

TUGAS AKHIR

**ANALISIS PERKUATAN TANAH DENGAN
MENGUNAKAN DINDING PENAHAN TANAH
KANTILEVER DAN *SHEET PILE* BAJA
(*ANALYSIS STRENGTHENING OF SOIL USING
CANTILEVER TYPE RETAINING WALL AND STEEL
SHEET PILE*)**

**(STUDI KASUS : DAERAH IRIGASI GONDANG STA 8+207,
KABUPATEN LAMONGAN, PROVINSI JAWA TIMUR)**

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



الجامعة الإسلامية
الاستدراكية

**Iqron Hillayat Alhadis
17511161**

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

2022

LEMBAR PENGESAHAN

**ANALISIS PERKUATAN TANAH DENGAN
MENGUNAKAN DINDING PENAHAN TANAH
KANTILEVER DAN *SHEET PILE* BAJA
(*ANALYSIS STRENGTHENING OF SOIL USING
CANTILEVER TYPE RETAINING WALL AND STEEL
SHEET PILE*)**

**(STUDI KASUS : DAERAH IRIGASI GONDANG STA 8+207,
KABUPATEN LAMONGAN, PROVINSI JAWA TIMUR)**

Disusun Oleh

Iqron Hillayat Alhadis

17511161

Diuji pada tanggal
Oleh Dewan Penguji

Penguji I

Pembimbing

Penguji II

Edy Purwanto. Dr., Ir., Ce S., De A. Hanindya Kusuma Artati, S.T.,M.T. Lalu Makrup, Dr. Ir., M.T.
NIK : 855110101 NIK : 045110407 NIK : 885110106

Mengesahkan,

Ketua Program Studi Teknik Sipil

Yunalia Muntafi. S.T., M.T., Ph.D.Eng
NIK : 095110101

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

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

Yogyakarta, 18 Agustus 2022

Yang membuat pernyataan,



Iqron Hillayat Alhadis

(17511161)

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang Berjudul *Analisis Perkuatan Dengan menggunakan Dinding Penahan Tanah Kantilever Dan Sheet Pile Baja Pada Daerah Irigasi Gondang Sta 8+207*. Tugas akhir ini merupakan salah satu syarat akademik dalam menyelesaikan studi tingkat sarjana di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini banyak hambatan yang dihadapi penulis, namun berkat saran, kritik, serta dorongan semangat dari berbagai pihak, Alhamdulillah Tugas Akhir ini dapat diselesaikan. Berkaitan dengan ini, penulis ingin mengucapkan terimakasih yang sedalam-dalamnya kepada :

1. Bapak Edy Purwanto. Dr., Ir., CeS., DeA. selaku dosen pembimbing tugas akhir, terima kasih atas bimbingan, nasehat dan dukungan yang diberikan kepada saya selama penyusunan Tugas Akhir maupun selama masa perkuliahan.
2. Ibu Hanindya Kusuma Artati, S.T., M.T., dan Bapak Lalu Makrup, Dr. Ir., M.T. selaku dosen penguji Tugas Akhir ini, yang telah memberikan kritik, saran, dan memberikan evaluasi agar lebih baik pada kemudian hari.
3. Ibu Yunalia Muntafi. S.T., M.T., Ph.D.Eng. selaku ketua Prodi Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.
4. Orang tua tercinta Bapak Bachrianto dan Ibu Ratnawilis dua orang terhebat dalam hidup saya yang tidak hentinya memberikan kasih sayang, doa, dan dukungan di setiap langkah saya dalam menuntut ilmu.
5. Saudara Ivan Putra Siswanto dan Dio Azanuaris yang selalu mendukung dan memberi semangat untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
6. Sahabat – sahabat saya Tara, Rama, Bay, Isan, Rival, Yoga, Mile, Bachtiar, Fiondy, Arif dan teman yang selalu ada untuk memberi motivasi, semangat dan dukungan untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Semoga penelitian yang telah dilakukan dan disajikan dalam bentuk laporan Tugas Akhir ini dapat memberikan kontribusi yang berarti bagi dunia Teknik Sipil dan dapat bermanfaat untuk pengembangan penelitian – penelitian selanjutnya.

Yogyakarta, Agustus 2022

Iqron Hillayat Alhadis

17511161



DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xiv
ABSTRAK	xvi
<i>ABSTRACT</i>	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Batasan Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Perkuatan Lereng Dengan Dinding Kantilever Dan Sheet Pile	6
2.2 Perkuatan Lereng Dengan Dinding Penahan Tanah	7
2.3 Perkuatan Lereng Dengan Sheet Pile	7
2.4 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian	7
BAB III LANDASAN TEORI	10
3.1 Tanah	10
3.1.1 Komponen Tanah	10
3.1.2 Klasifikasi Tanah	14
3.2 Lereng dan Kelongsoran	16
3.3 Tekanan Tanah Lateral	20

3.4 Stabilitas Lereng	22
3.4.1 Analisis Stabilitas Lereng	23
3.4.2 Analisis Stabilitas Lereng Metode Fellenius	24
3.5 Dinding Penahan Tanah	26
3.5.1 Dinding Penahan Tanah Kantilever	27
3.5.2 Stabilitas Dinding Penahan Tanah Kantilever	29
3.6 Sheet Pile	34
3.6.1 Sheet Pile Baja	34
3.6.2 Prinsip Perencanaan Sheet Pile Baja	35
3.6.3 Stabilitas Sheet Pile	36
3.6.4 Profil Sheet Pile Baja	37
3.7 Plaxis 8.6	38
BAB IV METODE PENELITIAN	40
4.1 Tinjauan Umum	40
4.2 Data Penelitian	40
4.3 Tahapan Penelitian	40
4.4 Analisis Data	41
4.4.1 Parameter Tanah	41
4.4.2 Dinding Penahan Tanah Kantilever	41
4.4.3 Sheet Pile	41
4.5 Pengoperasian Plaxis	41
4.5.1 Plaxis Input	41
4.5.2 Plaxis Calculation	47
4.5.3 Plaxis Output	48
4.6 Bagan Alir Penelitian	49
BAB V PEMBAHASAN	51
5.1 Kondisi Umum Penelitian	51
5.2 Data Parameter Tanah dan Beban	51
5.2.1 Data Tanah	51
5.2.2 Data Beban	55
5.2.3 Data Dinding Penahan Tanah Kantilever	57

5.2.4 Data Sheet Pile Baja	57
5.3 Analisis Lereng Asli	58
5.3.1 Analisis Lereng Asli Dengan Permodelan Plaxis	58
5.3.2 Analisis Lereng Asli Dengan Metode Fellinius	62
5.4 Analisis Lereng Dinding Penahan Tanah Kantilever	67
5.4.1 Perhitungan Manual Dinding Penahan Tanah Kantilever	68
5.4.2 Pemodelan Dinding Penahan Tanah Kantilever Pada Plaxis	77
5.4.3 Analisis Lereng Dinding Penahan Tanah Tanpa Beban Gempa	77
5.4.4 Analisis Lereng Dinding Penahan Tanah Dengan Beban Gempa	81
5.5 Analisis Lereng Menggunakan Perkuatan Sheet Pile Baja	84
5.5.1 Perhitungan Kedalaman dan Profil Sheet Pile Baja	84
5.5.2 Pemodelan Sheet Pile Baja Pada Plaxis	89
5.5.3 Analisis Lereng Sheet Pile Baja Tanpa Beban Gempa	89
5.5.4 Analisis Lereng Sheet Pile Baja Dengan Beban Gempa	93
5.6 Pembahasan	96
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	99
6.1 Kesimpulan	99
6.2 Saran	99
DAFTAR PUSTAKA	101
LAMPIRAN	103

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Sekarang	8
Tabel 3.1 Nilai Permeabilitas Tanah	12
Tabel 3.2 Nilai Kohesi	12
Tabel 3.3 Nilai Sudut Geser Dalam	13
Tabel 3.4 Nilai Perkiraan Modulus Elastisitas Tanah	13
Tabel 3.5 Hubungan Antara Jenis Tanah dan <i>Poisson's Ratio</i>	14
Tabel 3.6 Nilai Faktor Keamanan Untuk Perancangan Lereng	24
Tabel 3.7 Hubungan Nilai Faktor Keamanan dengan Intensitas Longsor	24
Tabel 5.1 Data Tanah	54
Tabel 5.2 Beban Lalu Lintas	55
Tabel 5.3 Data Irisan Pada Tanah Lapis 1	63
Tabel 5.4 Data Irisan Pada Tanah Lapis 2	64
Tabel 5.5 Data Irisan Pada Tanah Lapis 3	64
Tabel 5.6 Hasil Perhitungan Tanah Lapis 1	65
Tabel 5.7 Hasil Perhitungan Tanah Lapis 2	66
Tabel 5.8 Hasil Perhitungan Tanah Lapis 3	66
Tabel 5.9 Hasil Rekapitulasi Gaya vertikal dan Momen	70
Tabel 5.12 Rekapitulasi Perhitungan Nilai Momen	87
Tabel 5.13 Rekapitulasi Hasil Analisis Lereng	98

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.2 Lokasi Longsor Sta. 8+207	2
Gambar 3.1 Sistem Klasifikasi Tanah Berdasarkan USCS	15
Gambar 3.2 Sistem Klasifikasi Tanah Berdasarkan AASHTO	16
Gambar 3.3 Kelongsoran Lereng	17
Gambar 3.4 Kelongsoran Translasi	18
Gambar 3.5 Kelongsoran Rotasi	18
Gambar 3.6 Tekanan Tanah Lateral Aktif	21
Gambar 3.7 Tekanan Tanah Lateral Pasif	22
Gambar 3.8 Gaya Yang Bekerja Pada Irisan	25
Gambar 3.9 Dinding Penahan Tanah Tipe Kantilever	28
Gambar 3.10 Perencanaan Dimensi Dinding Penahan Tanah Kantilever	29
Gambar 3.11 Tekanan Tanah Lateral <i>Sheet Pile</i> Pada Tanah Granuler	35
Gambar 3.12 Tekanan Tanah Lateral <i>Sheet Pile</i> Pada Kohesif	36
Gambar 3.13 Profil U- <i>Sheet Pile</i>	37
Gambar 3.14 Data Profil U- <i>Sheet Pile</i>	38
Gambar 4.1 Kotak Dialog <i>Create/Open Project</i>	42
Gambar 4.2 Tab Project dari Jendela <i>General Setting</i>	42
Gambar 4.3 Tab Dimension dari Jendela <i>Grid</i>	43
Gambar 4.4 Lembar <i>Tab General</i> dari Jendela <i>Material Sets</i>	45
Gambar 4.5 Lembar <i>Tab Parameters</i> dari Jendela <i>Material Sets</i>	45
Gambar 4.6 Jaringan Elemen Hingga (<i>Meshing</i>)	46
Gambar 4.7 Tegangan Awal Pada Geometri	46
Gambar 4.8 Jendela <i>Calculations</i> dengan Lembar <i>Tab General</i>	47
Gambar 4.9 Pemilihan Titik Kurva yang Ditinjau	47
Gambar 4.10 Bagan Alir Penelitian	49
Gambar 4.11 Bagan Alir Pemodelan Lereng	50
Gambar 5.1 Lokasi Uji Tanah	52
Gambar 5.2 Data <i>Bore Hole 2</i>	53

Gambar 5.3	Pemodelan Lereng	54
Gambar 5.4	Peta Zonasi Gempa Indonesia	56
Gambar 5.5	Peta Zonasi Gempa Gempa Daerah Irigasi Gondang	57
Gambar 5.6	Data Profil U- <i>Sheet Pile</i>	58
Gambar 5.7	Permodelan Lereng Asli	59
Gambar 5.8	<i>Deformed Mesh</i> Lereng Asli	59
Gambar 5.9	<i>Effective Stress</i> Lereng Asli	60
Gambar 5.10	Arah Pergerakan Tanah Lereng Asli	61
Gambar 5.11	<i>Total Displacement</i> Tanah Lereng Asli	61
Gambar 5.12	Tahap Perhitungan Analisis Lereng Asli	62
Gambar 5.13	Irisan Lereng Tanah Asli	63
Gambar 5.14	Dinding Penahan Tanah	68
Gambar 5.15	Gaya Vertikal Pada Dinding Penahan Tanah	69
Gambar 5.16	Tekanan Tanah Lateral Aktif Dan Pasif	70
Gambar 5.17	Pemodelan Dinding Penahan Tanah Kantilever	77
Gambar 5.18	<i>Deformed Mesh</i> Lereng DPT Tanpa Beban Gempa	78
Gambar 5.19	<i>Effective Stress</i> Lereng DPT Tanpa Beban Gempa	78
Gambar 5.20	Arah Pergerakan Tanah Lereng DPT Tanpa Beban Gempa	79
Gambar 5.21	<i>Total Displacement</i> Lereng DPT Tanpa Beban Gempa	80
Gambar 5.22	Nilai Angka Keamanan Lereng DPT Tanpa Beban Gempa	80
Gambar 5.23	<i>Deformed Mesh</i> Lereng DPT Dengan Beban Gempa	81
Gambar 5.24	<i>Effective Stress</i> Lereng DPT Dengan Beban Gempa	82
Gambar 5.25	Arah Pergerakan Tanah Lereng DPT Dengan Beban Gempa	82
Gambar 5.26	<i>Total Displacement</i> Lereng DPT Dengan Beban Gempa	83
Gambar 5.27	Nilai Angka Keamanan Lereng DPT Dengan Beban Gempa	83
Gambar 5.28	Diagram Tekanan Lateral Tanah	84
Gambar 5.29	Permodelan Dua Dimensi <i>Sheet Pile</i>	89
Gambar 5.30	<i>Deformed Mesh Sheet Pile</i> Baja Tanpa Beban Gempa	90
Gambar 5.31	<i>Effective Stress Sheet Pile</i> Baja Tanpa Beban Gempa	90
Gambar 5.32	Arah Pergerakan Lereng <i>Sheet Pile</i> Tanpa Beban Gempa	91
Gambar 5.33	<i>Total Displacement Sheet Pile</i> Baja Tanpa Beban Gempa	92

Gambar 5.34 Nilai Angka Keamanan <i>Sheet Pile</i> Baja Tanpa Beban Gempa	92
Gambar 5.35 <i>Deformed Mesh Sheet Pile</i> Baja Dengan Beban Gempa	93
Gambar 5.36 <i>Effective Stress n Sheet Pile</i> Baja Dengan Beban Gempa	94
Gambar 5.37 Arah Pergerakan Tanah <i>Sheet Pile</i> Baja Dengan Beban Gempa	94
Gambar 5.38 <i>Total Displacement</i> Tanah <i>Sheet Pile</i> Baja Dengan Beban Gempa	95
Gambar 5.39 Nilai Angka Keamanan <i>Sheet Pile</i> Baja Dengan Beban Gempa	96



DAFTAR LAMPIRAN

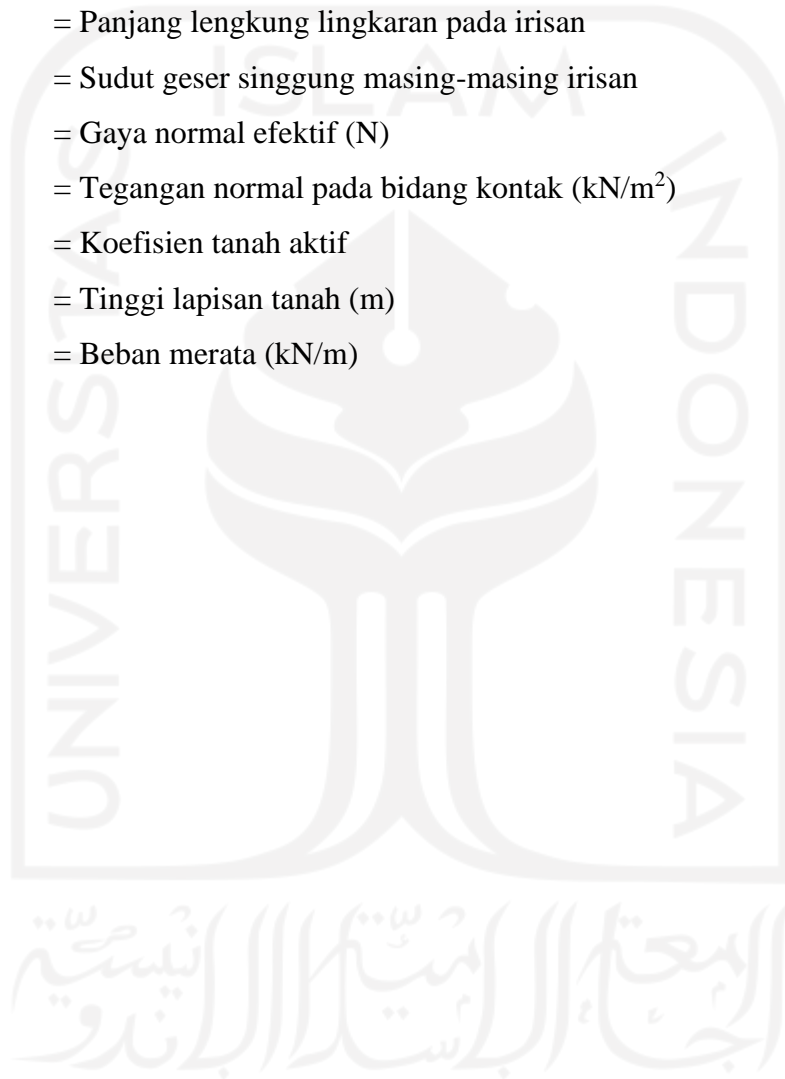
Lampiran 1 Gambar Geometri Daerah Longsoran	104
Lampiran 2 Gambar Potongan Melintang Lereng	105
Lampiran 3 Data Tanah Hasil Uji Laboratorium	106
Lampiran 4 Data Uji <i>Log Bore</i> BH-2	107



DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

cm	= Centimeter
m	= Meter
mm	= Milimeter
γ_b	= Berat Volume Tanah (kN/m^3)
γ_{sat}	= Berat Volume Tanah jenuh (kN/m^3)
FK	= Faktor Keamanan
N	= Newton
kN	= Kilo Newton
Mpa	= Mega Pascal
%	= Persen
D	= Diameter (m)
S	= Jarak (m)
L	= Panjang (m)
SF	= <i>Safety Factor</i>
τ_f	= Kuat Geser Tanah (kN/m^2)
τ_d	= Tegangan geser yang terjadi sepanjang bidang runtuh (kN/m^2)
m^2	= Meter persegi
c	= Kohesi (kN/m^2)
ϕ	= Sudut geser dalam ($^\circ$)
v	= <i>Poissons ratio</i>
e	= Modulus young (kN/m^2)
k	= Koefisien permeabilitas (cm/sec)
g	= Modulus geser (N/m^2)
σ	= Tegangan normal (kN/m^2)
σ'_f	= Tegangan normal efektif saat terjadi keruntuhan (kN/m^2)
τ'_f	= Tegangan geser efektif saat terjadi keruntuhan (kN/m^2)
u	= Tekanan air pori

R	= Jari-jari lingkaran bidang longsor (m)
n	= Jumlah irisan
W_i	= Berat massa tanah irisan ke- i
N_i	= Resultan gaya normal efektif yang bekerja sepanjang dasar irisan
θ_i	= Sudut yang didefinisikan ($^\circ$)
a_i	= Panjang lengkung lingkaran pada irisan
α	= Sudut geser singgung masing-masing irisan
N'	= Gaya normal efektif (N)
σ_v	= Tegangan normal pada bidang kontak (kN/m^2)
K_a	= Koefisien tanah aktif
H	= Tinggi lapisan tanah (m)
q	= Beban merata (kN/m)



ABSTRAK

Penilaian Indeks Kinerja Sistem Irigasi untuk Daerah Irigasi Gondang yang terletak pada Kabupaten Lamongan, Jawa Timur sebesar 56,51% yang di dapatkan dari EPAKSI(Elektronik Pengelolaan Aset dan Kinerja Sistem Irigasi). Dari nilai tersebut perlu adanya rehabilitasi pada Daerah Irigasi Gondang pada tahun 2021. Pada hasil survei di temukan beberapa kerusakan, salah satunya terjadinya longsor dengan ketinggian 4,5 meter di Sta 8+207 dekat bangunan BG10c. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui nilai angka aman lereng dan penurunan dengan menggunakan program *plaxis*.

Penelitian ini menganalisis lereng asli yang akan diberi perkuatan Dinding Penahan Tanah Kantilever dan *Sheet Pile* Baja dengan bantuan program *plaxis*. Sehingga mendapatkan nilai angka aman dari perkuatan yang dilakukan.

Hasil analisis yang dilakukan pada lereng asli yang menggunakan program *plaxis* terjadi *soil body collapses*, sehingga untuk mengetahui nilai angka aman digunakan metode *fellinius* dengan nilai angka aman sebesar 0,841. Hasil analisis perkuatan lereng menggunakan perkuatan Dinding Penahan Tanah Kantilever pada program *plaxis* tanpa beban gempa sebesar 1.976 dan dengan beban gempa sebesar 1.746 dan nilai penurunan 0.014 meter. Sedangkan hasil analisis lereng dengan perkuatan *Sheet Pile* Baja pada program *plaxis* tanpa beban gempa sebesar 1.561 dan dengan beban gempa sebesar 1.495 dan nilai penurunan 0.01919 meter.

Kata Kunci : Angka Aman, Dinding Penahan Tanah, *Sheet Pile* Baja, *Plaxis*.

ABSTRACT

The assessment of the Irrigation System Performance Index for the Gondang Irrigation Area located in Lamongan Regency, East Java was 56.51% which was obtained from EPAKSI (Electronic Asset Management and Irrigation System Performance). From this value, it is necessary to rehabilitate the Gondang Irrigation Area in 2021. The survey results found some damage, one of which was a landslide with a height of 4.5 meters at Sta 8+207 near the BG10c building. The purpose of this study was to determine the value of the safe number of slopes and settlements using the Plaxis program.

This study analyzes the original slope that will be reinforced with Cantilever Retaining Walls and Steel Sheet Piles with the help of the Plaxis program. So that it gets a safe number value from the reinforcement carried out.

The results of the analysis carried out on the original slope using the Plaxis program occurred soil body collapses, so to determine the safe value value, the fellinius method was used with a safe value of 0.841. The results of the analysis of slope reinforcement using Cantilever Retaining Wall reinforcement in the Plaxis program without an earthquake load of 1.976 and with an earthquake load of 1.746 and a settlement value of 0.014 meters. While the results of the slope analysis with Steel Sheet Pile reinforcement in the Plaxis program without earthquake loads are 1.561 and with earthquake loads are 1.495 and the decrease value is 0.01919 meters.

Keywords: Safe Number, Retaining Wall, Steel Sheet Pile, Plaxis.

BAB I

PENDAHULAN

1.1 Latar Belakang

Kabupaten Lamongan merupakan salah satu kabupaten yang berada pada wilayah Provinsi Jawa Timur yang khas akan kulinernya. Secara geografis Kabupaten Lamongan terletak antara 6°51'54" sampai dengan 7°23'6" lintang selatan dan antara 112°4'41" sampai dengan 112°33'12" bujur timur dan memiliki luas wilayah ± 181.280 km². Daerah Kabupaten Lamongan dibagi oleh Sungai Begawan Solo yang mengalir dari barat ke timur dan sebelah utara merupakan daerah pesisir pantai, sehingga potensi pertanian dan perikanan pada Kabupaten Lamongan cukup tinggi pada Provinsi Jawa Timur.

Penggunaan lahan untuk pertanian pada Kabupaten Lamongan lebih besar dari pada daerah pemukiman dan infrastruktur, sehingga Kabupaten Lamongan termasuk pada daerah agraris. Berdasarkan data Dinas Pertanian Kabupaten Lamongan tahun 2020 luas area tanaman pangan yang digunakan untuk pertanian sebesar 221.369 Ha. Dengan luas lahan tersebut Kabupaten Lamongan dapat menghasilkan berbagai kebutuhan pangan seperti padi, jagung, kacang tanah, kedelai dan tumbuhan palawija lainnya. Supaya terpenuhinya kebutuhan air pada lahan pertanian yang luas di Kabupaten Lamongan memiliki salah satu sumber air yaitu Bendungan Gondang.

Berdasarkan data pembangunan Bendungan Gondang memiliki luas genangan pada elevasi muka air normal adalah 413,93 Ha, dengan volume tampungan sebesar 20,99 juta m³. Daerah Irigasi Gondang merupakan salah satu bagian pendukung keberhasilan Kabupaten Lamongan dalam ketahanan pangan, yang memiliki total panjang saluran pada jaringan irigasi sepanjang 119.685 km. Kebutuhan air irigasi pada lahan pertanian Kabupaten Lamongan dari tahun ke tahun terus meningkat, berbanding terbalik dengan kinerja atau fungsi Daerah Irigasi Gondangan yang menurun dari tahun ke tahun. Dari hasil penilaian Indeks

Kinerja Sistem Irigasi yang dilihat dari Elektronik Pengelolaan Aset dan Kinerja Sistem Irigasi tahun 2019 untuk Daerah Irigasi Gondang didapatkan nilai sebesar 56,51%. Hal tersebut disebabkan oleh kerusakan dan terganggunya saluran irigasi dalam mengalir air ke lahan pertanian.

Salah satu kerusakan yang terjadi adalah longsor pada Daerah Irigasi Gondang terletak di Sta. 8+207 dekat bangunan bagi BG10c dengan ketinggian lereng 4,5 meter. Longsor yang terjadi karena tanah dalam kondisi labil. Longsor menyebabkan terganggu aktivitas masyarakat dan bisa membahayakan masyarakat yang akan menggunakan jalan tersebut serta dapat merusak jaringan irigasi Gondang. Berikut gambar titik longsor yang terjadi pada Daerah Irigasi Gondang dapat dilihat pada Gambar 1.1 dibawah ini.



Gambar 1.1 Lokasi Longsor Sta. 8+207

(Sumber: Citra Satelit *Google Earth*, 2020)

Perkuatan tanah perlu dilakukan dalam menyelesaikan dan mengatasi kelongsoran yang terjadi pada Daerah Irigasi Gondang, seperti pembangunan dinding penahan tanah kantilever dan *sheet pile* baja. Dinding penahan tanah kantilever dan *sheet pile* baja merupakan salah satu bentuk perkuatan tanah pada lereng yang berfungsi untuk menstabilkan tanah pada daerah lereng. Dalam menganalisis nilai angka aman pada lereng menggunakan dinding penahan tanah

dan *sheet pile* baja dengan menggunakan aplikasi komputer *Plaxis*. Sehingga pemodelan penggunaan perkuatan lereng yang didapatkan menghasilkan analisis yang efektif.

1.2 Rumusan Masalah

Berikut ini merupakan rumusan masalah yang diteliti, berdasarkan latar belakang yang telah dijabarkan di atas, sebagai berikut ini.

1. Bagaimana stabilitas lereng asli ?
2. Bagaimana stabilitas perkuatan lereng menggunakan dinding penahan tanah kantilever ?
3. Bagaimana stabilitas perkuatan lereng menggunakan *sheet pile* baja?
4. Berapa besarnya penurunan pada lereng asli, lereng dengan perkuatan dinding penahan tanah dan *sheet pile*.

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian yang diperoleh berdasarkan rumusan masalah yang diteliti adalah sebagai berikut ini.

1. Mengetahui nilai *safety factor* (SF) lereng pada lereng asli dengan *Plaxis* dan metode *Fellenius*.
2. Mengetahui nilai *safety factor* (SF) lereng dengan perkuatan dinding penahan tanah kantilever menggunakan program *Plaxis*.
3. Mengetahui nilai *safety factor* (SF) lereng dengan perkuatan *Sheet Pile* baja menggunakan program *Plaxis*.
4. Mengetahui besarnya penurunan pada lereng asli, lereng dengan perkuatan dinding penahan tanah dan *sheet pile*.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian yang dilakukan sebagai berikut ini.

1. Mengembangkan pengetahuan mengenai metode perkuatan tanah yang dilakukan pada tanah lereng.
2. Menambah pengetahuan tentang cara mengoperasikan program *Plaxis* dalam melakukan analisis perkuatan tanah pada lereng.

3. Mengetahui perbandingan perkuatan tanah antara dinding penahan tanah kantilever dengan *sheet pile* baja.

1.5 Batasan Penelitian

Batasan-batasan masalah dalam penelitian ini diperlukan agar lebih terarah dan tercapainya tujuan penelitian. Berikut merupakan batasan penelitian sebagai berikut ini.

1. Lereng yang ditinjau berada pada Daerah Irigasi Gondang Sta. 8+207.
2. Data tanah asli menggunakan data dari Laporan *Soil Investigation* 2021 Daerah Irigasi Gondang.
3. Metode analisis dan permodelan perkuatan tanah menggunakan program *Plaxis* 8.6.
4. Perkuatan tanah yang digunakan adalah jenis dinding penahan tanah kantilever dan *sheet pile* baja.
5. Penelitian yang dilakukan hanya meneliti angka aman lereng asli dan setelah diperkuat menggunakan dinding penahan tanah kantilever dan *sheet pile* baja serta membandingkan hasil perhitungan dengan menggunakan program *Plaxis*.
6. Pembebanan mengacu pada persyaratan perancangan geoteknik SNI 8460:2017 .
7. Beban lalu lintas mengacu pada UU No.38/2004 dan PP No.34/2006
8. Faktor gempa yang digunakan yaitu faktor gempa yang berada pada Daerah Irigasi Gondang di Lamongan, Jawa Timur yang diambil dari web Kementerian PUPR (rsa.ciptakarya.pu.go.id, 2021).
9. Jenis dinding penahan tanah menggunakan beton bertulang dengan tipe Kantilever dan *sheet pile* baja memakai tipe *Profil U-Sheet Pile*.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Perkuatan Lereng Dengan Dinding Kantilever Dan *Sheet Pile*

Hadiyanto (2018) melakukan penelitian tentang analisis stabilitas lereng dengan perkuatan dinding kantilever dan sheetpile pada Bantaran Sungai Code. Tujuan untuk mengetahui faktor aman (SF) dari lereng eksisting, perkuatan kantilever dan perkuatan sheet pile menggunakan program Geoslope/w dan mengetahui pergerakan tanah pada kedua variasi perkuatan tersebut dengan pembandingan pada saat terjadi gempa dan no gempa menggunakan program Sigma/w. Berdasarkan hasil penelitian diperoleh faktor aman (SF) lereng eksisting $< 1,5$ dan setelah melakukan perkuatan lereng dengan perkuatan kantilever memiliki nilai $>1,5$ serta dengan perkuatan sheet pile $> 1,5$ yang berarti aman terhadap kelongsoran.

Nirtanti (2019) melakukan penelitian tentang menganalisis perkuatan tanah dengan menggunakan dinding penahan tanah beton bertulang dan dinding turap baja dengan program *Plaxis* 8.6 pada Sungai Pabelan. Tujuan dari penelitian ini untuk menganalisis stabilitas struktur dengan mencari angka keamanan lereng menggunakan *plaxis* 8.6 dan perhitungan manual pada Sta +100 di Sungai Pabelan. Hasil analisis stabilitas lereng asli akan diperkuat dengan menggunakan dinding penahan tanah beton bertulang faktor keamanan $>1,5$ dan turap baja memiliki faktor keamanan $>1,5$ yang berarti aman terhadap kelongsoran.

