

TUGAS AKHIR

ANALISIS STABILITAS LERENG DENGAN PERKUATAN *SHEET PILE* YANG DIANGKUR PADA SUNGAI CILIWUNG RUAS CAWANG-RAWAJATI MENGUNAKAN PROGRAM PLAXIS (*SLOPE STABILITY ANALYSIS WITH ANCHORED SHEET PILE REINFORCEMENT ON THE CILIWUNG RIVER SECTION CAWANG-RAWAJATI USING PLAXIS*)

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



MUHAMMAD RIZKI

19511056

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

2023

TUGAS AKHIR

ANALISIS STABILITAS LERENG DENGAN PERKUATAN *SHEET PILE* YANG DIANGKUR PADA SUNGAI CILIWUNG RUAS CAWANG-RAWAJATI MENGUNAKAN PROGRAM PLAXIS (*SLOPE STABILITY ANALYSIS WITH ANCHORED SHEET PILE REINFORCEMENT ON THE CILIWUNG RIVER SECTION CAWANG-RAWAJATI USING PLAXIS*)

Disusun oleh

Muhammad Rizki
19511056

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

Diuji pada tanggal 06 April 2023

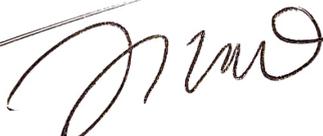
Oleh Dewan Penguji:

Pembimbing

Penguji I

Penguji II


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


Anisa Nur Amalina, S.T., M.Eng.
NIK: 215111305


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

Mengesahkan,

Ketua Program Studi Teknik Sipil


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



PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya menyatakan bahwa Laporan Tugas Akhir yang saya susun sebagai syarat penyelesaian program Sarjana di Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia ini adalah hasil karya saya sendiri. Bagian-bagian tertentu laporan Tugas Akhir yang saya kutip dari karya orang lain telah ditulis dengan jelas sumbernya sesuai dengan norma, kaidah, dan etika penulisan ilmiah.

Klaten, 9 April 2023

Yang membuat pernyataan,



Muhammad Rizki

(19511056)

*Rasa Khawatir yang Berlebihan terhadap Masa Depanmu adalah
Sikap Berburuk Sangka kepada Allah Ta'ala
(Syekh Abdul Qadir Al-Jailani)*

Tugas Akhir ini aku dedikasikan kepada kedua orang tuaku, kakakku, dan adikku, atas doa, kasih sayang, dukungan, dan dorongan yang telah kalian berikan tiada henti

Ucapan terimakasih juga kuberikan kepada:
Segenap keluarga soeharto
Dewi ayu harjani dan keluarganya
Teman dekat saya Farras Haidar, Azhar, Nopal,
Arkam, Dafri, Senda, Maul, Defira, Safira.
Teman teman dari grub "ayo nyari makan lur"
, dan segenap teman-teman dari keluarga besar
Teknik Sipil UII angkatan 19

Love you guys!

الجمعة المباركة
الاستاذة الانيمة

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa karena penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir yang berjudul *Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Sheet Pile Yang Diangkur Pada Sungai Ciliwung Ruas Cawang-Rawajati Menggunakan Program Plaxis*. Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat akademik dalam menyelesaikan studi tingkat sarjana di Prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia Yogyakarta.

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

1. Bapak Akhmad Marzuko, Ir., M.T. selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir,
2. Ibu Anisa Nur Amalina, S.T., M.Eng. selaku dosen penguji 1 Tugas Akhir,
3. Ibu Hanindya Kusuma Artati, S.T., M.T. selaku dosen penguji 2 Tugas Akhir,
4. Ibu Ir. Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D. (Eng) selaku Ketua Prodi Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia,
5. Kedua orang tua, kakak, dan adik penulis yang telah berkorban begitu banyak, baik material maupun spiritual, hingga selesainya Tugas Akhir ini.

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

Klaten, 9 April 2023

Penulis,



Muhammad Rizki

(19511056)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
DEDIKASI	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xv
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xvi
ABSTRAK	xviii
<i>ABSTRACT</i>	xix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Batasan Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Tinjauan Umum	5
2.2 Penelitian Terdahulu	6
2.2.1 Perkuatan Lereng Menggunakan <i>Sheet Pile</i>	6
2.2.2 Pengaruh Gempa Terhadap Stabilitas Lereng	8
2.3 Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Sekarang	10
BAB III LANDASAN TEORI	15
3.1 Tanah	15
3.2 Stabilitas Lereng	17
3.3 Tekanan Tanah Lateral	18

3.3.1	Tekanan Tanah Lateral Saat Diam	19
3.3.2	Tekanan Tanah Aktif dan Pasif	19
3.3.3	Teori Tekanan Tanah Lateral	20
3.4	Turap atau <i>Sheet pile</i>	21
3.4.1	Prinsip Umum Perencanaan Turap Kantilever	22
3.4.2	Dinding Turap Diangkur	25
3.5	Angkur Tanah (<i>Ground Anchors</i>)	26
BAB IV	METODE PENELITIAN	30
4.1	Tinjauan Umum	30
4.2	Lokasi dan Objek Penelitian	30
4.3	Metode Penelitian	31
4.4	Data Penelitian	31
4.5	Langkah Penelitian	31
BAB V	ANALISIS DAN PEMBAHASAN	34
5.1	Kondisi Lapangan	34
5.2	Data Tanah	35
5.2.1	Klasifikasi Tanah	35
5.2.2	Data Laboratorium	37
5.2.3	Data Konversi	38
5.2.4	Data Tanah Timbunan	42
5.2.5	Rekapitulasi parameter tanah	43
5.3	Data Rencana Turap	43
5.4	Analisis Lereng Tanpa Perkuatan <i>Sheet Pile</i>	48
5.4.1	Analisis Lereng Tanpa Perkuatan <i>Sheet Pile</i> Menggunakan Program Plaxis	48
5.4.2	Perhitungan Manual Lereng Tanpa Perkuatan <i>Sheetpile</i> Menggunakan Metode <i>Fellenius</i>	54
5.5	Analisis <i>Sheet Pile</i> Tanpa Angkur Untuk Jangka Pendek (<i>Short Term</i>)	57
5.5.1	Perhitungan Kedalaman dan Momen <i>Sheet Pile</i> Untuk Jangka Pendek (<i>Short Term</i>)	57

5.5.2 Analisis Faktor Aman <i>Sheet Pile</i> Tanpa Angkur Dengan Elevasi Air Normal	63
5.6 Analisis <i>Sheet Pile</i> yang Diangkur Untuk Jangka Pendek (<i>Short Term</i>)	67
5.6.1 Perhitungan <i>Sheet Pile</i> Diangkur	68
5.6.2 Analisis Faktor Aman <i>Sheet Pile</i> yang Diangkur pada Kondisi Air Normal	75
5.6.3 Analisis Faktor Aman <i>Sheet Pile</i> yang Diangkur pada Kondisi Air Banjir	80
5.6.4 Analisis Faktor Aman <i>Sheet pile</i> yang Diangkur Apabila Terjadi Pengurangan Tanah Pasif	85
5.7 Analisis <i>Sheet Pile</i> Diangkur Untuk Jangka Panjang (<i>Long Term</i>)	91
5.7.1 Analisis Faktor Aman <i>Sheet pile</i> yang Diangkur pada Kondisi Air Normal	91
5.7.2 Analisis Faktor Aman <i>Sheet pile</i> yang Diangkur pada Kondisi Air Banjir	96
5.7.3 Analisis Faktor Aman <i>Sheet pile</i> yang Diangkur Apabila Terjadi Pengurangan Tanah Pasif	100
5.8 Rekapitulasi Hasil Analisis	105
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	108
6.1 Kesimpulan	108
6.2 Saran	109
DAFTAR PUSTAKA	110
LAMPIRAN	112

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Sekarang	10
Tabel 3.1 Batasan-Batasan Ukuran Golongan Tanah	16
Tabel 3.2 Nilai Faktor Keamanan Untuk Lereng Tanah	18
Tabel 3.3 Rekomendasi Faktor Keamanan Minimum	29
Tabel 5.1 Klasifikasi Tanah Berdasarkan Nilai N-SPT	36
Tabel 5.2 Hasil pengujian laboratorium <i>index properties</i>	37
Tabel 5.3 Hasil Pengujian <i>Triaxial</i>	38
Tabel 5.4 Rentang Nilai Berat Volume Tanah	38
Tabel 5.5 Rekapitulasi Nilai Berat Volume Tanah	39
Tabel 5.6 Hubungan Antara Kekuatan Tanah Dengan Nilai SPT	39
Tabel 5.7 Hubungan Jenis Tanah Dengan Kuat Geser Tanah	40
Tabel 5.8 Rekapitulasi Kuat Geser Tanah Jangka Pendek	40
Tabel 5.9 Rekapitulasi Kuat Geser Tanah Jangka Panjang	40
Tabel 5.10 Permeabilitas Berdasarkan Klasifikasi Tanah	41
Tabel 5.11 Rekapitulasi Nilai Permeabilitas	41
Tabel 5.12 Parameter Elastisitas Berbagai Jenis Tanah	42
Tabel 5.13 Rekapitulasi Nilai Modulus Elastisitas Tanah	42
Tabel 5.14 Parameter Tanah Timbunan	42
Tabel 5.15 Rekapitulasi Parameter Tanah	43
Tabel 5.16 Hasil Perbandingan Tebal Lapisan dan N-SPT	45
Tabel 5.17 Klasifikasi Situs	46
Tabel 5.18 Koefisien Situs F_{PGA}	47
Tabel 5.19 Beban Struktur Perkerasan Jalan	47
Tabel 5.20 Beban Lalu Lintas	48
Tabel 5.21 Rekapitulasi Displacement Lereng Tanpa Perkuatan <i>Sheet Pile</i>	53
Tabel 5.22 Rekapitulasi Perhitungan Manual lereng Tanpa Perkuatan <i>Sheet Pile</i>	56
Tabel 5.23 Rekapitulasi Momen Aktif dan Pasif <i>Sheet Pile</i> Tanpa Angkur	61

Tabel 5.24 Rekapitulasi Momen Aktif dan Pasif *Sheet Pile* Diangkur

71

Tabel 5.25 Rekapitulasi Angka Aman dan Defleksi Atau *Displacement*

106



DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Definisi Koefisiensi Tanah Saat diam	19
Gambar 3.2 Tekanan Tanah Lateral Saat Tanah Runtuh	20
Gambar 3.3 Tipe Turap Beton dan Baja	22
Gambar 3.4 Tekanan Tanah Pada Turap Kantilever	23
Gambar 3.5 Tekanan Tanah Awal Pada Turap Kantilever Yang Dipancang Dalam Tanah Kohesif	24
Gambar 3.6 Pengaruh Kedalaman Turap Pada Distribusi Tekanan Dan Perubahan Bentuknya	25
Gambar 3.7 Persyaratan Posisi Fixed Length	27
Gambar 4.1 Lokasi Penelitian	30
Gambar 4.2 <i>Flow Chart</i> Analisis Dengan Program Plaxis	32
Gambar 4.3 <i>Flow Chart</i> Penelitian	33
Gambar 5.1 Layout Lokasi Pekerjaan	34
Gambar 5.2 Potongan Melintang Lereng Eksisting	35
Gambar 5.3 Grafik Nilai N-SPT	36
Gambar 5.4 Klasifikasi Tanah Eksisting	37
Gambar 5.5 Potongan Melintang Turap Rencana	44
Gambar 5.6 Desain Spektra Tanah Lunak DKI Jakarta	46
Gambar 5.7 Pemodelan Lereng Tanpa Perkuatan <i>Sheet Pile</i>	49
Gambar 5.8 Deformed Mesh Pada Lereng Tanpa Perkuatan <i>Sheet Pile</i>	50
Gambar 5.9 Arah <i>Displacement</i> Lereng Tanpa Diperkuat <i>Sheet Pile</i>	50
Gambar 5.10 Area <i>Displacement</i> Lereng Tanpa Perkuatan <i>Sheet Pile</i>	51
Gambar 5.11 Titik Tinjauan Lereng Tanpa Perkuatan <i>Sheet Pile</i>	51
Gambar 5.12 <i>Displacement</i> Lereng Tanpa Perkuatan <i>Sheet Pile</i> Arah X	52
Gambar 5.13 <i>Displacement</i> Lereng Tanpa Perkuatan <i>Sheet Pile</i> Arah Y	52
Gambar 5.14 Angka Keamanan Lereng Tanpa Perkuatan <i>Sheet Pile</i>	53
Gambar 5.15 Pembagian Bidang Longsor Lereng Tanpa Perkuatan <i>Sheet Pile</i>	54
Gambar 5.16 Diagram Distribusi Tegangan Tanah Pada <i>Sheet Pile</i>	58

Gambar 5.17 Pemodelan Lereng Dengan <i>Sheet Pile</i> Pada Kondisi Muka Air Normal	63
Gambar 5.18 <i>Deformed Mesh</i> Pada Lereng Yang Diperkuat <i>Sheet Pile</i> Pada Kondisi Muka Air Normal	64
Gambar 5.19 Arah <i>Displacement</i> Lereng Yang Diperkuat <i>Sheet Pile</i> Pada Kondisi Muka Air Normal	65
Gambar 5.20 Arah <i>Displacement</i> Lereng Yang Diperkuat <i>Sheet Pile</i> Pada Kondisi Muka Air Normal	65
Gambar 5.21 Angka Aman Lereng Yang Diperkuat <i>Sheet Pile</i> Pada Kondisi Muka Air Normal	66
Gambar 5.22 Defleksi Pada <i>Sheet Pile</i> Saat Kondisi Muka Air Normal	67
Gambar 5.23 Diagram Distribusi Tegangan Tanah <i>Sheet Pile</i> Diangkur	68
Gambar 5.24 Layout Angkur Rencana	73
Gambar 5.25 Pemodelan <i>Sheet Pile</i> Diangkur Pada Kondisi Muka Air Normal	76
Gambar 5.26 <i>Deformed Mesh</i> Lereng Dengan <i>Sheet Pile</i> Diangkur Pada Kondisi Muka Air Normal	77
Gambar 5.27 Arah <i>Displacement</i> Lereng Dengan <i>Sheet Pile</i> Diangkur Pada Kondisi Muka Air Normal	77
Gambar 5.28 Area <i>Displacement</i> Lereng Dengan <i>Sheet Pile</i> Diangkur Pada Kondisi Muka Air Normal	78
Gambar 5.29 Angka Aman <i>Sheet Pile</i> Diangkur Tanpa Beban Gempa Pada Kondisi Muka Air Normal	79
Gambar 5.30 Angka Aman <i>Sheet Pile</i> Diangkur Dengan Beban Gempa Pada Kondisi Muka Air Normal	79
Gambar 5.31 Defleksi Pada <i>Sheet Pile</i> Dengan Angkur kondisi Muka Air Normal	80
Gambar 5.32 Pemodelan <i>Sheet Pile</i> Diangkur Pada Kondisi Muka Air Banjir	81
Gambar 5.33 <i>Deformed Mesh</i> Lereng Dengan <i>Sheet Pile</i> Diangkur Pada Kondisi Muka Air Banjir	82
Gambar 5.34 Arah <i>Displacement</i> Lereng Dengan <i>Sheet Pile</i> Diangkur Pada Kondisi Muka Air Banjir	82

Gambar 5.35 Area <i>Displacement</i> Lereng Dengan <i>Sheet Pile</i> Diangkur Pada Kondisi Muka Air Banjir	83
Gambar 5.36 Angka Aman Lereng Dengan <i>Sheet Pile</i> Diangkur Pada Kondisi Muka Air Banjir	83
Gambar 5.37 Defleksi Pada <i>Sheet Pile</i> Dengan Angkur kondisi Muka Air Banjir	84
Gambar 5.38 Potongan Melintang Skema Pengurangan Tanah Pasif	85
Gambar 5.39 Pemodelan <i>Sheet Pile</i> Diangkur Dengan Skema Pengurangan Tanah Pasif	86
Gambar 5.40 <i>Deformed Mesh</i> Lereng Dengan <i>Sheet Pile</i> Diangkur Pada Skema Pengurangan Tanah Pasif	87
Gambar 5.41 Arah <i>Displacement</i> Lereng Dengan <i>Sheet Pile</i> Diangkur Pada Skema Pengurangan Tanah Pasif	87
Gambar 5.42 Area <i>Displacement</i> Lereng Dengan <i>Sheet Pile</i> Diangkur Pada Skema Pengurangan Tanah Pasif	88
Gambar 5.43 Angka Aman Lereng Dengan <i>Sheet Pile</i> Diangkur Pada Skema Pengurangan Tanah Pasif	89
Gambar 5.44 Defleksi Pada <i>Sheet Pile</i> Diangkur Dengan Skema Pengurangan Tanah Pasif	90
Gambar 5.45 Pemodelan <i>Sheet Pile</i> Diangkur Pada Kondisi Muka Air Normal	91
Gambar 5.46 <i>Deformed Mesh</i> Lereng Dengan <i>Sheet Pile</i> Diangkur Pada Kondisi Muka Air Normal	92
Gambar 5.47 Arah <i>Displacement</i> Lereng Dengan <i>Sheet Pile</i> Diangkur Pada Kondisi Muka Air Normal	93
Gambar 5.48 Area <i>Displacement</i> Lereng Dengan <i>Sheet Pile</i> Diangkur Pada Kondisi Muka Air Normal	93
Gambar 5.49 Angka Aman <i>Sheet Pile</i> Diangkur Tanpa Beban Gempa Pada Kondisi Muka Air Normal	94
Gambar 5.50 Angka Aman <i>Sheet Pile</i> Diangkur Dengan Beban Gempa Pada Kondisi Muka Air Normal	94

Gambar 5.51 Defleksi Pada <i>Sheet Pile</i> Dengan Angkur kondisi Muka Air Normal	95
Gambar 5.52 Pemodelan <i>Sheet Pile</i> Diangkur Pada Kondisi Muka Air Banjir	96
Gambar 5.53 <i>Deformed Mesh</i> Lereng Dengan <i>Sheet Pile</i> Diangkur Pada Kondisi Muka Air Banjir	97
Gambar 5.54 Arah <i>Displacement</i> Lereng Dengan <i>Sheet Pile</i> Diangkur Pada Kondisi Muka Air Banjir	97
Gambar 5.55 Area <i>Displacement</i> Lereng Dengan <i>Sheet Pile</i> Diangkur Pada Kondisi Muka Air Banjir	98
Gambar 5.56 Angka Aman Lereng Dengan <i>Sheet Pile</i> Diangkur Pada Kondisi Muka Air Banjir	99
Gambar 5.57 Defleksi Pada <i>Sheet Pile</i> Dengan Angkur kondisi Muka Air Banjir	100
Gambar 5.58 Potongan Melintang Skema Pengurangan Tanah Pasif	101
Gambar 5.59 Pemodelan <i>Sheet Pile</i> Diangkur Dengan Skema Pengurangan Tanah Pasif	101
Gambar 5.60 <i>Deformed Mesh</i> Lereng Dengan <i>Sheet Pile</i> Diangkur Pada Skema Pengurangan Tanah Pasif	102
Gambar 5.61 Arah <i>Displacement</i> Lereng Dengan <i>Sheet Pile</i> Diangkur Pada Skema Pengurangan Tanah Pasif	103
Gambar 5.62 Area <i>Displacement</i> Lereng Dengan <i>Sheet Pile</i> Diangkur Pada Skema Pengurangan Tanah Pasif	103
Gambar 5.63 Angka Aman Lereng Dengan <i>Sheet Pile</i> Diangkur Pada Kondisi Pengurangan Tanah Pasif	104
Gambar 5.64 Defleksi Pada <i>Sheet Pile</i> Diangkur Dengan Skema Pengurangan Tanah Pasif	105

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Data Pengujian Bor Log	113
Lampiran 2 Data Hasil Pengujian Laboratorium Tanah Eksisting	114
Lampiran 3 Data Hasil Pengujian Laboratorium Tanah Timbunan	115
Lampiran 4 Potongan Melintang Lereng	116
Lampiran 5 Spesifikasi <i>Sheet Pile</i> PT Wijaya Karya Beton	117



DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

SF	= Angka keamanan / Faktor keamanan
H	= Tinggi (m)
H _w	= Kedalaman muka air tanah (m)
D	= Kedalaman turap (m)
K _p	= Koefisien tekanan tanah pasif (<i>pasife earth pressure</i>)
K _a	= Koefisien tekanan tanah aktif (<i>active earth pressure</i>)
P _a	= Tekanan Tanah Aktif (kN/m)
P _p	= Tekanan Tanah Pasif (kN/m)
σ _a	= Tegangan tanah aktif (kN/m ²)
σ _v	= Tegangan tanah Pasif (kN/m ²)
γ	= Berat volume tanah (kN/m ³)
γ _{unsat}	= Berat volume tanah alami (kN/m ³)
γ _{sat}	= Berat volume tanah terendam (kN/m ³)
C	= Kohesi (kN/m ²)
C _u	= Kohesi tak terdrainase (kN/m ²)
φ	= Sudut Gesek Dalam Tanah (°)
M _{maks}	= Momen maksimal (kN.m)
M _a	= Momen tanah aktif (kN.m)
M _p	= Momen tanah pasif (kN.m)
q	= Beban merata (t/m ²)
q'	= Tekanan <i>overburden</i> efektif (kN/m ²)
R _{ult}	= Kapasitas batas ankur tanah (kN/m)
A _s	= Luas selimut <i>fixed length</i> (m ²)
L _s	= Panjang <i>fixed length</i> (m)
S _{u(ave)}	= Kuat geser tak terdrainase tanah rata-rata sepanjang <i>fixed length</i> (kN/m ²)
α	= Faktor adhesi tergantung pada kuat geser tak terdrainase tanah.
K	= Permeabilitas (m/hari)
E	= Modulus elastisitas (kN/m ²)

PGA = Percepatan tanah maksimum

Fpga = Koefisien situs tanah

Kh = Koefisien gempa horizontal



ABSTRAK

Dalam rangka mengantisipasi terjadinya banjir, pemerintah Jakarta berencana melakukan peningkatan volume sungai Ciliwung dan pembangunan jalan inspeksi sekaligus sebagai tanggul di pinggir sungai. Setelah dilakukan pengujian tanah, didapatkan nilai N-SPT yang menunjukkan bahwa tanah disekitar rencana pembangunan jalan inspeksi merupakan tanah lunak. Kemiringan lereng sungai tidak memungkinkan dibuat melandai untuk menghindari kelongsoran karena lahan yang terbatas dan menghindari terjadinya penyempitan sungai. Berdasarkan kasus tersebut, maka diperlukan lereng sungai yang tegak lurus agar dapat menghemat ruang.

Pada penelitian ini dilakukan analisis lereng dengan perkuatan *sheet pile* menggunakan program Plaxis. *Sheet pile* dinilai cocok digunakan untuk perkuatan lereng dengan lahan yang terbatas serta memiliki kelebihan pemasangan yang mudah dan biaya pelaksanaan yang relatif lebih murah. Penelitian dimulai dengan melakukan analisis lereng eksisting tanpa diperkuat *sheet pile* dan selanjutnya dilakukan analisis *sheet pile* tanpa angkur dan dengan angkur. *Sheet pile* dilakukan peninjauan terhadap parameter tanah untuk jangka pendek (*short term*) dan jangka panjang (*long term*) dengan skema muka air normal, muka air banjir, dan pengurangan tanah pasif.

Berdasarkan hasil analisis didapatkan bahwa lereng eksisting tanpa perkuatan didapatkan angka aman sebesar 1. *Displacement* arah X yang terjadi pada titik A sebesar 5,94 m dan titik B sebesar 3,949 m. *Displacement* arah Y yang terjadi pada titik A sebesar 5,939 m dan titik B sebesar 5,348 m. Berdasarkan hasil tersebut maka lereng dianggap tidak aman sehingga diperlukan perkuatan. Berdasarkan hasil analisis *sheet pile* tanpa angkur diperlukan panjang *sheet pile* 16m. Berdasarkan analisis *sheet pile* tanpa diangkur didapatkan angka aman sebesar 1,914. Defleksi yang terjadi pada *sheet pile* tanpa angkur sebesar 0,188 m sehingga defleksi pada *sheet pile* tidak memenuhi persyaratan. Berdasarkan hasil analisis *sheet pile* dengan angkur diperlukan panjang *sheet pile* 12m. Berdasarkan analisis *sheet pile* yang diangkur dengan skema jangka pendek (*short term*) pada kondisi elevasi muka air normal didapatkan angka aman sebesar 1,584 dengan defleksi terbesar adalah 0,0438 m, pada kondisi elevasi muka air banjir didapatkan angka aman sebesar 1,748 dengan defleksi terbesar adalah 0,0374 m, pada kondisi pengurangan tanah pasif didapatkan angka aman sebesar 1,359 dengan defleksi terbesar yang terjadi adalah 0,0863 m. Berdasarkan analisis Plaxis *sheet pile* diangkur dengan skema jangka panjang (*Long term*) pada kondisi elevasi muka air normal didapatkan angka aman sebesar 1,726 dengan defleksi adalah 0,0401 m, pada kondisi elevasi muka air banjir didapatkan angka aman sebesar 1,723 dengan defleksi terbesar adalah 0,0374 m, pada kondisi pengurangan tanah pasif didapatkan angka aman sebesar 1,371 dengan defleksi terbesar adalah 0,0722 m. Berdasarkan hasil tersebut, *sheet pile* yang diangkur telah memenuhi semua persyaratan dan dinyatakan aman dengan catatan tidak terjadi pengurangan tanah pasif.

Kata kunci: perkuatan tanah, *sheet pile*, angkur tanah, plaxis

ABSTRACT

To anticipate flooding, the Jakarta government plans to increase the volume of the Ciliwung River and build an inspection road that simultaneously serves as an embankment. After soil testing, the N-SPT value showed that the soil around the inspection road construction plan was soft soil. The present condition does not allow the river to gently slope further to avoid landslides due to the limited land area and potential narrowing of the river. Based on these cases, perpendicular river slopes are needed in order to save space.

In this study, slope analysis was carried out by strengthening sheet piles using the Plaxis program. Sheet piles are considered suitable for slope reinforcement with limited land area. In addition, they have the advantages of easy installation and relatively lower implementation costs. The study began with an analysis of existing slopes without sheet pile reinforcement, followed by sheet pile analyses without and with anchors. Sheet piles were reviewed based on short-term and long-term soil parameters with normal water table, flood water level, and reduced passive earth pressure schemes.

Based on the results of the analysis, it was found that the existing unreinforced slopes had a safety factor of 1. The displacement in the X direction that occurred at point A was 5.94 m and 3.949 m at point B. Meanwhile, the displacement in the Y direction that occurred at point A was 5.939 m and 5.348 m at point B. Based on these results, the slope is considered unsafe and therefore requires reinforcement. The results of the sheet pile analysis without anchors indicated a safety factor of 1.914 and that a sheet pile length of 16 m is required. The deflection that occurred in the sheet pile without anchors was 0.188 m and therefore did not meet the requirements. The sheet pile analysis with anchors indicated that a sheet pile length of 12 m is required. Based on the analysis of anchored sheet piles with a short-term scheme in normal water level conditions, a safety factor of 1.584 was obtained with the largest deflection of 0.0438 m. In flood conditions, a safety factor of 1.748 was obtained with the largest deflection of 0.0374 m, while in reduced passive earth pressure conditions, a safety factor of 1.359 was obtained with the largest deflection of 0.0863 m. Based on Plaxis analysis of anchored sheet piles with a long-term scheme in normal water level conditions, a safety factor of 1.726 was obtained with a deflection of 0.0401 m, and a safety factor of 1.723 was obtained with the largest deflection of 0.0374 m in flood conditions. In reduced passive earth pressure conditions, a safety factor of 1.371 was obtained with the largest deflection of 0.0722 m. Anchored sheet piles have therefore fulfilled all the requirements and are declared safe in the absence of reduced passive earth pressure.

Keywords: soil reinforcement, sheet pile, soil anchor, Plaxis

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sungai memiliki fungsi dasar sebagai tempat air mengalir secara alami. Sungai juga berperan penting bagi lingkungan salah satunya adalah sungai sebagai pengatur munculnya banjir. Banyak kasus banjir yang disebabkan oleh meluapnya air sungai sehingga diperlukan perawatan dan perbaikan sungai sehingga dapat mencegah terjadinya banjir (Suripin, 2004).

