar 5.39 Bidang Longsor pada Lereng dengan Perkuatan Kondisi Ekstrem	113
Gambar 5.40 Perpindahan Total pada Lereng dengan Perkuatan Kondisi Ekstrem	114
Gambar 5.41 Konsolidasi dan Arah Pergerakan Tanah pada Lereng dengan Perkuatan Kondisi Ekstrem	114
Gambar 5.42 Grafik SF vs Perpindahan pada Lereng dengan Kondisi Ekstrem	115
Gambar 5.43 Grafik SF Gempa vs Perpindahan pada Lereng dengan Perkuatan Kondisi Ekstrem	116

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Jadwal Penyusunan Tugas Akhir	126
Lampiran 2	<i>Borlog</i> Pantı Rao	127
Lampiran 3	Hasil Pengujian N-SPT Pantı Rao	128
Lampiran 4	Resume Pengujian Lab 5,55 – 6,00 m	129
Lampiran 5	Resume Pengujian Lab 13,55 – 14,00 m	130
Lampiran 6	Potongan Melintang P.34 Proyek Saluran Irigasi Pantı Rao	131



DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

cm	= Centimeter
m	= Meter
mm	= Milimeter
f_y	= Kuat Tarik Baja
C_u	= <i>Undrained shear strength</i>
γ_d	= Berat Volume Tanah Kering
γ	= Berat Volume Tanah Basah
γ_{sat}	= Berat Volume Tanah Jenuh
γ_{unsat}	= Berat volume tanah tak jenuh
γ'	= Berat Volume Tanah Efektif
e	= Angka Pori
l	= Residua
FK	= Faktor Keamanan
N	= Newton
kN	= Kilo Newton
Mpa	= Mega Pascal
%	= Persen
D	= Diameter
C_o	= Faktor Reduksi Geser
S	= Jarak
L	= Panjang
SF	= <i>Safety Factor</i>
τ_f	= Kuat geser tanah
τ_d	= Tegangan geser yang terjadi sepanjang bidang runtuh

m^2	= Meter persegi
V_c	= kuat geser beton
Σ	= Total/Jumlah
f'_c	= Kuat tekan beton
W	= Berat irisan tanah ke-i
R	= Jari-jari lingkaran bidang longsor
A_s	= Luas tulangan Sengkang
\emptyset	= diameter
(c)	= Kohesi
(ϕ)	= Sudut Geser Dalam
(ν)	= <i>Poissons Ratio</i>
(E)	= Modulus Young/Modulus Elastisitas
(ψ)	= Sudut Dilatasi
(K)	= Koefisien Permeabilitas
(G)	= Modulus Geser
Psi	= <i>Pounds per Square Inch</i>
(Dr)	= Kepadatan Relat



ABSTRAK

Proyek irigasi Panti Rao pada daerah Pasaman terletak di Kota Padang, Provinsi Sumatera Barat. Kondisi lereng pada proyek ini cukup beragam, terutama pada lokasi tinjauan dimana terdapat cukup banyak lereng curam dan telah terjadi kelongsoran sebelumnya. Hal ini menunjukkan bahwa stabilitas lereng diperkirakan berada pada keadaan yang cukup kritis dan dapat berpotensi mengalami kelongsoran berikutnya. Analisis stabilitas lereng bertujuan untuk mengetahui angka keamanan lereng terhadap longsor serta angka penurunan tanah yang terjadi guna merencanakan perkuatan tanah yang tepat.

Analisis stabilitas lereng dilaksanakan dengan melakukan serangkaian perhitungan manual kemudian dilengkapi oleh analisis menggunakan bantuan program PLAXIS 8.6. PLAXIS adalah program komputer berbasis metode elemen hingga dua dimensi yang digunakan secara spesifik dalam melakukan analisis stabilitas dan deformasi dan dapat diaplikasikan dalam membuat berbagai macam permodelan geometri dan perkuatan dalam bidang geoteknik. Pada penelitian ini digunakan perkuatan tanah berupa dinding penahan tanah tipe kantilever berjenjang, kemudian dilakukan analisis pada dua kondisi lereng yaitu, kondisi normal dan kondisi ekstrem.

Berdasarkan hasil analisis stabilitas lereng eksisting dengan menggunakan PLAXIS 8.6 didapatkan hasil SF sebesar 1,2282 pada keadaan tanpa perkerasan dan perhitungan manual metode Fellenius didapatkan hasil SF sebesar 1,20787, hal ini menunjukkan bahwa lereng dalam kondisi kritis dan pernah terjadi longsor sebelumnya. Selanjutnya, berdasarkan perhitungan manual stabilitas eksternal dinding penahan tanah didapatkan hasil pada dinding penahan tanah berjenjang didapatkan hasil dengan SF guling sebesar $3,5109 > 2$ (aman), SF geser sebesar $3,3074 > 2$ (aman), SF kapasitas daya dukung tanah sebesar $12,9753 > 3$ (aman). Berdasarkan hasil analisis dengan menggunakan program PLAXIS 8.6 didapatkan hasil dalam 2 kondisi permodelan, yaitu kondisi normal dan kondisi ekstrem. Pada kondisi normal didapatkan hasil pada lereng tanpa perkuatan dengan SF sebesar 1,2191 serta penurunan tanah 0,0399 meter dan pada lereng dengan perkuatan dengan SF sebesar 1,7823, SF gempa sebesar 1,1163 serta penurunan tanah 0,0276 meter. Pada kondisi ekstrem didapatkan hasil pada lereng tanpa perkuatan dengan SF sebesar 1,1449 serta penurunan tanah 0,0502 meter dan pada lereng dengan perkuatan dengan SF sebesar 1,7556, SF gempa sebesar 1,0452 serta penurunan tanah 0,0507 meter.

kata kunci: stabilitas lereng, faktor keamanan, konsolidasi tanah, Plaxis, dinding penahan tanah kantilever berjenjang

ABSTRACT

The Panti Rao irrigation Project in the Pasaman area were located at Padang City, West Sumatera Province. Slope conditions in this project are quite diverse, especially at the review location where there are quite a lot of steep slopes and previous landslides have occurred. This indicates that the slope stability is estimated to be in fairly critical state and could potentially experience further avalanches. Slope stability analysis aims to determine the number of slope safety factor against landslides and the soil settlement that occurs in order to design proper soil reinforcement.

Slope stability analysis is conducted by performing a series of manual calculations then completed by analysis using the PLAXIS 8.6 program. PLAXIS is a computer program based on the two dimensional finite element method that is used specifically for stability and deformation analysis and can be applied in designing various type of geometry and reinforcement modeling in the geotechnical field. This study, used tiered concrete cantilever retaining wall as soil reinforcement, then the analysis was conducted on two slope conditions, which are normal conditions and extreme conditions.

Based on the results of the existing slope stability analysis using the PLAXIS 8.6 program, the SF result is 1,2282 on slope condition without any pavement and manual calculation using Fellenius on the existing slope, the SF result is 1,20787, this shows the slope is in a critical condition and had occurs previous landslides. Furthermore, based on the manual calculation of the external stability of the retaining wall, the results are obtained with SF against overturning of 3,5109 > 2 (safe), SF against sliding of 3,3074 > 2 and SF against soil bearing capacity of 12,9753 > 3 (safe). Based on the results of the analysis using the PLAXIS 8.6 program, the results were observed in 2 modelling conditions, normal condition and extreme condition. In normal condition the results obtained on slope without reinforcement with SF of 1,2191 and soil settlement of 0,0399 meter and on slope with reinforcement with SF of 1,7823, SF against earthquake of 1,1163 and soil settlement of 0,0276 meter. In extreme condition, the results obtained on slope without reinforcement with SF of 1,1449 and soil settlement of 0,502 meter and on slope with reinforcement with SF of 1,7556, SF against earthquake of 1,0452 and soil settlement of 0,0507 meter.

Keywords: *slope stability, safety factors, soil consolidation, Plaxis, tiered concrete cantilever retaining walls*

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Segala macam pekerjaan bangunan konstruksi sebagian besar pelaksanaannya dilakukan diatas tanah. Pada pengerjaan bangunan konstruksi diperlukan pondasi dan tanah yang baik dalam rangka keamanan dan stabilitas bangunan tersebut. Seringkali masalah ataupun *failure* dapat terjadi apabila tidak dilakukan penyelidikan tanah terlebih dahulu dalam pekerjaan konstruksi, karena tanah dasar merupakan aspek yang sangat penting dan harus selalu diperhatikan terkait dengan pelaksanaan bangunan konstruksi dalam rangka mendistribusikan beban hidup maupun beban mati yang diterima oleh bangunan itu sendiri. Pada beberapa kasus di berbagai daerah Indonesia, pondasi dan tanah tidak selalu cocok dalam pengerjaannya, diperlukan adanya beberapa modifikasi dan rekayasa sipil agar pekerjaan konstruksi tetap dapat dilakukan. Beberapa modifikasi tersebut diantaranya adalah perkuatan ataupun stabilisasi dari tanah/*subgrade*.

Secara spesifik pada proyek pembangunan saluran irigasi Batang Tambangan Panti Rao, Padang, Sumatera barat memiliki daya dukung tanah dan stabilitas yang kurang baik. Berdasarkan pada kondisi tersebut maka kebutuhan untuk tanah dasar yang baik pada segala macam pembangunan konstruksi harus senantiasa diperhatikan sehingga bangunan dapat berfungsi dengan baik sesuai umur rencana dan spesifikasi teknis guna memberikan keamanan dan kenyamanan bagi masyarakat.

Dalam pembangunan saluran irigasi Batang Tambangan Panti Rao, Padang, Sumatera barat, ditemukan beberapa kendala dalam pengerjaan konstruksi jalannya dengan masalah yang disebabkan oleh tanah dasar/*subgrade* yang merupakan daerah lereng yang sangat curam sehingga ditemukan adanya kelongsoran tanah. Untuk mengatasi masalah tersebut, salah satunya dilakukan rekayasa sipil berupa perkuatan tanah dasar menggunakan dinding penahan tanah berjenjang dengan tipe

kantilever guna mengamankan struktur jalan di atasnya dan menstabilkan tanah dibawahnya.

Dinding Penahan Tanah tipe Kantilever adalah salah satu jenis dinding penahan tanah yang seringkali digunakan untuk menahan pergerakan tanah yang cukup ekstrim pada daerah lereng curam yang cukup tinggi. Dinding penahan tanah tipe kantilever terbuat dari beton bertulang yang terdiri dari dinding vertikal dan pelat dasar atau footing dengan tulangan yang berbentuk huruf T, ketebalan pada kedua bagian struktur biasanya relatif tipis dan diberi tulangan secara menyeluruh dengan jarak yang ditentukan berdasarkan perhitungan penulangan untuk menahan momen dan gaya lintang yang bekerja pada dinding tersebut. Untuk melakukan pengerjaan dinding penahan tanah tersebut, sebelumnya dasar lereng digali sebagai dasar dari dinding penahan tanah kemudian dengan menggunakan bekisting atau cetakan yang telah disusun tulangan kemudian dicor dengan beton.

Berdasarkan persoalan tersebut, peneliti bermaksud mengadakan penelitian analisis pengaruh penggunaan dinding penahan tanah bertingkat tipe kantilever terhadap lereng pada proyek pembangunan saluran irigasi Batang Tambangan Panti Rao, Padang, Sumatera barat menggunakan program analisa geoteknik Plaxis 8.6.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun dalam tugas akhir ini, permasalahan yang akan dibahas adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana stabilitas pada lereng dengan keadaan eksisting sebelum diberi perkuatan dinding penahan tanah berjenjang tipe kantilever?
2. Bagaimana pengaruh penggunaan dinding penahan tanah berjenjang tipe kantilever pada lereng lokasi penelitian terhadap *Safety Factor*-nya?
3. Bagaimana pengaruh penggunaan dinding penahan tanah berjenjang tipe kantilever pada lereng lokasi penelitian terhadap konsolidasi yang terjadi?

4. Bagaimana menentukan desain perkuatan yang efektif dan efisien untuk dinding penahan tanah berjenjang tipe kantilever dalam mengatasi masalah kelongsoran lereng pada lokasi penelitian?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penyusunan tugas akhir ini adalah sebagai berikut.

1. Mengetahui stabilitas lereng eksisting dengan menggunakan program Plaxis 8.6. dan metode Fellenius.
2. Mengetahui angka aman (SF) pada lereng proyek saluran irigasi Panti Rao yang telah diperkuat dengan perkuatan dinding penahan tanah berjenjang tipe kantilever.
3. Mencari angka penurunan akibat konsolidasi pada tanah setelah diperkuat dengan perkuatan dinding penahan tanah berjenjang tipe kantilever.
4. Merencanakan dimensi yang efektif dan efisien untuk untuk dinding penahan tanah berjenjang tipe kantilever dalam mengatasi masalah kelongsoran lereng pada lokasi penelitian.

1.4 Manfaat Penelitian

Dengan dilakukannya penelitian ini, diharapkan dapat memberikan manfaat kepada masyarakat daerah Pasaman, Sumatera Barat dan hasil analisis yang didapat dari penelitian ini dapat digunakan oleh pihak instansi yang berkaitan dapat mengetahui hasil komprehensif terkait permasalahan pengerjaan konstruksi pada saluran irigasi dengan lereng yang curam khususnya di daerah Pasaman, sehingga seluruh elemen yang terlibat dalam pelaksanaan proyek konstruksi dapat bekerja lebih optimal.

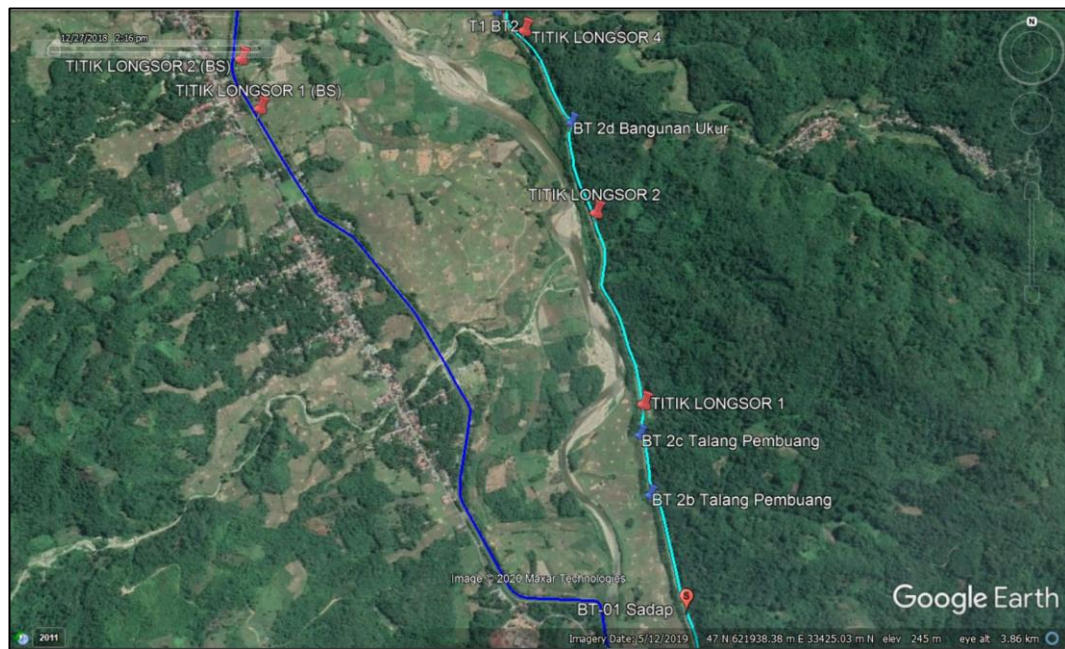
1.5 Batasan Penelitian

Batasan penelitian diperlukan untuk menghindari terjadinya penyimpangan dari penelitian ini. Berikut Batasan-batasan yang ditetapkan untuk penelitian ini.

1. Penelitian ini meliputi pembatasan ruang lingkup wilayah studi ruas saluran irigasi Panti Rao, Pasaman, Sumatera Barat.
2. Ruang lingkup pembahasan materi studi di antaranya adalah analisis *safety factor* dan konsolidasi yang terjadi.
3. Data parameter tanah yang digunakan berasal dari hasil uji lapangan dan uji lab oleh PT. Intimulya Multikencana KSO Maxitech Utama Indonesia pada tahun 2020.
4. Penelitian ini merupakan analisis *safety factor* dan konsolidasi yang terjadi pada saluran irigasi Panti Rao, Pasaman, Sumatera Barat yang menggunakan perkuatan dinding penahan tanah berjenjang tipe kantilever.
5. Tidak menganalisis faktor lain selain *safety factor* dan konsolidasi yang terjadi.
6. Mengetahui angka *safety factor* dengan memperhitungkan koefisien gempa dengan nilai 1,2 g dalam melakukan simulasi dinamis, nilai koefisien gempa yang diambil merupakan nilai koefisien gempa yang sesuai dengan lokasi studi kasus.
7. Mutu beton yang digunakan adalah 25 Mpa, mutu baja yang digunakan adalah 420 mpa.

1.6 Lokasi Penelitian

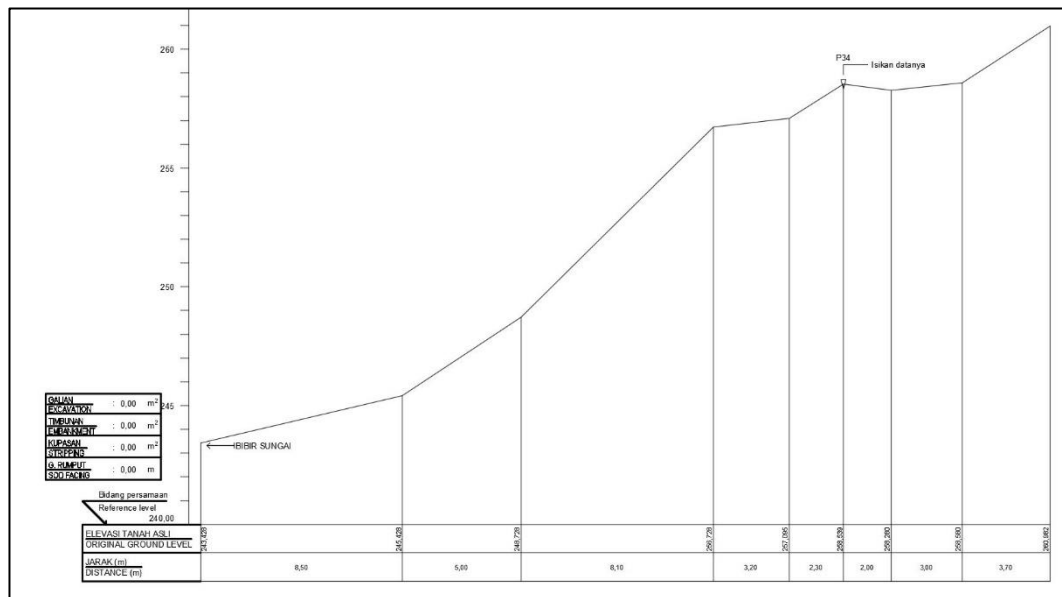
Lokasi yang ditinjau pada penelitian ini adalah saluran irigasi Panti Rao, Pasaman, tepatnya pada titik longsor 2 yang terletak diantara bangunan sadap BT.01 – BT.02 pada kros P.34 yang terletak di Sumatera Barat. Pada saat ini Saluran Irigasi Panti Rao tengah mengalami rehabilitasi ataupun perawatan pada beberapa saluran dan pembangunan saluran-saluran baru. Berdasarkan informasi dari data yang didapatkan, lokasi lereng tinjauan telah dikonfirmasi mengalami longsor sebelumnya dan juga daerah di sekitar lereng terdapat sedikit sekali vegetasi untuk mehanan pergerakan tanah akibat air. Peta lokasi saluran irigasi BT.01 – BT.02 Panti Rao dapat dilihat pada Gambar 1.1 berikut ini.



Gambar 1.1 Peta Lokasi Saluran Irigasi BT.01-BT.02 Panti Rao

(sumber: PT. Intimulya Multikencana KSO Maxitech Utama Indonesia, 2020)

Berdasarkan informasi denah lokasi tersebut, section BT.01-BT.02 saluran irigasi Panti Rao memiliki total keseluruhan jarak sepanjang 2,23 km. Pada penelitian ini secara spesifik lokasi ditinjau adalah pada bagian P.34 dengan *cross section* pada Gambar 1.2 berikut ini.



Gambar 1.2 Cross Section Pada P.34

(sumber: PT. Intimulya Multikencana KSO Maxitech Utama Indonesia, 2020)

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pendahuluan

Pada BAB I, telah dijelaskan latar belakang, rumusan masalah, tujuan, batasan, serta manfaat dari penelitian ini. Selanjutnya akan dijelaskan mengenai beberapa hasil penelitian sejenis dari yang sudah pernah dilaksanakan sebelumnya sebagai pustaka, bahan pertimbangan dan referensi untuk penelitian, sekaligus menghindari duplikasi pada penelitian.

2.1.1 Penelitian Sebelumnya

Tinjauan pustaka ini dimaksudkan untuk memahami kerangka atau latar belakang teoritis dari permasalahan yang diteliti dengan menyertakan penelitian-penelitian terdahulu yang sejenis dan memiliki hubungan dengan topik yang sedang diteliti pada penelitian ini.

Winanda (2017) menyatakan bahwa longsor di Taman Nasional Bukit Barisan Selatan (TNBBS) biasanya terjadi saat musim hujan, karena intensitas hujan yang lebih dari biasanya akan menyebabkan tanah menjadi jenuh air yang mana tanah sudah tidak mampu lagi menampung air kedalam porinya sehingga air pori akan naik yang mengakibatkan kuat geser tanah menjadi kecil sehingga tanah menjadi labil dan rawan terjadi longsor. Teknologi di bidang konstruksi bangunan mengalami perkembangan pesat, termasuk teknologi dalam bidang geoteknik. Sudah banyak diketahui bersama bahwa untuk mempercepat dalam perhitungan dan meminimalisir kesalahan pada saat menghitung ketabilan dinding penahan tanah dengan menggunakan program bantu Plaxis. Plaxis merupakan program komputer berdasarkan metode elemen hingga dua dimensi yang digunakan secara khusus melakukan analisis deformasi dan stabilitas untuk berbagai aplikasi dalam bidang geoteknik dengan membuat model geometri dan jaring elemen berdasarkan penampang melintang. Penelitian ini bertujuan untuk merencanakan dimensi dan

stabilitas dinding penahan tanah terhadap bahaya pergeseran, penggulingan dan ambles pada dinding penahan tanah di jalan Liwa – Simpang Gunung Kemala Krui KM. 264+600 (39-19) dengan metode manual dan mengevaluasi nilai faktor aman (*Safety Factor*) pada jalan Liwa – Simpang Gunung Kemala Krui KM. 264+600 (39-19) berdasarkan analisis menggunakan program komputer Plaxis versi 8.2.

Metode penelitian yang dilakukan adalah mengumpulkan data sekunder berupa data fisik tanah dan gambar penampang melintang yang didapat dari laboratorium mekanika tanah Universitas Lampung, kemudian analisis dilakukan dengan tiga permodelan perletakan dinding penahan tanah kantilever menggunakan program Plaxis untuk mencari nilai faktor aman dan menggunakan metode manual untuk memeriksa stabilitas dinding penahan tanah kantilever. Hasil penelitian yang didapatkan adalah berdasarkan analisis program Plaxis sebelum dilakukan penanganan dengan dinding penahan tanah kantilever, kondisi lereng KM. 264+600 secara umum mengalami kelongsoran disebabkan karena kondisi tanah yang tergolong memiliki sifat mekanis tanah yang rendah. Pada kondisi A diperoleh nilai faktor keamanan (F_s) sebesar 2,0503 dengan nilai *displacement* sebesar $79,95 \times 10^{-3}$ meter. Pada kondisi B diperoleh nilai faktor keamanan (F_s) sebesar 1,4953 dengan nilai *displacement* sebesar $56,25 \times 10^{-3}$ meter. Pada kondisi C diperoleh nilai faktor keamanan (F_s) sebesar 1,4380 dengan nilai *displacement* sebesar $86,73 \times 10^{-3}$ meter. Lereng dengan perkuatan dinding kantilever kondisi B dianggap lebih aman karena memiliki nilai *displacement* dan *settlement* yang terkecil serta memenuhi semua syarat stabilitas lereng dengan struktur bagian badan menggunakan tulangan D19-100, bagian telapak menggunakan tulangan D19-150 dan bagian tumit menggunakan tulangan D19-150.

Nurtanti (2019) menyatakan bahwa Tanah sebagai materi dalam dunia konstruksi juga sebagai fondasi suatu konstruksi bangunan harus memiliki dan memenuhi persyaratan tertentu baik dari segi kualitas, kekuatan dan segi ekonomis. Kelongsoran suatu tanah sebagai akibat dari peningkatan tegangan geser tanah atau menurunnya kekuatan geser suatu massa tanah. Dalam menjaga kestabilan suatu tanah dari suatu kelongsoran maka harus dilakukan suatu sistem perkuatan tanah.

Longsornya dinding penahan tanah di sungai pabelan mengakibatkan terputusnya akses pemerintahan maupun perdagangan dari daerah muntilan ke mungkid sehingga dinding penahan tanah dan jembatan runtuh. Dinding penahan tanah dan dinding turap adalah bangunan yang berfungsi untuk menstabilkan tanah pada kondisi tanah di area lereng alam, lereng buatan maupun lereng akibat urugan tanah. Dalam mengetahui faktor keamanan sisi sungai tersebut digunakan program komputer Plaxis 8.6. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis stabilitas struktur dengan mencari angka keamanan lereng menggunakan Plaxis 8.6 dan perhitungan manual pada Sta +100 di Sungai Pabelan, kemudian hasil analisis stabilitas lereng asli akan diperkuat dengan menggunakan dinding penahan tanah beton bertulang dan turap baja.

Metode penelitian yang dilakukan adalah terlebih dahulu melakukan persiapan, meliputi observasi lapangan dan pengumpulan data sekunder yang didapatkan dari Bina Marga Kabupaten Magelang. Selanjutnya melakukan analisis stabilitas lereng sebelum terjadi keruntuhan dan perhitungan manual dengan metode Fellenius, kemudian melakukan analisis stabilitas dinding penahan tanah beton bertulang tipe kantilever dengan program Plaxis kemudian dibuktikan dengan perhitungan manual. Terakhir, melakukan analisis *steel sheet pile* dengan menggunakan program *Plaxis* dan perhitungan manual menggunakan teori pada metode Fellenius lalu membuat kesimpulan dan saran. Hasil penelitian yang didapatkan adalah pada perhitungan lereng tanah asli didapatkan SF tanpa gempa sebesar 1,1049 dan SF dengan gempa sebesar 1,0932, sedangkan hasil dengan Fellenius didapatkan SF sebesar 0,8613. Hasil perhitungan dinding penahan tanah kantilever beton bertulang dengan Plaxis 8.6 didapatkan SF tanpa gempa = 1,8716 dan SF dengan gempa sebesar 1,2730, sedangkan dengan perhitungan manual didapatkan SF geser sebesar 3,1527, SF guling sebesar 3,7738, SF daya dukung sebesar 3,2651, q_{maks} sebesar 299,281250 kN/m², q_{min} sebesar 132,498531 kN/m². Hasil perhitungan *steel sheet pile* didapatkan SF dengan gempa sebesar 1,3067, sedangkan hasil dengan Fellenius didapatkan SF sebesar 1,6953.

Annisa (2018) menyatakan bahwa dinding penahan tanah merupakan struktur yang banyak digunakan sebagai perkuatan tanah. Dinding penahan tanah juga digunakan pada konstruksi jalan, sungai dan konstruksi waduk atau bendungan. Peran dinding penahan tanah sebagai perkuatan tanah sangatlah penting, sehingga dinding penahan tersebut harus mampu menahan gaya-gaya yang terjadi, baik gaya-gaya internal maupun gaya eksternal. Salah satu penerapan dinding penahan tanah sebagai perkuatan tanah yaitu pada lereng bantaran sungai Gajah Putih. Sungai Gajah Putih merupakan anak sungai dari sungai bengawan solo. Pada bagian atau daerah-daerah tertentu bantaran sungai Gajah Putih sudah beberapa kali terjadi keruntuhan bahkan pada lereng bantaran sungai yang telah diperkuat dengan menggunakan dinding penahan dari pasangan batu, sehingga penanganan yang dilakukan adalah memberikan perkuatan baru dengan dinding penahan tanah kantilever. Karena banyaknya kasus longsor dan runtuhnya tanggul sungai Gajah Putih maka perlu dilakukan analisis stabilitas pada dinding penahan tanah kantilever tersebut. Dinding penahan tanah yang dirancang harus stabil dan mampu menahan tanah timbunan serta tekanan air sungai saat muka air normal maupun saat banjir. Perencanaan dinding penahan tanah yang dilakukan harus benar-benar diperhatikan agar dinding tersebut tidak mengalami keruntuhan di kemudian hari. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai angka aman (SF) lereng bantaran sungai Gajah Putih dengan perkuatan dinding pasangan batu yang mengalami keruntuhan dan nilai angka aman (SF) lereng bantaran sungai Gajah Putih yang dilakukan perkuatan dengan menggunakan dinding penahan tanah kantilever serta lereng yang dilakukan perkuatan dengan menggunakan geotekstil.

Metode penelitian yang dilakukan adalah terdiri dari persiapan dan empat tahap analisis. Dalam tahap persiapan meliputi pengumpulan data parameter tanah dan bahan, kemudian pada tahap pertama analisis adalah analisis stabilitas dinding pasangan batu yang telah terjadi keruntuhan menggunakan program Plaxis untuk mendapatkan nilai angka aman (SF). Tahap kedua merupakan tahap analisis stabilitas dinding penahan tanah eksisting dengan perhitungan manual untuk mendapatkan nilai angka aman terhadap penggeseran, penggulingan, dan keruntuhan kapasitas dukung tanah. Tahap ketiga menganalisis stabilitas lereng

dengan perkuatan dinding penahan tanah menggunakan program Plaxis untuk mendapatkan nilai angka aman (SF) stabilitas lereng dengan perkuatan dinding penahan tanah terhadap kelongsoran global. Tahap terakhir yaitu merencanakan alternatif perkuatan lereng sungai dengan menggunakan geotekstil. Perencanaan alternatif tersebut dilakukan dengan variasi lereng, yaitu perencanaan dengan lereng satu jenjang dan lereng dua jenjang. Hasil penelitian yang didapatkan adalah 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. Nilai 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 dengan perhitungan manual memiliki angka aman stabilitas terhadap penggeseran, penggulingan dan kapasitas dukung tanah berturut-turut sebesar 4,346; 7,520; dan 4,288. Sedangkan pada kondisi muka air banjir sebesar 3,885; 6,923; dan 3,590. Angka aman stabilitas dinding penahan tanah dengan program Plaxis 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 muka air normal 2,433 dan 1,579 dan pada muka air banjir 2,494 dan 1,574. Sedangkan 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. Perbandingan stabilitas lereng dengan perkuatan dinding penahan tanah dan geotekstil tidak jauh berbeda. Lereng dengan perkuatan geotekstil memiliki angka aman lebih kecil dibandingkan dengan dinding penahan tanah namun pergerakan yang terjadi pada dinding penahan tanah lebih besar dibandingkan dengan perkuatan geotekstil. Angka aman lereng dengan perkuatan geotekstil telah memenuhi syarat keamanan yang menunjukkan bahwa lereng stabil dan aman, sehingga perkuatan lereng dengan geotekstil dapat digunakan sebagai alternatif perkuatan pada lereng bantaran sungai Gajah Putih.

Kurniawan (2019) menyatakan bahwa negara Indonesia merupakan salah satu negara yang saat ini sedang disibukan dalam melakukan pembangunan infrastruktur. Salah satu pembangunan infrastruktur tersebut adalah proyek pembangunan jalan tol Balikpapan-Samarinda. Pembangunan jalan tol Balikpapan-Samarinda seksi V sta. 2+850 – 3+050 merupakan ruas jalan tol yang melalui daerah perbukitan dan daerah lembah atau cekungan, sehingga untuk mencapai elevasi rencana diperlukan pekerjaan timbunan tanah yang cukup tinggi. Permasalahan yang muncul di lapangan adalah terjadinya longsor pada timbunan tanah untuk badan jalan saat pengerjaannya telah dilakukan hingga mendekati elevasi rencana. Maka dari itu, untuk mencegah terjadinya longsor digunakan dinding penahan tanah jenis kantilever dan *sheet pile* baja. Pemilihan perkuatan tersebut didasarkan pada kondisi di lapangan yang curam. Oleh karena itu, diharapkan perkuatan tersebut mampu menahan gaya lateral yang terjadi dan dapat meningkatkan nilai angka aman pada lereng tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui angka aman pada lereng timbunan tanah asli, mengetahui nilai angka aman pada lereng timbunan menggunakan perkuatan dinding penahan tanah jenis kantilever dan mengetahui nilai angka aman pada lereng timbunan menggunakan perkuatan *sheet pile* baja.

Metode penelitian yang dilakukan adalah dimulai dari melakukan studi literatur, kemudian melakukan pengumpulan data sekunder yang berupa data uji tanah di lapangan dan data gambar rencana lereng. Selanjutnya memasuki tahap analisis stabilitas lereng menggunakan program Plaxis 8.6 yang meliputi analisis stabilitas lereng timbunan asli, analisis stabilitas perkuatan lereng menggunakan dinding penahan tanah dan analisis stabilitas perkuatan lereng menggunakan *sheet pile* baja. kemudian menyusun pembahasan serta kesimpulan dan saran. Hasil penelitian yang didapatkan adalah hasil perhitungan nilai angka aman pada lereng dengan timbunan asli menggunakan program Plaxis 8.6 baik pada masa konstruksi maupun paska konstruksi dan baik pada kondisi tanpa beban gempa maupun dengan beban gempa terjadi *collapse*. Sedangkan perhitungan manual pada lereng tersebut didapatkan hasil angka aman sebesar 0,351. Dengan nilai angka aman $< 1,25$ maka lereng labil atau tidak aman terhadap keruntuhan. Hasil perhitungan nilai angka

aman pada lereng dengan perkuatan dinding penahan tanah tipe kantilever menggunakan program Plaxis 8.6 pada kondisi masa konstruksi tanpa beban gempa sebesar 1,9255 dan dengan beban gempa sebesar 1,9022. Sedangkan nilai angka aman pada kondisi pasca konstruksi tanpa beban gempa sebesar 1,5927 dan dengan beban gempa sebesar 1,5862. Dengan nilai angka aman $> 1,25$, maka lereng aman terhadap keruntuhan. Hasil perhitungan nilai angka aman pada lereng dengan perkuatan *sheet pile* baja menggunakan program Plaxis 8.6 pada kondisi masa konstruksi tanpa beban gempa sebesar 2,469 dan dengan beban gempa sebesar 2,363. Sedangkan nilai angka aman pada kondisi pasca konstruksi tanpa beban gempa sebesar 1,8022 dan dengan beban gempa sebesar 1,7964. Dengan nilai angka aman $> 1,25$, maka lereng aman terhadap keruntuhan.