Kurniawan (2019) melakukan penelitian bermaksud untuk menganalisis stabilitas dinding penahan tanah dan *sheet pile* baja pada lereng jalan Tol Balikpapan-Samarinda Sta 2+850-3+050. Analisis stabilitas lereng menggunakan program *Plaxis* 8.6 untuk mengetahui nilai angka aman lereng pada kondisi sebelum dan sesudah menggunakan dinding penahan tanah tipe kantilever dan sheet pile baja. Hasil perhitungan nilai angka aman pada lereng dengan timbunan asli tidak didapatkan nilai angka aman, maka digunakan perkuatan lereng dengan

dinding penahan tanah memiliki nilai aman $>1,25$ dan *sheet pile* baja memiliki nilai Angka aman $> 1,25$, maka lereng aman terhadap keruntuhan.

2.2 Perkuatan Lereng Dengan Dinding Penahan Tanah

Prasetyo (2020) melakukan penelitian tentang analisis stabilitas dinding penahan tanah kantilever pada lereng Jalan Ponorogo-Trenggalek stasiun 23+600 menggunakan program *plaxis*. Tujuan penelitian adalah untuk mengetahui angka aman lereng tanpa perkuatan dan setelah diberi perkuatan dinding penahan tanah kantilever yang diharapkan dapat menahan gaya lateral yang terjadi. Hasil nilai angka aman $> 1,25$ setelah dilakukan perkuatan dinding penahan tanah, maka lereng aman terhadap keruntuhan.

2.3 Perkuatan Lereng Dengan *Sheet Pile*

Kartikasari (2018) melakukan penelitian menganalisis stabilitas lereng galian dengan *sheet pile* pada proyek pembangunan Jalan Tol Semarang-Solo ruas Salatigakartasura. Penelitian yang dilakukan untuk melihat faktor keamanan lereng dan faktor lain yang mempengaruhi stabilitas lereng galian tersebut. Analisis stabilitas lereng dilakukan dengan menggunakan software Plaxis versi 8.6 dan diperjelas dengan perhitungan manual menggunakan metode Fellenius. Jenis perkuatan tanah yang digunakan adalah *sheet pile* yang divariasikan dengan counterweight untuk mendapatkan hasil perkuatan tanah yang optimal. Hasil dari analisis yang dilakukan menunjukkan bahwa pemodelan trial 1 dan 2 aman dari kelongsoran karena nilai SF lebih besar dari 1,25.

2.4 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang akan Dilakukan Sekarang

Perbandingan antara penelitian yang akan dilakukan dengan beberapa penelitian yang telah dilakukan seperti penelitian diatas, dapat dilihat pada Tabel 2.1 sebagai berikut.

Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang akan Dilakukan Sekarang

Penelitian Terdahulu						Penelitian yang Dilakukan
Peneliti	Prasetyo (2020)	Kartikasari (2018)	Hediyanto (2018)	Kurniawan (2019)	Nurtanti (2019)	Alhadis (2022)
Judul Penelitian	Analisis Stabilitas Dinding Penahan Tanah Kantilever Pada Lereng Jalan Ponorogo-Trenggalek Stasiun 23+600 Menggunakan Program Plaxis.	Analisis Stabilitas Lereng Galian Dengan Sheet Pile Pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Semarang-Solo Ruas Salatigakartasura.	Analisis Stabilitas Lereng dengan Perkuatan Dinding Kantilever dan <i>Sheetpile</i> pada Bantaran Sungai Code.	Analisis Stabilitas Dinding Penahan Tanah Dan Sheet Pile Baja Pada Lereng Jalan Tol Balikpapan – Samarinda Sta 2+850 – 3+050.	Analisis Perkuatan Tanah Dengan Menggunakan Dinding Penahan Tanah Beton Bertulang Dan Dinding Turap Baja Dengan Program Plaxis 8.6 Pada Sungai Pabelan.	Analisis Perkuatan Tanah Dengan Menggunakan Dinding Penahan Tanah Kantilever Dan <i>Sheet Pile</i> Baja Menggunakan <i>Plaxis</i> Pada Jalan Inspeksi Irigasi Gondang
Tujuan Penelitian	Mengetahui angka aman lereng tanpa perkuatan dan setelah diberi perkuatan dinding penahan tanah kantilever yang diharapkan dapat menahan gaya lateral yang terjadi.	Mengetahui nilai <i>safety factor</i> lereng pada galian dengan menggunakan perkuatan <i>sheet pile</i> yang divarisiakan menggunakan program <i>Plaxis</i> 8.6.	Mengetahui faktor aman (SF) dari lereng eksisting, perkuatan kantilever dan perkuatan <i>sheetpile</i> menggunakan program <i>Geoslope/W</i> .	Mengetahui nilai angka aman lereng pada kondisi sebelum dan sesudah menggunakan dinding penahan tanah tipe kantilever dan sheet pile baja.	Mengetahui stabilitas lereng dengan mencari angka kemanan menggunakan perkuatan dinding penahan tanah beton bertulang dan turap baja dengan program <i>Plaxis</i> dan manual.	Mengetahui nilai <i>safety factor</i> dari lereng dengan perkuatan dinding penahan tanah kantilever dan <i>sheet pile</i> baja menggunakan aplikasi <i>Plaxis</i> .

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang akan Dilakukan Sekarang

Penelitian Terdahulu						Penelitian yang Dilakukan
Peneliti	Prasetyo (2020)	Kartikasari (2018)	Hediyanto (2018)	Kurniawan (2019)	Nurtanti (2019)	Alhadis (2022)
Metode Penelitian	Analisa menggunakan Metode Elemen Hingga dan perhitungan manual dengan Metode Bishop.	Analisa menggunakan <i>software Plaxis</i> dan perhitungan manual menggunakan Metode <i>Fellenius</i> .	Analisa menggunakan program <i>Geoslope</i> untuk kestabilan lereng dengan perkuatan kantilever dan <i>Sheet pile</i> .	Analisa menggunakan <i>software Plaxis</i> untuk mengetahui nilai angka aman pada kondisi sebelum dan sesudah menggunakan perkuatan.	Analisa menggunakan program <i>Plaxis</i> dan Metode <i>Fellenius</i> perkuatan dinding penahan tanah dan turap baja.	Analisa menggunakan program <i>Plaxis</i> untuk mengetahui angka aman lereng dengan perkuatan dinding penahan tanah kantilever dan <i>sheet pile</i> baja.
Hasil Penelitian	Hasil perhitungan nilai angka aman yang didapatkan setelah menggunakan perkuatan sebesar 1,3529 dengan menggunakan program <i>Plaxis</i> 8.6.	Hasil analisis nilai SF dengan perkuatan <i>sheet pile</i> pada trial 1 1,586 sedangkan untuk trial 2 1,666 dengan beban gempa.	Faktor aman (SF) lereng dengan perkuatan <i>Sheet pile</i> akibat berat sendiri sebesar 2,726 dan akibat beban gempa sebesar 1,846.	Faktor keamanan pada hasil analisis menggunakan program <i>Plaxis</i> 8.6 diperkuat kantilever dengan beban gempa sebesar 1,9257.	Hasil angka aman lereng yang diperkuat dengan turap baja menggunakan <i>plaxis</i> didapatkan SF dengan gempa=1.3067 sedangkan dengan manual <i>fellenius</i> didapatkan SF =1.6953.	Hasil analisis angka aman lereng dengan perkuatan DPT tanpa beban gempa = 1.976 dan beban gempa = 1.746, sedangkan <i>sheet pile</i> tanpa gempa = 1.561 dan gempa = 1.495

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Tanah

Tanah adalah himpunan mineral dari berbagai bahan organik dan endapan – endapan yang relatif lepas (loose), yang terletak pada bagian atas batuan dasar (bedrock). Tanah berasal dari batuan induk yang mengalami pelapukan yang terjadi di permukaan bumi. Secara fisik proses pembentukan tanah yaitu mengubah batuan menjadi partikel-partikel yang lebih kecil, terjadi akibat pengaruh erosi, angin, air, es, manusia serta hancurnya partikel tanah akibat perubahan suhu atau cuaca. Proses kimia pembentukan tanah di pengaruhi oleh oksigen, karbondioksida, air (terutama yang mengandung asam atau alkali) dan proses-proses kimia yang lain. Batuan yang pelapukan yang menghasilkan tanah dan masih berada pada tempat asalnya disebut tanah residual, sedangkan tanah yang berpindah dari tempat pembentukannya disebut tanah terangkut (Hardiyatmo,2010).

3.1.1 Komponen Tanah

Tanah terbentuk dari butiran dengan bentuk yang bermacam-macam serta memiliki rongga-rongga udara yang disebut juga dengan pori-pori. Umumnya pori-pori pada tanah merupakan campuran dari udara dan air, namun dalam kondisi khusus hanya terdiri dari udara ataupun air saja. Persamaan perbandingan berat dan volume tanah dapat dilihat seperti berikut ini.

1. Berat Volume Kering

Berat volume kering merupakan perbandingan antara berat butiran dengan volume total tanah. Persamaan dari berat volume kering dinyatakan dengan Persamaan 3.1 berikut ini.

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V} \quad (3.1)$$

Keterangan:

γ_d = Berat Volume Kering

W_s = Berat Butiran

V = Volume Total Tanah

2. Berat Volume Tanah Kering Sempurna

Berat volume tanah kering sempurna (γ_{unsat}) merupakan berat volume tanah dalam keadaan kering sempurna yang dinyatakan dengan Persamaan 3.2 berikut.

$$\gamma_{\text{unsat}} = \frac{\gamma_w \cdot G_s}{1+e} \quad (3.2)$$

Keterangan :

γ_{unsat} = Berat Volume Tanah Kering Sempurna

γ_w = Berat Volume Air

G_s = Berat Jenis Tanah

e = Angka Pori

3. Berat Volume Tanah Jenuh

Berat volume tanah jenuh (γ_{sat}) merupakan berat volume tanah dalam keadaan jenuh yang dinyatakan dengan Persamaan 3.3 berikut ini.

$$\gamma_{\text{sat}} = \frac{\gamma_w (G_s + e)}{1+e} \quad (3.3)$$

Keterangan :

γ_{sat} = Berat Volume Tanah Jenuh

γ_w = Berat Volume Air

G_s = Berat Jenis Tanah

e = Angka Pori

4. Permeabilitas

Permeabilitas merupakan sifat bahan berpori yang terjadinya aliran rembesan dari air melewati rongga pori. Air melewati rongga pori dari tekanan tinggi ke tekanan yang lebih rendah. Pada buku Mekanika Tanah 1, menurut Das

(1993) nilai dari permeabilitas pada jenis-jenis tanah dapat dilihat pada Tabel 3.1 sebagai berikut.

Tabel 3.1 Nilai Permeabilitas Tanah

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

(sumber : Mekanika Tanah 1, 2012)

5. Kohesi

Menurut Carter dan Bentley (1991) korelasi nilai-nilai kohesi pada keadaan dilapangan dari berbagai jenis tanah dapat dilihat pada Tabel 3.2 sebagai berikut.

Tabel 3.2 Nilai Kohesi

No	Description	Cohesion (kPa)
1	Silty gravels, silty sandy gravels	0
2	Clayey gravels, clayey sandy gravels	20
3	Silty sands	22
4	Silty sands compacted	20
5	Clayey sands	5
6	Clayey sands compacted	74
7	Inorganic silt, silty or clayey fine sands, with slight plasticity	7
8	Inorganic clays	11
9	Peat and other highl organic soils	-

(Sumber : Carter dan Bentley,1991)

6. Sudut Geser Dalam

Berdasarkan Carter dan Bentley (1991) korelasi nilai-nilai sudut geser lereng yang disarankan pada keadaan asli dari berbagai jenis tanah dapat dilihat pada Tabel 3.3 sebagai berikut.

Tabel 3.3 Nilai Sudut Geser Dalam

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

(Sumber : Carter dan Bentley,1991)

7. Modulus Elastis

Nilai modulus menunjukkan besarnya nilai elastisitas tanah yang merupakan perbandingan antara tegangan yang terjadi terhadap regangan. Nilai ini bisa didapatkan dari *Triaxial Test*. Nilai modulus elastisitas (E_s) secara empiris dapat ditentukan dari jenis tanah dan data sondir seperti pada Tabel 3.4 berikut ini.

Tabel 3.4 Nilai Perkiraan Modulus Elastisitas Tanah

Jenis Tanah	E_s (kg/cm ²)
Lempung	
Sangat Lunak	3 – 30
Lunak	20 – 40
Sedang	45 – 90
Keras	70 – 200
Berpasir	300 – 425
Pasir	
Berlanau	50 – 200
Tidak Padat	100 – 250
Padat	500 – 1000
Pasir dan Kerikil	
Padat	800 – 2000
Tidak Padat	500 – 1400
Lanau	20 – 200
Loses	150 – 600
Cadas	1400 – 14000

(Sumber: Bowles, 1977)

8. *Poisson's Ratio*

Nilai *poisson's ratio* ditentukan sebagai rasio kompresi poros terhadap regangan pemuaian lateral. Nilai *poisson's ratio* dapat ditentukan berdasarkan jenis tanah seperti yang terlihat pada Tabel 3.5 di bawah ini.

Tabel 3.5 Hubungan Antara Jenis Tanah dan *Poisson's Ratio*

Jenis Tanah	<i>Poisson's Ratio</i> (μ)
Lempung jenuh	0,4 – 0,5
Lempung tak jenuh	0,1 – 0,3
Lempung berpasir	0,2 – 0,3
Lanau	0,3 – 0,35
Pasir padat	0,2 – 0,4
Pasir kasar ($e = 0,4 - 0,7$)	0,15
Pasir halus ($e = 0,4 - 0,7$)	0,25
Batu	0,1 – 0,4
Loses	0,1 – 0,3

(Sumber: Bowles, 1977)

9. Sudut Dilatasi

Sudut dilatasi tergantung pada kerapatan dan sudut geser nya. Pada umumnya sudut dilatasi yaitu 30° . Pada tanah pasir biasanya sudut dilatasinya 0° . Untuk tanah lain sudut dilatasi dapat dilihat pada Persamaan 3.4 dibawah ini.

$$\Psi = \phi - 30^\circ \quad (3.4)$$

3.1.2 Klasifikasi Tanah

Klasifikasi tanah memiliki tujuan untuk membagi tanah menjadi beberapa golongan. Tanah dibagi berdasarkan sifat yang serupa dan sesuai penggunaannya kedalam kelompok-kelompok yang di sebut sistem klasifikasi tanah. Dalam perancangan sistem klasifikasi tanah sangat bermanfaat dalam memberikan pengarahannya dengan cara empiris yang ada dari hasil yang pernah dilakukan. Sistem klasifikasi tanah yang paling sering digunakan sebagai hasil pengembangan adalah sebagai berikut ini.

1. Sistem Klasifikasi Tanah *Unified Soil Classification System (USCS)*

Sistem USCS melakukan klasifikasi tanah kedalam tanah berbutir kasar yang kurang dari 50% lolos saringan nomor 200 sedangkan tanah berbutir halus yang lebih dari 50% lolos saringan nomor 200. Pengelompokkan tanah dalam sistem klasifikasi USCS dapat dilihat pada Gambar 3.1 berikut ini.

Prosedur Klasifikasi			Symbol	Nama Jenis	Identifikasi Lab
Tanah Berbutir Kasar (Lebih dari 50% tertahan pada ayakan No. 200 / Ø 0.075 mm)	Kerikil (lebih dari 50% tertahan pada ayakan No. 4 / Ø 4.75 mm)	Kerikil Murni (Tanpa - sedikit butir halus)	GW	Kerikil bergradasi baik, kerikil bercampur sedikit pasir tanpa / tak ada butiran halus	CU = D ₆₀ /D ₁₀ = 1 - 4 CC = D ₃₀ ² /D ₁₀ = 1-3
		Kerikil Berbutir Halus (Terdapat sejumlah butir halus)	GP	Kerikil bergradasi buruk, kerikil bercampur pasir mengandung sedikit butira halus	Tidak memenuhi syarat CU maupun CC untuk GW
		Kerikil Berlempung, kerikil mengandung pasir dan lempung bergradasi buruk	GM	Kerikil berlanau, kerikil mengandung pasir - lanau bergradasi buruk	Indek Plastisitas kurang dari 7
		Kerikil berlempung, kerikil mengandung pasir dan lempung bergradasi buruk	GC	Indek Plastisitas lebih dari 7	
	Pasir (lebih dari 50% lolos pada ayakan No. 4 / Ø 4.75 mm)	Pasir Bersih (Tanpa / sedikit butir halus)	SW	Pasir bergradasi baik, Pasir dengan sedikit pasir tanpa butiran halus	CU = D ₆₀ /D ₁₀ ≥ 6 CC = D ₃₀ ² /D ₁₀ = 1-3
		Pasir Berbutir Halus (Terdapat sejumlah butir halus)	SP	Pasir bergradasi buruk, dengan sedikit butir halus	Tidak memenuhi syarat CU maupun CC SW
		Pasir berlanau, pasir bercampur lanau lanau bergradasi buruk	SM	Indeks Plastisitas lebih dari 7 Ratio indeks plastisitas PI dan batas cair LL < 2.25	
		Pasir berlempung, pasir bercampur lempung bergradasi buruk	SC	Indeks plastisitas lebih dari 7 Ratio indeks plastisitas PI dan batas cair LL > 2.25	

Gambar 3.1 Sistem Klasifikasi Tanah Berdasarkan USCS

(sumber : Hardiyatmo, 2012)

2. Sistem Klasifikasi Tanah *American Association of State Highway and Transportation Official (AASHTO)*

Sistem klasifikasi tanah AASHTO bedasarkan kriteria ukuran butiran dan plastisitas sehingga dalam pengklasifikasikan tanah melakukan pengujian analisis saringan tanah. Sistem ini mengelompokkan tanah menjadi 7 kelompok, A-1 sampai A-7 termasuk dalam subkelompok. Tanah yang masuk kelompok A-1 sampai A-3 di klasifikasikan sebagai tanah granuler dan A-4 sampai A-7 merupakan tanah lempung sampai lanau. Secara detailnya sistem

klasifikasi tanah berdasarkan AASHTO dapat dilihat pada Gambar 3.2 sebagai berikut.

TABLE 3-6 Classification of Soils and Soil-Aggregate Mixtures*

General Classification	Granular Materials (35% or less passing 0.075 mm)							Silt-Clay Materials (More than 35% passing 0.075 mm)			
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5 A-7-6
Group classification	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				
Sieve analysis, percent passing:											
2.00 mm (No. 10)	50 max.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0.425 mm (No. 40)	30 max.	50 max.	51 min.	—	—	—	—	—	—	—	—
0.075 mm (No. 200)	15 max.	25 max.	10 max.	35 max.	35 max.	35 max.	35 max.	36 min.	36 min.	36 min.	36 min.
Characteristics of fraction passing 0.425 mm (No. 40):											
Liquid limit	—	—	—	40 max.	41 min.	40 max.	41 min.	40 max.	41 min.	40 max.	41 min.
Plasticity index	6 max.	—	NP	10 max.	10 max.	11 min.	11 min.	10 max.	10 max.	11 min.	11 min.
Usual types of significant constituent materials	Stone fragments, gravel, and sand		Fine sand	Silty or clayey gravel and sand				Silty soils		Clayey soils	
General rating as subgrade	Excellent to good							Fair to Poor			

*© American Association of State Highway and Transportation Officials, 1978. Used by permission.

† Plasticity index of A-7-5 subgroup is equal to or less than LL minus 30. Plasticity index of A-7-6 subgroup is greater than LL minus 30 (see Fig. 3.5).

Gambar 3.2 Sistem Klasifikasi Tanah Berdasarkan AASHTO

(sumber : Hardiyatmo,2012)

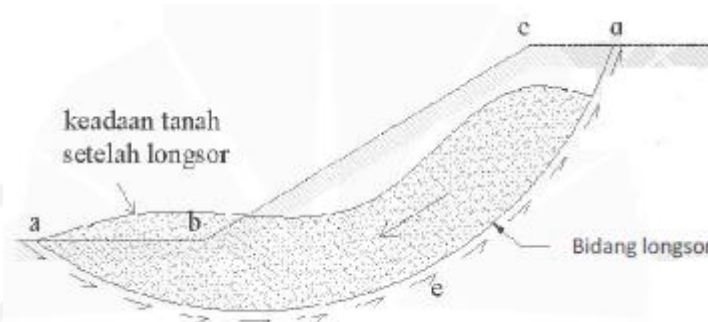
3.2 Lereng dan Kelongsoran

Lereng diartikan sebagai suatu permukaan tanah yang miring terhadap suatu bidang horizontal sehingga memiliki sudut tertentu. Lereng terbentuk secara alami oleh proses geologi yang terjadi dan juga dapat terbentuk karena aktivitas manusia untuk tujuan tertentu. Dari segi bentuknya Menurut Wesley (1977) membagi lereng menjadi 3 sebagai berikut.

1. Lereng alam merupakan lereng yang terbentuk akibat kegiatan alam seperti erosi, gerakan tektonik dan sebagainya.
2. Lereng yang dibuat manusia yang disebabkan dari aktivitas penggalian atau pemotongan pada tanah asli.
3. Lereng timbunan tanah, seperti pada urugan untuk jalan.

Lereng tidak jauh dari kata longsor, yang mana kelongsoran diakibatkan oleh gaya-gaya yang terjadi pada tanah sehingga mendorong tanah yang cenderung bergerak ke arah bawah dan lereng tidak dapat menahan gaya yang bekerja. Kelongsoran dapat dicegah jika gaya dorong tidak melebihi gaya perlawanan yang

berasal dari tahanan geser tanah pada area bidang kelongsoran seperti Gambar 3.3 dibawah ini.



Gambar 3.3 Kelongsoran Lereng

(Sumber: Hardiyatmo 2012)

Menurut Hardiyatmo (2012) ada beberapa hal penyebab terjadinya kelongsoran seperti berikut ini.

1. Bertambahnya beban pada lereng. Penambahan beban dapat berupa bangunan baru dan beban air yang masuk ke pori-pori tanah serta beban dinamis oleh tumbuhan yang tertiup angin dan sebagainya.
2. Aktivitas yang mempertajam kemiringan lereng.
3. Penggalian tanah pada kaki lereng.
4. Perubahan muka air secara cepat pada bendungan, sungai dan lainnya.
5. Gempa bumi
6. Naiknya tekanan tanah lateral oleh air yang mengisi celah yang mendorong tanah ke arah lateral.
7. Penurunan tahanan geser tanah pembentuk lereng oleh akibat kenaikan kadar air, kenaikan tekanan air pori, tekanan rembesan oleh genangan air di dalam tanah, tanah pada lereng mengandung lempung yang mudah kembang susut dan lain-lain.

Kelongsoran yang terjadi dibagi menjadi beberapa jenis kelongsoran (Hardiyatmo,2012), seperti berikut ini.

1. Kelongsoran Translasi

Kelongsoran ini merupakan gerakan di dikontinuitas atau bidang lemah yang secara pendekatan sejajar dengan permukaan lereng, sehingga terjadinya

gerakan translasi tanah. Kelongsoran translasi disebabkan karena pergerakan massa tanah dan batuan pada bidang gelincir berbentuk rata atau mengelombang landai. Pada tanah lempung yang mengandung lanau atau pasir longsor translasi dapat diakibatkan oleh tekanan air pori yang tinggi dalam talam lanau dan pasir. Kelongsoran translasi dapat dilihat pada Gambar 3.4 sebagai berikut ini.

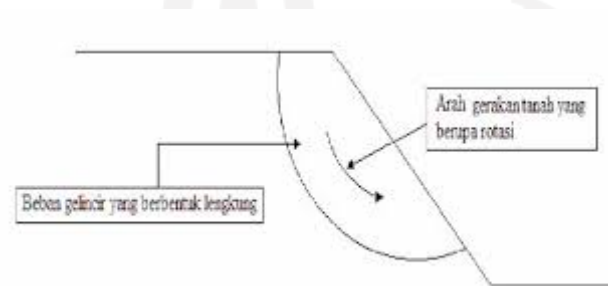


Gambar 3.4 Kelongsoran Translasi

(Sumber: Hardiyatmo 2012)

2. Kelongsoran Rotasi

Kelongsoran rotasi sering terjadi pada massa tanah yang bergerak dalam satu kesatuan dan pada material yang relative homogen seperti tanggul. Longsoran ini dapat terjadi ketika adanya pergerakan tanah dan batuan pada bidang tergelincir berbentuk cekung, yang dapat dilihat pada Gambar 3.5 dibawah ini.



Gambar 3.5 Kelongsoran Rotasi

(Sumber: Hardiyatmo 2012)

Kelongsoran pada lereng lebih sering menimbulkan dampak yang merugikan. Untuk menghindari atau mengurangi kerugian yang terjadi, perlu dilakukannya perbaikan yang dilakukan pada lereng sebelum atau setelah terjadi

kelongsoran lereng. Berikut beberapa metode penanggulangan kelongsoran lereng seperti berikut.

1. Melandaikan Kemiringan Lereng

Jika kemiringan lereng semakin landai, maka jumlah butiran tanah yang bergerak ke bawah oleh air hujan akan semakin sedikit. Hal ini diakibatkan karena gaya berat mengecil yang sejalan dengan semakin miringnya permukaan tanah dari bidang horizontal, sehingga lapisan tanah atas yang mengalami erosi akan semakin sedikit.

2. Terasering

Terasering adalah bangunan konservasi tanah yang secara mekanis dibuat untuk memperkecil kemiringan lereng atau mengurangi panjang lereng dengan cara menggali dan mengurung tanah melintang lereng. Beberapa fungsi dari penggunaan terasering, seperti berikut ini.

- a. Mempertahankan kestabilan lereng,
- b. Menambah resepan air hujan ke dalam tanah,
- c. Mengurangi kecepatan aliran air pada permukaan tanah,
- d. Mengurangi tingkat kemiringan lereng,
- e. Mengontrol arah aliran air menuju kebawah sehingga terkonsentrasi di suatu tempat.

3. Dinding Penahan Tanah

Dinding penahan tanah dibuat dari pasangan batu, beton atau beton bertulang. Keberhasilan dinding penahan tanah tergantung pada kemampuan menahan geseran dan stabilitas terhadap guling. Selain untuk menahan Gerakan tanah, juga berfungsi melindungi bangunan dari runtuh. Dinding penahan tanah wajib dipasang drainase dan pipa air, sehingga tidak terjadi tekanan hidrostatik yang benar.

4. Tiang Pancang

Pemasangan tiang pancang cocok digunakan untuk mencegah atau menanggulangi kelongsoran yang tidak terlalu dalam, namun tidak cocok untuk jenis tanah yang sensitive karena getaran yang terjadi pada saat

pemancangan dapat menurunkan massa tanah. Tingkat efektifitasnya tergantung pada kemampuan menembus lapisan tanah.

5. Perkuatan Geotekstil

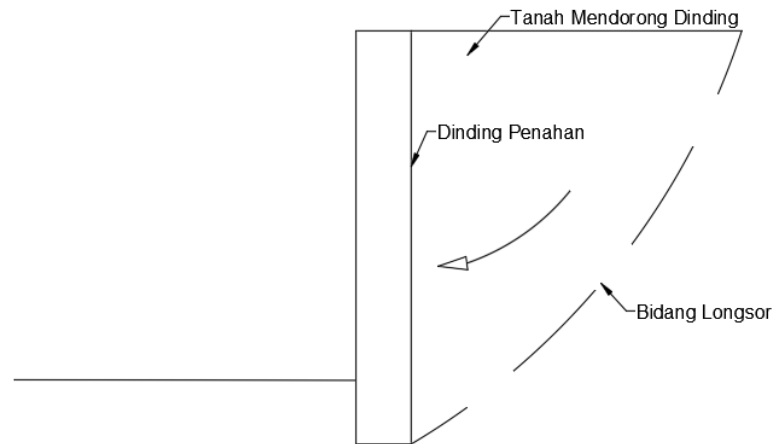
Geotekstil merupakan teknik pelapisan tanah untuk mencegah terjadinya longsor dan amblesan tanah. Bahan geotekstil memiliki kuat tarik yang tinggi, khususnya jenis geotekstil woven. Biaya yang dibutuhkan untuk pemasangan geotekstil ini 40% lebih murah dibandingkan dengan beton dan waktu pengerjaannya juga lebih cepat.

3.3 Tekanan Tanah Lateral

Tekanan tanah lateral merupakan gaya yang ada karena dorongan tanah yang terjadi dibelakang dinding penahan tanah. Menurut Hardiyatmo (2010) besarnya tekanan lateral sangat dipengaruhi oleh perubahan letak dari dinding penahan dan sifat-sifat tanah tersebut. Analisis tekanan tanah lateral dilihat pada kondisi seimbang plastis, pada saat massa tanah pada kondisi tanah saat runtuh. Bila terjadi deformasi pada massa tanah, pada saat itu keseimbangan plastis dapat tercapai. Tekanan-tekanan tanah lateral dibagi menjadi 2 jenis tekanan, yaitu seperti berikut.

1. Tekanan Tanah Lateral Aktif

Tekanan tanah lateral aktif merupakan tekanan yang terjadi pada dinding penahan yang mengalami keluluhan atau bergerak kearah luar tanah urugan dibelakangnya sehingga menyebabkan tanah urug akan bergerak longsor kebawah dan menekan dinding penahanya (Hardiyatmo,2003). Perbandingan nilai tekanan vertical dan tekanan horizontal yang terjadi merupakan koefisien tekanan tanah lateral aktif (K_a). Nilai tekanan tanah saat diam lebih besar dari nilai tekanan tanah aktif sehingga menyebabkan kurangnya keseimbangan dinding penahan tanah. Tekanan tanah lateral aktif dapat dilihat pada Gambar 3.6 seperti berikut ini.



Gambar 3.6 Tekanan Tanah Lateral Aktif

Tekanan tanah aktif dihitung menggunakan persamaan 3.5 sebagai berikut.

$$P_a = K_a \times \gamma \times H \quad (3.5)$$

Keterangan :

P_a = Tekanan tanah aktif (kN/m)

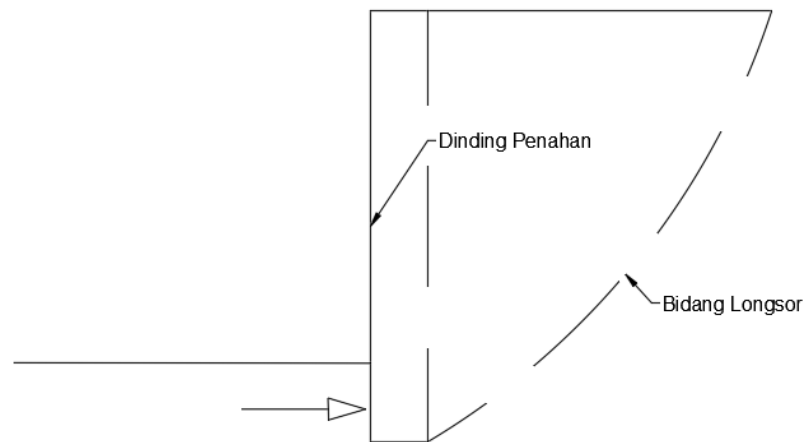
K_a = Koefisien tekanan tanah lateral aktif

γ = Berat volume tanah (kN/m³)

H = Kedalam tanah (m)

2. Tekanan Tanah Lateral Pasif

Tekanan tanah ini merupakan tekanan tanah yang terjadi pada saat dinding penahan tanah di dorong kearah tanah urug. Koefisien tekanan tanah pasif (K_p) merupakan nilai perbandingan antara tekanan horizontal dan vertical yang terjadi. Nilai tekanan tanah dari gaya yang disebabkan oleh tanah pada gerakan struktur penahan tanah, yang terjadi pada saat tanah harus menahan gerakan dinding penahan tanah sebelum mengalami keruntuhan. Tekanan tanah lateral pasif dapat dilihat pada Gambar 3.7 dibawah ini.