Sungai Ciliwung memiliki hulu yang berada di daerah Bogor dan hilir di Provinsi DKI Jakarta. Sungai Ciliwung merupakan salah satu sungai penting yang berada di DKI Jakarta karena sungai tersebut melintas tepat di tengah kota Jakarta dan melewati banyak pemukiman dan perumahan padat. Saat ini, Sungai Ciliwung telah mengalami banyak kerusakan, salah satunya adalah terjadi pendangkalan dan penyempitan badan sungai akibat endapan sedimen. Pendangkalan dan penyempitan badan sungai oleh sedimen membuat Sungai Ciliwung yang membawa air dari daerah Bogor menyebabkan terjadinya banjir di berbagai daerah di Jakarta (Iskandar dan Nova, 2019).

Dalam rangka mengantisipasi terjadinya banjir, pemerintah Jakarta berencana melakukan normalisasi Sungai Ciliwung sehingga dilakukan proyek pengendalian banjir Sungai Ciliwung Ruas Cawang-Rawajati. Dalam proyek tersebut pemerintah Jakarta berencana melakukan peningkatan volume sungai dan pembangunan jalan inspeksi sekaligus sebagai tanggul di pinggir sungai (Dinas Sumber Daya Air Provinsi DKI Jakarta, 2022). Setelah dilakukan pengujian tanah didapatkan nilai N-SPT yang menunjukkan bahwa tanah disekitar rencana pembangunan jalan inspeksi merupakan tanah lunak. Akibat dari lahan yang terbatas dan menghindari terjadinya penyempitan sungai karena pembangunan jalan inspeksi maka tidak memungkinkan kemiringan lereng dibuat landai untuk menghindari kelongsoran. Berdasarkan kasus tersebut, maka diperlukan lereng sungai yang tegak lurus agar dapat menghemat ruang sehingga digunakan alternatif

perkuatan lereng menggunakan *sheet pile* karena pemasangan yang mudah dan biaya pelaksanaan yang relatif lebih murah (Hardiyatmo, 2020b). Berkaitan dengan hal tersebut, penulis berencana melakukan analisis terhadap rencana pemasangan *sheet pile* dan melakukan perencanaan *sheet pile* yang aman.

Pada era yang serba digital ini perkembangan teknologi semakin maju sehingga memungkinkan untuk dilakukan analisis stabilitas lereng menggunakan program komputer, salah satunya adalah program Plaxis. Program Plaxis memungkinkan untuk menganalisis deformasi dan kebutuhan bidang geoteknik lainnya dengan pemodelan dua dimensi maupun tiga dimensi. Program komputer ini memungkinkan untuk melakukan perhitungan yang sulit atau bahkan tidak bisa diselesaikan dengan perhitungan manual (Brinkgreve, 2007). Berkaitan dengan hal tersebut, penulis berencana melakukan analisis terhadap rencana pemasangan *sheet pile* dan melakukan perencanaan *sheet pile* yang aman dengan bantuan program Plaxis.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang dapat diambil dari penjelasan latar belakang diatas adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana faktor aman dan *displacement* lereng sebelum diperkuat dengan *sheet pile*?
2. Berapa panjang *sheet pile* tanpa ankur yang diperlukan?
3. Bagaimana faktor aman lereng dan defleksi yang terjadi pada *sheet pile* setelah lereng diperkuat dengan *sheet pile*?
4. Berapa panjang *sheet pile* dengan ankur yang diperlukan?
5. Bagaimana faktor aman lereng dan defleksi yang terjadi pada *sheet pile* setelah lereng diperkuat dengan *sheet pile* yang diangkur?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian berdasarkan rumusan masalah diatas adalah sebagai berikut.

1. Mengetahui faktor aman dan *displacement* lereng sebelum diperkuat dengan *sheet pile*.

2. Mengetahui panjang *sheet pile* tanpa angkur yang diperlukan.
3. Mengetahui faktor aman lereng dan defleksi yang terjadi pada *sheet pile* setelah lereng diperkuat dengan *sheet pile*.
4. Mengetahui panjang *sheet pile* dengan angkur yang diperlukan
5. Mengetahui faktor aman lereng dan defleksi yang terjadi pada *sheet pile* setelah lereng diperkuat dengan *sheet pile* yang diangkur.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian yang dibuat ini adalah sebagai berikut.

1. Untuk memenuhi persyaratan memperoleh derajat sarjana strata satu teknik sipil.
2. Menambah pengetahuan dan referensi terkait *sheet pile*.
3. Menambah pengetahuan tentang penggunaan program Plaxis untuk membantu analisis di bidang geoteknik.

1.5 Batasan Penelitian

Peneliti menyadari bahwa terdapat keterbatasan kemampuan dan waktu, sehingga dalam penelitian ini dilakukan pembatasan masalah sehingga penelitian tersebut tidak terlalu melebar dan dapat mencapai pokok tujuan penelitian. Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Penelitian dilakukan di Sungai Ciliwung ruas Cawang-Rawajati.
2. Proyek yang dijadikan objek penelitian adalah Proyek Pengendalian Banjir Sungai Ciliwung Ruas Cawang-Rawajati yang dikerjakan oleh PT Tuah Agung Anugrah Consultant.
3. Proyek Pengendalian Banjir Sungai Ciliwung Ruas Cawang-Rawajati berada pada tahap perencanaan atau belum pada tahap konstruksi sehingga tidak ada bangunan eksisting.
4. Penelitian yang dilakukan tidak mencakup detail gambar, proses pelaksanaan konstruksi, manajemen proyek, dan metode pelaksanaan konstruksi.
5. Analisis stabilitas lereng dihitung menggunakan program *Plaxis* dengan metode Mohr-Coulumb.

6. Analisis yang dilakukan hanya sebatas perencanaan *sheet pile* sebagai perkuatan lereng.
7. Analisis dilakukan berdasarkan data tanah uji lapangan dan uji laboratorium dari PT Tuah Agung Anugrah Consultant. Apabila terdapat data yang kurang maka digunakan data konversi.
8. Beban gempa yang digunakan berdasarkan gempa wilayah Jakarta.
9. Perkuatan yang dipakai yaitu tipe *sheet pile* beton *precast* atau turap beton bertulang.
10. Spesifikasi *sheet pile* beton yang digunakan berasal dari PT Wijaya Karya Beton.
11. Tidak diperhitungkan penurunan yang terjadi pada *sheet pile*.
12. Analisis konsolidasi tidak dipertimbangkan dalam analisis jangka panjang

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Umum

Hardiyatmo (2018) menjelaskan bahwa pada saat permukaan tanah tidak mendatar atau miring, komponen gravitasi cenderung menggerakkan tanah ke bawah. Jika komponen gravitasi ini cukup signifikan untuk melebihi ketahanan tanah terhadap geser pada bidang gesernya, maka akan terjadi keruntuhan lereng, dan analisis kestabilan lereng menjadi diperlukan.

Menurut Hardiyatmo (2018), keruntuhan lereng dapat terjadi karena beberapa hal sebagai berikut:

1. Tambahan beban pada lereng, antara lain berupa bangunan baru, air yang masuk ke pori-pori tanah atau terakumulasi di permukaan, dan beban dinamis dari vegetasi yang tertiuip angin.
2. Penggalian atau pemotongan tanah di kaki lereng.
3. Penggalian yang mempertajam kemiringan lereng.
4. Perubahan tinggi muka air yang cepat (*rapid drawdown*) (di bendungan, sungai, dan sebagainya).
5. Peningkatan tekanan lateral dari air (air yang mengisi retakan akan mendorong tanah ke arah lateral).
6. Gempa bumi atau getaran yang berlebihan.
7. Penurunan tahanan geser tanah pembentuk lereng antara lain karena peningkatan kadar air, tekanan air pori, tekanan rembesan dari akumulasi air di dalam tanah, adanya lempung di lereng yang rentan terhadap susut dan pembengkakan, antara lain.

Dinding turap adalah dinding vertikal relatif tipis yang berfungsi kecuali untuk menahan tanah, juga berfungsi untuk menahan masuknya air ke dalam lubang galian. Turap memiliki beberapa kelebihan diantaranya adalah pemasangan yang mudah dan biaya pelaksanaan yang relatif murah. Turap banyak digunakan pada pekerjaan-pekerjaan seperti penahan tebing galian sementara, bangunan-bangunan

di pelabuhan, dinding penahan tanah bendungan elak, dan lain-lainnya. Apabila tanah yang ditahan dangkal maka cukup digunakan turap kantilever. Namun, apabila kedalaman tanah yang ditahan sangat dalam, maka harus digunakan turap yang diangkur. Dinding turap tidak cocok untuk menahan tanah yang sangat tinggi, karena memerlukan luas tampang bahan turap yang besar. Selain itu, turap juga tidak cocok digunakan pada tanah yang mengandung banyak batuan-batuan, karena menyulitkan pemancangan (Hardiyatmo, 2020b).

2.2 Penelitian Terdahulu

Penelitian mengenai analisis perkuatan lereng menggunakan *sheet pile* ini sebelumnya sudah pernah dilakukan pembahasan dengan perbedaan variabel maupun metode penelitian yang digunakan. Berikut ini merupakan penelitian terdahulu yang dapat digunakan sebagai acuan pada penelitian ini.

2.2.1 Perkuatan Lereng Menggunakan *Sheet Pile*

Hedyanto (2018) menjelaskan bahwa Sungai Code berasal dari gunung berapi yang sangat aktif sehingga rawan terjadi banjir lahar yang disebabkan oleh lahar dingin yang menumpuk di kubah Gunung Merapi dan terbawa hujan deras di daerah pegunungan. Akibat banjir tersebut, banyak rumah yang rusak atau hanyut terbawa lahar dingin. Untuk mengantisipasi banjir tersebut, Pemkot telah membangun tanggul di sepanjang bantaran Kali Code di Yogyakarta dan rutin mengeruk sungai menggunakan *excavator*. Namun longsor yang terjadi di bantaran Kali Code Yogyakarta memerlukan analisis dinding penahan tanah sebelum dan sesudah longsor, serta perkuatan dinding penahan tanah kantilever dan *sheet pile wall*. Keunggulan dinding kantilever dibandingkan dinding pasangan batu adalah lebih kuat, lebih tahan air, dan lebih tahan lama. Berdasarkan analisis peneliti, didapatkan hasil sebagai berikut.

1. Pada lereng eksisting, hasil dari analisis menggunakan program geoslope/W didapatkan nilai SF lereng dengan beban berat sendiri adalah 1,118 dan nilai SF dengan beban gempa adalah 0,565.

2. Pada perkuatan dinding kantilever, hasil dari analisis menggunakan program geoslope/W didapatkan nilai SF lereng dengan beban berat sendiri adalah 2,639 dan nilai SF dengan beban gempa adalah 1,789.
3. Pada perkuatan *sheet pile*, hasil dari analisis menggunakan program geoslope/W didapatkan nilai SF lereng dengan beban berat sendiri adalah 2,726 dan nilai SF dengan beban gempa adalah 1,846.

Diliaristanto (2016) dalam penelitiannya menggunakan *sheet pile* untuk memperkuat lereng sehingga dapat terhindar dari longsor. Metode yang digunakan adalah menganalisis stabilitas lereng berdasarkan kondisi eksisting di Desa Tambak Merang Kecamatan Girimarto Kabupaten Wonogiri yang memiliki ketinggian 14 meter dan kemiringan lereng 60°. Studi stabilitas lereng memperhitungkan efek gempa bumi. Perkuatan lereng yang direncanakan meliputi penggunaan turap dengan variasi ketinggian 1/2H, 1/3H, dan 1/4H dari tinggi lereng, dan kemiringan permukaan lereng 60° (kondisi asli), 10°, 20°, dan 30°. Setelah dilakukan analisis menggunakan program *Geoslope* dengan kondisi sebelum diberi perkuatan, nilai keamanan lereng didapatkan <1,25 yang mana dapat diartikan bahwa kondisi lereng tersebut kritis (longsor). Hasil analisis setelah diberi perkuatan didapatkan hasil angka keamanan >1,25 yang berarti lereng tersebut aman.

Fitradi (2019) melakukan penelitian terhadap kasus tanah longsor yang terjadi pada ruas jalan Ponorogo-Trenggalek di Sta 23+600. Jalan tersebut merupakan struktur perkerasan lentur dengan kemiringan lereng setinggi 15 meter yang melewati daerah perbukitan dan lembah. Pada tahun 2017, jalan di stasiun 23+600 mengalami longsor dengan retakan sepanjang 50 meter dan lebar 55 meter di bagian selatan jalan sehingga menyebabkan lereng jalan Ponorogo-Trenggalek runtuh. Sebelum terjadi longsor telah dilakukan perkuatan turap dan dinding penahan tanah berupa bronjong batu, namun lereng tersebut masih mengalami longsor sehingga diperlukan analisis stabilitas lereng. Analisis dilakukan dengan bantuan program *Plaxis* dengan metode perkuatan lereng menggunakan geotekstil dan turap beton. Analisis tersebut meninjau angka aman dari berbagai kondisi, yaitu angka aman dari lereng asli, angka aman lereng setelah diubah dengan geometri baru, angka aman lereng setelah diubah dengan geometri baru yang diperkuat

dengan geotekstil, dan angka aman lereng setelah diperkuat dengan turap. Setelah dilakukan analisis didapatkan hasil sebagai berikut.

1. Lereng asli tanpa beban gempa memiliki faktor keamanan 1,1789, sedangkan lereng asli dengan beban gempa memiliki faktor keamanan 1,1436. Nilai keduanya $<1,25$, sehingga lereng dianggap tidak stabil dan rentan.
2. Lereng dengan geometri baru tanpa beban gempa memiliki faktor keamanan 1,5709, sedangkan lereng dengan geometri baru dengan beban gempa memiliki faktor keamanan 1,5156. Nilai keduanya $>1,25$, sehingga kemiringan dianggap aman.
3. Lereng dengan geometri baru dan perkuatan geotekstil tanpa beban gempa memiliki faktor keamanan sebesar 2,379, sedangkan lereng dengan beban gempa memiliki faktor keamanan sebesar 2,3467. Nilai keduanya $>1,25$, sehingga kemiringan dianggap aman.
4. Lereng dengan perkuatan dinding penahan tanah tanpa beban gempa memiliki faktor keamanan sebesar 1,7831, sedangkan lereng dengan beban gempa memiliki faktor keamanan sebesar 1,7776. Nilai keduanya $>1,25$, sehingga kemiringan dianggap aman.

2.2.2 Pengaruh Gempa Terhadap Stabilitas Lereng

Kurniawan (2019) melakukan penelitian yang mengkaji pengaruh getaran gempa terhadap stabilitas lereng yang diperkuat oleh *sheet pile* pada Jalan Tol Balikpapan – Samarinda STA 2+850 – 3+050. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui dampak getaran gempa terhadap stabilitas lereng yang diperkuat oleh *sheet pile* pada Jalan Tol Balikpapan – Samarinda STA 2+850 – 3+050. Analisis stabilitas lereng dilakukan menggunakan program Plaxis 8.6 untuk menentukan nilai angka keamanan lereng pada kondisi sebelum dan sesudah menggunakan *sheet pile* baja. Hasil perhitungan angka aman pada lereng dengan penurunan asli menggunakan program Plaxis 8.6 tidak mendapatkan angka aman maka digunakan perhitungan manual yang diperoleh 0,351. Dengan skor keamanan $< 1,25$ maka lereng tersebut tidak stabil atau tidak aman dari keruntuhan. Analisis *sheet pile* baja menggunakan program Plaxis 8.6 pada masa konstruksi tanpa beban gempa didapatkan angka aman sebesar 2.4031 dan dengan beban gempa sebesar

2.3535. Sedangkan nilai angka aman pada kondisi pasca konstruksi tanpa beban gempa sebesar 1,7522 dan dengan beban gempa sebesar 1,7359. Dengan skor keamanan $> 1,25$, maka lereng tersebut aman terhadap keruntuhan.

Nurtanti (2019) melakukan penelitian yang mengkaji pengaruh getaran gempa terhadap stabilitas lereng yang diperkuat oleh *sheet pile* pada Sungai Pabelan menggunakan program Plaxis 8.6. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui dampak getaran gempa terhadap stabilitas lereng yang diperkuat oleh *sheet pile* pada Sungai Pabelan. Analisis stabilitas lereng dilakukan menggunakan program Plaxis 8.6 untuk menentukan nilai angka keamanan lereng pada kondisi sebelum dan sesudah menggunakan *sheet pile* baja. Hasil analisis didapatkan bahwa stabilitas lereng eksisting dinyatakan tidak aman. Analisis dengan menggunakan Plaxis didapatkan angka aman tanpa gempa sebesar 1,1049, angka aman dengan gempa sebesar 1,0932 sedangkan analisis manual metode Fellenius didapatkan SF sebesar 0,8613. Hasil angka aman untuk lereng yang diperkuat dengan turap baja menggunakan plaxis didapatkan SF tanpa gempa sebesar 1,5734, SF dengan gempa sebesar 1,3067 sedangkan analisis manual dengan metode fellenius didapatkan SF sebesar 1,6953.

2.3 Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Sekarang

Berdasarkan penjelasan diatas dapat dibandingkan penelitian terdahulu dan penelitian yang akan penulis lakukan. Perbandingan penelitian terdahulu dengan penelitian sekarang dapat dilihat pada Tabel 2.1 berikut.

Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Sekarang

Penelitian Terdahulu						Penelitian Sekarang
Peneliti	Hediyanto (2018)	Fitradi (2019)	Diliaristanto (2016)	Kurniawan (2019)	Nurtanti (2019)	Rizki (2022)
Judul Penelitian	Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Dinding Kantilever Dan <i>Sheet Pile</i> Pada Bantaran Sungai Code	Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Geotekstil Dan Turap Beton Menggunakan Program Plaxis	Pengaruh Kedalaman <i>Sheet Pile</i> dan Kemiringan Tanah di Atas <i>Sheet Pile</i> pada Stabilitas Lereng	Analisis Stabilitas Dinding Penahan Tanah Dan <i>Sheet Pile</i> 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 Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan <i>Sheet Pile</i> yang Diangkur Pada Sungai Ciliwung Ruas Cawang-Rawajati Menggunakan Program Plaxis

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Sekarang

Penelitian Terdahulu						Penelitian Sekarang
Peneliti	Hedyanto (2018)	Fitradi (2019)	Diliaristanto (2016)	Kurniawan (2019)	Nurtanti (2019)	Rizki (2022)
Tujuan Penelitian	Mengetahui SF pada lereng eksisting setelah longsor, SF dengan dinding kantilever, SF dengan dinding <i>sheet pile</i> dan deformasi tanah terhadap perkuatan dinding katilever dan <i>sheet pile</i>	Mengkaji pengaruh kemiringan lereng terhadap nilai aman lereng, serta pengaruh penambahan geotekstil dan turap beton pada lereng Dengan menggunakan variasai pembebanan berupa beban gempa dan kendaraan	Menghitung nilai stabilitas lereng akibat beban gempa sebelum dan sesudah diberi perkuatan <i>sheet pile</i>	Mengetahui dampak getaran gempa terhadap stabilitas lereng yang diperkuat oleh dinding penahan tanah dan <i>sheet pile</i> pada Jalan Tol Balikpapan – Samarinda STA 2+850 – 3+050.	Mengetahui angka aman lereng asli di Sungai Pabelan. Untuk mengetahui angka aman bila lereng diperkuat dengan menggunakan Dinding Penahan Tanah Beton Bertulang dan <i>Steel Sheet Pile</i> .	Mengetahui faktor aman dan <i>displacement</i> lereng sebelum diperkuat dengan <i>sheet pile</i> . Mengetahui panjang <i>sheet pile</i> tanpa angkur yang diperlukan. Mengetahui faktor aman lereng dan defleksi yang terjadi pada <i>sheet pile</i> setelah lereng diperkuat dengan <i>sheet pile</i> . Mengetahui panjang <i>sheet pile</i> dengan angkur yang diperlukan Mengetahui faktor aman lereng dan defleksi yang terjadi pada <i>sheet pile</i> setelah lereng diperkuat dengan <i>sheet pile</i> yang diangkur.

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Sekarang

Penelitian Terdahulu						Penelitian Sekarang
Peneliti	Hediyanto (2018)	Fitradi (2019)	Diliaristanto (2016)	Kurniawan (2019)	Nurtanti (2019)	Rizki (2022)
Metode Penelitian	Menggunakan Program Geoslope/W dan Sigma/W	Menggunakan program <i>Plaxis</i>	Menggunakan Program Geoslope/W	Menggunakan program <i>Plaxis</i>	Menggunakan program <i>Plaxis</i> dan perhitungan manual menggunakan metode Fellenius	Menggunakan program <i>Plaxis</i>
Hasil Penelitian	Pada lereng eksisting, didapatkan nilai SF lereng dengan beban berat sendiri adalah 1,118 dan nilai SF dengan beban gempa adalah 0,565. Pada perkuatan dinding kantilever didapatkan nilai SF lereng	Perkuatan geotekstil dan turap memberikan pengaruh pada lereng dengan naiknya nilai safety factor. Lereng yang sebelumnya mengalami kelongsoran dengan adanya perkuatan maka lereng menjadi aman.	Berdasarkan hasil analisis stabilitas lereng sebelum diberi perkuatan nilai keamanan lereng <1,25 menunjukkan bahwa kondisi lereng tersebut kritis (longsor). Perencanaan <i>sheet pile</i> menggunakan variasi ketinggian 1/2H,	Hasil perhitungan angka aman pada lereng dengan penurunan asli diperoleh 0,351. Dengan skor keamanan < 1,25 maka lereng tersebut tidak stabil atau tidak aman dari keruntuhan. Analisis <i>sheet pile</i> baja	Hasil analisis didapatkan bahwa stabilitas lereng eksisting dinyatakan tidak aman. Analisis dengan menggunakan <i>Plaxis</i> didapatkan angka aman tanpa gempa sebesar 1,1049, angka aman dengan gempa sebesar 1,0932	Berdasarkan analisis <i>sheet pile</i> yang diangkur dengan skema jangka pendek (<i>short term</i>) pada kondisi elevasi muka air normal didapatkan angka aman sebesar 1,584 dengan defleksi terbesar adalah 0,0438 m, pada kondisi elevasi muka air banjir didapatkan

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Sekarang

Penelitian Terdahulu						Penelitian Sekarang
Peneliti	Hediyanto (2018)	Fitradi (2019)	Diliaristanto (2016)	Kurniawan (2019)	Nurtanti (2019)	Rizki (2022)
	dengan beban berat sendiri adalah 2,639 dan nilai SF dengan beban gempa adalah 1,789. Pada perkuatan <i>sheet pile</i> , hasil dari analisis didapatkan nilai SF lereng dengan beban berat sendiri adalah 2,726 dan nilai SF dengan beban gempa adalah 1,846.		1/3H, 1/4H dan melandaikan kemiringan permukaan lereng dengan sudut 60° (kondisi asli), 10°, 20° dan 30° berpengaruh.	menggunakan program Plaxis 8.6 pada masa konstruksi tanpa beban gempa didapatkan angka aman sebesar 2.4031 dan dengan beban gempa sebesar 2.3535. Sedangkan nilai angka aman pada kondisi pasca konstruksi tanpa beban gempa sebesar 1,7522 dan dengan beban gempa sebesar 1,7359. Dengan skor keamanan > 1,25, maka	sedangkan analisis manual metode Fellenius didapatkan SF sebesar 0,8613. Hasil angka aman untuk lereng yang diperkuat dengan turap baja menggunakan plaxis didapatkan SF tanpa gempa sebesar 1,5734, SF dengan gempa sebesar 1,3067 sedangkan analisis manual dengan metode	angka aman sebesar 1,748 dengan defleksi terbesar adalah 0,0374 m, pada kondisi pengurangan tanah pasif didapatkan angka aman sebesar 1,359 dengan defleksi terbesar yang terjadi adalah 0,0863 m. Berdasarkan analisis Plaxis <i>sheet pile</i> diangkur dengan skema jangka panjang (<i>Long term</i>) pada kondisi elevasi muka air normal

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Sekarang

Penelitian Terdahulu						Penelitian Sekarang
Peneliti	Hediyanto (2018)	Fitradi (2019)	Diliaristanto (2016)	Kurniawan (2019)	Nurtanti (2019)	Rizki (2022)
				lereng tersebut aman terhadap keruntuhan.	fellenius didapatkan SF sebesar 1,6953.	didapatkan angka aman sebesar 1,726 dengan defleksi adalah 0,0401 m, pada kondisi elevasi muka air banjir didapatkan angka aman sebesar 1,723 dengan defleksi terbesar adalah 0,0374 m, pada kondisi pengurangan tanah pasif didapatkan angka aman sebesar 1,371 dengan defleksi terbesar adalah 0,0722 m.

Sumber: Hediyanto (2018), Fitradi (2019), Diliaristanto (2016), Kurniawan (2019), dan Pangwangun (2017)

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Tanah

Dalam pengertian teknik secara umum, tanah didefinisikan sebagai material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral-mineral padat yang tidak tersementasi (terikat secara kimia) satu sama lain dan dari bahan-bahan organik yang telah melapuk (yang berpartikel padat) disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang-ruang kosong di antara partikel-partikel padat tersebut (Das, 1995). Tanah dapat diidentifikasi berdasarkan butirannya. Berdasarkan ASTM D2487 dalam (Hardiyatmo, 2020a) pembagian klasifikasi tanah berdasarkan butirannya adalah sebagai berikut.

1. *Cobble* adalah partikel-partikel batuan yang lolos saringan 12 in (300 mm) dan tinggal dalam saringan 3 in (75 mm) (untuk saringan dengan lubang bujursangkar standar Amerika).
2. *Boulder* adalah partikel-partikel batuan yang tidak lolos dalam saringan 12 in. (300 mm) (untuk saringan dengan lubang bujursangkar).
3. Kerikil adalah partikel-partikel batuan yang lolos saringan 3 in. (75 mm) dan tertahan dalam saringan no. 4 (4,75 mm).
4. Pasir adalah partikel-partikel batuan yang lolos saringan no. 4 (4,75 mm) dan tinggal dalam saringan no. 200 (0,075 mm), dengan pembagian sebagai berikut.
 - a. Pasir kasar - butirannya lolos saringan no. 4 (4,75 mm) dan tertahan dalam saringan no. 10 (2 mm).
 - b. Pasir sedang-butirannya lolos saringan no. 10 (2 mm) dan tertahan dalam saringan no. 40 (0,425 mm).
 - c. Pasir halus - butirannya lolos saringan no. 40 (0,425 mm) dan tertahan dalam saringan no. 200 (0,075 mm).
5. Lanau adalah tanah yang butirannya lolos saringan no. 200 (0,075 mm). Untuk klasifikasi, lanau adalah tanah berbutir halus, atau fraksi halus dari tanah

dengan indeks plastisitas kurang dari 4, atau jika diplot dalam grafik plastisitas letaknya di bawah garis miring yang memisahkan antara lanau dan lempung. Lanau anorganik merupakan tanah berbutir halus yang terdiri dari fraksi-fraksi tanah mikroskopis yang mengembangkan plastisitas atau kohesi. Plastisitas menjadi kecil jika terdapat kandungan butiran halus dan bulat *quart* dan disebut tepung batu. Jenis lanau yang lebih plastis mengandung banyak butiran berbentuk serpihan-serpihan yang disebut lanau plastis.

6. Lempung merupakan tanah berbutir halus yang lolos saringan no. 200 (0,075 mm). Lempung mempunyai sifat plastis dalam kisaran kadar air tertentu, dan kekuatannya tinggi apabila tanahnya pada kondisi kering udara. Menurut klasifikasi, lempung adalah tanah berbutir halus dengan indeks plastisitas lebih besar dari 4, atau jika diplot dalam grafik plastisitas, letaknya pada atau di atas garis miring yang memisahkan antara lanau dan lempung. Butiran lempung lebih halus dari lanau, merupakan kumpulan butiran mineral kristalin yang bersifat mikroskopis dan berbentuk serpih-serpih atau pelat-pelat. Material ini bersifat plastis, kohesif dan mempunyai kemampuan menyerap ion-ion. Sifat-sifat tersebut sangat dipengaruhi oleh kandungan air dalam tanah (Hardiyatmo, 2020a).

Beberapa tempat memiliki batasan-batasannya sendiri dalam klasifikasi butiran tanah. Batasan-batasan ukuran golongan tanah menurut beberapa tempat dapat dilihat pada Tabel 3.1 berikut.