Setiawan (2019) menyatakan bahwa geoteknik merupakan bidang ilmu tersendiri dan menitikberatkan pada aplikasi teknik sipil dalam masalah-masalah yang berhubungan dengan sifat mekanis tanah dan bebatuan. Di Indonesia sendiri masih banyak dijumpai permasalahan-permasalahan yang berhubungan dengan bidang geoteknik. Salah satunya adalah kerusakan atau kelongsoran pada tebing atau lereng sungai. Kerusakan-kerusakan ini biasanya disebabkan oleh derasnya aliran arus sungai yang perlahan-lahan mengikis tebing di kiri dan kanan sungai sehingga dapat menyebabkan terjadinya erosi pada awalnya dan apabila dibiarkan begitu saja akan menyebabkan terjadinya keruntuhan tebing sungai tersebut. Hal ini juga diperparah dengan perilaku masyarakat di Indonesia yang masih sering membangun rumah atau prasarana pemukiman di bantaran sungai, sehingga apabila banjir terjadi akan menyebabkan rumah-rumah tersebut kekuatan dan kestabilannya. Untuk mengatasi permasalahan yang telah dijelaskan diatas maka digunakan dinding penahan tanah ataupun geosintetik sebagai solusinya. Dinding penahan tanah dan geosintetik dapat difungsikan untuk menjaga kestabilan tanah di suatu lereng agar tidak terjadi kelongsoran, atau sebagai sarana penanggulangan bencana. Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan diatas maka perlu dilakukan penelitian terhadap perkuatan tanah tebing Kali Code dengan mendesain ulang dengan tipe yang berbeda dari sebelumnya dengan menggunakan 2 tipe perkuatan yaitu dengan dinding penahan tanah kantilever dan geotekstil supaya

tidak terjadi lagi keruntuhan dan kelongsoran pada tebing atau lereng di Kali Code. Penelitian ini bertujuan untuk mendesain perkuatan tanah menggunakan dinding penahan tanah tipe kantilever dan mendapatkan nilai kekuatan lereng sebelum dan sesudah *redesign* dengan dinding penahan tanah tipe kantilever.

Metode penelitian yang dilakukan adalah pengumpulan data yang dibutuhkan baik data primer maupun sekunder. Selanjutnya adalah analisis faktor keamanan lereng alami menggunakan aplikasi Geoslope. Tahap ketiga adalah analisis stabilitas eksternal dan internal dari dinding penahan tanah kantilever dan geotekstil. Tahap keempat adalah analisis faktor keamanan lereng yang telah diperkuat dinding penahan tanah kantilever dan geotekstil menggunakan geoslope. Hasil penelitian yang didapatkan adalah desain untuk dinding penahan tanah digunakan tinggi dinding vertical sebesar 4 m dan lebar sebesar 0,8 m, untuk tinggi pelat kaki pondasi digunakan 1,3 m dan lebar pelat kaki pondasi sebesar 3,5 m. pada dinding vertical digunakan tulangan pokok D20-125 mm, tulangan sengkang D10-550 mm dan tulangan susut 20-D10. Pada pelat kaki pondasi digunakan tulangan pokok D20-125 mm, tulangan sengkang D10-600 mm dan tulangan susut 17-D10. Desain untuk geotekstil digunakan panjang geotekstil (L) sebesar 3 m, panjang lipatan diatas geotekstil (Lo) sebesar 1 m dan jarak vertikal antar geotekstil sebesar 0,4 m. Didapatkan nilai faktor keamanan lereng (SF) alami sebesar 0,687. Untuk lereng dengan perkuatan dinding penahan tanah kantilever didapatkan nilai faktor keamanan (SF) sebesar 1,804 dan lereng dengan perkuatan geotekstil didapatkan nilai faktor keamanan (SF) sebesar 1,906.

2.1.2 Perbedaan Penelitian yang Dilakukan

Berdasarkan tinjauan pustaka yang telah dilakukan, maka didapatkan rincian pada Tabel 2.1 di bawah ini.

Tabel 2.1 Perbedaan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Sekarang

Peneliti	Judul Penelitian	Tujuan Penelitian	Metode Penelitian	Hasil Penelitian
Restu Arga Winanda (2017)	PERENCANAAN DINDING PENAHAN TANAH <i>CONCRETE CANTILEVER</i> DENGAN MENGGUNAKAN PROGRAM <i>PLAXIS</i> (Studi Kasus : Jalan Liwa – Simpang Gunung Kemala Krui KM.264+600)	Bertujuan untuk merencanakan dimensi dan stabilitas dinding penahan tanah terhadap stabilitas geser, guling dan daya dukung tanah pada lokasi penelitian dengan metode manual dan mengevaluasi nilai faktor keamanan menggunakan <i>Plaxis 8.2</i> .	Mengumpulkan data sekunder berupa data fisik tanah dan gambar penampang melintang dari lokasi penelitian. Kemudian melakukan analisis permodelan pada program <i>Plaxis 8.6</i> untuk mencari nilai faktor aman dan menggunakan perhitungan manual untuk menganalisa stabilitas dinding penahan tanah kantilever.	<ul style="list-style-type: none"> - Berdasarkan analisis program <i>Plaxis</i> pada kondisi tanah asli, kondisi lereng tinjauan secara umum mengalami kelongsoran disebabkan karena kondisi tanah yang tergolong memiliki sifat mekanis tanah yang rendah - Didapatkan pada kondisi A, (Fs) sebesar 2,0503 dan nilai displacement sebesar $79,95 \times 10^{-3}$ meter - Didapatkan pada kondisi B, (Fs) sebesar 1,4953 dan nilai displacement sebesar $56,25 \times 10^{-3}$ meter - Didapatkan pada kondisi C, (Fs) sebesar 1,4380 dan nilai displacement sebesar $86,73 \times 10^{-3}$ meter - Lereng dengan perkuatan kondisi B dianggap lebih aman - Struktur dinding penahan tanah kantilever kondisi B, bagian badan menggunakan tulangan D19-100, bagian telapak menggunakan tulangan D19-150 dan bagian tumit menggunakan tulangan D19-150

(Sumber: Winanda (2017), Nurtanti (2019), Annisa (2018), Kurniawan (2019), Setiawan (2019))

Lanjutan Tabel 2.2 Perbedaan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Sekarang

<p>Eva Zanuvar Nurtanti (2019)</p>	<p>ANALISIS PERKUATAN TANAH DENGAN MENGGUNAKAN DINDING PENAHAN TANAH BETON BERTULANG DAN DINDING TURAP BAJA DENGAN PROGRAM PLAXIS 8.6 PADA SUNGAI PABELAN</p>	<p>Bertujuan untuk menganalisis stabilitas struktur dengan mencari angka keamanan lereng menggunakan program <i>Plaxis</i> 8.6 dan perhitungan manual dengan menggunakan perkuatan dinding penahan tanah beton bertulang dan turap baja</p>	<p>Metode yang digunakan adalah melakukan persiapan yang didalamnya terdapat observasi lapangan dan mengumpulkan data sekunder yang didapatkan dari Bina Marga Kabupaten Magelang. Kemudian melakukan analisis menggunakan program <i>Plaxis</i> pada dinding penahan tanah beton bertulang tipe kantilever dan <i>steel sheet pile</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> - Pada perhitungan lereng tanah asli didapatkan SF tanpa gempa 1,1049 dan SF gempa 1,0932, sedangkan hasil dengan metode Fellenius didapatkan SF 0,8613 - Pada analisis <i>Plaxis</i> dengan perkuatan dinding penahan tanah kantilever beton bertulang didapatkan SF tanpa gempa 1,8716 dan SF gempa 1,2730 - Pada perhitungan manual dinding penahan tanah didapatkan SF geser 3,1527, SF guling 3,7738, SF daya dukung 3,2651, q_{maks} 299,281250 kN/m², q_{min} 132,498531 kN/m² - Hasil perhitungan <i>steel sheet pile</i> didapatkan SF gempa 1,3067, hasil dengan metode Fellenius didapatkan SF 1,6953
<p>Nurul Annisa (2018)</p>	<p>ANALISIS STABILITAS DINDING PENAHAN TANAH DAN PERENCANAAN PERKUATAN LERENG MENGGUNAKAN GEOTEKSTIL PADA BANTARAN SUNGAI GAJAH PUTIH</p>	<p>Mengetahui nilai angka keamanan lereng sungai Gajah Putih dengan perkuatan dinding pasangan batu yang mengalami keruntuhan dan mengetahui nilai angka keamanan pada lokasi yang mengalami keruntuhan dengan menggunakan perkuatan dinding penahan tanah kantilever dan geotekstil</p>	<p>Metode yang digunakan adalah mengumpulkan data parameter tanah dan bahan. Selanjutnya melakukan analisis stabilitas dengan <i>Plaxis</i> pada perkuatan yang mengalami keruntuhan. Kemudian melakukan perhitungan manual tanah eksisting untuk mendapatkan angka aman terhadap, geser, guling dan daya dukung tanah. Mencari angka kamanan stabilitas lereng dengan perkuatan dinding penahan tanah terhadap kelongsoran global. Terakhir, merencanakan alternatif perkuatan lereng sungai dengan menggunakan geotekstil.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Nilai angka aman dinding pasangan batu pada kondisi muka air normal sebesar 1,232 dan beban gempa 1,016, pada kondisi muka air banjir sebesar 1,235 dan beban gempa 1,015 - Hasil yang didapatkan dari perbandingan stabilitas lereng dengan perkuatan dinding penahan tanah dan geotekstil tidak jauh berbeda, perkuatan geotekstil memiliki angka aman lebih kecil dibandingkan dengan dinding penahan tanah dengan pergerakan tanah yang terjadi lebih besar. - Angka aman lereng dengan perkuatan geotekstil memenuhi syarat keamanan, lereng stabil dan aman sehingga digunakan perkuatan geotekstil sebagai alternatif.

(Sumber: Winanda (2017), Nurtanti (2019), Annisa (2018), Kurniawan (2019), Setiawan (2019))

Lanjutan Tabel 2.2 Perbedaan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Sekarang

<p>Danang Kurniawan (2019)</p>	<p>ANALISIS STABILITAS DINDING PENAHAN TANAH DAN SHEET PILE BAJA PADA LERENG JALAN TOL BALIKPAPAN-SAMARINDA STA 2+850 – 3+050</p>	<p>Bertujuan untuk mengetahui nilai angka kemanan pada lereng tinjauan pada kondisi timbunan tanah asli, mengetahui nilai angka keamanan dengan lereng timbunan menggunakan perkuatan dinding penahan tanah tipe kantilever dan nilai angka keamanan dengan menggunakan perkuatan <i>sheet pile</i> baja.</p>	<p>Metode yang digunakan adalah dengan mengumpulkan data sekunder yang berupa data uji tanah di lapangan dan data gambar rencana pada lokasi tinjauan, selanjutnya melakukan analisis stabilitas lereng dengan menggunakan program Plaxis 8.6 yang meliputi analisis stabilitas lereng timbunan asli, analisis stabilitas lereng menggunakan perkuatan dinding penahan tanah dan analisis stabilitas lereng menggunakan <i>sheet pile</i> baja.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Hasil analisis lereng timbunan asli menggunakan program Plaxis pada kondisi gempu maupun tanpa gempu menunjukkan terjadi <i>collapse/keruntuhan</i>. - Perhitungan manual pada lereng asli didapatkan SF 0,3521 atau kurang dari 1,25 - Hasil analisis lereng dengan perkuatan dinding penahan tanah tipe kantilever menggunakan program Plaxis, pada masa konstruksi tanpa beban gempu didapatkan SF 1,9225 dan dengan beban gempu didapatkan SF 1,9022. Sedangkan, pada masa pasca konstruksi tanpa beban gempu didapatkan SF 1,5927 dan dengan beban gempu didapatkan SF 1,5862 - Hasil analisis lereng dengan perkuatan <i>sheet pile</i> baja menggunakan program plaxis, pada masa konstruksi tanpa beban gempu didapatkan SF 2,469 dan dengan beban gempu didapatkan SF sebesar 2,363. Sedangkan, pada masa pasca konstruksi tanpa beban gempu didapatkan SF 1,8022 dan dengan beban gempu didapatkan SF 1,7964 - Dengan nilai angka aman > 1,25 maka lereng aman dari keruntuhan
--------------------------------	---	---	---	---

(Sumber: Winanda (2017), Nurtanti (2019), Annisa (2018), Kurniawan (2019), Setiawan (2019))

Lanjutan Tabel 2.2 Perbedaan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Sekarang

<p>Wahyu Hadi Setiawan (2019)</p>	<p>PERENCANAAN ULANG PERKUATAN TANAH TEBING KALI CODE MENGUNAKAN DINDING PENAHAN TANAH TIPE KANTILEVER DAN GEOTEKSTIL</p>	<p>Penelitian ini bertujuan untuk mendesain perkuatan tanah menggunakan dinding penahan tanah tipe kantilever dan mendapatkan nilai kekuatan lereng sebelum dan sesudah <i>redesign</i> dengan menggunakan perkuatan dinding penahan tanah tipe kantilever.</p>	<p>Metode yang digunakan adalah pengumpulan data primer dan sekunder yang akan digunakan untuk menganalisis faktor keamanan lereng asli menggunakan aplikasi geoslope. Selanjutnya melakukan analisis stabilitas eksternal dan internal dari dinding penahan tanah dan geotekstil. Kemudian melakukan analisis faktor keamanan lereng yang diperkuat dinding penahan tanah kantiler dan geotekstil menggunakan Geoslope.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Desain untuk dinding penahan tanah digunakan tinggi vertikal 4 m dan lebar 0,8 m, untuk tinggi pelat kaki pondasi digunakan 1,3 m dan lebar pelat kaki pondasi sebesar 3,5 m. - Pada dinding vertikal digunakan tulangan pokok D20-125 mm, tulangan sengkang D10-550 mm dan tulangan susut 20-D10 - Pada pelat kaki pondasi digunakan tulangan pokok D20-125 mm, tulangan sengkang D10-600 mm dan tulangan susut 17-D10 - Desain geotekstil yang digunakan panjang sebesar 3 m, lipatan diatas (Lo) sebesar 1 m dan jarak vertikal antar geotekstil sebesar 0,4 m - Pada lereng asli didapatkan SF 0,687, pada lereng dengan perkuatan dinding penahan tanah kantilever didapatkan SF 1,804 dan dengan perkuatan geotekstil didapatkan SF 1,906
---	---	---	--	---

(Sumber: Winanda (2017), Nurtanti (2019), Annisa (2018), Kurniawan (2019), Setiawan (2019))

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Tanah

Tanah didefinisikan sebagai agregat butiran mineral dan partikel-partikel padat dengan cairan dan gas pada ruang-ruang kosong didalamnya. Tanah digunakan sebagai bahan konstruksi pada berbagai proyek teknik sipil serta sebagai pendukung fondasi struktural. Maka dari itu, insinyur sipil harus belajar sifat-sifat tanah, seperti asalnya, distribusi ukuran butir, kemampuan mengalirkan air, kompresibilitas, kekuatan geser, dan kapasitas dukung beban. Mekanika tanah adalah cabang ilmu yang berurusan dengan studi tentang sifat-sifat fisik tanah dan perilaku tanah. Massa mengalami berbagai jenis kekuatan. Rekayasa tanah adalah penerapan prinsip-prinsip mekanika tanah dalam penyelesaian masalah praktis. Rekayasa geoteknik adalah subdisiplin teknik sipil yang melibatkan bahan alami yang ditemukan dekat dengan permukaan bumi. Ini termasuk penerapan prinsip-prinsip mekanika tanah dan mekanika batuan desain pondasi, struktur penahan, dan struktur bumi.

Hardiyatmo (2002) menyatakan bahwa istilah pasir, lempung lanau atau lumpur digunakan untuk menggambarkan ukuran partikel pada batas ukuran butiran yang telah ditentukan. Akan tetapi, istilah yang serupa juga digunakan untuk menggambarkan sifat tanah yang khusus. Sebagai contoh, lempung adalah jenis tanah yang bersifat kohesif dan plastis, sedangkan pasir digambarkan sebagai tanah yang tidak kohesif dan tidak plastis.

3.1.1 Klasifikasi Tanah

Terdapat banyak masalah teknis yang berhubungan dengan tanah, misalnya penentuan penurunan bangunan, evaluasi stabilitas tanah, dan masalah teknis lainnya yang akan sangat terbantu jika terdapat sebuah sistem atau pedoman terhadap pemilihan tanah yang dapat dikelompokkan untuk menunjukkan sifat atau

kelakuan pada berbagai jenis tanah. Pemilihan tanah atau pengelompokan tanah ini disebut klasifikasi tanah.

Terdapat dua sistem klasifikasi tanah yang sering digunakan, yaitu *Unified Soil Classification System* dan AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Officials*). Sistem-sistem ini menggunakan sifat indeks tanah yang sederhana seperti distribusi ukuran butiran, batas cair dan indeks plastisitas. Klasifikasi tanah dari *System Unified* pertama diusulkan oleh Casagrande (1942), kemudian direvisi oleh kelompok teknisi dari USBR (*United State Bureau of Reclamation*).

1. Sistem Klasifikasi *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 subkelompok yang dapat dilihat pada 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. Secara visual ditentukan apakah tanah berupa butiran halus atau butiran kasar atau dengan cara disaring dengan saringan nomor 200.

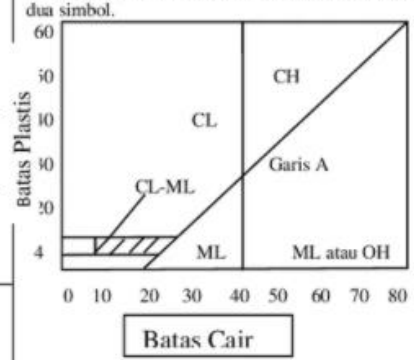
b. Jika tanah berupa butiran kasar, maka:

- 1) Tanah tersebut disaring dan digambarkan grafik distribusi,
- 2) Ditentukan persen butiran lolos saringan no. 4, jika persentase yang lolos kurang dari 50% maka klasifikasi tanah tersebut adalah kerikil, jika persen butiran yang lolos lebih dari 50% maka diklasifikasikan sebagai pasir,
- 3) Ditentukan jumlah butiran yang lolos saringan no. 200, jika persentase butiran yang lolos kurang dari 5%, pertimbangkan bentuk grafik distribusi butiran dengan menghitung C_u dan C_C . jika termasuk bergradasi baik, maka klasifikasikan sebagai GW (bila kerikil) atau SW (bila pasir). Jika termasuk bergradasi buruk, klasifikasikan sebagai GP (bila kerikil) atau SP (bila pasir),
- 4) Jika persentase butiran tanah yang lolos saringan no. 200 di antara 5 sampai 12%, tanah akan mempunyai simbol dobel dan mempunyai sifat keplastisan ($GW - GM$, $SW - SM$, dan sebagainya), dan
- 5) Jika persentase butiran yang lolos saringan no. 200 lebih besar dari 12%, maka harus dilakukan uji batas-batas Atterberg dengan menyingkirkan butiran tanah yang tinggal dalam saringan no. 40 kemudian, dengan menggunakan diagram plastisitas, ditentukan klasifikasinya (GM , GC , SM , SC , $GM - GC$, atau $SM - SC$).

Sistem klasifikasi Unified dapat dilihat pada Tabel 3.1 berikut ini.



Tabel 3.1 Sistem Klasifikasi Tanah Unified

Divisi Utama		Simbol	Nama Umum	Kriteria Klasifikasi		
Tanah berbutir kasar $\geq 50\%$ butiran tertahan saringan No. 200	Kerikil $50\% \geq$ fraksi kasar tertahan saringan No. 4	Kerikil bersih (banyak kerikil)	GW	Kerikil bergradasi-baik dan campuran kerikil-pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4$ $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ Antara 1 dan 3 Tidak memenuhi kedua kriteria untuk GW Batas-batas <i>Atterberg</i> di bawah garis A atau $PI < 4$ Batas-batas <i>Atterberg</i> di bawah garis A atau $PI > 7$ $C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 6$ $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ Antara 1 dan 3 Tidak memenuhi kedua kriteria untuk SW Batas-batas <i>Atterberg</i> di bawah garis A atau $PI < 4$ Batas-batas <i>Atterberg</i> di bawah garis A atau $PI > 7$	
			GP	Kerikil bergradasi-buruk dan campuran kerikil-pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus		
		Kerikil dengan Butiran halus	GM	Kerikil berlanau, campuran kerikil-pasir-lanau		
			GC	Kerikil berlempung, campuran kerikil-pasir-lempung		
		Pasir $\geq 50\%$ fraksi kasar lolos saringan No. 4	Pasir bersih (banyak pasir)	SW		Pasir bergradasi-baik, pasir berkerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus
				SP		Pasir bergradasi-buruk, pasir berkerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus
	Pasir dengan butiran halus		SM	Pasir berlanau, campuran pasir-lanau		
			SC	Pasir berlempung, campuran pasir-lempung		
	Tanah berbutir halus 50% atau lebih lolos ayakan No. 200		Lanau dan lempung batas cair $\leq 50\%$	ML	Lanau anorganik, pasir halus sekali, serbuk batuan, pasir halus berlanau atau berlempung	Diagram Plastisitas: Untuk mengklasifikasi kadar butiran halus yang terkandung dalam tanah berbutir halus dan kasar. Batas <i>Atterberg</i> yang termasuk dalam daerah yang di arsir berarti batasan klasifikasinya menggunakan dua simbol.  Garis A : $PI = 0.73 (LL-20)$
				CL	Lempung anorganik dengan plastisitas rendah sampai dengan sedang lempung berkerikil, lempung berpasir, lempung berlanau, lempung "kurus" (<i>lean clays</i>)	
		OL		Lanau-organik dan lempung berlanau organik dengan plastisitas rendah		
		Lanau dan lempung batas cair $\geq 50\%$	MH	Lanau anorganik atau pasir halus diatomae, atau lanau diatomae, lanau yang elastis		
CH			Lempung anorganik dengan plastisitas tinggi, lempung "gemuk" (<i>fat clays</i>)			
OH			Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai dengan tinggi			
PT			<i>Peat</i> (gambut), <i>muck</i> , dan tanah-tanah lain dengan kandungan organik tinggi	Manual untuk identifikasi secara visual dapat dilihat di ASTM Designation D-2488		

(Sumber: Hardiyatmo, 2002)

2. Sistem Klasifikasi AASHTO

Sistem klasifikasi AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Officials*) 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 membagi tanah ke dalam 8 kelompok, A-1 sampai A-8 termasuk sub-sub kelompok. Tanah-tanah dalam tiap kelompoknya dievaluasi terhadap indeks kelompoknya yang dihitung dengan rumus-rumus empiris. Pengujian yang digunakan adalah analisis saringan dan batas-batas Atterberg. Indeks kelompok (*group index*) (GI) digunakan untuk mengevaluasi lebih lanjut tanah-tanah dalam kelompoknya. Indeks kelompok dihitung dengan Persamaan 3.1 berikut ini.

$$GI = (F-35)[0,2+0,005 (LL-40)]+0,01 (F-15)(PI-10) \quad (3.1)$$

Dengan,

- GI = indeks kelompok (*group index*)
- F = persen butiran lolos saringan no. 200 (0,075 mm)
- LL = batas cair
- PI = indeks plastisitas

Sistem klasifikasi AASHTO dapat dilihat pada Tabel 3.1 berikut ini.

Table 3.2 Sistem Klasifikasi Tanah 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: Hardiyatmo, 2002)

3.1.2 Sifat Mekanis Tanah yang digunakan pada Analisis Plaxis

Menurut Setiawan (2019) parameter-parameter yang digunakan pada permodelan *Mohr Coulomb* atau input data sifat mekanis tanah pada PLAXIS adalah sebagai berikut.

1. Berat Volume (γ)

Pada program PLAXIS, berat volume tanah yang dibutuhkan dalam perhitungan terbagi ke dalam dua jenis yaitu berat volume tanah jenuh dan berat volume kering. Parameter ini akan dipergunakan untuk mendapatkan tegangan *confining* pada kedalaman tertentu pada kondisi jenuh maupun kondisi Kering. Berat volume tanah merupakan perbandingan berat tanah terhadap volume dari tanah tersebut.

2. Koefisien Permeabilitas (K)

Koefisien permeabilitas dari tanah akan dipergunakan untuk menghitung kecepatan pengurangan tegangan air pori eksese selama proses pengeluaran air dari pori-pori tanah. Parameter ini pada Analisa *undrained* akan mengontrol besarnya penurunan terhadap waktu. Harga koefisien rembesan (k) untuk tiap-tiap tanah adalah berbeda. Menurut Craig (1989) dalam Satindra (2018) menyatakan bahwa nilai koefisien permeabilitas tanah dapat ditentukan berdasarkan jenis tanahnya seperti ditunjukkan pada Tabel 3.3 berikut ini.

Tabel 3.3 Nilai Koefisien Permeabilitas Tanah

Jenis Tanah	K	
	m/detik	m/hari
Kerikil bersih	$1 - 10^{-1}$	86400-8640
Pasir bersih dan campuran pasir kerikil	$10^{-1} - 10^{-4}$	8640-8,64
Pasir sangat halus, lanau dan lempung-lanau berlapis	$10^{-4} - 10^{-7}$	8,64-0,00864
Lempung tah bercelah dan lempung-lanau (>20% lempung)	$10^{-7} - 10^{-10}$	0,00864 - 0,00000864
Lempung yang mengalami pengawetan dan bercelah	$10^{-1} - 10^{-7}$	8640 - 0,00000864

(Sumber: Meyerhof dalam Barimbing, 2017)

3. Angka Poisson

Angka Poisson merupakan harga perbandingan antara regangan lateral dengan tegangan aksial yang digunakan untuk menghubungkan besar Modulus Elastisitas (E) dengan Modulus Geser (G). Menurut Das (1995), hubungan antara angka Poisson dengan jenis tanah dari konsistensi tanahnya dapat dilihat pada Tabel 3.4 berikut ini.

Tabel 3.4 Hubungan Angka Poisson dengan Jenis Tanah dan Konsistensi

Jenis Tanah	Angka Poisson
Pasir Lepas	0,20 – 0,40
Pasir agak padat	0,25 – 0,40
Pasir padat	0,30 – 0,45
Pasir berlanau	0,20 – 0,40
Lempung lembek	0,15 – 0,25
Lempung agak kaku	0,20 – 0,50

(Sumber: Das, 2010)

4. Modulus Elastisitas (E)

Modulus Elastisitas (E) atau bisa disebut Modulus Young merupakan perbandingan antara tegangan yang terjadi terhadap regangan pada pengujian *Triaxial Test*. Menurut Das (1995), nilai modulus elastisitas tanah juga dapat ditentukan berdasarkan jenis tanahnya yang ditunjukkan pada Tabel 3.5 berikut ini.

Tabel 3.5 Nilai Perkiraan Modulus Elastisitas

Jenis Tanah	E	
	psi	KN/m ²
Lempung lembek	250-500	1380 -3450
Lempung keras	850 -2000	586 – 13800
Pasir lepas	1500 - 4000	10350 – 27600
Pasir padat	5000-10000	34500 -69000

(Sumber: Das, 2010)

5. Kohesi (c)

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

6. Sudut Geser Dalam (Φ)

Sudut geser dalam adalah sudut yang dibentuk bersamaan dengan kohesi untuk menentukan daya tahan tanah akibat tekanan lateral tanah. Nilai sudut geser dalam didapatkan dari pengujian *triaxial test* dan *direct shear test*. Perkiraan nilai sudut geser dalam dapat ditentukan tergantung pada jenis tanah yang dapat dilihat pada Tabel 3.6 berikut ini.

Tabel 3.6 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
Pasir Lepas	30
Lempung	25-30
Lanau	20-25

(sumber: Das, 2010)

7. Void Ratio (e)

Void Ratio atau angka pori adalah rasio atau perbandingan antara volume pori yang terdapat diantara butir-butir tanah dan volume dari tanah itu sendiri.

hubungan antara angka pori, kelembaban dan berat volume tanah kering dapat dilihat pada Tabel 3.7 berikut ini.

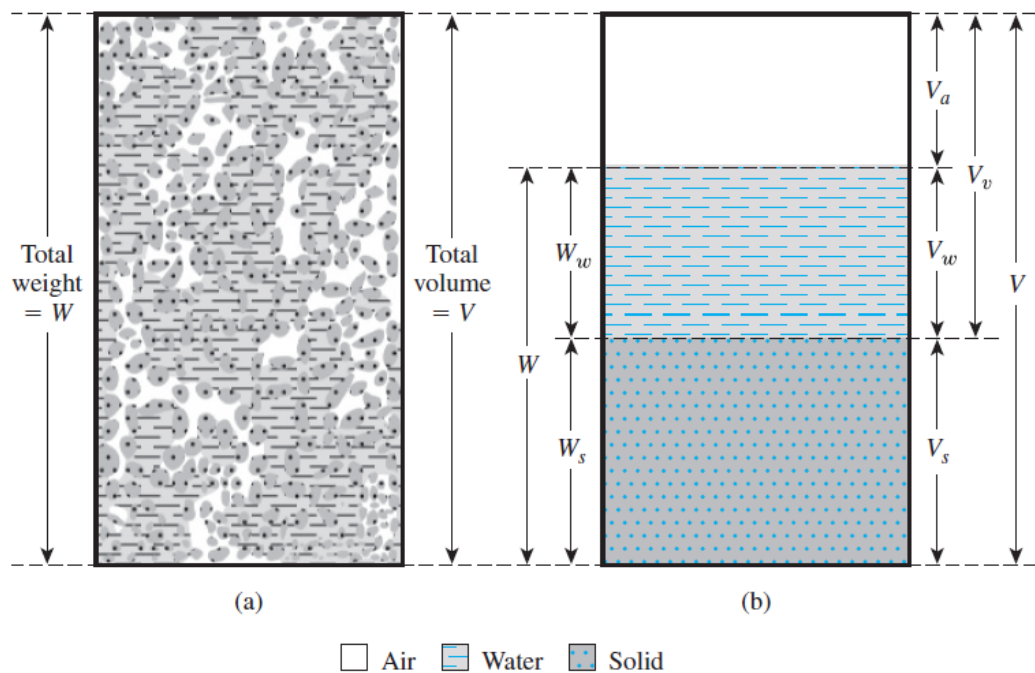
Tabel 3.7 Hubungan Antara Angka Pori, Kelembaban Dan Berat Volume Tanah Kering

<i>Type of soil</i>	<i>Void Ratio (e)</i>	<i>Natural moisture content in a saturated state (%)</i>	<i>Dry unit weight (γ_d) kN/m³</i>
<i>Loose uniform sand</i>	0,8	30	14,5
<i>Dense uniform sand</i>	0,45	16	18
<i>Loose angular-grained silty sand</i>	0,65	25	16
<i>Dense angular-grained silty sand</i>	0,4	15	19
<i>Stiff clay</i>	0,6	21	17
<i>Soft clay</i>	0,9 – 1,4	30 – 50	11,5 – 14,5
<i>Loess</i>	0,9	25	13,5
<i>Soft organic clay</i>	2,5 – 3,2	90 – 120	6 – 8
<i>Glacial till</i>	0,3	10	21

(sumber: Das, 2010)

3.1.3 Properti Tanah

Pada kondisi natural atau *undisturbed*, tanah terdiri dari partikel solid dan rongga-rongga diantara butiran partikel tersebut. Rongga tersebut sangat mungkin akan dipenuhi oleh air ataupun udara, maka dengan begitu tanah memiliki sistem tiga fase. Jika tidak terdapat air pada rongga tanah, maka tanah tersebut adalah tanah kering (γ_d). Jika seluruh rongga dipenuhi oleh air, maka tanah tersebut adalah tanah basah (γ). Dalam semua perencanaan geoteknik sangat penting untuk memiliki pengetahuan terkait hubungan antara berat dan volume dalam suatu massa tanah. Hubungan antara bagian-bagian tanah dapat dilihat pada Gambar 3.1 berikut ini.



Gambar 3.1 (a) Elemen Tanah dalam Kondisi Natural; (b) Tiga Fase Elemen Tanah

(sumber: Das, 2010)

Berdasarkan tiga fase elemen tanah dapat diketahui bahwa suatu massa tanah memiliki tiga elemen sebagai satu kesatuan yaitu, udara, air dan bagian tanah yang solid. Setiap elemen tersebut memiliki volume dan berat tersendiri. Diketahui terdapat beberapa persamaan terkait elemen tanah, hal tersebut dapat dilihat pada Persamaan 3.2-3.4 berikut ini.

$$W = W_s + W_w \quad (3.2)$$

dan

$$V = V_s + V_w + V_a \quad (3.3)$$

$$V_v = V_w + V_a \quad (3.4)$$

dengan

$$W = \text{berat total}$$

$$W_s = \text{berat butiran padat}$$

$$W_w = \text{berat air}$$

V	=	volume total
V _s	=	volume butiran padat
V _w	=	volume air
V _a	=	volume udara
V _v	=	volume rongga

1. Berat Volume Basah (γ)

Berat volume tanah basah atau berat volume tanah normal yang biasa ditemui pada kondisi alamnya, berat volume tanah basah juga dapat disebut sebagai berat volume tanah *unsaturated*. Berat volume tanah basah adalah perbandingan antara berat tanah basah dengan volume tanah basah. Rumus berat volume tanah basah dapat dinyatakan pada Persamaan 3.5 dan 3.6 berikut ini.

$$\gamma = \frac{w}{v} \quad (3.5)$$

$$\gamma = \frac{G_s \gamma_w (1+w)}{1+e} \quad (3.6)$$

2. Berat Volume Kering (γ_d)

Berat volume tanah kering adalah berat volume tanah tanpa kadar air atau memiliki kadar air yang sangat kecil didalamnya, berat volume tanah kering biasanya didapatkan ketika tanah cukup banyak terpapar sinar matahari ataupun dengan menggunakan oven pada uji laboratorium. Berat tanah kering adalah perbandingan antara berat tanah kering dengan volume total tanah. Rumus berat volume tanah kering dapat dinyatakan pada Persamaan 3.7 dan 3.8 berikut ini.

$$\gamma = \frac{w_s}{v} \quad (3.7)$$

$$\gamma = \frac{\gamma}{1+w} \quad (3.8)$$

Dengan,

w = kadar air

γ = berat volume tanah basah

3. Berat Volume Jenuh (γ_{sat})

Berat volume tanah jenuh atau berat volume tanah *saturated* adalah kondisi dimana bagian rongga-rongga tanah seluruhnya telah terisi oleh air. Berat volume tanah jenuh dapat dinyatakan dengan Persamaan 3.9 berikut ini.

$$\gamma_{sat} = \frac{(G_s + e)\gamma_w}{1 + e} \quad (3.9)$$

Dengan,

G_s = Specific Gravity

e = angka pori atau *void ratio*

3.2 Stabilitas Lereng

Lereng adalah suatu permukaan tanah yang miring dan membentuk sudut tertentu terhadap suatu bidang horisontal dan tidak terlindungi (Das 1985). secara umum, lereng terbagi menjadi 2 kategori, yaitu lereng alami dan lereng buatan. Lereng alami terbentuk secara alamiah dan biasanya terdapat di daerah perbukitan, sedangkan lereng buatan terbentuk oleh manusia dan biasanya digunakan dalam keperluan konstruksi, seperti bendungan tanah, tanggul untuk sungai, tanggul untuk badan jalan kereta api dan lain sebagainya.

Pada beberapa kasus ditemukan kondisi tanah dasar yang tidak ideal dan memerlukan beberapa penanganan, salah satunya adalah dengan stabilisasi tanah. Stabilisasi tanah/lereng adalah suatu metode yang digunakan untuk meningkatkan kemampuan daya dukung suatu lapisan tanah dengan cara memberikan perlakuan khusus terhadap lapisan tanah tersebut. Tujuan dari stabilisasi tanah adalah sebagai berikut:

1. untuk memperbaiki atau meningkatkan daya dukung tanah,
2. untuk memperbaiki atau memperkecil penurunan lapisan tanah,
3. untuk memperbaiki atau menurunkan permeabilitas dan potensi *swelling* tanah, dan

4. untuk menjaga atau mempertahankan potensi tanah yang ada.

3.3 Metode Yang Digunakan

Terdapat beberapa metode yang pada umumnya sering digunakan dalam melakukan analisis stabilitas lereng, diantaranya yaitu metode analisis stabilitas lereng tanah kohesif dan analisis stabilitas lereng lempung dengan menggunakan diagram Taylor (1948). Akan tetapi, bila jenis tanah tidak homogen dan aliran rembesan terjadi di dalam tanah tidak menentu, maka digunakan metode yang lebih cocok yaitu metode Irisan (*method of slice*).