Gambar 3.7 Tekanan Tanah Lateral Pasif

Persamaan dari tekanan tanah lateral pasif ditulis pada Persamaan 3.6 sebagai berikut.

$$P_p = K_p \times \gamma \times H \quad (3.6)$$

Keterangan :

P_p = Tekanan tanah pasif (kN/m)

K_a = Koefisien tekanan tanah lateral pasif

γ = Berat volume tanah (kN/m³)

H = Kedalam tanah (m)

3.4 Stabilitas Lereng

Permukaan tanah yang tidak datar akan lebih cenderung akan mengalami pergerakan ke bawah yang disebabkan oleh massa tanah dan pergerakan gravitasi. 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. Dalam beberapa kasus ditemukan kondisi tanah dasar yang tidak ideal, maka dibutuhkan penanganan yaitu salah satunya adalah stabilisasi tanah. Stabilitas 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. Meningkatkan daya dukung tanah
2. Memperkecil penurunan lapisan tanah
3. Menurunkan permeabilitas dan potensi swelling tanah
4. Mempertahankan potensi tanah yang ada

3.4.1 Analisis Stabilitas Lereng

Analisis stabilitas lereng bertujuan untuk menentukan faktor aman dari bidang longsor yang potensial (Hardiyatmo,2010). Analisis stabilitas lereng bisa diartikan sebagai upaya yang dilakukan untuk mengecek angka aman dari lereng alam atau lereng buatan. Dalam melakukan analisis ini banyak faktor yang mempengaruhi dari hasil hitungan, misalnya kondisi tanah yang dapat berubah-ubah tergantung iklim, aliran rembesan air dalam tanah dan sebagainya.

Menurut Hardiyatmo (2014) faktor keamanan dapat di definisikan sebagai nilai banding antara gaya yang menahan dan gaya yang menggerakkan. Persamaan Faktor keamanan dapat dilihat pada Persamaan 3.6 berikut ini.

$$SF = \frac{\tau}{\tau_d} \quad (3.7)$$

Keterangan :

SF = Faktor aman

τ = Tegangan geser yang dapat dilakukan tanah (kN/m²)

τ_d = Tegangan geser yang terjadi akibat gaya berat tanah yang akan longsor (kN/m²)

Menurut Bowles (1989) hubungan dari beberapa variasi nilai faktor keamanan terhadap kemungkinan longsor lereng maupun pada perancangan lereng.

Faktor keamanan suatu lereng dapat dilihat pada Tabel 3.6 dan Tabel 3.7 yang dibuat sesuai dengan besar kestabilan suatu lereng.

Tabel 3.6 Nilai Faktor Keamanan Untuk Perancangan Lereng

Faktor Keamanan (F)	Keadaan Lereng
$F < 1,00$	Lereng dalam kondisi tidak mantap (lereng <i>labil</i>)
$1,00 < F < 1,20$	Lereng dalam kondisi kemantapan diragukan
$1,30 < F < 1,40$	Lereng dalam kondisi memuaskan
$1,50 < F < 1,70$	Lereng dalam kondisi mantap (lereng <i>stabil</i>)

Sumber : Sosrodarsono, 2003

Tabel 3.7 Hubungan Nilai Faktor Keamanan dengan Intensitas Longsor

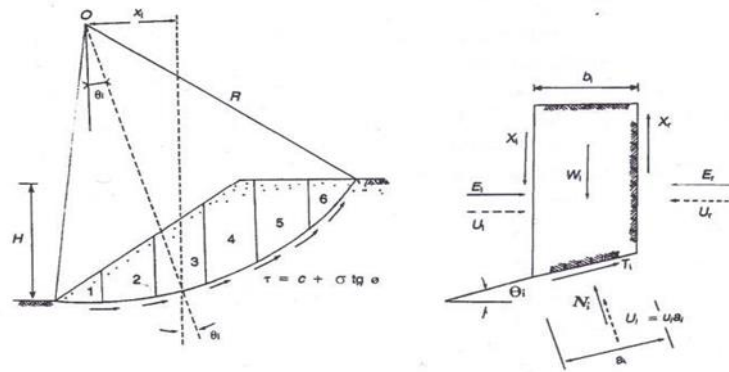
Nilai Faktor Keamanan	Kemungkinan Longsor
$F < 1,07$	Longsor terjadi biasa/sering (lereng labil)
$1,07 < F < 1,25$	Longsor pernah terjadi (lereng kritis)
$F > 1,25$	Longsor jarang terjadi (lereng relatif stabil)

Sumber : Bowles, 1989

Menurut Taylor (1948) ada beberapa metode yang sering digunakan untuk melakukan analisis stabilitas lereng, seperti metode analisis stabilitas lereng tanah kohesif dan analisis stabilitas lereng lempung dengan menggunakan diagram. Pada kasus tanah yang tidak homogen dan memiliki aliran rembesan air tanah yang tidak menentu penggunaan metode yang lebih cocok adalah metode irisan (*Method of slice*). Metode irisan memiliki beberapa metode yang diantaranya metode *Fellenius* (1927), *Simplified Bishop Method* (1955), *Diagram Bishop* dan *Morgenstern* (1960), *Diagram Morgenstern* (1963) dan *Diagram Spenser* (1967).

3.4.2 Analisis Stabilitas Lereng Metode *Fellenius*

Menurut Hardiyatmo (2003) metode ini menganggap gaya-gaya yang bekerja pada sisi kanan sampai kiri dari sembarang irisan memiliki resultan nol pada arah tegak lurus bidang longsor. Analisis stabilitas lereng ini menggunakan asumsi bahwa keruntuhan yang terjadi melalui rotasi dari suatu blok tanah di permukaan longsor berbentuk lingkaran dengan titik O sebagai titik pusat dari rotasi dan gaya normal P bekerja ditengah *slice*. Gaya yang bekerja dengan metode *Fellenius* dapat dilihat pada Gambar 3.8 dibawah ini.



Gambar 3.8 Gaya Yang Bekerja Pada Irisan

(Sumber : Hardiyatmo, 2010)

Keterangan :

X_i, X_r = Gaya geser efektif di sepanjang irisan

E_i, E_r = Gaya normal efektif yang bekerja sepanjang dasar irisan

T_i = Resultan gaya geser efektif yang bekerja sepanjang dasar irisan

N_i = Resultan gaya normal efektif yang bekerja sepanjang dasar irisan

U_i, U_r = Tekanan air pori yang bekerja di kedua sisi irisan

U_i = Tekanan air pori di dasar irisan

Keseimbangan arah vertikal dan gaya-gaya yang bekerja harus memperhatikan tekanan air pori sesuai pada Persamaan 3.7 dan Faktor aman sesuai Persamaan 3.8 sebagai berikut.

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

$$\begin{aligned} SF &= \frac{\text{Jumlah momen dari tahanan geser sepanjang bidang longsor}}{\text{Jumlah momen dari berat massa tanah yang longsor}} \\ &= \frac{\sum Mr}{\sum Md} \end{aligned} \quad (3.9)$$

Jumlah momen yang menahan tanah akan longsor dan jumlah momen dari berat massa tanah tiap irisan adalah $R \sin \theta$, berturut-turut dapat dilihat pada Persamaan 3.9 dan Persamaan 3.10 berikut ini.

$$\sum M_r = R \sum_{n=1}^{i=n} (ca_i + N_i \operatorname{tg} \varphi) \quad (3.10)$$

$$\sum Md = R \sum_{n=1}^{i=n} W_i \sin \theta_i \quad (3.11)$$

Keterangan:

R = Jari-jari lingkaran bidang longsor.

n = Jumlah irisan.

W_i = Berat massa tanah irisan ke- i .

N_i = Resultan gaya normal efektif yang bekerja sepanjang dasar irisan.

θ_i = Sudut yang didefinisikan.

Bila terdapat air pada tanah lereng, maka tekanan air pori pada bidang longsor tidak menambah momen terjadi akibat tanah yang akan longsor, karena resultan gaya akibat tekanan air pori lewat titik pusat lingkaran. Hal ini dapat dinyatakan dalam Persamaan 3.11 berikut ini.

$$SF = \frac{\sum_{i=1}^n c a_i + (W_i \cos \theta_i - u_i a_i) \operatorname{tg} \varphi}{\sum_{i=1}^n W_i \sin \theta_i} \quad (3.12)$$

Keterangan:

SF = Faktor aman

C = Kohesi tanah (kN/m²)

φ = Sudut gesek dalam tanah (°)

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

W_i = Berat irisan tanah ke- i (kN)

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

θ_i = Sudut yang didefinisikan

3.5 Dinding Penahan Tanah

Perkuatan tanah jenis dinding penahan tanah merupakan bangunan yang digunakan untuk menahan tekanan lateral yang disebabkan oleh tanah asli atau tanah urug yang labil. Tujuan dari pembuatan dinding penahan tanah untuk menjaga tanah / lereng menjadi stabil sehingga tidak terjadi kelongsoran. Secara umum, dinding penahan tanah terbagi menjadi 2 kategori umum yaitu dinding penahan tanah konvensional dan dinding *Mechanically Stabilized Earth* (MSE). Dalam perancangannya, dinding penahan tanah konvensional memiliki beberapa tipe seperti berikut ini.

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*).

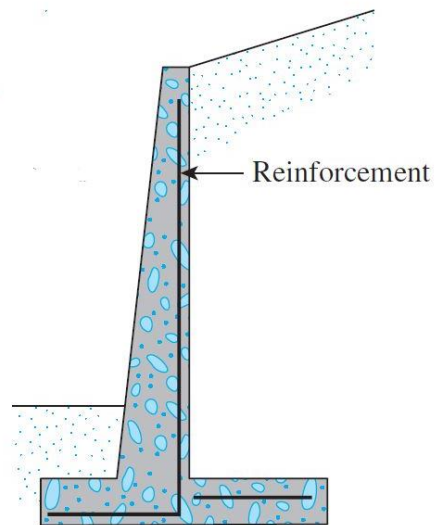
3.5.1 Dinding Penahan Tanah Kantilever

Dinding penahan tanah tipe kantilever terbuat dari beton yang diperkuat dengan menggunakan tulangan dan tersusun oleh dinding vertikal dan tapak lantai. 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.

Biasanya pembuatan dinding penahan tanah ini ketinggian dinding ini tidak lebih dari 6-7meter, untuk ketinggian dinding lebih dari 7 meter maka akan tambahan penyangga di belakangnya yang di sebut *counterfort*. Dinding penahan tanah ini seluruh bagian struktur dari dinding ini relatif memiliki dimensi yang tipis sehingga menjadi ekonomis dan mudah dalam pelaksanaannya. Gambar sederhana dari dinding penahan tanah kantilever dapat dilihat pada Gambar 3.9 sebagai berikut.

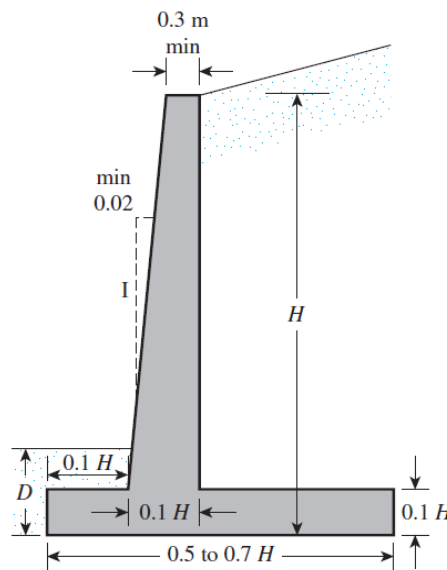


Gambar 3.9 Dinding Penahan Tanah Tipe Kantilever

(Sumber: Das, 2011)

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.

Berdasarkan Braja (2011) penggunaan dimensi untuk bagian atas dinding vertikal tidak dapat kurang dari 0,3 meter dan ketebalan telapak minimal 0,6 meter. Perencanaan dimensi yang dapat digunakan sebagai acuan dapat dilihat pada Gambar 3.10 berikut ini.



**Gambar 3.10 Perencanaan Dimensi Dinding Penahan Tanah
Kantilever**

(Sumber: Das, 2011)

3.5.2 Stabilitas Dinding Penahan Tanah Kantilever

Perencanaan dinding penahan tanah yang menjadi faktor utama yang harus diperhitungkan adalah tekanan tanah lateral maka dibutuhkan pengetahuan mengenai tekanan tanah lateral. Stabilitas dinding penahan tanah juga dipengaruhi oleh konsolidasi tanah yang terjadi. Konsolidasi merupakan suatu proses pengecilan volume secara perlahan pada tanah jenuh sempurna dengan permeabilitas rendah akibat pengaliran sebagian air pori.

Tekanan tanah lateral 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. Penjelasan dari ketiga variabel tersebut dapat dilihat seperti berikut.

1. Stabilitas terhadap guling

Menurut Hardiyatmo (2002) stabilitas terhadap guling merupakan stabilitas yang ditinjau berdasarkan tekanan tanah lateral yang diakibatkan oleh tanah urug di belakang dinding penahan tanah. Momen penggulingan akibat gaya yang bekerja 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 dilihat pada Persamaan 3.12 sebagai berikut.

$$SF_{gl} = \frac{\sum M_w}{\sum M_{gl}} \quad (3.13)$$

Dimana persamaan momen yang melawan penggulingan (M_w) dan momen yang mengakibatkan penggulingan (M_{gl}), dapat dilihat pada Persamaan 3.13 dan Persamaan 3.14 berikut ini.

$$\sum M_w = W b_1 \quad (3.14)$$

$$\sum M_{gl} = \sum P_{ah}h_1 + \sum P_{av}B \quad (3.15)$$

Keterangan :

M_w = Momen yang melawan penggulingan (kN.m)

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)

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

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.

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

$SF_{gl} \geq 2$ untuk tanah dasar kohesif

2. Stabilitas terhadap geser

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 (Hardiyatmo,2002). Persamaan faktor aman dapat dilihat pada Persamaan 3.15 sampai Persamaan 3.18 sebagai berikut.

$$SF_{gs} = \frac{\sum R_h}{\sum P_{ah}} \quad (3.16)$$

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

$$\begin{aligned} \sum R_h &= W f \\ &= W \operatorname{tg} \delta_b; \text{ dengan } \delta_b \leq \varphi \end{aligned} \quad (3.17)$$

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

$$\sum R_h = c_a B \quad (3.18)$$

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

$$\sum R_h = c_a B + W \operatorname{tg} \delta_b \quad (3.19)$$

Keterangan :

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)
 SF = $\text{tg } \delta_b$ = koefisien gesek antara tanah dasar dan dasar fondasi

Menurut Bowles (1997) syarat faktor aman minimum terhadap stabilitas geser (SF_{gs}) pada dasar fondasi ditentukan, seperti berikut.

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

$SF_{gs} \geq 2$ untuk tanah dasar kohesif

3. Kapasitas daya dukung tanah

Dalam perhitungan kapasitas daya dukung digunakan beberapa persamaan seperti persamaan Hansen (1970) dan Vesic (1975) untuk mengetahui tegangan ultimit, kemudian metode terzhagi untuk mengetahui tegangan maksimal dan tegangan minimal. Urutan dari perhitungan dari kapasitas daya dukung tanah dapat dilihat pada Persamaan 3.19 sampai Persamaan 3.31 sebagai berikut.

a. Eksentrisitas (e)

$$e = B/2 \frac{\sum M_w - \sum M_{gl}}{\sum W} \quad (3.20)$$

Keterangan :

- M_w = Momen yang melawan guling (kN.m)
 M_{gl} = Momen yang mengakibatkan guling (kN.m)
 W = Total berat tanah diatas pelat pondasi + berat sendiri dinding penahan (kN)
 e = Eksentrisitas
 B = Lebar kaki dinding penahan (m)

b. Tekanan akibat beban struktur (q)

Menurut Hardiyatmo (2002) menyatakan bahwa dalam perancangan, lebar fondasi dinding penahan dirancang sedemikian sehingga $e < (B/6)$.

$$q_{maks} = q_{toe} = \frac{\Sigma V}{B} \left(1 + \frac{6e}{B}\right) \quad (3.21)$$

$$q_{min} = q_{heel} = \frac{\Sigma V}{B} \left(1 - \frac{6e}{B}\right) \quad (3.22)$$

c. Kapasitas daya dukung ultimit (q_u)

$$q_u = cN_c F_{cd} F_{ci} + qN_q F_{qd} F_{qi} + 0,5\gamma B N_\gamma F_{\gamma d} F_{\gamma i} \quad (3.23)$$

$$q = \gamma D \quad (3.24)$$

$$B' = B - 2e \quad (3.25)$$

$$F_{cd} = F_{qd} - \frac{1 - F_{qd}}{N_c \tan \theta} \quad (3.26)$$

$$F_{qd} = 1 + 2 \tan \theta (1 - \sin \theta)^2 \frac{D}{B'} \quad (3.27)$$

$$F_{\gamma d} = 1 \quad (3.28)$$

$$F_{ci} = F_{qi} = \left(1 - \frac{\Psi_0}{90^\circ}\right)^2 \quad (3.29)$$

$$F_{\gamma i} = \left(1 - \frac{\Psi_0}{\theta^\circ}\right)^2 \quad (3.30)$$

$$\Psi_0 = \tan^{-1} \left(\frac{Pa \cos \alpha}{\Sigma V} \right) \quad (3.31)$$

Keterangan :

$F_{cd}, F_{qd}, F_{\gamma d}$	=	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_γ	=	Faktor-faktor kapasitas dukung Hansen dan Vesic

Dengan faktor aman terhadap keruntuhan kapasitas daya dukung tanah pada Persamaan 3.31 sebagai berikut.

$$FS_{(\text{kapasitas daya dukung})} = \frac{q_u}{q_{\text{maks}}} \geq 3 \quad (3.32)$$

Keterangan :

q_u = tekanan tanah ultimit (kN/m²)

q_{maks} = tekanan maksimal akibat beban strukur (kN/m²)

3.6 Sheet Pile

Sheet pile atau sering disebut juga dengan turap memiliki fungsi untuk menahan tanah yang dipasang dalam mengunci sehingga membentuk dinding vertical yang tipis. *Sheet pile* memiliki beberapa jenis yang dibedakan berdasarkan dari bahan yang digunakan seperti berikut.

1. Turap baja
2. Turap beton
3. Turap kayu
4. Dinding turap kantilever
5. Dinding turap diangker
6. Dinding turap dengan landasan platform
7. Bendungan elak seluler

3.6.1 Sheet Pile Baja

Sheet pile dari bahan baja paling sering digunakan karena memiliki kekuatan merata, berat sendiri yang relatif ringan dan waktu penggunaan yang relatif tahan lama. Interlok pada tiang turap dibentuk seperti jempol-telunjuk atau bola-keranjang untuk hubungan yang ketat untuk menahan air. Turap baja memiliki beberapa kelebihan seperti berikut ini.

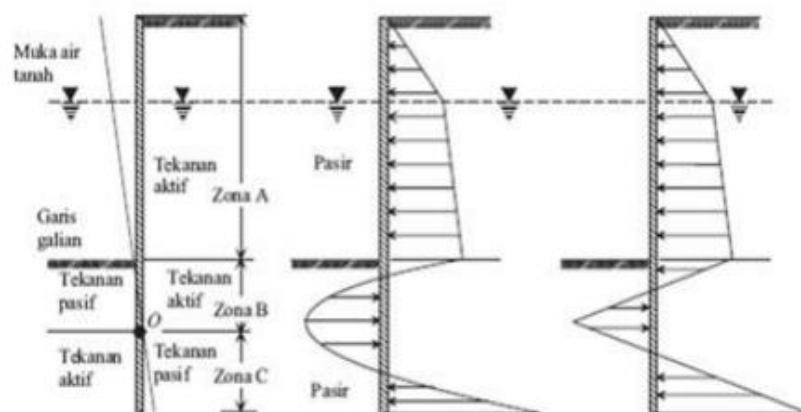
1. Kuat menahan gaya benturan pada saat pemancangan
2. Bahan turap yang relatif tidak begitu berat
3. Dapat digunakan berkali kali
4. Mempunyai ketahanan yang tinggi
5. Penyambungan yang mudah, jika kedalam turap besar

3.6.2 Prinsip Perencanaan *Sheet Pile* Baja

Prinsip perancangan dari penggunaan *sheet pile* baja dibedakan berdasarkan pada jenis tanah yaitu pada tanah granuler dan tanah kohesif,, sebagai berikut.

1. *Sheet pile* pada tanah granuler

Perancangan *sheet pile* pada tanah granuler yang memiliki permeabilitas tinggi didasari pada faktor aman untuk tanah granuler dengan mereduksi K_p antara 30-50% atau menambah kedalaman penetrasi antara 20-40%. Penjelasan dari Teng (1962) pada buku Mekanika Tanah 2 (Hardiyatmo, 2010) menjelaskan bahwa perilaku dinding turap sempurna akibat tekanan tanah lateral dibelakangnya, diakibatkan oleh tekanan tanah aktif dibelakang turap bergerak ke kiri dan berputar pada titik O. Pada Kondisi ini tekanan pada bagian bawah garis galian akan berupa tanah pasif dan Tanah diatas galian berupa tanah aktif. Pada titik O dianggap titik rotasi yang tidak bergerak sehingga tekanan tanah pada titik tersebut adalah nol, lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 3.11 berikut ini.

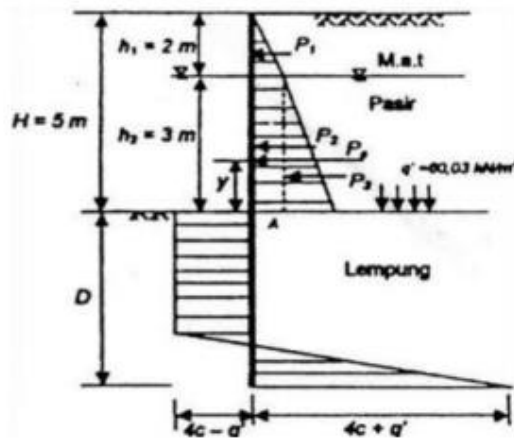


Gambar 3.11 Tekanan Tanah Lateral *Sheet Pile* Pada Tanah Granuler

(sumber: Teng, 1962)

2. *Sheet pile* pada tanah kohesif

Tanah kohesif memiliki kuat geser yang berubah yang diakibatkan dari perubahan cuaca, sehingga tekan tanah lateralnya akan berubah. Hal ini membuat perancangan *sheet pile* pada tanah kohesif lebih sulit dalam menentukan dimensi dan kedalam dindingnya. Memahami perancangan dinding turap pada tanah kohesif dapat dilihat pada Gambar 3.12 sebagai berikut.



Gambar 3.12 Tekanan Tanah Lateral *Sheet Pile* Pada Kohesif

(sumber: Ilmutekniksipil.com)

3.6.3 Stabilitas *Sheet Pile*

Tekanan yang terjadi pada *sheet pile* dibagi menjadi dua, seperti berikut ini.

1. Tekanan aktif (Pa)

Hardiyatmo (2003) menjelaskan definisi dari tekanan aktif merupakan tekanan tanah lateral minimum yang mengakibatkan keruntuhan geser tanah akibat gerakan dinding menjauhi tanah dibelakangnya. Koefisien tanah aktif dan tekanan tanah aktif dapat dilihat pada Persamaan 3.32 dan Persamaan 3.33 sebagai berikut.

$$K_a = \tan^2\left(45 - \frac{\varphi}{2}\right) \quad (3.32)$$

$$P_a = \gamma \cdot H^2 \cdot K_a \quad (3.33)$$

Keterangan :

K_a = Koefisien tanah aktif

φ = Sudut geser dalam

γ = Berat volume tanah

H = Kedalaman titik yang ditinjau dari permukaan tanah

2. Tekanan pasif (Pp)

Tekanan tanah pasif adalah tekanan tanah lateral maksimum yang mengakibatkan keruntuhan geser tanah akibat gerakan dinding menekan tanah urug.(Hardiyatmo,2003). Koefisien tanah aktif dan tekanan tanah pasif dapat dilihat pada Persamaan 3.34 dan Persamaan 3.35 sebagai berikut.

$$Kp = \tan^2(45 - \frac{\varphi}{2}) \quad (3.34)$$

$$Pp = \gamma \cdot H^2 \cdot Ka \quad (3.35)$$

Keterangan :

Kp = Koefisien tanah pasif

φ = Sudut geser dalam

γ = Berat volume tanah

H = Kedalaman titik yang ditinjau dari permukaan tanah

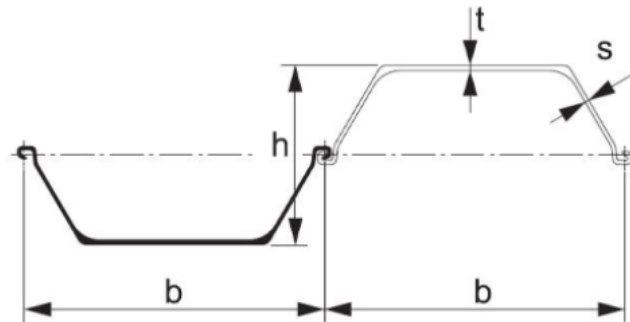
3.6.4 Profil *Sheet Pile* Baja

Sheet pile baja terbuat dari baja karbon yang memiliki bentuk seperti lembaran-lembaran. Produksi dari *sheet pile* baja memiliki beberapa jenis profil diantaranya *U-sheet pile*, *Z-sheet pile*, *H-sheet pile* dan *Box-sheet pile*. Profil *U-sheet pile* memiliki daya ikat yang kuat karena *interlock* pada sumbu netral yang mengurangi efisiensi bagian dan mengurangi sifat bagian karena perpindahan geser, Sehingga profil *U-sheet pile* sangat sering digunakan dalam proyek konstruksi. Berikut gambar dari profil *U-sheet pile* pada Gambar 3.13 dan Gambar 3.14 dibawah ini.



Gambar 3.13 Profil U-*Sheet Pile*

(Sumber : build-your-vision.eu/)



Section	Dimensions				Mass		Moment of inertia	Modulus of section
	Width	Height	Thickness		Per pile	Wall		
	b	h	t	s				
	mm	mm	mm	mm	kg/m	kg/m ²		
LARSEN22	500	340	10	9	61.8	123.6	21420	1260
LARSEN22 10/10	500	340	10	10	64.9	129.8	22100	1300
LARSEN 23	500	420	11.2	10	77.5	155	42000	2000
LARSEN 24	500	420	15.6	10	87.5	175	52500	2500
LARSEN 24/12	500	420	15.6	12	92.7	185.4	53610	2550
LARSEN 25	500	420	20	11.5	103	206	63840	3040
LARSEN 43	500	420	12	12	83	166	34900	1660
LARSEN 430	708	420	12	12	166	234.5	241800	6450

Gambar 3.14 Data Profil U-Sheet Pile

(Sumber : www.china-steelpiling.com)

3.7 Plaxis 8.6

Plaxis 8.6 Program *Plaxis* dirancang berdasarkan metode elemen hingga dua dimensi yang dapat digunakan secara khusus untuk menganalisis deformasi dan stabilitas. Kondisi sesungguhnya dapat dimodelkan dalam regangan (*plane-strain*) maupun secara *axisymmetric*. Program ini menerapkan model antarmuka grafis yang cukup mudah untuk digunakan, pengguna dapat membuat model geometri dan jaring elemen berdasarkan penampang melintang dari kondisi yang ingin dianalisis. Program ini terdiri dari empat buah sub-program yaitu masukkan perhitungan,

keluaran, dan kurva. Model yang akan digunakan pada penelitian ini yaitu model Mohr-Coulomb. Model ini merupakan model elastis – plastis yang terdiri dari lima buah parameter, yaitu E dan μ untuk memodelkan elastisitas tanah, ϕ dan c untuk memodelkan plastisitas tanah, dan ψ sebagai sudut dilatasi.

Kondisi dilapangan yang disimulasikan ke dalam program Plaxis ini bertujuan untuk mengimplementasikan tahapan pelaksanaan dilapangan ke dalam tahapan pengerjaan pada program, dengan harapan pelaksanaan dilapangan dapat sedekat mungkin pada program, sehingga respon yang dihasilkan dari program dapat diasumsikan sebagai cerminan dari kondisi yang sebenarnya terjadi dilapangan.

Pada tahap analisis menggunakan program Plaxis terdapat beberapa langkah yang harus dilakukan, diantaranya adalah sebagai berikut.

1. *Input data*

Pada tahapan *input data* yang dilakukan ialah pemodelan berupa data geometri lereng, dinding penahan tanah dan *sheet pile* yang akan dianalisis, material tanah, pembebanan, *meshing*, dan *initial condition*.

2. *Calculation*

Ketika telah dilakukan pemodelan pada tahap input, tahap berikutnya adalah tahap *calculation*. Terdapat beberapa *type calculation* yang disediakan, yaitu *type plastic*, *consolidation*, *phi/c reduction*, dan *dynamic analysis*.

3. *Output*

Setelah selesai menganalisis, hasil dari analisis pada tahap *calculation* sebelumnya dapat dilihat pada tahap *output*. Hasil analisis pada tahap *output* dapat ditampilkan dalam bentuk angka, gambar, dan kurva. *Output* yang dihasilkan dan akan ditinjau dalam penelitian ini seperti berikut ini.

- a. *total displacement*

- b. *potensi kelongsoran*

- c. *safety factor*

- d. *total stresses*.

- e. *Curve*

BAB IV

METODE PENELITIAN

4.1 Tinjauan Umum

Lokasi Penelitian dilakukan pada Daerah Irigasi Gondang Sta 8+207 yaitu pada lereng yang telah terjadi kelongsoran. Penelitian ini menganalisis stabilitas lereng dengan menggunakan aplikasi *Plaxis* pada kondisi tanah asli dan menggunakan perkuatan tanah jenis dinding penahan tanah kantilever serta *sheet pile* baja. Perkuatan tanah tersebut dihitung angka aman berdasarkan dari analisis yang dilakukan. Dari hasil analisis yang dilakukan, diharapkan dapat ditentukan kondisi mana yang menghasilkan *safety factor* yang baik, sehingga dalam perancangan perkuatan lereng dapat dijadikan acuan untuk kondisi yang direkomendasikan.

4.2 Data Penelitian

Data penelitian merupakan data sekunder pada *Review* DD Rehabilitasi Jaringan Irigasi D.I Gondang di Kabupaten Lamongan. Data sekunder yang diperlukan seperti data tanah uji lapangan yang dilakukan yaitu pengujian *SPT* dan data uji laboratorium seperti berat volume tanah, kohesi serta sebagainya.