Tabel 3.1 Batasan-Batasan Ukuran Golongan Tanah

Nama golongan	Kerikil	Ukuran butiran (mm)		
		Pasir	Lanau	Lempung
Massachusetts Institute Of Technology (MIT)	>2	2-0,06	0,06-0,002	<0,002
U.S. Department of Agriculture (USDA)	>2	2-0,05	0,05-0,002	<0,002
American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO)	76,2-2	2-0,075	0,075-0,002	<0,002
Unified Soil Classification System (USCS)	76,2-4,75	4,75-0,075	Halus (yaitu lanau dan lempung) <0,0075	

Sumber: Das (1995)

3.2 Stabilitas Lereng

Pada permukaan tanah yang miring atau landai, komponen gravitasi cenderung menggerakkan tanah ke bawah. Jika komponen gravitasi sangat besar sehingga perlawanan terhadap geseran yang dapat dikerahkan oleh tanah pada bidang longsornya terlampaui, maka akan terjadi kelongsoran lereng (Hardiyatmo, 2018).

Terzaghi (1950) mengategorikan penyebab keruntuhan lereng menjadi efek internal dan eksternal. Efek eksternal mengacu pada faktor-faktor yang meningkatkan gaya geser tanpa mengubah kekuatan geser tanah. Misalnya aktivitas manusia yang mempertajam sudut kemiringan atau memperdalam penggalian tanah, dan erosi sungai. Efek internal, di sisi lain, mengacu pada keruntuhan lereng yang terjadi tanpa adanya perubahan kondisi eksternal, seperti gempa bumi. Contoh umum dari hal ini adalah peningkatan tekanan air pori di dalam lereng.

Berdasarkan Hardiyatmo (2018) kelongsoran lereng alam dapat terjadi dari hal-hal sebagai berikut ini.

1. Penambahan beban pada lereng. Tambahan beban lereng dapat berupa bangunan baru, tambahan beban air yang masuk ke pori-pori tanah maupun yang menggenangi di permukaan tanah dan beban dinamis oleh tumbuhan-tumbuhan yang tertiuap angin dan lain-lain.
2. Penggalian atau pemotongan tanah pada kaki lereng.
3. Penggalian yang mempertajam kemiringan lereng.
4. Perubahan posisi muka air secara cepat (*rapid drawdown*) pada bendung, sungai dan lain-lain.
5. Kenaikan tekanan tanah lateral oleh air (air yang mengisi retakan akan mendorong tanah ke arah lateral).
6. Gempa bumi.
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.

Analisis stabilitas lereng umumnya didasarkan pada konsep keseimbangan plastis batas (*limit plastic equilibrium*). Maksud analisis stabilitas lereng adalah untuk menentukan faktor aman dari bidang longsor yang potensial. Jadi, lereng stabil atau tidak stabil dinilai dari besarnya faktor aman (*safety factor*, F) (Hardiyatmo, 2018).

Ray dan De Smitd (2009) menyarankan klasifikasi kestabilan lereng yang dikaitkan dengan faktor aman, yaitu lereng tidak stabil bila $F < 1$, agak stabil bila F antara 1 dan 1,25, kestabilannya sedang bila F antara 1,25 dan 1,5 dan stabil bila $F > 1,5$. Ketentuan nilai faktor keamanan juga diatur pada SNI 8460 (2017). Nilai faktor aman sesuai SNI 8460 (2017) dapat dilihat pada tabel 3.2.

Tabel 3.2 Nilai Faktor Keamanan Untuk Lereng Tanah

Biaya dan konsekuensi dari kegagalan lereng	Tingkat ketidakpastian kondisi analisis	
	Rendah ^a	Tinggi ^b
Biaya perbaikan sebanding dengan biaya tambahan untuk merancang lereng yang lebih konservatif	1,25	1,5
Biaya perbaikan lebih besar dari biaya tambahan untuk merancang lereng yang lebih konservatif	1,5	2,0 atau lebih
^a Tingkat ketidakpastian kondisi analisis dikategorikan rendah, jika kondisi geologi dapat dipahami, kondisi tanah seragam, penyelidikan tanah konsisten, lengkap dan logis terhadap kondisi di lapangan. ^b Tingkat ketidakpastian kondisi analisis dikategorikan tinggi, jika kondisi geologi sangat kompleks, kondisi tanah bervariasi, dan penyelidikan tanah tidak konsisten dan tidak dapat diandalkan.		

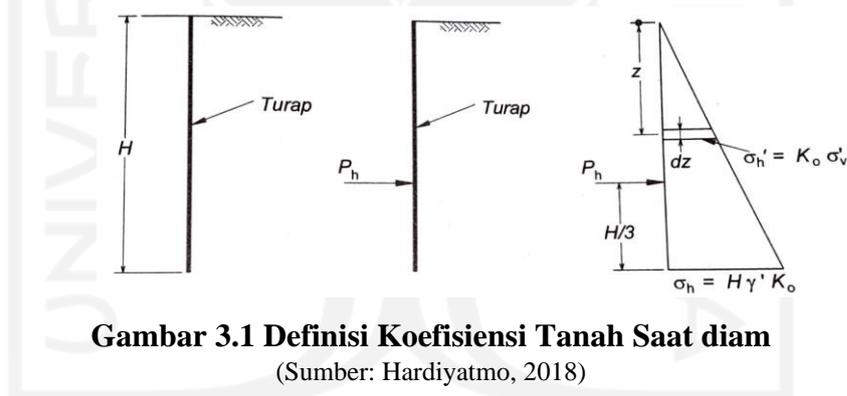
Sumber: SNI 8460 (2017)

3.3 Tekanan Tanah Lateral

Tekanan tanah lateral adalah gaya yang ditimbulkan oleh akibat dorongan tanah di belakang struktur penahan tanah. Besarnya tekanan lateral sangat dipengaruhi oleh perubahan letak (*displacement*) dari dinding penahan dan sifat-sifat tanahnya (Hardiyatmo, 2018). Tekanan tanah lateral ini nantinya akan berguna dalam perancangan struktur penahan tanah seperti turap atau *sheet pile* dalam penelitian ini. Menurut Hardiyatmo (2018), Tekanan tanah lateral dibagi menjadi tekanan tanah lateral saat diam, tekanan tanah aktif, dan tekanan tanah pasif.

3.3.1 Tekanan Tanah Lateral Saat Diam

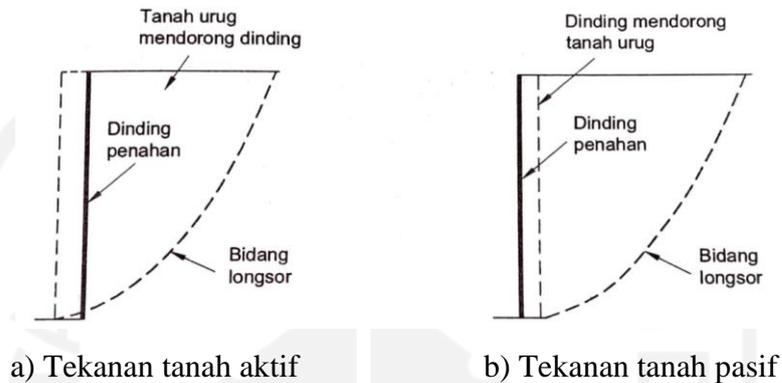
Menurut Hardiyatmo (2018) Tekanan vertikal menyebabkan deformasi lateral di bawah pengaruh rasio Poisson. Tanah di sekitarnya menahan perubahan lateral ini dengan mengembangkan tekanan lateral sebesar σ_h . Seiring waktu, konsolidasi dan rangkak (*creep*) arah vertikal dan horizontal akan menjadi nol. Pada keadaan ini, terdapat posisi tegangan yang stabil, dimana σ_h dan σ_v menjadi tegangan efektif utama. Dikarenakan tidak ada *displacement*, maka tidak ada tegangan yang terjadi di arah vertikal dan horizontal di sembarang titik pada lapisan tanah. Kondisi keseimbangan ditempat yang dihasilkan dari kedudukan tegangan-tegangan dengan tanpa terjadinya tegangan geser didefinisikan sebagai kondisi K_o . Tekanan tanah lateral pada turap dapat dilihat pada Gambar 3.1 berikut.



3.3.2 Tekanan Tanah Aktif dan Pasif

Menurut Hardiyatmo (2018) Tekanan tanah aktif (*active earth pressure*) adalah kondisi disaat tanah bergerak ke bawah dan ke samping menekan dinding struktur seperti turap. Sedangkan perbandingan antara tekanan horizontal dan tekanan vertikalnya disebut koefisien tekanan tanah aktif (*coefficient of active earth pressure*) yang dinotasikan dengan K_a . sebaliknya, apabila suatu gaya mendorong dinding penahan ke arah sebaliknya sampai tanah urug dalam kondisi runtuh, maka tekanan tanah ini disebut tekanan tanah pasif (*passive earth pressure*). Sedangkan nilai perbandingan antara tekanan vertikal dan horizontalnya disebut koefisien

tekanan tanah pasif (*coefficient of passive earth pressure*) yang dinotasikan dengan K_p . Pergerakan dinding penahan akibat dari tekanan tanah aktif dan tekanan tanah pasif dapat dilihat pada Gambar 3.2 berikut.



Gambar 3.2 Tekanan Tanah Lateral Saat Tanah Runtuh

(Sumber: Hardiyatmo, 2018)

Variasi tekanan lateral tanah, yang berhubungan dengan sifat-sifat tanah, bergantung pada faktor-faktor seperti jenis tanah (kohesif atau non-kohesif), porositas, kadar air, dan berat satuan. Tekanan tanah total juga bergantung pada ketinggian tanah di balik turap, seperti yang dikemukakan oleh Hardiyatmo (2018).

3.3.3 Teori Tekanan Tanah Lateral

Analisis tekanan tanah lateral dilakukan pada kondisi kesetimbangan plastis, yaitu saat massa tanah berada di ambang keruntuhan. Keadaan kesetimbangan plastis hanya dapat dicapai jika ada deformasi yang cukup pada massa tanah. Besar dan distribusi tekanan tanah adalah fungsi dari perubahan letak (*displacement*) dan regangan (*strain*) (Rankine, 1857). Nilai koefisien tekanan tanah aktif (K_a) dan nilai koefisien tekanan tanah pasif (K_p) dapat dicari dengan rumus rankine pada 3.1 dan 3.2 berikut.

$$K_a = \tan^2 \left(45 - \frac{\phi}{2} \right) \quad (3.1)$$

$$K_p = \tan^2 \left(45 + \frac{\phi}{2} \right) \quad (3.2)$$

Dalam menghitung tegangan horizontal atau lateral maka diperlukan perhitungan tegangan vertikal (σ_v) terlebih dahulu dengan rumus seperti pada persamaan 3.3 berikut.

$$\sigma_v = \gamma' \times h \quad (3.3)$$

Selanjutnya dapat dihitung tegangan horizontal (σ_h) yang dinyatakan pada persamaan 3.4 untuk tanah aktif dan persamaan 3.5 untuk tanah pasif.

$$\sigma_h = \sigma_v \times K_a - 2c\sqrt{K_a} \quad (3.4)$$

$$\sigma_h = \sigma_v \times K_p + 2c\sqrt{K_p} \quad (3.5)$$

3.4 Turap atau *Sheet pile*

Menurut SNI 8460-2017, turap dikategorikan sebagai *embedded walls*. *Embedded walls* adalah struktur yang menahan tanah, di mana stabilitasnya sebagian atau seluruhnya bergantung pada ketahanan tanah pasif yang terletak di bawah dasar galian. *Embedded walls* ini bisa berbentuk barisan tiang pancang/tiang bor tunggal, baik yang tidak saling bersinggungan, maupun yang saling bersinggungan, bahkan saling berpotongan.

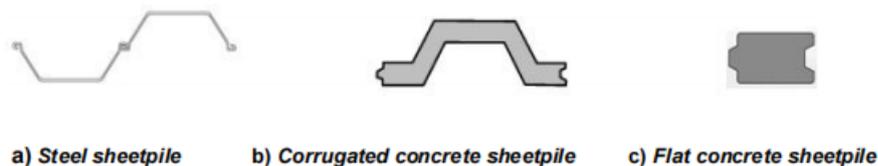
Menurut Hardiyatmo (2020b), Dinding turap adalah dinding vertikal relatif tipis yang berfungsi kecuali untuk menahan tanah, juga berfungsi untuk menahan masuknya air ke dalam lubang galian. Turap memiliki kelebihan pada pemasangan yang mudah dan biaya pelaksanaan yang relatif murah sehingga turap banyak digunakan pada pekerjaan-pekerjaan, seperti: penahan tebing galian sementara, bangunan-bangunan di pelabuhan, dinding penahan tanah, bendungan elak dan lain-lain. Berdasarkan bahannya, turap dibedakan menjadi beberapa macam, yaitu sebagai berikut.

1. Turap kayu
2. Turap beton
3. Turap baja

Dinding turap dibagi menjadi 4 tipe yaitu sebagai berikut.

1. Dinding turap kantilever
2. Dinding turap diangkur
3. Dinding turap dengan landasan/panggung (*platform*) yang didukung tiang-tiang.
4. Bendungan elak seluler (*cellular cofferdam*)

Contoh dari bentuk penampang *Sheet pile* dapat dilihat pada Gambar 3.3 sebagai berikut.



Gambar 3.3 Tipe Turap Beton dan Baja

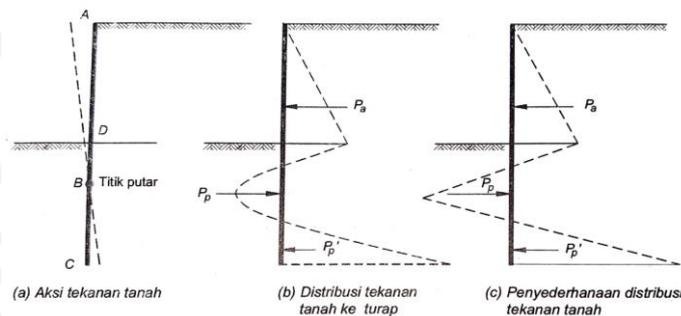
(Sumber: SNI 8460, 2017)

Berdasarkan SNI 8460-2017, Toleransi defleksi dinding sangat tergantung pada kepadatan lingkungan sekitar. Dengan demikian tidak ada suatu nilai defleksi maksimum yang berlaku secara umum. Jika lingkungan sekitar tidak mensyaratkan defleksi maksimum yang lebih ketat, defleksi maksimum $0,5\% H$ harus dianggap sebagai batas toleransi defleksi dinding.

3.4.1 Prinsip Umum Perencanaan Turap Kantilever

Perilaku dinding turap kaku sempurna akibat tekanan tanah lateral di belakangnya dijelaskan dalam Gambar 3.4 (Teng, 1962) dalam (Hardiyatmo, 2020b). Akibat tekanan tanah aktif tanah di belakang turap, turap bergerak ke kiri dan berputar pada titik B (Gambar 3.4a). Pada kondisi ini, tekanan tanah yang terjadi pada bagian bawah garis galian, yaitu di sebelah kiri BD dan di kanan BC akan berupa tekanan tanah pasif, sedangkan di kiri BC dan kanan BA, bekerja tekanan tanah aktif. Pada titik rotasi B, karena tanah tidak bergerak, maka titik ini akan mendapatkan tekanan tanah yang sama dari depan dan belakang (yaitu tekanan tanah lateral saat diam). Jadi, tekanan tanah lateral pada titik B tersebut akan sama dengan nol. Gambar 3.4b menunjukkan distribusi tekanan tanah neto (tekanan tanah

pasif dikurangi tekanan tanah pasif) pada turap, dan Gambar 3.4c adalah penyederhanaan dari Gambar 3.4b untuk maksud hitungan stabilitasnya. Distribusi tekanan tanah lateral pada dinding turap tidak sama, bergantung pada jenis tanah, yaitu tanah kohesif atau granuler (Hardiyatmo, 2020b).



Gambar 3.4 Tekanan Tanah Pada Turap Kantilever

(Sumber: Teng, 1962 dalam Hardiyatmo, 2020b)

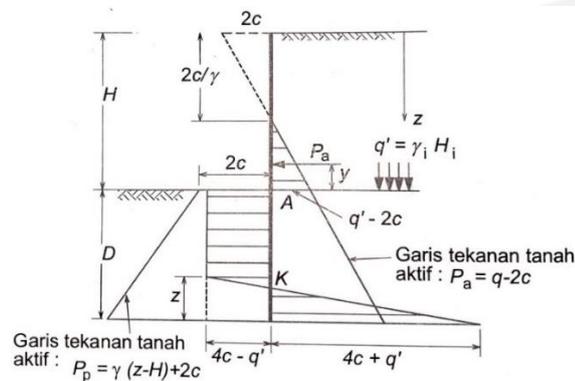
Penelitian ini diketahui tanah eksisting merupakan tanah kohesif. Menurut Hardiyatmo (2020b) kuat geser tanah kohesif selalu berubah akibat perubahan musim, sehingga tekanan tanah lateral pada turap juga berubah dari waktu ke waktu. Perubahan itu membuat perancangan turap dalam tanah kohesif lebih sulit. Dalam perancangan, dimensi dan kedalaman dinding turap harus memenuhi syarat kuat menahan tekanan lateral pada waktu segera setelah selesai pelaksanaan pekerjaan, maupun setelah waktu yang lama, di mana kuat geser lempung telah berubah. Segera setelah turap dibangun, dimana beban tanah urug beserta beban terbagi merata telah bekerja, tekanan tanah dapat dihitung berdasarkan sudut gesek dalam (φ) sama dengan nol, dan kohesi $c = 0,5qu$.

Tinjauan stabilitas jangka panjang juga harus diperhatikan akibat kuat geser tanah lempung yang berubah dengan waktunya. Analisis harus didasarkan para parameter tegangan efektif φ' dan c' yang diperoleh dari pengujian-pengujian triaksial *consolidated drained* (terkonsolidasi-terdrainase), atau dari pengujian *consolidated undrained* (terkonsolidasi-tak terdrainase), di mana dalam pengujian ini diadakan pengukuran tekanan air pori. Data yang terbatas menunjukkan, kohesi (c) pada waktu jangka panjang sangat kecil sehingga dalam perancangan stabilitas jangka panjang, sangat aman bila kohesi (c), dianggap sama dengan nol. Nilai akhir

pada waktu jangka panjang dari sudut gesek dalam tanah (ϕ) akan mendekati $20^\circ - 30^\circ$ (Teng, 1962) dalam (Hardiyatmo, 2020b). Perhitungan momen maksimum dapat dilihat pada persamaan 3.36 berikut ini.

$$M_{\text{maks}} = Pa \left[\left(\frac{pa}{4c - q'} + y \right) - \frac{1}{2} \frac{Pa}{4c - q'} \right] \quad (3.6)$$

Dalam memahami perancangan dinding turap kantilever pada tanah kohesif dapat dilihat pada Gambar 3.5 berikut ini.



Gambar 3.5 Tekanan Tanah Awal Pada Turap Kantilever Yang Dipancang Dalam Tanah Kohesif

(Sumber: Teng, 1962 dalam Hardiyantmo, 2020b)

Menurut Hardiyatmo (2020b), tahapan dalam merencanakan *sheet pile* pada tanah kohesif menggunakan metode ujung bebas adalah sebagai berikut.

1. Gambarkan diagram tekanan tanah aktif dan pasif. Contoh diagram tekanan pada turap yang dipancang pada tanah kohesif dapat dilihat pada Gambar 3.5.
2. Mencari nilai koefisien tanah aktif dan pasif menggunakan persamaan 3.1 dan Persamaan 3.2.
3. Hitung tekanan *overburden* efektif dan beban terbagi rata pada elevasi yang sama dengan dasar galian ($q' = \sum \gamma_i H_i$). Pada pasir yang terendam air, berat volume pasir yang digunakan adalah berat volume apung (γ').
4. Menghitung tekanan tanah di bawah dasar galian dengan persamaan berikut.

$$P_p - P_a = z\gamma'K_p + 2c\sqrt{K_p} - (z\gamma'K_a - 2c\sqrt{K_a} + q'K_a) \quad (3.7)$$

Apabila $\varphi = 0$, $K_a = K_p = 1$, maka dapat digunakan persamaan sebagai berikut.

$$P_p - P_a = (4c - q')D \quad (3.8)$$

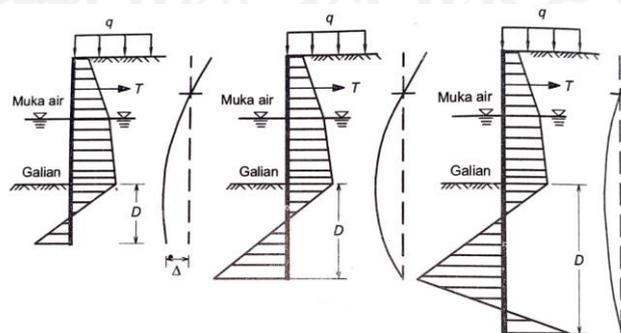
5. Hitung momen gaya-gaya P_p dan P_a menggunakan persamaan berikut untuk mendapatkan nilai D .

$$LP_a - D(4c - q')(H_w + b + \frac{1}{2D}) = 0 \quad (3.9)$$

6. Hitung momen maksimum pada turap menggunakan persamaan 3.6.
 7. Tentukan dimensi turap berdasarkan momen maksimum yang diperoleh tersebut.
 8. Kalikan kedalaman penetrasi turap (D) dengan faktor 1,2 – 1,4. Dengan mengalikan D dengan 1,2-1,4, bila dihitung ulang akan menghasilkan faktor aman 1,5-2.

3.4.2 Dinding Turap Diangkur

Dalam menangani beban-beban lateral yang besar, yaitu bila tanah yang ditahan oleh turap sangat tinggi, maka lebih baik jika dipakai dinding turap diangkur. Distribusi tekanan pada turap yang diangkur menjadi tidak sama dengan distribusi tekanan dinding turap kantilever, Gambar 3.7 memperlihatkan hubungan antara kedalaman penembusan turap distribusi tekanan lateral, dan garis perubahan bentuknya (Hardiyatmo, 2020b).



Gambar 3.6 Pengaruh Kedalaman Turap Pada Distribusi Tekanan Dan Perubahan Bentuknya

(Sumber: Teng, 1962 dalam Hardiyantmo, 2020b)

Hardiyatmo (2020b) mengemukakan bahwa tahap perencanaan konstruksi dinding turap yang diangkur dapat dilakukan menggunakan metode ujung bebas. Pada metode ujung bebas (*free end method*) atau disebut juga metode tanah bebas (*free earth method*), kedalaman turap di bawah dasar galian dianggap tidak cukup untuk menahan tekanan tanah yang terjadi pada bagian atas dinding turap. Karena itu, keruntuhan terjadi oleh akibat rotasi dinding turap terhadap ujung bawahnya. Dalam analisis stabilitas turap diangker dengan metode ujung bebas, terdapat anggapan-anggapan sebagai berikut:

1. Turap merupakan bahan yang sangat kaku dibandingkan dengan tanah di sekitarnya.
2. Kondisi tekanan tanah yang bekerja dianggap memenuhi syarat teori Rankine atau Coulomb.
3. Turap dianggap berotasi dengan bebas pada ujung bawahnya, namun tidak dibenarkan bergerak secara lateral di tempat anker. Pada kapasitas ultimitnya, turap runtuh akibat gerakan anker ke arah luar.

3.5 Angkur Tanah (*Ground Anchors*)

Menurut SNI 8460 (2017), sistem pengankuran adalah suatu sistem untuk menyalurkan gaya tarik yang bekerja ke lapisan tanah/batuan pendukung. Sistem pengankuran ini utamanya terdiri atas *fixed length*, *free length*, dan kepala anker (*anchor head*). Dalam perencanaan atau pelaksanaan anker tanah terdapat beberapa persyaratan yang bertujuan untuk keamanan dan kenyamanan. Persyaratan anker tanah antara lain adalah sebagai berikut.

1. Persyaratan tanah tempat terbenamnya *fixed length*

Menurut SNI 8460 (2017), *Fixed length* harus terbenam di dalam lapisan tanah yang keras sehingga dapat memberikan tahanan friksi yang besar. Jika terbenam pada tanah pasir/pasiran dan tanah nonkohesif lainnya, disyaratkan tanah tersebut mempunyai nilai $N_{SPT} \geq 25$, sedangkan jika terbenam pada tanah kohesif, disyaratkan tanah tersebut mempunyai nilai $N_{SPT} \geq 20$.

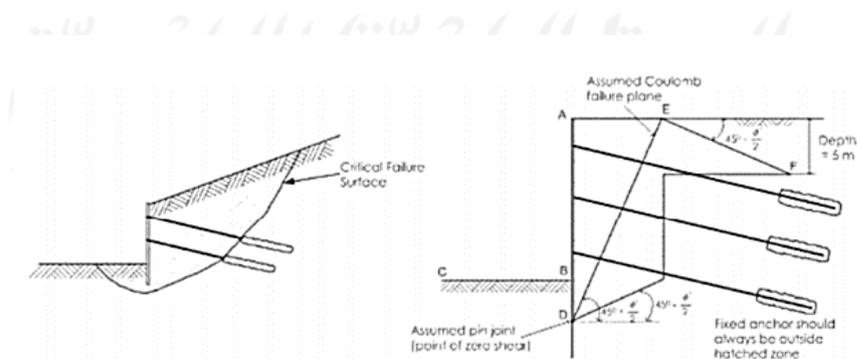
2. Persyaratan *tendon*

Menurut SNI 8460 (2017), Tendon dapat dibuat dari baja batangan (*steel bar*), kawat (*wire*), dan *strand*. Di antara ketiga jenis material tendon, *strand* paling banyak digunakan, khususnya “*low relaxation 7 wire strand*” dengan diameter 1,27 cm (0,5 inci). Material tendon harus dibuat oleh pabrikan yang sudah biasa membuat material tersebut dengan sertifikat pabrik yang mencantumkan karakteristik dari material tersebut, dan memenuhi persyaratan-persyaratan dari SNI terkait.

3. Persyaratan layout angkur tanah

Menurut SNI 8460 (2017), tata letak jangkar tanah harus ditentukan dengan mempertimbangkan stabilitas global, dampak negatif terhadap lingkungan dan struktur sekitarnya, termasuk struktur dan utilitas bawah tanah. Tata letak jangkar tanah juga harus memenuhi persyaratan berikut.

- a. *Fixed length* harus tertanam minimum 5 m dari permukaan tanah;
- b. *Fixed length* harus berada di luar bidang gelincir kritis saat meninjau stabilitas global.
- c. Spasi horizontal minimum 1,5 m untuk angkur dengan diameter $\leq 0,2$ m agar efek grup tidak perlu diperhitungkan.
- d. Agar efektif dalam menahan gaya yang bekerja, maka sudut kemiringan angkur terhadap arah bekerjanya gaya umumnya berkisar antara $30^\circ - 45^\circ$.
- e. Posisi *fixed length* harus berada di luar area berarsir pada Gambar 3.7.



Gambar 3.7 Persyaratan Posisi Fixed Length

(Sumber: SNI 8460, 2017)

4. Panjang *free length* dan *fixed length*

Menurut SNI 8460 (2017), panjang minimum *free length* adalah 3 m untuk *bar tendon* dan 4,5 m untuk *strand tendon*. Panjang *free length* aktual ditentukan dengan mempertimbangkan kedalaman minimum *fixed length* dari permukaan tanah dan stabilitas keseluruhan sistem struktur. Panjang minimum *fixed length* adalah 3 m. Panjang maksimum *fixed length* adalah 13 m. Untuk panjang > 13 m dapat digunakan, dengan syarat dapat dibuktikan dengan uji tarik (*pullout test*) dimana kapasitas dapat termobilisasi lebih panjang.

5. Penentuan kapasitas tarik ankur

Menurut SNI 8460 (2017), Kapasitas tarik ankur pada fase perancangan pada tanah kohesif dapat ditentukan dengan persamaan 3.10 sebagai berikut.

$$R_{ult} = \alpha \cdot A_s \cdot L_s \cdot S_{u(ave)} \quad (3.10)$$

Berdasarkan persamaan 3.10 dapat dilakukan perhitungan panjang *fixed length* dengan persamaan 3.11 berikut.

$$L_s = \frac{R_{ult}}{\alpha \cdot A_s \cdot S_{u(ave)}} \quad (3.11)$$

Keterangan:

R_{ult} = kapasitas batas ankur tanah

A_s = luas selimut *fixed length*

L_s = panjang *fixed length*

$S_{u(ave)}$ = kuat geser tak terdrainase tanah rata-rata sepanjang *fixed length*

α = faktor adhesi tergantung pada kuat geser tak terdrainase tanah.