Dalam metode irisan terdapat pula beberapa metode yang diantaranya adalah metode Fellenius (1927), *Simplified Bishop Method* (1955), Diagram Bishop dan Morgenstern (1960), Diagram Morgenstern (1963) dan Diagram Spenser (1967). Pada penelitian kali ini, metode analisis manual yang secara spesifik digunakan adalah metode Fellenius. Menurut Hardiyatmo (2003) analisis stabilitas lereng cara Fellenius (1927) menganggap gaya-gaya yang bekerja pada sisi kanan-kiri dari sembarang irisan mempunyai resultan nol pada arah tegak lurus bidang longsor. Dengan anggapan ini, keseimbangan arah vertikal dan gaya-gaya yang bekerja dengan memperhatikan tekanan air pori dapat dilihat pada Persamaan 3.10 berikut ini.

$$N_i + U_i = W_i \cos \theta_i \quad (3.10)$$

Secara ringkas bila 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. Pernyataan tersebut dapat dinyatakan dalam Persamaan 3.11 di bawah ini.

$$SF = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} ca_1 + (W_i \cos \theta_i - u_i a_i) \operatorname{tg} \varphi}{\sum_{i=1}^{i=n} W_i \sin \theta_i} \quad (3.11)$$

Dengan:

F = faktor aman

c = kohesi tanah (kN/m²)

φ = sudut gesek dalam (derajat)

a_i = panjang lengkung lingkaran pada irisan ke- i (m)

W_i = berat irisan tanah ke- i (kN/m²)

u_i = tekanan air pori pada irisan ke- i (kN/m²)

θ_i = sudut yang didefinisikan dalam gambar (derajat)

Menurut Hardiyatmo (2003) Faktor keamanan lereng juga dapat didefinisikan sebagai berikut pada Persamaan 3.12-3.15 ini beserta penjabaran rumusnya.

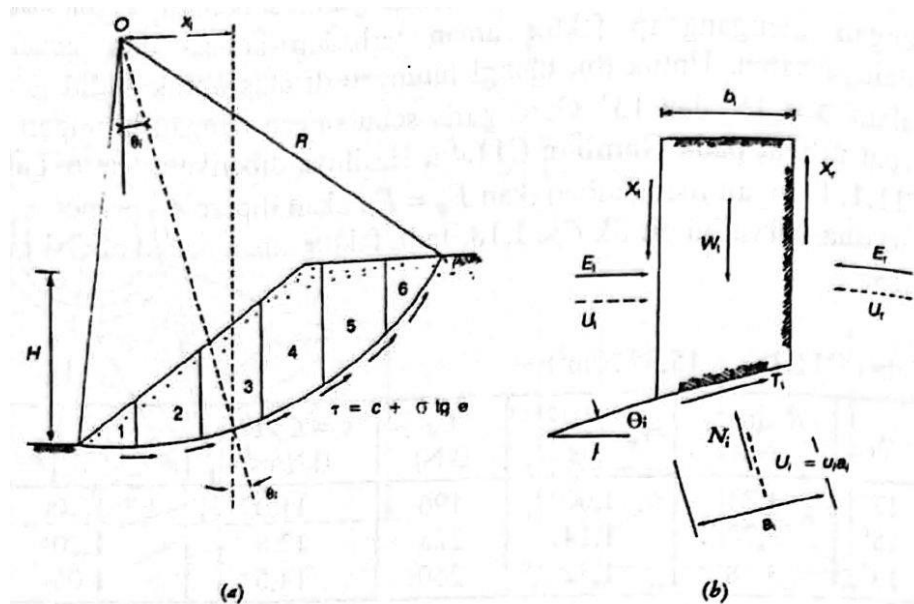
$$F = \frac{\text{Jumlah momen tahanan geser sepanjang bidang longsor}}{\text{Jumlah momen berat massa tanah yang longsor}} \quad (3.12)$$

$$F = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} Mr}{\sum_{i=1}^{i=n} Md} \quad (3.13)$$

$$\sum_{i=1}^{i=n} Mr = R \sum_{i=1}^{i=n} (ca_i + (W_i \cos \theta_i - u_i a_i) \text{tg } \varphi) \quad (3.14)$$

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

Secara umum gaya-gaya yang bekerja pada irisan dapat dilihat pada Gambar 3.2 berikut ini.



Gambar 3.2 Gaya Yang Bekerja Pada Irisan

(Sumber: Hardiyatmo, 2002)

3.4 Konsep Angka Keamanan Lereng

Menurut Duncan (2014) terdapat beberapa metode yang dapat digunakan untuk menganalisis stabilitas lereng yaitu grafik, persamaan sederhana, program excel dan aplikasi permodelan komputer stabilitas lereng. Pada beberapa kasus dapat digunakan beberapa metode untuk mengevaluasi stabilitas lereng. Metode perhitungan tersebut digunakan untuk menghitung faktor keamanan sebagai indikator stabilitas lereng.

Menurut Das (2010) faktor keamanan secara umum dapat didefinisikan dalam Persamaan 3.16 berikut ini.

$$F_s = \frac{\tau_f}{\tau_d} \quad (3.16)$$

Dengan :

F_s = Safety Factor

τ_f = Kuat geser tanah

τd = Tegangan geser yang terjadi sepanjang bidang runtuh.

Angka 1 pada faktor keamanan adalah angka kritis terjadinya keruntuhan lereng dan pada umumnya angka aman yang digunakan adalah 1,5 untuk mendesain lereng yang stabil. Nilai faktor keamanan pada lereng yang dijadikan persyaratan oleh Departemen Pekerjaan Umum dapat dilihat pada Tabel 3.8 berikut ini.

Tabel 3.8 Nilai Faktor Keamanan Persyaratan Departemen Pekerjaan Umum

Resiko terhadap nyawa manusia		Rekomendasi nilai faktor keamanan terhadap resiko kehilangan nyawa manusia		
		Tak diperhatikan	Rendah	Tinggi
Resiko Ekonomis				
Rekomendasi faktor keamanan terhadap resiko kehilangan secara ekonomis	Diabaikan	1,1	1,2	1,5
	Rendah	1,2	1,2	1,5
	Tinggi	1,4	1,4	1,5
Catatan : 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 tanah air terburuk 2. Faktor keamanan yang tercantum di dalam tabel ini adalah nilai-nilai yang direkomendasikan. Faktor keamanan yang lebih tinggi atau lebih rendah mungkin saja terjamin keamanannya pada situasi-situasi khusus dalam hubungannya dengan resiko kehilangan secara ekonomis.				

(Sumber: Departemen Pekerjaan Umum, 2005)

Hardiyatmo (2002) yang bersumber pada Bowles (1989) menyatakan keadaan lereng berdasarkan nilai angka keamanannya (SF) dapat dilihat pada Tabel 3.9 berikut ini.

Tabel 3.9 Faktor Keamanan Lereng

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

(Sumber: Bowles, 1989)

3.5 Perkuatan Tanah

Pada beberapa proyek konstruksi tidak jarang ditemui tanah dasar yang kurang ideal sebagai dasar pengerjaan proyek konstruksi, hal ini dapat berakibat fatal jika tidak disolusikan dengan baik oleh pelaku pekerja konstruksi. maka dari itu, pada beberapa kasus diperlukan adanya perkuatan tanah.

Menurut pedoman konstruksi dan bangunan departemen pekerjaan umum no. 003/BM/2009 tentang perencanaan dan pelaksanaan perkuatan tanah dengan geosintetik, tanah lunak didefinisikan sebagai tanah lempung atau gambut dengan kuat geser kurang dari 25 kN/m^2 , jika menggunakan korelasi dengan AASHTO M288-06 maka nilai kuat geser ini setara dengan nilai CBR di lapangan kurang dari 1.

Timbunan yang dibangun diatas tanah lunak sangat berpotensi untuk menyebar secara lateral akibat tekanan tanah horizontal yang bekerja pada timbunan. Tekanan tanah ini menyebabkan tegangan geser horizontal pada dasar timbunan yang harus ditahan oleh tanah pondasi. Tanah pondasi yang tidak memiliki tahanan geser yang cukup, maka akan terjadi keruntuhan tanah.

Fungsi perkuatan tanah pada konstruksi timbunan adalah sebagai berikut:

1. meningkatkan faktor keamanan rencana,
2. menambah tinggi timbunan,

3. mencegeh pergeseran timbunan selama pelaksanaan, dan
4. memperbaiki kinerja timbunan karena penurunan pasca konstruksi yang seragam.

3.6 Dinding Penahan Tanah

Dinding penahan tanah adalah sebuah bangunan sebagai salah satu bentuk perkuatan tanah yang berfungsi untuk mencegah terjadinya keruntuhan pada tanah yang memiliki kemiringan yang curam ataupun lereng yang tidak stabil. Secara umum, dinding penahan tanah terbagi menjadi 2 kategori umum yaitu dinding penahan tanah konvensional dan dinding *Mechanically Stabilized Earth* (MSE).

Dinding penahan tanah konvensional selanjutnya dapat dibagi menjadi beberapa jenis:

1. dinding penahan tanah gravitasi,
2. dinding penahan tanah semi-gravitasi,
3. dinding penahan tanah kantilever,
4. dinding penahan tanah *Counterfort*,
5. dinding krib, dan
6. dinding tanah bertulang (*reinforced earth wall*).

3.7 Dinding Penahan Tanah Kantilever

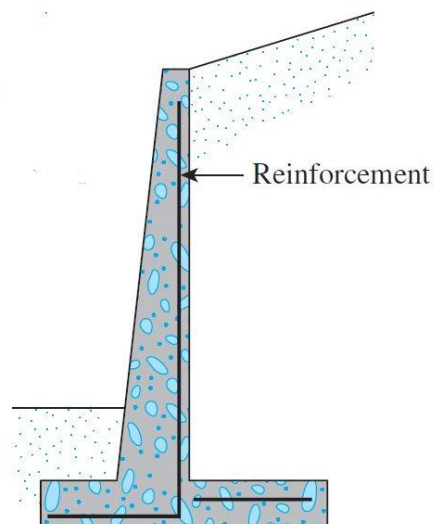
Dinding penahan tanah kantilever secara umum terbuat dari beton yang diperkuat dengan menggunakan tulangan dan tersusun oleh dinding vertikal (*stem*) dan tapak lantai (*base slab*). Tulangan disematkan pada struktur dinding penahan tanah kantilever berfungsi untuk menahan gaya horizontal dan momen yang bekerja pada dinding struktur.

Penulangan lentur pada dinding penahan tanah kantilever dapat direncanakan apabila telah ditetapkan tebal pelat (h), mutu beton (f'_c), mutu baja (f_y) dan momen

rencana (M_R). prosedur perhitungan rencana penulangan dinding penahan tanah kantilever dapat disusun dengan langkah-langkah sebagai berikut.

1. Tinggi efektif (d) ditentukan dari tebal pelat yang telah direncanakan.
2. Lebar tinjauan pelat (b) ditentukan dengan ditinjau tiap satu meter lebar.
3. Nilai M_u/bd^2 dihitung dalam satuan kN/m^2 , dimana harga $M_u = M_R / \Phi$.
4. Rasio tulangan (ρ) ditentukan berdasarkan mutu beton (f'_c), mutu baja (f_y) dan nilai M_u/bd^2 .
5. Perhitungan diperiksa apakah $\rho_{min} < \rho < \rho_{maks}$.
6. Tulangan dan jarak antar tulangan ditentukan berdasarkan persyaratan jarak antar tulangan dan tulangan beton.

Dinding penahan tanah tipe kantilever secara keseluruhan tampak terlihat berbentuk huruf T, seluruh bagian struktur dari dinding ini relatif memiliki dimensi yang tipis sehingga menjadi ekonomis dengan tinggi hingga 8 meter dan mudah dalam pelaksanaannya. Contoh sederhana dinding penahan tanah kantilever dapat dilihat pada Gambar 3.3 berikut ini.



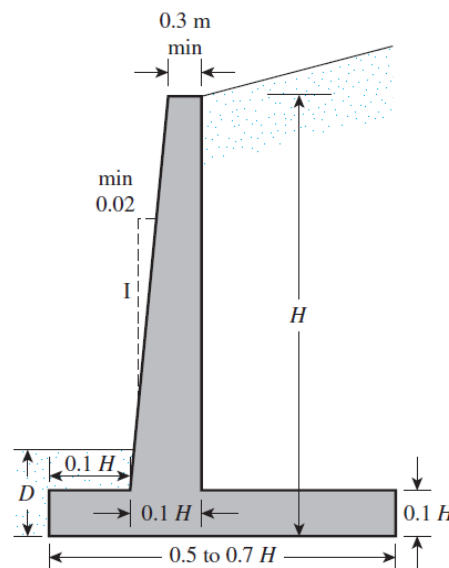
Gambar 3.3 Contoh Sederhana Dinding Penahan Tanah Kantilever

(Sumber: Das, 2011)

3.8 Dimensi Dinding Kantilever

Pada tahap perencanaan struktur dinding penahan tanah kantilever diperlukan dimensi pendahuluan sebagai asumsi awal dari bagian-bagian dinding penahanan tanah yang disebut juga sebagai *proportioning*. Dimensi pendahuluan ini digunakan sebagai arahan pada awal mula perhitungan, macam-macam variasi ukuran dapat dipergunakan selama memenuhi persyaratan stabilitas, kelayakan dan kekuatan menurut syarat-syarat ketentuan yang telah ditetapkan.

Perlu diketahui bahwa dimensi untuk bagian atas dinding vertikal tidak dapat kurang dari 0,3 meter dan ketebalan telapak minimal 0,6 meter (Braja, 2011). Dimensi pendahuluan yang dapat digunakan sebagai acuan dapat dilihat pada Gambar 3.4 berikut ini.



Gambar 3.4 Dimensi Pendahuluan Dinding Penahan Tanah Kantilever

(Sumber: Das, 2011)

3.9 Stabilitas Dinding Penahan Tanah

Dalam merencanakan dinding penahan tanah salah satu faktor utama yang harus diperhitungkan adalah tekanan tanah lateral maka dibutuhkan pengetahuan mengenai tekanan tanah lateral. Tekanan tanah lateral adalah gaya yang diakibatkan oleh dorongan tanah di belakang struktur dinding penahan tanah. Hal ini

mempengaruhi stabilitas internal dinding penahan tanah, maka beberapa hal yang perlu diperhitungkan dalam perencanaan dinding penahan tanah antara lain stabilitas terhadap guling, stabilitas terhadap geser serta kapasitas daya dukung tanah. Ketiga variabel tersebut harus memenuhi syarat aman dari masing-masing variabel sehingga konstruksi dinding penahan tanah menjadi aman dan tidak terjadi keruntuhan.

Stabilitas dinding penahan tanah juga dipengaruhi oleh konsolidasi tanah yang terjadi. Konsolidasi adalah suatu proses pengecilan volume secara perlahan pada tanah jenuh sempurna dengan permeabilitas rendah akibat pengaliran sebagian air pori. Dengan kata lain, akibat konsolidasi yang terjadi maka tanah mengalami penurunan oleh beban yang diterima. Umumnya, pada analisis konsolidasi dengan menggunakan program, konsolidasi ditinjau dalam kurun waktu 1 tahun atau 365 hari. Besarnya penurunan yang terjadi dapat diketahui melalui analisis dengan menggunakan beberapa program analisis geoteknik yang salah satunya adalah Plaxis.

3.9.1 Stabilitas Terhadap Guling

Hardiyatmo (2002) menyatakan bahwa stabilitas terhadap guling adalah stabilitas yang ditinjau berdasarkan tekanan tanah lateral yang diakibatkan oleh tanah urug di belakang dinding penahan tanah. Momen yang terjadi akibat gaya yang bekerja ini memiliki kecenderungan untuk menggulingkan dinding dengan pusat rotasi pada ujung kaki di depan pelat fondasi. Berdasarkan momen penggulingan yang terjadi maka bangunan harus dapat menahan dengan momen akibat berat sendiri dinding penahan tanah dan momen akibat berat tanah diatas pelat fondasi.

Faktor aman terhadap stabilitas guling (F_{gl}) dapat didefinisikan pada Persamaan 3.17 sebagai berikut:

$$F_{gl} = \frac{\sum M_w}{\sum M_{gl}} \quad (3.17)$$

Dimana:

$$\sum M_w = W b_1$$

$$\sum M_{gl} = \sum P_{ah}h + \sum P_{av}B$$

$\sum M_w$ = momen yang melawan penggulingan (kN.m)

$\sum M_{gl}$ = momen yang mengakibatkan penggulingan (kN.m)

W = berat tanah di atas pelat pondasi + berat sendiri dinding penahan (kN)

B = Lebar kaki dinding penahan (m)

$\sum P_{ah}$ = Jumlah gaya-gaya horizontal (kN)

$\sum P_{av}$ = Jumlah gaya-gaya vertikal (kN)

Syarat faktor aman minimum terhadap stabilitas guling (F_{gl}) bergantung pada jenis tanah, nilai angka aman untuk bagi masing-masing jenis tanah adalah sebagai berikut:

$$F_{gl} \geq 1,5 \text{ untuk tanah dasar granular}$$

$$F_{gl} \geq 2 \text{ untuk tanah dasar kohesif}$$

Hardiyatmo (2002) menyatakan, umumnya tekanan tanah pasif yang disebabkan oleh tanah yang berada di depan kaki dinding sering diabaikan dalam perhitungan stabilitas terhadap guling, akan tetapi jika tahanan tanah pasif tetap diperhitungkan maka nilainya harus direduksi untuk mengantisipasi pengaruh erosi, iklim dan retakan akibat tegangan tarik tanah dasar yang kohesif.

3.9.2 Stabilitas Terhadap Geser

Hardiyatmo (2002) menyatakan bahwa gaya-gaya yang menggeser dinding penahan tanah akan ditahan oleh tekanan tanah pasif di depan dinding penahan tanah jika terdapat tanah timbunan dan gesekan antara tanah dengan dasar fondasi. Stabilitas terhadap geser secara umum adalah perbandingan antara tahanan dinding penahan tanah terhadap pergeseran dan jumlah gaya-gaya horizontal yang bekerja pada dinding penahan tanah.

Faktor aman terhadap stabilitas geser (F_{gs}) dapat didefinisikan pada Persamaan 3.18-3.21 sebagai berikut.

$$F_{gs} = \frac{\sum R_h}{\sum P_{ah}} \quad (3.18)$$

Untuk tanah granuler ($c = 0$) adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \sum R_h &= Wf \\ &= W \operatorname{tg} \delta_b; \text{ dengan } \delta_b \leq \varphi \end{aligned} \quad (3.19)$$

Untuk tanah kohesif ($\varphi = 0$) adalah sebagai berikut:

$$\sum R_h = c_a B \quad (3.20)$$

Untuk tanah c - φ ($\varphi > 0$ dan $c > 0$) adalah sebagai berikut:

$$\sum R_h = c_a B + W \operatorname{tg} \delta_b \quad (3.21)$$

Dengan,

- $\sum R_h$ = tahanan dinding penahan tanah terhadap penggeseran
- W = berat total dinding penahan dan tanah di atas pelat fondasi (kN)
- δ_b = sudut gesek antara tanah dan dasar fondasi, biasanya diambil $1/3 - (2/3) \varphi$
- c_a = $a_d \times c$ = adhesi antara tanah dan dasar dinding (kN/m²)
- c = kohesi tanah dasar (kN/m²)
- a_d = faktor adhesi
- B = lebar fondasi (m)
- $\sum P_h$ = jumlah gaya-gaya horizontal (kN)
- F = $\operatorname{tg} \delta_b$ = koefisien gesek antara tanah dasar dan dasar fondasi

Syarat faktor aman minimum terhadap stabilitas geser (F_{gs}) pada dasar fondasi ditentukan minimum 1,5. Bowless (1997) menyarankan:

$$F_{gs} \geq 1,5 \text{ untuk tanah dasar granular}$$

$$F_{gs} \geq 2 \text{ untuk tanah dasar kohesif}$$

Nilai koefisien gesek (f) pada berbagai jenis tanah dapat dilihat pada Tabel 3.10 berikut ini:

Tabel 3.10 Koefisien Gesek (f) Antara Dasar Fondasi Dan Tanah Dasar

Jenis tanah dasar fondasi	$f = \text{tg } \delta$
Tanah granuler kasar tak mengandung lanau atau lempung	0,55
Tanah granuler kasar mengandung lanau	0,45
Tanah lanau tak berkohesi	0,35
Batu keras permukaan kasar	0,60

(Sumber: Hardiyatmo, 2002)

3.9.3 Stabilitas Terhadap Kapasitas Daya Dukung Tanah

Hardiyatmo (2002) menyatakan, digunakan beberapa persamaan dalam menghitung stabilitas terhadap kapasitas daya dukung tanah antara lain adalah persamaan persamaan kapasitas dukung Terzhagi (1943), Meyerhof (1951), Hansen (1970) dan Vesic (1975). Dalam menghitung stabilitas terhadap kapasitas daya dukung tanah umumnya digunakan persamaan Hansen (1970) dan Vesic (1975) untuk mengetahui tegangan ultimit, kemudian metode terzhagi untuk mengetahui tegangan maksimal dan tegangan minimal.

Braja (2011) menjabarkan urutan dalam perhitungan yang dapat dilihat pada Persamaan 3.22-3.33 sebagai berikut.

1. Eksentrisitas (e)

$$e = B/2 \frac{\sum M_w - \sum M_{gl}}{\sum W} \quad (3.22)$$

Dimana:

$\sum M_w$ = momen yang melawan guling (kN.m)

$\sum M_{gl}$ = momen yang mengakibatkan guling (kN.m)

$\sum W$ = total berat tanah diatas pelat pondasi + berat sendiri dinding penahan (kN)

e = eksentrisitas

B = lebar kaki dinding penahan (m)

2. Tekanan akibat beban struktur (q)

Hardiyatmo (2002) menyatakan bahwa dalam perancangan, lebar fondasi dinding penahan dirancang sedemikian sehingga $e < (B/6)$. Hal ini bertujuan agar efisiensi fondasi maksimum dan perbedaan tekanan fondasi pada ujung-ujung kaki dinding tidak besar sehingga mengurangi resiko keruntuhan dinding akibat penggulingan.

$$q_{maks} = q_{toe} = \frac{\Sigma V}{B} \left(1 + \frac{6e}{B}\right) \quad (3.23)$$

$$q_{min} = q_{heel} = \frac{\Sigma V}{B} \left(1 - \frac{6e}{B}\right) \quad (3.24)$$

3. Kapasits daya dukung ultimit (q_u)

$$q_u = cN_c F_{cd} F_{ci} + qN_q F_{qd} F_{qi} + 0,5\gamma B N_\gamma F_{\gamma d} F_{\gamma i} \quad (3.25)$$

$$q = \gamma D \quad (3.26)$$

$$B' = B - 2e \quad (3.27)$$

$$F_{cd} = F_{qd} - \frac{1 - F_{qd}}{N_c \tan \theta} \quad (3.28)$$

$$F_{qd} = 1 + 2 \tan \theta (1 - \sin \theta)^2 \frac{D}{B'} \quad (3.29)$$

$$F_{\gamma d} = 1 \quad (3.30)$$

$$F_{ci} = F_{qi} = \left(1 - \frac{\Psi_0}{90^\circ}\right)^2 \quad (3.31)$$

$$F_{\gamma i} = \left(1 - \frac{\Psi_0}{\theta^\circ}\right)^2 \quad (3.32)$$

$$\Psi_0 = \tan^{-1} \left(\frac{Pa \cos \alpha}{\Sigma V}\right) \quad (3.33)$$

Dimana:

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

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

B	=	lebar kaki dinding penahan (m)
e	=	eksentrisitas beban (m)
γ	=	berat volume tanah (kN/m ³)
$N_c, N_q, N\gamma$	=	faktor-faktor kapasitas dukung Hansen dan Vesic

Faktor aman terhadap keruntuhan kapasitas daya dukung tanah dapat didefinisikan pada Persamaan 3.34 sebagai berikut.

$$FS_{(\text{kapasitas daya dukung})} = \frac{qu}{qmaks} \geq 3 \quad (3.34)$$

Dimana:

qu = tekanan tanah ultimit (kN/m²)

$qmaks$ = tekanan maksimal akibat beban struktur (kN/m²)

3.10 Program PLAXIS 8.6

Plaxis adalah sebuah paket program yang disusun berdasarkan metode elemen hingga yang telah dikembangkan secara khusus untuk melakukan analisis deformasi dan stabilitas dalam bidang rekayasa geoteknik. Prosedur pembuatan model secara grafis yang mudah memungkinkan pembuatan suatu model elemen hingga yang rumit dapat dilakukan dengan cepat, sedangkan berbagai fasilitas yang tersedia dapat digunakan untuk menampilkan hasil komputasi secara mendetail. Proses perhitungannya sendiri sepenuhnya berjalan secara otomatis dan didasarkan pada prosedur numerik yang handal.

Permodelan *Mohr Coulomb* adalah permodelan tanah yang paling umum digunakan pada program PLAXIS. Permodelan *Mohr Coulomb* memiliki beberapa parameter yaitu kohesi (c), sudut geser dalam (ϕ), *Poissons ratio* (ν), Modulus Young (E) dan sudut dilatasi (ψ). Kelebihan dari permodelan tanah menggunakan *Mohr Coulomb* berupa perhitungan yang masih relatif sederhana.

Menurut Setiawan (2019) pada saat memodelkan elemen tanah pada program Plaxis dapat dilakukan dalam dua kondisi yaitu sebagai berikut.

1. Kondisi *Drained*

Kondisi *Drained* merupakan kondisi untuk tanah yang memiliki permeabilitas besar seperti tanah pasir, tanah yang mengalami pembebanan sangat lambat, serta untuk menstimulasikan perilaku tanah dalam jangka Panjang. Kondisi *Drained* pada program PLAXIS 2D digunakan untuk mengatur tidak ada kenaikan tekanan air pori (*Porewater Pressure*) pada material tanah.

2. Kondisi *Undrained*

Kondisi *Undrained* merupakan kondisi untuk tanah yang memiliki permeabilitas kecil seperti tanah lempung sehingga ketika diberikan *excess pore water pressure* tidak langsung terdispasi atau teralirkan. Kondisi *Undrained* pada program PLAXIS 2D digunakan untuk mengatur timbulnya kenaikan tekanan air pori (*excess pore water pressure*) pada material tanah.

BAB IV METODE PENELITIAN

4.1 Pendahuluan

Metode penelitian dilakukan oleh peneliti untuk memberikan informasi berupa proses atau tahapan yang dilakukan dalam suatu penelitian mulai dari pengumpulan data, analisis data, sampai memperoleh hasil dari penelitian tersebut. Pada penelitian ini, metode penelitian yang digunakan adalah berupa analisis, penelitian ini menggunakan data-data primer maupun sekunder, selanjutnya data-data tersebut dianalisis guna memperoleh hasil akhir dari penelitian yang berupa pembahasan dan pengambilan kesimpulan.

4.2 Bahan dan Alat

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Perangkat keras berupa laptop ASUS ROG seri G550J maupun komputer pada lab komputasi Teknik Sipil UII.
2. Perangkat lunak berupa aplikasi PLAXIS 8.2
3. Alat tulis.

4.3 Persiapan Penelitian

Penelitian ini memiliki beberapa persiapan sebelum dapat dilakukannya penelitian, yang terdiri dari penetapan lokasi, penentuan metode penelitian dan melakukan pengumpulan data primer maupun sekunder. Lokasi yang ditinjau pada penelitian ini adalah lokasi yang akan dipergunakan dinding penahan tanah kantilever sebagai perkuatan lereng saluran irigasi. Metode yang akan digunakan adalah pengumpulan data primer maupun sekunder dan melakukan analisa dari data yang telah diperoleh tersebut.

4.4 Pengumpulan Data

Data yang diperlukan pada penelitian ini adalah data sekunder yang didapatkan dengan mengajukan data kepada pemangku kepentingan pada proyek yang dilakukan penelitian. Data yang sekunder berupa data parameter tanah baik data uji lapangan maupun uji laboratorium, beban dan data gambar desain dari proyek tersebut. Data-data yang telah dikumpulkan tersebut selanjutnya dilakukan analisis pada penelitian tugas akhir.

Data yang digunakan pada penelitian ini berupa data sekunder yang diperoleh dari PT. Intimulya Multikencana KSO Maxitech Utama Indonesia yang berupa data parameter tanah yang telah dirangkum sesuai dengan kebutuhan penelitian dan data potongan melintang. Pada data parameter tanah, berbagai jenis tanah pada setiap lapisan dapat diketahui dengan melakukan uji lab yang mengacu kepada sistem klasifikasi tanah *Unified*. Data parameter tanah yang telah diperoleh dapat dilihat pada Tabel 4.1 berikut ini.

Tabel 4.1 Parameter Tanah Pada BT.01 – BT.02

BT.01-BT.02										
Kedalaman (m)	Jenis Tanah	N-SPT	Warna	Parameter <i>Short Term</i>						
				Kondisi	γ (KN/m ³)	γ_{sat} (KN/m ³)	E (KN/m ³)	Tekanan Air Pori (<i>u</i>)	Cu (KN/m ²)	Sudut Geser ϕ
0 - 2	Lempung Berbatu	0	Cokelat Kekuningan	<i>Undrained</i>	11,8	13	3000	0,35	19,32	29,312
2 - 4	Lempung Berpasir	60	Cokelat Kekuningan	<i>Undrained</i>	18,6	20	21000	0,35	19,32	29,312

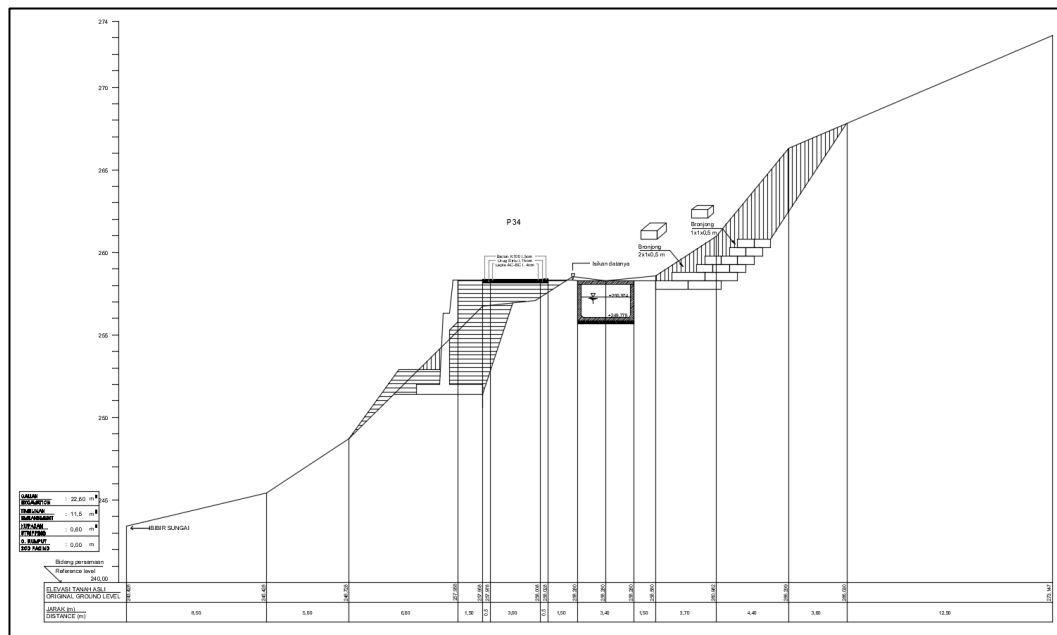
(sumber: PT. Intimulya Multikencana KSO Maxitech Utama Indonesia, 2020)

Lanjutan Tabel 4.1 Parameter Tanah Asli Pada BT.01 – BT.02

4 - 6	Lempung Berpasir	60	Cokelat Kekuningan	Undrained	18,6	20	21000	0,35	19,32	29,312
6 - 8	Lempung Berpasir	49	Cokelat Kekuningan	Undrained	16,7	18	7000	0,35	19,32	36,40
8 - 10	Lempung Berpasir	60	Cokelat Kekuningan	Undrained	16,7	18	9000	0,35	19,32	38,150
10 - 12	Lempung Berpasir	60	Cokelat Kekuningan	Undrained	16,7	18	8000	0,35	19,32	36,80
12 - 14	Pasir	34	Kehitaman	Drained	18,6	20	13000	0,30	19,32	38,80
14 - seterusnya	Pasir	32	Kehitaman	Drained	18,6	20	12000	0,30	19,32	42,0
	Timbunan Pilihan	-	Coklat kekuningan	Undrained	16	18	30000	0,3	40	36

(sumber: PT. Intimulya Multikencana KSO Maxitech Utama Indonesia, 2020)

Data *bor log* dan pengujian lab yang dilakukan oleh PT PT. Intimulya Multikencana KSO Maxitech Utama Indonesia, selanjutnya menjadi acuan untuk rangkuman data parameter tanah yang diperlukan dan dapat dilihat dengan lebih lengkap pada halaman lampiran. Berikutnya adalah *cross section* pada STA P.34 yang dapat dilihat pada Gambar 4.1 berikut ini.



Gambar 4.1 Cross Section Pada STA P.34

(sumber: PT. Intimulya Multikencana KSO Maxitech Utama Indonesia, 2020)

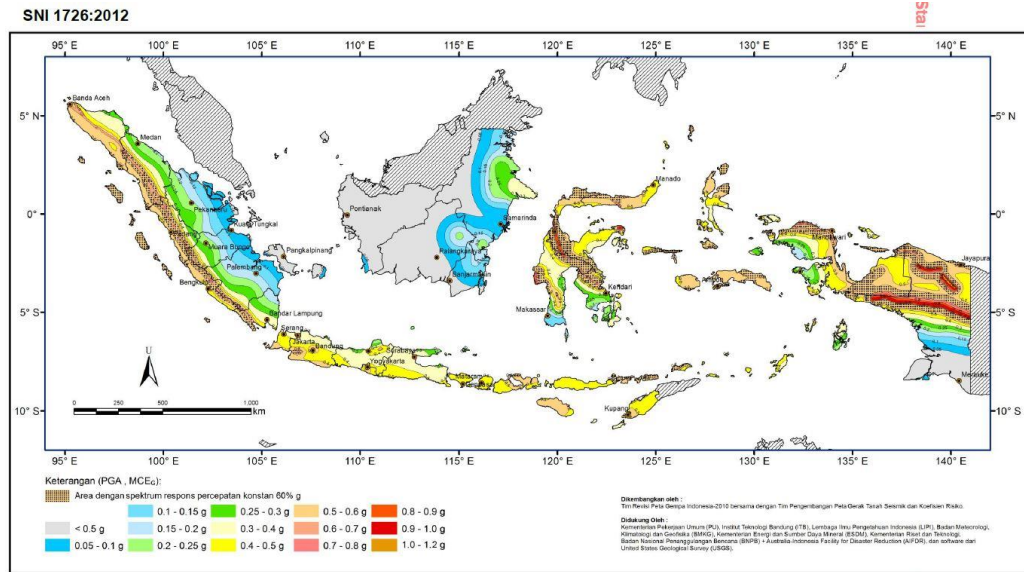
Berikutnya adalah data beban, data beban yang dimaksud adalah berupa data beban lalu lintas, perkerasan dan beban gempa. Beban lalu lintas yang akan melewati jalan inspeksi di sepanjang saluran irigasi ditetapkan adalah berupa truk pengangkut dan motor yang mungkin digunakan oleh petani atau warga sekitar. Beban lalu lintas beserta perkerasannya ditetapkan 10 KN/m^2 berdasarkan ketentuan beban lalu lintas Departemen Pekerjaan Umum tahun 2009. ketentuan beban lalu lintas dapat dilihat pada Tabel 4.2 berikut ini.

Tabel 4.2 Beban 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	>6.000	12
		<6.000	10
	Lokal	>500	10
		>500	10

(Sumber: Departemen Pekerjaan Umum, 2009)

data beban gempa diperhitungkan karena pada lokasi penelitian yang termasuk daerah rawan gempa, yaitu daerah Padang Sumatera Barat. Faktor beban akibat gempa akan diperhitungkan dalam melakukan analisis menggunakan program Plaxis dan dikategorikan sebagai analisis dinamis karena beban akibat gempa memiliki percepatan, interval waktu dan bersifat dinamis. Data beban gempa yang dibutuhkan bersumber dari SNI 1726:2012 dan diperoleh angka percepatan gempa pada daerah Padang yaitu sebesar 1,0 – 1,2 g. Peta zonasi gempa Indonesia dapat dilihat pada Gambar 4.2 berikut ini.