4.3 Tahapan Penelitian

Proses penelitian dilakukan dengan beberapa tahapan sebagai berikut.

1. Tahap pengumpulan data, pada tahap ini melakukan pengumpulan data yang dibutuhkan dalam penelitian dari Laporan *Soil Investigation* 2021 D.I Gondang.
2. Tahap pengolahan dan analisis data, tahap ini mengolah data yang didapatkan dan melakukan analisis stabilitas lereng menggunakan dinding penahan tanah kantilever dan *sheet pile* baja dengan program *Plaxis*.
3. Tahap pembahasan, melakukan penulisan laporan terhadap hasil analisis yang telah dilakukan pada tahap pengolahan dan analisis data.

4. Tahap penarikan kesimpulan, berdasarkan hasil analisis yang dilakukan dapat melakukan penarikan kesimpulan berdasarkan teori yang ada.

4.4 Analisis Data

Metode analisis data merupakan metode yang digunakan untuk menyederhanakan dan mempermudah dalam memahami data yang diperoleh. Data yang diperoleh sebagai berikut.

4.4.1 Parameter Tanah

Parameter tanah merupakan data input yang sangat diperlukan dalam menganalisis stabilitas lereng, yang mana data parameter tanah didapatkan dari data sekunder pada Laporan *Soil Investigation* 2021 D.I Gondang.

4.4.2 Dinding Penahan Tanah Kantilever

Perkuatan lereng yang digunakan yaitu dinding penahan tanah kantilever dengan tinggi 5,5 meter.

4.4.3 Sheet Pile

Penggunaan *sheet pile* yang akan digunakan adalah tipe Larssen.

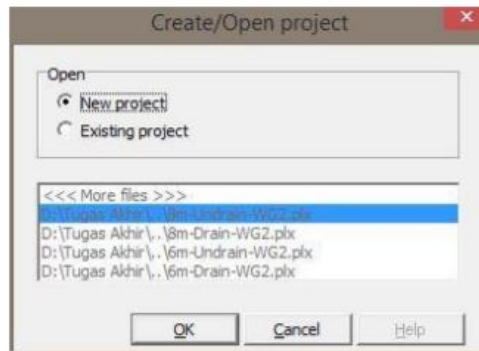
4.5 Pengoperasian Plaxis

Analisis yang dilakukan pada penelitian menggunakan program *Plaxis* dengan tiga tahapan, sebagai berikut.

4.5.1 Plaxis Input

1. Buka Program *Plaxis*

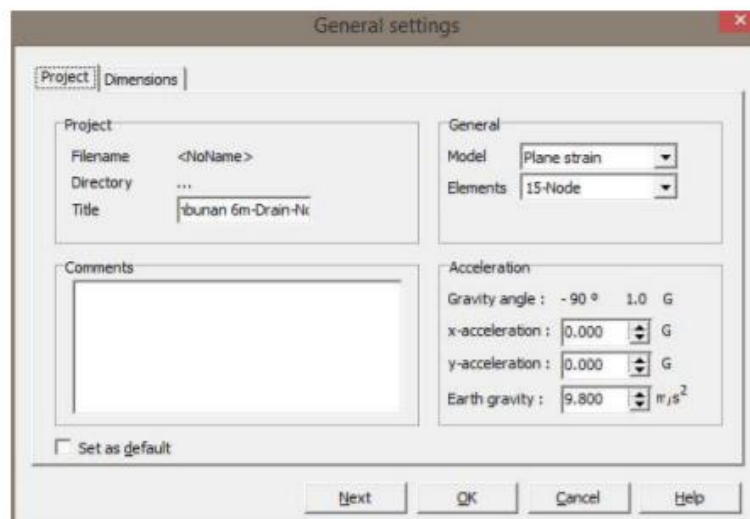
Operasikan aplikasi *Plaxis* dengan klik-ganda pada *icon* program *Plaxis input*. Kemudian akan muncul kotak dengan pilihan *create/open project*, lalu pilih *new project* dan klik OK untuk membuat pekerjaan baru seperti pada Gambar 4.1 berikut ini.



Gambar 4.1 Kotak Dialog *Create/Open Project*

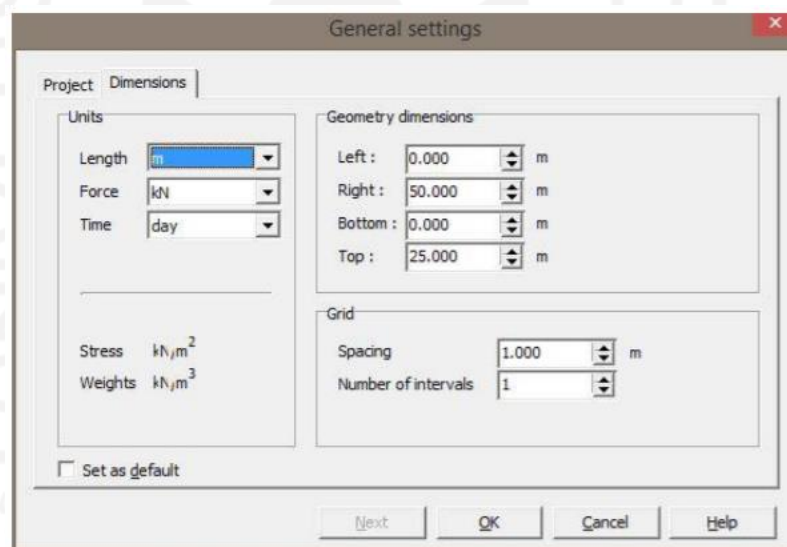
2. *General Setting*

Pada pengaturan global (*general setting*) terdapat dua tab dialog, yaitu tab *project* dan *dimensions*. Pilihan lembar tab *project*, masukkan nama proyek yang akan dimodelkan pada kotak dialog *title*. Kemudian pilih analisis model *plane strain* (regangan bidang) pada kotak *general* dan pilih jenis elemen dasar *15-Node* untuk analisis dengan menghasilkan tegangan dan beban runtuh yang akurat. *General setting* dilihat pada Gambar 4.2 berikut ini.



Gambar 4.2 Tab Project dari Jendela *General Setting*


Dalam pilihan tab *geometry dimensions*, gunakan satuan pra-pilih dalam kotak *unit* ($Length = m$, $Force = kN$, $Time = day$). Dalam kotak *geometry dimensions*, ukuran dari bidang gambar harus diinput, saat menginput koordinat teratas dan terbawah dari geometri yang akan dibuat. *Plaxis* akan menambahkan sebuah margin kecil sehingga geometri akan berada pada bidang gambar. Kemudian masukkan 0,0; 50,0; 0,0; 25,0 masing-masing pada kotak isian *left*, *right*, *bottom*, dan *top* dalam kotak dialog. Kotak *Grid* berisikan nilai-nilai untuk mengatu spasi *grid*. *Grid* ini akan membentuk matriks titik-titik yang digunakan untuk memasukkan penggambaran tepat pada *grid* yang telah ada saat pembuatan model. Jarak antara titik ditentukan oleh nilai spasi. Kemudian untuk *spacing* masukkan nilai 1,0 dan 1 untuk *number of intervals*. *Grid* dilihat pada Gambar 4.3 dibawah ini.



Gambar 4.3 Tab Dimension dari Jendela *Grid*

3. Pemodelan Geometri

Dalam penggambaran model geometri dilakukan dengan tahapan-tahapan sebagai berikut ini.

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

Posisikan kursor pada pusat koordinat. Letakkan kursor pada koordinat 0,0; 0,0 ini sebagai titik awal dalam penggambaran *geometry* setelah itu gambar geometri sesuai koordinat yang sudah ditentukan.




- b. Klik tombol *standard fixities* pada *toolbar*.



- c. Klik tombol *Distributed load-load system A* pada *toolbar*.

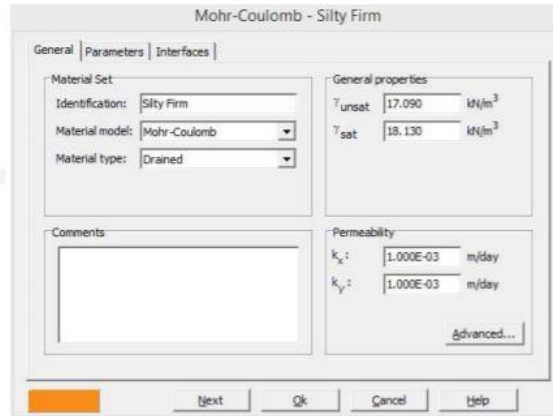
Kemudian klik pada titik awal dan titik akhir pada geometri yang menerima beban, lalu klik kanan *mouse* untuk mengakhiri masukan beban merata. Masukkan nilai beban merata (10kN/m^2)

4. *Input* Parameter Material

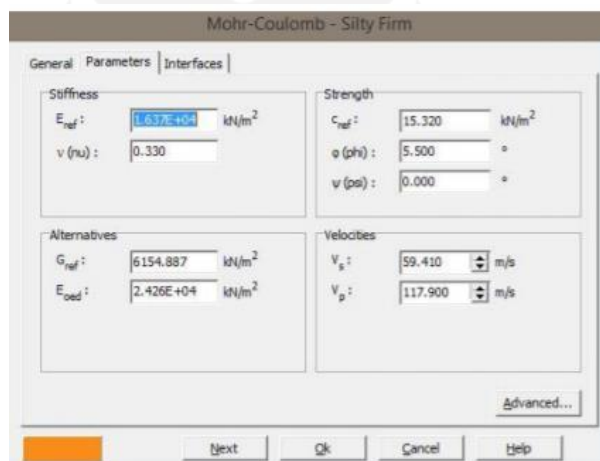
Untuk memasukkan data material pada program ini dapat dilakukan dengan menggunakan tombol *material sets* pada *toolbar* atau dapat melalui pilihan yang tersedia dalam menu *materials*.  Pilih tombol *material sets* pada *toolbar*.

- Klik pilihan (*new*) di sisi bawah dari jendela *material sets*. Sebuah kotak dialog akan muncul dengan tiga buah lembar-tab, yaitu *general*, *parameters*, *interface* (Lihat gambar 4.4 dan Gambar 4.5)
- Dalam kotak dialog *material sets* dalam lembar-tabs *general*, tuliskan “Silty Firm” dalam kotak *identification*.
- Kemudian pilih *Mohr-coulomb* pada *combo box material model* dan *drained* pada *combo box material type*.
- Masukkan nilai yang akan diinput pada *general properties* dan pada kotak *permeability* sesuai dengan sifat material yang digunakan.
- Klik pada tab menu *parameters* ada empat lembar-tab dan masukkan nilai sesuai sifat material yang digunakan. Karena model geometri tidak menggunakan *interface*, maka lembar-tab ketiga dapat dilewati lalu klik OK untuk menyimpan material.
- Klik dan seret (*drag*) kumpulan data dari jendela *material sets* ke klaster tanah pada bidang gambar dan lepas di atasnya. Maka material sudah masuk dalam bidang gambar apabila bidang gambar berubah warna.

- g. Kemudian klik tombol OK pada jendela *material sets* untuk menutup basis data.




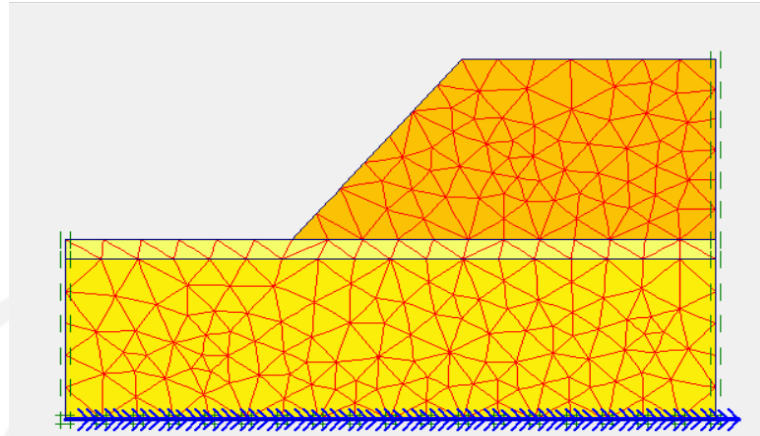
Gambar 4.4 Lembar Tab General dari Jendela Material Sets



Gambar 4.5 Lembar Tab Parameters dari Jendela Material Sets



5. Mesh Generation

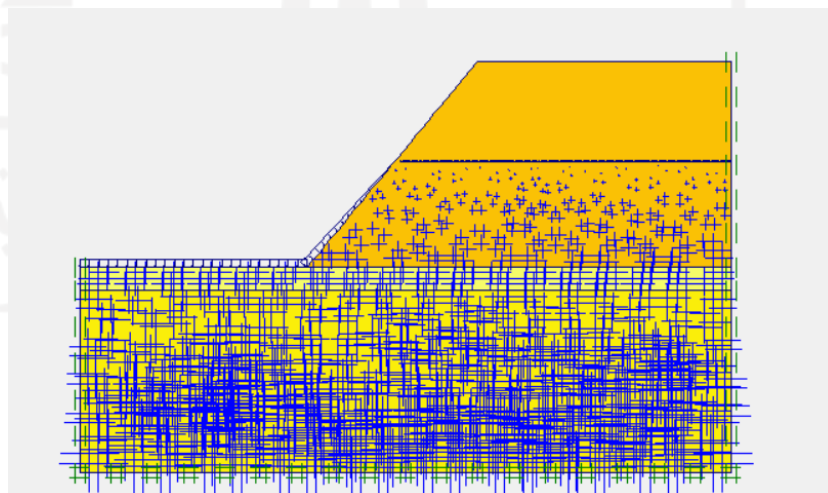
 Klik pilihan *Generate Mesh* pada *toolbar* atau pilih susunan dari menu *mesh*. Setelah penyusunan jaringan elemen maka setelah itu sebuah jendela baru akan terbuka dimana ditunjukkan jaringan elemen hingga yang terbentuk seperti Gambar 4.6. Kemudian klik tombol <perbarui> untuk kembali ke modus masukkan geometri.



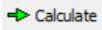
Gambar 4.6 Jaringan Elemen Hingga (*Meshing*)

6. *Intial Condition*

- a. Klik tombol  *initial conditions* pada *toolbar*.
- b. Karena proyek ini tidak mengikuti sertakan tekanan air, maka lanjutkan modus konfigurasi geometri awal dengan mengklik tombol sebelah kanan dari “*switch*”. Garis freatik secara otomatis akan terletak pada dasar geometri.
- c.  Klik pilihan *General intial stresses* pada *toolbar*. Kotak dialog *Ko-procedure* akan muncul pilih OK seperti pada Gambar 4.7 berikut.

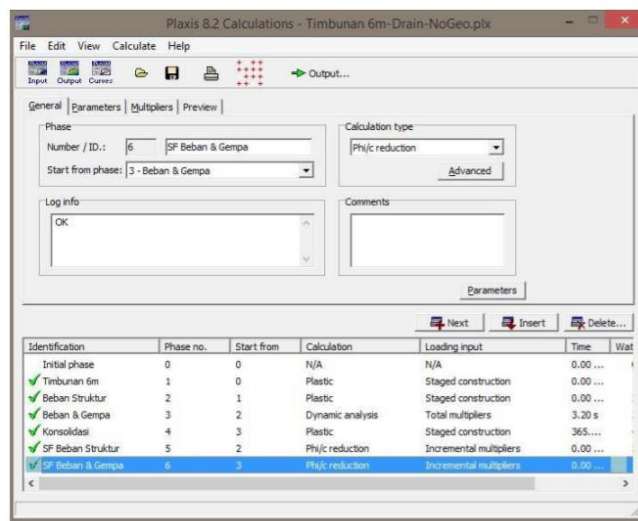


Gambar 4.7 Tegangan Awal Pada Geometri

- d.  *Calculate* Kemudian klik *Calculate*.

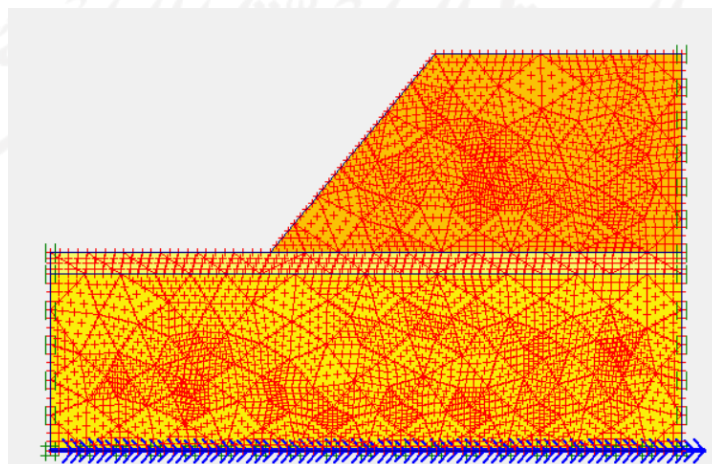
4.5.2 Plaxis Calculation

Pada bagian *calculation* (Gambar 4.8) terdapat empat lembar tab yaitu *generate*, *parameters*, *multipliers* dan *preview*. Dalam lembar tab *general*, pada *calculation type* dipilih *plastic analysis* yang digunakan untuk mengetahui besar *displacement* dari kondisi yang ditinjau, dipilih *phi/c reduction* untuk mengetahui pengaruh dari akibat gempa sedangkan pada lembar tab *parameters* dipilih *staged construction* untuk *loading input*.



Gambar 4.8 Jendela *Calculations* dengan Lembar Tab *General*

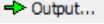
Langkah berikutnya yaitu menentukan titik yang akan ditinjau untuk mengambarkan dalam tampilan kurva yaitu dengan mengklik tombol *select point for curve* seperti Gambar 4.9 berikut.



Gambar 4.9 Pemilihan Titik Kurva yang Ditinjau

Kemudian langkah berikutnya yaitu klik tombol *calculation* untuk menjalankan analisis perhitungan.

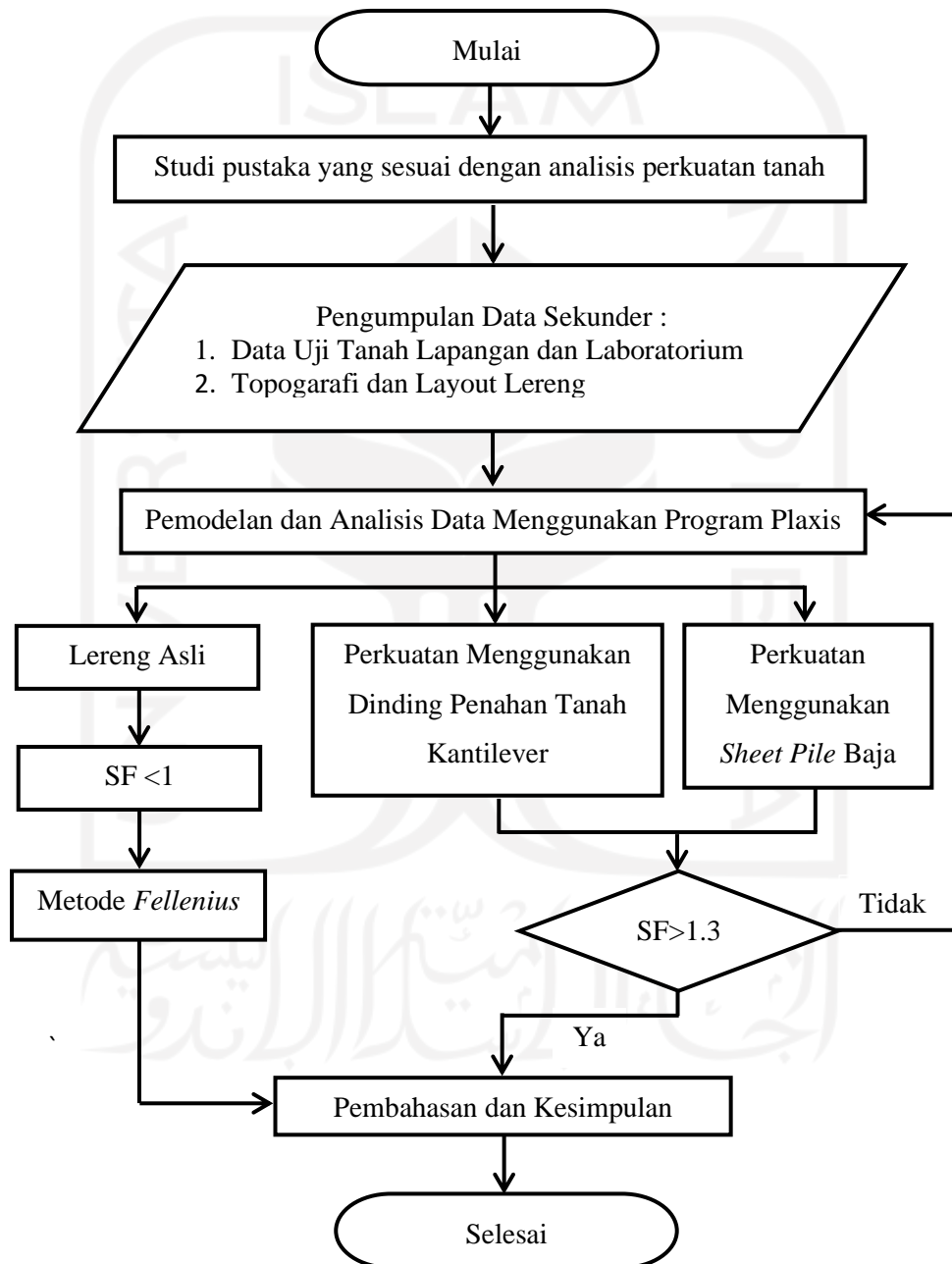
4.5.3 *Plaxis Output*

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

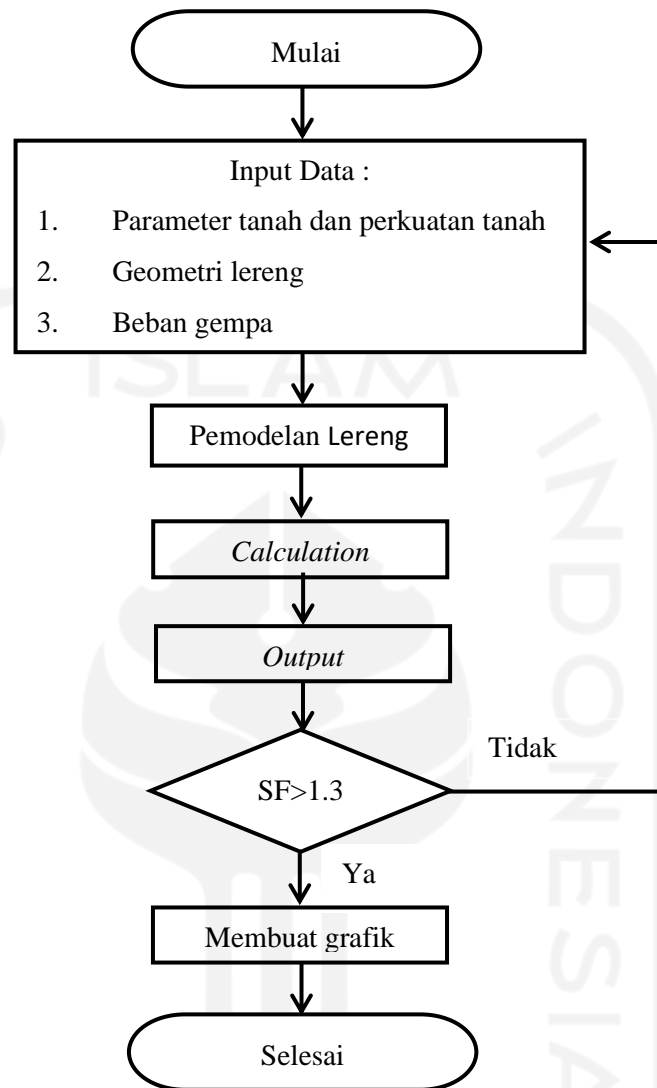


4.6 Bagan Alir Penelitian

Bagan alir penelitian atau *flowchart* penelitian dan bagan alir pemodelan lereng dapat dilihat pada Gambar 4.10 dan Gambar 4.11.



Gambar 4.10 Bagan Alir Penelitian



Gambar 4.11 Bagan Alir Pemodelan Lereng

BAB V

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

5.1 Kondisi Umum Penelitian

Daerah Irigasi Gondang merupakan pemasok kebutuhan air untuk lahan pertanian pada Kabupaten Lamongan. Dari hasil pengamatan yang dilakukan terdapat longsor pada jalan inspeksi irigasi Sta 8+207 dengan tinggi lereng 4.5 meter dengan lebar jalan 4 m.

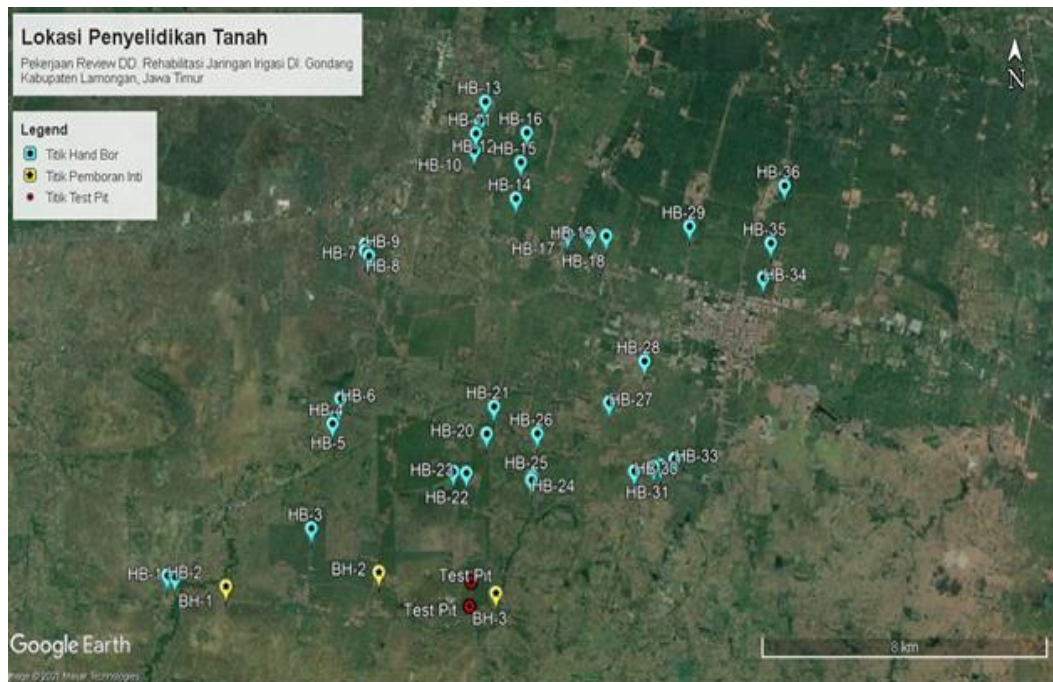
Pada Sta 8+207 akan dilakukan perencanaan perkuatan tanah di daerah lereng yang mengalami kelongsoran. Perkuatan yang akan dianalisis menggunakan dinding penahan tanah kantilever dengan mutu beton $F_c' 25$ Mpa dan *sheet pile* baja dengan profil U. Penelitian yang dilakukan adalah untuk mengetahui nilai keamanan lereng dengan perkuatan dinding penahan tanah kantilever dan *sheet pile* baja menggunakan Plaxis 8.6.

5.2 Data Parameter Tanah dan Beban

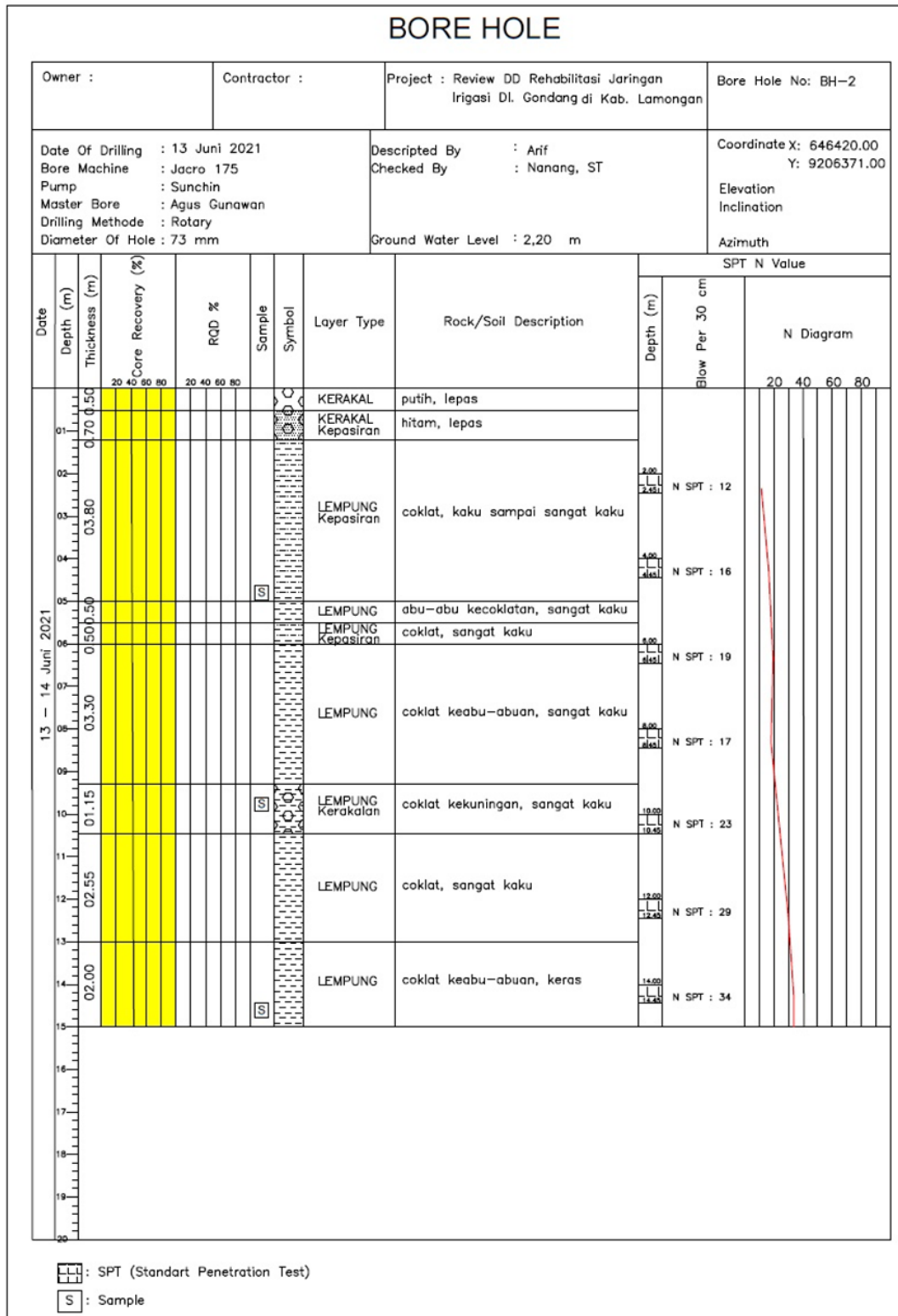
Penelitian yang dilakukan memerlukan data parameter tanah lapangan. Data yang digunakan merupakan data sekunder dari Laporan *Soil Investigation* 2021 D.I Gondang. Berikut merupakan data parameter tanah dan beban yang terjadi serta perkuatan lereng yang di analisis

5.2.1 Data Tanah

Uji tanah yang dilakukan dengan pengujian *Bore Hole*. Lokasi uji tanah Sta 8+207 terdapat pada BH 2. Lokasi pengujian dan data hasil uji *Bore Hole* dapat dilihat pada Gambar 5.1 dan Gambar 5.2 dibawah ini.