Faktor α ini pada umumnya lebih besar dari faktor α pada fondasi tiang karena digunakannya pompa grouting dan bahan tambah pada grout untuk menghilangkan penyusutan.

6. Faktor keamanan minimum

Menurut SNI 8460 (2017), faktor keamanan minimum untuk *tendon*, *ground/grout interface*, *grout/tendon interface* atau *grout/encapsulation interface*, dan faktor beban minimum untuk uji-uji angkur tanah adalah seperti pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3 Rekomendasi Faktor Keamanan Minimum

Kategori Angkur Tanah	Faktor Keamanan Minimum			Faktor Beban untuk Proof test
	<i>Tendon</i>	<i>Ground/grout interface</i>	<i>Grout/tendon atau grout/encapsulation interface</i>	
Angkur sementara dengan umur layan kurang dari 6 bulan dan keruntuhan tidak mengakibatkan konsekwensi serius dan tidak membahayakan keselamatan umum. Misalnya test tiang memakai angkur tanah sebagai sistem reaksi.	1,40	2,0	2,0	1,1
Ankur sementara dengan umur layan tidak lebih dari 2 tahun, dimana walaupun konsekwensi keruntuhan cukup serius, tetapi tidak membahayakan keselamatan umum tanpa cukup peringatan. Misalnya angkur tanah pada dinding penahan tanah.	1,6	2,5*	2,5*	1,25
Angkur permanen dan angkur sementara dimana resiko korosi tinggi dan/atau konsekwensi keruntuhan serius. Misalnya kabel utama pada jembatan gantung atau kabel sebagai reaksi untuk mengangkat struktur berat.	2,00	3,0 ⁺	3,0*	1,5
* FK minimum 2.0 dapat digunakan bila tersedia test lapangan skala penuh. + FK mungkin perlu dinaikkan menjadi 4 untuk membatasi <i>creep</i>				

Sumber: SNI 8460 (2017)

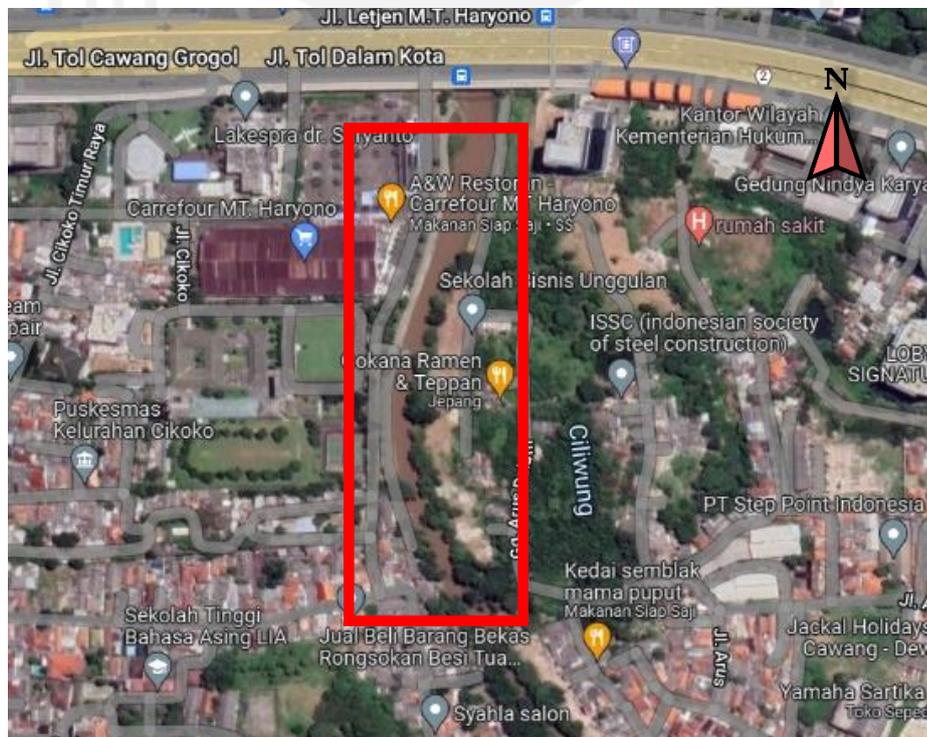
BAB IV METODE PENELITIAN

4.1 Tinjauan Umum

Pada bab metode penelitian ini akan dijelaskan tentang metode penelitian yang akan digunakan. Metode penelitian merupakan prosedur yang akan dilakukan peneliti guna mendapatkan data atau kesimpulan dalam melakukan penelitian. Pada prosesnya dimulai dengan cara pengumpulan data yang diperoleh dari hasil survei, bahan kuliah, media internet, media cetak, atau pada sumber lainnya.

4.2 Lokasi dan Objek Penelitian

Objek dalam penelitian ini adalah lereng Sungai Ciliwung ruas Cawang – Rawajati, yang berlokasi di Gang Ciliwung II Cawang - Jakarta Selatan, Provinsi DKI Jakarta. Lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 4.1 berikut.



Gambar 4.1 Lokasi Penelitian

4.3 Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan dalam analisis stabilitas lereng ini adalah dengan menggunakan program Plaxis 8.6 dan perhitungan manual metode *Fellenius*. Sedangkan untuk perencanaan perkuatan lereng digunakan metode turap atau *sheet pile* beton.

Pelaksanaan analisis dengan program Plaxis digunakan pemodelan secara dua dimensi *plane strain*. Beban kendaraan yang digunakan dalam analisis adalah sebesar 12 kN/m sesuai dengan klasifikasi jalan. Dalam analisis juga digunakan beban gempa yang disesuaikan dengan gempa di DKI Jakarta. Analisis dilakukan dengan skema jangka pendek (*short term*) dan skema jangka panjang (*long term*). Analisis jangka pendek (*short term*) yaitu kondisi saat air didalam tanah belum terdrainasi (*undrained*) sedangkan analisis jangka panjang (*long term*) dilakukan saat air tanah sudah terdrainasi (*drained*).

4.4 Data Penelitian

Data yang dibutuhkan dalam penelitian ini adalah data sekunder sebagai berikut.

1. Data penyelidikan tanah.
2. Peta titik bor log.
3. Data laboratorium pengujian tanah.
4. Gambar Potongan melintang.

Data hasil penyelidikan tanah menggunakan bor log dapat dilihat pada lampiran 1 dan data tanah hasil pengujian laboratorium dapat dilihat pada lampiran 2.

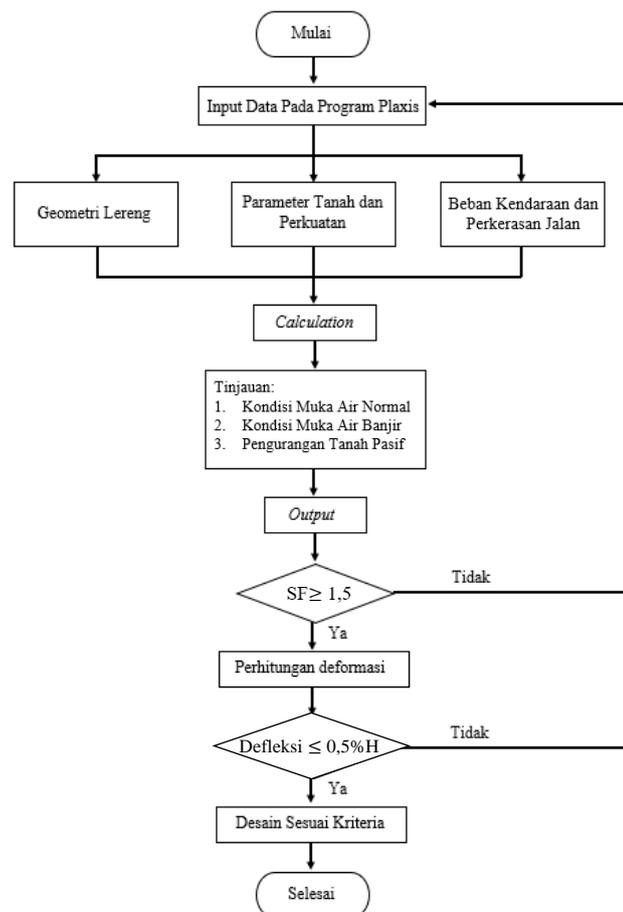
4.5 Langkah Penelitian

Langkah penelitian yang akan dilakukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

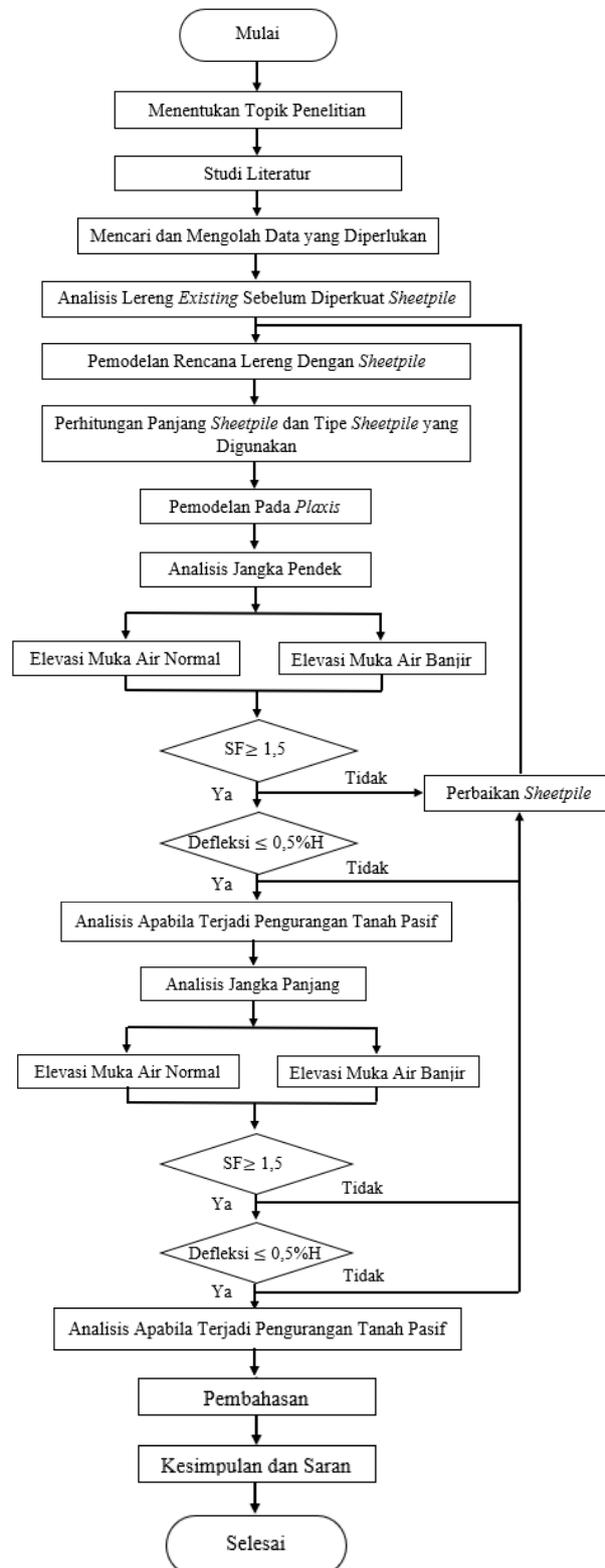
1. Mencari dan mempelajari literatur dan penelitian yang berkaitan dengan topik penelitian ini.
2. Mengumpulkan data-data dan referensi yang diperlukan dalam penelitian.
3. Merumuskan masalah yang akan dilakukan penelitian.
4. Menentukan tujuan penelitian.

5. Menentukan parameter-parameter yang berpengaruh pada perancangan *sheet pile*.
6. Melakukan perhitungan stabilitas lereng dengan perkuatan *sheet pile* menggunakan program plaxis.
7. Melakukan perhitungan stabilitas lereng dengan perkuatan *sheet pile* yang ditambah dengan beban gempa, beban lalu lintas, dan beban timbunan.
8. Pembahasan analisis stabilitas lereng dengan perkuatan *sheet pile* yang telah dilakukan.
9. Menarik kesimpulan dan saran.

Berdasarkan langkah penelitian di atas dibuat bagan alir (*flowchart*) sebagai acuan dalam penelitian. Bagan alir (*flowchart*) dalam penggunaan program Plaxis dan langkah penelitian dapat dilihat pada Gambar 4.2 dan Gambar 4.3 berikut.



Gambar 4.2 Flow Chart Analisis Dengan Program Plaxis



Gambar 4.3 Flow Chart Penelitian

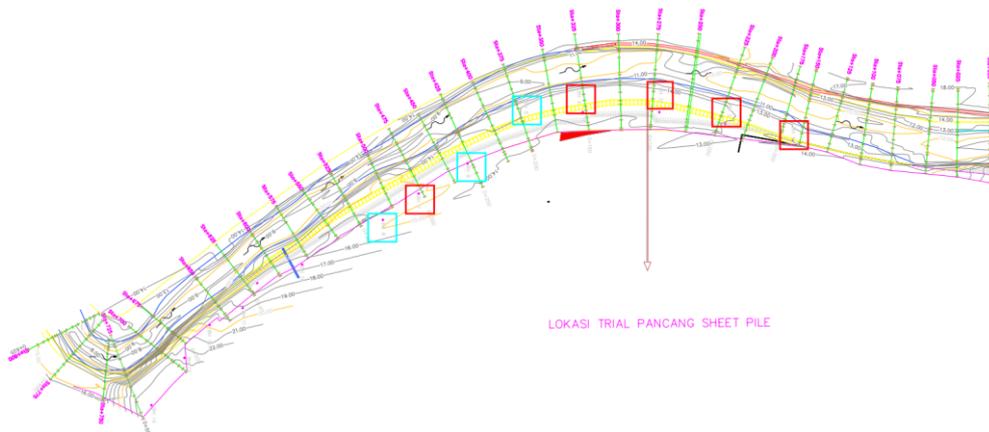
BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN

5.1 Kondisi Lapangan

Lokasi analisis Tugas Akhir ini berada di Sungai Ciliwung ruas Cawang – Rawajati, Gang Ciliwung II Cawang - Jakarta Selatan, Provinsi DKI Jakarta. Berikut merupakan kondisi eksisting lokasi perancangan *sheet pile*.

1. *Layout* lokasi pekerjaan

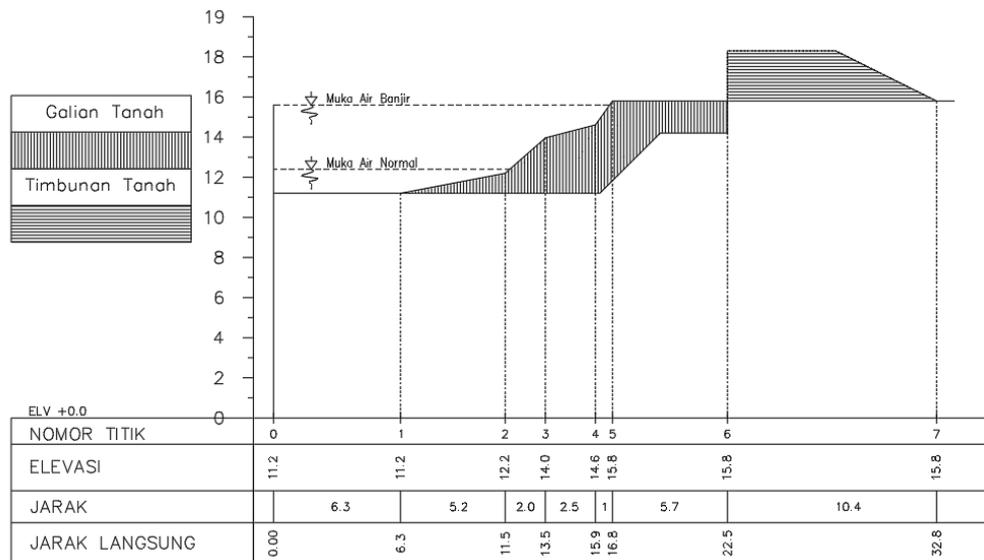
Kondisi sungai yang akan dilakukan perancangan *sheet pile* dapat dilihat pada Gambar 5.1 berikut.



Gambar 5.1 Layout Lokasi Pekerjaan

2. Potongan melintang lereng

Kondisi lereng yang akan dilakukan penelitian didapatkan berdasarkan gambar potongan melintang sungai. Potongan melintang sungai yang digunakan sebagai acuan perencanaan dapat dilihat pada Gambar 5.2.



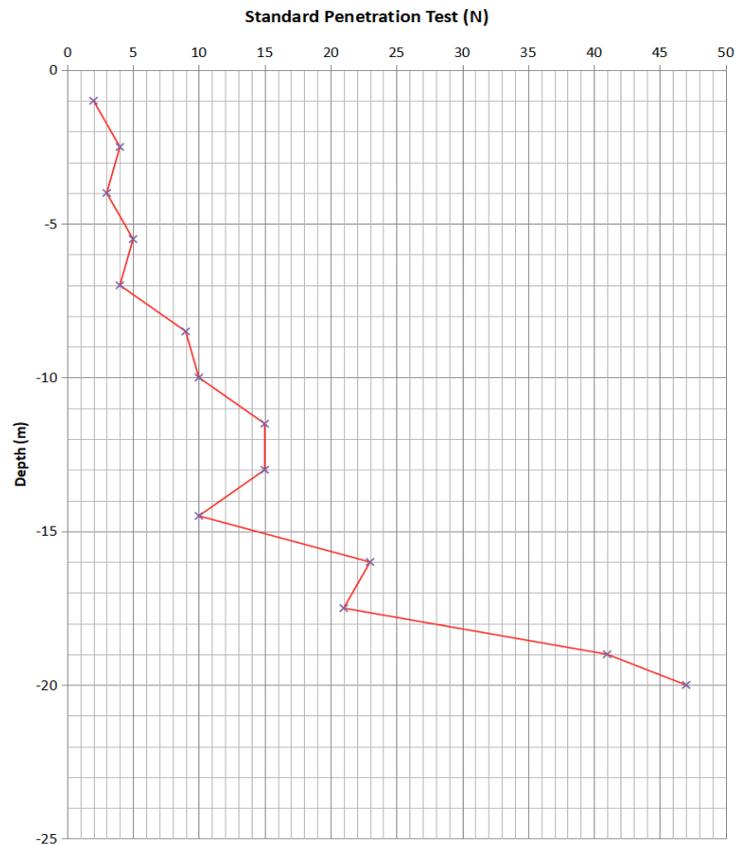
POTONGAN A-A
Skala 1: 25

Gambar 5.2 Potongan Melintang Lereng Eksisting

5.2 Data Tanah

5.2.1 Klasifikasi Tanah

Klasifikasi tanah pada penelitian ini dilakukan berdasarkan nilai *standard penetration test* (SPT). Berdasarkan dari hasil pengujian SPT, pengujian dilakukan hingga kedalaman 20 meter. Pada kedalaman 0-8 meter lapisan tanah berupa *soft clay* dengan nilai N-SPT berada pada rentang 2-5, untuk kedalaman 8-9,5 meter lapisan tanah berupa *firm clay* dengan nilai N-SPT sebesar 9, untuk kedalaman 9,5-15,5 meter lapisan tanah berupa *stiff clay* dengan nilai N-SPT berada pada rentang 10-15, untuk kedalaman 15,5-18,5 meter berupa *very stiff clay* dengan nilai N-SPT berada pada rentang 23-21, dan pada kedalaman 18,5-20 meter berupa *hard clay* dengan nilai N-SPT berada pada rentang 41-47. Grafik nilai N-SPT yang diperoleh dapat dilihat pada Gambar 5.3 berikut.



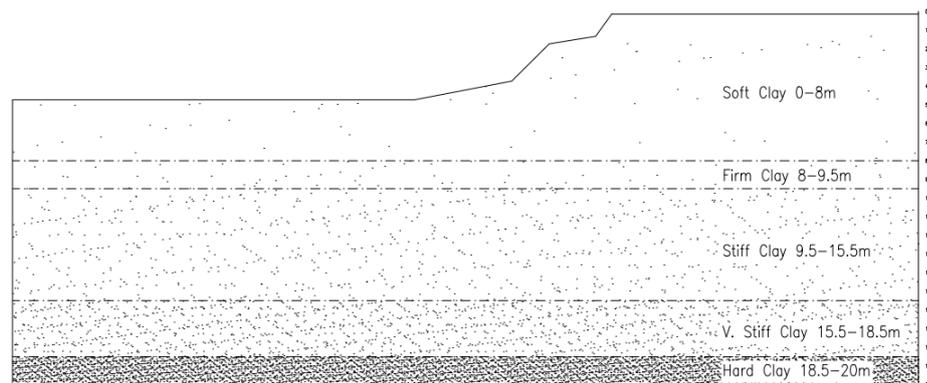
Gambar 5.3 Grafik Nilai N-SPT

Berdasarkan Gambar 5.3 diatas dapat dilakukan klasifikasi tanah berdasarkan nilai N-SPT dengan menggunakan Tabel 5.1. Hasil klasifikasi tanah berdasarkan nilai N-SPT yang akan digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 5.4 berikut.

Tabel 5.1 Klasifikasi Tanah Berdasarkan Nilai N-SPT

Material	Description	SPT – N (blows/300 mm)	Strength
Clay	V. Soft	≤2	0–12 kPa
	Soft	2–5	12–25 kPa
	Firm	5–10	25–50 kPa
	Stiff	10–20	50–100 kPa
	V. Stiff	20–40	100–200 kPa
	Hard	> 40	>200 kPa

Sumber: Look (2007)



Gambar 5.4 Klasifikasi Tanah Eksisting

5.2.2 Data Laboratorium

Setelah dilakukan pengujian lapangan dan pengambilan sampel tanah selanjutnya dilakukan pengujian laboratorium. Hasil dari uji laboratorium adalah sebagai berikut.

1. Index properties

Pengujian yang dilakukan adalah berupa *specific gravity test* mengacu ASTM D854, *moisture content test* mengacu pada ASTM D2216 dan *density test* mengacu pada ASTM D2937. Rekapitulasi hasil pengujian propertis tanah dapat dilihat pada Tabel 5.2 berikut.

Tabel 5.2 Hasil pengujian laboratorium *index properties*

No	Parameter	Kedalaman		
		2,00 – 2,50	5,00 - 5,50	12,50 – 13,00
1	<i>Specific Gravity</i>	2,66	2,66	2,68
2	<i>Natural Water Content (%)</i>	20,51	21,80	24,19
3	<i>Wet density (gr/cm³)</i>	1,63	1,64	1,69
	<i>Bulk density (gr/cm³)</i>	1,05	1,09	1,45
4	<i>Dry Density (gr/cm³)</i>	0,99	1,03	1,22
5	<i>Void ratio</i>	1,69	1,59	1,20
6	<i>Porosity</i>	0,63	0,61	0,54
7	<i>Degree of saturation (%)</i>	32,32	36,62	54,16

2. Triaxial test

Hasil pengujian laboratorium *Triaxial Test* dapat dilihat pada Tabel 5.3 berikut.

Tabel 5.3 Hasil Pengujian Triaxial

No	Parameter	Kedalaman		
		2,00 – 2,50	5,00 - 5,50	12,50 – 13,00
1	<i>Cohesion (kg/cm²)</i>	0,16	0,17	0,48
2	<i>Friction Angle (°)</i>	2,80	3,00	5,50

5.2.3 Data Konversi

Konversi nilai atau data dapat dilakukan apabila data penelitian tidak lengkap. Pada penelitian ini dilakukan konversi nilai yang merujuk pada hasil penelitian terdahulu untuk melengkapi data yang tidak lengkap. Berikut merupakan hasil konversi nilai yang dapat dijadikan acuan.

1. Berat volume tanah

Berdasarkan nilai N SPT dan klasifikasi jenis tanah pada Gambar 5.4, didapatkan nilai konversi terhadap berat volume tanah menggunakan Tabel 5.4. Hasil konversi berat volume tanah dapat dilihat pada Tabel 5.5.

Tabel 5.4 Rentang Nilai Berat Volume Tanah

Type	Soil description	Unit weight range (kN/m ³)	
		Dry	Saturated
Cohesionless	Soft sedimentary (chalk, shale, siltstone, coal)	12	18
Compacted	Hard sedimentary	14	19
Broken rock	(Conglomerate, sandstone)	18	20
	Metamorphic	17	21
Cohesionless	Igneous	14	17
	Very loose	15	18
Sands and gravels	Loose	17	20
	Medium dense	19	21
	Dense	21	22
	Very dense		
Cohesionless	Loose	14	17
	Uniformly graded	16	19
Sands	Well graded	18	20
	Dense	19	21
	Uniformly graded	18	20
	Well graded	19	21
Cohesive	Soft – organic	8	14
	Soft – non organic	12	16
	Stiff	16	18
	Hard	18	20

Sumber: Look (2007)

Tabel 5.5 Rekapitulasi Nilai Berat Volume Tanah

No	Jenis Tanah	Kedalaman (m)	γ_{unsat} (kN/m ³)			γ_{sat} (kN/m ³)		
			Konversi	Uji Lab	Dipakai	Konversi	Uji Lab	Dipakai
1	<i>Soft Clay</i>	0 - 8	12	10,3	10,3	16	15,99	15,99
2	<i>Firm Clay</i>	8 - 9,5	12-16	-	13	16-18	-	16,3
3	<i>Stiff Clay</i>	9,5 – 15,5	16	14,22	14,22	18	16,57	16,57
4	<i>Very Stiff Clay</i>	15,5 – 18,5	16-18	-	17	18-20	-	19
5	<i>Hard Clay</i>	18,5 - 20	18	-	18	20	-	20

2. Kuat geser tanah

Berdasarkan Look (2007), nilai SPT dapat dikonversikan menjadi nilai *cohesion undrained* (C_u), dengan nilai konversi $C_u = 5$ SPT. Nilai *cohesion undrained* (C_u) digunakan untuk analisis jangka pendek (*short term*). Menurut Das (2017), analisis jangka pendek pada jenis tanah *clay saturated* parameter sudut geser dianggap 0 ($\varphi = 0$). Korelasi antara nilai SPT dengan kekuatan tanah jenis *clay* dapat dilihat pada Tabel 5.6. Hasil dari konversi kuat geser tanah untuk jangka pendek dapat dilihat pada Tabel 5.8. Dalam perencanaan jangka panjang (*long term*) digunakan nilai C efektif dan parameter sudut geser dianggap tidak 0 ($\varphi > 0$). Acuan dalam konversi nilai C efektif dapat dilihat pada Tabel 5.7. Hasil dari konversi kuat geser tanah untuk jangka panjang dapat dilihat pada Tabel 5.9 berikut.