Gambar 11 - PGA, Gempa maksimum yang dipertimbangkan rata-rata geometrik (MCE_g), kelas situs SB

Gambar 4.2 Peta Zonasi Gempa Indonesia PGA-SNI 1726:2012

(Sumber: SNI 1726:2012)

Data parameter desain dinding penahan tanah kantilever yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 4.3 berikut ini.

Tabel 4.3 Parameter Desain Dinding Penahan Tanah Kantilever

<i>Properties</i>	Notasi	Nilai	Satuan
Model Material	<i>Model</i>	<i>Elastic Linier</i>	-
Tipe Material	<i>Type</i>	<i>Non-Porous</i>	kN/m
Modulus Elastisitas	g	2,3452	kN/m ³
Berat Volume Beton	E	24	kN/m ²
Angka Poisson	v	0,15	-
Kuat Tekan Beton	F_c'	25	Mpa
Kuat Tarik Beton	F_y	420	Mpa

4.5 Tahap Pelaksanaan Penelitian

Dalam melaksanakan penelitian ini perlu dilakukan beberapa tahapan yang jelas dan teratur, sehingga nantinya diperoleh hasil sesuai dengan harapan. Adapun tahapan pelaksanaan penelitian ini sebagai berikut.

1. Tahap pengumpulan data yang meliputi tahap pengambilan data parameter tanah dan lereng timbunan baik yang berasal dari uji lapangan maupun uji laboratorium, data beban lalu lintas dan data potongan melintang jalan atau gambar desain yang selanjutnya digunakan untuk analisis menggunakan aplikasi PLAXIS 8.6.
2. Melakukan analisis manual stabilitas tanah asli dan tanah yang telah diperkuat dengan perkuatan dinding penahan tanah tipe kantilever, menggunakan metode perhitungan Fellinius.
3. Tahap pengolahan data menggunakan aplikasi PLAXIS 8.6 dan analisis menggunakan data parameter tanah yang telah didapatkan pada tahap sebelumnya. Kemudian, data diolah menggunakan analisis stabilitas lereng dan perkuatan dinding penahan tanah kantilever yang digunakan.
4. Tahap pembahasan dan penarikan kesimpulan dengan melakukan penulisan pada laporan penelitian berupa hasil-hasil yang didapatkan mulai dari tahapan pengambilan data lalu melakukan analisis yang menghasilkan output berupa kesimpulan dan saran berdasarkan teori-teori yang digunakan.

4.6 Variasi Model

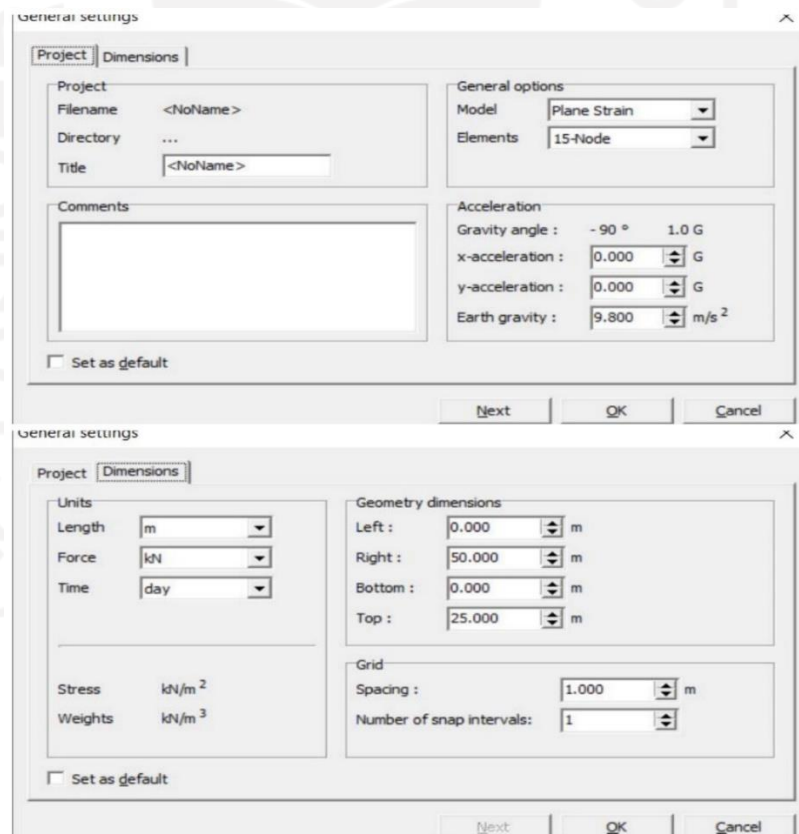
Analisis stabilitas lereng dilakukan dengan menggunakan dua variasi model yaitu, lereng tanpa perkuatan dan lereng yang telah diberi perkuatan. Kemudian, analisis dilakukan dengan mempertimbangkan kondisi normal dan kondisi ekstrem. Kondisi normal adalah kondisi dimana muka air tanah atau muka air sungai berada pada elevasi normal, sedangkan kondisi ekstrem adalah kondisi dimana muka air tanah atau muka air sungai berada pada elevasi yang sangat rendah atau sungai kering. Hal ini dilakukan agar didapatkan data dari kondisi ideal dan kondisi dengan kemungkinan terburuk yang dapat terjadi guna memaksimalkan perencanaan perkuatan dinding penahan tanah.

4.7 Tahapan Analisis Stabilitas Lereng dan Input Data pada Plaxis 8.6

Analisis adalah tahapan awal dalam proses perencanaan, metode analisis adalah sebuah cara yang digunakan dalam mengolah data dengan menguraikan suatu pokok permasalahan menjadi komponen-komponen untuk mendapatkan sebuah pengertian yang tepat dan pemahaman yang menyeluruh.

4.7.1 Input Data Geometri

Dalam melakukan pekerjaan analisis menggunakan program Plaxis, tahap paling awal adalah input data umum melalui jendela *General Settings* yang dibutuhkan untuk mengisi parameter-parameter permodelan umum yang dibutuhkan oleh program Plaxis. Tahapan input data umum pada program Plaxis dapat dilihat pada Gambar 4.3 berikut ini.



Gambar 4.3 Tampilan *General Settings*

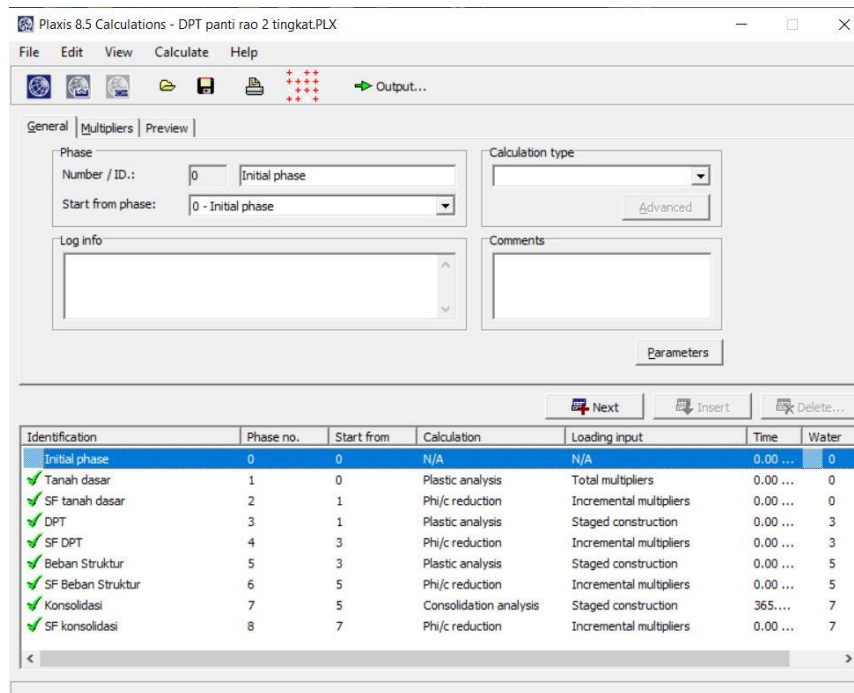
4.7.2 Tahap Analisis

Secara umum dalam melakukan analisis perancangan dinding penahan tanah tipe kantilever, hal-hal yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. mendesain bentuk geometri dua dimensi penampang melintang lereng yang dianalisis,
2. menentukan kondisi batas (*Standard Fixities*) untuk menentukan batas luasan penampang yang dianalisis,
3. melakukan *Input* data material pada menu *Material Sets*,
4. mengaktifkan penyusunan jaring elemen (*Generate Mesh*),
5. mengaktifkan *Initial Conditions* dan *Initial Pore Pressure* untuk menentukan elevasi letak muka air tanah pada penampang,
6. mengaktifkan akibat dari tekanan muka air tanah dengan opsi *Generate Water Pressure* pada kondisi *Phreatic Level*,
7. mengaktifkan *Closed Consolidation Boundary* untuk menentukan batas luasan konsolidasi yang akan ditinjau pada penampang, dan
8. terakhir, memilih opsi *Calculate* untuk masuk kepada tahapan *Plaxis Calculation*.

4.7.3 Plaxis Calculations

Setelah proses input pada pekerjaan lereng yang dilakukan melalui tahap *Plaxis Input* telah selesai maka selanjutnya program Plaxis masuk kepada tahapan *Plaxis Calculations* atau tahapan kalkulasi. Tampilan jendela yang muncul setelah memilih opsi *Calculate* pada tahap akhir *Plaxis Input* dapat dilihat pada Gambar 4.4 berikut ini.



Gambar 4.4 Tampilan Menu *Plaxis Calculations*

Dalam tahapan kalkulasi terdapat beberapa tujuan yang harus diperoleh dalam melakukan analisis terhadap lereng diantaranya adalah menentukan *Safety Factor* atau angka keamanan dan penurunan tanah yang terjadi akibat konsolidasi pada lereng sebelum dan setelah diperkuat menggunakan dinding penahan tanah kantilever.

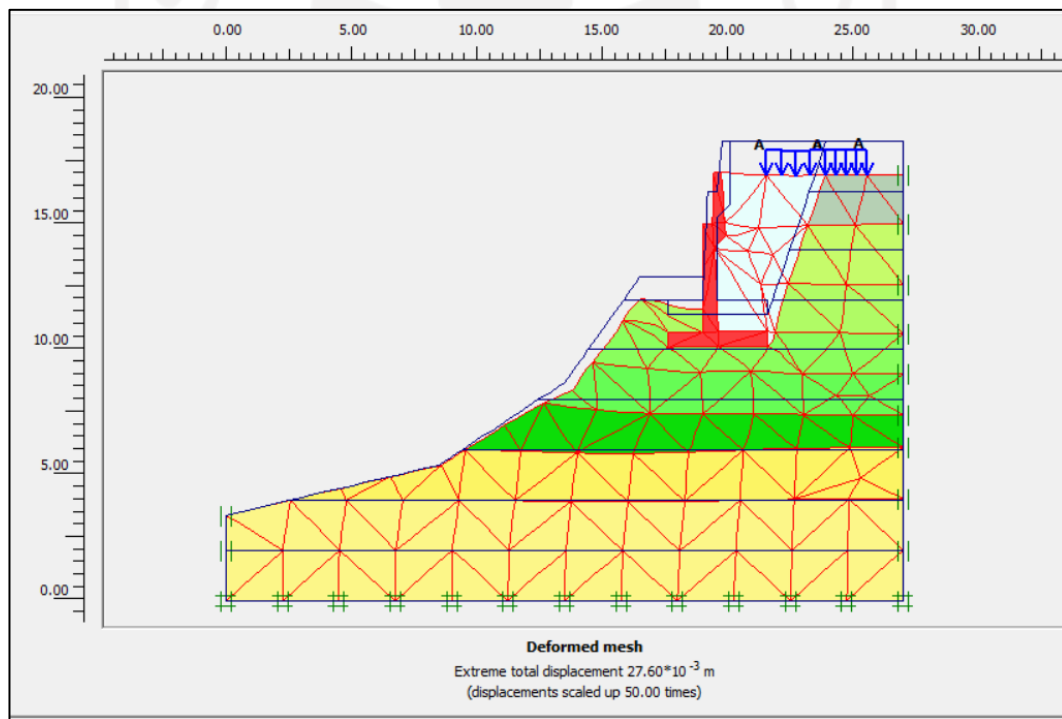
Dalam mencari angka keamanan pada fase kalkulasi dipilih opsi *Phi/c Reduction* pada kolom *Calculation Type*, kemudian pada panel *control parameters* centang opsi *reset displacement to zero* dan *delete intermediate steps*, terakhir dipilih *Incremental Multipliers* pada loading input.

Dalam mencari angka penurunan yang terjadi pada struktur perkuatan pada fase kalkulasi dipilih opsi *Consolidation Analysis* pada kolom *Calculation Type*, kemudian pada panel *control parameters* centang opsi *delete intermediate steps*, terakhir dipilih *Staged Construction* pada loading input dan diisi *time interval* 365 hari untuk mengetahui konsolidasi yang terjadi selama satu tahun.

Setelah semua fase dan parameter kalkulasi telah selesai dirancang maka selanjutnya adalah klik *point of curves* untuk menentukan titik-titik batasan yang ditinjau potensi kelongsorannya dan digambarkan pada tampilan berbentuk kurva. Kemudian klik *output* untuk menampilkan hasil akhir dari analisis.

4.7.4 *Plaxis Output*

Jendela *Plaxis Output* dapat diakses setelah segala parameter input dan kalkulasi telah terpenuhi, *Plaxis Output* juga dapat dibuka kembali dengan klik *toolbar Plaxis output* atau membuka secara manual melalui *start menu*. *Plaxis output* digunakan untuk melihat tegangan yang terjadi pada tanah secara spesifik dan juga dapat digunakan untuk melihat gaya yang bekerja pada objek struktural. Contoh tampilan jendela *Plaxis output* dan hasil analisis dapat dilihat pada Gambar 4.5 berikut ini.

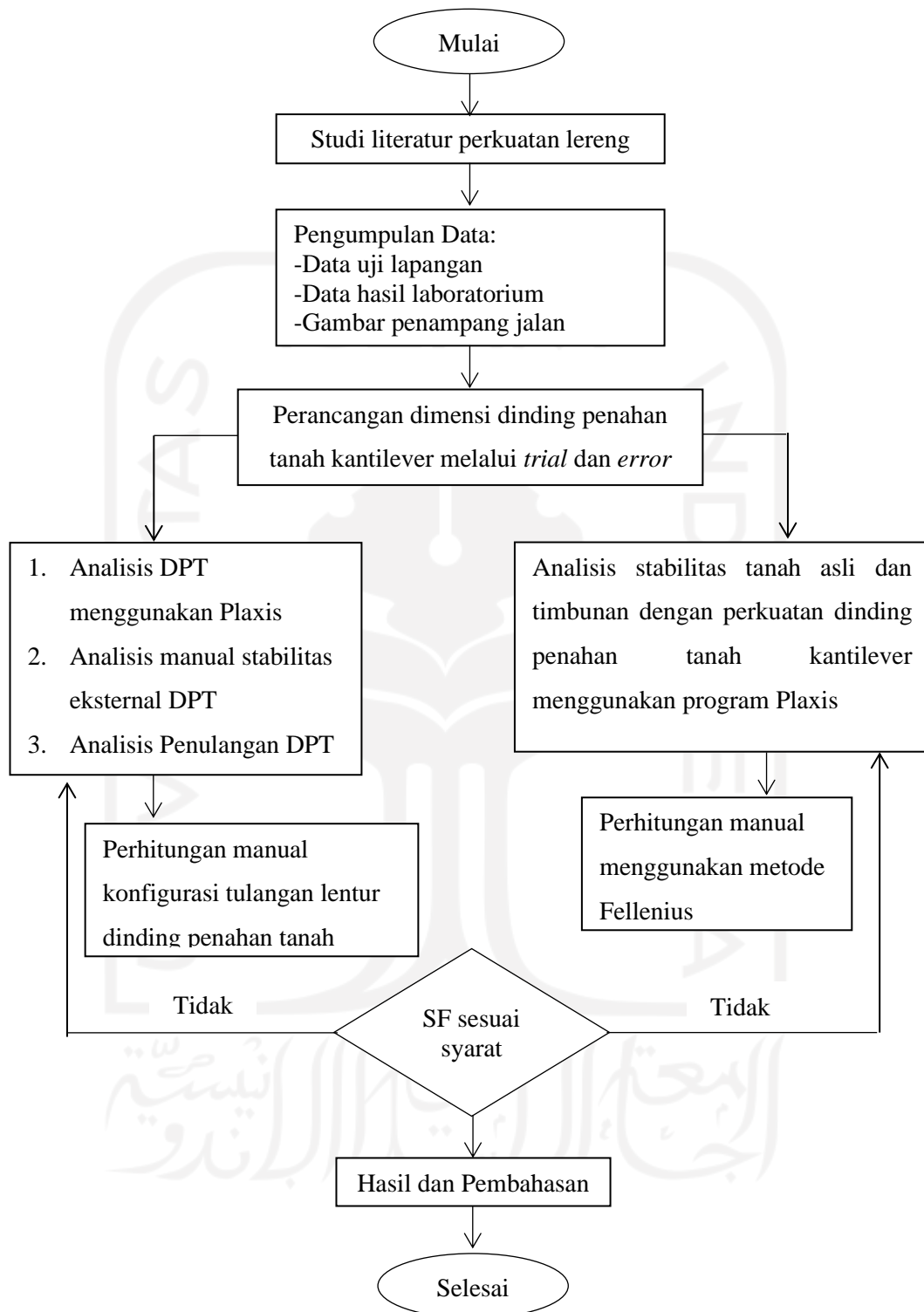


Gambar 4.5 Tampilan *Plaxis Output Program*

4.8 Bagan Alir Penelitian

Bagan alir adalah sebuah *flowchart* yang menunjukkan aliran atau tahapan sebuah penelitian yang memberikan gambaran singkat dan jelas setiap tahapan penelitian. Bagan alir pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 4.6 berikut ini.





Gambar 4.6 Bentuk Bagan Alir Penelitian

BAB V

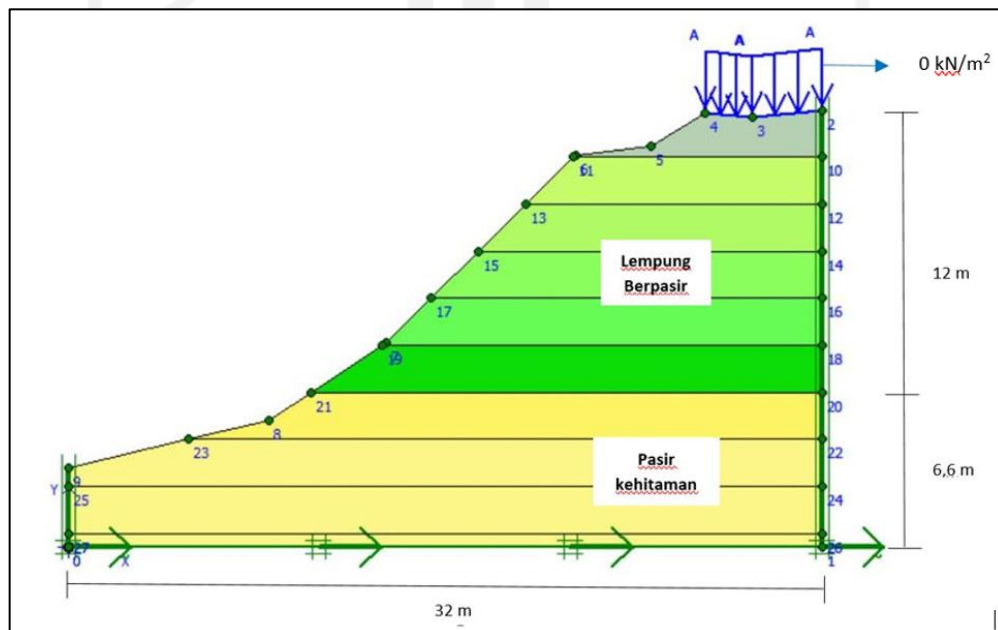
ANALISIS DAN PEMBAHASAN

5.1 Analisis Stabilitas Eksisting Menggunakan Program Plaxis 8.6.

Untuk mengetahui stabilitas dari lereng eksisting maka perlu diketahui angka keamanan (SF) lereng dan juga konsolidasi yang terjadi. Analisis terlebih dahulu dilakukan dengan menggunakan program Plaxis 8.6, apabila ditemukan kondisi tanah kritis atau bahkan *collapse* maka diperlukan analisis manual lanjutan dengan menggunakan metode Fellenius untuk mencari SF lereng eksisting.

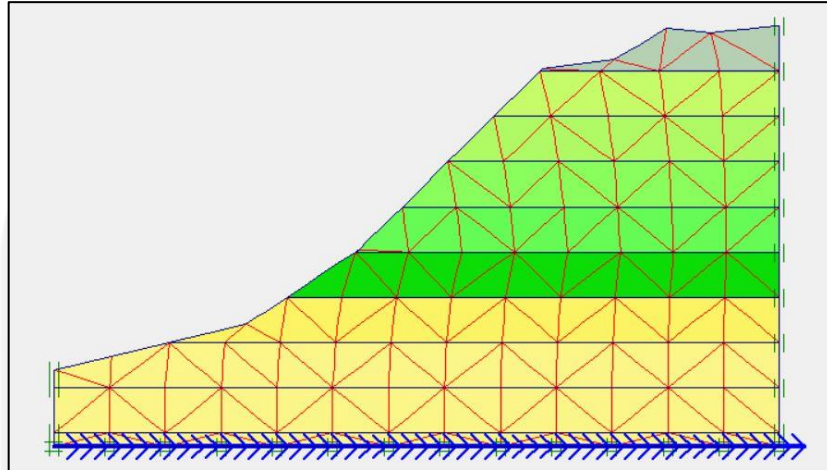
1. Tahapan *Input* pada analisis lereng eksisting

Pada tahapan *input* hal pertama yang dilakukan adalah melakukan permodelan awal atau tahapan *input geometry* pada lereng eksisting. Hasil penggambaran geometri dapat dilihat pada Gambar 5.1 berikut ini.



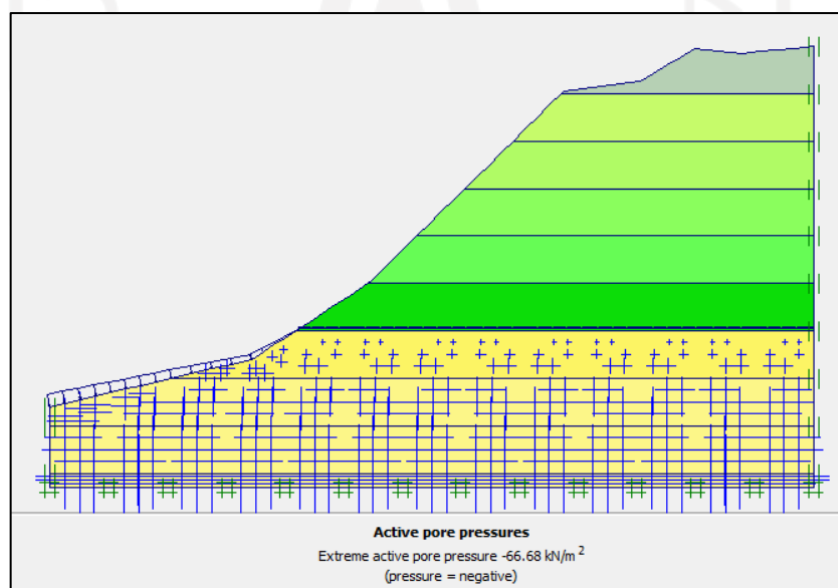
Gambar 5.1 Permodelan Lereng Eksisting

Selanjutnya adalah melakukan penggambaran *meshing* dengan tingkat ketelitian *meshing* yang digunakan adalah pada tingkat *medium*. Hasil penggambaran *general meshing* dapat dilihat pada Gambar 5.2 berikut ini.



Gambar 5.2 General Meshing pada Lereng Eksisting

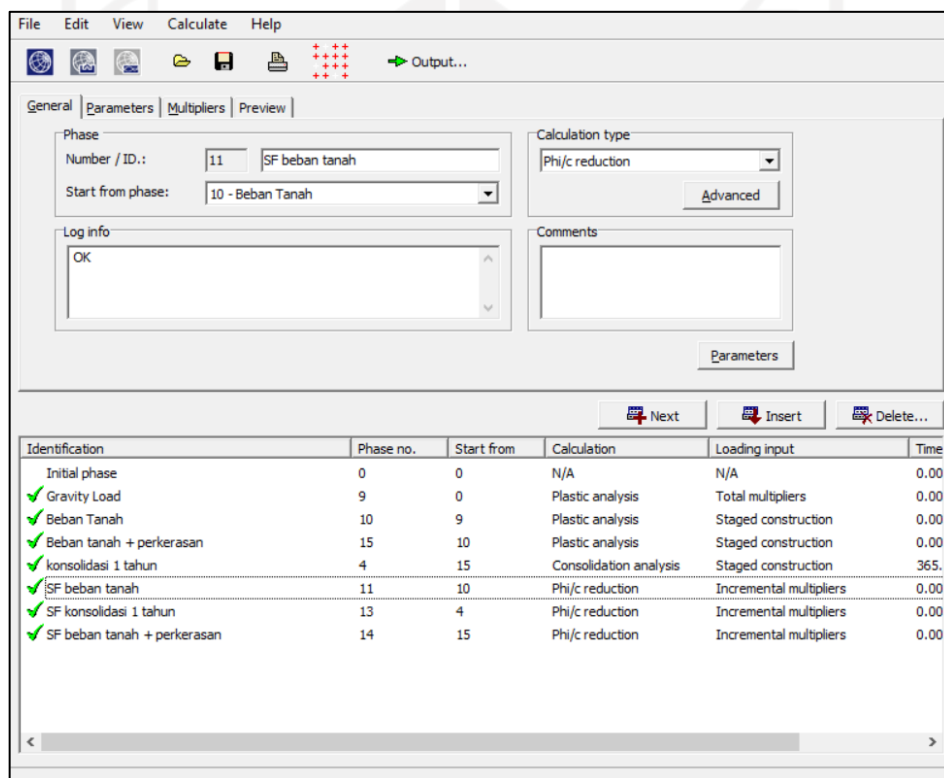
Selanjutnya adalah melakukan *input* tekanan air pori dengan sebelumnya menentukan tinggi muka air tanah yang dimodelkan dengan kondisi jenuh air. Hasil dari *input initial stresses* atau tekanan air pori dapat dilihat pada Gambar 5.3 berikut ini.



Gambar 5.3 Tekanan Air Pori pada Lereng Eksisting

2. Tahapan kalkulasi pada lereng eksisting

Pada hasil kalkulasi dari analisis pada lereng eksisting didapatkan hasil lereng tidak *collapse* namun didapatkan SF yang cukup kecil pada keadaan eksisting dan pada keadaan diberi beban perkerasan. hal ini menandakan bahwa lereng dalam kondisi kritis dan diperlukan adanya perkuatan tanah. Hasil keseluruhan dari tahapan kalkulasi dapat dilihat pada Gambar 5.4 berikut ini.



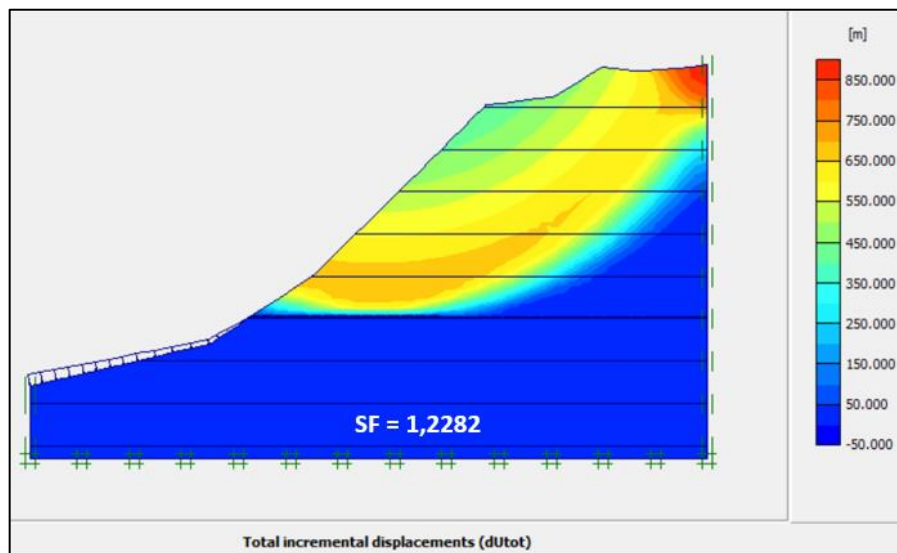
Identification	Phase no.	Start from	Calculation	Loading input	Time
Initial phase	0	0	N/A	N/A	0.00
✓ Gravity Load	9	0	Plastic analysis	Total multipliers	0.00
✓ Beban Tanah	10	9	Plastic analysis	Staged construction	0.00
✓ Beban tanah + perkerasan	15	10	Plastic analysis	Staged construction	0.00
✓ konsolidasi 1 tahun	4	15	Consolidation analysis	Staged construction	365.
✓ SF beban tanah	11	10	Phi/c reduction	Incremental multipliers	0.00
✓ SF konsolidasi 1 tahun	13	4	Phi/c reduction	Incremental multipliers	0.00
✓ SF beban tanah + perkerasan	14	15	Phi/c reduction	Incremental multipliers	0.00

Gambar 5.4 Tahapan Kalkulasi pada Lereng Eksisting

3. Tahapan *Output* dan *Curves* pada lereng eksisting

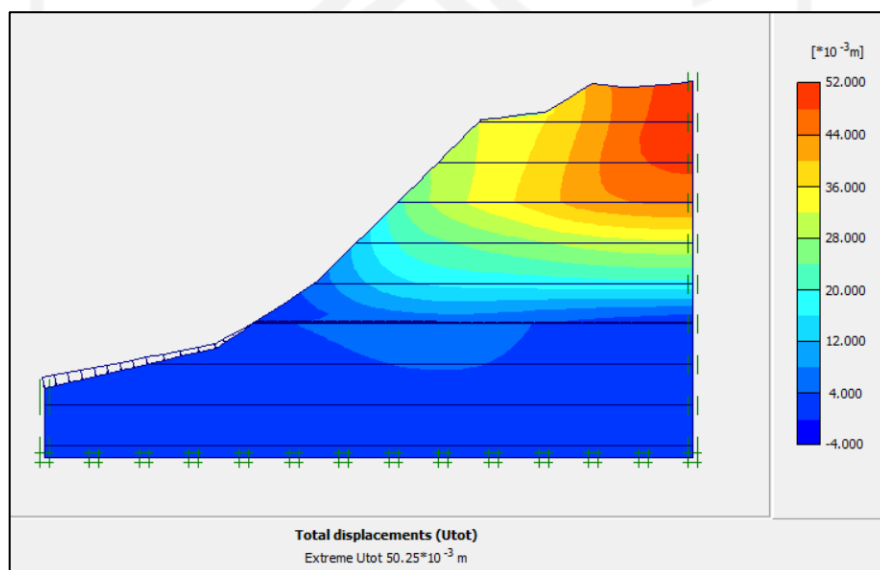
Angka faktor keamanan yang didapatkan pada analisis lereng eksisting pada adalah sebesar $1,2282 < 1,5$ pada keadaan lereng tanpa beban perkerasan dan angka faktor keamanan sebesar $1,1434 < 1,5$ pada keadaan lereng diberi beban

perkerasan. hal ini menunjukkan bahwa lereng dalam kondisi kritis dan dibutuhkan adanya perkuatan tanah. Hasil output faktor keamanan dan bidang longsor yang dikeluarkan melalui program Plaxis 8.6 dapat dilihat pada Gambar 5.5 berikut ini.



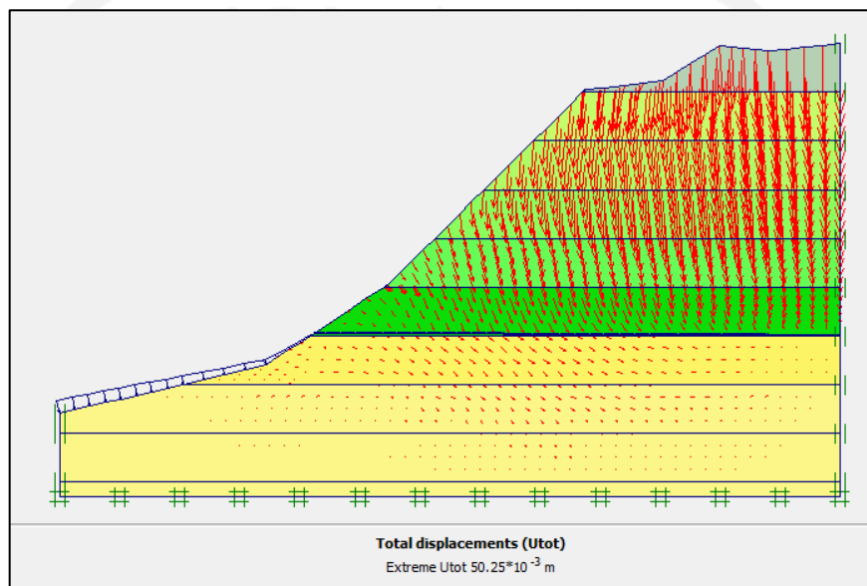
Gambar 5.5 Bidang Longsor pada Lereng Eksisting

Perpindahan total yang terjadi pada lereng tanpa perkuatan dengan kondisi normal dapat dilihat pada Gambar 5.6 berikut ini.



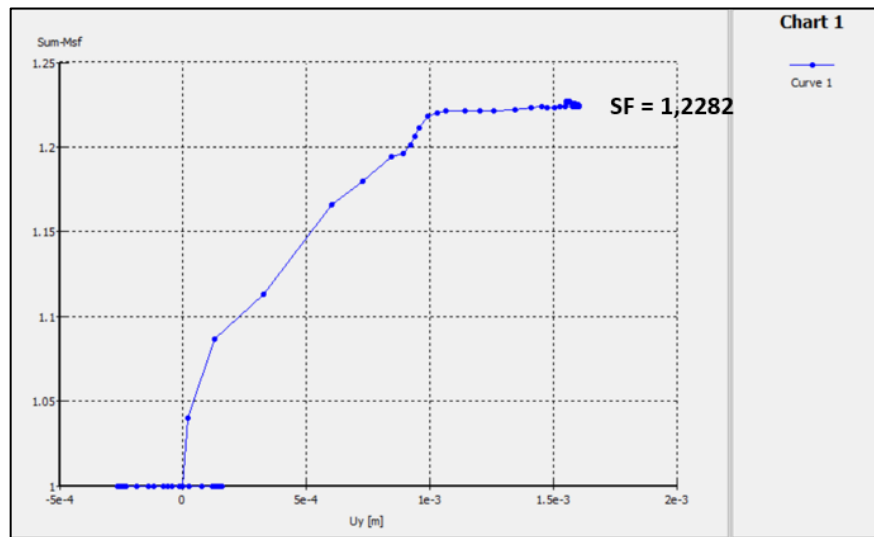
Gambar 5.6 Perpindahan Total pada Lereng Eksisting

Penurunan tanah yang terjadi akibat konsolidasi pada lereng eksisting adalah sebesar 0,0503 meter yang terjadi dalam waktu 1 tahun. Konsolidasi tanah yang terjadi dapat dilihat pada Gambar 5.7 berikut ini.