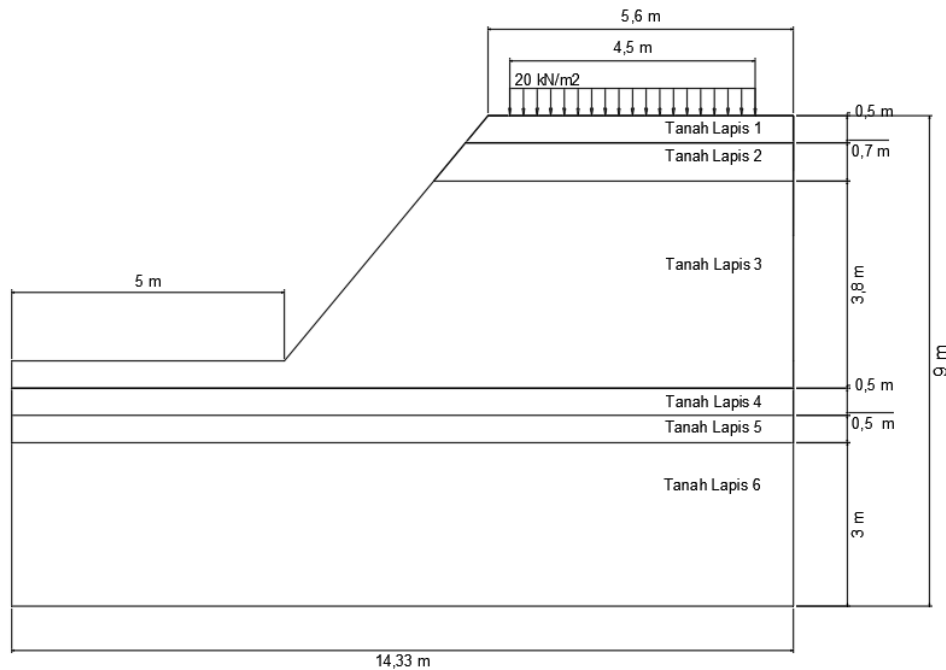


Gambar 5.1 Lokasi Uji Tanah
 (Laporan *Soil Investigation* 2021 D.I Gondang, 2021)



Gambar 5.2 Data Bore Hole 2
(Laporan Soil Investigation 2021 D.I Gondang,2021)

Pemodelan lereng dan Data parameter tanah yang digunakan didapat Laporan *Soil Investigation 2021 D.I Gondang*, dapat dilihat pada Gambar 5.3 dan Tabel 5.1 berikut ini.



Gambar 5.3 Pemodelan Lereng

Tabel 5.1 Data Tanah

Parameter	Satuan	Jenis Tanah		
		Tanah Lapis 1 (Kerakal)	Tanah Lapis 2 (Kerakal Kepasiran)	Tanah Lapis 3 (Lempung Kepasiran)
γ_{sat}	kN/m^3	13.12	12.86	14.12
γ_{unsat}	kN/m^3	11.25	11.08	12.32
E	kN/m^2	22000	20000	18000
ν	-	0.3		0,3
Kohesi (C)	kN/m^2	15	16	10
K_x	m/hari	0.1	0.1	0.001
K_y	m/hari	0.1	0.1	0.001
Sudut geser (ϕ)	°	20	20	15

Lanjutan Tabel 5.1 Data Tanah

Parameter	Satuan	Jenis Tanah		
		Tanah Lapis 4 (Lempung)	Tanah Lapis 5 (Lempung Kepasiran)	Tanah Lapis 6 (Lempung)
γ_{sat}	kN/m^3	16.03	14.38	15.59
γ_{unsat}	kN/m^3	15.12	12.74	14.18
E	kN/m^2	8000	18000	8000
ν	-	0,2	0,3	0,3
Kohesi (C)	kN/m^2	22	12	25
K_x	m/hari	0.001	0.01	0.001
K_y	m/hari	0.001	0.01	0.001
Sudut geser (ϕ)	°	8	14	10

5.2.2 Data Beban

Penelitian yang dilakukan menggunakan beban lalu lintas dan beban gempa.

1. Beban Lalu Lintas

Menurut UU No.38/2004 dan PP No.34/2006 jalan inspeksi diklasifikasikan sebagai jalan lokal dan merupakan jalan satu arah yang berada di bawah wewenang Direktorat Irigasi. Berdasarkan hal tersebut didapatkan beban lalu lintas sebesar $10 kN/m^2$. Besaran nilai beban lalu lintas dapat dilihat pada Tabel 5.2 sebagai berikut.

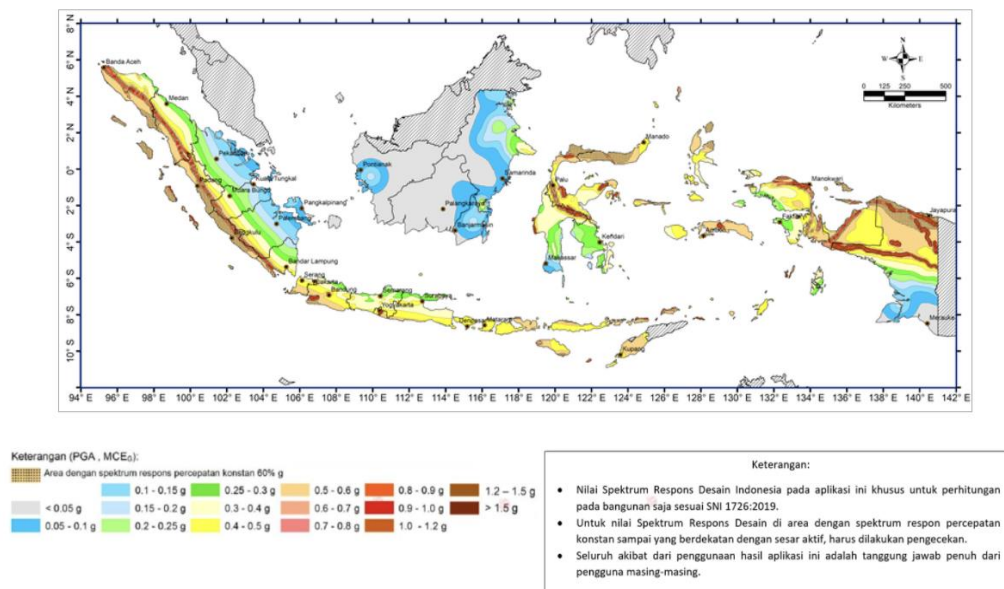
Tabel 5.2 Beban Lalu Lintas

Fungsi	Sistem Jaringan	LHR	Beban Lalu Lintas
Primer	Ateri	Semua	15
	Kolektor	>10000	15
		<10000	12
Skunder	Ateri	>20000	15
		<20000	12
	Kolektor	>6000	12
		<6000	10
	Lokal	>500	10
	<500	10	

(Sumber : Panduan Geoteknik 4 No.pt T-10-2002-B,2021)

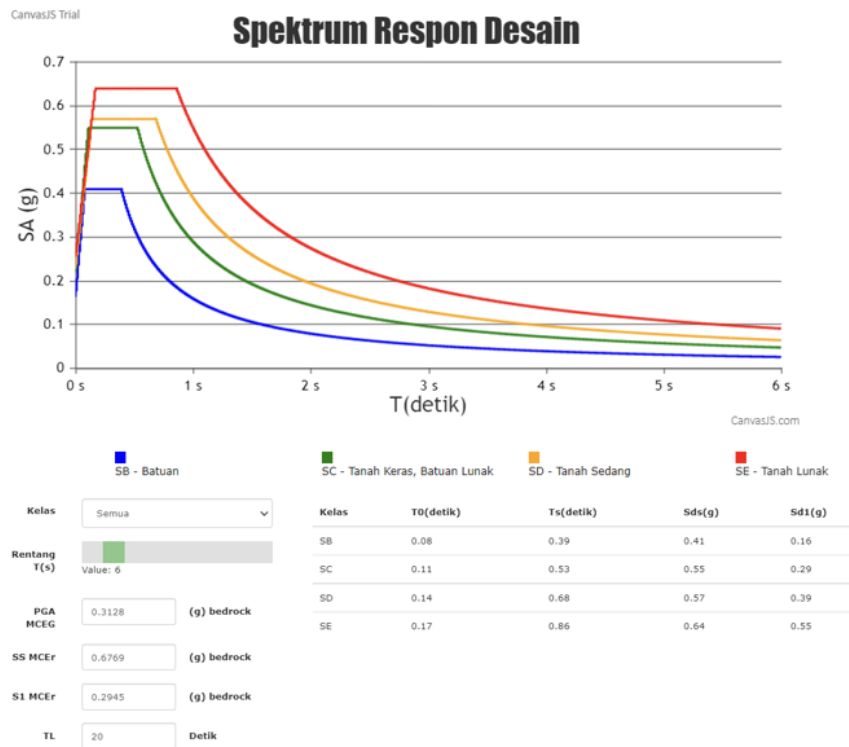
2. Beban Gempa

Data beban gempa menggunakan desain spektra Indonesia dari web Kementerian PUPR yang mengacu pada Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017 (rsa.ciptakarya.pu.go.id, 2021). Wilayah Lamongan memiliki percepatan puncak gempa (PGA) sebesar 0,3-0,4 g. Beban gempa yang digunakan 0.313 g yang didapatkan dari web Kementerian PUPR (rsa.ciptakarya.pu.go.id, 2021). Peta zonasi gempa dan nilai spektra percepatan gempa dapat dilihat pada Gambar 5.3 dan Gambar 5.4 sebagai berikut.



Gambar 5.4 Peta Zonasi Gempa Indonesia

(Sumber : rsa.ciptakarya.pu.go.id, 2021)



Gambar 5.5 Peta Zonasi Gempa Nilai Spektral Percepatan Gempa Daerah Irigasi Gondang

(Sumber : rsa.ciptakarya.pu.go.id, 2021)

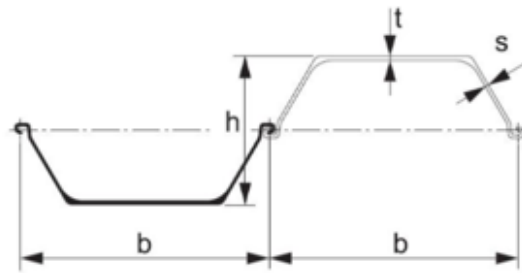
5.2.3 Data Dinding Penahan Tanah Kantilever

Data yang digunakan dalam menganalisis lereng dengan perkuatan dinding penahan tanah adalah sebagai berikut.

1. Dinding penahan tanah terdiri dari beton bertulang dengan tipe kantilever.
2. Berat volume beton bertulang yang digunakan sebesar $2,4 \text{ kN/m}^3$.
3. Mutu beton yang digunakan adalah 25 MPa.
4. Tinggi dinding penahan tanah 6 meter.

5.2.4 Data Sheet Pile Baja

Analisis menggunakan *Steel Sheet Pile* Larssen 24 dengan dimensi profil dapat dilihat pada Gambar 5.5 sebagai berikut.



Section	Dimensions				Mass		Moment of inertia	Modulus of section
	Width	Height	Thickness		Per pile	Wall		
	b	h	t	s	kg/m	kg/m ²		
	mm	mm	mm	mm		cm ⁴ /m	cm ³ /m	
LARSEN22	500	340	10	9	61.8	123.6	21420	1260
LARSEN22 10/10	500	340	10	10	64.9	129.8	22100	1300
LARSEN 23	500	420	11.2	10	77.5	155	42000	2000
LARSEN 24	500	420	15.6	10	87.5	175	52500	2500
LARSEN 24/12	500	420	15.6	12	92.7	185.4	53610	2550
LARSEN 25	500	420	20	11.5	103	206	63840	3040
LARSEN 43	500	420	12	12	83	166	34900	1660
LARSEN 430	708	420	12	12	166	234.5	241800	6450

Gambar 5.6 Data Profil U-Sheet Pile

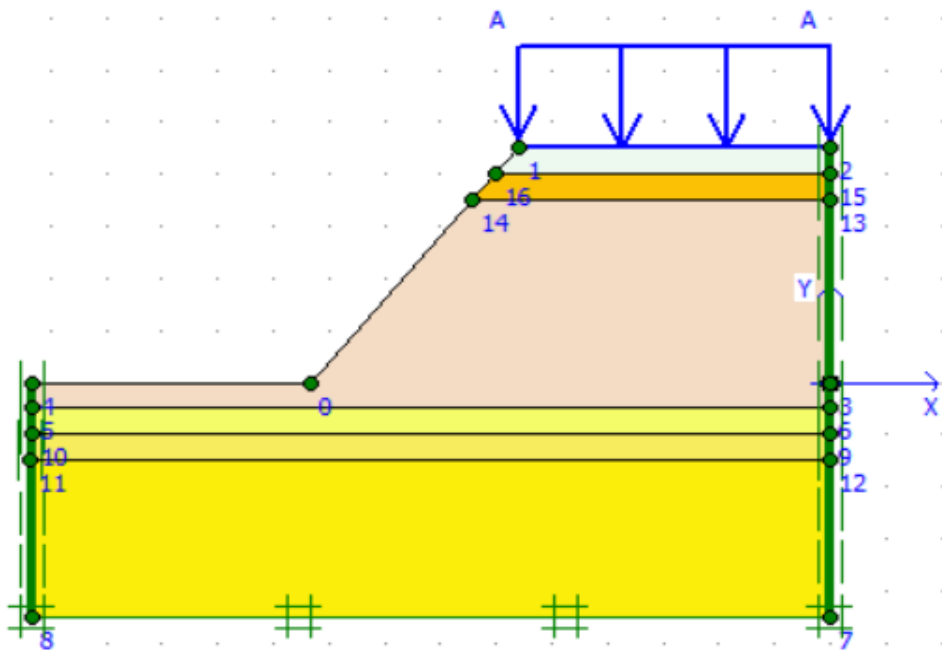
(Sumber : www.china-steelpiling.com,2021)

5.3 Analisis Lereng Asli

Analisis yang dilakukan pada lereng asli pada Sta 8+207 dengan ketinggian lereng 4,5 m. Perhitungan ini bertujuan untuk mengetahui nilai angka aman pada lereng dengan menggunakan program Plaxis dan perhitungan dengan metode *Felinius*.

5.3.1 Analisis Lereng Asli Dengan Permodelan Plaxis

Pemodelan lereng asli menggunakan beban yang bekerja di atasnya dan parameter tanah yang didapatkan. Pemodelan lereng asli dilakukan secara dua dimensi dapat dilihat pada Gambar 5.7 sebagai berikut.

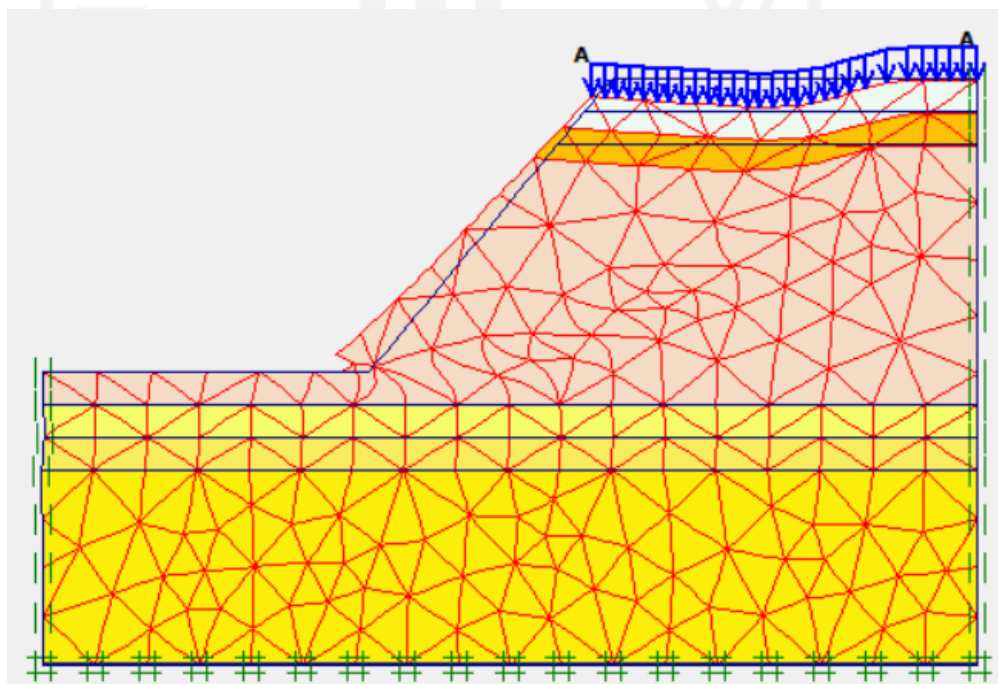


Gambar 5.7 Permodelan Lereng Asli

Hasil perhitungan analisis lereng asli pada program plaxis seperti berikut.

1 *Deformed Mesh*

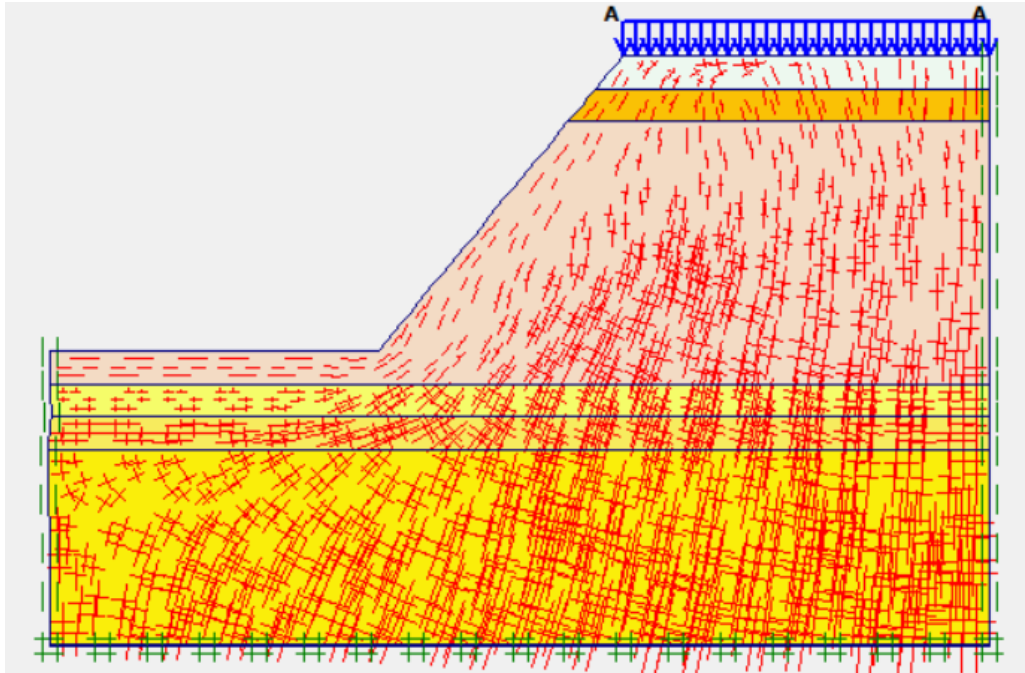
Hasil dari *deformed mesh* didapatkan nilai *extreme total displacement* sebesar 322.58×10^{-3} m seperti Gambar 5.8 berikut.



Gambar 5.8 Deformed Mesh Lereng Asli

2 *Effective Stress*

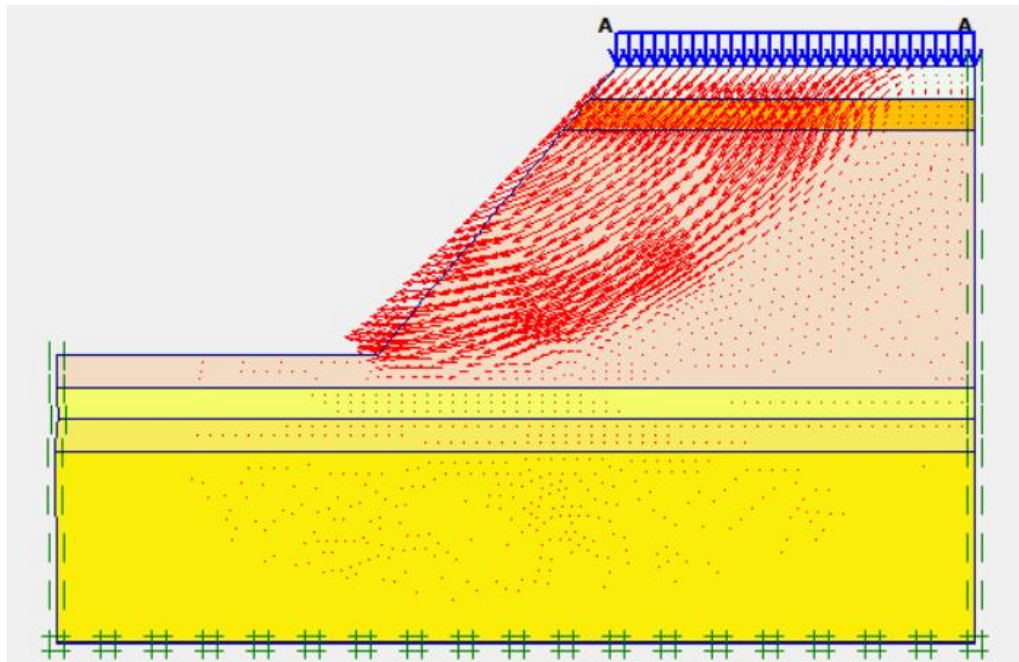
Nilai dari *effective stress* pada lereng asli sebesar -119.37 kN/m^2 . Gambar *effective stress* dapat dilihat pada Gambar 5.9 dibawah ini.



Gambar 5.9 *Effective Stress* Lereng Asli

3 Arah Pergerakan Tanah

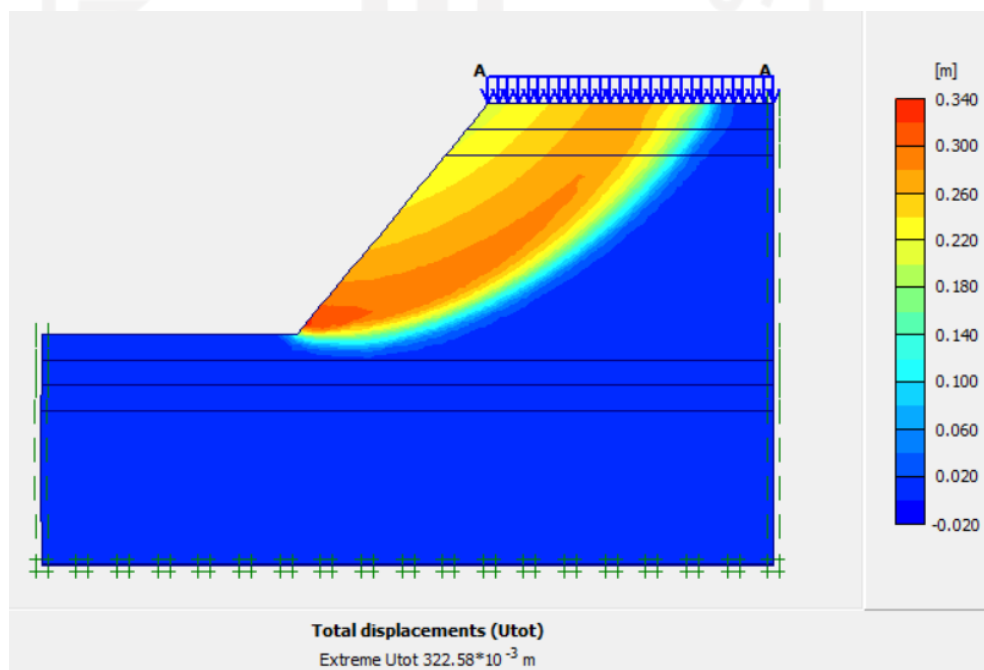
Arah pergerakan tanah pada lereng asli dapat dilihat pada Gambar 5.10.



Gambar 5.10 Arah Pergerakan Tanah Lereng Asli

4 *Total Displacement*

Nilai *total displacement* dari hasil analisis didapatkan sebesar 0.32258 m. Gambar *total displacement* tanpa beban gempa dapat dilihat pada Gambar 5.11.



Gambar 5.11 Total Displacement Tanah Lereng Asli

5 Angka Keamanan

Analisis lereng asli terjadi *soil body collapse* atau kondisi batas tidak tercapai sehingga angka keamanan tidak dapat dianalisis dapat dilihat pada Gambar 5.12.

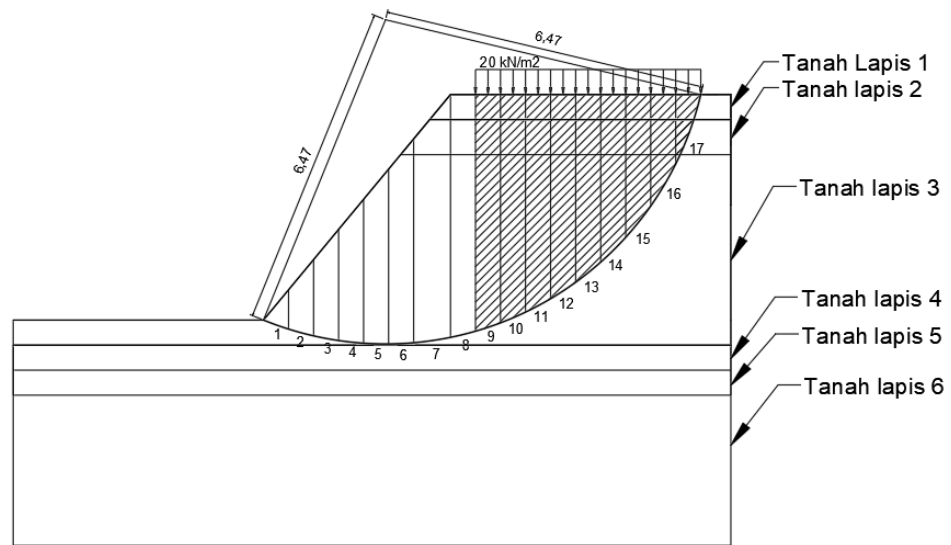
Identification	Phase no.	Start from	Calculation	Loading input	Time	Water	First
Initial phase	0	0	N/A	N/A	0.00 ...	0	0
✓ tanah asli	1	0	Plastic analysis	Total multipliers	0.00 ...	0	1
✗ pembebanan	2	1	Plastic analysis	Staged construction	0.00 ...	2	3
➔ SF	3	2	Phi/c reduction	Incremental multipliers	0.00 ...	2	

Gambar 5.12 Tahap Perhitungan Analisis Lereng Asli

Hal tersebut diakibatkan kondisi tanah pada lereng tidak mampu menahan beban tanah timbunan dan beban yang bekerja di atasnya. Sehingga tidak bisa melanjutkan pada tahapan selanjutnya. Perhitungan lereng asli dengan menggunakan program Plaxis nilai angka aman tidak bisa dilakukan perhitungan. Maka perhitungan lereng asli untuk mengetahui nilai angka aman pada lereng menggunakan perhitungan manual dengan metode *Fellinius*.

5.3.2 Analisis Lereng Asli Dengan Metode *Fellinius*

Analisis lereng dengan menggunakan metode *Fellinius* bertujuan untuk mendapatkan nilai angka aman pada lereng asli. Lereng dibagi menjadi 17 irisan yang tiap irisan dengan lebar sekitar 0,5 meter dan jari-jari 6,47 meter, untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 5.13 dibawah ini.



Gambar 5.13 Irisan Lereng Tanah Asli

Berdasarkan gambar diatas dapat diketahui panjang, luas dan sudut masing-masing irisan sebagai data dalam perhitungan dapat dilihat pada Tabel 5.3, Tabel 5.4 dan Tabel 5.5 berikut ini.

Tabel 5.3 Data Irisan Pada Tanah Lapis 1

Irisan ke-i	Luas Irisan (m ²)	Sudut Tiap Irisan
7	0.104	8
8	0.25	14
9	0.25	18
10	0.25	23
11	0.25	28
12	0.25	33
13	0.25	39
14	0.25	45
15	0.25	51
16	0.25	59
17	0.216	69

Tabel 5.4 Data Irisan Pada Tanah Lapis 2

Irisan ke-i	Luas Irisan (m ²)	Sudut Tiap Irisan
6	0.041	3
7	0.453	8
8	0.35	14
9	0.35	18
10	0.35	23
11	0.35	28
12	0.35	33
13	0.35	39
14	0.35	45
15	0.35	51
16	0.35	59
17	0.135	69

Tabel 5.5 Data Irisan Pada Tanah Lapis 3

Irisan ke-i	Luas Irisan (m ²)	Sudut Tiap Irisan
1	0.198	-20
2	0.557	-15
3	0.936	-11
4	1.290	-6
5	1.590	-2
6	1.850	3
7	2.722	8
8	1.794	14
9	1.722	18
10	1.627	23
11	1.506	28
12	1.358	33
13	1.176	39
14	0.953	45
15	0.675	51
16	0.313	59
17	0.034	69

Perhitungan metode *fellenius* dapat dilihat pada uraian dibawah ini dengan contoh pada irisan 1 :

1 Perhitungan Radians

$$\text{Rad} = \alpha \times \frac{\pi}{180} = -20 \times \frac{\pi}{180} = -0.349$$

2 Perhitungan Berat Irisan

$$W1 = \gamma \times A1 = 12.32 \times 0.198 = 2.439 \text{ kN}$$

3 Perhitungan $\sin \alpha$

$$\text{Sin}\alpha1 = \sin (\text{Rad}1) = \sin (-0.349) = -0.342$$

4 Perhitungan $\cos \alpha$

$$\text{Cos}\alpha1 = \cos (\text{Rad}1) = \cos (-0.349) = 0.940$$

5 Perhitungan $Wt \times \sin \alpha$

$$Wt1 = Wt \times \text{Sin} \alpha = (1.860+0.711) \times -0.349 = -0.834 \text{ kN}$$

6 Perhitungan $Wt \times \cos \alpha$

$$Wt1 = Wt \times \text{cos} \alpha = (1.860+0.711) \times 0.940 = 2.292 \text{ kN}$$

Perhitungan selanjutnya dapat dilihat pada Tabel 5.6, Tabel 5.7 dan Tabel 5.8 sebagai berikut.