Tabel 5.6 Hubungan Antara Kekuatan Tanah Dengan Nilai SPT

Material	Description	SPT – N (blows/300 mm)	Strength
Clay	V. Soft	≤ 2	0–12 kPa
	Soft	2–5	12–25 kPa
	Firm	5–10	25–50 kPa
	Stiff	10–20	50–100 kPa
	V. Stiff	20–40	100–200 kPa
	Hard	> 40	> 200 kPa

Sumber: Look (2007)

Tabel 5.7 Hubungan Jenis Tanah Dengan Kuat Geser Tanah

Type	Soil description/state	Effective cohesion (kPa)	Friction angle (degrees)
Cohesive	Soft – organic	5–10	10–20
	Soft – non organic	10–20	15–25
	Stiff	20–50	20–30
	Hard	50–100	25–30

Sumber: Look (2007)

Tabel 5.8 Rekapitulasi Kuat Geser Tanah Jangka Pendek

No	Jenis Tanah	Kedalaman (m)	Rata – rata N-SPT	$C_{undrained}$ (kN/m ²)			ϕ (°)
				Konversi	Uji Lab	Dipakai	
1	<i>Soft Clay</i>	0 - 8	4	20	11,77	11,77	2,8
2	<i>Firm Clay</i>	8 - 9,5	9	45	-	45	0
3	<i>Stiff Clay</i>	9,5 – 15,5	13	63	47,072	47,072	5,5
4	<i>Very Stiff Clay</i>	15,5 – 18,5	22	110	-	110	0
5	<i>Hard Clay</i>	18,5 - 20	44	220	-	220	0

Tabel 5.9 Rekapitulasi Kuat Geser Tanah Jangka Panjang

No	Jenis Tanah	Kedalaman (m)	$C_{efektif}$ (kN/m ²)		ϕ (°)	
			Konversi	Dipakai	Konversi	Dipakai
1	<i>Soft Clay</i>	0 - 8	10-20	10	15-25	15
2	<i>Firm Clay</i>	8 - 9,5	20	20	20-25	20
3	<i>Stiff Clay</i>	9,5 – 15,5	20-50	30	20-30	22
4	<i>Very Stiff Clay</i>	15,5 – 18,5	50	50	25-30	25
5	<i>Hard Clay</i>	18,5 - 20	50-100	60	25-30	30

3. Permeabilitas tanah

Data permeabilitas tanah dapat diperoleh berdasarkan uji laboratorium dengan menggunakan uji permeabilitas seperti uji *constant head*, *falling head*, atau pengujian lapangan. Selain berdasarkan pengujian, data permeabilitas tanah dapat diperoleh dengan cara konversi melalui Tabel

korelasi. Dikarenakan tidak adanya data pengujian permeabilitas, maka digunakan konversi menggunakan Tabel 5.10. Adapun rekapitulasi nilai permeabilitas tanah yang akan digunakan dapat dilihat pada Tabel 5.11.

Tabel 5.10 Permeabilitas Berdasarkan Klasifikasi Tanah

Soil type	Description	USC symbol	Permeability, m/s
Gravels	Well graded	GW	10^{-3} to 10^{-1}
	Poorly graded	GP	10^{-2} to 10
	Silty	GM	10^{-7} to 10^{-5}
	Clayey	GC	10^{-8} to 10^{-6}
Sands	Well graded	SW	10^{-5} to 10^{-3}
	Poorly graded	SP	10^{-4} to 10^{-2}
	Silty	SM	10^{-7} to 10^{-5}
	Clayey	SC	10^{-8} to 10^{-6}
Inorganic silts	Low plasticity	ML	10^{-9} to 10^{-7}
	High plasticity	MH	10^{-9} to 10^{-7}
Inorganic clays	Low plasticity	CL	10^{-9} to 10^{-7}
	High plasticity	CH	10^{-10} to 10^{-8}
Organic	with silts/clays of low plasticity	OL	10^{-8} to 10^{-6}
	with silts/clays of high plasticity	OH	10^{-7} to 10^{-5}
Peat	Highly organic soils	Pt	10^{-6} to 10^{-4}

Sumber: Look (2007)

Tabel 5.11 Rekapitulasi Nilai Permeabilitas

No	Jenis Tanah	Kedalaman (m)	K (m/day)	
			Konversi	Dipakai
1	<i>Soft Clay</i>	0 - 8	0,0004	0,0004
2	<i>Firm Clay</i>	8 - 9,5	0,0005	0,0005
3	<i>Stiff Clay</i>	9,5 – 15,5	0,009	0,009
4	<i>Very Stiff Clay</i>	15,5 – 18,5	0,009	0,009
5	<i>Hard Clay</i>	18,5 - 20	0,02	0,02

4. Modulus elastisitas

Nilai modulus elastisitas pada perancangan ini didapatkan berdasarkan Tabel korelasi pada Tabel 5.12. hasil rekapitulasi modulus elastisitas dapat dilihat pada Tabel 5.13.

Tabel 5.12 Parameter Elastisitas Berbagai Jenis Tanah

Type	Strength of soil	Elastic modulus, E (MPa)	
		Short term	Long term
Gravel	Loose	25-50	
	Medium	50-100	
	Dense	100-200	
Medium to coarse sand	Very loose	<5	
	Loose	3-10	
	Medium dense	8-30	
	Dense	25-50	
Fine sand	Very dense	40-100	
	Loose	5-10	
	Medium	10-25	
Silt	Dense	25-50	
	Soft	<10	<8
	Stiff	10-20	8-15
Clay	Hard	>20	>15
	Very soft	<3	<2
	Soft	2-7	1-5
	Firm	5-12	4-8
	Stiff	10-25	7-20
	Very stiff	20-50	15-35
	Hard	40-80	30-60

Sumber: Look (2007)

Tabel 5.13 Rekapitulasi Nilai Modulus Elastisitas Tanah

No	Jenis Tanah	Kedalaman (m)	E (kN/m ²)	
			Konversi	Dipakai
1	<i>Soft Clay</i>	0 - 8	1000-5000	3000
2	<i>Firm Clay</i>	8 - 9,5	4000-8000	6000
3	<i>Stiff Clay</i>	9,5 - 15,5	7000-20000	14000
4	<i>Very Stiff Clay</i>	15,5 - 18,5	15000-35000	25000
5	<i>Hard Clay</i>	18,5 - 20	30000-60000	45000

5.2.4 Data Tanah Timbunan

Dalam perancangan *sheet pile* ini digunakan tanah timbunan yang berasal dari luar. Hal ini dikarenakan tanah sekitar berupa tanah lunak yang tidak cocok digunakan untuk timbunan jalan. Adapun parameter tanah yang digunakan sebagai timbunan dapat dilihat pada Tabel 5.14 berikut.

Tabel 5.14 Parameter Tanah Timbunan

No	Parameter	Nilai	Satuan
1	<i>Type Model</i>	MC	
2	γ_{unsat}	16,00	kN/m ³
3	γ_{sat}	19,00	kN/m ³

Lanjutan Tabel 5.14 Parameter Tanah Timbunan

No	Parameter	Nilai	Satuan
4	k	6,05E-04	m/hari
5	E _{ref}	45000	kN/m ²
6	μ	0,33	
7	c	80,00	kN/m ²
8	φ	35,00	°

5.2.5 Rekapitulasi parameter tanah

Berdasarkan pembahasan diatas didapatkan rekapitulasi parameter tanah yang dapat digunakan dalam analisis. Rekapitulasi parameter tanah dapat dilihat pada tabel 5.15.

Tabel 5.15 Rekapitulasi Parameter Tanah

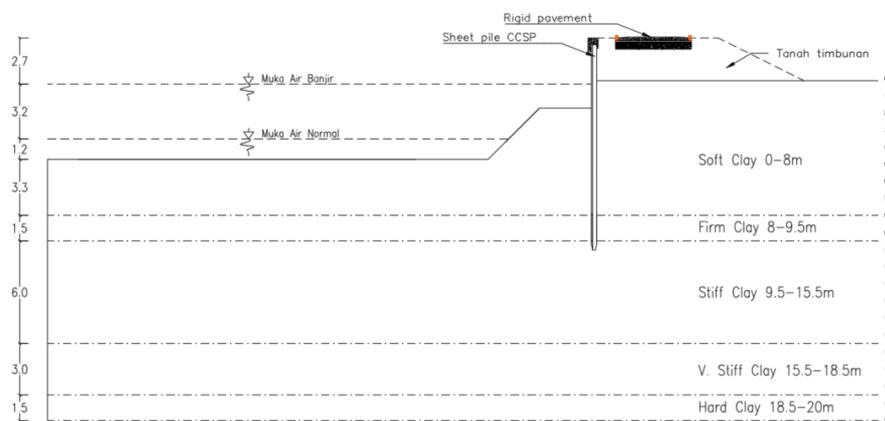
Jenis Tanah	γ _{unsat} (kN/m ³)	γ _{sat} (kN/m ³)	Jangka Pendek		Jangka Panjang		k (m/hari)	E (kN/m ²)
			C _{undrained} (kN/m ²)	φ (°)	C _{efektif} (kN/m ²)	φ (°)		
Timbunan	16,00	19,00			80,00	35,00	0,0006	45000
<i>Soft clay</i>	10,3	15,99	11,77	2,8	10	15	0,0004	3000
<i>Firm clay</i>	13	16,3	45	0	20	20	0,0005	6000
<i>Stiff clay</i>	14,22	16,57	47,072	5,5	30	22	0,009	14000
<i>Verry stiff clay</i>	17	19	110	0	50	25	0,009	25000
<i>Hard clay</i>	18	20	220	0	60	30	0,02	45000

5.3 Data Rencana Turap

Dalam perancangan *sheet pile* diperlukan berbagai data pendukung seperti potongan melintang *sheet pile* rencana, data gempa, dan data beban yang bekerja. Berikut merupakan data rencana turap yang dibutuhkan dalam perancangan *sheet pile*

1. Potongan melintang *sheet pile* rencana

Kondisi tanah asli yang lunak mengharuskan adanya perkuatan lereng apabila akan dilakukan penimbunan tanah dan pembuatan jalan inspeksi di atasnya. Hal ini bertujuan untuk memperkuat lereng dan menghindari terjadinya kelongsoran. Selain itu, pemasangan turap juga bertujuan sebagai tanggul sungai dan perlindungan tebing sungai dari gerusan air. Potongan melintang rencana turap yang akan digunakan dapat dilihat pada Gambar 5.5 berikut.



Gambar 5.5 Potongan Melintang Turap Rencana

2. Beban gempa

Perhitungan beban gempa yang digunakan pada analisis ini menggunakan data gempa wilayah DKI Jakarta. Adapun perhitungan beban gempa yang digunakan adalah sebagai berikut.

a. Klasifikasi tanah

Berdasarkan SNI 1726 tahun 2019, klasifikasi jenis tanah dilakukan dengan cara menghitung nilai perbandingan antara tebal lapisan tanah dengan nilai N-SPT yang selanjutnya dilakukan perhitungan N equivalen. Rekapitulasi perhitungan perbandingan antara tebal lapisan tanah dengan nilai N-SPT dapat dilihat pada Tabel 5.16 berikut.

Tabel 5.16 Hasil Perbandingan Tebal Lapisan dan N-SPT

Kedalaman (m)	N SPT	Tebal Lapisan, d (m)	d/N
-1,0	2	1	0,50
-2,5	4	1,5	0,38
-4,0	3	1,5	0,50
-5,5	5	1,5	0,30
-7,0	4	1,5	0,38
-8,5	9	1,5	0,17
-10,0	10	1,5	0,15
-11,5	15	1,5	0,10
-13,0	15	1,5	0,10
-14,5	10	1,5	0,15
-16,0	23	1,5	0,07
-17,5	21	1,5	0,07
-19,0	41	1,5	0,04
-20,0	47	1	0,02
Jumlah :		20	2,91

Berdasarkan Tabel 5.16 diatas dapat dihitung nilai N equivalen sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{N equivalen} &= \frac{\sum d}{\sum (d/N)} \\
 &= \frac{20}{2,91} \\
 &= 6,87
 \end{aligned}$$

Hasil nilai N equivalen yang didapatkan sebesar 6,87. Menurut SNI 1726 tahun 2019 Nilai tersebut menunjukkan bahwa tanah tersebut tergolong tanah lunak (SE). Tabel klasifikasi tanah berdasarkan SNI 1726 tahun 2019 dapat dilihat pada Tabel 5.17 berikut.

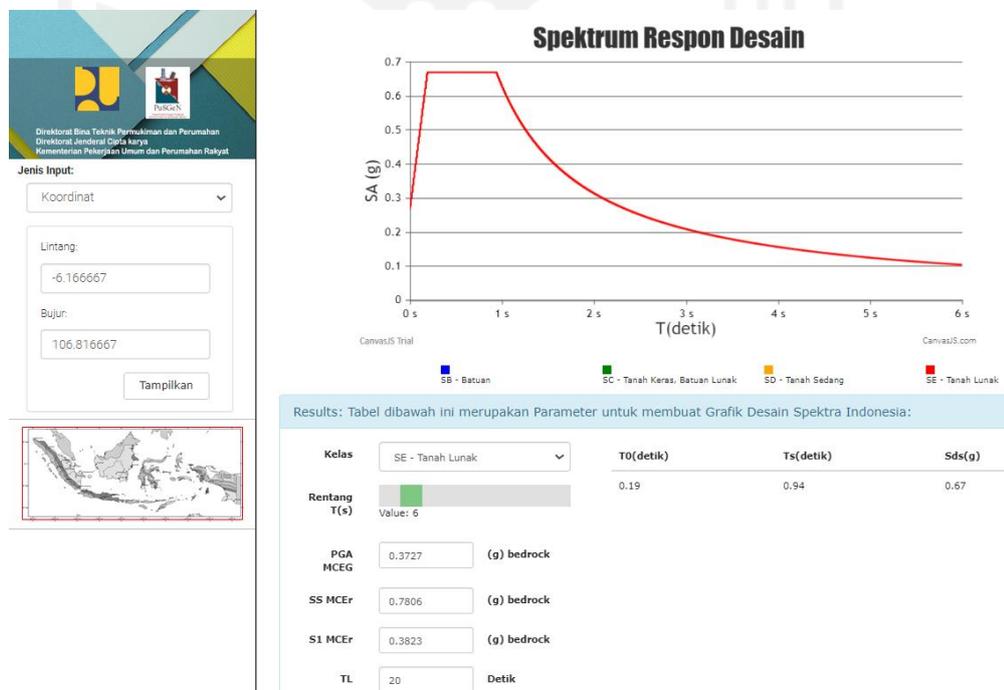
Tabel 5.17 Klasifikasi Situs

Kelas situs	\bar{v}_s (m/detik)	\bar{N} atau \bar{N}_{ch}	\bar{s}_u (kPa)
SA (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	>50	≥ 100
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
SE (tanah lunak)	< 175	<15	< 50
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut : 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$, 2. Kadar air, $w \geq 40\%$, 3. Kuat geser niralir, $\bar{s}_u < 25$ kPa		
SF (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs yang mengikuti 0)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut: - Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah - Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan $H > 3$ m)		

Sumber: SNI 1726 (2012)

b. Perhitungan beban gempa

Berikut merupakan perhitungan beban gempa wilayah DKI Jakarta yang didapatkan dari Aplikasi Spektrum Respons Desain Indonesia oleh Ditjen Cipta Karya, Kementerian PUPR Requirement tahun 2021.



Gambar 5.6 Desain Spektra Tanah Lunak DKI Jakarta
(Sumber: Aplikasi Spektrum Respons Desain Indonesia, 2021)

Tabel 5.18 Koefisien Situs F_{PGA}

Kelas Situs	PGA ≤ 0,1	PGA = 0,2	PGA = 0,3	PGA = 0,4	PGA ≥ 0,5
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
SE	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9

Sumber: SNI 1726 (2012)

Berdasarkan Gambar 5.6 dan Tabel 5.18 diatas didapatkan data gempa sebagai berikut

$$\begin{aligned}
 \text{PGA (SE)} &= 0,373 \\
 F_{\text{PGA}} &= 1,005 \\
 \text{PSA} &= \text{PGA (SE)} \times F_{\text{PGA}} \\
 &= 0,373 \times 1,005 \\
 &= 0,375 \\
 \text{Kh} &= 0,5 \times \text{PSA} \\
 &= 0,5 \times 0,375 \\
 &= 0,187
 \end{aligned}$$

3. Beban struktur perkerasan dan lalu lintas

Perhitungan beban struktur perkerasan jalan dan beban lalu lintas dapat dilihat pada Tabel 5.19 dan Tabel 5.20 berikut.

Tabel 5.19 Beban Struktur Perkerasan Jalan

No	Material	Tebal (m)	Berat jenis (kn/m ³)	Berat total (kn/m ²)
1	<i>Rigid pavement</i>	0,2	24	4,8
2	Lantai kerja	0,1	24	2,4
3	Sirtu	0,4	20	8
Total				15,2

Tabel 5.20 Beban Lalu Lintas

Kelas Jalan	Beban lalu lintas (kPa)	Beban di luar jalan (kPa)
I	15	10
II	12	10
III	12	10

Sumber: SNI 8460 (2017)

Berdasarkan Tabel 5.19 diatas didapatkan nilai total dari berat struktur perkerasan jalan adalah sebesar 15,2 kn/m². Jalan yang digunakan pada analisis ini merupakan jalan arteri yang tergolong dalam jalan kelas III sehingga berdasarkan Tabel 5.20 beban lalu lintas yang digunakan sebesar 12 kPa. Total beban kendaraan dan struktur perkerasan yang digunakan sebagai beban vertikal adalah sebagai berikut.

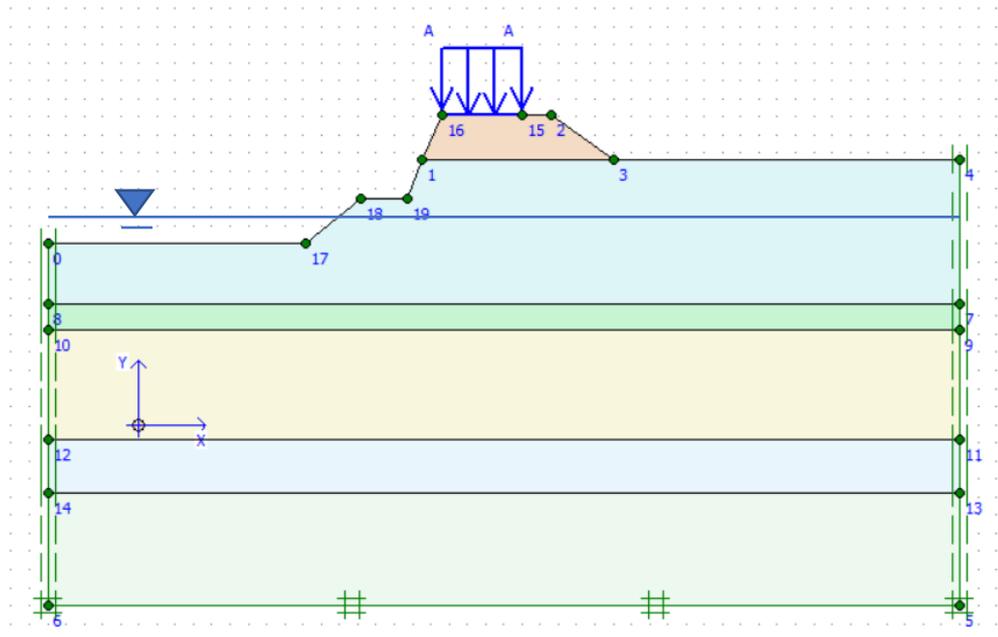
$$\begin{aligned}
 \text{Beban total} &= \text{Beban struktur perkerasan} + \text{beban lalu lintas} \\
 &= 15,2 + 12 \\
 &= 27,2 \text{ kn/m}^2
 \end{aligned}$$

5.4 Analisis Lereng Tanpa Perkuatan *Sheet Pile*

Analisis lereng tanpa perkuatan *sheet pile* dilakukan untuk mengetahui angka aman dan deformasi dari lereng asli apabila diberikan beban tanah timbunan, beban perkerasan jalan, dan beban lalu lintas tanpa diperkuat dengan *Sheet pile*. Analisis angka aman dilakukan menggunakan program plaxis dan perhitungan manual menggunakan metode *Fellenius*. Hal tersebut bertujuan untuk membandingkan antara hasil perhitungan menggunakan program plaxis dengan perhitungan manual.

5.4.1 Analisis Lereng Tanpa Perkuatan *Sheet Pile* Menggunakan Program Plaxis

Analisis lereng tanpa perkuatan *sheet pile* menggunakan program plaxis dapat digunakan untuk mengetahui angka aman dan deformasi pada lereng. Analisis lereng tanpa perkuatan *sheet pile* dilakukan dengan skema air sungai berada pada ketinggian 1,2 meter dari dasar sungai. Pemodelan lereng tanpa perkuatan *sheet pile* pada Plaxis dapat dilihat pada Gambar 5.7 berikut.

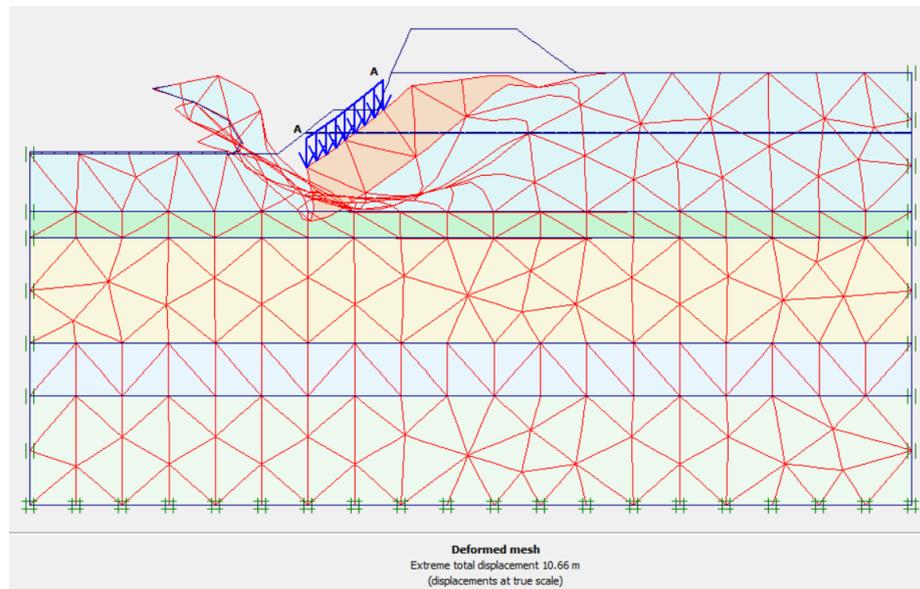


Gambar 5.7 Pemodelan Lereng Tanpa Perkuatan *Sheet Pile*

Analisis dilakukan menggunakan program Plaxis secara dua dimensi untuk mengetahui angka keamanan lereng dan deformasi lereng. Diasumsikan masa konstruksi untuk lebar 1 meter selama 34 hari yaitu, 4 hari untuk pekerjaan timbunan, dan 30 hari untuk pekerjaan perkerasan jalan. Adapun hasil dari analisis lereng tanpa perkuatan *sheet pile* pada kondisi elevasi air normal adalah sebagai berikut.

1. *Deformed Mesh*

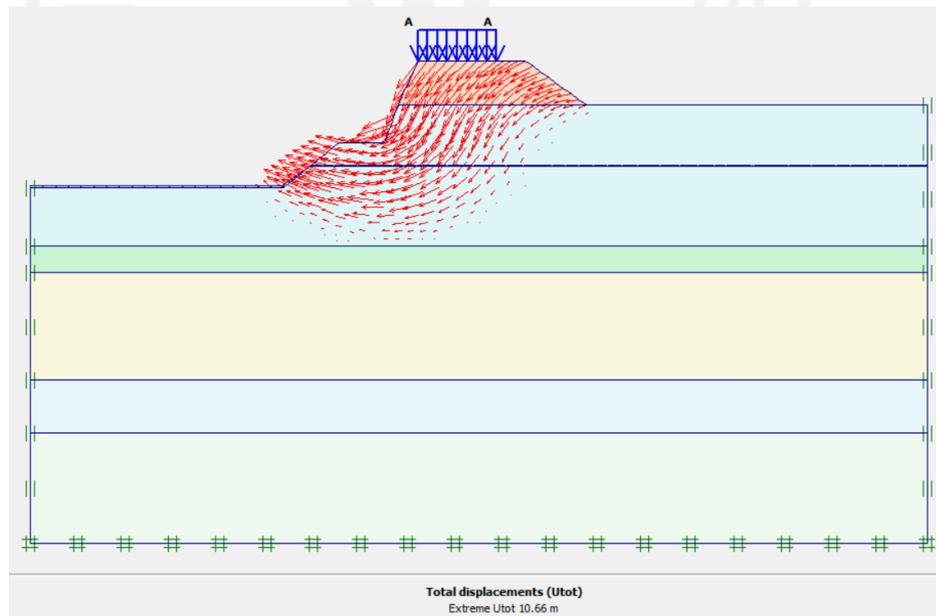
Analisis dilakukan dengan pembagian jaring-jaring elemen (*meshing*) jenis *fine*. Hasil dari *deformed mesh* terjadi setelah dilakukan pembebanan oleh beban lalu lintas dan beban perkerasan jalan. Hasil deformasi lereng ditampilkan dalam bentuk faktor skala 1:1 atau skala asli. Adapun hasil dari *deformed mesh* dapat dilihat pada Gambar 5.8 berikut.



Gambar 5.8 Deformed Mesh Pada Lereng Tanpa Perkuatan *Sheet Pile*

2. *Arah displacement*

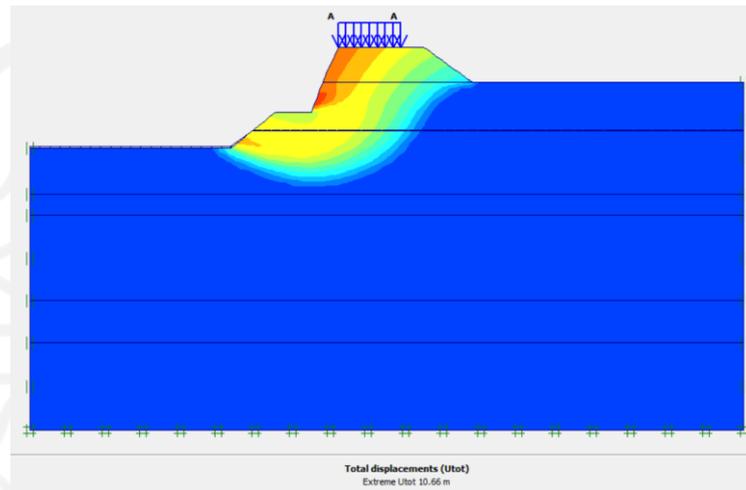
Berdasarkan analisis plaxis dapat dilihat arah pergerakan *displacement* lereng tanpa perkuatan *sheet pile*. Gambar arah *displacement* pada lereng tanpa perkuatan *sheet pile* dapat dilihat pada Gambar 5.9.



Gambar 5.9 Arah *Displacement* Lereng Tanpa Diperkuat *Sheet Pile*

3. Area displacement

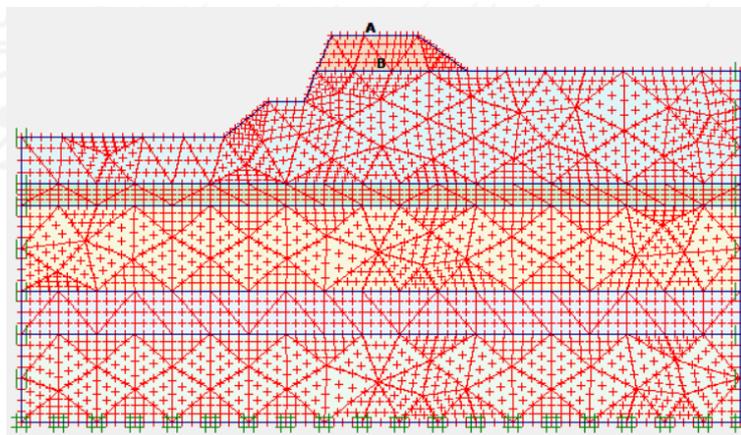
Berdasarkan analisis didapatkan nilai total *displacement* sebesar 10,66 m. Gambar area *displacement* lereng tanpa perkuatan *sheet pile* pada kondisi muka air normal dapat dilihat pada Gambar 5.10.



Gambar 5.10 Area Displacement Lereng Tanpa Perkuatan Sheet Pile

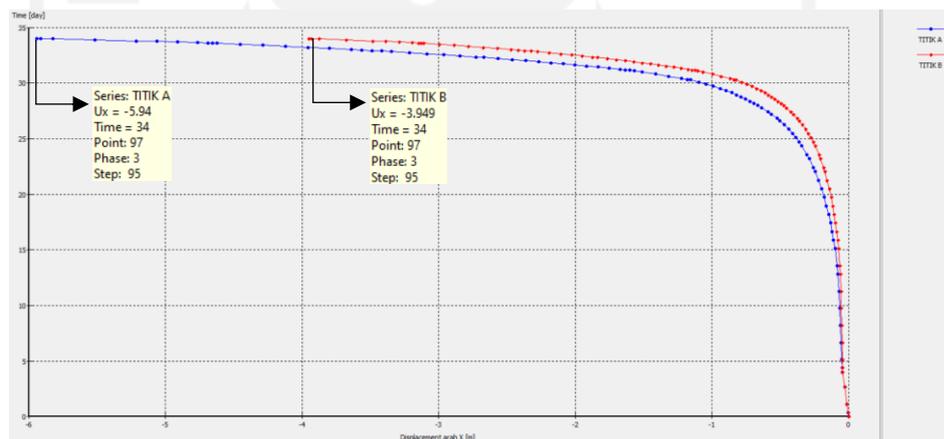
4. Grafik displacement

Displacement ditinjau di beberapa titik pada timbunan yang dianggap sebagai daerah rawan atau perlu dilakukan tinjauan yaitu pada tengah permukaan atas timbunan, dan tengah dasar timbunan atau permukaan tanah asli. Titik-titik tersebut diberikan kodefikasi A dan B seperti pada Gambar 5.11 berikut.