Gambar 5.7 Konsolidasi dan Arah Penurunan Tanah pada Lereng Eksisting

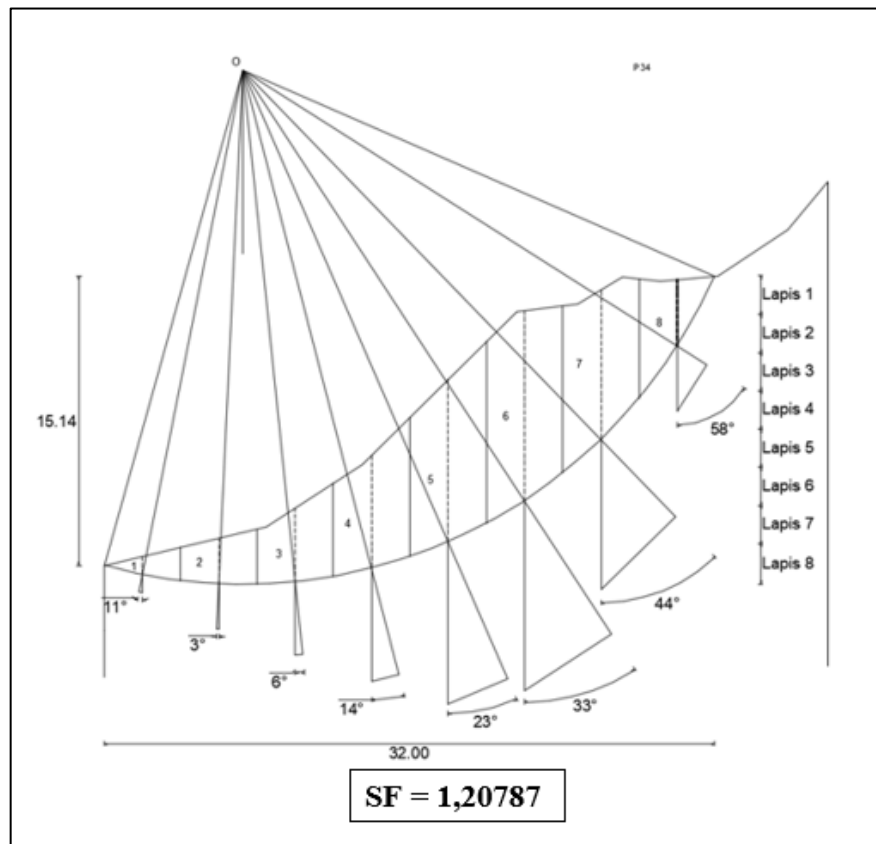
Didapatkan grafik antara faktor keamanan dan perpindahan yang terjadi melalui program *Plaxis Curves* setelah analisis *output* selesai dilakukan. Grafik antara faktor keamanan dan perpindahan yang terjadi pada lereng eksisting dapat dilihat pada gambar 5.8 berikut ini.



Gambar 5.8 Grafik SF vs Perpindahan Lereng Eksisting

5.2 Analisis Stabilitas Lereng menggunakan Metode Fellenius

Untuk mengetahui angka keamanan dalam stabilitas sebuah lereng dilakukan perhitungan manual. Seiring berjalannya waktu dan perkembangan ilmu pengetahuan, terdapat banyak metode yang telah dikembangkan dan disempurnakan untuk melakukan pendekatan dalam mengetahui angka keamanan sebuah lereng atau timbunan salah satunya adalah metode Fellenius. Metode Fellenius digunakan pada penelitian ini dikarenakan kondisi lereng yang jenuh air akan lebih cocok jika dianalisis secara manual menggunakan metode Fellenius. Dalam perhitungan menggunakan metode Fellenius, akan dibuat sebuah permodelan lereng dan lereng akan dibagi menjadi 8 pias yang akan menjadi dasar dalam melakukan analisis. Permodelan lereng yang diperlukan dalam melakukan analisis dapat dilihat pada Gambar 5.9 berikut ini.



Gambar 5.9 Permodelan Lereng Analisis Metode Fellenius

Perhitungan dalam tahap analisis stabilitas lereng menggunakan metode Fellenius adalah sebagai berikut.

1. Perhitungan berat irisan tanah

Dalam perhitungan berat irisan perlu diketahui luasan setiap pias per lapisan dan dikali dengan berat volume tanah per lapisan. Luasan setiap pias didapatkan dengan bantuan program Autocad 2015.

Berikut ini adalah perhitungan keseluruhan untuk berat irisan 1-8 untuk lereng sebelum dibangun perkuatan.

$$W1 = \gamma \times A_1 = (18,6 \times 3,69) = 68,634 \text{ kN}$$

$$W2 = \gamma \times A_2 = (18,6 \times 8,23) + (18,6 \times 1,18) = 175,026 \text{ kN}$$

$$W3 = \gamma \times A_3 = (18,6 \times 7,87) + (18,6 \times 6,42) + (16,7 \times 1,04)$$

$$= 283,162 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} W_4 = \gamma \times A_4 &= (18,6 \times 5) + (18,6 \times 8) + (16,7 \times 7,5) + (16,7 \times 3,31) \\ &= 422,327 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_5 = \gamma \times A_5 &= (18,6 \times 0,61) + (18,6 \times 6,85) + (16,7 \times 8) + (16,7 \times \\ &7,05) + (18,6 \times 3,3) \\ &= 585,071 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_6 = \gamma \times A_6 &= (18,6 \times 0,76) + (16,7 \times 6) + (16,7 \times 8) + (16,7 \times 8) + \\ &(18,6 \times 8) + (18,6 \times 6,98) + (11,8 \times 0,73) \\ &= 668,778 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_7 = \gamma \times A_7 &= (16,7 \times 3,06) + (16,7 \times 6,86) + (18,6 \times 8) + (18,6 \times \\ &8) + (11,8 \times 4,98) \\ &= 522,028 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_8 = \gamma \times A_8 &= (18,6 \times 2,19) + (18,6 \times 4,76) + (11,8 \times 6,29) \\ &= 203,492 \text{ kN} \end{aligned}$$

2. Perhitungan $W_i \times \cos \alpha$

Diambil contoh perhitungan pada pias 1 sebagai berikut.

$$W_1 = 68,634 \times \cos(-11^\circ) = 67,373 \text{ kN}$$

3. Perhitungan $W_i \times \sin \alpha$

Diambil contoh perhitungan pada pias 1 sebagai berikut.

$$W_1 = 68,634 \times \sin(-11^\circ) = -13,096 \text{ kN}$$

4. Perhitungan tekanan air pori (u_i)

Diambil contoh perhitungan pada pias 1 sebagai berikut.

$$u_1 = 0,95 \times 9,81 = 9,320 \text{ kN/m}^2$$

5. Perhitungan gaya akibat tekanan air pori (U_i)

Panjang lengkung irisan pada pias 1 adalah 4,08 m yang didapat dengan bantuan software Autocad 2015. Diambil contoh perhitungan pada pias 1 sebagai berikut.

$$U_1 = 9,320 \times 4,08 = 93,391 \text{ kN}$$

6. Perhitungan tahanan terhadap longsoran akibat kohesi ($c_i a_i$)

Tahanan terhadap longsoran adalah jumlah semua panjang busur setiap lapis tanah dengan kohesi yang berbeda-beda. Perhitungan tahanan terhadap longsoran akibat kohesi adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} c_i a_i &= (18,6 \times 18,1) + (18,6 \times 4,32) + (16,7 \times 3,42) + (16,7 \times \\ &2,96) + (16,7 \times 2,67) + (18,6 \times 2,47) + (18,6 \times 2,33) + \\ &(11,8 \times 2,33) \\ &= 683,741 \text{ kN} \end{aligned}$$

Hasil dari analisis manual menggunakan metode Fellenius secara lebih lengkap dapat dilihat pada Tabel 5.1 berikut ini.

Tabel 5.1 Analisis Manual Menggunakan Metode Fellenius

Pias	Berat, W	Lebar pias	Θ	$W_i \cos \Theta_i$	$W_i \sin \Theta_i$	Tekanan air pori, ui = kedalaman pias x γ air	panjang lengkung lingkaran irisan ke-I, ai	gaya akibat tekanan air pori, Ui = uiai	$W_i \cos \Theta$ - uiai
	(kN)	m		(kN)	(kN)	(kN/m ²)	(m)	(kN)	(kN)
1	68,634	4	-11	67,373	-13,096	9,320	4,08	38,024	29,349
2	175,026	4	-3	174,786	-9,160	23,348	4	93,391	81,395
3	283,162	4	6	281,611	29,598	37,769	4,02	151,829	129,781
4	422,327	4	14	409,782	102,170	58,173	4,13	240,256	169,526
5	585,071	4	23	538,561	228,605	83,483	4,36	363,986	174,574
6	668,778	4	33	560,884	364,243	97,610	4,79	467,550	93,335
7	522,028	4	44	375,516	362,631	76,518	5,6	428,501	-52,985
8	203,492	4	58	107,834	172,571	33,845	7,51	254,172	-146,338
JUMLAH					1237,563				478,638

Angka faktor keamanan dari keseleruhan perhitungan manual pada tabel diatas adalah:

$$SF = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} ca_1 + (W_i \cos\theta_i - u_i a_i) \text{tg } \varphi}{\sum_{i=1}^{i=n} W_i \sin\theta_i}$$

$$SF = \frac{683,741 + (478,638) \text{tg}(29,312)}{1237,563}$$

$$SF = 1,20787 < 1,5$$

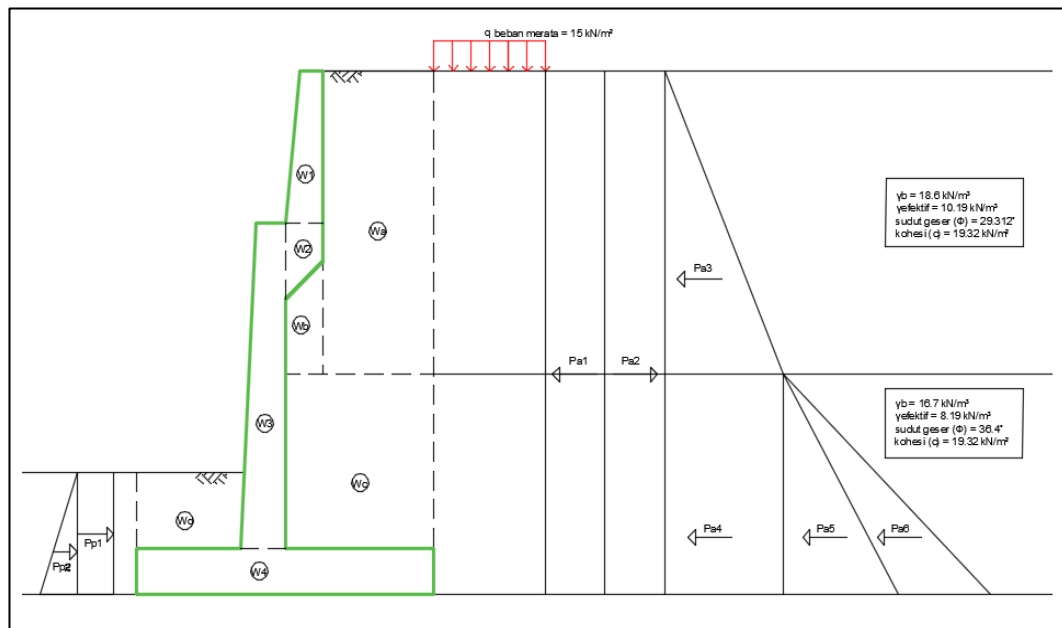
Angka faktor keamanan yang didapatkan melalui analisis manual menggunakan metode Fellenius didapatkan sebesar 1,20787 pada lereng asli dengan kondisi normal sebelum direncanakan perkuatan. Hal ini menandakan lereng tersebut dalam keadaan kritis dan pernah terjadi longsor.

5.3 Analisis Stabilitas Eksternal Dinding Penahan Tanah

Analisis stabilitas eksternal dinding penahan tanah merupakan analisis stabilitas antara dinding penahan dengan tanah dasar. Stabilitas eksternal sebuah dinding penahan tanah meliputi stabilitas terhadap guling, geser dan kapasitas daya dukung tanah. Analisis dengan perhitungan manual dilakukan dengan memperhitungkan kondisi tanah normal dan kondisi ekstrem. Selanjutnya, dilakukan perhitungan manual untuk mengetahui dinding penahan tanah telah memenuhi syarat keamanan terhadap geser, guling dan kapasitas dukung tanah sebagai berikut.

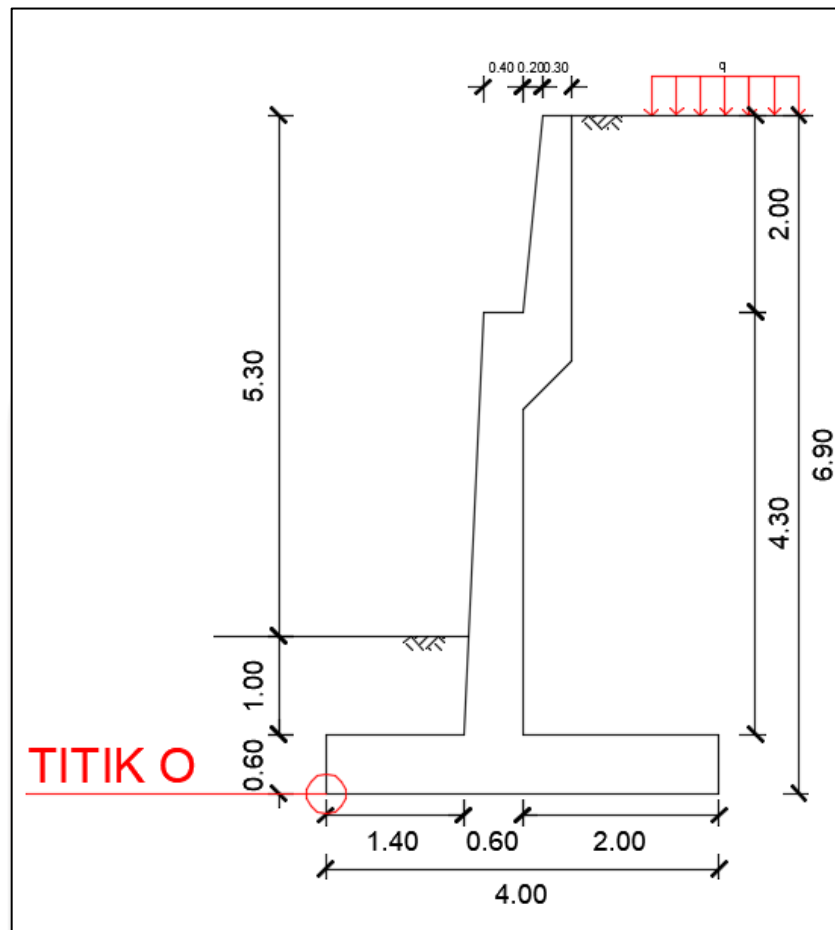
5.3.1 Perhitungan Manual Dinding Penahan Tanah Berjenjang

Distribusi tekanan aktif dan pasif yang terjadi pada tanah dinding penahan tanah kantilever berjenjang digambarkan dalam diagram pada Gambar 5.10 berikut ini.



Gambar 5.10 Diagram Distribusi Tekanan Tanah Lateral Dinding Penahan Tanah Berjenjang

Penentuan Dimensi dinding penahan tanah mengacu kepada desain minimum dinding penahan tanah kantilever dan *Trial Error* secara manual. Dimensi dinding penahan tanah bagian atas yang ditentukan dapat dilihat pada Gambar 5.11 berikut ini.



Gambar 5.11 Dimensi Dinding Penahan Tanah Berjenjang

1. Data parameter tanah dan beban

Terdapat dua data parameter tanah yang terdiri atas data parameter tanah lapis 1 dan tanah lapis 2. kedua lapisan tanah ini merupakan lapisan tanah lempung berpasir yang memiliki perbedaan berat volume tanah dan sudut geser dalam. Data parameter tanah dan beban pada lokasi penelitian dapat dilihat pada Tabel 5.2 berikut ini.

Tabel 5.2 Data Parameter Tanah Dinding Penahan Tanah Berjenjang

No.	Parameter	Nilai	Satuan
1.	Tanah Lapis 1		
	Berat volume tanah basah (g)	20	kN/m ³
	Berat volume tanah jenuh (gsat)	20,172	kN/m ³
	Berat volume tanah kering (gd)	15,159	kN/m ³
	Sudut geser (Φ)	29,312	°
	Kohesi (c)	19,32	kN/m ²
	Kadar air (w)	22,7	%
	Gs	2,69	
	Angka pori (e)	0,6	
2.	Tanah Lapis 2		
	Berat volume tanah basah (g)	16,7	kN/m ³
	Berat volume tanah jenuh (gsat)	19,528	kN/m ³
	Berat volume tanah kering (gd)	13,191	kN/m ³
	Sudut geser (Φ)	36,4	°
	Kohesi (c)	19,32	kN/m ²
	Kadar air (w)	26,6	%
	Gs	2,585	
	Angka pori (e)	0,6	
3.	Berat jenis beton bertulang (gc)	24	kN/m
4.	Beban merata (q)	10	kN/m ²

2. Gaya vertikal dan momen yang bekerja

Gaya vertikal merupakan gaya akibat berat dinding penahan tanah dan akibat tanah yang berada di belakang dinding penahan tanah. Perhitungan gaya vertikal merupakan pengalihan antara volume dengan berat volume, dalam hal ini yang diperhitungkan adalah gaya vertikal akibat tanah dan akibat berat

dinding penahan tanah. Perhitungan dilakukan berdasarkan pias-pias yang telah ditentukan untuk mempermudah perhitungan. Berikut ini merupakan contoh perhitungan gaya vertikal yang bekerja pada dinding penahan tanah.

$$\begin{aligned}
 \text{Volume} &= \text{Luas} \times 1 \text{ m} \\
 &= ((0,3+0,5)/2) \times 2 \times 1 \\
 &= 0,75 \text{ m}^3 \\
 \text{Gaya Vertikal} &= \text{Volume} \times \gamma_c \\
 &= 0,75 \times 24 \\
 &= 18 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Perhitungan lebih lengkap pada gaya vertikal dan momen yang bekerja dapat dilihat pada Tabel 5.3 berikut ini.

Tabel 5.3 Rekapitulasi Perhitungan Gaya dan Momen Vertikal

Bagian	Vol	γ	Berat =	Jarak pusat	Momen
	(m^3)		Luas x γ	berat terhadap titik O	
	(m^3)	(kN/m^3)	(kN)	(m)	(kNm)
W1	0.75	24	18	2.35	42.3
W2	0.32	24	7.68	2.25	17.28
W3	2.08	24	49.92	1.8	89.856
W4	2.4	24	57.6	2	115.2
Wa	6	18.6	111.6	3.25	362.7
Wb	0.6	18.6	11.16	2.25	25.11
Wc	4.6	16.7	76.82	3	230.46
Wd	1.4	16.7	23.38	0.7	16.366
		$\Sigma V =$	356.16	$\Sigma MR =$	899.272

3. Koefisien tekanan tanah

Koefisien tekanan tanah aktif

$$K_a = \tan^2(45^\circ - (\Phi/2))$$

$$= \tan^2(45^\circ - (29,312^\circ/2))$$

$$= 0,3427$$

Koefisien tekanan tanah pasif

$$K_p = \tan^2(45^\circ + (\Phi/2))$$

$$= \tan^2(45^\circ + (29,312^\circ/2))$$

$$= 2,9182$$

4. Menghitung tekanan tanah lateral

Tekanan Tanah Aktif

Perhitungan tekanan lateral tanah aktif pada dinding penahan tanah dapat dilihat pada Tabel 5.4 berikut ini.

Tabel 5.4 Tekanan Tanah Aktif

Diagram	Rumus	Gaya (kN)	Keterangan
Pa1	HqK_a	73.84962841	akibat beban merata dan tanah yang mempengaruhi
Pa2	$- 2cH\sqrt{K_a}$	- 156.0725953	akibat kohesi aktif
Pa3	$0,5 \times \gamma_{b1} \times h_1^2 \times K_a$	50.9898599	akibat tekanan tanah lapis 1
Pa4	$\gamma_1 \times h_1 \times h_2 \times K_a$	76.48478985	akibat berat tanah lapis 1 yang mempengaruhi lapis 2
Pa5	$0,5 \times \gamma_2 \times h_2^2 \times K_a$	30.11285013	akibat tekanan tanah lapis 2
Pa6	$0,5 \times \gamma_{beton} \times h_3$	36	akibat berat dpt atas
Total Pa =		111.364533	

Tekanan Tanah Pasif

Perhitungan tekanan lateral tanah pasif pada dinding penahan tanah dapat dilihat pada Tabel 5.5 berikut ini.

Tabel 5.5 Tekanan Tanah Pasif

Diagram	Rumus	Gaya (kN)	Keterangan
Pp1	$0,5 \times \gamma^2 \times D^2 \times Kp$	83.77398998	akibat beban merata dan tanah yang mempengaruhi
Pp2	$2 \times c \times D \times \sqrt{Kp}$	122.3907173	akibat kohesi aktif
Total Pp =		206.1647073	

5. Stabilitas terhadap guling

$$\begin{aligned}
 Ph &= Pa \text{ (karena tidak ada kemiringan pada tanah di puncak DPT)} \\
 &= 111,3645 \text{ kN/m} \\
 Mo &= Ph \times H/3 \\
 &= 111,3645 \times 4/3 \\
 &= 256,1384 \text{ kN/m} \\
 \text{SF Guling} &= \frac{\sum MR}{\sum Mo} \\
 &= \frac{899,272}{256,1384} \\
 &= 3,5109 > 2 \text{ (AMAN)}
 \end{aligned}$$

6. Stabilitas terhadap geser

$$\begin{aligned}
 \text{SF Geser} &= \frac{(\sum V) \times \text{Tg}(2/3 \times \phi) + (B \times 2/3 \times c) + Pp}{Pa} \\
 &= \frac{(356.16) \times \text{Tg}\left(\frac{2}{3} \times 29,312\right) + \left(2 \times \frac{2}{3} \times 19,32\right) + 206.164}{111.3654} \\
 &= 3,3074 > 2 \text{ (AMAN)}
 \end{aligned}$$

7. Stabilitas terhadap kapasitas dukung tanah

Eksentrisitas (e)

$$\begin{aligned}
 e &= B/2 - \frac{\sum MR - M_o}{\sum V} < B/6 \\
 &= 4/2 - \frac{899,272 - 258,4586}{356,16} < 4/6 \\
 &= 0,1942 < 0,3333 \text{ (OK)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 q_{\max} = q_{\text{kaki}} &= \frac{\sum V}{B} \times (1 + (6e/B)) \\
 &= \frac{356,16}{4} \times (1 + (6e/2)) \\
 &= 115,8550 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 q_{\min} = q_{\text{tumpit}} &= \frac{\sum V}{B} \times (1 - (6e/B)) \\
 &= \frac{356,16}{4} \times (1 - (6e/2)) \\
 &= 62,2250 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 q_{\text{ultimit}} (q_u) &= (c \times N_c \times F_{cd} + q \times N_q \times F_{qd} \times F_{qi} + 0,5 \times \gamma \times \\
 &\quad B' \times N_\gamma \times F_{\gamma d} \times F_{\gamma i})
 \end{aligned}$$

Berdasarkan tabel nilai faktor kapasitas dukung tanah Terzaghi (1943), dengan sudut geser (Φ) sebesar $29,312^\circ$ maka diperoleh nilai-nilai sebagai berikut.

$$N_c = 26,765$$

$$N_q = 14,048$$

$$N_\gamma = 11,076$$

$$\begin{aligned}
 q &= \gamma_2 \times D \\
 &= 16,7 \times 1,6 \\
 &= 26,72 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 B' &= B - 2e \\
 &= 4 - 2e \\
 &= 3,5985 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$F_{qd} = 1 + (2Tg\Phi \times (1 - \text{Sin}\Phi)^2) \times D/B'$$

$$\begin{aligned}
&= 1 + (2Tg(29,312)) \times (1 - \text{Sin}(29,312))^2 \times 0,3,5985 \\
&= 1,1084 \\
F_{cd} &= F_{qd} - \left(\frac{1 - F_{qd}}{N_c \times \text{Tan}\Phi} \right) \\
&= 1 - \left(\frac{1 - 1}{50,59 \times \text{Tan}(29,312)} \right) \\
&= 1,1113 \\
F_{\gamma d} &= 1 \\
\psi^\circ &= \text{tg}^{-1} \times \left(\frac{Pa}{\Sigma V} \right) \\
&= \text{tg}^{-1} \times \left(\frac{112,3733}{356,16} \right) \\
&= 0,305627939 \\
&= 17,5112^\circ \\
F_{ci} = F_{qi} &= (1 - \psi^\circ/90^\circ)^2 \\
&= (1 - 17,5112^\circ/90^\circ)^2 \\
&= 0,6487 \\
F_{\gamma i} &= (1 - \psi^\circ/\Phi^\circ)^2 \\
&= (1 - 17,5112^\circ/29,312^\circ)^2 \\
&= 0,2693 \\
q \text{ ultimit (qu)} &= (c \times N_c \times F_{cd} + q \times N_q \times F_{qd} \times F_{qi} + 0,5 \times \gamma_2 \times \\
&\quad B' \times N_\gamma \times F_{\gamma d} \times F_{\gamma i}) \\
&= (19,32 \times 50,59 \times 1,1113 + 26,72 \times 37,75 \times 1,1084 \times 0,6487 + \\
&\quad 0,5 \times 16,7 \times 3,5985 \times 40,05 \times 1 \times 0,2693) \\
&= 1485,7631 \text{ kN/m}^2 \\
SF \text{ daya} &= q_u/q_{maks} \\
\text{dukung} &= 1485,7631/115,85507 \\
&= 12,9753 > 3 \text{ (OK)}
\end{aligned}$$

5.3.2 Rekapitulasi Keseluruhan Perhitungan Stabilitas Eksternal DPT

Rekapitulasi keseluruhan perhitungan stabilitas eksternal dinding penahan tanah tipe kantilever bertingkat terhadap stabilitas guling, stabilitas geser dan kapasitas daya dukung tanah dapat dilihat pada Tabel 5.6 berikut ini.

Tabel 5.6 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Stabilitas Eksternal DPT

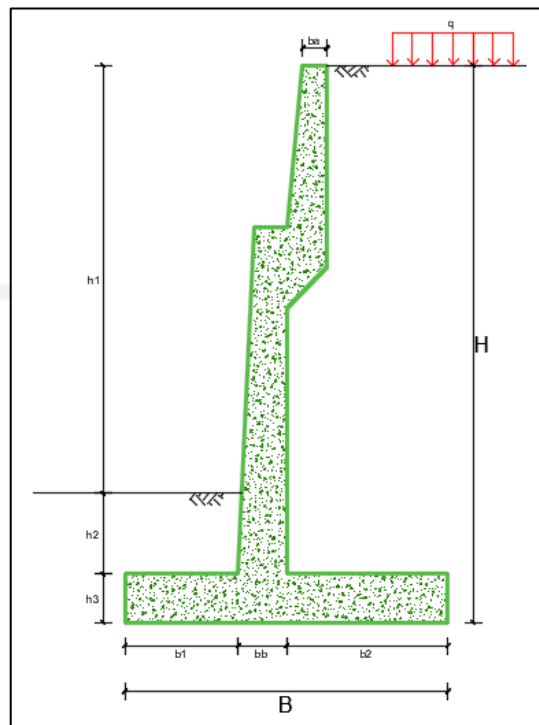
Stabilitas Guling	Stabilitas Geser	Eksentrisitas (e)	Kapasitas Daya Dukung Tanah	Cek
3,5109 > 2	3,3074 > 2	0,1942 < B/6	12,9753 > 3	OK

5.4 Perhitungan Kebutuhan Tulangan Dinding Penahan Tanah

Penulangan dinding penahan tanah kantilever meliputi tulangan bagian tumit, tulangan bagian telapak dan tulangan bagian badan dinding penahan tanah. Perhitungan manual terhadap kebutuhan tulangan dinding penahan tanah adalah sebagai berikut ini.

5.4.1 Kebutuhan Tulangan Dinding Penahan Tanah Tingkat Atas

Dinding penahan tanah tingkat atas yang direncanakan menggunakan dimensi dan spesifikasi mutu yang telah ditentukan. Kodefikasi dimensi dinding penahan tanah yang akan digunakan dalam perhitungan dapat dilihat pada Gambar 5.12 berikut ini.



Gambar 5.12 Kodefikasi Dimensi Dinding Penahan Tanah Kantilever Atas

Dimensi dinding penahan tanah tingkat atas dan spesifikasi mutu adalah sebagai berikut.

H	=	6,9	m
h1	=	5,3	m
h2	=	1	m
h3	=	0,6	m
ba	=	0,3	m
b1	=	1,4	m
b2	=	2	m
bb	=	0,6	m
B	=	4	m
q	=	10	kN/m ²
Mutu Baja (fy)	=	420	Mpa
Mutu Beton (f'c)	=	25	Mpa

1. Perhitungan kebutuhan tulangan utama dinding vertikal

$$\text{Diameter baja } (\phi) = 22 \text{ mm}$$

$$\text{Tebal dinding (Bb)} = 600 \text{ mm}$$

$$= 0,6 \text{ m}$$

$$\text{Selimut beton (Ts)} = 75 \text{ mm}$$

$$\text{Tebal efektif (d)} = 600 - 75 (1/2\phi)$$

$$= 514 \text{ mm}$$

$$= 0,514 \text{ m}$$

$$\text{Lebar ditinjau (b)} = 1000 \text{ mm}$$

$$= 1 \text{ m}$$

Momen Ultimit (M_u)

$$M_u = \left(\frac{Pah \times (H-d)}{3} \right)$$

$$= 235,9839348 \text{ kNm}$$

$$= 235983934,8 \text{ Nmm}$$

$$\phi = 0,8$$

$$M_n = M_u / \phi$$

$$= (235,9839348 / 0,8)$$

$$= 294,9799185$$

$$= M_n / 100 \times 10^8$$

$$= 294979918,5 \text{ Mpa}$$

Tulangan yang diperlukan (A_s)

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d^2}$$

$$= \frac{294979918,5}{1000 \times 514^2}$$

$$= 1,116519245 \text{ Mpa}$$

$$\begin{aligned}
 m &= \frac{f_y}{0,85 \times F'_c} \\
 &= \frac{420}{0,85 \times 25} \\
 &= 19,7647 \\
 \rho_b &= \frac{0,85 \times \beta \times f'_c}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} \\
 &= \frac{0,85 \times 0,85 \times 25}{420} \times \frac{600}{600 + 420} \\
 &= 0,0253 \\
 \rho_{\max} &= 0,75 \times \rho_b \\
 &= 0,75 \times 0,253 \\
 &= 0,0189 \\
 \rho_{\min} &= \frac{1,4}{f_y} \\
 &= \frac{1,4}{420} \\
 &= 0,0033 \\
 \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\
 &= \frac{1}{19,7647} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 19,7647 \times 1,1165}{420}} \right) \\
 &= 0,0027
 \end{aligned}$$

Cek Kondisi

$$\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max}$$

Maka ρ pakai adalah 0,0033.

Luas tulangan lentur yang dibutuhkan untuk setiap meter panjang

$$\begin{aligned}
 n &= b/s + 1 \\
 &= 1000/300 + 1 \\
 &= 5 \text{ buah tulangan}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{As perlu} &= \rho \text{ pakai} \times b \times d \\
 &= 0,0033 \times 1000 \times 514 \\
 &= 1713,3333 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Tulangan yang digunakan adalah D22-300 dengan jumlah tulangan per meter panjang sebanyak 5 buah tulangan sehingga,

$$\begin{aligned}
 \text{As terpasang} &= \frac{1}{4} \times \pi \times \phi^2 \times n \\
 &= \frac{1}{4} \times \pi \times 22^2 \times 5 \\
 &= 1901,4286 \text{ mm}^2 > \text{As perlu} = 1713,3333 \text{ mm}^2, \text{ maka} \\
 &\quad \text{tulangan terpasang cukup.}
 \end{aligned}$$

2. Perhitungan tulangan horizontal atau tulangan bagi dinding vertikal

Tulangan horizontal pada dasar dinding disesuaikan dengan SNI 2847-2013 pasal 14.3.3 adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{As min} &= 0,002 \times b \times Bb \\
 &= 0,002 \times 1000 \times 600 \\
 &= 1200 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Sesuai dengan SNI 2847-2013 pasal 14.3.4, maka luas tulangan dibagi merata menjadi dua sisi.

$$\begin{aligned}
 \text{As} &= 0,05 \times \text{As min} \\
 &= 0,05 \times 1200 \\
 &= 600 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Tulangan yang digunakan adalah P13-300 dengan jumlah tulangan susut per meter panjang sebanyak 5 buah tulangan sehingga,

$$\begin{aligned}
 n &= b/s + 1 \\
 &= 1000/300 + 1 \\
 &= 5 \text{ buah tulangan} \\
 \text{As terpasang} &= \frac{1}{4} \times \pi \times \phi^2 \times n \\
 &= \frac{1}{4} \times \pi \times 13^2 \times 5
 \end{aligned}$$

= $664 \text{ mm}^2 > A_s \text{ perlu} = 600 \text{ mm}^2$, maka tulangan terpasang cukup.

3. Desain terhadap geser

Digunakan diameter tulangan 13 mm.

$$\begin{aligned}
 A_v &= 2 \times \frac{1}{4} \times \pi \times r^2 \\
 &= 2 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 13^2 \\
 &= 265,5714 \text{ mm} \\
 &= 2,66 \text{ m} \\
 d &= t - \text{selimut beton} - 0,5 \times \phi \\
 &= 518,5 \text{ mm} \\
 d_g &= (\text{tinggi total} - \text{tinggi telapak}) - (d/1000) \\
 &= 5,7815 \text{ mm} \\
 V_u &= 83,9975 \text{ kN, jumlah Pah dengan h menggunakan } d_g \\
 V_c &= (1/6 \times \sqrt{f_c'}) \times b \times d \\
 &= 432,0833 \text{ kN} \\
 \Phi V &= \Phi \times V_c \\
 &= 0,75 \times 432,0833 \\
 &= 324,0625 \text{ kN} > V_u, \text{ maka aman terhadap geser.}
 \end{aligned}$$

Karena $\Phi V = V_c > V_u$, maka dinding vertikal memakai tulangan geser minimum

$$\begin{aligned}
 S_{min} &= \frac{3 \times A_v \times F_y}{b_w} \\
 &= 557,7 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Maka, tulangan geser yang digunakan adalah D13-300

4. Desain tulangan bagian *heel* atau tumit

Diambil tebal pelat kaki (t) = 600 mm

Digunakan selimut beton = 75 mm

Digunakan diameter tulangan = 22 mm

$$\begin{aligned}
 q_{\max} = q_{\text{kaki}} &= \frac{\sum V}{B} \times (1 + (6e/B)) < q_{\text{ult}} \\
 &= 115,8550 \text{ kN/m}^2 < 1486 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 q_{\min} = q_{\text{tumpit}} &= \frac{\sum V}{B} \times (1 - (6e/B)) > 0 \\
 &= 62,2250 \text{ kN/m}^2 > 0
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 q &= q_{\min} + \frac{q_{\max} - q_{\min}}{B} \\
 &= 75,6325 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_u &= 1/8 \times q \times B^2 \\
 &= 1/8 \times 75,6325 \times 4^2 \\
 &= 151,2650268 \text{ kNm} \\
 &= 151265026,8 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Tulangan yang diperlukan (A_s)

$$\begin{aligned}
 \phi &= 0,8 \\
 M_n &= M_u / \phi \\
 &= (151,2650268 / 0,8) \\
 &= 189,0812835 \\
 &= M_n / 100 \times 10^8 \\
 &= 189081283,5 \text{ Mpa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_n &= \frac{M_n}{b \times d^2} \\
 &= \frac{189081283,5}{1000 \times 514^2} \\
 &= 0,715685641 \text{ Mpa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 m &= \frac{f_y}{0,85 \times F'_c} \\
 &= \frac{420}{0,85 \times 25} \\
 &= 189,7647
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_b &= \frac{0,85 \times \beta \times f_c'}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} \\
 &= \frac{0,85 \times 0,85 \times 25}{420} \times \frac{600}{600 + 420} \\
 &= 0,0253 \\
 \rho_{\max} &= 0,75 \times \rho_b \\
 &= 0,75 \times 0,0253 \\
 &= 0,0189 \\
 \rho_{\min} &= \frac{1,4}{f_y} \\
 &= \frac{1,4}{420} \\
 &= 0,0033 \\
 \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\
 &= \frac{1}{19,7647} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 19,7647 \times 1,1165}{420}} \right) \\
 &= 0,0017
 \end{aligned}$$

Cek Kondisi

$$\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max}$$

Maka ρ pakai adalah 0,0033.