Tabel 5.6 Hasil Perhitungan Tanah Lapis 1

Irisan ke-i	Berat Irisan (kN)	$Wt \times \sin \alpha$ (kN)	$Wt \times \cos \alpha$ (kN)
7	1.170	0.163	1.159
8	2.812	0.681	2.729
9	2.812	0.869	2.675
10	2.812	1.099	2.589
11	2.812	1.321	2.483
12	2.812	1.532	2.358
13	2.812	1.769	2.185
14	2.812	1.989	1.989
15	2.812	2.186	1.769
16	2.812	2.410	1.449
17	2.430	2.269	0.871

Tabel 5.7 Hasil Perhitungan Tanah Lapis 2

Irisan ke-i	Berat Irisan (kN)	Wt x sin α (kN)	Wt x cos α (kN)
6	0.505	0.026	0.504
7	5.019	0.698	4.971
8	3.878	0.938	3.763
9	3.878	1.198	3.688
10	3.878	1.515	3.569
11	3.878	1.821	3.424
12	3.878	2.112	3.252
13	3.878	2.441	3.014
14	3.878	2.742	2.742
15	3.878	3.014	2.441
16	3.878	3.324	1.997
17	1.495	1.396	0.536

Tabel 5.8 Hasil Perhitungan Tanah Lapis 3

Irisan ke-i	Berat Irisan (kN)	Wt x sin α (kN)	Wt x cos α (kN)
1	2.439	-0.834	2.292
2	6.862	-1.776	6.628
3	11.532	-2.200	11.320
4	15.893	-1.661	15.806
5	19.589	-0.684	19.577
6	22.792	1.193	22.761
7	33.535	4.667	33.209
8	22.102	5.347	21.446
9	21.215	6.556	20.177
10	20.045	7.832	18.451
11	18.554	8.711	16.382
12	16.731	9.112	14.031
13	14.488	9.118	11.260
14	11.741	8.302	8.302
15	8.316	6.463	5.233
16	3.856	3.305	1.986
17	0.419	0.391	0.150

Nilai tahanan kelongsoran oleh kohesi yang di hitung dari panjang lengkung tanah. Panjang garis lengkung tanah lapis 1 sebesar 0.52 m, panjang garis lengkung

tanah lapis 2 sebesar 0.53 dan panjang lengkung tanah lapis 3 sebesar 10.1 m, dengan perhitungan sebagai berikut.

$$\begin{aligned}\Sigma c_{iai} &= (0.52 \times 15) + (0.53 \times 16) + (10.1 \times 10) \\ &= 115.7 \text{ kN/m}\end{aligned}$$

Beban merata yang ada diatas lereng sebesar 20 kN/m². Momen yang dihasilkan dari beban merata tersebut diperhitungkan sebagai berikut.

$$Mq = (q \times A) = (20 \times 4.5) = 90 \text{ kN}$$

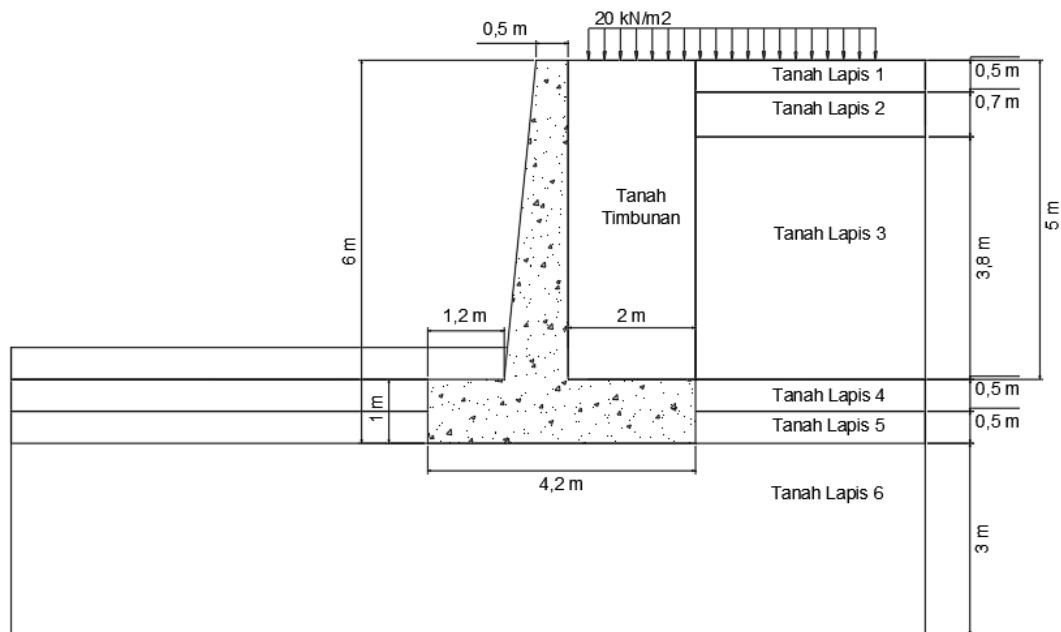
Berdasarkan perhitungan diatas, dapat di hitung nilai angka keamanan lereng dengan metode *Fellinius* sebagai berikut ini.

$$\begin{aligned}SF &= \frac{(\text{Jumlah Momen Tahanan})}{(\text{Jumlah momen Longsor})} = \frac{\sum_{n=1}^{i=n} ca_i + (W_i \cos \theta_i) \tan \phi}{\sum_{n=1}^{i=n} W_i \sin \theta_i} \\ &= \frac{(115.7) + (42.069)}{(97.689) + (90)} \\ &= 0.841 \text{ (Tidak Aman)}\end{aligned}$$

Hasil perhitungan SF metode *fellinius* didapatkan nilai angka aman senilai 0.841. Karena persyaratan untuk keamanan lereng sebesar > 1.3. Maka lereng perlu melakukan perkuatan sehingga lereng tidak terjadi kelongsoran.

5.4 Analisis Lereng Menggunakan Perkuatan Dinding Penahan Tanah Kantilever Dengan *Plaxis*

Permodelan dinding penahan tanah kantilever pada lereng menggunakan program *plaxis*. Analisis dinding penahan tanah pada program *plaxis* sama dengan analisis stabilitas lereng, perbedaannya ada pada data dan dimensi dinding penahan tanah yang digunakan seperti Gambar 5.14 dibawah ini.



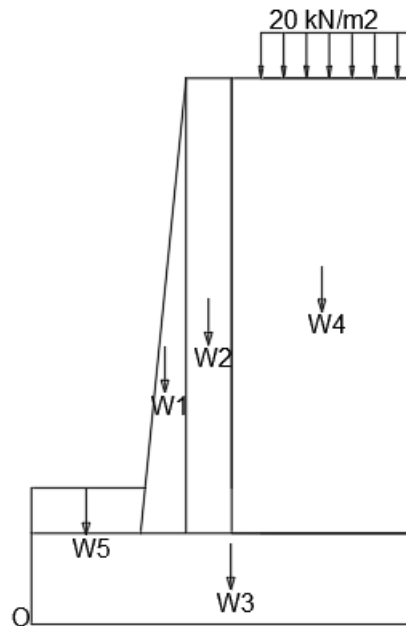
Gambar 5.14 Dinding Penahan Tanah

5.4.1 Perhitungan Manual Dinding Penahan Tanah Kantilever

Perhitungan manual dinding penahan tanah akan didapat nilai angka aman dengan tinjauan terhadap gaya geser, gaya guling dan kapasitas dukung ijin tanah pada dasar pondasi. Penggunaan beban struktur perkerasan jalan dan beban lalu lintas diasumsikan sebesar 20 kN/m^2 dan beban gempa.

1. Gaya vertikal

Gaya yang bekerja akibat berat dinding penahan tanah dan tanah di atasnya merupakan perhitungan gaya vertikal. Perhitungan gaya vertikal dan momen terhadap pondasi (titik O) dan Gaya-gaya yang bekerja dibagi dengan beberapa pias seperti pada Gambar 5.15 dibawah ini.



Gambar 5.15 Gaya Vertikal Pada Dinding Penahan Tanah

Contoh perhitungan gaya vertikal yang berkerja pada dinding penahan tanah pada pias 2.

$$\begin{aligned}
 \text{Volume} &= b \times h \times 1 \\
 &= 0.5 \times 5 \times 1 \\
 &= 2.5 \text{ m}^3 \\
 \text{Gaya vertikal} &= \text{Volume} \times \gamma \text{ beton} \\
 &= 2.5 \times 24 \\
 &= 60 \text{ kN} \\
 \text{Jarak dari O} &= 1.95 \text{ m} \\
 \text{Momen ke O} &= \text{Gaya vertikal} \times \text{jarak} \\
 &= 60 \times 1.95 \\
 &= 117 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

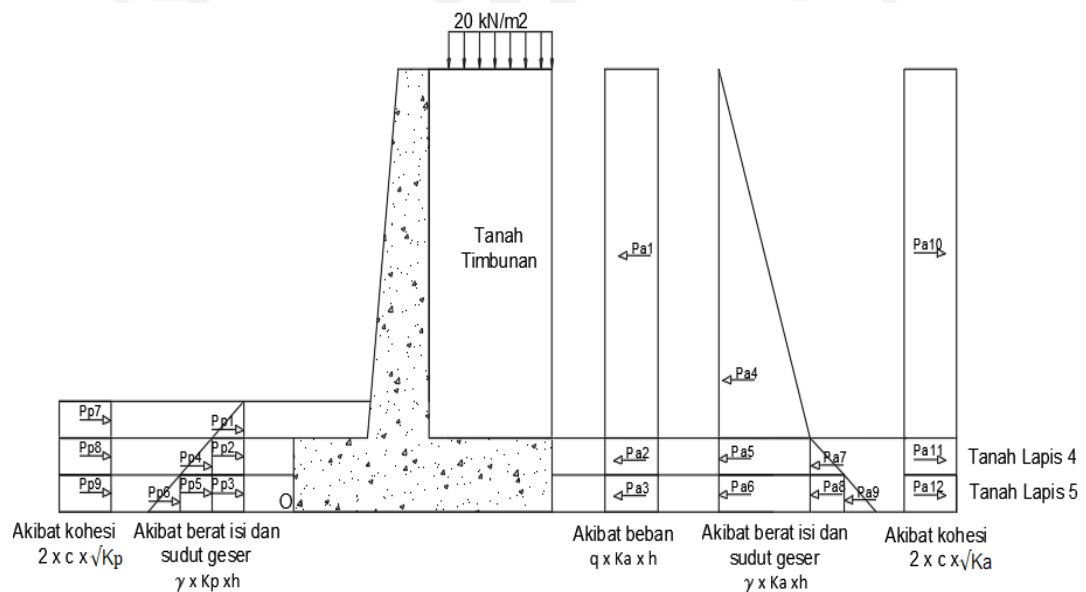
Hasil rekapitulasi perhitungan dari gaya-gaya vertikal dan momen yang bekerja pada dinding penahan tanah dapat dilihat pada tabel 5.9 berikut ini.

Tabel 5.9 Hasil Rekapitulasi Perhitungan Gaya vertikal dan Momen Yang Bekerja Pada Dinding Penahan Tanah

No	Berat W (kN)	Jarak dari O (m)	Momen dari O (kNm)
1	30	1.45	43.5
2	60	1.95	117
3	100.8	2.1	211.68
4	152	3.2	486.4
5	7.546	0.6	4.5276
q	60	3.2	192
Σ	398.346		1016.707

2. Tekanan tanah lateral

Perhitungan tekanan tanah aktif dan pasif merupakan perhitungan tekanan tanah lateral. Menghitung tekanan tanah lateral memerlukan perhitungan nilai koefisien tekanan tanah aktif pada lapisan tanga pada struktur dinding penahan tanah. Tekanan tanah lateral aktif dan pasif dapat dilihat pada Gambar 5.16 sebagai berikut.



Gambar 5.16 Tekanan Tanah Lateral Aktif Dan Pasif

Perhitungan dari tekanan tanah lateral sebagai berikut.

a. Koefisien tekanan tanah aktif dan pasif

$$\begin{aligned} K_{a1} &= \tan^2 \left(45 - \frac{\varphi}{2} \right) \\ &= \tan^2 \left(45 - \frac{26}{2} \right) \\ &= 0.39 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} K_{a2} &= \tan^2 \left(45 - \frac{\varphi}{2} \right) \\ &= \tan^2 \left(45 - \frac{8}{2} \right) \\ &= 0.756 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} K_{a3} &= \tan^2 \left(45 - \frac{\varphi}{2} \right) \\ &= \tan^2 \left(45 - \frac{14}{2} \right) \\ &= 0.61 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} K_{p2} &= \tan^2 \left(45 + \frac{\varphi}{2} \right) \\ &= \tan^2 \left(45 + \frac{8}{2} \right) \\ &= 1.323 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} K_{p3} &= \tan^2 \left(45 + \frac{\varphi}{2} \right) \\ &= \tan^2 \left(45 + \frac{\varphi}{2} \right) \\ &= 1.638 \end{aligned}$$

b. Perhitungan tekanan tanah aktif dan pasif

Berikut merupakan beberapa contoh perhitungan tekanan aktif dan tanah pasif pada dinding penahan tanah.

$$\begin{aligned} P_{a1} &= q \times K_{a1} \times h_1 \\ &= 20 \times 0.39 \times 5 \\ &= 39.046 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{a4} &= 0.5 \times \gamma_{\text{timbunan}} \times K_{a1} \times h_1^2 \\ &= 0.5 \times 15.2 \times 0.39 \times 5^2 \\ &= 74.188 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{a10} &= -2 \times c_t \times \sqrt{K_{a \text{ tim}}} \times h_1 \\ &= -2 \times 15 \times \sqrt{0.39} \times 5 \\ &= -62.487 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$Pp2 = \gamma_{\text{lapis4}} \times Kp2 \times h2^2$$

$$= 15.12 \times 1.323 \times 0.5^2$$

$$= 5.002 \text{ kN}$$

$$Pp4 = 0.5 \times \gamma_{\text{lapis4}} \times Kp2 \times h2^2$$

$$= 0.5 \times 15.12 \times 1.323 \times 0.5^2$$

$$= 2.501 \text{ kN}$$

$$Pp8 = 2 \times c3 \times \sqrt{Kp2} \times h2$$

$$= 2 \times 18 \times \sqrt{1.323} \times 0.5$$

$$= 20.707 \text{ kN}$$

Rekapitulasi perhitungan tekanan tanah aktif dan tanah pasif pada dinding penahan tanah dapat dilihat pada Tabel 5.10 dan Tabel 5.11 sebagai berikut.

Tabel 5.10 Tekanan Aktif Terhadap Titik O

Tekanan Tanah	Gaya (kN)	Jarak ke O (m)	Momen (kNm)
Pa1	39.046	3.5	136.661
Pa2	7.556	0.75	5.667
Pa3	6.104	0.25	1.526
Pa4	74.187	2.667	197.858
Pa5	28.563	0.75	21.423
Pa6	14.996	0.25	3.749
Pa7	1.428	0.667	0.953
Pa8	1.944	0.25	0.486
Pa9	0.972	0.167	0.162
Pa10	-62.487	3.5	-218.704
Pa11	-15.647	0.75	-11.735
Pa12	-9.375	0.25	-2.343
Total	87.289		438.748

Tabel 5.11 Tekanan Pasif Terhadap Titik O

Tekanan Tanah	Gaya (kN)	Jarak ke O (m)	Momen (kNm)
Pp1	2.616	1.25	3.269
Pp2	5.002	0.75	3.752
Pp3	3.752	0.25	0.938
Pp4	2.501	0.667	1.668
Pp5	5.218	0.25	1.304
Pp6	2.609	0.167	0.436
Pp7	13.032	1.25	16.290
Pp8	20.707	0.75	15.530
Pp9	15.359	0.25	3.840
Total	70.796		47.028

3. Stabilitas dinding penahan tanah

Perhitungan Stabilitas dinding penahan tanah terhadap gaya geser, gaya guling dan daya dukung tanah terhadap runtuh sebagai berikut.

a. Stabilitas terhadap gaya geser

Perhitungan tahanan geser pada dinding penahan tanah, dianggap bahwa tahanan geser yang diberikan pada dinding penahan tanah sepanjang 4.2m, maka sudut gesek $\delta_b = \phi$ tanah dasar dan $cd = c$ tanah dasar. Berikut perhitungan stabilitas terhadap gaya geser.

$$\begin{aligned} R_h &= cd \times B + (\Sigma W) \times \tan \delta_b \\ &= 20 \times 4.2 + 398.346 \times \tan 10 \\ &= 136.355 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_{gs} &= \frac{\Sigma R_h + P_p}{\Sigma P_a} \\ &= \frac{136.355 + 70.796}{87.289} \\ &= 2.373 \end{aligned}$$

$F_{gs} > 1.5$, maka Stabilitas dinding penahan tanah terhadap gaya geser dinyatakan aman.

b. Stabilitas terhadap gaya guling

Perhitungan stabilitas terhadap penggulingan dihitung dengan membandingkan momen yang menggulingkan dengan momen yang menahan. Perhitungan stabilitas terhadap gaya guling sebagai berikut.

$$\begin{aligned}\Sigma M_{\text{penahan}} &= (\Sigma M_w + \Sigma M_{\text{pasif}}) \\ &= 1016.707 + 47.028 \\ &= 1102.135 \text{ kNm}\end{aligned}$$

$$\Sigma M_{\text{pendorong}} = 438.748 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned}F_{\text{gl}} &= \frac{\Sigma M_{\text{penahan}}}{\Sigma M_{\text{pendorong}}} \\ &= \frac{1063.735}{438.748} \\ &= 2.425\end{aligned}$$

$F_{\text{gl}} > 1,5$, maka stabilitas terhadap penggulingan pada dinding penahan tanah dinyatakan aman.

c. Daya dukung tanah terhadap runtuh

Perhitungan daya dukung tanah terhadap runtuh dengan menggunakan persamaan Hansen (1970) dan Vesic (1975). Berikut perhitungan daya dukung tanah terhadap runtuh.

$$\begin{aligned}X_e &= \frac{\Sigma Ww - \Sigma M_{\text{gl}}}{\Sigma w} \\ &= \frac{1055.107 - 260.351}{410.346} \\ &= 1.937 \text{ m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}e &= \frac{B}{2} - X_e \\ &= \frac{4.2}{2} - 1.937 \\ &= 0.163 \text{ m} < \frac{B}{6} \\ &= 0,163 \text{ m} < 0,7\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}B' &= B - 2e \\ &= 4.2 - 2(0.163)\end{aligned}$$

$$= 3.873 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} A' &= B' \times 1 \\ &= 3.873 \times 1 \\ &= 3.873 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Gaya Horizontal} = 87.289 \text{ kN } (\Sigma p_a)$$

$$\text{Gaya Vertikal} = 398.346 \text{ kN } (\Sigma w)$$

Perhitungan faktor kemiringan beban sebagai berikut.

$$\begin{aligned} N_q &= e^{(\pi x \tan \varphi)} x \tan^2 \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right) \\ &= e^{(\pi x \tan 10^\circ)} x \tan^2 \left(45^\circ + \frac{10^\circ}{2} \right) \\ &= 2.69 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_c &= (N_q - 1) \times \text{ctg } \varphi \\ &= (2.25) \times \text{ctg } 10^\circ \\ &= 9.61 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_Y &= 1,5 \times (N_q - 1) \times \text{tg } \varphi \\ &= 1,5 \times (2.25 - 1) \times \text{tg } 10^\circ \\ &= 1.26 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} i_q &= \left(1 - \left(\frac{0,5 \times H}{V + A' x c_a x \text{ctg } \varphi} \right) \right)^5 \geq 0 \\ &= \left(1 - \left(\frac{0,5 \times 56.046}{410.346 + 5.014 \times 8,3385 \times \text{ctg } 10^\circ} \right) \right)^5 \\ &= 0.593 \geq 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} i_c &= \frac{i_q - (1 - i_q)}{N_c x \tan \varphi} \\ &= \frac{0,593 - (1 - 0,593)}{9,61 \times \tan 10^\circ} \\ &= 0.501 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} i_Y &= \left(1 - \left(\frac{0,7 \times H}{V + A' x c_a x \text{ctg } \varphi} \right) \right)^5 \geq 0 \\ &= \left(1 - \left(\frac{0,7 \times 56.046}{410.346 + 2,25 \times 8,85 \times \text{ctg } 10^\circ} \right) \right)^5 \\ &= 0,474 \end{aligned}$$

Faktor bentuk $s_c = s_q = s_Y = 1$ dan factor kedalaman Hansen berikut.

$$d_c = 1 + 0,4 \frac{DF}{B}$$

$$= 1 + 0,4 \frac{1,5}{4,2}$$

$$= 1,142$$

$$dq = 1 + 2 \frac{DF}{B} x \tan \phi x (1 - \sin \phi)^2$$

$$= 1 + 2 \frac{1,5}{4,2} x \tan 10 x (1 - \sin 10)^2$$

$$= 1,122$$

$$dY = 1$$

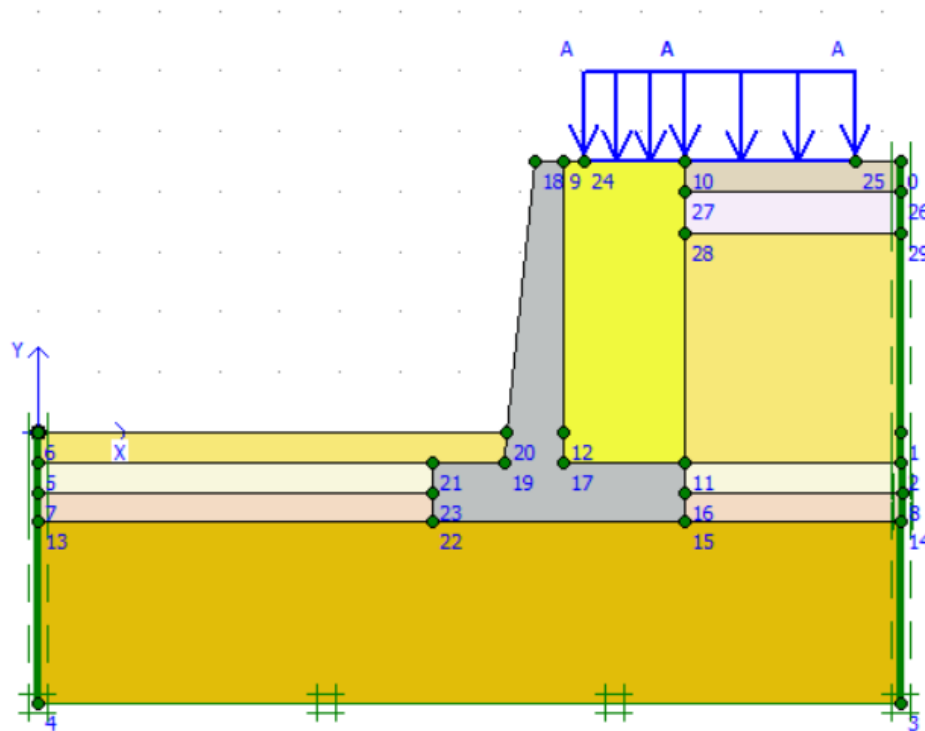
Menurut Hansen (1970) dan Vesic (1975) kapasitas dukung ultimit dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$\begin{aligned} q_u &= d_c i c c N_c + d q_i q D_f Y N_q + d Y_i Y_0,5 B Y N_Y \\ &= 1,1586 x 0,4090 x 8,3385 x 15,5920 + 1,2615 x 4944 x 1,15 \\ &\quad x 17,5 x 6,9166 + 1 x 0,3619 x (0,5 x 2,9) x 8,9271 x 3,3677 \\ &= 312.183 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} SF &= \frac{q_u x B'}{V} \\ &= \frac{312.183 x 3.873}{398.346} \\ &= 3.035 \end{aligned}$$

5.4.2 Pemodelan Dinding Penahan Tanah Kantilever Pada *Plaxis*

Pemodelan menggunakan potongan melintang yaitu pemodelan dua dimensi. Parameter data geoteknik yang diperlukan diinput pada program *plaxis* yang dapat dilihat pada Gambar 5.17 seperti berikut.



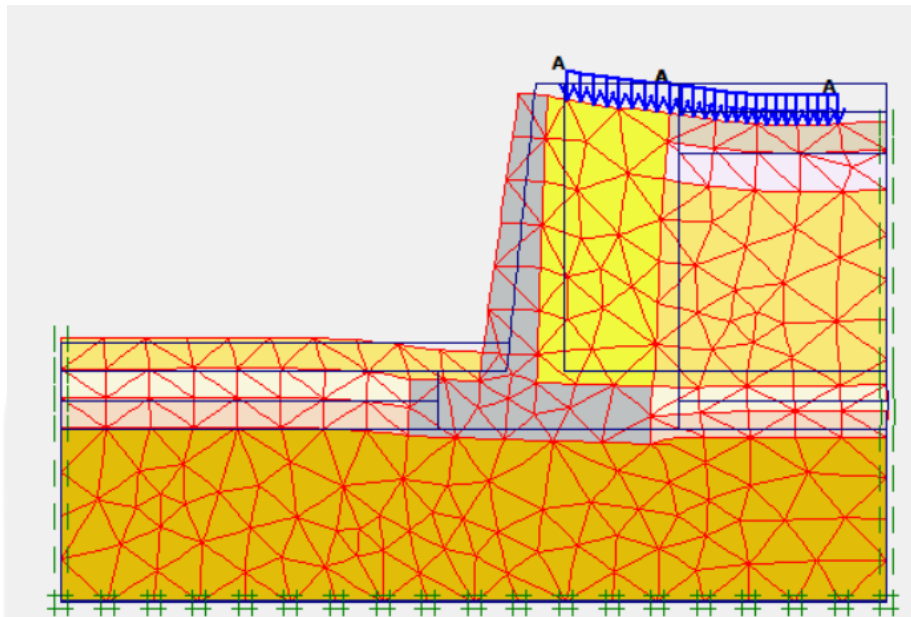
Gambar 5.17 Pemodelan Dua Dimensi Dinding Penahan Tanah Kantilever

5.4.3 Analisis Lereng Menggunakan Perkuatan Dinding Penahan Tanah Tanpa Beban Gempa

Hasil perhitungan analisis lereng dengan perkuatan dinding penahan tanah tanpa beban gempa pada program *plaxis* seperti berikut.

1 *Deformed Mesh*

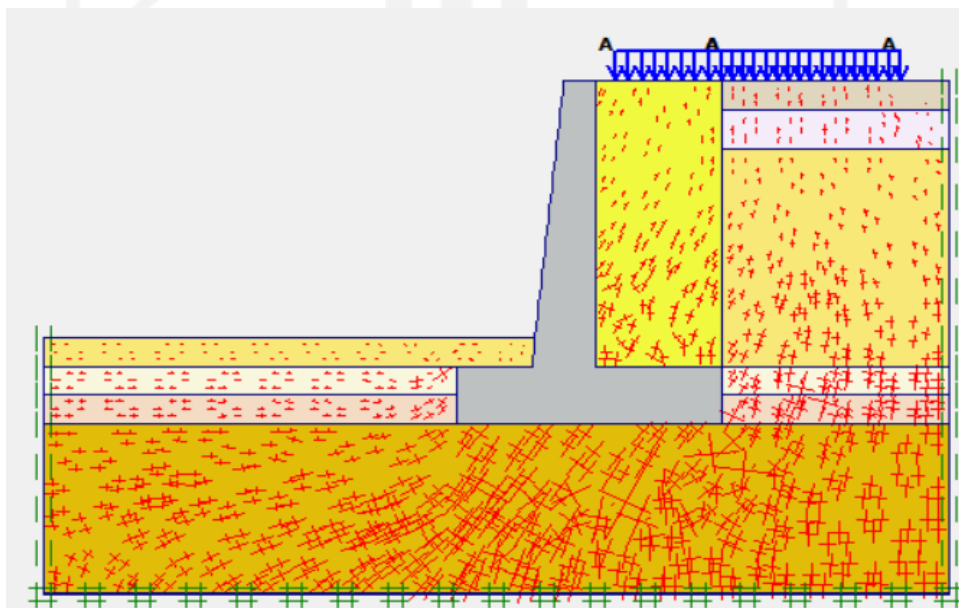
Hasil dari *deformed mesh* didapatkan nilai *extreme total displacement* sebesar 14.47×10^{-3} m seperti Gambar 5.18 berikut.



Gambar 5.18 Deformed Mesh Lereng Menggunakan DPT Tanpa Beban Gempa

2 *Effective Stress*

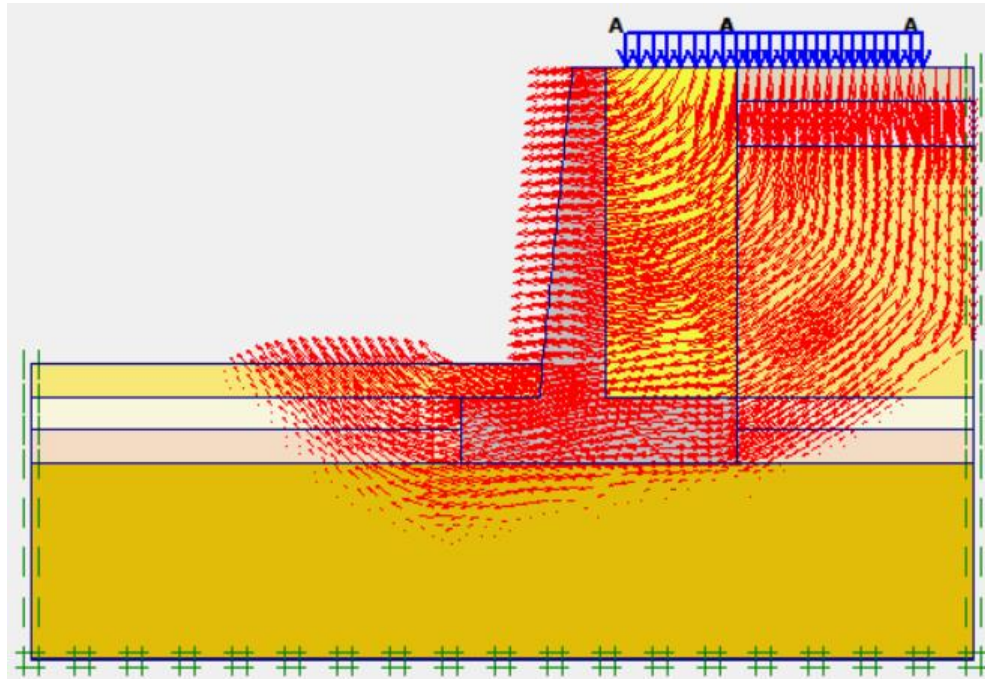
Nilai dari *effective stress* pada lereng dengan perkuatan dinding penahan tanah tanpa beban gempa sebesar -357.93 kN/m^2 . Gambar *effective stress* dapat dilihat pada Gambar 5.19 dibawah ini.