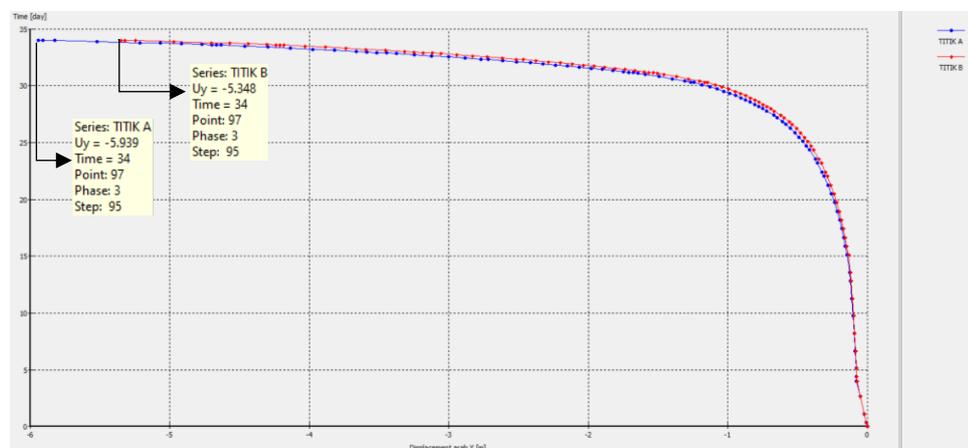


Gambar 5.11 Titik Tinjauan Lereng Tanpa Perkuatan Sheet Pile

Setelah dilakukan penentuan titik tinjauan maka dapat dilakukan perhitungan *displacement* menggunakan program Plaxis. *displacement* ditinjau berdasarkan waktu hari ke-0 hingga hari ke-34 terhadap arah sumbu X dan Y. Berdasarkan analisis Plaxis didapatkan *displacement* akhir arah X pada titik A sebesar 5,94 m dan titik B sebesar 3,949 m. *Displacement* akhir arah Y pada titik A sebesar 5,939 m dan titik B sebesar 5,348 m. Berdasarkan hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa terjadi perpindahan tanah pada lereng yang cukup besar sehingga diperlukan perkuatan lereng untuk memenuhi fungsi keamanan dan kenyamanan. Salah satu alternatif perkuatan lereng yang dapat dilakukan adalah dengan menggunakan *sheet pile*. Grafik *displacement* pada lereng dapat dilihat pada Gambar 5.12 dan Gambar 5.13 berikut.



Gambar 5.12 Displacement Lereng Tanpa Perkuatan Sheet Pile Arah X



Gambar 5.13 Displacement Lereng Tanpa Perkuatan Sheet Pile Arah Y

Berdasarkan grafik *displacement* pada Gambar 5.12 dan Gambar 5.13 dapat dilakukan rekapitulasi *displacement* pada lereng tanpa perkuatan *sheet pile*. Rekapitulasi *displacement* pada lereng tanpa perkuatan *sheet pile* dapat dilihat pada tabel 5.20.

Tabel 5.21 Rekapitulasi Displacement Lereng Tanpa Perkuatan *Sheet Pile*

Titik	Displacement	
	Arah X	Arah Y
A	5,94 m	5,94 m
B	3,95 m	5,35 m

5. Angka Keamanan

Nilai angka keamanan yang didapatkan dari hasil analisis menggunakan program plaxis sebesar 1 dapat dilihat pada Gambar 5.14. Nilai tersebut merupakan faktor aman yang terjadi setelah dilakukan pembebanan berupa timbunan, beban lalu lintas, dan beban perkerasan jalan. Berdasarkan SNI 8460 (2017) lereng tersebut dinyatakan tidak aman dikarenakan nilai SF 1 lebih rendah dari persyaratan yaitu 1,5.

Incremental multipliers		Total multipliers	
Mdisp:	0.0000	Σ -Mdisp:	1.0000
MloadA:	0.0000	Σ -MloadA:	1.0000
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:	1.0007

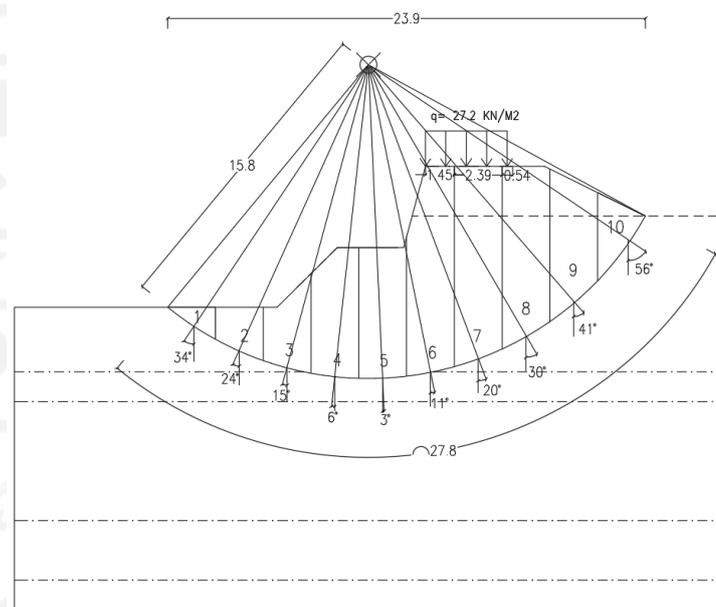
Gambar 5.14 Angka Keamanan Lereng Tanpa Perkuatan *Sheet Pile*

Berdasarkan hasil angka keamanan yang didapatkan dari plaxis diketahui bahwa lereng tanpa perkuatan *sheet pile* berada pada kondisi kritis dan berbahaya untuk menahan beban tanah timbunan, beban perkerasan jalan,

dan beban lalu lintas. Oleh karena itu, diperlukan perkuatan lereng agar dapat terhindar dari kelongsoran.

5.4.2 Perhitungan Manual Lereng Tanpa Perkuatan *Sheetpile* Menggunakan Metode *Fellenius*

Perhitungan manual lereng tanpa perkuatan *sheet pile* menggunakan metode *Fellenius* bertujuan sebagai perbandingan antara perhitungan menggunakan program komputer dengan perhitungan manual. Berdasarkan metode *Fellenius* diharuskan untuk melakukan perhitungan *trial and error* terhadap beberapa alternatif bidang longsor untuk mendapatkan nilai angka aman terkecil. Penentuan bidang longsor pada perhitungan manual ini menggunakan acuan bidang longsor pada hasil analisis menggunakan program Plaxis. Bidang longsor yang digunakan dalam perhitungan manual dengan nilai angka aman terkecil dapat dilihat pada gambar 5.15.



Gambar 5.15 Pembagian Bidang Longsor Lereng Tanpa Perkuatan *Sheet Pile*

Perhitungan manual lereng tanpa perkuatan *sheetpile* menggunakan metode *Fellenius* ini, bidang longsor dibagi menjadi 10 pias atau irisan. Panjang bidang longsor diketahui sebesar 23,9 m sehingga panjang setiap pias adalah 2,39 m.

Perhitungan manual lereng lereng tanpa perkuatan *sheetpile* menggunakan metode *Fellenius* adalah sebagai berikut.

1. Mencari berat setiap pias (W_n)

$$W_n = \gamma \times A_n$$

Sedangkan untuk pias atau irisan yang terdapat beban di atasnya, perhitungan berat dapat dilakukan sebagai berikut.

$$W_n = (\gamma \times A_n) + (q \times L)$$

Contoh perhitungan berat pias untuk pias 1 dan 6 adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} W_1 &= 10,3 \times 2,066 \\ &= 21,28 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_6 &= (10,3 \times 23,116) + (27,2 \times 1,45) \\ &= 277,535 \text{ kN} \end{aligned}$$

2. Mencari nilai $W_n \sin \alpha_n$

$$\begin{aligned} \text{Pias 1} &= W_1 \times \sin \alpha_1 \\ &= 21,28 \times \sin (34) \\ &= 11,259 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Pias 6} &= W_6 \times \sin \alpha_6 \\ &= 21,28 \times \sin (-11) \\ &= 260,811 \text{ kN} \end{aligned}$$

3. Mencari nilai $W_n \cos \alpha_n$

$$\begin{aligned} \text{Pias 1} &= W_1 \times \cos \alpha_1 \\ &= 21,28 \times \cos (34) \\ &= -18,057 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Pias 6} &= W_6 \times \cos \alpha_6 \\ &= 21,28 \times \cos (-11) \\ &= 94,886 \text{ kN} \end{aligned}$$

4. Mencari tahanan kelongsoran akibat gaya gesek

$$\begin{aligned} \text{Pias 1} &= W_1 \cos \alpha_1 \times \tan \varphi \\ &= -18,057 \times \tan (2,8) \\ &= 6,42 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\text{Pias 6} = W_6 \cos \alpha_6 \times \tan \varphi$$

$$= 94,886 \times \tan (2,8)$$

$$= -33,735 \text{ kN}$$

5. Mencari tahanan kelongsoran akibat komponen kohesi

Berdasarkan Gambar 5.15 panjang garis lengkung bidang longsor adalah sebesar 27,8 m. Karena itu tahanan terhadap kelongsoran yang dikerahkan oleh komponen kohesi adalah sebagai berikut.

$$c\Delta L = 11,77 \times 27,8$$

$$= 327,206 \text{ kN}$$

6. Gaya akibat beban merata (Pq)

Pada lereng tanpa perkuatan *sheet pile* direncanakan dibangun jalan inspeksi sehingga lereng menerima beban merata sebesar 27,2 kN/m². Akibat adanya beban merata tersebut maka perlu dilakukan perhitungan sebagai berikut.

$$Pq = (q \times A)$$

$$= 27,2 \times 4,4 \times 1$$

$$= 119,68 \text{ kN}$$

7. Rekapitulasi perhitungan

Rekapitulasi perhitungan manual lereng tanpa perkuatan *sheet pile* menggunakan metode *Fellenius* dapat dilihat pada Tabel 5.22 berikut.

Tabel 5.22 Rekapitulasi Perhitungan Manual lereng Tanpa Perkuatan *Sheet Pile*

Pias	A (m ²)	W (kN)	α	W.sin α (kN)	W.cos α (kN)	W.cos α .tan φ (kN)
1	2,066	21,280	34	11,259	-18,057	6,420
2	5,255	54,127	24	-49,016	22,959	-8,163
3	8,713	89,744	15	58,359	-68,177	24,239
4	14,658	150,977	6	-26,582	148,619	-52,838
5	15,732	162,040	-3	-22,867	-160,418	57,033
6	23,116	277,535	-11	260,811	94,886	-33,735
7	23,17	303,659	-20	-303,484	10,308	-3,665
8	20,465	225,478	-30	222,255	37,985	-13,505
9	14,683	151,235	-41	23,989	-149,320	53,088
10	5,648	58,174	-56	37,667	44,334	-15,762
Jumlah	133,506	1494,248		212,391	-36,882	13,113

8. Mencari angka aman lereng

Nilai angka aman pada lereng tanpa perkuatan *sheet pile* menggunakan metode *Fellenius* adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} SF &= \frac{(c\Delta L) + \sum(W \cos \alpha \times \tan \varphi)}{\sum(W \sin \alpha) + (Pq)} \\ &= \frac{327,206 + 13,113}{212,391 + 119,68} \\ &= 1,025 \end{aligned}$$

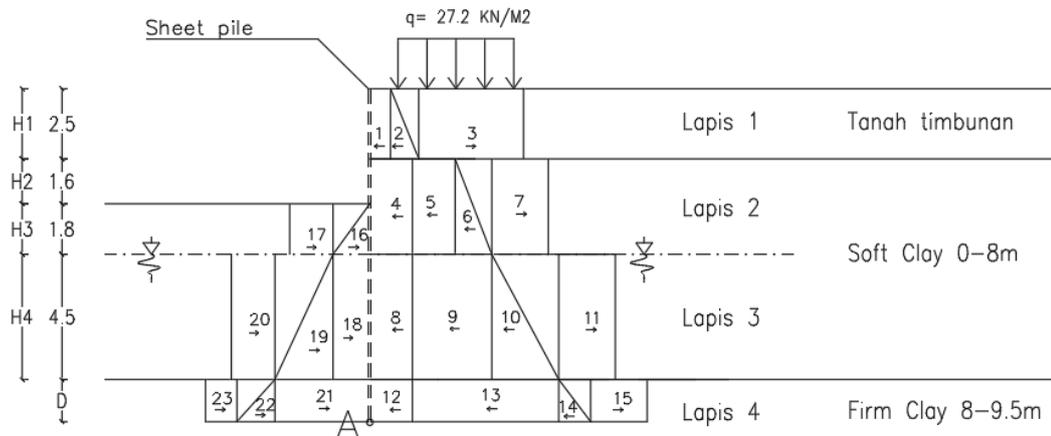
Berdasarkan perhitungan manual lereng tanpa perkuatan *sheet pile* menggunakan metode *Fellenius* didapatkan angka aman sebesar 1,025. Hal tersebut menunjukkan bahwa terdapat sedikit perbedaan dengan angka aman yang di hasilkan dengan bantuan program Plaxis yaitu sebesar 1. Berdasarkan kedua nilai angka aman tersebut dapat disimpulkan bahwa lereng tanpa perkuatan *sheet pile* tidak aman atau tidak stabil karena lebih kecil daripada persyaratan ($1,025 < 1,5$ dan $1 < 1,5$).

5.5 Analisis Sheet Pile Tanpa Angkur Untuk Jangka Pendek (*Short Term*)

Analisis *sheet pile* tanpa angkur terlebih dahulu dilakukan menggunakan parameter tanah *undrain*/jangka pendek (*short term*). Analisis *sheet pile* tanpa angkur untuk jangka pendek (*short term*) dapat dilihat sebagai berikut.

5.5.1 Perhitungan Kedalaman dan Momen *Sheet Pile* Untuk Jangka Pendek (*Short Term*)

Berdasarkan dari nilai parameter yang telah diketahui, maka analisis untuk menentukan kedalaman dari turap dapat dilakukan. Analisis yang dilakukan pertama kali adalah dengan membuat diagram tekanan tanah seperti pada Gambar 5.16.



Gambar 5.16 Diagram Distribusi Tegangan Tanah Pada Sheet Pile

Nilai dari angka aman untuk turap didapatkan dengan membandingkan momen pada tanah aktif dengan momen pada tanah pasif dengan titik acuan berada pada titik A pada ujung bawah dari turap. Perhitungan momen pada tanah aktif dan tanah pasif dapat dilihat sebagai berikut.

1. Mencari koefisien tanah aktif dan pasif setiap lapisan tanah

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

$$\begin{aligned} K_{a1} &= \tan^2 (45 - 35/2) \\ &= 0,27 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} K_{a2} &= \tan^2 (45 - 2,8/2) \\ &= 0,91 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} K_{a3} &= \tan^2 (45 - 2,8/2) \\ &= 0,91 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} K_{a4} &= \tan^2 (45 - 0/2) \\ &= 1 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} K_{p2} &= \tan^2 (45 + 2,8/2) \\ &= 1,1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} K_{p3} &= \tan^2 (45 + 2,8/2) \\ &= 1,1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} K_{p4} &= \tan^2 (45 + 0/2) \\ &= 1 \end{aligned}$$

2. Menghitung tekanan tanah lateral

a. Tekanan akibat beban lalu lintas dan beban perkerasan:

$$\begin{aligned}\sigma_1 &= q \times K_{a1} \\ &= 27,2 \times 0,27 \\ &= 7,37 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sigma_4 &= q \times K_{a2} \\ &= 27,2 \times 0,91 \\ &= 24,67 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sigma_8 &= q \times K_{a3} \\ &= 27,2 \times 0,91 \\ &= 24,67 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sigma_{12} &= q \times K_{a4} \\ &= 27,2 \times 1 \\ &= 27,2 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

b. Tekanan akibat beban tanah di atasnya:

$$\begin{aligned}\sigma_5 &= \gamma_{unsat1} \times H_1 \times K_{a2} \\ &= 16 \times 2,5 \times 0,91 \\ &= 36,27 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sigma_9 &= (\gamma_{unsat1} \times H_1 + \gamma_{unsat2} \times (H_2 + H_3)) \times K_{a3} \\ &= (16 \times 2,5 + 10,3 \times 3,4) \times 0,91 \\ &= 68,03 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sigma_{13} &= (\gamma_{unsat1} \times H_1 + \gamma_{unsat2} \times (H_2 + H_3) + \gamma_{sat3} \times H_4) \times K_{a4} \\ &= (16 \times 2,5 + 10,3 \times 3,4 + 15,99 \times 4,5) \times 1 \\ &= 146,98 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sigma_{18} &= \gamma_{sat2} \times H_3 \times K_{p3} \\ &= 10,3 \times 1,8 \times 1,1 \\ &= 20,44 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sigma_{21} &= (\gamma_{sat2} \times H_3 + \gamma_{sat3} \times H_4) \times K_{p4} \\ &= (10,3 \times 1,8 + 15,99 \times 4,5) \times 1 \\ &= 90,50 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

c. Tekanan pada lapisan tanah

$$\begin{aligned}\sigma_2 &= \gamma_{unsat1} \times H_1 \times Ka_1 \\ &= 16 \times 2,5 \times 0,27 \\ &= 40 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sigma_6 &= \gamma_{unsat2} \times (H_2 + H_3) \times Ka_2 \\ &= 10,3 \times 3,4 \times 0,91 \\ &= 31,76 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sigma_{10} &= \gamma_{sat3} \times H_4 \times Ka_3 \\ &= 15,99 \times 4,5 \times 0,91 \\ &= 65,25 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sigma_{14} &= \gamma_{sat4} \times H_4 \times Ka_4 \\ &= 17 \times D \times 1 \\ &= 17D \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sigma_{16} &= \gamma_{unsat2} \times H_3 \times Kp_2 \\ &= 10,3 \times 1,8 \times 1,1 \\ &= 20,44 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sigma_{19} &= \gamma_{sat3} \times H_4 \times Kp_3 \\ &= 10,3 \times 4,5 \times 1,1 \\ &= 79,79 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sigma_{22} &= \gamma_{sat4} \times D \times Kp_4 \\ &= 17 \times D \times 1 \\ &= 17D \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

d. Gaya akibat kohesi tanah

$$\begin{aligned}\sigma_3 &= -2 \times c_1 \times \sqrt{Ka_1} \\ &= -2 \times 80 \times \sqrt{0,27} \\ &= -83,29 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sigma_7 &= -2 \times C_2 \times \sqrt{Ka_2} \\ &= -2 \times 15,69 \times \sqrt{0,91} \\ &= -29,88 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

$$\sigma_{11} = -2 \times c_2 \times \sqrt{Ka_3}$$

$$\begin{aligned}
 &= -2 \times 15,69 \times \sqrt{0,91} \\
 &= -29,88 \text{ kN/m}^2 \\
 \sigma_{15} &= -2 \times c_4 \times \sqrt{Ka_4} \\
 &= -2 \times 45 \times \sqrt{1} \\
 &= -90,00 \text{ kN/m}^2 \\
 \sigma_{17} &= 2 \times c_2 \times \sqrt{Ka_2} \\
 &= 2 \times 15,69 \times \sqrt{1,1} \\
 &= 32,95 \text{ kN/m}^2 \\
 \sigma_{20} &= 2 \times c_2 \times \sqrt{Ka_3} \\
 &= 2 \times 15,69 \times \sqrt{1,1} \\
 &= 20,68 \text{ kN/m}^2 \\
 \sigma_{23} &= 2 \times c_4 \times \sqrt{Ka_4} \\
 &= 2 \times 45 \times \sqrt{1} \\
 &= 90 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

3. Menghitung momen dan panjang *sheet pile*

Setelah dilakukan perhitungan gaya-gaya maka dapat dilakukan perhitungan momen yang berkerja pada *sheet pile*. Rekapitulasi perhitungan momen aktif dan pasif dapat dilihat pada tabel 5.23.

Tabel 5.23 Rekapitulasi Momen Aktif dan Pasif *Sheet Pile* Tanpa Angkur

No	Tekanan Tanah (kN/m ²)	Tebal (m)	Tahanan Tanah Total (kN/m)	Lengan ke A (m)	Momen (kNm)
Tanah Aktif					
1	0.00	2.5	0.00	9.15 + D	0.00 + 0.00 D
2	0.00	2.5	0.00	8.733 + D	0.00 + 0.00 D
3	0.00	2.5	0.00	9.15 + D	0.00 + 0.00 D
4	24.67	3.4	83.87	6.2 + D	519.97 + 83.87 D
5	36.27	3.4	123.33	6.2 + D	764.66 + 123.33 D
6	31.76	3.4	107.98	5.633 + D	608.27 + 107.98 D
7	-29.88	3.4	-101.60	6.2 + D	-629.93 + -101.60 D
8	24.67	4.5	111.00	2.25 + D	249.75 + 111.00 D
9	68.03	4.5	306.14	2.25 + D	688.82 + 306.14 D
10	65.62	4.5	295.29	1.5 + D	442.93 + 295.29 D
11	-29.88	4.5	-134.47	2.25 + D	-302.56 + -134.47 D
12	27.20	D	27.20 D	0.5 D	13.60 D ²
13	147.38	D	147.38 D	0.5 D	73.69 D ²
14	17.00 D	D	17.00 D ²	0.333 D	5.67 D ³

Lanjutan Tabel 5.22 Rekapitulasi Momen Aktif dan Pasif Sheet Pile Tanpa Angkur

15	-90.00	D	-90.00 D	0.5 D	-45.00 D ²
Tanah Pasif					
16	20.44	1.8	36.80	5.1 + D	187.68 + 36.80 D
17	32.95	1.8	59.31	5.4 + D	320.30 + 59.31 D
18	20.44	4.5	92.00	2.25 + D	207.00 + 92.00 D
19	79.79	4.5	359.07	2.25 + D	807.90 + 359.07 D
20	32.95	4.5	148.29	2.25 + D	333.64 + 148.29 D
21	90.90	D	90.90 D	0.5 D	45.45 D ²
22	17.00 D	D	17.00 D ²	0.333 D	5.67 D ³
23	90.00	D	90.00 D	0.5 D	45.00 D ²

Berdasarkan tabel 5.22 didapatkan total momen dari hasil penjumlahan semua momen sehingga dapat dilakukan perhitungan kedalaman perlu *sheet pile*.

Berikut merupakan perhitungan kedalaman perlu *sheet pile*.

$$\Sigma M_a = 5,67D^3 + 42,09 D^2 + 789,88D + 2339,425$$

$$\Sigma M_p = 5,67D^3 + 90,25 D^2 + 693,46D + 1851,994$$

$$\Sigma M_{Total} = \Sigma M_a - \Sigma M_p = 0$$

$$\Sigma M_{Total} = -48,16D^2 + 96,422D + 487,431 = 0$$

$$D = 4,336 \text{ m}$$

Berdasarkan Hardiyatmo (2020b) angka keamanan untuk kedalaman *sheet pile* dapat digunakan SF sebesar 1,2.

$$SF = 1,2$$

$$H_{Total} = D \times SF + H$$

$$= 4,336 \times 1,2 + (2,5 + 1,6 + 1,8 + 4,5)$$

$$= 15,603 \text{ m}$$

$$= 16 \text{ m (Dibulatkan ke atas)}$$

$$M_x/D_x = 2 (-48,16 X^{2-1}) + 1 (96,422) = 0$$

$$= 2 (-48,16 X) + 96,422 = 0$$

$$X = 1,001$$

$$M_{Maks} = -48,16(1,001)^2 + 96,422 (1,001) + 487,431$$

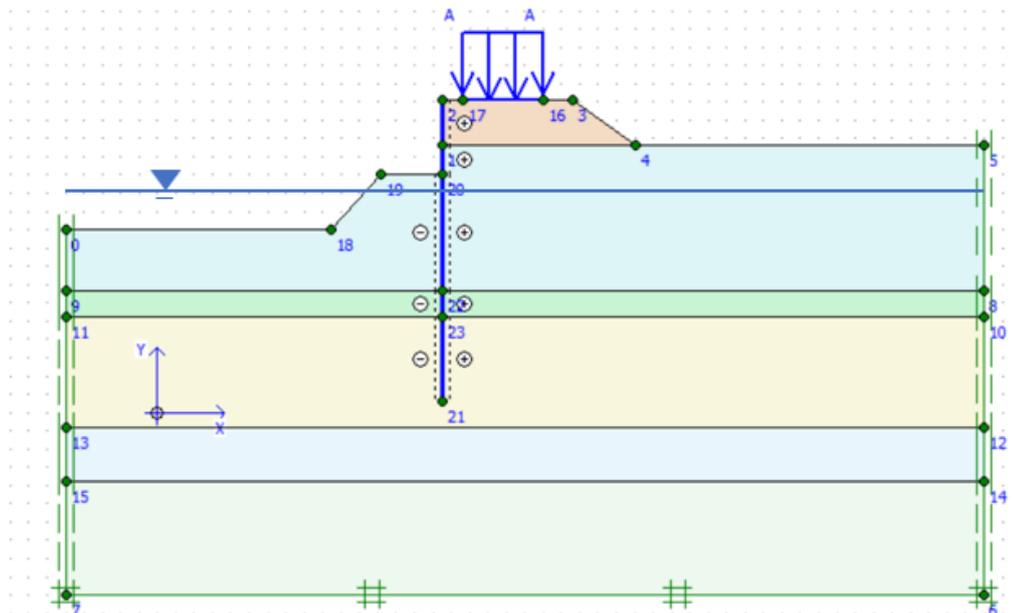
$$= 535,694 \text{ kN.m}$$

$$= 54,626 \text{ ton.m}$$

Berdasarkan perhitungan didapatkan tinggi *sheet pile* yang diperlukan sepanjang 16m. Sedangkan momen yang didapatkan adalah sebesar 535,694 kN.m atau 54,626 ton.m. Berdasarkan dari spesifikasi *sheet pile* yang diproduksi oleh PT Wijaya Karya Beton, maka dapat digunakan *sheet pile* CPC tipe W-600 class B dengan momen *crack* sebesar 59,6 ton.m karena momen maksimal yang terjadi lebih kecil dari momen *crack* pada CPC tipe W-600 class B ($54,626 \text{ ton.m} < 59,6 \text{ ton.m}$).

5.5.2 Analisis Faktor Aman *Sheet Pile* Tanpa Angkur Dengan Elevasi Air Normal

Analisis faktor aman *sheet pile* kondisi muka air normal dilakukan dengan skema air sungai berada pada ketinggian 1,2 meter dari dasar sungai. Lereng dilakukan pemodelan dengan diberikan timbunan, beban perkerasan jalan, beban lalu lintas, dan beban gempa yang diperkuat *sheet pile* setinggi 16 m. Pemodelan lereng pada Plaxis dapat dilihat pada Gambar 5.17 berikut.