Luas tulangan lentur yang dibutuhkan untuk setiap meter panjang

$$\begin{aligned}
 \text{As perlu} &= \rho_{\text{pakai}} \times b \times d \\
 &= 0,0033 \times 1000 \times 514 \\
 &= 1713,3333 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Tulangan yang digunakan adalah D22-300 dengan jumlah tulangan per meter panjang sebanyak 5 buah tulangan sehingga,

$$\begin{aligned}
 n &= b/s + 1 \\
 &= 1000/300 + 1 \\
 &= 5 \text{ buah tulangan}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{As terpasang} &= \frac{1}{4} \times \pi \times \emptyset^2 \times n \\
 &= \frac{1}{4} \times \pi \times 22^2 \times 5 \\
 &= 1901,4286 \text{ mm}^2 > \text{As perlu} = 1713,3333 \text{ mm}^2, \text{ maka} \\
 &\quad \text{tulangan yang terpasang cukup}
 \end{aligned}$$

5. Perhitungan kebutuhan tulangan geser pada pelat kaki atau telapak

Digunakan diameter tulangan 13 mm

$$\begin{aligned}
 A_v &= 2 \times \frac{1}{4} \times \pi \times r^2 \\
 &= 2 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 13^2 \\
 &= 265,5714 \text{ mm} \\
 &= 2,66 \text{ m} \\
 d &= t - \text{selimut beton} - 0,5 \times \emptyset \\
 &= 518,5 \text{ mm} \\
 d_g &= (\text{tinggi total} - \text{tinggi telapak}) - (d/1000) \\
 &= 5,7815 \text{ mm} \\
 V_u &= 83,9975 \text{ kN, jumlah Pah dengan h menggunakan } d_g \\
 V_c &= (1/6 \times \sqrt{f_c'}) \times b \times d \\
 &= 432,0833 \text{ kN} \\
 \Phi V &= \Phi \times V_c \\
 &= 0,75 \times 432,0833 \\
 &= 324,0625 \text{ kN} > V_u, \text{ maka aman terhadap geser.}
 \end{aligned}$$

Karena $\Phi V = V_c > V_u$, maka dinding vertikal memakai tulangan geser minimum

$$\begin{aligned}
 S_{\min} &= \frac{3 \times A_v \times F_y}{b_w} \\
 &= 557,7 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Maka, tulangan geser yang digunakan adalah D13-300

6. Desain tulangan horizontal telapak

Tulangan horizontal telapak tidak perlu diperhitungkan, namun tetap direncanakan tulangan horizontal dan digunakan tulangan P13 – 300.

5.4.2 Rekapitulasi Kebutuhan Tulangan Dinding Penahan Tanah

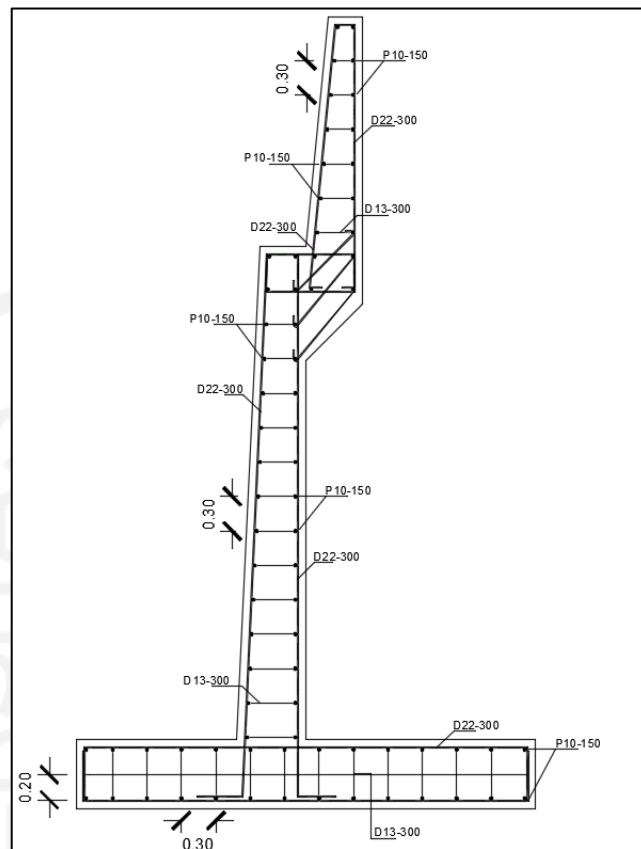
Rekapitulasi keseluruhan perhitungan kebutuhan tulangan dinding penahan tanah tipe kantilever bertingkat dapat dilihat pada Tabel 5.7 berikut ini.

Tabel 5.7 Rekapitulasi Kebutuhan Tulangan Dinding Penahan Tanah

Tulangan Pokok dinding vertikal	Tulangan horizontal/bagi dinding vertikal	Tulangan geser dinding vertikal	Tulangan Pokok telapak	Tulangan geser telapak	Tulangan horizontal/bagi telapak
D22-300	P13-300	D13-300	D22-300	D13-300	P13-300

5.4.3 Sketsa Penulangan Dinding Penahan Tanah

Berdasarkan keseluruhan perhitungan manual kebutuhan tulangan dinding penahan tanah yang telah dilakukan sebelumnya maka dapat didesain sketsa penulangan dinding penahan tanah yang dapat dilihat pada Gambar 5.13 berikut ini.



Gambar 5.13 Sketsa Penulangan Dinding Penahan Tanah Kantilever Berjenjang

5.5 Analisis Stabilitas Lereng Asli Tanpa Perkuatan Menggunakan Program PLAXIS 8.6

Analisis yang dilakukan pada lereng asli pada lokasi tinjauan sebelum diberi perkuatan bertujuan untuk mendapatkan nilai faktor keamanan dari lereng tersebut sehingga dapat diketahui apakah lereng memerlukan perkuatan atau tidak. Analisis dilakukan dengan bantuan program Plaxis 8.6 dengan membuat permodelan menggunakan data potongan melintang lereng pada lokasi tinjauan dan data parameter tanah yang didapatkan setelah melakukan investigasi tanah. Permodelan lereng meliputi geometri lereng, *input* parameter tanah, dan *input* beban lalu lintas dan perkerasan yang digambarkan sebagai beban merata sebesar 10 kN/m^2 .

Analisis stabilitas lereng asli pada lokasi tinjauan akan dilakukan dengan membuat 2 permodelan, yaitu permodelan kondisi normal dan permodelan kondisi ekstrem atau muka air tanah sangat rendah. Hal ini dilakukan agar didapatkan data dari kondisi ideal dan kondisi dengan kemungkinan terburuk yang dapat terjadi guna memaksimalkan perencanaan perkuatan dinding penahan tanah. Data parameter tanah setiap lapisan dapat dilihat pada Tabel 5.8 berikut ini.

Tabel 5.8 Data Parameter Tanah Setiap Lapisan

Lapisan	<i>Material Model</i>	<i>Material Type</i>	γ sat	γ unsat	E_{ref}	ν (nu)	c_{ref}	ϕ (phi)
1 = (0-2 m)	Mohr-Coulomb	<i>UnDrained</i>	13	11,8	3000	0,35	19,32	29,312
2 = (2-4 m)	Mohr-Coulomb	<i>UnDrained</i>	20	18,6	21000	0,35	19,32	29,312
3 = (4-6 m)	Mohr-Coulomb	<i>UnDrained</i>	20	18,6	21000	0,35	19,32	29,312
4 = (6-8 m)	Mohr-Coulomb	<i>UnDrained</i>	18	16,7	7000	0,35	19,32	36,400
5 = (8-10 m)	Mohr-Coulomb	<i>UnDrained</i>	18	16,7	9000	0,35	19,32	38,150
6 = (10-12 m)	Mohr-Coulomb	<i>UnDrained</i>	18	16,7	8000	0,35	19,32	36,800
7 = (12-14 m)	Mohr-Coulomb	<i>Drained</i>	20	18,6	13000	0,30	19,32	38,800
8 = (14 m)	Mohr-Coulomb	<i>Drained</i>	20	18,6	13000	0,30	19,32	42,000

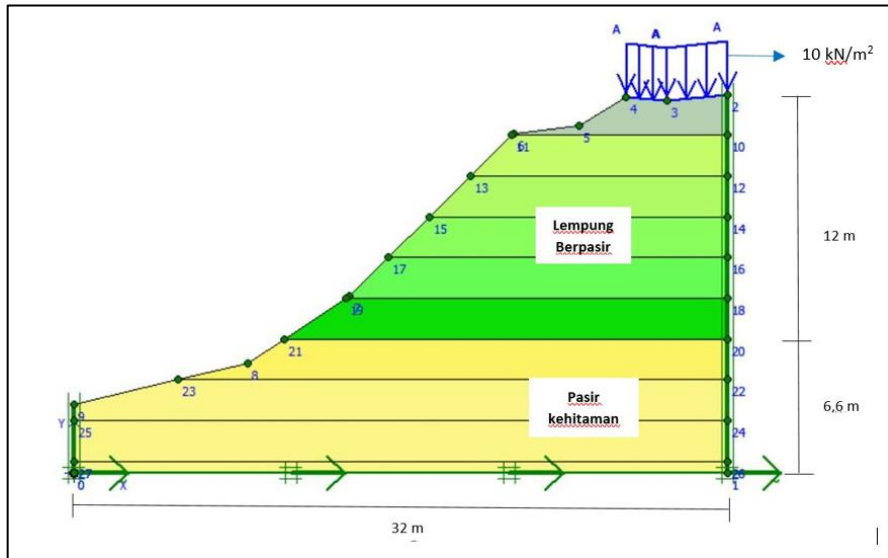
(sumber: PT. Intimulya Multikencana KSO Maxitech Utama Indonesia, 2020)

5.5.1 Analisis Stabilitas Lereng Tanpa Perkuatan Kondisi Normal

Analisis dengan menggunakan program Plaxis 8.6 terbagi menjadi 3 bagian, yaitu tahapan *Input* atau memasukan data-data yang diperlukan, selanjutnya adalah tahapan *Calculation* atau kalkulasi yang berarti Plaxis akan mulai mengolah data-data yang telah dimasukkan pada tahapan sebelumnya dan terakhir adalah tahapan *Output* dimana hasil akhir dari analisis telah dapat dicermati.

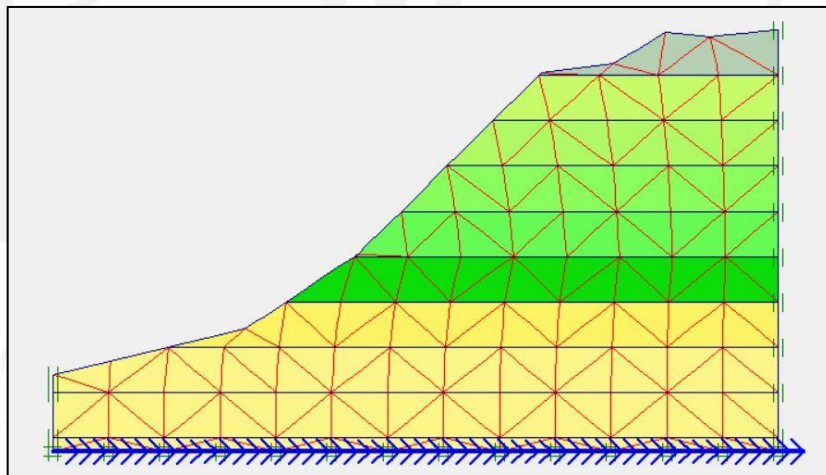
1. Tahapan *Input* pada analisis lereng asli tanpa perkuatan kondisi normal

Pada tahapan *input* hal pertama yang dilakukan adalah melakukan permodelan awal atau tahapan *input geometry* pada lereng asli tanpa perkuatan kondisi normal. Hasil penggambaran geometri dapat dilihat pada Gambar 5.14 berikut ini.



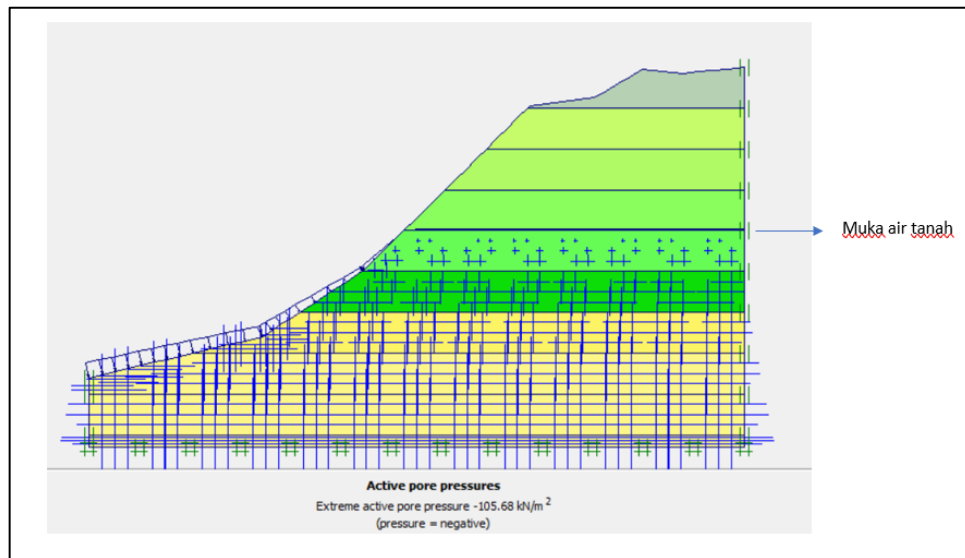
Gambar 5.14 Permodelan Lereng Tanpa Perkuatan Kondisi Normal

Selanjutnya adalah melakukan penggambaran *meshing* dengan tingkat ketelitian *meshing* yang digunakan adalah pada tingkat *medium*. Hasil penggambaran *general meshing* dapat dilihat pada Gambar 5.15 berikut ini.



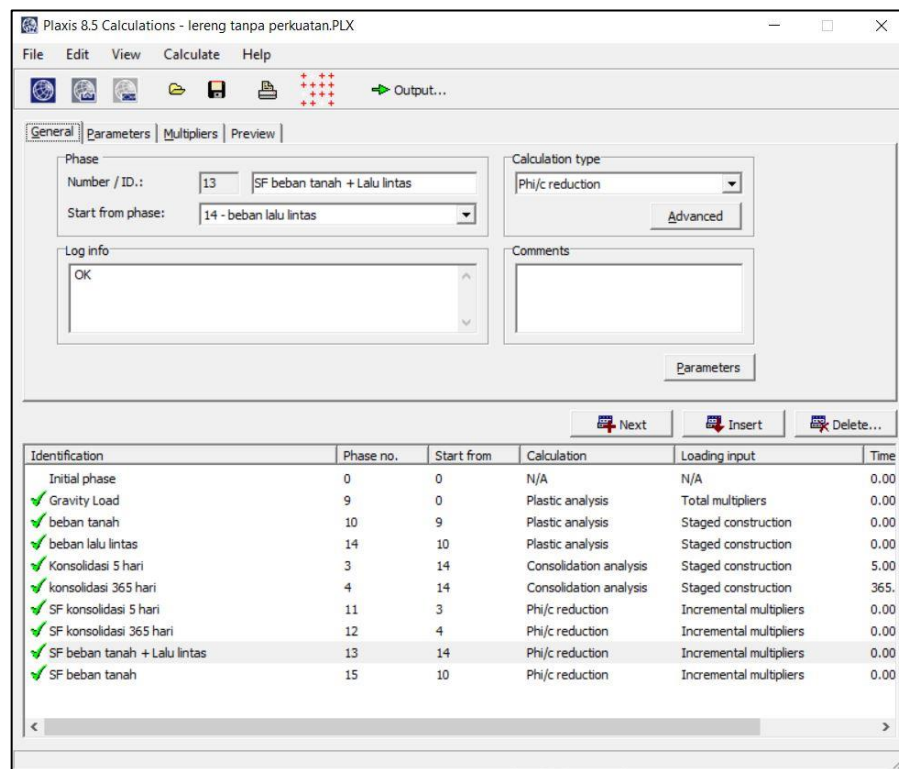
Gambar 5.15 *General Meshing* pada Lereng Tanpa Perkuatan Kondisi Normal

Selanjutnya adalah melakukan input tekanan air pori dengan sebelumnya menentukan tinggi muka air tanah yang berada sesuai dengan elevasi muka air normal pada sungai. Hasil dari *input initial stresses* atau tekanan air pori dapat dilihat pada Gambar 5.16 berikut ini.



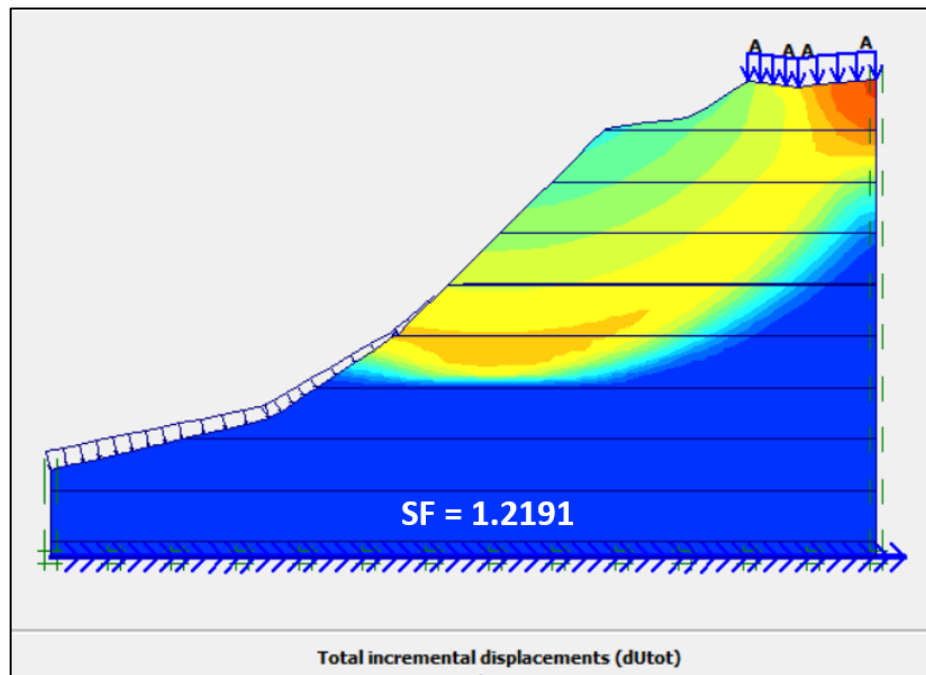
Gambar 5.16 Tekanan Air Pori pada Lereng Tanpa Perkuatan Kondisi Normal

2. Tahapan kalkulasi pada lereng asli tanpa perkuatan kondisi normal
Setelah semua data telah dimasukkan dan semua permodelan telah digambar pada tahapan *Input*, maka selanjutnya dilakukan tahap kalkulasi dengan merencanakan beberapa fase analisis. Fase pertama adalah *gravity load* atau beban gravitasi, kedua adalah beban akibat tanah, ketiga adalah beban perkerasan dan lalu lintas, keempat adalah konsolidasi dan terakhir adalah faktor keamanan. Hasil keseluruhan dari tahapan kalkulasi dapat dilihat pada Gambar berikut 5.17 berikut ini.



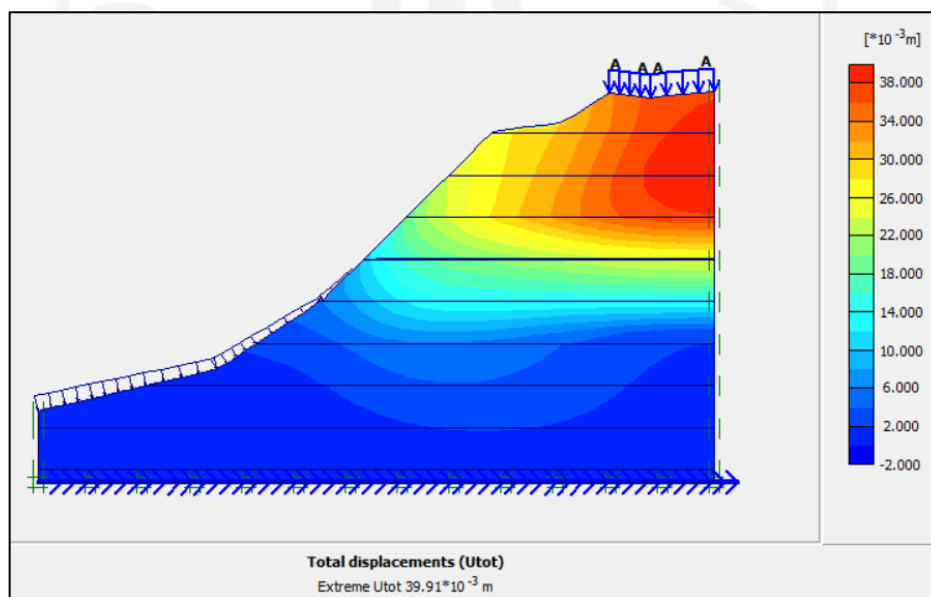
Gambar 5.17 Tahapan Kalkulasi pada Lereng Tanpa Perkuatan Kondisi Normal

3. Tahapan *Output* dan *Curves* pada lereng asli tanpa perkuatan kondisi normal
 Angka faktor keamanan yang didapatkan pada analisis lereng asli tanpa perkuatan kondisi normal adalah sebesar $1,2191 < 1,5$ hal ini menunjukkan bahwa lereng dalam kondisi kritis namun tidak langsung collapse. Hasil output faktor keamanan dan bidang longsor yang dikeluarkan melalui program Plaxis 8.6 dapat dilihat pada Gambar 5.18 berikut ini.



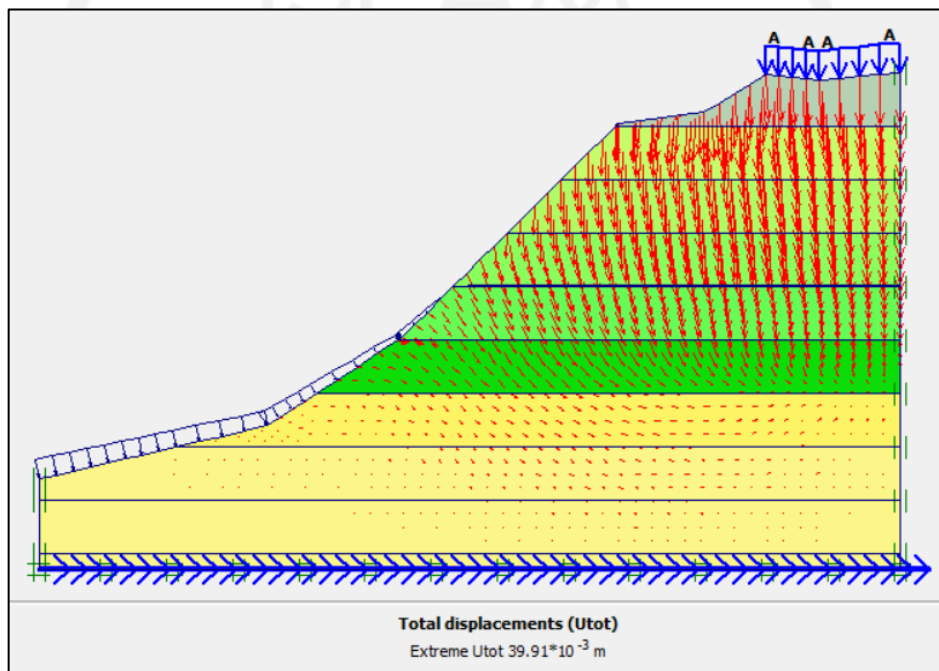
Gambar 5.18 Bidang Longsor pada Lereng Tanpa Perkuatan Kondisi Normal

Perpindahan total yang terjadi pada lereng tanpa perkuatan dengan kondisi normal dapat dilihat pada Gambar 5.19 berikut ini.



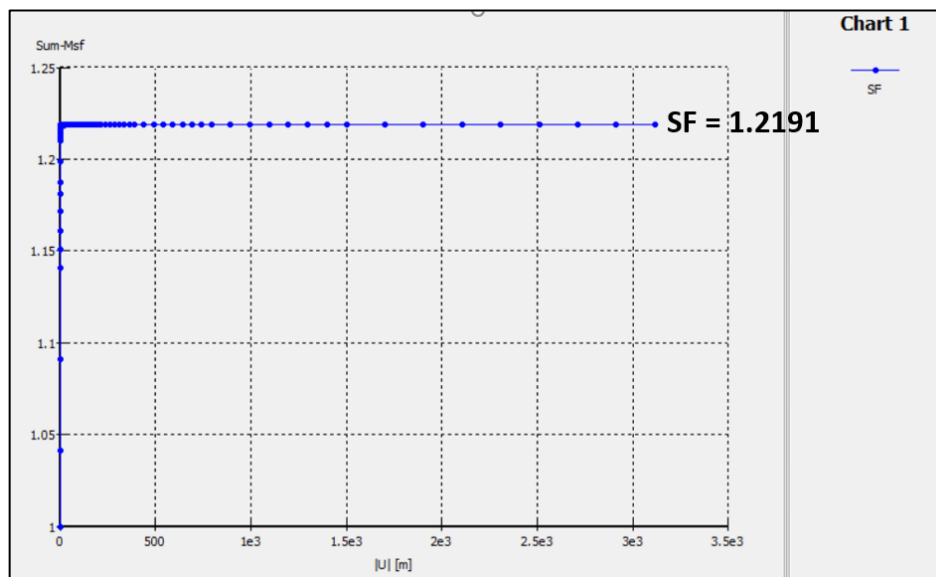
Gambar 5.19 Perpindahan Total pada Lereng Tanpa Perkuatan Kondisi Normal

Penurunan tanah yang terjadi akibat konsolidasi pada lereng tanpa perkuatan adalah sebesar 0,0399 m yang terjadi dalam waktu 1 tahun. Konsolidasi tanah yang terjadi dapat dilihat pada Gambar 5.20 berikut ini.



Gambar 5.20 Konsolidasi dan Arah Penurunan Tanah pada Lereng Tanpa Perkuatan Kondisi Normal

Didapatkan grafik antara faktor keamanan dan perpindahan yang terjadi melalui program *Plaxis Curves* setelah analisis *output* selesai dilakukan. Grafik antara faktor keamanan dan perpindahan yang terjadi pada lereng asli tanpa perkuatan dapat dilihat pada Gambar 5.21 berikut ini.



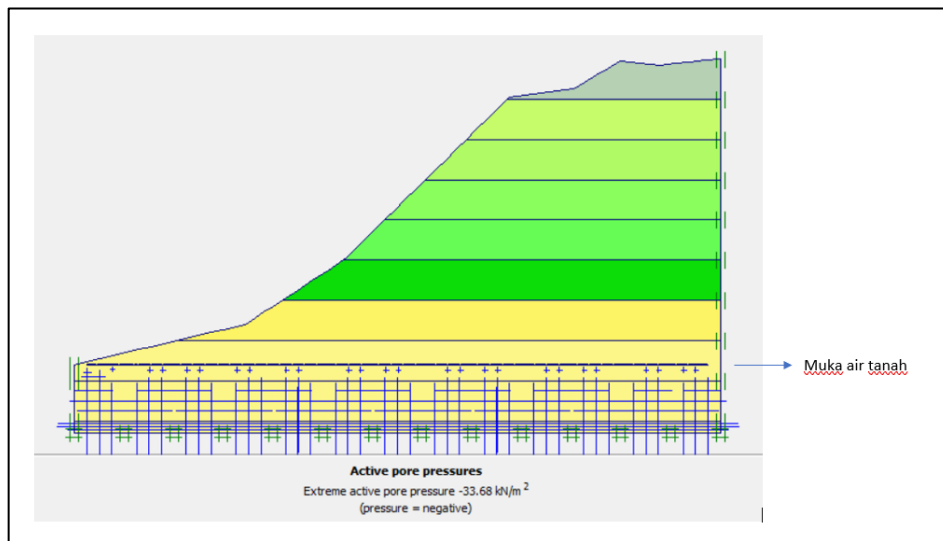
Gambar 5.21 Grafik SF vs Perpindahan Lereng Tanpa Perkuatan Kondisi Normal

5.5.2 Analisis Stabilitas Lereng Tanpa Perkuatan Kondisi Ekstrem atau Muka Air Tanah Rendah

Pada analisis lereng tanpa perkuatan juga dipertimbangkan kemungkinan lereng berada dalam kondisi paling ekstrem. Kondisi ekstrem yang dimaksud adalah ketika muka air tanah berada pada elevasi yang sangat rendah dan mengakibatkan tanah memiliki tekanan air pori yang sangat kecil atau juga dapat disebut kondisi ketika sungai kering. Secara umum, tahapan analisis yang dilakukan melalui program Plaxis 8.6 relatif serupa dengan tahapan analisis yang dilakukan pada lereng tanpa perkuatan dengan kondisi normal. Perbedaan yang dapat menjadi poin perhatian adalah pada tahapan input muka air tanah.

1. Tahapan *Input* pada analisis lereng asli tanpa perkuatan kondisi ekstrem

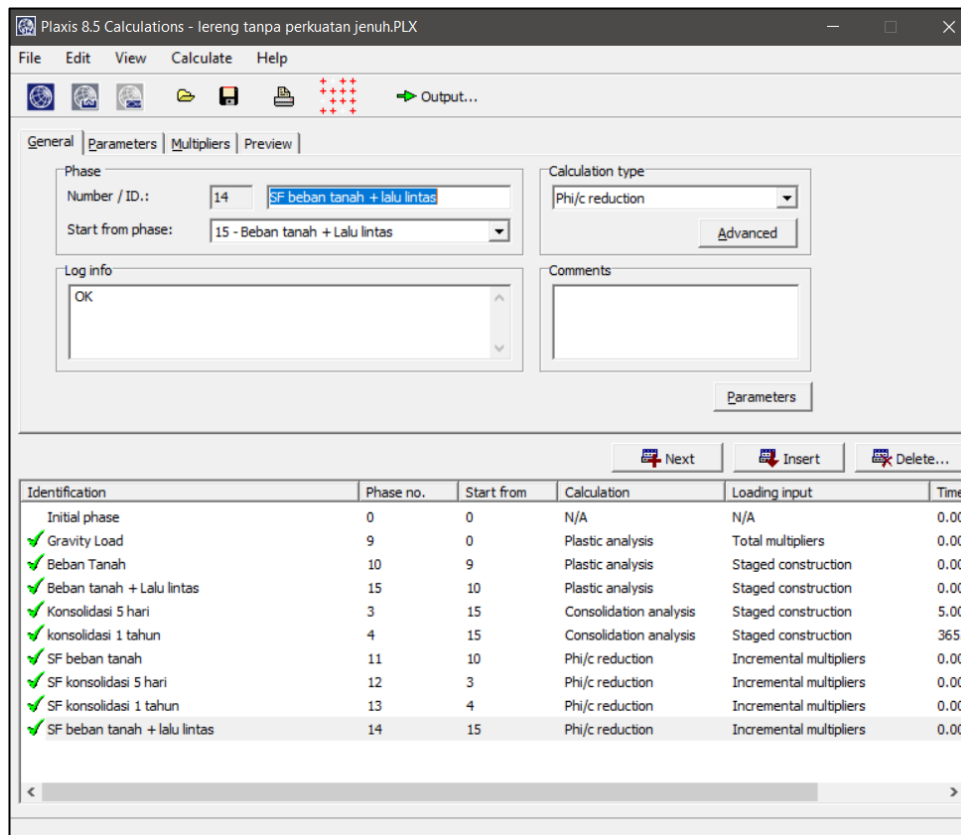
Permodelan tekanan air pori yang dilakukan pada lereng tanpa perkuatan kondisi ekstrem dapat dilihat pada Gambar 5.22 berikut ini.



Gambar 5.22 Tekanan Air Pori pada Lereng Tanpa Perkuatan Kondisi Ekstrem

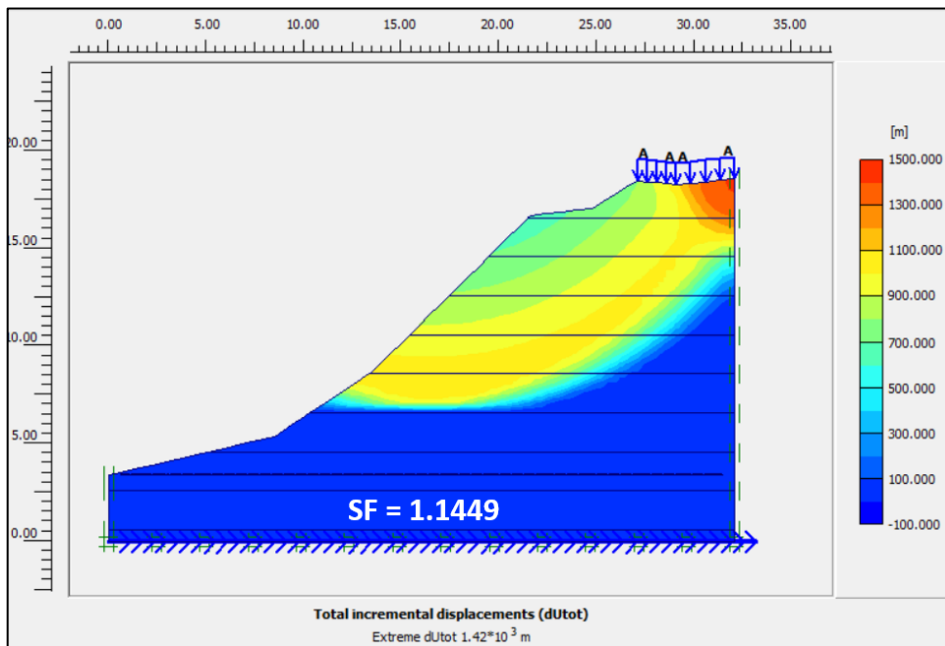
2. Tahapan kalkulasi pada lereng asli tanpa perkuatan kondisi Jenuh

Pada hasil kalkulasi dari analisis pada lereng tanpa perkuatan kondisi ekstrem juga didapatkan hasil lebih tidak stabil jika dibandingkan dengan lereng dengan kondisi normal, hal ini disebabkan oleh tanah yang tidak stabil akibat tekanan air pori yang sangat kecil. Hasil keseluruhan dari tahapan kalkulasi dapat dilihat pada Gambar berikut 5.23 berikut ini.



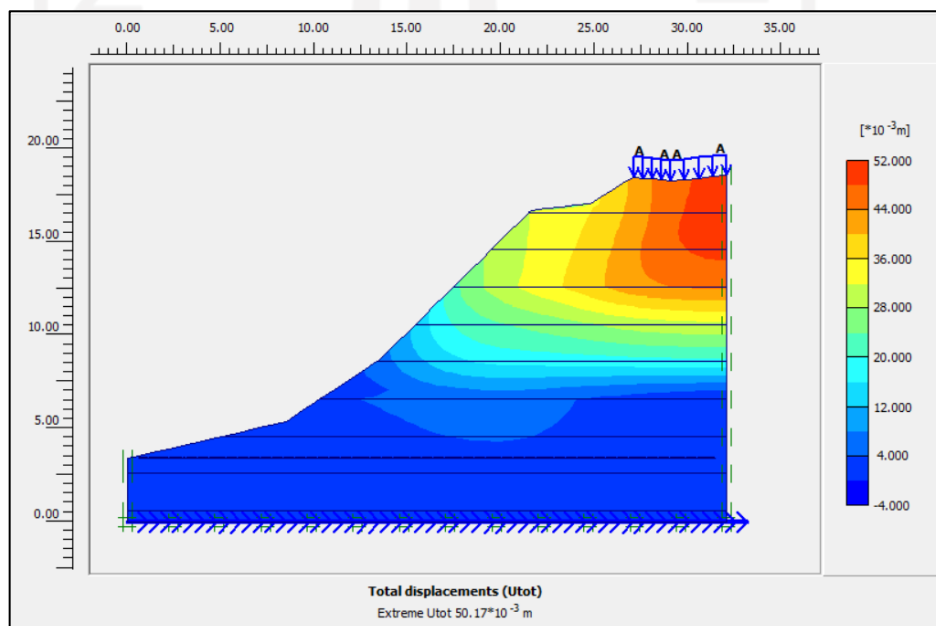
Gambar 5.23 Tahapan Kalkulasi pada Lereng Tanpa Perkuatan Kondisi Ekstrem

3. Tahapan *Output* dan *Curves* pada lereng asli tanpa perkuatan kondisi Ekstrem
 Angka faktor keamanan yang didapatkan pada analisis lereng asli tanpa perkuatan kondisi ekstrem adalah sebesar $1,1449 < 1,5$ hal ini menunjukkan bahwa lereng dalam kondisi kritis dan dibutuhkan adanya perkuatan tanah. Hasil output faktor keamanan dan bidang longsor yang dikeluarkan melalui program Plaxis 8.6 dapat dilihat pada Gambar 5.24 berikut ini.