Gambar 5.19 Effective Stress Lereng Menggunakan DPT Tanpa Beban Gempa

3 Arah Pergerakan Tanah

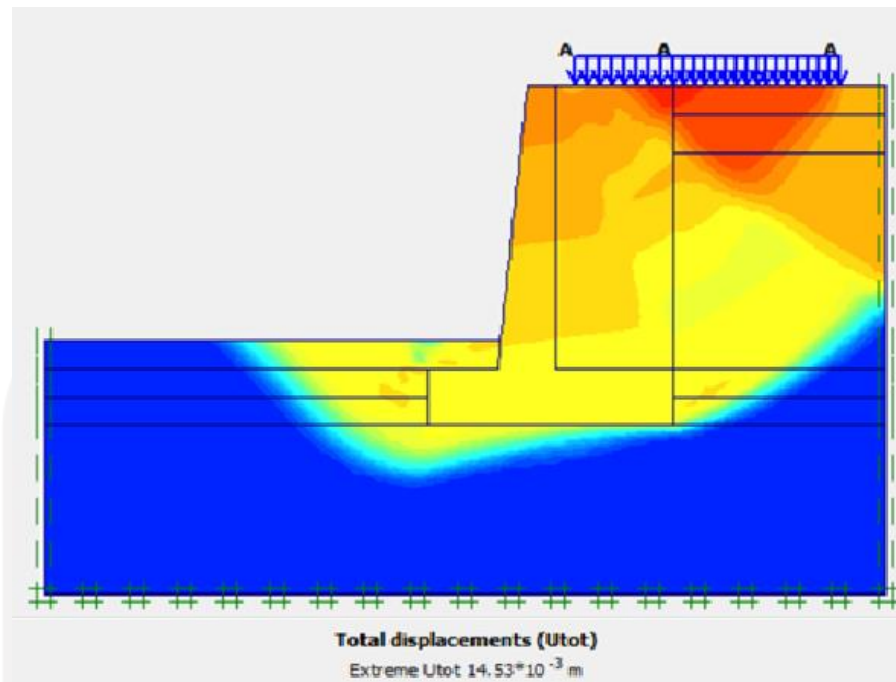
Arah pergerakan tanah pada lereng menggunakan perkuatan dinding penahan tanah tanpa beban gempa dapat dilihat pada Gambar 5.20.



Gambar 5.20 Arah Pergerakan Tanah Lereng Menggunakan DPT Tanpa Beban Gempa

4 *Total Displacement*

Nilai *total displacement* dari hasil analisis didapatkan sebesar 0.01453 m. Gambar *total displacement* tanpa beban gempa dapat dilihat pada Gambar 5.21.



Gambar 5.21 Total Displacement Tanah Lereng Menggunakan DPT Tanpa Beban Gempa

5 Angka Keamanan

Nilai angka keamanan yang didapatkan dari hasil analisis menggunakan program *plaxis* sebesar 1.9756 dapat dilihat pada Gambar 5.22.

Incremental multipliers		Total multipliers	
Mdisp:	0.0000	Σ -Mdisp:	0.0000
MloadA:	0.0000	Σ -MloadA:	20.0000
MloadB:	0.0000	Σ -MloadB:	1.0000
Mweight:	0.0000	Σ -Mweight:	1.0000
Maccel:	0.0000	Σ -Maccel:	0.0000
Msf:	0.1000	Σ -Msf:	1.9756

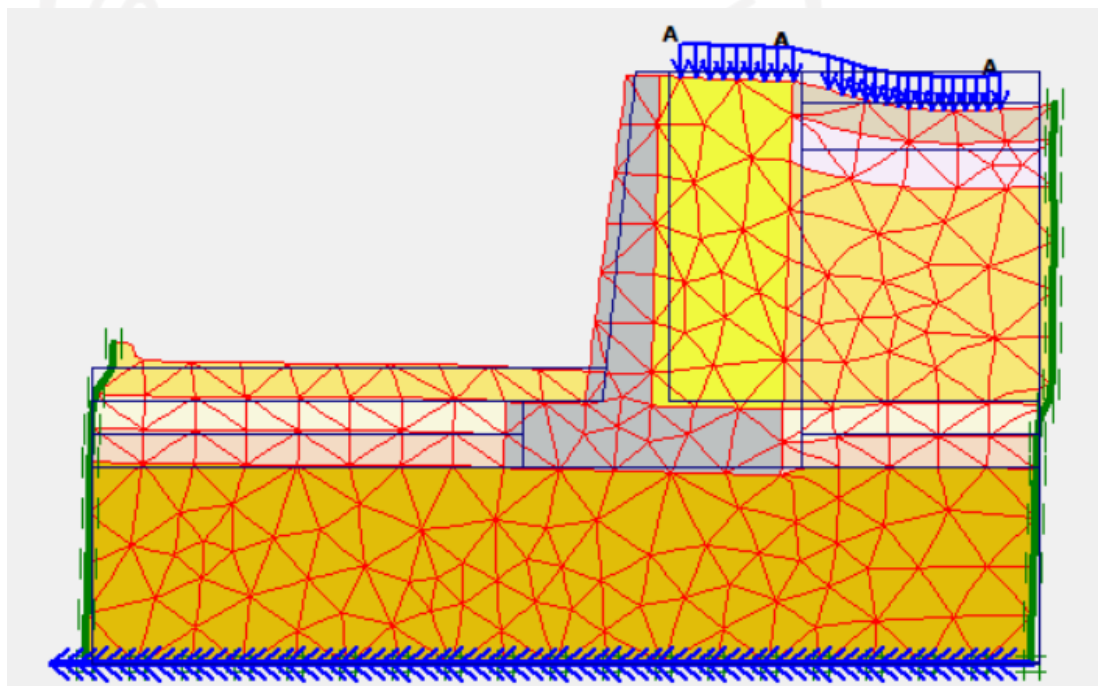
Gambar 5.22 Nilai Angka Keamanan Lereng Menggunakan DPT Tanpa Beban Gempa

5.4.4 Analisis Lereng Menggunakan Perkuatan Dinding Penahan Tanah Dengan Beban Gempa

Hasil perhitungan analisis lereng dengan perkuatan dinding penahan tanah dengan beban gempa pada program plaxis seperti berikut.

1 *Deformed Mesh*

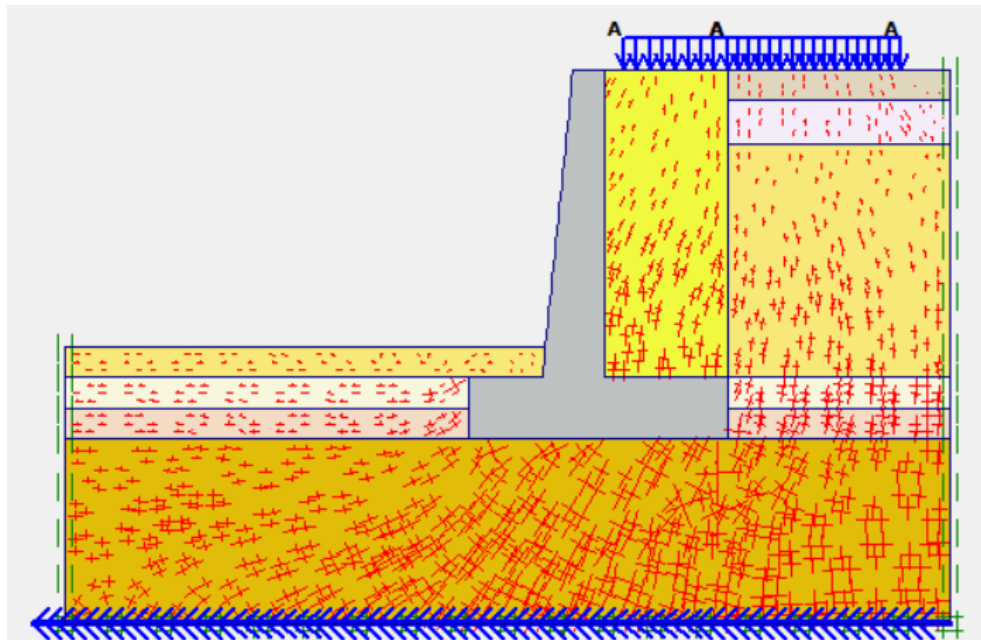
Hasil dari *deformed mesh* didapatkan nilai *extreme total displacement* sebesar 31.87×10^{-3} m seperti Gambar 5.23 berikut.



Gambar 5.23 *Deformed Mesh* Lereng Menggunakan DPT Dengan Beban Gempa

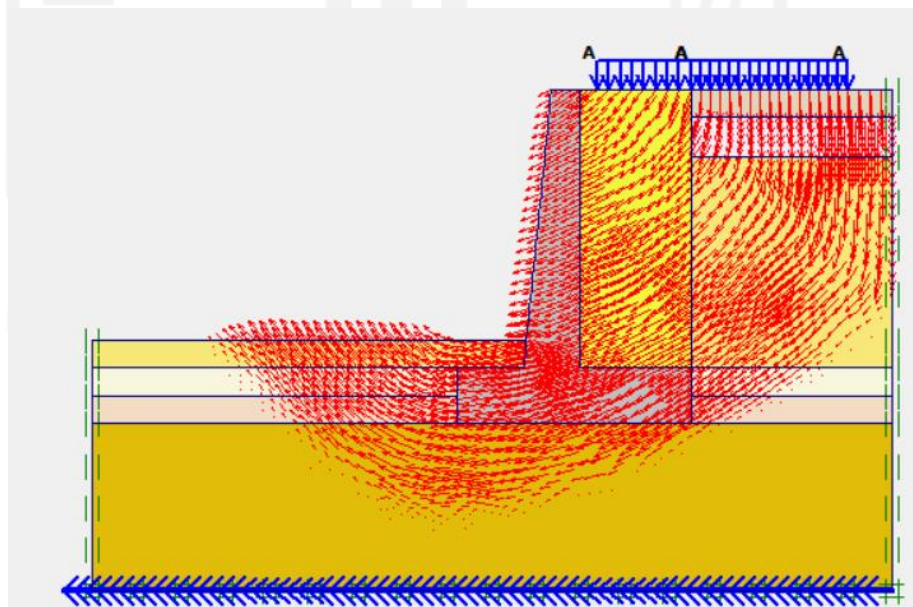
2 *Effective Stress*

Nilai dari *effective stress* pada lereng dengan perkuatan dinding penahan tanah dengan beban gempa sebesar -268.55 kN/m^2 . Gambar *effective stress* dapat dilihat pada Gambar 5.24 dibawah ini.



Gambar 5.24 *Effective Stress* Lereng Menggunakan DPT Dengan Beban Gempa

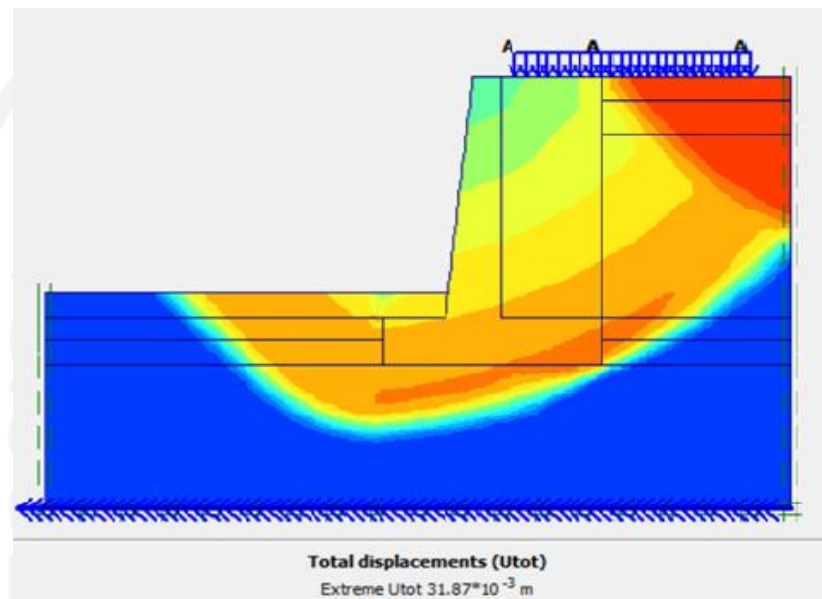
- 3 Arah Pergerakan Tanah
 Arah pergerakan tanah pada lereng menggunakan perkuatan dinding penahan tanah dengan beban gempa dapat dilihat pada Gambar 5.25.



Gambar 5.25 Arah Pergerakan Tanah Lereng Menggunakan DPT Dengan Beban Gempa

4 Total Displacement

Nilai *total displacement* dari hasil analisis didapatkan sebesar 0.03187 m. Gambar *total displacement* dengan beban gempa dapat dilihat pada Gambar 5.26.



Gambar 5.26 Total Displacement Tanah Lereng Menggunakan DPT Dengan Beban Gempa

5 Angka Keamanan

Nilai angka keamanan yang didapatkan dari hasil analisis menggunakan program *plaxis* sebesar 1.746 dapat dilihat pada Gambar 5.27.

Incremental multipliers		Total multipliers	
Mdisp:	0.0000	Σ -Mdisp:	0.0000
MloadA:	0.0000	Σ -MloadA:	20.0000
MloadB:	0.0000	Σ -MloadB:	1.0000
Mweight:	0.0000	Σ -Mweight:	1.0000
Maccel:	0.0000	Σ -Maccel:	0.0000
Msf:	0.1000	Σ -Msf:	1.7460

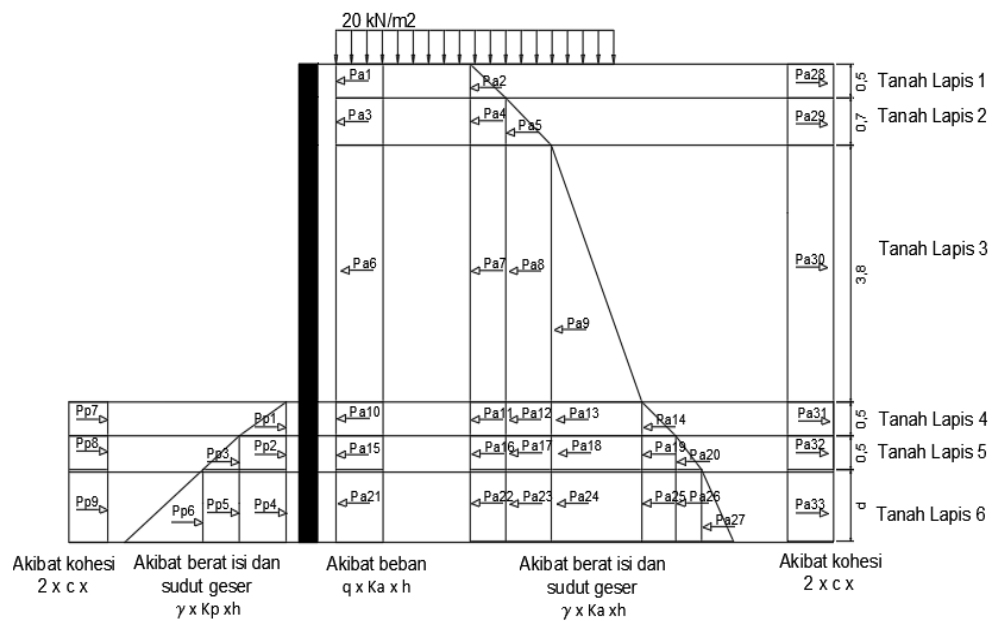
Gambar 5.27 Nilai Angka Keamanan Lereng Menggunakan DPT Dengan Beban Gempa

5.5 Analisis Lereng Menggunakan Perkuatan Sheet Pile Baja Dengan Plaxis

Sheet pile merupakan salah satu jenis perkuatan pada lereng. Pemberian *sheet pile* pada lereng diharapkan dapat meningkatkan nilai angka keamanan pada lereng. Dalam analisis lereng dengan perkuatan *sheet pile* perlu adanya perhitungan kedalaman dan penentuan jenis *sheet pile* baja yang digunakan.

5.5.1 Perhitungan Kedalaman dan Profil Sheet Pile Baja

Perhitungan tekanan lateral tanah pada lereng menggunakan metode *simplified*. Metode ini memperhitungkan tekana aktif dan pasif. Diagram tekanan lateral tanah dapat dilihat pada Gambar 5.28 berikut.



Gambar 5.28 Diagram Tekanan Lateral Tanah

1 Perhitungan Koefisien Tanah Aktif

$$\begin{aligned} K_{a1} &= \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\phi}{2} \right) \\ &= \tan^2 \left(45^\circ - \frac{20}{2} \right) \\ &= 0.491 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} K_{a2} &= \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\phi}{2} \right) \\ &= \tan^2 \left(45^\circ - \frac{20}{2} \right) \end{aligned}$$

$$= 0.491$$

$$\begin{aligned} K_{a3} &= \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) \\ &= \tan^2 \left(45^\circ - \frac{15}{2} \right) \\ &= 0.422 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} K_{a4} &= \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) \\ &= \tan^2 \left(45^\circ - \frac{8}{2} \right) \\ &= 0.756 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} K_{a5} &= \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) \\ &= \tan^2 \left(45^\circ - \frac{14}{2} \right) \\ &= 0.611 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} K_{a6} &= \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) \\ &= \tan^2 \left(45^\circ - \frac{10}{2} \right) \\ &= 0.704 \end{aligned}$$

2 Perhitungan Koefisien Tanah Pasif

$$\begin{aligned} K_{p4} &= \tan^2 \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right) \\ &= \tan^2 \left(45^\circ + \frac{8}{2} \right) \\ &= 1.323 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} K_{p5} &= \tan^2 \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right) \\ &= \tan^2 \left(45^\circ + \frac{14}{2} \right) \\ &= 1.638 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} K_{p6} &= \tan^2 \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right) \\ &= \tan^2 \left(45^\circ + \frac{10}{2} \right) \\ &= 1.421 \end{aligned}$$

3 Perhitungan Tekanan Tanah Aktif

$$\begin{aligned} P_{a1} &= q \times H_1 \times K_{a1} \\ &= 20 \times 0.5 \times 0.491 \\ &= 4.902 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Pa_2 &= 0.5 \times \gamma_{\text{unsat}_1} \times H_1^2 \times Ka_1 \\
 &= 0.5 \times 11.25 \times 0.5^2 \times 0.491 \\
 &= 0.689 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Pa_{28} &= -2 \times c_1 \times \sqrt{Ka_1} \times h_1 \\
 &= -2 \times 15 \times \sqrt{0.491} \times 0.5 \\
 &= -10.503 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Pa_3 &= q \times H_2 \times Ka_2 \\
 &= 20 \times 0.7 \times 0.491 \\
 &= 6.864 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Pa_4 &= \gamma_{\text{unsat}_1} \times Ka_2 \times H_2 \times H_1 \\
 &= 11.25 \times 0.491 \times 0.7 \times 0.5 \\
 &= 1.931 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Pa_5 &= 0.5 \times \gamma_{\text{unsat}_2} \times H_2^2 \times Ka_2 \\
 &= 0.5 \times 11.08 \times 0.7^2 \times 0.491 \\
 &= 1.331 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Pa_{29} &= 2 \times c_2 \times \sqrt{Ka_2} \times h_2 \\
 &= -2 \times 16 \times \sqrt{0.491} \times 0.7 \\
 &= -15.685 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

4 Perhitungan Tekanan Tanah Pasif

$$\begin{aligned}
 Pp_1 &= 0.5 \times \gamma_4 \times Kp_4 \times H_4^2 \\
 &= 2.501 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Pp_2 &= \gamma_5 \times Kp_5 \times H_4 \times H_5 \\
 &= 6.192 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Pp_6 &= 0.5 \times \gamma_6 \times Kp_6 \times D^2 \\
 &= 10.069D^2 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Pp_7 &= 2 \times c_4 \times \sqrt{Kp_4} \times H_4 \\
 &= 25.308 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Pp_8 &= 2 \times c_6 \times \sqrt{Kp_6} \times D \\
 &= 59.588D \text{ kN}
 \end{aligned}$$

5 Perhitungan Momen dan Kedalaman Penetrasi pada *Sheet Pile* Baja

Titik tinjau momen terletak pada dasar *sheet pile*, untuk uraian dapat dilihat pada Tabel 5.12 sebagai berikut.

Tabel 5.12 Rekapitulasi Perhitungan Nilai Momen

Nama	Gaya (kN)	Jarak (m)	Momen (kNm)
Pa ₁	4.903	5.75+D	28.192+4.903D
Pa ₂	0.689	5.667+D	3.907+0.689D
Pa ₃	6.864	5.15+D	35.350+6.864D
Pa ₄	1.931	5.15+D	9.942+1.931D
Pa ₅	1.331	5.033+D	6.699+1.331D
Pa ₆	44.748	2.9+D	129.769+44.748D
Pa ₇	12.585	2.9+D	36.498+12.585D
Pa ₈	17.353	2.9+D	50.325+17.353D
Pa ₉	52.373	2.267+D	118.730+52.373D
Pa ₁₀	7.557	0.75+D	5.667+7.557D
Pa ₁₁	2.125	0.75+D	1.594+2.125D
Pa ₁₂	2.930	0.75+D	2.198+2.930D
Pa ₁₃	17.688	0.75+D	13.266+17.688D
Pa ₁₄	1.428	0.667+D	0.953+1.428D
Pa ₁₅	6.104	0.25+D	1.526+6.104D
Pa ₁₆	1.717	0.25+D	0.429+1.717D
Pa ₁₇	2.367	0.25+D	0.592+2.367D
Pa ₁₈	14.288	0.25+D	3.572+14.288D
Pa ₁₉	2.307	0.25+D	0.577+2.307D
Pa ₂₀	0.972	0.167+D	0.162+0.972D
Pa ₂₁	14.082	D/2	7.041D ²
Pa ₂₂	3.960	D/2	1.980D ²
Pa ₂₃	5.461	D/2	2.730D ²
Pa ₂₄	32.963	D/2	16.481D ²
Pa ₂₅	5.323	D/2	2.661D ²
Pa ₂₆	4.485	D/2	2.243D ²
Pa ₂₇	4.992	D/3	1.664D ³
Pa ₂₈	-10.503	5.75+D	-60.393-10.503D
Pa ₂₉	-15.685	5.15+D	-80.776-15.685D
Pa ₃₀	-58.317	2.9+D	-169.119-58.317D
Pa ₃₁	-19.124	0.75+D	-14.343-19.124D
Pa ₃₂	-9.375	0.25+D	-2.344-9.375D
Pa ₃₃	-41.955	D/2	-41.955D
Pp ₁	2.501	0.667+D	1.668+2.501D
Pp ₂	6.193	0.25+D	1.548+6.193D
Pp ₃	2.609	0.167+D	0.436+2.609D
Pp ₄	10.737	D/2	5.369D ²
Pp ₅	9.047	D/2	4.524D ²

Lanjutan Tabel 5.12 Rekapitulasi Perhitungan Nilai Momen

Pp6	10.070	D/3	$3.357D^3$
Pp7	25.308	0.75+D	$18.981+25.308D$
Pp8	15.359	0.25+D	$3.840+15.359D$
Pp9	59.588	D/3	$19.863D^2$

Berdasarkan tabel diatas , didapatkan nilai momen sebagai berikut.

$$\Sigma M_{total} = -0.1693D^3 - 23.245D^2 + 37.288D + 96.500$$

$\Sigma M_{total} = 0$, pada saat kondisi seimbang, maka

$$-0.365D^3 - 34.517D^2 + 39.934D + 57.518 = 0$$

$$D = 1.436 \text{ m}$$

Nilai kedalaman *sheet pile* baja didapatkan sebesar 1.436 m. Untuk nilai angka keamanan yang dirancang sebesar 2, maka kedalaman *sheet pile* baja sebagai berikut.

$$\begin{aligned} D &= 2 \times 1.436 \\ &= 2.8 \approx 3 \end{aligned}$$

Sehingga tinggi *sheet pile* baja menjadi $6 + 3 = 9 \text{ m}$

6 Penentuan Profil *Sheet Pile* Baja

Profil *sheet pile* baja ditentukan dengan menghitung M_{total} .

$$\begin{aligned} \Sigma M_{total} &= -0.365(2.5)^3 - 34.517(2.5)^2 + 39.934(2.5) + 57.518 \\ &= 192.967 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Tipe baja menggunakan Larsen dengan $F_y = 400 \text{ Mpa} = 210 \text{ MN}$, maka

$$\begin{aligned} W_{ijin} &= \frac{\Sigma M_{total}}{F_y} \\ &= \frac{182.805 \times 10^3}{210} \\ &= 870.498 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

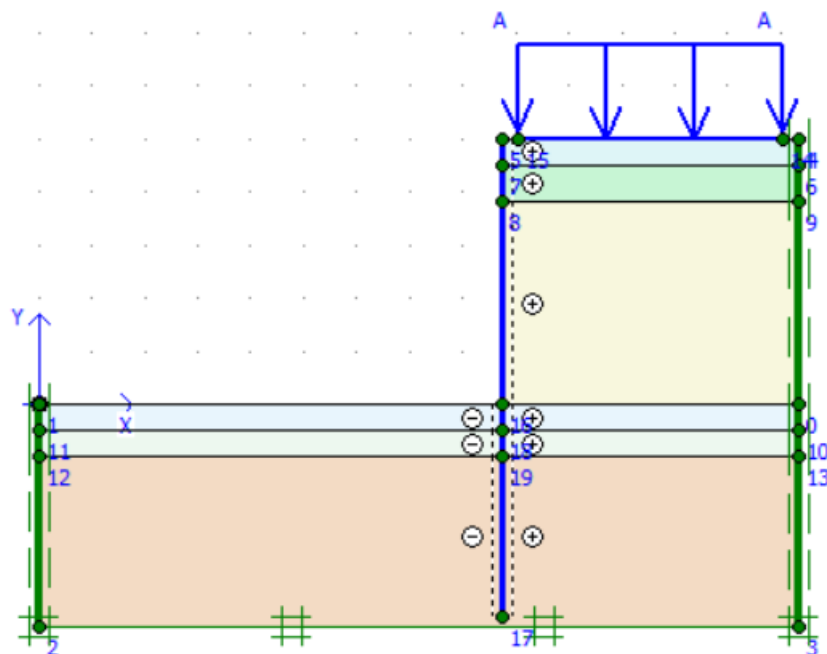
Jadi, tipe profil yang digunakan adalah Larssen 24 sesuai pada data profil *sheet pile* baja. $h = 420 \text{ mm}$, $b = 500 \text{ mm}$, $t = 15.6 \text{ mm}$, dan $s = 10$. Parameter struktur *sheet pile* baja yang digunakan pada *plaxis* adalah.

$$\begin{aligned} EA \text{ (normal stiffness)} &= E \times h \times b \\ &= 200000000 \times 0.42 \times 0.5 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 42000000 \text{ kN} \\
 EI \text{ (flexural rigidity)} &= E \frac{h^3 x b}{12} \\
 &= 200000000 \frac{0.42^3 x 5}{12} \\
 &= 740880 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

5.5.2 Pemodelan *Sheet Pile* Baja Pada *Plaxis*

Analisis lereng menggunakan perkuatan *sheet pile* baja dimodelkan dengan dua dimensi pada *plaxis*. Parameter data geoteknik dan data struktur *sheet pile* diinput pada program *plaxis* yang dapat dilihat pada Gambar 5.29 berikut.



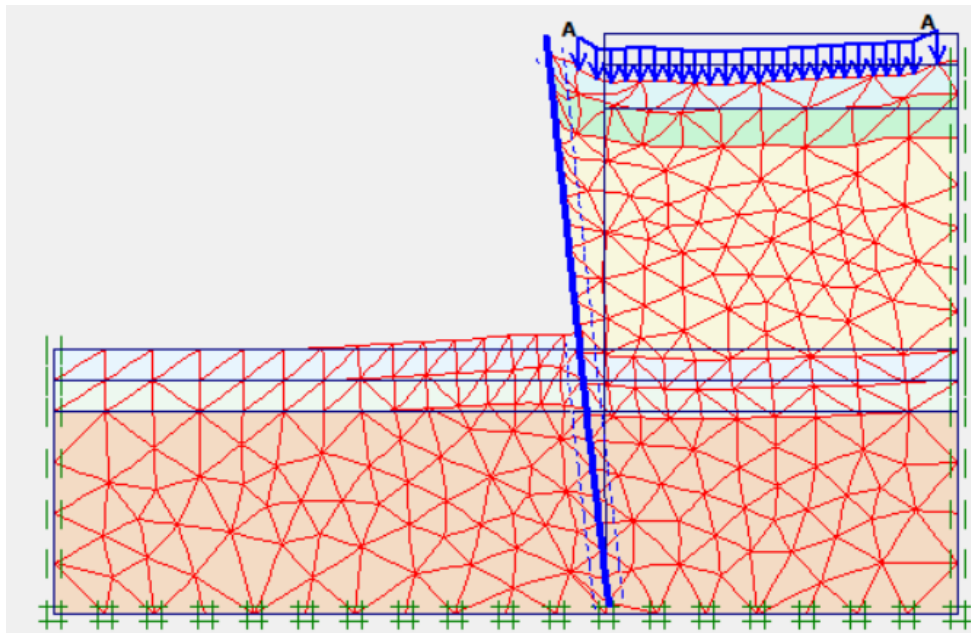
Gambar 5.29 Permodelan Dua Dimensi *Sheet Pile*

5.5.3 Analisis Lereng Menggunakan Perkuatan *Sheet Pile* Baja Tanpa Beban Gempa

Hasil perhitungan analisis lereng dengan perkuatan *sheet pile* baja tanpa beban gempa pada program *plaxis* seperti berikut.

1 *Deformed Mesh*

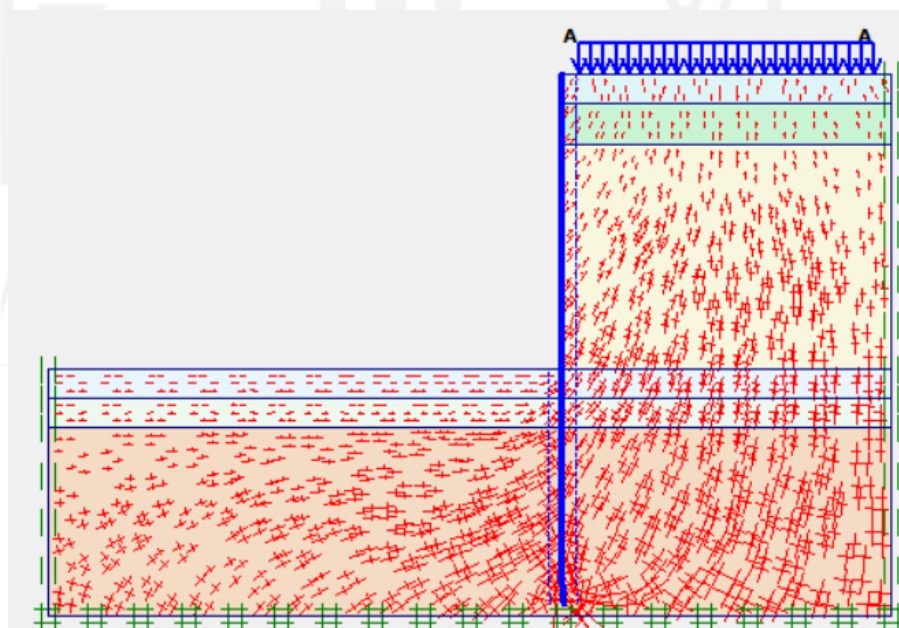
Hasil dari *deformed mesh* didapatkan nilai *extreme total displacement* sebesar 19.19×10^{-3} m seperti Gambar 5.30 berikut.