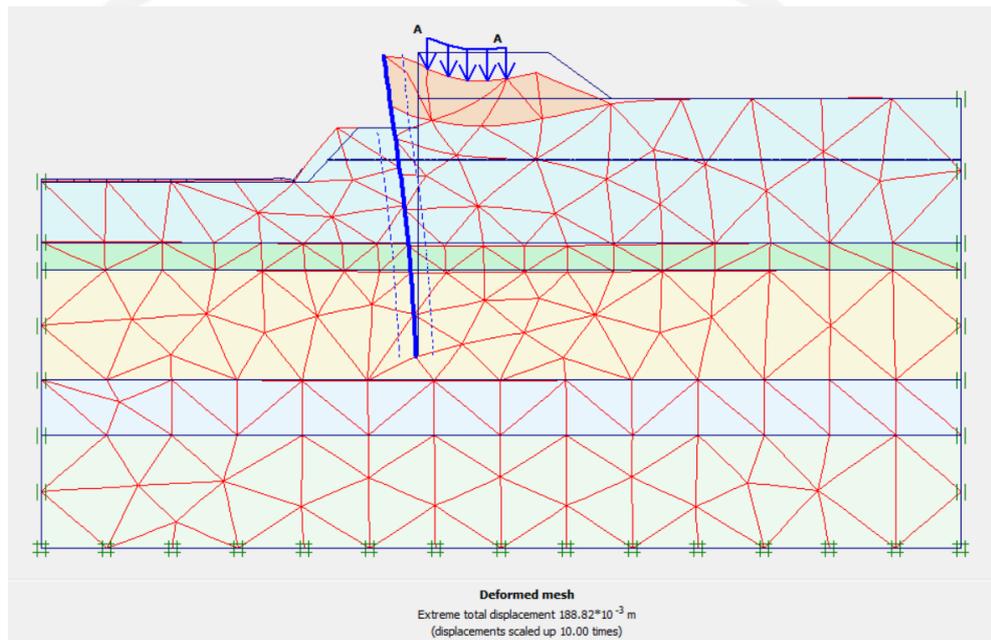


Gambar 5.17 Pemodelan Lereng Dengan *Sheet Pile* Pada Kondisi Muka Air Normal

Analisis dilakukan menggunakan program Plaxis secara dua dimensi untuk mengetahui angka keamanan lereng. Adapun hasil dari analisis lereng dengan perkuatan *sheet pile* kondisi muka air normal adalah sebagai berikut.

1. *Deformed Mesh*

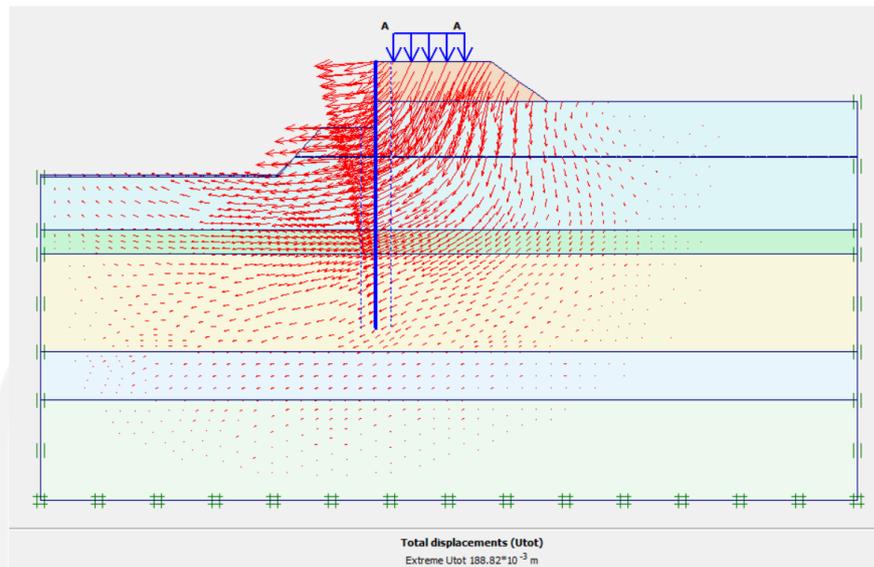
Analisis dilakukan dengan pembagian jaring-jaring elemen (*meshing*) jenis medium. Hasil dari *deformed mesh* terjadi setelah dilakukan perkuatan dan pemberian beban. *Deformed mesh* dilakukan dengan faktor skala sebesar 10. Adapun hasil dari *deformed mesh* dapat dilihat pada Gambar 5.18 berikut.



Gambar 5.18 *Deformed Mesh* Pada Lereng Yang Diperkuat *Sheet Pile* Pada Kondisi Muka Air Normal

2. Arah *displacement*

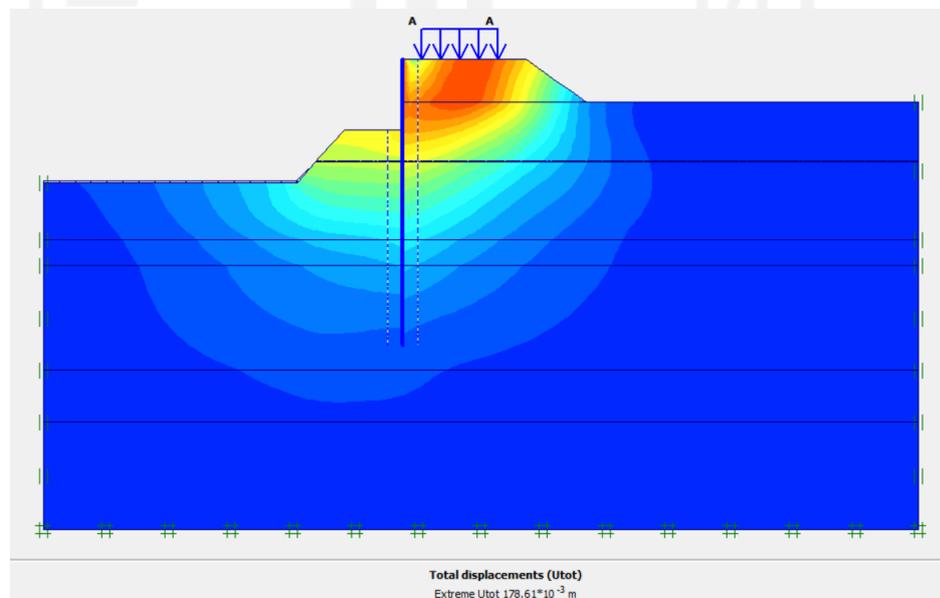
Berdasarkan analisis plaxis dapat dilihat arah pergerakan *displacement* lereng dengan perkuatan *sheet pile*. Gambar arah *displacement* lereng dengan perkuatan *sheet pile* pada kondisi muka air normal dapat dilihat pada Gambar 5.19.



Gambar 5.19 Arah *Displacement* Lereng Yang Diperkuat *Sheet Pile* Pada Kondisi Muka Air Normal

3. *Area displacement*

Berdasarkan analisis didapatkan nilai total *displacement* sebesar 0,179 m atau sebesar 17,9 cm. Gambar *area displacement* lereng dengan perkuatan *sheet pile* pada kondisi muka air normal dapat dilihat pada Gambar 5.20.



Gambar 5.20 Arah *Displacement* Lereng Yang Diperkuat *Sheet Pile* Pada Kondisi Muka Air Normal

4. Angka Keamanan

Nilai angka keamanan yang didapatkan dari hasil analisis menggunakan program plaxis sebesar 1,916 dapat dilihat pada Gambar 5.21. Nilai tersebut merupakan faktor aman yang terjadi setelah dilakukan pembebanan berupa timbunan, beban lalu lintas, dan beban perkerasan jalan. Berdasarkan SNI 8460-2017 lereng tersebut dinyatakan aman dikarenakan nilai SF 1,915 lebih tinggi dari persyaratan yaitu 1,5.

Incremental multipliers		Total multipliers	
Mdisp:	0.0000	Σ -Mdisp:	1.0000
MloadA:	0.0000	Σ -MloadA:	1.0000
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:	1.9147

Gambar 5.21 Angka Aman Lereng Yang Diperkuat Sheet Pile Pada Kondisi Muka Air Normal

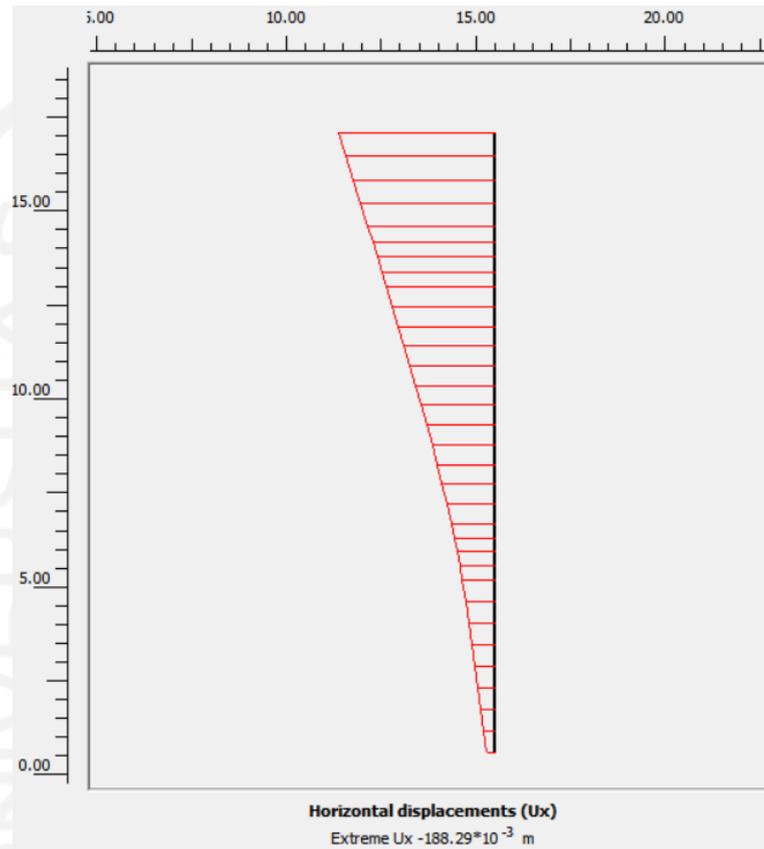
5. Defleksi pada *sheet pile*

Defleksi pada *sheet pile* ditinjau terhadap sumbu X atau secara horizontal. Defleksi ditinjau pada saat *sheet pile* terbebani oleh timbunan, beban lalu lintas, beban perkerasan jalan, dan beban gempa. Berdasarkan analisis Plaxis didapatkan defleksi terbesar adalah 0,188 m atau 18,829 cm. Berdasarkan SNI 8460 (2017), mensyaratkan defleksi maksimum untuk dinding *embedded walls* sebagai batas toleransi adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{Defleksi maksimum} &= 0,5\% \times H \\
 &= 0,5\% \times 16\text{m} \\
 &= 0,08 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan didapatkan hasil defleksi maksimum sebagai batas toleransi adalah sebesar 0,08m. *Sheet pile* dianggap tidak memenuhi persyaratan karena nilai defleksi yang terjadi pada *sheet pile* lebih besar

daripada yang disyaratkan ($0,188 > 0,08$) sehingga perlu dilakukan perbaikan atau modifikasi struktur seperti penambahan angkur tanah. Grafik defleksi pada *sheet pile* dapat dilihat pada Gambar 5.22 berikut.



Gambar 5.22 Defleksi Pada *Sheet Pile* Saat Kondisi Muka Air Normal

Setelah dilakukan analisis *sheet pile* untuk jangka pendek (*short term*) didapatkan bahwa nilai defleksi yang terjadi tidak memenuhi persyaratan. Oleh karena itu, analisis *sheet pile* untuk jangka panjang (*long term*) tidak diperlukan. Selanjutnya dapat dilakukan analisis *sheet pile* yang diangkur sebagai alternatif pemecahan masalah defleksi pada *sheet pile* yang tidak di angkur.

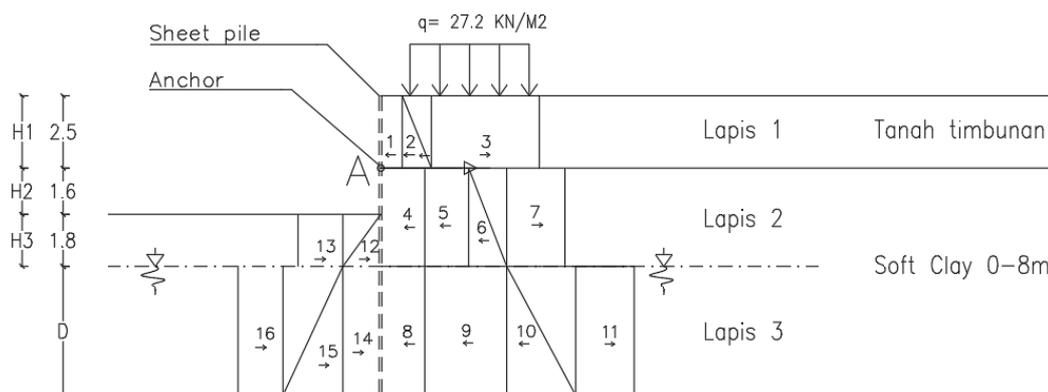
5.6 Analisis *Sheet Pile* Yang Diangkur Untuk Jangka Pendek (*Short Term*)

Setelah dilakukan analisis lereng dengan perkuatan *sheet pile*, diperlukan kedalaman *sheet pile* yang cukup dalam untuk dapat menahan kelongsoran lereng.

Meskipun memiliki angka keamanan yang besar yaitu 1,9, defleksi yang terjadi pada *sheet pile* lebih besar dari persyaratan sehingga perlu dilakukan analisis *sheet pile* yang diberi diangkur sebagai alternatif lain untuk dapat menahan kelongsoran lereng. Dalam analisis *sheet pile* ini digunakan parameter tanah *undrained* atau jangka pendek (*short term*) karena diasumsikan pada kondisi tersebut merupakan kondisi paling kritis atau terlemah. Selanjutnya, dapat dilakukan pengecekan perbandingan antara tanah kondisi *undrained*/jangka pendek (*short term*) dengan tanah pada kondisi *drained*/jangka panjang (*long term*) dengan menggunakan program Plaxis. Analisis *sheet pile* yang di angkur untuk jangka pendek (*short term*) adalah sebagai berikut.

5.6.1 Perhitungan *Sheet Pile* Diangkur

Berdasarkan dari nilai parameter yang telah diketahui, maka analisis untuk menentukan kedalaman dari turap dapat dilakukan. Perhitungan panjang *sheet pile* yang diangkur menggunakan metode ujung bebas (*free end method*) seperti yang dicontohkan oleh Hardiyatmo (2020b). Diasumsikan lokasi kepala angkur berada pada kedalaman 2,5 m dari ujung atas *sheet pile*. Analisis yang dilakukan pertama kali adalah dengan membuat diagram tekanan tanah seperti pada Gambar 5.23.



Gambar 5.23 Diagram Distribusi Tegangan Tanah *Sheet Pile* Diangkur

Nilai dari angka aman untuk turap yang diangkur didapatkan dengan membandingkan momen pada tanah aktif dengan momen pada tanah pasif. Pada *sheet pile* yang diangkur, titik acuan momen yang semula berada di ujung bawah

turap berganti titik lokasi angkur. Perhitungan momen pada tanah aktif dan tanah pasif dapat dilihat sebagai berikut.

1. Mencari koefisien tanah aktif dan pasif setiap lapisan tanah

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

$$K_{a1} = \tan^2 (45 - 35/2)$$

$$= 0,27$$

$$K_{a2} = \tan^2 (45 - 2,8/2)$$

$$= 0,91$$

$$K_{a3} = \tan^2 (45 - 2,8/2)$$

$$= 0,91$$

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

$$K_{p2} = \tan^2 (45 + 2,8/2)$$

$$= 1,1$$

$$K_{p3} = \tan^2 (45 + 2,8/2)$$

$$= 1,1$$

2. Menghitung gaya lateral

- a. Tekanan akibat beban lalu lintas dan beban perkerasan:

$$\begin{aligned} \sigma_1 &= q \times K_{a1} \\ &= 27,2 \times 0,27 \\ &= 7,37 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_4 &= q \times K_{a2} \\ &= 27,2 \times 0,91 \\ &= 24,67 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_8 &= q \times K_{a3} \\ &= 27,2 \times 0,91 \\ &= 24,67 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

- b. Tekanan akibat beban tanah di atasnya:

$$\begin{aligned} \sigma_5 &= \gamma_{unsat1} \times H_1 \times K_{a2} \\ &= 16 \times 2,5 \times 0,91 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_9 &= (\gamma_{unsat1} \times H_1 + \gamma_{unsat2} \times (H_2 + H_3)) \times K_{a3} \\ &= (16 \times 2,5 + 10,3 \times 3,4) \times 0,91 \end{aligned}$$

$$= 68,03 \text{ kN/m}^2$$

$$\begin{aligned}\sigma_{14} &= \gamma_{\text{unsat}2} \times H_3 \times Kp_3 \\ &= 10,3 \times 1,8 \times 1,1 \\ &= 20,44 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

c. Tekanan pada lapisan tanah

$$\begin{aligned}\sigma_2 &= \gamma_{\text{unsat}1} \times H_1 \times Ka_1 \\ &= 16 \times 2,5 \times 0,27 \\ &= 40 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sigma_6 &= \gamma_{\text{unsat}2} \times (H_2 + H_3) \times Ka_2 \\ &= 10,3 \times 3,4 \times 0,91 \\ &= 31,76 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sigma_{10} &= \gamma_{\text{sat}3} \times H_4 \times Ka_3 \\ &= 15,99 \times D \times 0,9 \\ &= 14,5D \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sigma_{12} &= \gamma_{\text{unsat}2} \times H_3 \times Kp_2 \\ &= 10,3 \times 1,8 \times 1,1 \\ &= 20,44 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sigma_{15} &= \gamma_{\text{sat}3} \times H_4 \times Kp_3 \\ &= 15,99 \times D \times 1,1 \\ &= 17,63D \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

d. Gaya akibat kohesi tanah:

$$\begin{aligned}\sigma_3 &= -2 \times c_1 \times \sqrt{Ka_1} \\ &= -2 \times 80 \times \sqrt{0,27} \\ &= -83,29 \text{ kN/m}^2 \\ &= 36,27 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sigma_7 &= -2 \times c_2 \times \sqrt{Ka_2} \\ &= -2 \times 15,69 \times \sqrt{0,91} \\ &= -29,88 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sigma_{11} &= -2 \times c_2 \times \sqrt{Ka_3} \\ &= -2 \times 15,69 \times \sqrt{0,91}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= -29,88 \text{ kN/m}^2 \\
 \sigma_{13} &= 2 \times C_2 \times \sqrt{Ka_2} \\
 &= 2 \times 15,69 \times \sqrt{1,1} \\
 &= 32,95 \text{ kN/m}^2 \\
 \sigma_{16} &= 2 \times c_2 \times \sqrt{Ka_3} \\
 &= 2 \times 15,69 \times \sqrt{1,1} \\
 &= 32,95 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

3. Menghitung momen dan panjang *sheet pile*

Setelah dilakukan perhitungan gaya-gaya maka dapat dilakukan perhitungan momen yang berkerja pada *sheet pile*. Rekapitulasi perhitungan momen aktif dan pasif dapat dilihat pada tabel 5.24.

Tabel 5.24 Rekapitulasi Momen Aktif dan Pasif *Sheet Pile* Diangkur

No	Tekanan Tanah (kN/m ²)	Tebal (m)	hanan Tanah To (kN/m)	Lengan ke A (m)	Momen (kNm)
Tanah Aktif					
1	0.00	2.5	0.00	1.25	0.00
2	0.00	2.5	0.00	0.833	0.00
3	0.00	2.5	0.00	1.25	0.00
4	24.67	3.4	83.87	1.7	142.57
5	36.27	3.4	123.33	1.7	209.66
6	31.76	3.4	107.98	2.267	244.75
7	-29.88	3.4	-101.60	1.7	-172.72
8	24.67	D	24.67 D	3.4 + 0.5 D	83.87 D + 12.33 D ²
9	68.03	D	68.03 D	3.4 + 0.5 D	231.31 D + 34.02 D ²
10	14.50 D	D	14.50 D ²	3.4 + 0.7 D	49.30 D ² + 9.67 D ³
11	-29.88	D	-29.88 D	3.4 + 0.5 D	-101.60 D + -14.94 D ²
Tanah Pasif					
12	20.44	1.8	36.80	2.8	103.04
13	32.95	1.8	59.31	2.5	148.29
14	20.44	D	20.44 D	3.4 + 0.5 D	69.51 D + 10.22 D ²
15	17.63 D	D	17.63 D ²	3.4 + 0.7 D	59.95 D ² + 11.75 D ³
16	32.95	D	32.95 D	3.4 + 0.5 D	112.04 D + 16.48 D ²

Berdasarkan Tabel 5.23 didapatkan total momen dari hasil penjumlahan semua momen sehingga dapat dilakukan perhitungan kedalaman perlu *sheet pile*. Berikut merupakan perhitungan kedalaman perlu *sheet pile*.

$$\Sigma Ma = 9,667 D^3 + 80,71 D^2 + 213,57 D + 424,261$$

$$\Sigma Mp = 11,755 D^3 + 86,65 D^2 + 181,55 D + 251,325$$

$$\Sigma M_a - \Sigma M_p = \Sigma M_{total} = 0$$

$$\Sigma M_{total} = -2,088D^3 + (-5,939D^2) + 32,024D + 172,936 = 0$$

$$D = 4,544 \text{ m}$$

Berdasarkan Hardiyatmo (2020b) angka keamanan untuk kedalaman sheet pile dapat digunakan SF sebesar 1,2.

$$SF = 1,2$$

$$\begin{aligned} H_{total} &= D \times SF + (H_1 + H_2 + H_3) \\ &= 4,544 \times 1,2 + (2,5 + 1,6 + 1,8) \\ &= 11,352 \text{ m} \\ &= 12 \text{ m (Dibulatkan ke atas)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_x/Dx &= 3(-2,088X^{3-1}) + 2(-5,939X^{2-1}) + 1(32,024) = 0 \\ &= -6,264X^2 + (-11,878X) + 32,024 = 0 \end{aligned}$$

$$X = 1,5 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} M_{Maks} &= -2,088(1,5)^3 + (-5,939(1,5)^2) + 32,024(1,5) + 172,936 = 0 \\ &= 200,563 \text{ kN.m} \\ &= 20,451 \text{ ton.m} \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan didapatkan panjang total turap sebesar 12m. Sedangkan momen yang didapatkan adalah sebesar 200,563 kN.m atau sebesar 20,451 ton.m. Berdasarkan dari spesifikasi *sheet pile* yang diproduksi oleh PT Wijaya Karya Beton, maka dapat digunakan *sheet pile* CPC tipe W-400 class B dengan momen *crack* sebesar 23,40 ton.m karena momen maksimal yang terjadi lebih kecil dari momen *crack* pada CPC tipe W-400 class B (20,451 ton.m < 23,40 ton.m).

1. Menghitung keperluan angkur

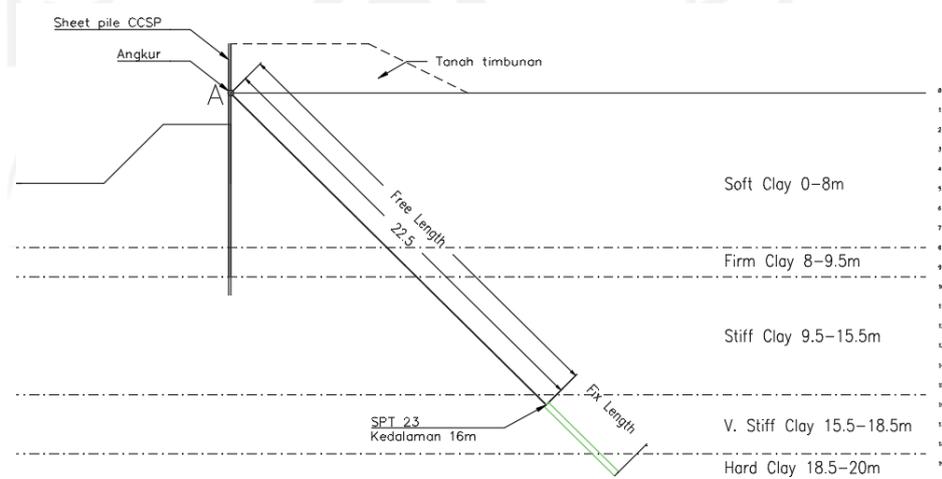
Setelah didapatkan panjang total *sheet pile* yang diperlukan maka dapat dilakukan analisis keperluan angkur yang mampu menahan *sheet pile*. Menurut SNI 8460 (2017), Sistem pengangkur ini utamanya terdiri atas *fixed length*, *free length*, dan kepala angkur (*anchor head*). Analisis kebutuhan angkur adalah sebagai berikut.

a. Menentukan geometri angkur

Penentuan geometri angkur berdasarkan SNI 8460 tahun 2017. Menurut SNI 8460 (2017), *Fixed length* harus terbenam di dalam lapisan tanah yang keras sehingga dapat memberikan tahanan friksi yang besar. Persyaratan layout angkur tanah berdasarkan SNI 8460 tahun 2017 adalah sebagai berikut.

- 1) *Fix length* disyaratkan terbenam pada tanah dengan nilai $N_{SPT} \geq 20$ sehingga dilakukan rencana penanaman *fix length* pada lapisan tanah *very stiff clay* di kedalaman 15,5m.
- 2) Spasi horizontal angkur diasumsikan setiap 2m, sesuai dengan persyaratan yaitu minimum 1,5 m.
- 3) Sudut kemiringan angkur terhadap arah bekerjanya gaya yang digunakan adalah 45° . Sesuai dengan persyaratan yaitu berkisar antara $30^\circ - 45^\circ$
- 4) Berdasarkan kedalaman lokasi *fix length* dan sudut kemiringan angkur maka panjang *free length* yang digunakan adalah 22,5m.

Berdasarkan persyaratan dan asumsi tersebut dapat dilakukan perencanaan angkur menggunakan software Autocad. Gambar *layout* angkur yang akan digunakan dapat dilihat pada Gambar 5.24.



Gambar 5.24 Layout Angkur Rencana

b. Gaya pada angkur

$$\begin{aligned}
 R &= \sum P_a - \sum P_p \\
 &= (14,5 D^2 + 62,82 D + 213,57) - (17,63 D^2 + 53,4 D + 96,11) \\
 &= (14,5(12 - 5,9)^2 + 62,82(12 - 5,9) + 213,57) - (17,63 \\
 &\quad (12 - 5,9)^2 + 53,4(12 - 5,9) + 96,11) \\
 &= 1136,31 - 1077,94 \\
 &= 58,38 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Digunakan interval angkur pada jarak 2m, maka:

$$\begin{aligned}
 R_{2m} &= 2 \times 58,38 \\
 &= 116,75 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

c. Mencari kebutuhan *free length*

Berdasarkan SNI 8460 (2017), digunakan faktor keamanan 2 untuk *tendon* pada angkur permanen dengan resiko korosi tinggi.

Tegangan leleh baja ijin, $\sigma_a = 240 \text{ Mpa}$

$$\begin{aligned}
 \text{Luas batang tendon, } A_s &= (T_{2m} \times sf) / (\sigma_a \times 1000) \\
 &= (116,75 \times 2) / (240 \times 1000) \\
 &= 0,00097 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Diameter tendon} &= \sqrt{\frac{A_s}{0,25 \times \pi}} \\
 &= \sqrt{\frac{0,00097}{0,25 \times \pi}} \\
 &= 0,0352 \text{ m} \\
 &= 35,196 \text{ mm} \\
 &= 40 \text{ mm (dibulatkan)}
 \end{aligned}$$

Modulus elastisitas baja = 200000000 kPa

$$\begin{aligned}
 EA &= 200000000 \times 0,0352 \\
 &= 194586,309 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

d. Mencari kebutuhan *fix length*

Diasumsikan kebutuhan angkur pada bagian *fix length* adalah sebagai berikut.

$$f_c = 41,5 \text{ Mpa}$$

$$\begin{aligned}\text{Modulus elastisitas beton} &= (4700 \times \sqrt{f_c}) \times 1000 \\ &= (4700 \times \sqrt{41,5}) \times 1000 \\ &= 97525000 \text{ kPa}\end{aligned}$$

$$\text{Diameter } \textit{fix length} = 0,3\text{m}$$

$$\begin{aligned}\text{EA} &= 97525000 \times (1/4 \times \pi \times 0,3^2) \\ &= 6893636,030 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Resultan gaya, R} &= \frac{T_{2m}}{\cos 45^\circ} \\ &= \frac{116,75}{\cos 45^\circ} \\ &= 165,112 \text{ kN}\end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 8460 (2017), digunakan faktor keamanan 3 untuk *Ground/grout interface* pada angkur permanen.

$$\begin{aligned}\text{R ult} &= R \times sf \\ &= 165,112 \times 3 \\ &= 495,336 \text{ kN}\end{aligned}$$

Berdasarkan Look (2007), nilai C_u dapat dikonversi berdasarkan nilai SPT tanah, yaitu $C_u = 5 \times \text{SPT}$. Diketahui angkur bagian *fix length* memiliki nilai SPT sebesar 23.