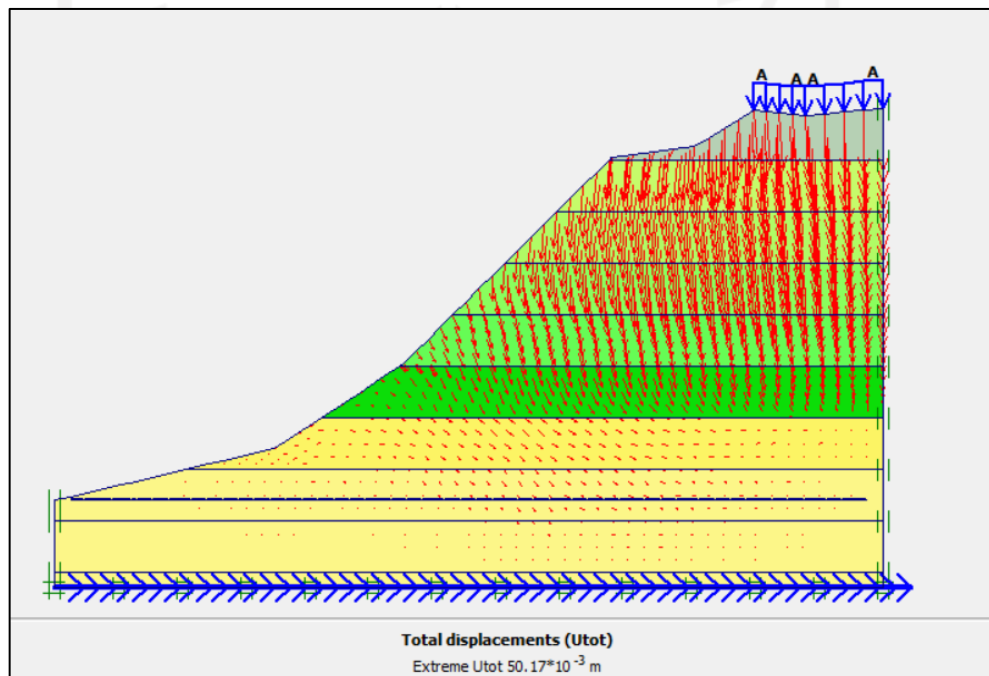
Gambar 5.24 Bidang Longsor pada Lereng Tanpa Perkuatan Kondisi Ekstrem

Perpindahan total yang terjadi pada lereng tanpa perkuatan dengan kondisi normal dapat dilihat pada Gambar 5.25 berikut ini.



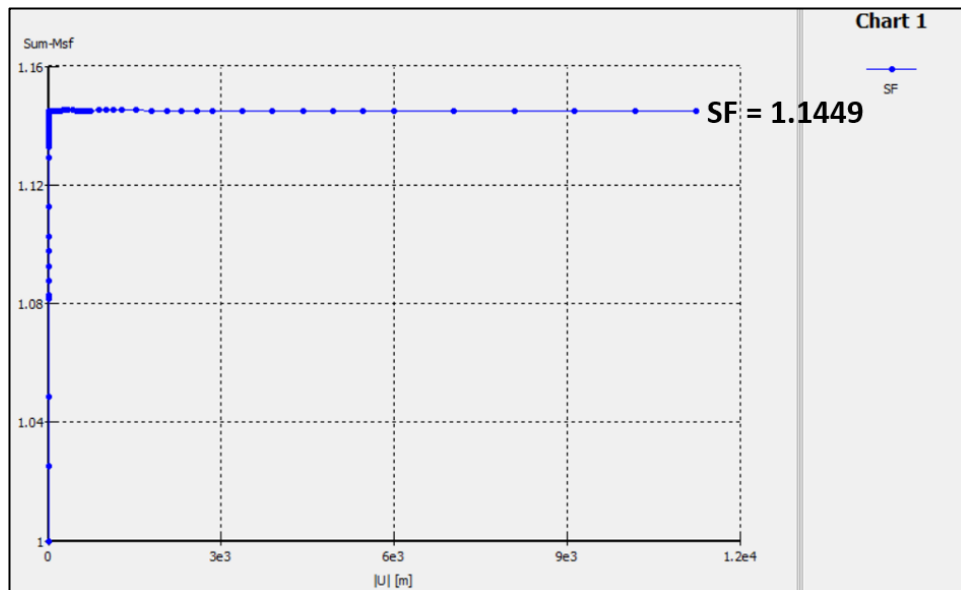
Gambar 5.25 Perpindahan Total pada Lereng Tanpa Perkuatan Kondisi Ekstrem

Konsolidasi tanah yang terjadi pada lereng tanpa perkuatan adalah sebesar 0,0502 m yang terjadi dalam waktu 1 tahun. Angka konsolidasi tanah yang didapatkan lebih besar jika dibandingkan dengan lereng kondisi normal yang memiliki angka konsolidasi tanah sebesar 0,0399 m per tahun. Konsolidasi tanah yang terjadi dapat dilihat pada Gambar 5.26 berikut ini.



Gambar 5.26 Konsolidasi dan Arah Pergerakan Tanah pada Lereng Tanpa Perkuatan Kondisi Ekstrem

Selanjutnya, Didapatkan grafik antara faktor keamanan dan perpindahan yang terjadi melalui program *Plaxis Curves* setelah analisis *output* selesai dilakukan. Grafik antara faktor keamanan dan perpindahan yang terjadi pada lereng asli tanpa perkuatan kondisi ekstrim dapat dilihat pada Gambar 5.27 berikut ini.



Gambar 5.27 Grafik SF vs Perpindahan pada Lereng Tanpa Perkuatan Kondisi Ekstrem

5.5.3 Rekapitulasi Hasil Analisis menggunakan Program Plaxis 8.6 pada Lereng tanpa Perkuatan dengan Kondisi Normal

Rekapitulasi hasil keseluruhan analisis menggunakan program Plaxis 8.6 pada lereng tanpa perkuatan dengan kondisi normal dan ekstrem dapat dilihat pada Tabel 5.9 berikut ini.

Tabel 5.9 Rekapitulasi Hasil Analisis Lereng tanpa Perkuatan

Kondisi	Safety Factor Global	Konsolidasi
Normal	1,2191	0,0399 m
Ekstrem	1,1449	0,0502 m

5.6 Analisis Stabilitas Lereng dengan Perkuatan Menggunakan Program PLAXIS 8.6

Setelah dilakukan berbagai analisis mulai dari analisis stabilitas lereng asli secara manual menggunakan metode Fellenius dan analisis menggunakan program Plaxis 8.6 terkait nilai faktor keamanan, angka konsolidasi tanah dan telah diketahui

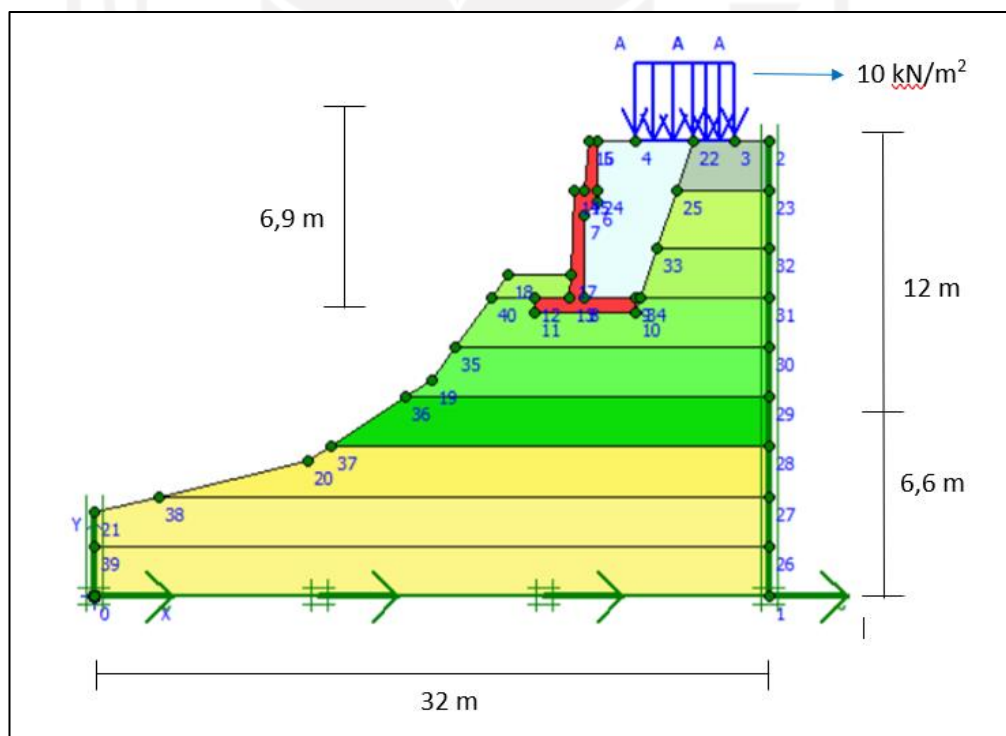
bahwa lereng dalam keadaan kritis maka selanjutnya dilakukan analisis stabilitas lereng yang telah diberi perkuatan untuk dapat melihat apakah perkuatan tanah yang digunakan yaitu dinding penahan tanah tipe kantilever dapat menyelesaikan permasalahan yang terjadi atau tidak. Analisis stabilitas lereng dengan perkuatan tanah juga akan dilakukan dalam 2 kondisi yaitu kondisi normal dan kondisi ekstrim atau jenuh air.

5.6.1 Analisis Stabilitas Lereng dengan Perkuatan Kondisi Normal

Analisis dengan menggunakan program Plaxis 8.6 terbagi menjadi 3 bagian, yaitu tahapan *Input*, tahapan Kalkulasi dan tahapan *Output*.

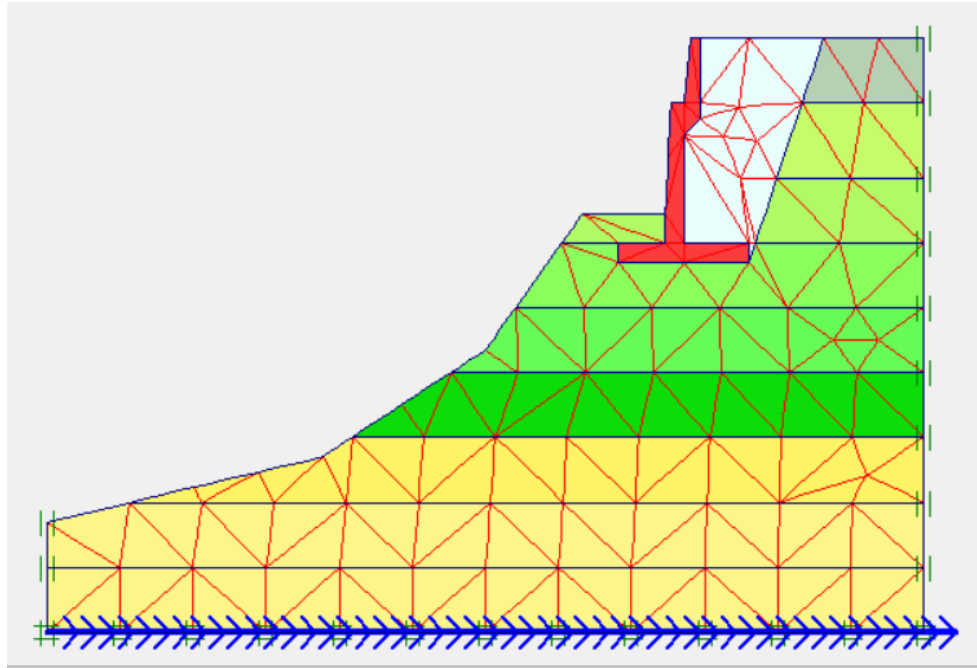
1. Tahapan *Input* pada analisis lereng dengan perkuatan kondisi normal

Pada tahapan *input* hal pertama yang dilakukan adalah melakukan permodelan awal atau tahapan *input geometry* pada lereng dengan perkuatan kondisi normal. Hasil penggambaran geometri dapat dilihat pada Gambar 5.28 berikut ini.



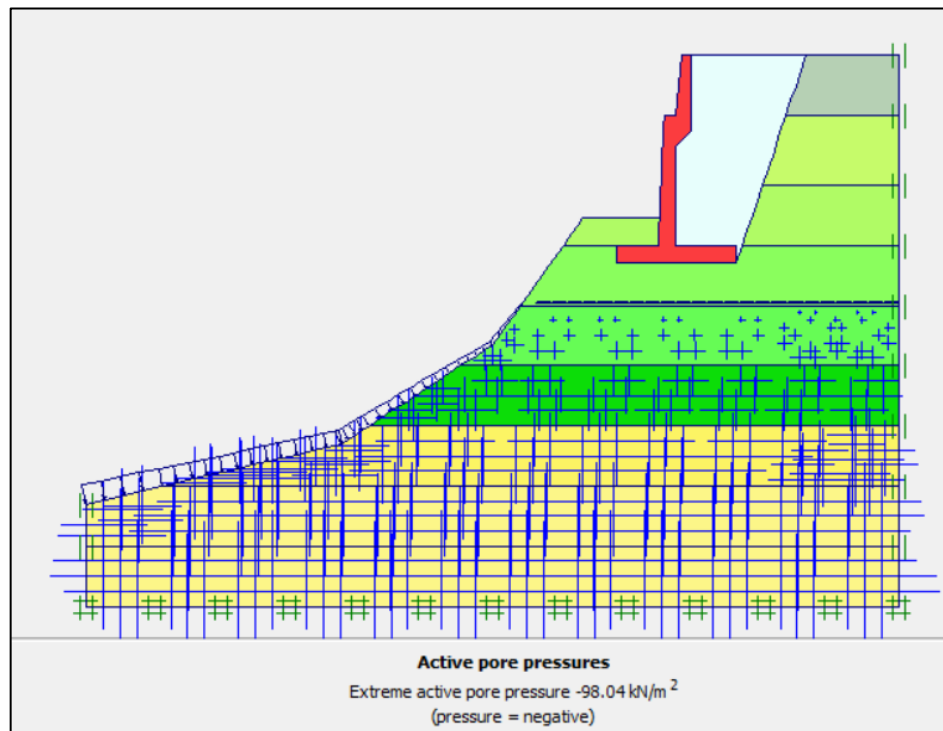
Gambar 5.28 Permodelan Lereng dengan Perkuatan Kondisi Normal

Selanjutnya adalah melakukan penggambaran *meshing* dengan tingkat ketelitian *meshing* yang digunakan adalah pada tingkat *medium*. Hasil penggambaran *general meshing* dapat dilihat pada Gambar 5.29 berikut ini.



Gambar 5.29 General Meshing pada Lereng dengan Perkuatan Kondisi Normal

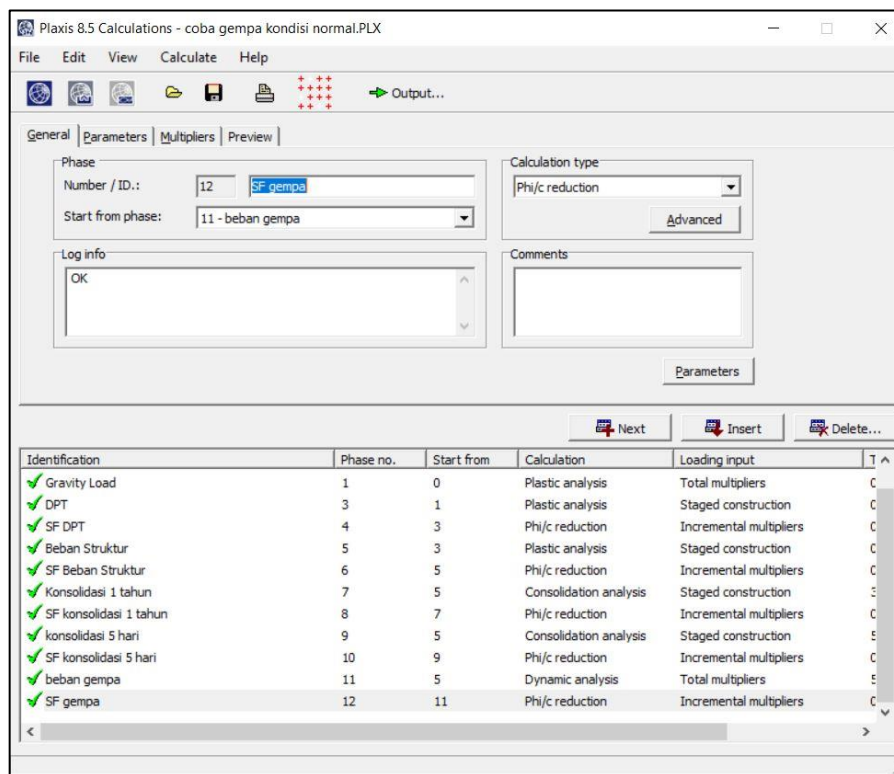
Selanjutnya adalah melakukan input tekanan air pori dengan sebelumnya menentukan tinggi muka air tanah yang berada sesuai dengan elevasi muka air normal pada sungai. Hasil dari *input initial stresses* atau tekanan air pori dapat dilihat pada Gambar 5.30 berikut ini.



Gambar 5.30 Tekanan Air Pori pada Lereng dengan Perkuatan Kondisi Normal

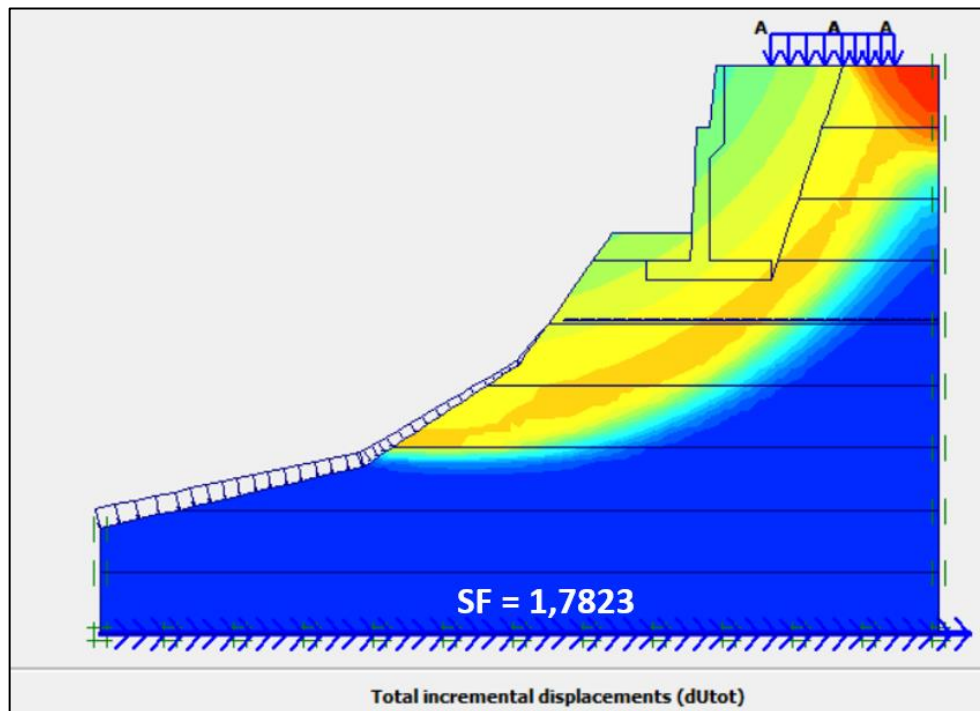
2. Tahapan kalkulasi pada lereng dengan perkuatan kondisi normal

Setelah semua data telah dimasukkan dan semua permodelan telah digambar pada tahapan *Input*, maka selanjutnya dilakukan tahap kalkulasi dengan merencanakan beberapa fase analisis. Fase pertama adalah *gravity load* atau beban gravitasi, kedua adalah beban DPT dan berat tanah, ketiga adalah beban perkerasan dan lalu lintas, keempat adalah konsolidasi, Kelima adalah faktor keamanan dan yang terakhir adalah faktor gempa. Hasil keseluruhan dari tahapan kalkulasi dapat dilihat pada Gambar berikut 5.31 berikut ini.



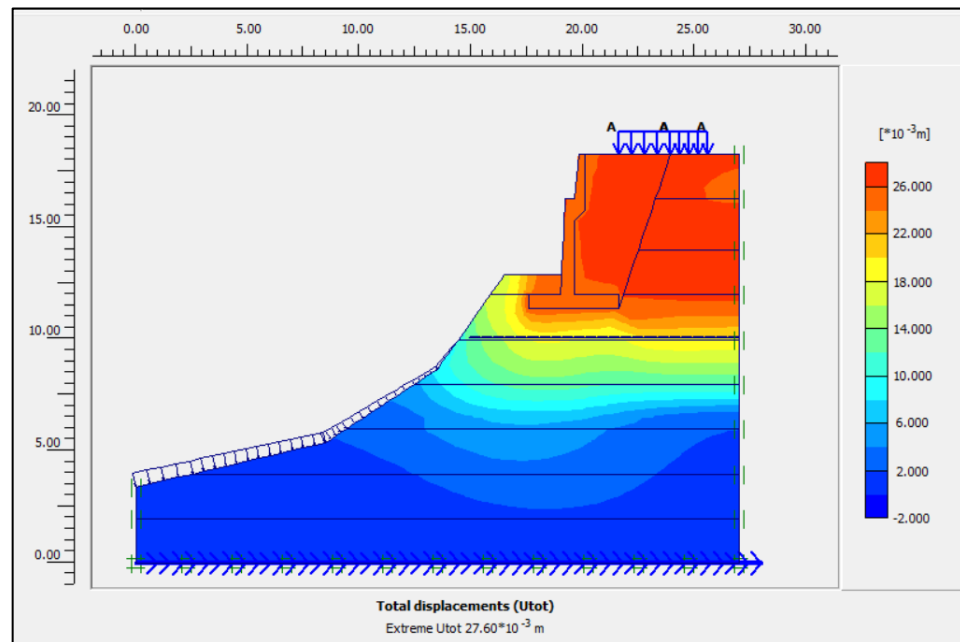
Gambar 5.31 Tahapan Kalkulasi pada Lereng dengan Perkuatan Kondisi Normal

3. Tahapan *Output* dan *Curves* pada lereng dengan perkuatan kondisi normal
Angka faktor keamanan yang didapatkan pada analisis lereng dengan perkuatan pada kondisi normal adalah sebesar $1,7823 > 1,5$. Hasil output faktor keamanan dan bidang longsor yang dikeluarkan melalui program Plaxis 8.6 dapat dilihat pada Gambar 5.32 berikut ini.



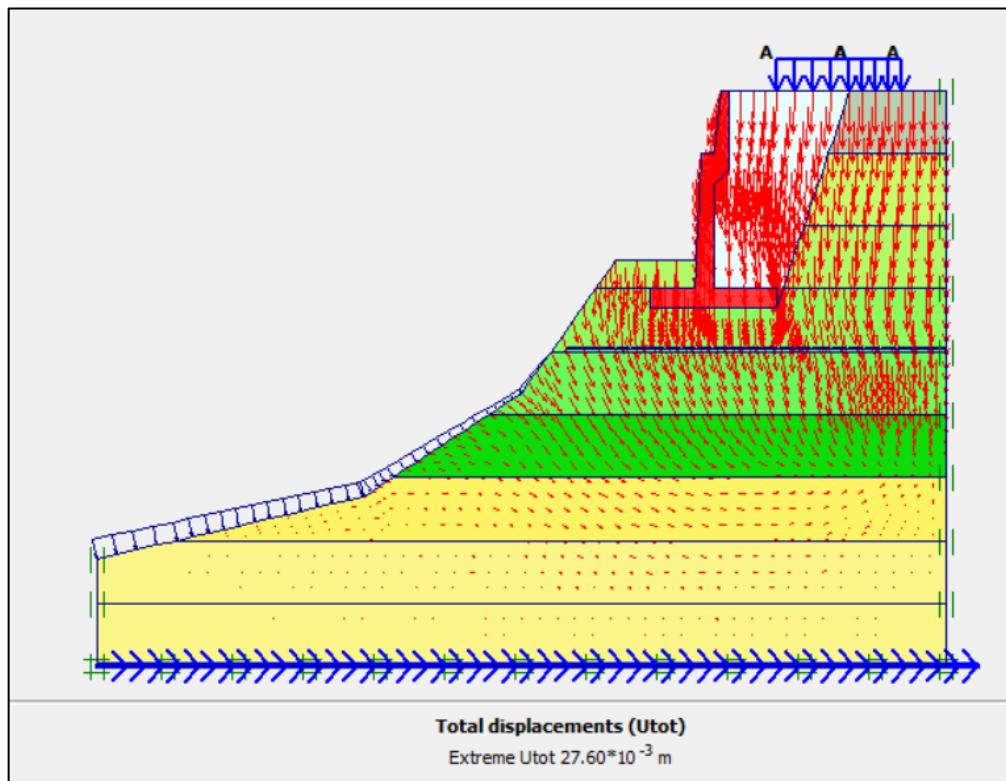
Gambar 5.32 Bidang Longsor Pada Lereng dengan Perkuatan Kondisi Normal

Perpindahan total yang terjadi pada lereng dengan perkuatan dengan kondisi normal dapat dilihat pada Gambar 5.33 berikut ini.



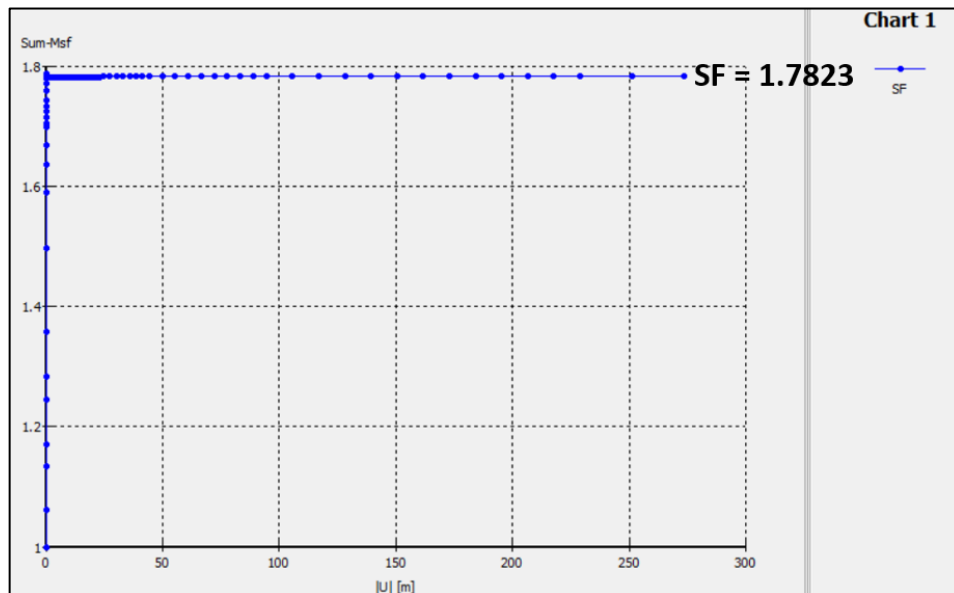
Gambar 5.33 Perpindahan Total pada Lereng dengan Perkuatan Kondisi Normal

Konsolidasi tanah yang terjadi pada lereng dengan perkuatan kondisi normal adalah sebesar 0,0276 m yang terjadi dalam waktu 1 tahun. Konsolidasi tanah yang terjadi dapat dilihat pada Gambar 5.34 berikut ini.



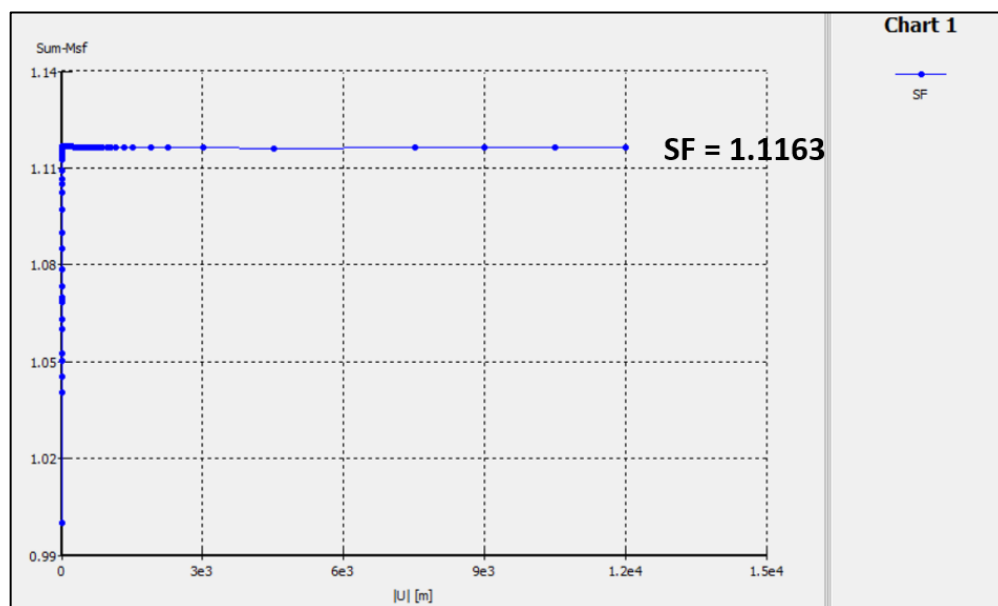
Gambar 5.34 Konsolidasi dan Arah Pergerakan Tanah pada Lereng dengan Perkuatan Kondisi Normal

Didapatkan grafik antara faktor keamanan dan perpindahan yang terjadi melalui program *Plaxis Curves* setelah analisis *output* selesai dilakukan. Grafik antara faktor keamanan dan perpindahan yang terjadi pada lereng dengan perkuatan kondisi normal dapat dilihat pada Gambar 5.35 berikut ini.



Gambar 5.35 Grafik SF vs Perpindahan pada Lereng dengan Perkuatan Kondisi Normal

Angka keamanan yang didapatkan dengan memperhitungkan koefisien gempa dalam melakukan analisis dengan program Plaxis 8.6 adalah sebesar 1,1163. Analisis gempa yang dilakukan menggunakan metode input file dengan tipe smc agar program Plaxis 8.6 dapat menerjemahkan respons spektrum yang terjadi berdasarkan koefisien gempa pada daerah tinjauan. Grafik antara angka kewanaman gempa dan perpindahan yang terjadi pada lereng dengan perkuatan kondisi normal dapat dilihat pada Gambar 5.36 berikut ini.



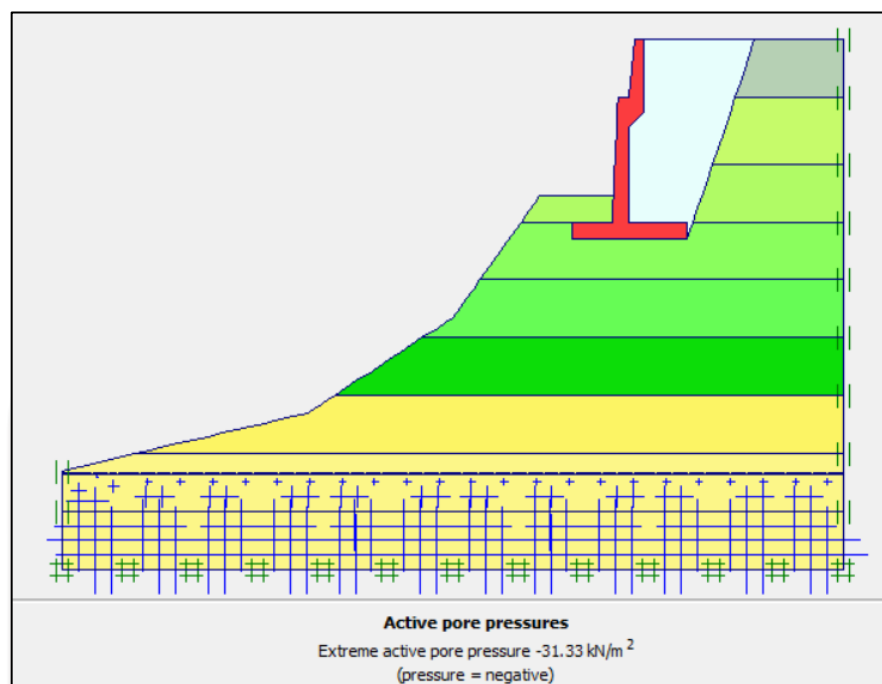
Gambar 5.36 Grafik SF Gempa vs Perpindahan pada Lereng dengan Perkuatan Kondisi Normal

5.6.2 Analisis Stabilitas Lereng dengan Perkuatan Kondisi Ekstrem atau Muka Air Tanah Rendah

Analisis stabilitas lereng dengan perkuatan kondisi ekstrem menggunakan program Plaxis 8.6 terbagi menjadi 3 bagian, yaitu tahapan *Input*, tahapan Kalkulasi dan tahapan *Output*.

1. Tahapan *Input* pada analisis lereng dengan perkuatan kondisi ekstrem

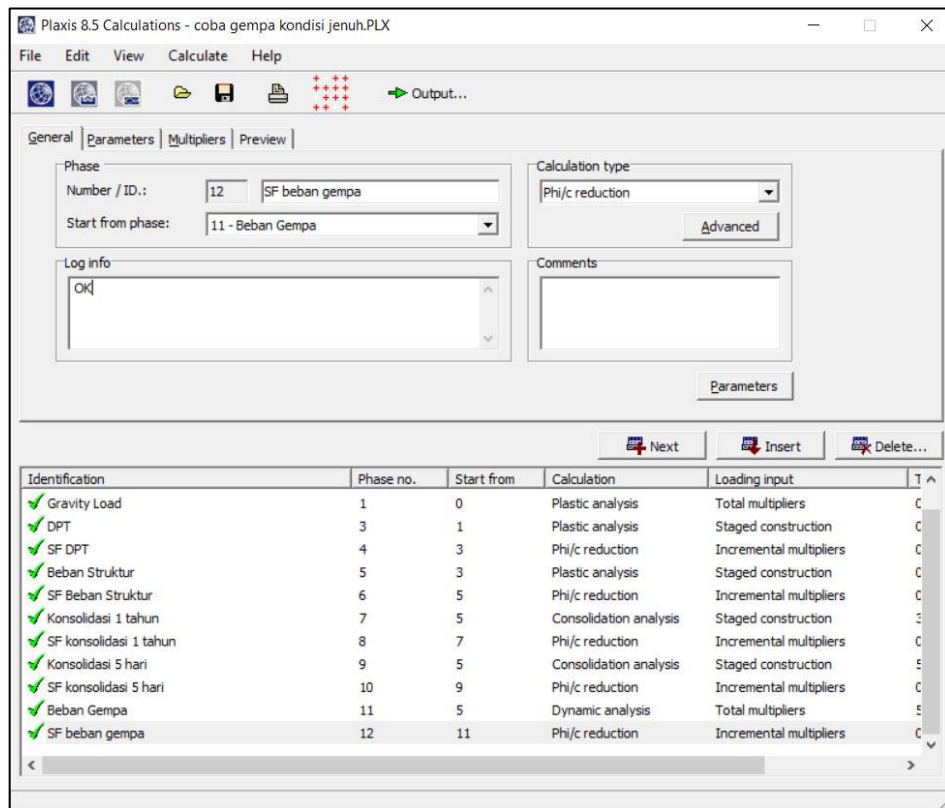
Pada tahapan input permodelan geometri hingga *generating mesh* pada analisis lereng dengan perkuatan kondisi ekstrem serupa dengan permodelan geometri pada lereng dengan perkuatan kondisi normal, perbedaan pada kondisi ekstrim terletak pada input muka air tanah yang diletakan pada elevasi yang sangat rendah dan tekanan air pori menjadi sangat kecil. Hal ini bertujuan untuk memodelkan agar lereng menjadi sangat kering dan kurang stabil. Permodelan tekanan air pori yang dilakukan pada lereng tanpa perkuatan kondisi ekstrem dapat dilihat pada Gambar 5.37 berikut ini.