Gambar 5.30 Deformed Mesh Lereng Menggunakan Sheet Pile Baja Tanpa Beban Gempa

2 *Effective Stress*

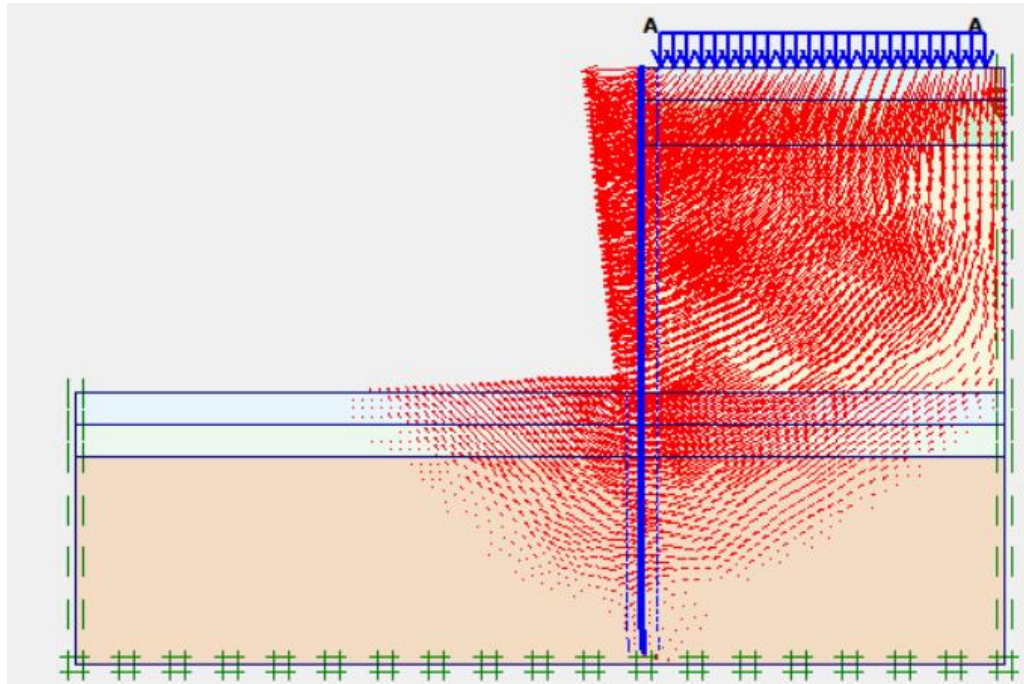
Nilai dari *effective stress* pada lereng dengan perkuatan *sheet pile* baja tanpa beban gempa sebesar -565.08 kN/m^2 . Gambar *effective stress* dapat dilihat pada Gambar 5.31 dibawah ini.



Gambar 5.31 Effective Stress Lereng Menggunakan Sheet Pile Baja Tanpa Beban Gempa

3 Arah Pergerakan Tanah

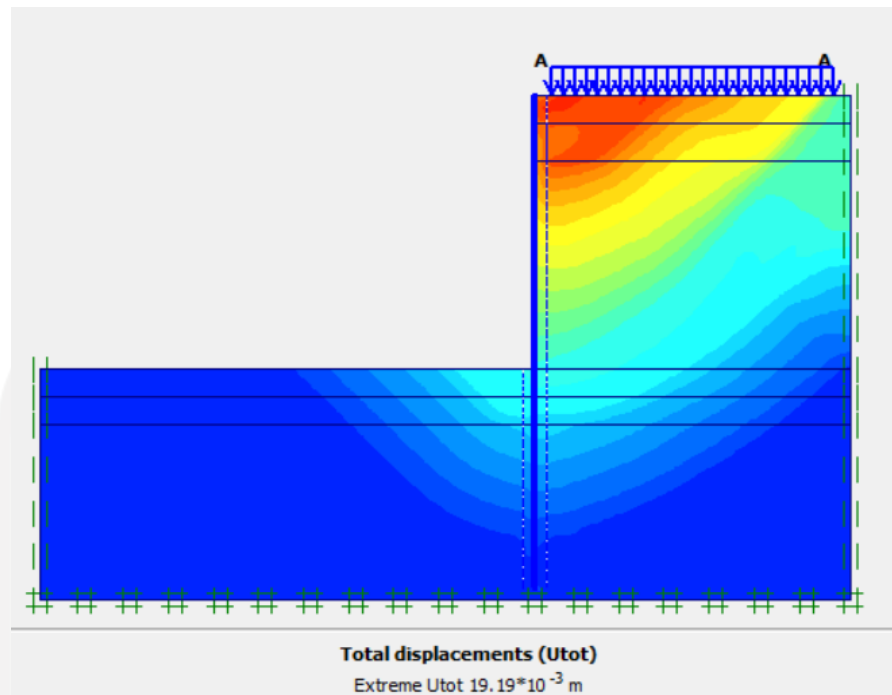
Arah pergerakan tanah pada lereng menggunakan perkuatan *sheet pile* baja tanpa beban gempa dapat dilihat pada Gambar 5.32.



Gambar 5.32 Arah Pergerakan Tanah Lereng Menggunakan *Sheet Pile* Baja Tanpa Beban Gempa

4 *Total Displacement*

Nilai *total displacement* dari hasil analisis didapatkan sebesar 0.01919 m. Gambar *total displacement* tanpa beban gempa dapat dilihat pada Gambar 5.33.



Gambar 5.33 Total Displacement Tanah Lereng Menggunakan Sheet Pile Baja Tanpa Beban Gempa

5 Angka Keamanan

Nilai angka keamanan yang didapatkan dari hasil analisis menggunakan program *plaxis* sebesar 1.561 dapat dilihat pada Gambar 5.34.

Incremental multipliers		Total multipliers	
Mdisp:	0.0000	Σ -Mdisp:	0.0000
MloadA:	0.0000	Σ -MloadA:	20.0000
MloadB:	0.0000	Σ -MloadB:	1.0000
Mweight:	0.0000	Σ -Mweight:	1.0000
Maccel:	0.0000	Σ -Maccel:	0.0000
Msf:	0.1000	Σ -Msf:	1.5611

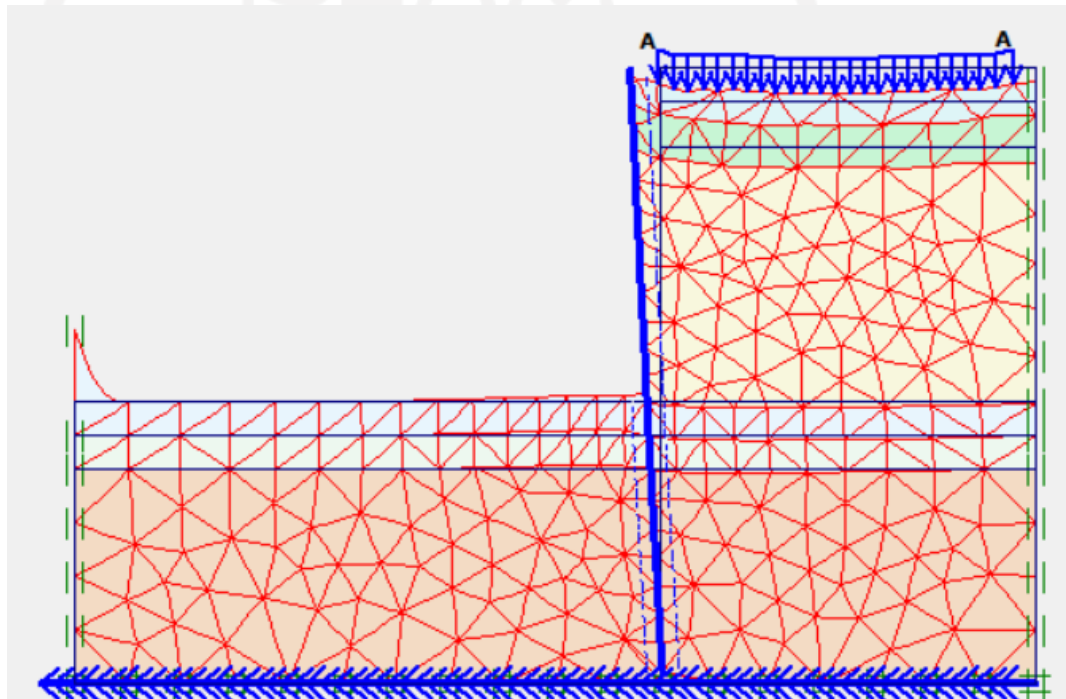
Gambar 5.34 Nilai Angka Keamanan Lereng Menggunakan Sheet Pile Baja Tanpa Beban Gempa

5.5.4 Analisis Lereng Menggunakan Perkuatan *Sheet Pile* Baja Dengan Beban Gempa

Hasil perhitungan analisis lereng dengan perkuatan *sheet pile* baja dengan beban gempa pada program plaxis seperti berikut.

1 *Deformed Mesh*

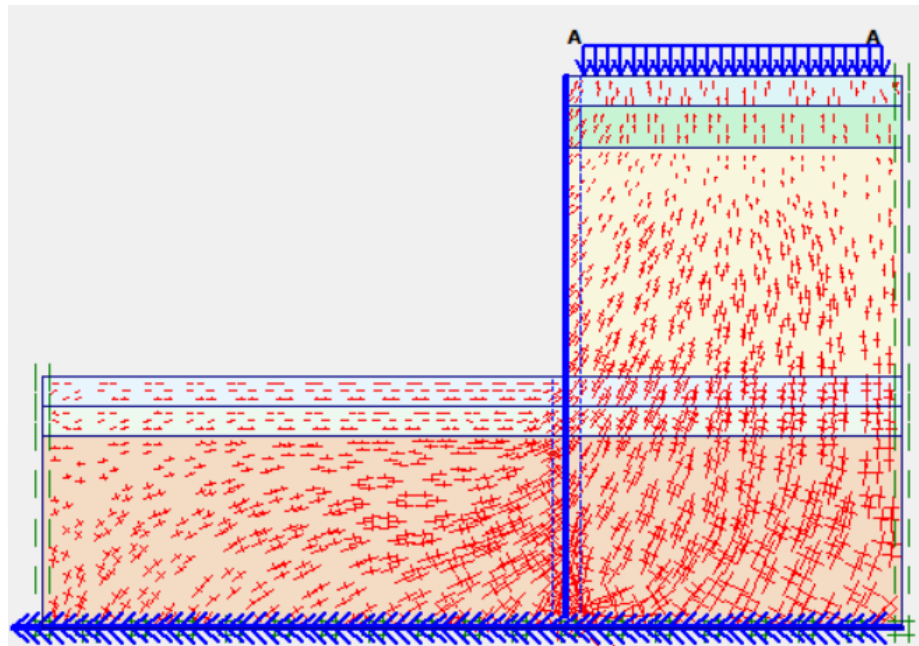
Hasil dari *deformed mesh* didapatkan nilai *extreme total displacement* sebesar 36.54×10^{-3} m seperti Gambar 5.35 berikut.



Gambar 5.35 *Deformed Mesh* Lereng Menggunakan *Sheet Pile* Baja Dengan Beban Gempa

2 *Effective Stress*

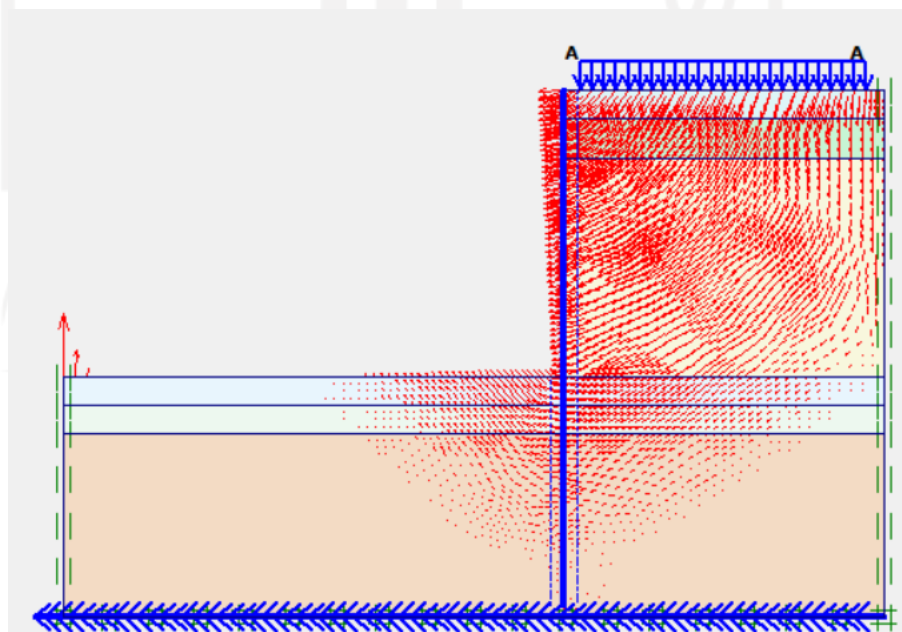
Nilai dari *effective stress* pada lereng dengan perkuatan *sheet pile* baja dengan beban gempa sebesar -546.70 kN/m^2 . Gambar *effective stress* dapat dilihat pada Gambar 5.36 dibawah ini.



Gambar 5.36 Effective Stress Lereng Menggunakan Sheet Pile Baja Dengan Beban Gempa

3 Arah Pergerakan Tanah

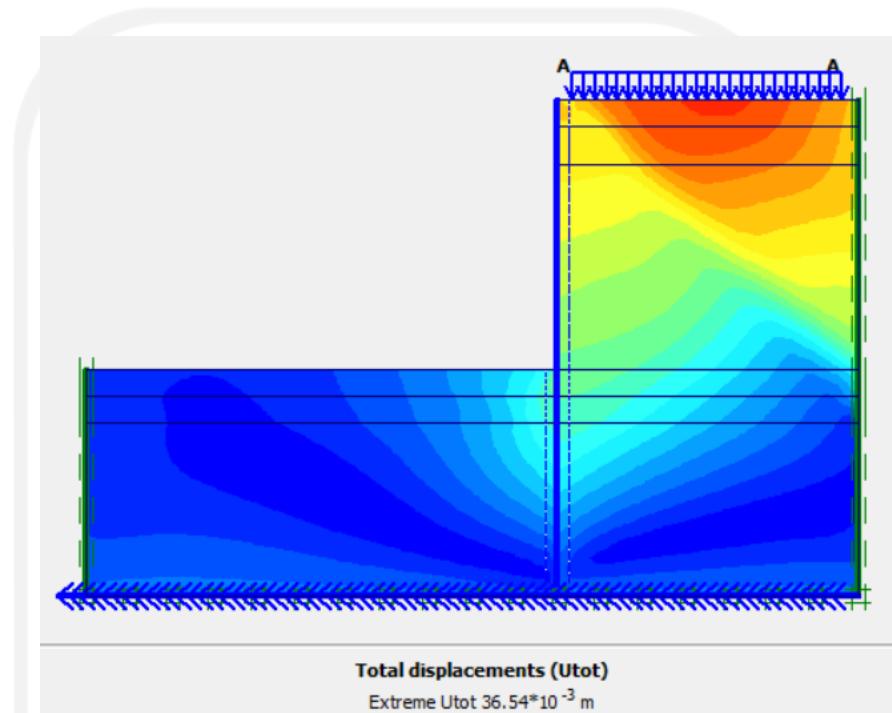
Arah pergerakan tanah pada lereng menggunakan perkuatan *sheet pile* baja dengan beban gempa dapat dilihat pada Gambar 5.37.



Gambar 5.37 Arah Pergerakan Tanah Lereng Menggunakan Sheet Pile Baja Dengan Beban Gempa

4 *Total Displacement*

Nilai *total displacement* dari hasil analisis didapatkan sebesar 0.03654 m. Gambar *total displacement* tanpa beban gempa dapat dilihat pada Gambar 5.38.



Gambar 5.38 Total Displacement Tanah Lereng Menggunakan Sheet Pile Baja Dengan Beban Gempa

5 Angka Keamanan

Nilai angka keamanan yang didapatkan dari hasil analisis menggunakan program *plaxis* sebesar 1.495 dapat dilihat pada Gambar 5.39.

Incremental multipliers		Total multipliers	
Mdisp:	0.0000	Σ -Mdisp:	0.0000
MloadA:	0.0000	Σ -MloadA:	20.0000
MloadB:	0.0000	Σ -MloadB:	1.0000
Mweight:	0.0000	Σ -Mweight:	1.0000
Maccel:	0.0000	Σ -Maccel:	0.0000
Msf:	0.1000	Σ -Msf:	1.4945

Gambar 5.39 Nilai Angka Keamanan Lereng Menggunakan *Sheet Pile* Baja Dengan Beban Gempa

5.6 Pembahasan

Daerah Irigasi Gondang Sta 8+207 terletak pada Kabupaten Lamongan, Jawa Timur. Pada daerah tersebut terjadi kelongsoran pada salah satu lereng yang mengakibatkan jalan inspeksi irigasi rusak. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui nilai angka aman lereng asli tanpa perkuatan dan dengan perkuatan. Perkuatan yang digunakan dalam analisis yaitu dengan perkuatan dinding penahan tanah kantilever dan *sheet pile* baja dengan menggunakan program *plaxis*.

Analisis lereng asli menggunakan program *plaxis* terjadi *soil body collapses* yang mana nilai angka aman tidak dapat diketahui dari lereng tersebut. Sehingga untuk mengetahui angka aman dari lereng asli menggunakan perhitungan manual dengan metode *fellinius*. Dari hasil perhitungan dengan menggunakan metode *fellinius* didapatkan nilai angka aman lereng asli sebesar 0.841 dengan penurunan sebesar 0,32258 meter. Hasil tersebut menunjukkan bahwa lereng asli tidak aman atau lereng mudah terjadi keruntuhan, sehingga perlu adanya perkuatan lereng.

Hasil analisis lereng menggunakan perkuatan dinding penahan tanah kantilever dengan program *plaxis* tanpa beban gempa memiliki nilai angka aman sebesar 1.976, sedangkan dengan beban gempa sebesar 1.746 dengan nilai penurunan sebesar 0.01453 meter. Dan hasil analisis perhitungan manual stabilitas terhadap gaya geser sebesar 2.373, stabilitas terhadap gaya guling sebesar 2.425 dan daya dukung tanah sebesar 3.035.

Hasil analisis lereng menggunakan perkuatan *sheet pile* baja tipe Larrsen 24 ketinggian 9 meter dengan program *plaxis* tanpa beban gempa memiliki nilai angka aman sebesar 1.561, sedangkan dengan beban gempa sebesar 1.495 dengan nilai penurunan sebesar 0.01919 meter.

Nilai angka aman dari perkuatan lereng dinding penahan tanah kantilever dan *sheet pile* baja tanpa beban gempa dan dengan beban gempa didapatkan nilai >1.3 , maka penggunaan kedua perkuatan lereng dalam kondisi aman. Rekapitulasi hasil analisis lereng Daerah Irigasi Gondang Sta 8+207 dapat dilihat pada Tabel 5.13 berikut.



Tabel 5.13 Rekapitulasi Hasil Analisis Lereng Daerah Irigasi Gondang Sta 8+207

Parameter	Angka aman			Penurunan
	PlaxisTanpa Gempa	Plaxis Dengan Gempa	Manual	
Lereng asli	<i>collapse</i>	<i>collapse</i>	Fellinuis = 0.841	0.32258 m
Lereng perkuatan dinding penahan tanah	1.976	1.746	Geser = 2.373 Guling = 2.425 Daya Dukung = 3.035	0.01453 m
Lereng perkuatan <i>sheet pile</i> baja	1.561	1.495		0.01919 m

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, diperoleh kesimpulan sebagai berikut.

1. Hasil analisis nilai angka aman pada lereng asli dengan menggunakan aplikasi *Plaxis* pada kondisi tanpa beban gempa maupun dengan beban gempa terjadi *collapse*. Perhitungan manual pada lereng asli dengan Metode *Fellini* nilai angka aman lereng sebesar 0.841. Nilai angka aman lereng < 1.3 , sehingga terjadi kelongsoran.
2. Hasil analisis nilai angka aman pada lereng menggunakan perkuatan dinding penahan tanah kantilever dengan aplikasi *Plaxis* pada kondisi tanpa beban gempa sebesar 1.976 dan pada kondisi dengan beban gempa sebesar 1.746. Nilai angka aman lereng > 1.3 , maka lereng yang diperkuat dengan Dinding penahan tanah aman.
3. Hasil analisis nilai angka aman pada lereng menggunakan perkuatan *Sheet Pile* baja dengan aplikasi *Plaxis* pada kondisi tanpa beban gempa sebesar 1.561 dan pada kondisi dengan beban gempa sebesar 1.495. Nilai angka aman lereng > 1.3 , maka lereng yang diperkuat dengan *Sheet Pile* Baja.
4. Hasil analisis nilai penurunan yang terjadi pada lereng asli sebesar 0.32258 m, penurunan pada lereng dengan Dinding Penahan Tanah adalah 0.01453 m dan penurunan pada lereng dengan *Sheet Pile* Baja adalah 0.01919 m.

6.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang dilakukan diatas, penulis memberikan saran sebagai berikut.

1. Perkuatan lereng dengan menggunakan tipe lain seperti, menggunakan geogrid, trap atau pun dengan penambahan angker.

2. Analisis dengan menggunakan program lain seperti *Geostudio*, *STABB* dan lainnya.
3. Menambahkan perhitungan rencana anggaran biaya.



DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 2021. *Laporan Soil Investigation*. CV.Feldspar Geotechnical Engineering. Jawa Timur.
- Bowles, J.E. 1989. *Sifat-Sifat Fisis dan Geoteknis Tanah*. Terjemahan. Erlangga. Jakarta.
- Das, B.M. (1988). *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis)*. Edisi Pertama. Penerbit Erlangga. Jakarta.
- Das, B.M. (1995). *Mekanika Tanah I*. Erlangga. Jakarta.
- Hardiyatmo, H.C. (2002). *Mekanika Tanah I*. Penerbit Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Hardiyatmo, H.C. (2010). *Mekanika Tanah I*. Penerbit Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Hardiyatmo, H. C. (2003). *Mekanika Tanah II*. Edisi Ke III Gadjah Mada University Press. Yogyakarta
- Hediyanto, Rizaldi. 2018. Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Dinding Kantilever dan *Sheetpile* Pada Bantaran Sungai Code. dspace.uii.ac.id. Yogyakarta.
- Kurniawan, Danang. 2019. Analisis Stabilitas Dinding Penahan Tanah Dan Sheet Pile Baja Pada Lereng Jalan Tol Balikpapan – Samarinda Sta 2+850 – 3+050. dspace.uii.ac.id. Yogyakarta.
- Kartikasari, Dewi. 2018. Analisis Stabilitas Lereng Galian Dengan Sheet Pile Pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Semarang-Solo Ruas Salatiga-Kartasura. dspace.uii.ac.id. Yogyakarta.
- Nurtanti, Eva. 2019. Analisis Perkuatan Tanah Dengan Menggunakan Dinding Penahan Tanah Beton Bertulang Dan Dinding Turap Baja Dengan Program Plaxis 8.6 Pada Sungai Pabelan. dspace.uii.ac.id. Yogyakarta.

- Prasetyo, Rendy. 2020. Analisis Stabilitas Dinding Penahan Tanah Kantilever Pada Lereng Jalan Ponorogo-Trenggalek Stasiun 23+600 Menggunakan Program Plaxis. dspace.uii.ac.id. Yogyakarta.
- Purwanto, Edy. 2012. *Hand Out Mata Kuliah Perkuatan Tanah*. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta

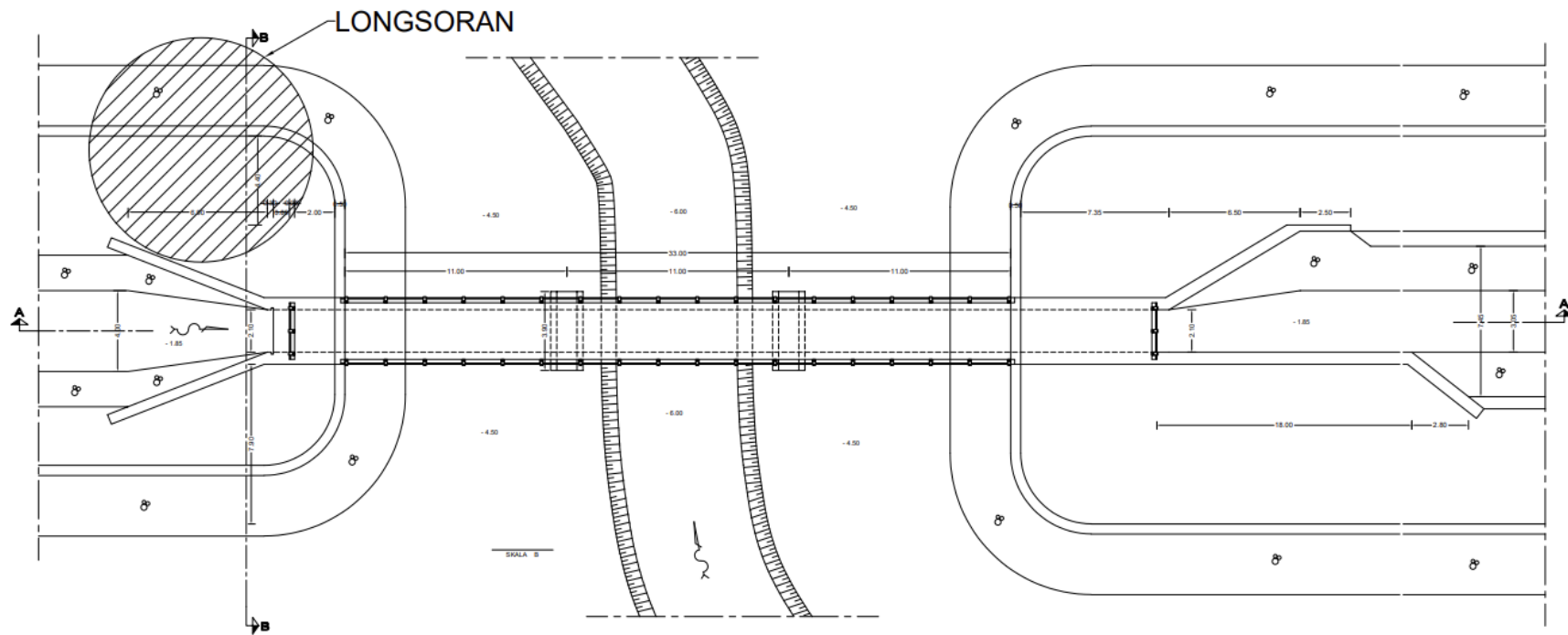




LAMPIRAN

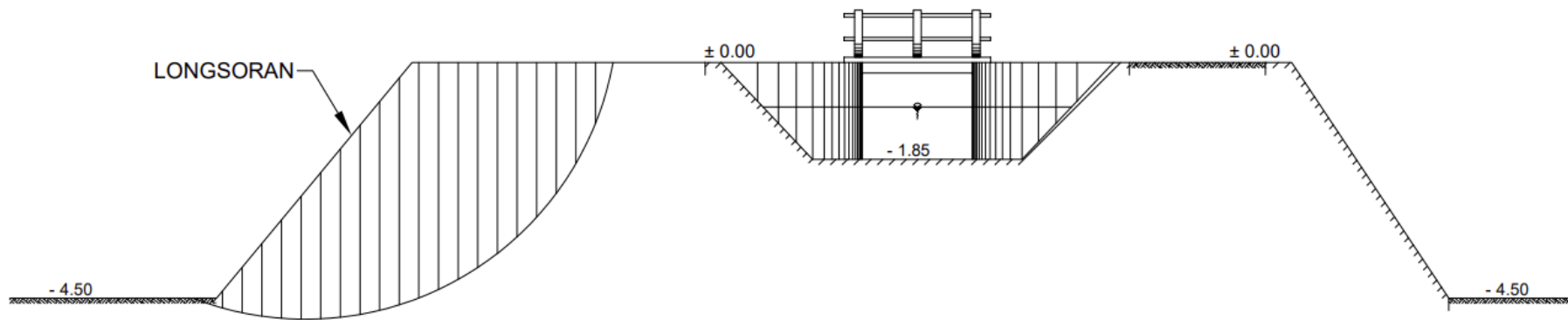
الجمهورية الإسلامية الإندونيسية

Lampiran 1 Gambar Geometri Daerah Longsoran



الجمعة الإسلامية الأندلسية

Lampiran 2 Gambar Potongan Melintang Lereng



الجمهورية الإسلامية البوسنية

Lampiran 3 Data Tanah Hasil Uji Laboratorium



CV. FELDSPAR GEOTECHNICAL ENGINEERING
GEOLOGY-GEOTECHNICAL-MINING-HYDROGEOLOGY



- BH-2

INDEX PROPERTIES OF SOIL		
PROJECT : Review DD Rehabilitasi Jaringan Irigasi	DATE : Juni 2021	
LOCATION : Tlogoagung, Lamongan	TESTED BY : Ivan	
DEPTH : 04,50 - 05,00 m	CHECKED BY : Nansang, ST	
SAMPLE NO : BH-2, Box-1		
WATER CONTENT DETERMINATION		
Container no.	6L	4D
Wt of cup + wet soil	40.19	49.28
Wt of cup + dry soil	31.24	37.77
Wt of cup	5.11	5.08
Wt of dry soil	26.13	32.71
Wt of water	8.95	11.51
Water content, w , %	34.25	35.19
Average water content, w , %	34.72	
UNIT WEIGHT OF SOIL		
Height (cm)	7.00	10.00
Diameter (cm)	5.90	5.90
Volume of soil (cm ³)	191.28	273.26
Wt of wet soil (gr)	308.10	441.73
Wet Density (gr/cm ³)	1.61	1.62
Average Wet Density (gr/cm ³)	1.61	
Water Content w (%)	34.72	
Average Dry Density (gr/cm ³)	1.20	
SPECIFIC GRAVITY OF SOIL		
Method of air removal	Vacuum	Vacuum
Wt. of Pyc	183.30	183.30
Temperatur	28.00	28.00
Wt. Pyc+water = Wbw	819.50	819.50
Temperatur correction (a)	0.998	0.998
Wt of evapdish	54.17	54.17
Wt. of evapdish + dry soil	140.00	140.00
Wt of dry soil = Ws	85.83	85.83
Wt. Pyc+water+ soil = Wbms	872.13	871.96
Ww = Ws+Wbw-Wbws	33.20	33.37
Gs = a Ws /Ww (for 15° C)	2.58	2.57
Average of Specific Gravity	2.57	
SUMMARY		
Water content, w , %	34.72	
Wet Density (gr/cm ³)	1.61	
Dry Density (gr/cm ³)	1.20	
Saturated Density (gr/cm ³)	1.73	
Specific gravity (Gs)	2.57	
Void Ratio	1.15	
Porosity (%)	53.45	
Degree of Saturation	77.79	

Lampiran 4 Data Uji Log Bore BH-2



CV. FELDSPAR GEOTECHNICAL ENGINEERING
GEOLOGY-GEOTECHNICAL-MINING-HYDROGEOLOGY



- BH-2 (Tlogoagung, Lamongan)