Gambar 5.37 Tekanan Air Pori pada Lereng dengan Perkuatan Kondisi Ekstrem

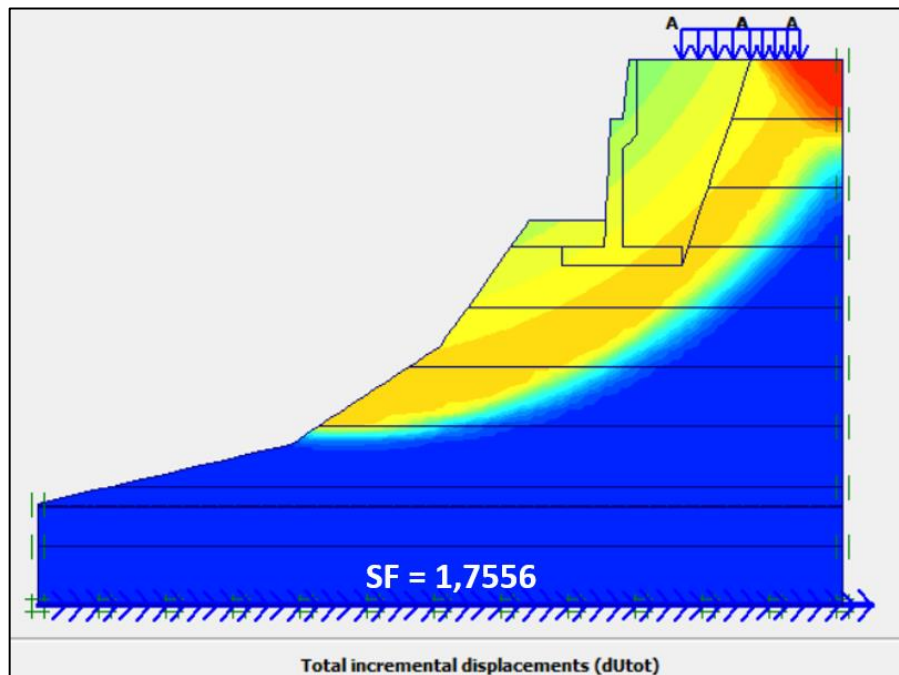
2. Tahapan kalkulasi pada lereng dengan perkuatan kondisi ekstrem

Setelah semua data telah dimasukkan dan semua permodelan telah digambar pada tahapan *Input*, maka selanjutnya dilakukan tahap kalkulasi dengan merencanakan beberapa fase analisis. Fase pertama adalah *gravity load* atau beban gravitasi, kedua adalah beban DPT dan berat tanah, ketiga adalah beban perkerasan dan lalu lintas, keempat adalah konsolidasi, Kelima adalah faktor keamanan dan yang terakhir adalah faktor gempa. Hasil keseluruhan dari tahapan kalkulasi dapat dilihat pada Gambar berikut 5.38 berikut ini.



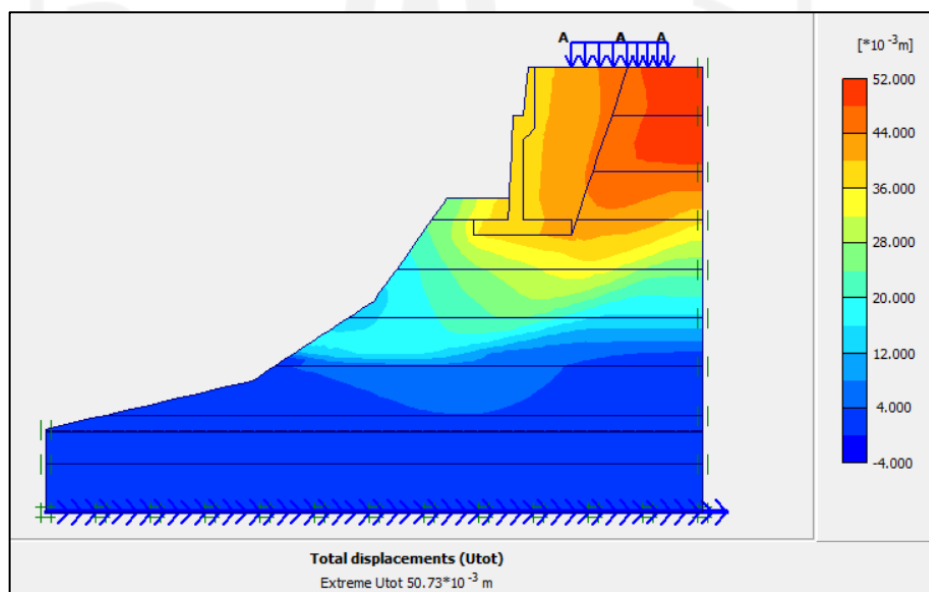
Gambar 5.38 Tahapan Kalkulasi pada Lereng dengan Perkuatan Kondisi Ekstrem

3. Tahapan *Output* dan *Curves* pada lereng dengan perkuatan kondisi Ekstrem
Angka faktor keamanan yang didapatkan pada analisis lereng dengan perkuatan pada kondisi normal adalah sebesar $1,7556 > 1,5$. Hasil output faktor keamanan dan bidang longsor yang dikeluarkan melalui program Plaxis 8.6 dapat dilihat pada Gambar 5.39 berikut ini.



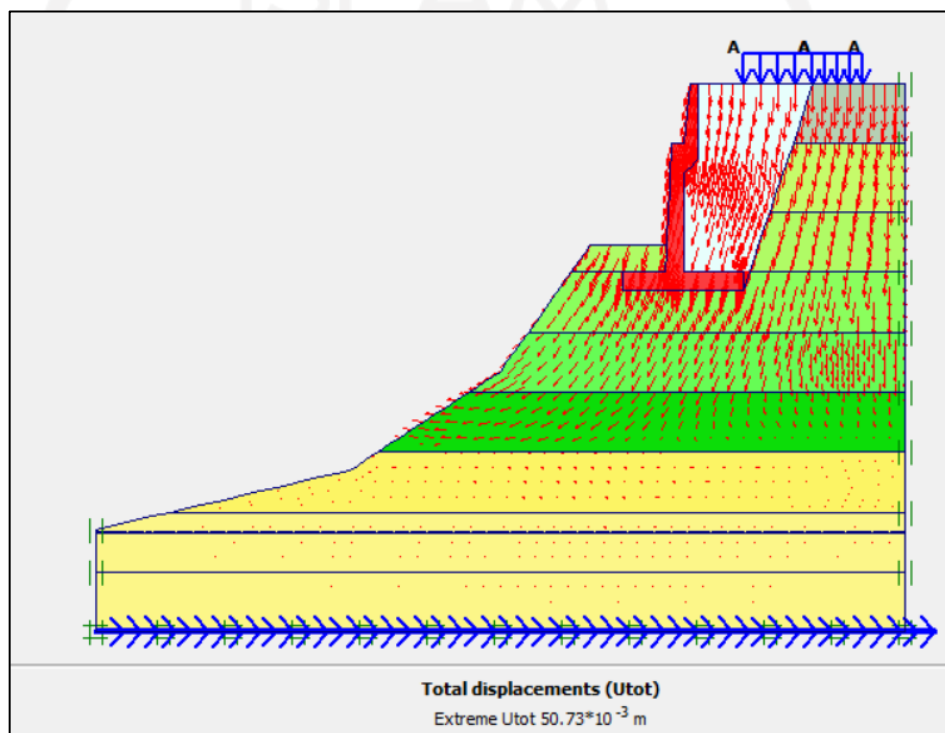
Gambar 5.39 Bidang Longsor pada Lereng dengan Perkuatan Kondisi Ekstrem

Perpindahan total yang terjadi pada lereng dengan perkuatan dengan kondisi ekstrem dapat dilihat pada Gambar 5.40 berikut ini.



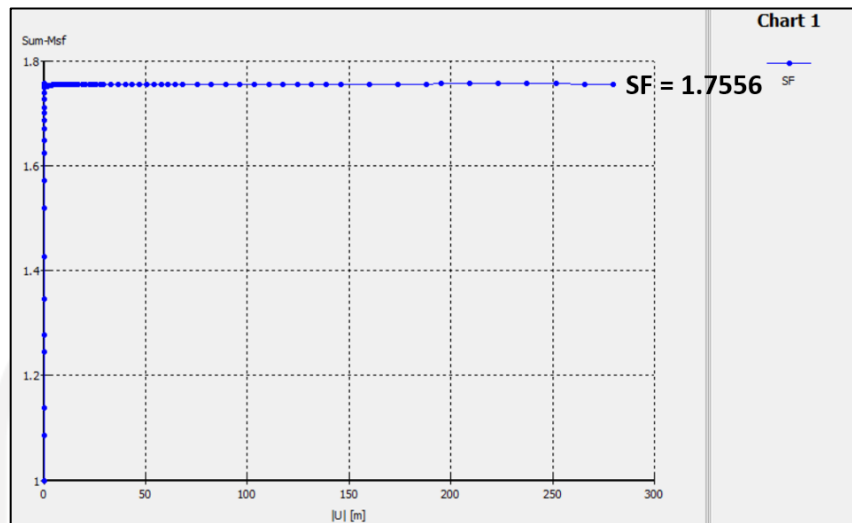
Gambar 5.40 Perpindahan Total pada Lereng dengan Perkuatan Kondisi Ekstrem

Konsolidasi tanah yang terjadi pada lereng dengan perkuatan kondisi ekstrem adalah sebesar 0,0507 m yang terjadi dalam waktu 1 tahun. Konsolidasi tanah yang terjadi dapat dilihat pada Gambar 5.41 berikut ini.



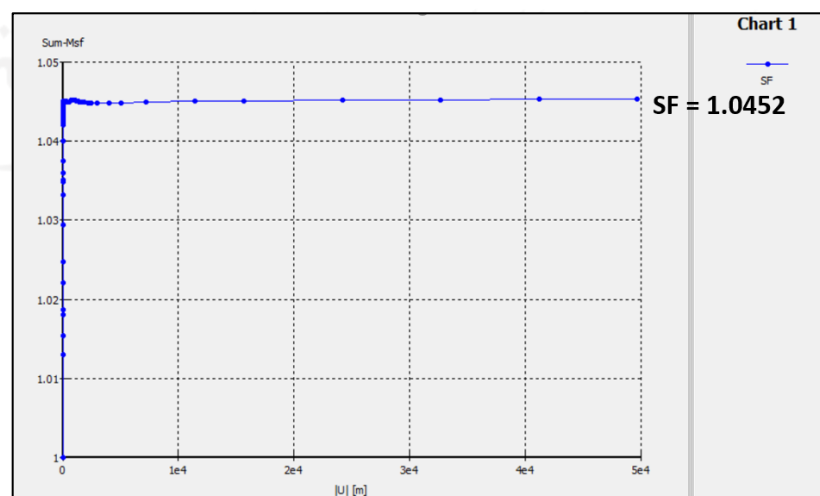
Gambar 5.41 Konsolidasi dan Arah Pergerakan Tanah pada Lereng dengan Perkuatan Kondisi Ekstrem

Didapatkan grafik antara faktor keamanan dan perpindahan yang terjadi melalui program *Plaxis Curves* setelah analisis *output* selesai dilakukan. Grafik antara faktor keamanan dan perpindahan yang terjadi pada lereng dengan perkuatan kondisi ekstrim dapat dilihat pada Gambar 5.42 berikut ini.



Gambar 5.42 Grafik SF vs Perpindahan pada Lereng dengan Kondisi Ekstrem

Angka keamanan yang didapatkan dengan memperhitungkan koefisien gempa dalam melakukan analisis dengan program Plaxis 8.6 adalah sebesar 1,0452. Analisis gempa yang dilakukan menggunakan metode input file dengan tipe smc agar program Plaxis 8.6 dapat menerjemahkan respon spectrum yang terjadi berdasarkan koefisien gempa pada daerah tinjauan. Grafik antara angka keamanan gempa dan perpindahan yang terjadi pada lereng dengan kekuatan kondisi ekstrem dapat dilihat pada Gambar 5.43 berikut ini.



Gambar 5.43 Grafik SF Gempa vs Perpindahan pada Lereng dengan Perkuatan Kondisi Ekstrem

5.6.3 Rekapitulasi Hasil Analisis menggunakan Program Plaxis 8.6 pada Lereng tanpa Perkuatan dengan Kondisi Normal dan Ekstrem

Rekapitulasi hasil keseluruhan analisis menggunakan program Plaxis 8.6 pada lereng tanpa perkuatan dengan kondisi normal dan ekstrem dapat dilihat pada Tabel 5.10 berikut ini.

Tabel 5.10 Rekapitulasi Hasil Analisis Lereng dengan Perkuatan

Kondisi	<i>Safety Factor</i> Global	<i>Safety Factor</i> Gempa	Konsolidasi
Normal	1,7823	1,1163	0,0276 m
Ekstrem	1,7556	1,0452	0,0507 m

5.7 Pembahasan

5.7.1 Kondisi Umum

Analisis stabilitas terhadap lereng yang dilakukan bertujuan untuk memperoleh nilai angka keamanan terhadap longsor dan juga angka konsolidasi tanah. Analisis dilakukan dengan memperhitungkan 2 kondisi, yaitu kondisi tanah normal dan kondisi elevasi muka air tanah sangat rendah atau ekstrem. Pada kondisi normal yang dimaksudkan adalah kondisi dimana tekanan air pori berada dalam keadaan normal yaitu sesuai dengan elevasi muka air sungai normal, artinya pada kondisi normal juga sebenarnya lereng berada dalam keadaan jenuh air hanya saja masih dalam kondisi yang wajar. Sedangkan, pada kondisi lereng dengan muka air tanah sangat rendah atau kondisi ekstrem kondisi tekanan air pori berada pada tingkat yang diasumsikan sangat kecil dengan penentuan elevasi muka air tanah hingga mencapai elevasi terendah dari dinding penahan tanah.

Analisis dilakukan dengan metode manual dan bantuan program Plaxis 8.6. Analisis manual yang dilakukan yaitu, Perhitungan stabilitas lereng asli dengan menggunakan metode Fellenius untuk mengetahui angka kermanan lereng asli,

perhitungan stabilitas eksternal DPT untuk mengetahui keamanan terhadap geser, guling, kapasitas daya dukung tanah dan perhitungan kebutuhan tulangan pada DPT. Analisis dengan bantuan program Plaxis 8.6 digunakan untuk mengetahui angka keamanan global, konsolidasi yang terjadi serta angka keamanan terhadap faktor gempa. Secara umum program Plaxis 8.6 digunakan untuk membantu proses analisis yang membutuhkan sangat banyak iterasi dan sangat sulit jika dilakukan dengan perhitungan manual. Terakhir, parameter beban merata yang digunakan didapatkan dari akumulasi dari beban lalu lintas dan beban perkerasan dengan total 10 kN/m^2 .

5.7.2 Analisis Stabilitas Lereng Eksisting menggunakan Plaxis 8.6 dan Metode Fellenius

Hasil analisis lereng eksisting dengan menggunakan program Plaxis 8.6 didapatkan SF sebesar $1,2282 < 1,5$ pada keadaan tanpa perkerasan dan SF sebesar $1,1434 < 1,5$ pada keadaan diberi beban perkerasan. Berdasarkan hasil analisis yang diperoleh telah sesuai dengan keadaan lereng eksisting yang sebelumnya telah mengalami kelongsoran dan memiliki potensi yang cukup besar untuk kembali mengalami kelongsoran, maka dari itu diperlukan adanya perkuatan tanah.

Hasil analisis lereng asli dengan metode Fellenius dilakukan dengan membagi bidang longsor lereng menjadi 8 bagian pias dan didapatkan SF sebesar $1,20787 < 1,5$ secara global. Berdasarkan hasil yang didapatkan jika mengacu kepada tabel 3.2 tentang faktor keamanan lereng menurut Bowles (1989), Hal ini menunjukkan lereng dalam keadaan kritis dan pernah terjadi longsor sebelumnya. Maka dari itu, diperlukan adanya perencanaan perkuatan tanah pada lereng tersebut.

5.7.3 Analisis Stabilitas Eksternal Dinding Penahan Tanah Kantilever

Hasil stabilitas eksternal menggunakan perhitungan manual pada dinding penahan tanah kantilever digunakan untuk mengetahui angka faktor keamanan terhadap guling, geser dan kapasitas daya dukung tanah.

Hasil perhitungan yang diperoleh pada dinding penahan tanah berjenjang terhadap stabilitas guling sebesar 3,5109, hasil tersebut telah memenuhi syarat

angka aman sebesar 2. Hasil terhadap stabilitas geser sebesar 3,3074, hasil tersebut juga telah memenuhi angka aman sebesar 2. Hasil terhadap kapasitas daya dukung tanah sebesar 12,9753, hasil tersebut juga telah memenuhi angka aman sebesar 3. Dengan begitu, maka secara keseluruhan bangunan dinding penahan tanah berjenjang telah memenuhi syarat-syarat stabilitas eksternal.

5.7.4 Analisis Stabilitas Lereng Asli tanpa Perkuatan Menggunakan Plaxis 8.6

Hasil analisis pada lereng asli tanpa perkuatan dengan kondisi normal didapatkan SF global sebesar 1,2191 dengan konsolidasi sebesar 0,0399 meter. Hasil tersebut menunjukkan lereng pada keadaan relatif kurang aman karena angka SF global masih kurang dari 1,5. Sedangkan, hasil analisis pada lereng asli tanpa perkuatan dengan kondisi ekstrem didapatkan SF global sebesar 1,1449 dengan konsolidasi sebesar 0,0502 meter. Hasil tersebut menunjukkan lereng pada keadaan relatif kurang aman karena angka SF global masih kurang dari 1,5. Pada program Plaxis, pembacaan angka kemandirian yang disyaratkan harus lebih dari 1 agar lereng dapat disimpulkan tidak *collapse* atau runtuh. Berdasarkan hasil analisis yang dilakukan, lereng pada 2 kondisi diatas menunjukkan perilaku lereng tidak *collapse* atau runtuh, karena SF yang didapatkan tergolong lebih dari 1, hanya saja memiliki SF global yang relatif kecil.

5.7.5 Analisis Stabilitas Lereng dengan Perkuatan Menggunakan Plaxis 8.6

Permodelan geometri pada analisis dengan perkuatan telah menggunakan struktur tanah yang berbeda dibandingkan dengan permodelan geometri lereng asli. Hasil analisis pada lereng dengan perkuatan pada kondisi normal didapatkan SF global sebesar 1,7823 dengan konsolidasi sebesar 0,0276 meter. Hasil tersebut menunjukkan lereng pada keadaan aman karena angka SF global lebih dari 1,5. Sedangkan, hasil analisis pada lereng dengan perkuatan pada kondisi ekstrim didapatkan SF global sebesar 1,7556 dengan konsolidasi sebesar 0,0507 meter. Hasil tersebut menunjukkan lereng pada keadaan relatif aman karena angka SF global masih lebih dari 1,5. Akan tetapi memiliki angka penurunan tanah akibat konsolidasi yang lebih besar.

Mengacu pada tabel 3.1 terkait persyaratan faktor keamanan oleh Dinas Pekerjaan Umum, angka tersebut telah relatif aman karena telah lebih dari 1,2. Pada program Plaxis, pembacaan angka kewanaman yang disyaratkan harus lebih dari 1 agar lereng dapat disimpulkan tidak *collapse* atau runtuh. Berdasarkan hasil analisis yang dilakukan, lereng pada 2 kondisi diatas menunjukkan perilaku lereng tidak *collapse* atau runtuh.

5.7.6 Analisis Faktor Gempa pada Lereng dengan Perkuatan Menggunakan Plaxis 8.6

Analisis faktor kewanaman terhadap gempa diperlukan karena lokasi tinjauan berada pada daerah rawan bencana yang termasuk pada deretan *ring of fire* atau cincin api pasifik dengan koefisien gempa sebesar 1,0 – 1,2 g berdasarkan peta zonasi gempa Indonesia PGA SNI 1726:2012, mengacu pada SNI tersebut maka diambil koefisien gempa range terbesar yaitu 1,2 g. Analisis pada program Plaxis 8.6 dilakukan dengan melakukan input file smc yang bersumber dari gempa Whittier Narrows, California (1987) sehingga Plaxis dapat menerjemahkan respons spektrum yang terjadi berdasarkan koefisien gempa daerah tinjauan penelitian. Hasil analisis pada lereng dengan perkuatan pada kondisi normal didapatkan SF gempa global sebesar 1,1163 dan pada lereng dengan perkuatan pada kondisi ekstrem didapatkan SF gempa global sebesar 1,0452. Angka SF global yang didapatkan pada kedua kondisi tersebut tergolong rendah akan tetapi masih lebih dari 1, maka dapat disimpulkan lereng tidak runtuh/*collapse*.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang diperoleh berdasarkan analisis stabilitas lereng dengan perkuatan dinding penahan tanah berjenjang yang telah dilakukan adalah sebagai berikut.

1. Hasil analisis lereng eksisting dengan menggunakan program Plaxis 8.6 didapatkan SF sebesar $1,2282 < 1,5$ pada keadaan tanpa perkerasan dan SF sebesar $1,1434 < 1,5$ pada keadaan diberi beban perkerasan. Selanjutnya, Berdasarkan analisis lereng eksisting dengan perhitungan manual metode Fellenius dengan SF sebesar $1,20787$. Dengan begitu, dapat disimpulkan bahwa lereng berada pada kondisi kritis atau rawan longsor dan telah mengalami kelongsoran sebelumnya.
2. Angka faktor keamanan pada lereng tinjauan adalah sebagai berikut:
 - a. kondisi normal memiliki SF sebesar $1,2191$ sebelum diperkuat,
 - b. kondisi ekstrem memiliki SF sebesar $1,1449$ sebelum diperkuat,
 - c. kondisi normal memiliki SF sebesar $1,7823$ setelah diperkuat,
 - d. kondisi ekstrem memiliki SF sebesar $1,7556$ setelah diperkuat,
 - e. kondisi normal memiliki SF gempa sebesar $1,1163$ setelah diperkuat, dan
 - f. kondisi ekstrem memiliki SF gempa sebesar $1,0452$ setelah diperkuat.
3. Angka penurunan tanah akibat konsolidasi pada pada lereng tinjauan adalah sebagai berikut:
 - a. kondisi normal memiliki angka sebesar $0,0399$ meter sebelum diperkuat,
 - b. kondisi ekstrem memiliki angka sebesar $0,0502$ meter sebelum diperkuat,
 - c. kondisi normal memiliki angka sebesar $0,0276$ meter setelah diperkuat, dan
 - d. kondisi ekstrem memiliki angka sebesar $0,0507$ meter setelah diperkuat.

4. Berdasarkan analisis dengan perhitungan manual terhadap stabilitas eksternal dinding penahan tanah tipe kantilever didapatkan hasil sebagai berikut:
 - a. cek terhadap stabilitas guling memiliki SF sebesar $3,5109 > 2$,
 - b. cek terhadap stabilitas geser memiliki SF sebesar $3,3074 > 2$, dan
 - c. cek terhadap kapasitas daya dukung tanah memiliki SF sebesar $12,9753 > 3$
5. Berdasarkan perhitungan manual kebutuhan penulangan standar diperoleh hasil sebagai berikut:
 - a. tulangan pokok dinding vertikal digunakan D22-300,
 - b. tulangan geser dinding vertikal digunakan D13-300,
 - c. tulangan horizontal/bagi dinding vertikal digunakan P13-300,
 - d. tulangan pokok telapak digunakan D22-300,
 - e. tulangan geser telapak digunakan D13-300, dan
 - f. tulangan horizontal/bagi telapak digunakan P13-300.

6.2 Saran

Saran yang dapat diberikan berdasarkan analisis stabilitas lereng dengan dinding penahan tanah berjenjang yang telah dilakukan dengan perhitungan manual dan bantuan program Plaxis 8.6 adalah sebagai berikut.

1. Dalam merencanakan sebuah perkuatan tanah sebaiknya dilakukan perhitungan dengan lengkap, mulai dari perhitungan manual dan analisis menggunakan bantuan program metode elemen hingga seperti Plaxis 8.6 yang dapat melakukan analisa dengan tingkat kompleksitas yang tinggi dan dapat melakukan iterasi dalam jumlah yang tinggi untuk mendukung hasil dari perhitungan manual agar hasil yang didapat akan dapat dipertanggungjawabkan dengan lebih baik.
2. Penelitian ini masih memiliki kemungkinan untuk dapat dikembangkan dengan memodifikasi jenis perkuatan tanah yang digunakan maupun memodifikasi parameter tanah dan berbagai variasi metode analisis yang lain.
3. Penelitian dapat dilakukan dengan menggunakan software atau program geoteknik yang lain seperti SLOPE/W dan lain-lain. Selanjutnya diharapkan agar dapat memahami pengoperasian software dengan mendalam dan menggunakan standar perhitungan yang layak agar didapatkan hasil perencanaan yang benar dan dapat dipertanggungjawabkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Annisa, N. 2018. *ANALISIS STABILITAS DINDING PENAHAN TANAH DAN PERENCANAAN PERKUATAN LERENG MENGGUNAKAN GEOTEKSTIL PADA BANTARAN SUNGAI GAJAH PUTIH*. Yogyakarta: Universitas Islam Indonesia.
- Badan Standarisasi Nasional. 2012. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*. SNI 1726:2012. Jakarta. Indonesia.
- Bowles, J. E. 1989. *Sifat-Sifat Fisik dan Geoteknis Tanah*. Erlangga. Jakarta. Indonesia.
- Das, B. M. 2010. *Principles of Geotechnical Engineering*. Stamford: Global Engineering.
- Das, B. M. 2011. *Principles of Foundation Engineering*. Stamford: Global Engineering.
- Departemen Pekerjaan Umum. 2005. *Rekayasa Penanganan Keruntuhan Lereng pada Tanah Residual dan Batuan*. Jakarta. Indonesia.
- Departemen Pekerjaan Umum. 2009. *Modul Pelatihan Geosintetik Volume 3: Perencanaan dan Pelaksanaan Perkuatan Tanah dengan Geosintetik*. Jakarta. Indonesia.
- Hardiyatmo, H. C. 2002. *Analisis dan Perancangan Fondasi 1*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Hardiyatmo, H. C. 2002. *Mekanika Tanah 1*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.

- Hardiyatmo, H. C. 2003. *Analisis dan Perancangan Fondasi 2*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Hardiyatmo, H. C. 2003. *Mekanika Tanah 2*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Kurniawan, D. 2019. *ANALISIS STABILITAS DINDING PENAHAN TANAH DAN SHEET PILE BAJA PADA LERENG JALAN TOL BALIKPAPAN-SAMARINDA STA 2+850 – 3+050*. Yogyakarta: Universitas Islam Indonesia.
- MARGA, D. P., & TEKNIK, D. B. 2009. *Perencanaan dan Pelaksanaan Perkuatan Tanah dengan Geosintetik*. Jakarta Selatan: Badan Standar Nasional.
- Mochtar, N. E., & Mochtar, I. B. 1994. *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis) Jilid 2*. Jakarta: ERLANGGA.
- Mochtar, N. E., & Mochtar, I. B. 1995. *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis) Jilid 1*. Jakarta: ERLANGGA.
- Nurtanti, E. Z. 2019. *ANALISIS PERKUATAN TANAH DENGAN MENGGUNAKAN DINDING PENAHAN TANAH BETON BERTULANG DAN DINDING TURAP BAJA DENGAN PROGRAM PLAXIS 8.6 PADA SUNGAI PABELAN*. Yogyakarta: Universitas Islam Indonesia.
- Panguriseng, D. 2001. *Stabilisasi Tanah*. Makassar: Universitas "45" Makassar.
- PT. Intimulya Multikencana KSO Maxitech Utama Indonesia. 2020. Laporan Penyelidikan Tanah dengan Bor Mesin Sondir dan Bor Tangan. Padang. Indonesia.
- Setiawan, W. H. 2019. *PERENCANAAN ULANG PERKUATAN TANAH TEBING KALI CODE MENGGUNAKAN DINDING PENAHAN TANAH TIPE KANTILEVER DAN GEOTEKSTIL*. Yogyakarta: Universitas Islam Indonesia.

Winanda, R. A. 2017. *PERENCANAAN DINDING PENAHAN TANAH CONCRETE CANTILEVER DENGAN MENGGUNAKAN PROGRAM PLAXIS (Studi Kasus : Jalan Liwa – Simpang Gunung Kemala Krui KM.264+600)*. Bandar Lampung: Universitas Lampung.



The background features a large, light gray watermark of the Universitas Islam Indonesia logo. The logo is a shield-shaped emblem with a stylized minaret or dome in the center. The word "ISLAM" is written in a serif font at the top of the shield. The words "UNIVERSITAS" and "INDONESIA" are written vertically on the left and right sides of the shield, respectively. Below the shield, the name of the university is written in Arabic calligraphy: "الجامعة الإسلامية الأندونيسية".

LAMPIRAN

Lampiran 1 Jadwal Penyusunan Tugas Akhir

Bulan		1				2				3				4				5				6					
Minggu Ke		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4		
Kegiatan	Jam Kerja	%																									
Persiapan																											
Pengambilan Data	2	1%	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4																				
Instal program	4	2%					4.0																				
Pengolahan Data																											
Perhitungan Manual DPT	48	19%						24.0	24.0																		
Input Data Plaxis	72	28%								18.0	18.0	18.0	18.0														
Analisis Data dan Pembahasan																											
Analisis Data hasil perhitungan manual	24	9%											12.0	12.0													
Analisis perhitungan Plaxis	48	19%													16.0	16.0	16.0										
Pembahasan kedua analisis	24	9%													12.0		12.0										
Penyusunan Laporan																											
Laporan Tugas Akhir	24	9%																			3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4
Konsultasi Dosen Pembimbing	10	4%																				3.3			3.3		3.3
	256	100%	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	4.0	24.0	24.0	18.0	18.0	18.0	18.0	12.0	12.0	28.0	16.0	31.4	6.8	3.4	3.4	3.4	6.8	3.4	6.8	
			0.4	0.8	1.2	1.6	2.0	6.0	30.0	54.0	72.0	90.0	108.0	126.0	138.0	150.0	178.0	194.0	225.4	232.2	235.6	239.0	245.8	249.2	256.0		

Lampiran 2 Borlog Pantir Rao

SKALA, M	ELEVASI	KEDALAMAN, M	PENAMPANG TANAH			STANDARD PENETRATION TEST					SAMPSEL					
			Log.	DIAGRAM	WARNA	KET. MATERIAL	KEDALAMAN, M	N _{SPT} Blows	PUKULAN SETIAP KEDALAMAN 15 CM			SAMPSEL NO.	KEDALAMAN, M	METODA SAMPEL		
								CM	CM	CM	Grafik N _{SPT}					
0																
1		1.55	SPT	[Brown pattern]	Cokelat Kekuningan	Lempung Berbatu	1.55	60								
2	-2	2.00					2.00	30	15	15				15		
3		3.55	SPT	[Yellow]	Cokelat Kekuningan	Lempung Berpasir	3.55	60								
4	-4	4.00					4.00	30	15	15				15		
5		5.55	SPT	[Yellow]	Cokelat Kekuningan	Lempung Berpasir	5.55	14	5	7				7		
6	-6	6.00					6.00	30	15	15				15		
7		7.55	SPT	[Yellow]	Cokelat Kekuningan	Lempung Berpasir	7.55	19	7	9				10		
8	-8	8.00					8.00	30	15	15				15		
9		9.55	SPT	[Yellow]	Cokelat Kekuningan	Lempung Berpasir	9.55	15	5	7				8		
10	-10	10.00					10.00	30	15	15				15		
11		11.55	SPT	[Grey]	Kehitaman	Pasir	11.55	32	11	15				17		
12	-12	12.00					12.00	30	15	15				15		
13		13.55	SPT	[Grey]	Kehitaman	Pasir	13.55	30	9	13				17		
14	-14	14.00					14.00	30	15	15	15					
15																

Lampiran 3 Hasil Pengujian N-SPT Panti Rao

Lokasi : SID Daerah Irigasi Kewenangan Pusat di BWS SUMATERA V (IPDMIP)
 Bor No. : BH 1 - Panti Rao
 Tanggal : Desember 2019

Korelasi Parameter Tanah

Kode Tanah	Depth (m)	Jenis Tanah (pasir/lempung)		Nilai SPT (blows)	nilai ϕ (degree)	Q_u (kg/cm ²)	cu (kN/m ²)	Brt Volum		Emin (kPa) (kN/m ²)	Emax (kPa) (kN/m ²)	Eave (kN/m ²)
								(t/m ³)	(kN/m ³)			
N/A	0		lempung	0		0.00		1.2	11.8	1800	3800	3000
N/A	2		lempung	60		7.00		1.9	18.6	19800	21800	21000
N/A	4		lempung	60		7.00		1.9	18.6	19800	21800	21000
N/A	6	pasir	lempung	14	36.4	1.40		1.7	16.7	6000	8000	7000
N/A	8	pasir	lempung	19	38.15	1.90		1.7	16.7	7500	9500	9000
N/A	10	pasir	lempung	15	36.8	1.50		1.7	16.7	6300	8300	8000
N/A	12	pasir		32	38.8			1.9	18.6	11400	13400	13000
N/A	14	pasir		30	42.0			1.9	18.6	10800	12800	12000



Lampiran 4 Resume Pengujian Lab 5,55 – 6,00 m

RESUME PENGUJIAN LABORATORIUM							
Nama Proyek	Lokasi	Boring Hole	Kedalaman	Pengujian yang Dilakukan	Parameter		Satuan
	: Pasaman	: BOR 1	: 5.55 - 6.00 m	Kadar Air	w	22,714	%
				Berat Volume	γ	1,525	g/cm ³
				<i>Specific Gravity</i>	Gs	2,690	
				<i>Atterberg Limit</i>	LL	52,072	%
					PL	34,200	%
					PI	17,873	%
				Analisa Saringan	Gravel	0,00	%
					Pasir	91,63	%
					Lempung	8,37	%
				<i>Direct Shear</i>	c	0,197	kg/cm ²
ϕ	29,312	kg/cm ²					

Lampiran 5 Resume Pengujian Lab 13,55 – 14,00 m

RESUME PENGUJIAN LABORATORIUM						
Nama Proyek	Lokasi	Boring Hole	Kedalaman	Pengujian yang Dilakukan	Parameter	Satuan
				Kadar Air	w	26,575 %
				Berat Volume	γ	1,525 g/cm ²
				<i>Specific Gravity</i>	Gs	2,585
				<i>Atterberg Limit</i>	LL	52,072 %
					PL	34,200 %
					PI	17,873 %
				Analisa Saringan	Gravel	0,00 %
					Pasir	8,30 %
					Lempung	91,70 %
				<i>Direct Shear</i>	c	0,197 kg/cm ²
					ϕ	29,312 kg/cm ²

Lampiran 6 Potongan Melintang P.34 Saluran Irigasi Panti Rao Setelah Diberi Perkuatan