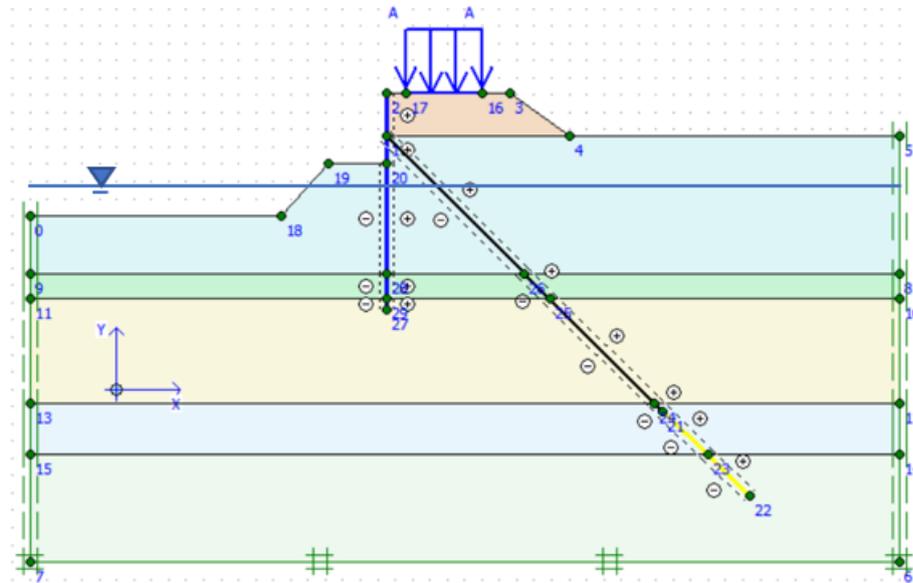
$$\begin{aligned}S_u &= C_u \\ S_u &= 5 \times \text{SPT} \\ &= 5 \times 23 \\ &= 115 \text{ kPa}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}L_s &= \frac{R_{ult}}{\alpha \times A_s \times S_u} \\ &= \frac{495,336}{0,7 \times (\pi \times 0,3) \times 115} \\ &= 6,529 \text{ m} \\ &= 7 \text{ m (dibulatkan)}\end{aligned}$$

5.6.2 Analisis Faktor Aman *Sheet Pile* yang Diangkur pada Kondisi Air Normal

Analisis faktor aman *sheet pile* kondisi muka air normal dilakukan dengan skema air sungai berada pada ketinggian 1,2 meter dari dasar sungai. Lereng dilakukan pemodelan dengan diberikan timbunan, beban perkerasan jalan, beban

lalu lintas, dan beban gempa yang diperkuat *sheet pile* setinggi 12 m yang diangkur. Pemodelan lereng pada Plaxis dapat dilihat pada Gambar 5.25 berikut.

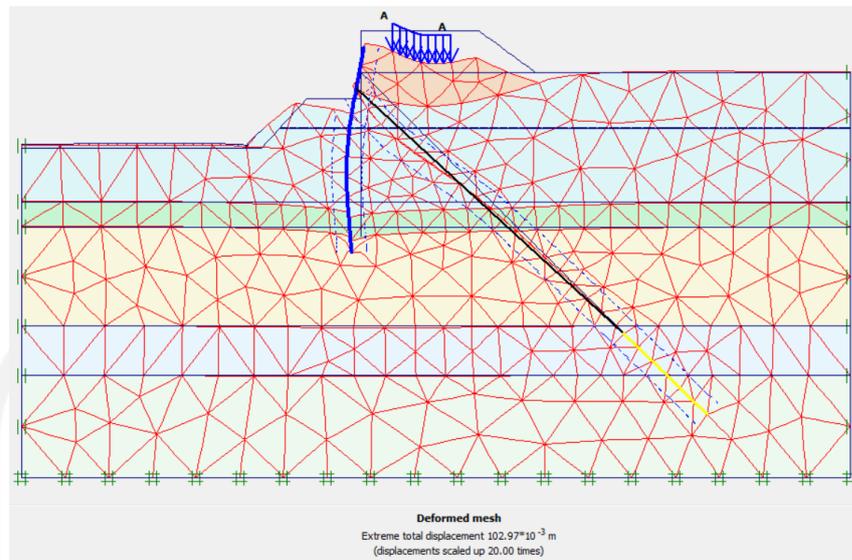


Gambar 5.25 Pemodelan *Sheet Pile* Diangkur Pada Kondisi Muka Air Normal

Analisis dilakukan menggunakan program Plaxis secara dua dimensi untuk mengetahui angka keamanan lereng. Adapun hasil dari analisis lereng dengan perkuatan *sheet pile* kondisi muka air normal dengan beban gempa adalah sebagai berikut.

1. *Deformed Mesh*

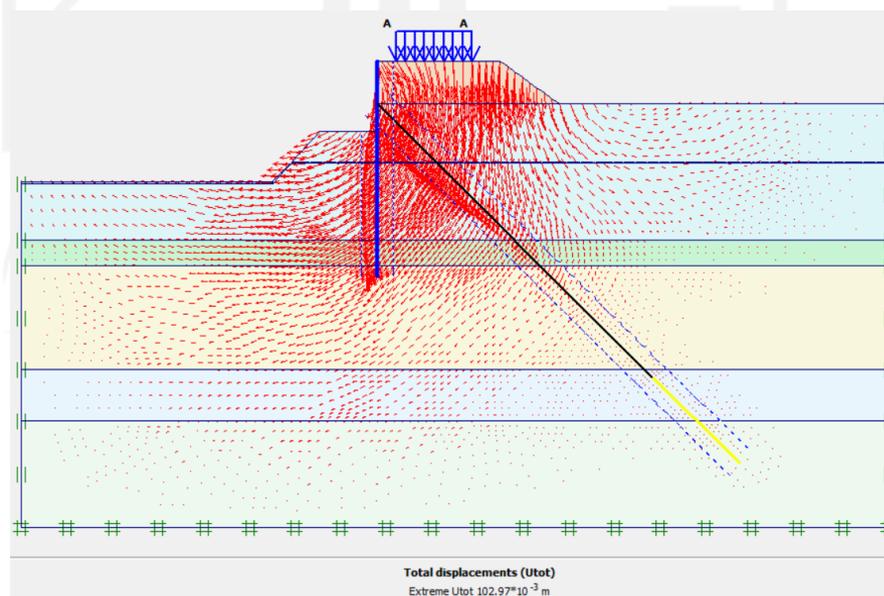
Analisis dilakukan dengan pembagian jaring-jaring elemen (*meshing*) jenis *fine*. Hasil dari *deformed mesh* terjadi setelah dilakukan perkuatan dan pemberian beban. *Deformed mesh* dilakukan dengan faktor skala sebesar 20. Adapun hasil dari *deformed mesh* dapat dilihat pada Gambar 5.26 berikut.



Gambar 5.26 Deformed Mesh Lereng Dengan Sheet Pile Diangkur Pada Kondisi Muka Air Normal

2. Arah displacement

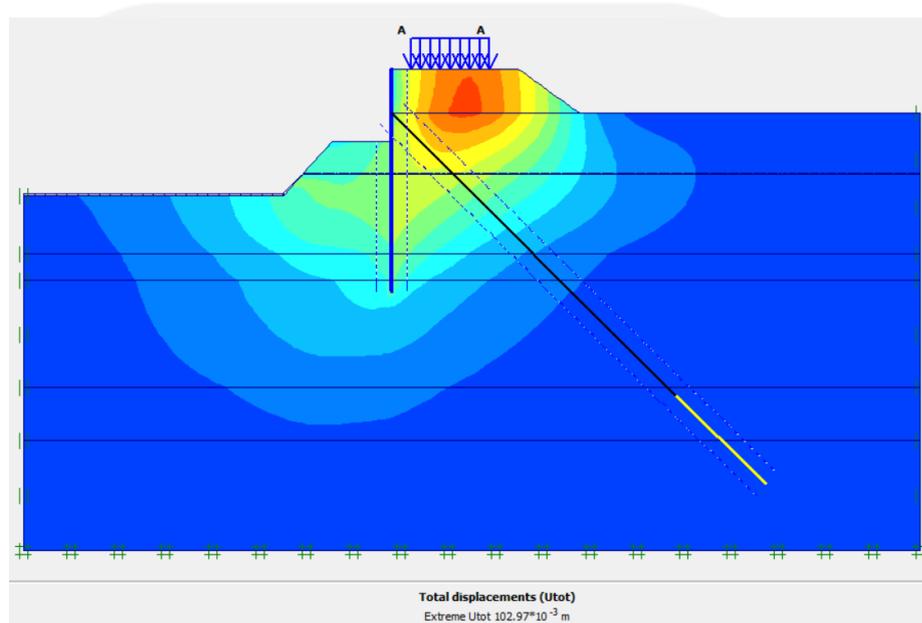
Berdasarkan analisis plaxis dapat dilihat arah pergerakan displacement lereng dengan perkuatan sheet pile yang diangkur. Gambar arah displacement lereng dengan perkuatan sheet pile pada kondisi muka air normal dapat dilihat pada Gambar 5.27.



Gambar 5.27 Arah Displacement Lereng Dengan Sheet Pile Diangkur Pada Kondisi Muka Air Normal

3. Area Displacement

Berdasarkan analisis didapatkan nilai total *displacement* sebesar 0,103 m atau sebesar 10,297 cm. Gambar area *displacement* lereng dengan perkuatan *sheet pile* pada kondisi muka air normal dapat dilihat pada Gambar 5.28.



Gambar 5.28 Area Displacement Lereng Dengan Sheet Pile Diangkur Pada Kondisi Muka Air Normal

4. Angka Keamanan

Nilai angka keamanan tanpa beban gempa yang didapatkan dari hasil analisis menggunakan program plaxis sebesar 1,521 dapat dilihat pada Gambar 5.29. Berdasarkan SNI 8460-2017 lereng tersebut dinyatakan aman dikarenakan nilai SF 1,584 lebih tinggi dari persyaratan yaitu 1,5. Sedangkan untuk nilai angka aman dengan beban gempa sebesar 1,206 dapat dilihat pada Gambar 5.30. Berdasarkan SNI 8460-2017 lereng tersebut dinyatakan aman dari gempa dikarenakan nilai SF lereng dengan beban gempa sebesar 1,206 lebih tinggi dari persyaratan yaitu 1,1.

Incremental multipliers		Total multipliers	
Mdisp:	0.0000	Σ -Mdisp:	1.0000
MloadA:	0.0000	Σ -MloadA:	1.0000
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:	1.5213

Gambar 5.29 Angka Aman *Sheet Pile* Diangkur Tanpa Beban Gempa Pada Kondisi Muka Air Normal

Incremental multipliers		Total multipliers	
Mdisp:	0.0000	Σ -Mdisp:	1.0000
MloadA:	0.0000	Σ -MloadA:	1.0000
MloadB:	0.0000	Σ -MloadB:	1.0000
Mweight:	0.0000	Σ -Mweight:	1.0000
Maccel:	0.0000	Σ -Maccel:	0.1870
Msf:	0.1000	Σ -Msf:	1.2055

Gambar 5.30 Angka Aman *Sheet Pile* Diangkur Dengan Beban Gempa Pada Kondisi Muka Air Normal

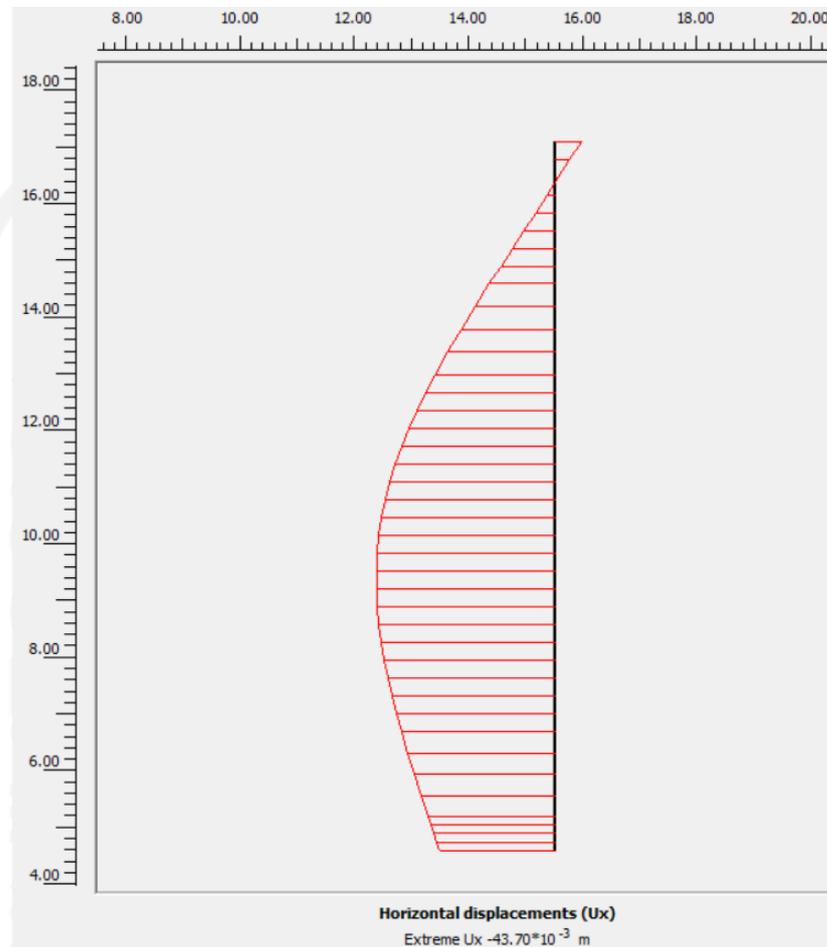
5. Defleksi pada *sheet pile*

Defleksi pada *sheet pile* ditinjau terhadap sumbu X atau secara horizontal. Defleksi ditinjau pada saat *sheet pile* terbebani oleh timbunan, beban lalu lintas, dan beban perkerasan jalan. Berdasarkan analisis Plaxis didapatkan defleksi terbesar adalah 0,0437 m atau 4,37 cm. Berdasarkan SNI 8460 (2017), mensyaratkan defleksi maksimum untuk dinding *embedded walls* sebagai batas toleransi adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{Defleksi maksimum} &= 0,5\% \times H \\
 &= 0,5\% \times 12\text{m} \\
 &= 0,06 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan didapatkan hasil defleksi maksimum sebagai batas toleransi adalah sebesar 0,06m. *Sheet pile* dianggap memenuhi persyaratan karena nilai defleksi yang terjadi pada *sheet pile* lebih kecil daripada yang

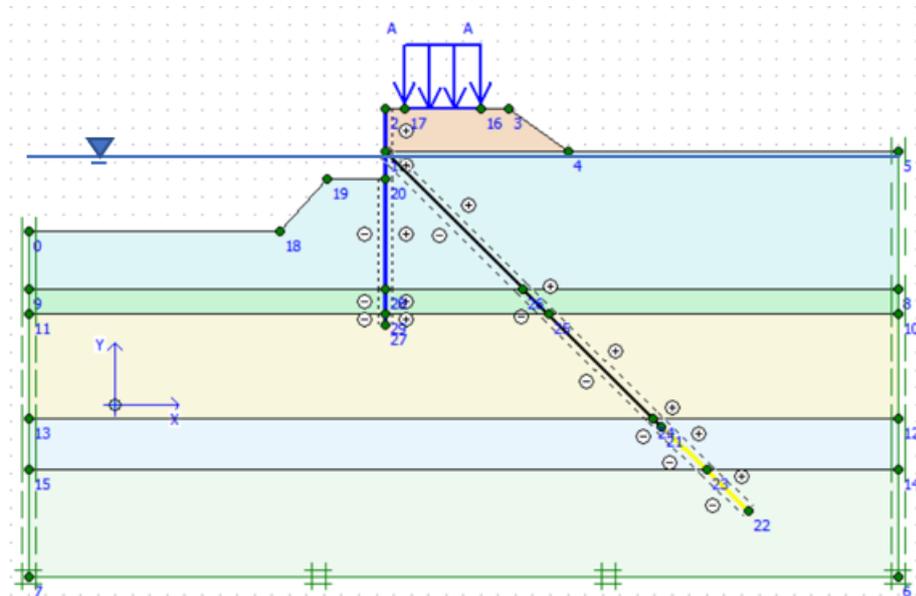
disyaratkan ($0,0437 < 0,06$). Grafik defleksi pada *sheet pile* dapat dilihat pada Gambar 5.31 berikut.



Gambar 5.31 Defleksi Pada *Sheet Pile* Dengan Angkur kondisi Muka Air Normal

5.6.3 Analisis Faktor Aman *Sheet Pile* yang Diangkur pada Kondisi Air Banjir

Analisis faktor aman *sheet pile* kondisi muka air normal dilakukan dengan skema air sungai berada pada ketinggian 4,4 meter dari dasar sungai. Lereng dilakukan pemodelan dengan diberikan timbunan, beban perkerasan jalan, beban lalu lintas, dan beban gempa yang diperkuat *sheet pile* setinggi 12 m yang diangkur. Pemodelan lereng pada Plaxis dapat dilihat pada Gambar 5.32 berikut.

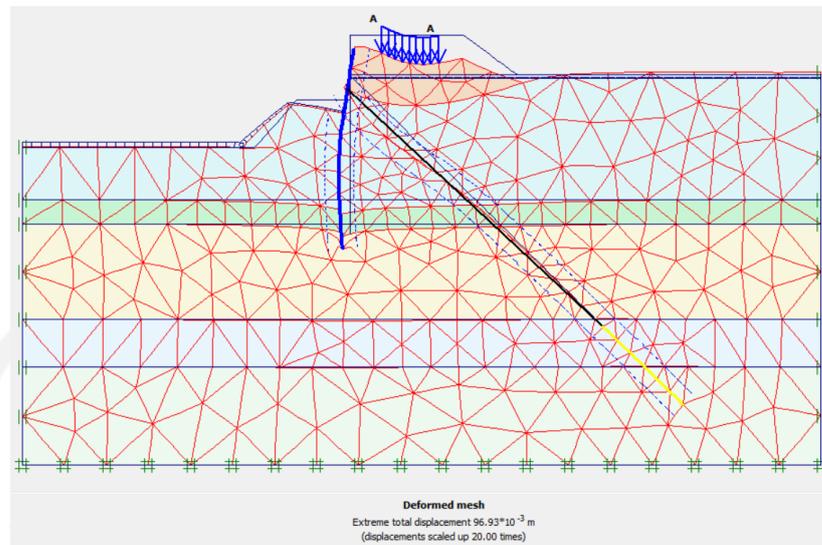


Gambar 5.32 Pemodelan *Sheet Pile* Diangkur Pada Kondisi Muka Air Banjir

Analisis dilakukan menggunakan program Plaxis secara dua dimensi untuk mengetahui angka keamanan lereng. Adapun hasil dari analisis lereng dengan perkuatan *sheet pile* kondisi muka air normal dengan beban gempa adalah sebagai berikut.

1. *Deformed Mesh*

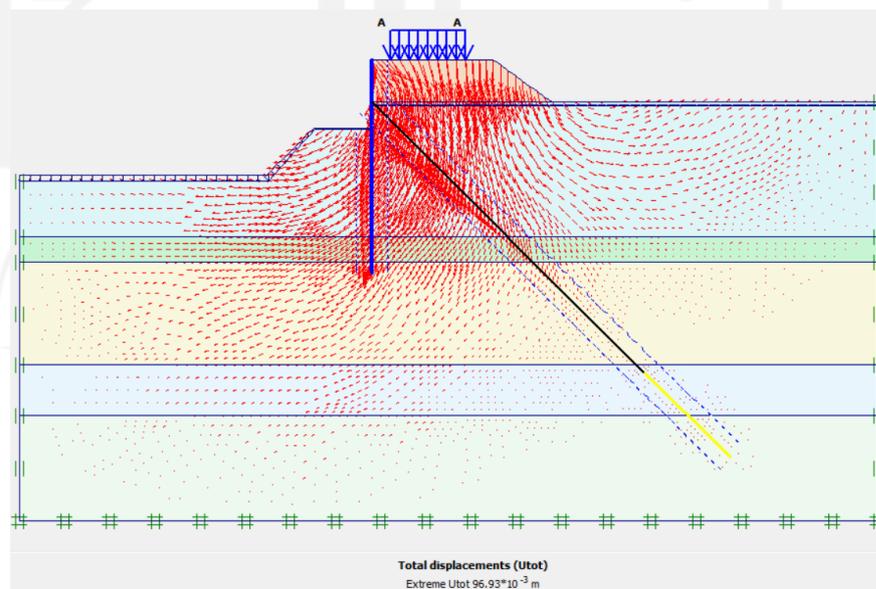
Analisis dilakukan dengan pembagian jaring-jaring elemen (*meshing*) jenis *fine*. Hasil dari *deformed mesh* terjadi setelah dilakukan perkuatan dan pemberian beban. *Deformed mesh* dilakukan dengan faktor skala sebesar 20. Adapun hasil dari *deformed mesh* dapat dilihat pada Gambar 5.33 berikut.



Gambar 5.33 Deformed Mesh Lereng Dengan Sheet Pile Diangkur Pada Kondisi Muka Air Banjir

2. Arah *displacement*

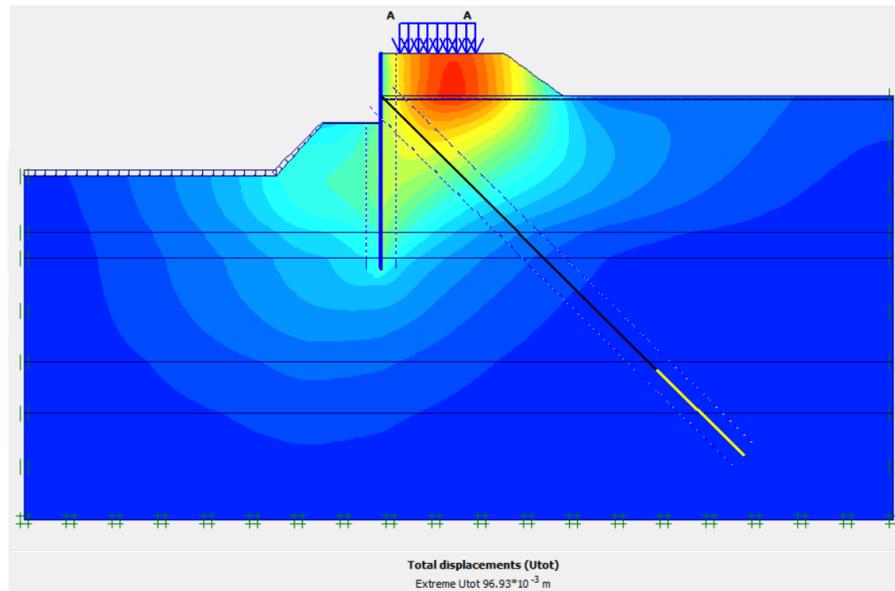
Berdasarkan analisis plaxis dapat dilihat arah pergerakan *displacement* lereng dengan perkuatan *sheet pile* yang diangkur. Gambar arah *displacement* lereng dengan perkuatan *sheet pile* pada kondisi muka air normal dapat dilihat pada Gambar 5.34.



Gambar 5.34 Arah Displacement Lereng Dengan Sheet Pile Diangkur Pada Kondisi Muka Air Banjir

3. Area Displacement

Berdasarkan analisis didapatkan nilai total *displacement* sebesar 0,0969 m atau sebesar 9,693 cm. Gambar area *displacement* lereng dengan perkuatan *sheet pile* pada kondisi muka air normal dapat dilihat pada Gambar 5.35.



Gambar 5.35 Area Displacement Lereng Dengan Sheet Pile Diangkur Pada Kondisi Muka Air Banjir

4. Angka Keamanan

Nilai angka keamanan tanpa beban gempa yang didapatkan dari hasil analisis menggunakan program plaxis sebesar 1,76 dapat dilihat pada Gambar 5.36. Berdasarkan SNI 8460-2017 lereng tersebut dinyatakan aman dikarenakan nilai SF 1,76 lebih tinggi dari persyaratan yaitu 1,5.

Incremental multipliers		Total multipliers	
Mdisp:	0.0000	Σ -Mdisp:	1.0000
MloadA:	0.0000	Σ -MloadA:	1.0000
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:	1.7604

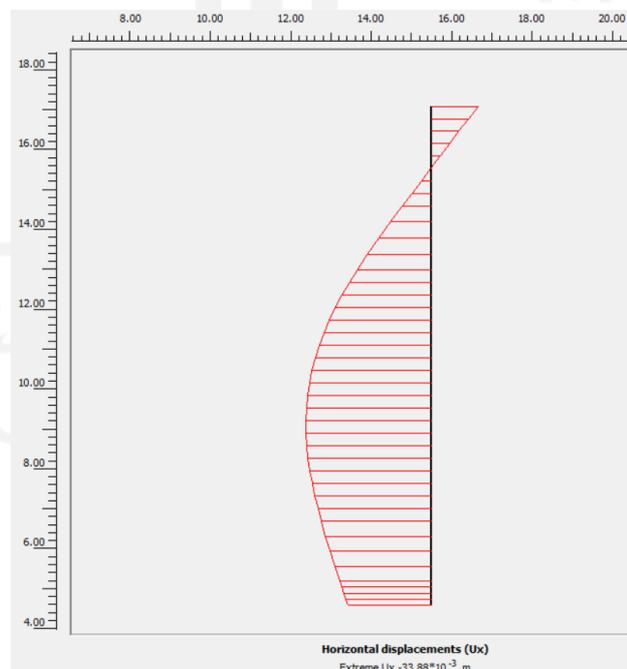
Gambar 5.36 Angka Aman Lereng Dengan Sheet Pile Diangkur Pada Kondisi Muka Air Banjir

5. Defleksi pada *sheet pile*

Defleksi pada *sheet pile* ditinjau terhadap sumbu X atau secara horizontal. Defleksi ditinjau pada saat *sheet pile* terbebani oleh timbunan, beban lalu lintas, dan beban perkerasan jalan. Berdasarkan analisis Plaxis didapatkan defleksi terbesar adalah 0,0339 m atau 3,388 cm. Berdasarkan SNI 8460 (2017), mensyaratkan defleksi maksimum untuk dinding *embedded walls* sebagai batas toleransi adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Defleksi maksimum} &= 0,5\% \times H \\ &= 0,5\% \times 12\text{m} \\ &= 0,06 \text{ m} \end{aligned}$$

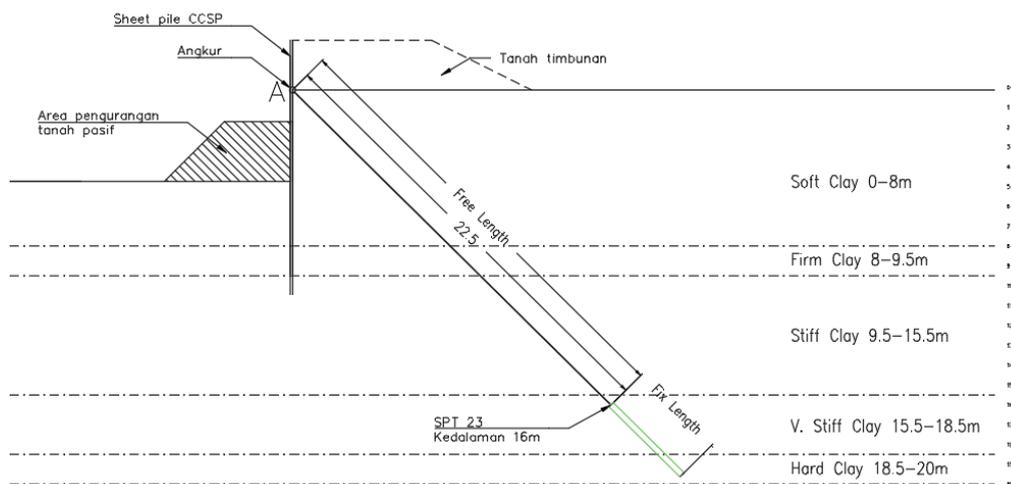
Berdasarkan perhitungan didapatkan hasil defleksi maksimum sebagai batas toleransi adalah sebesar 0,06m. *Sheet pile* dianggap memenuhi persyaratan karena nilai defleksi yang terjadi pada *sheet pile* lebih kecil daripada yang disyaratkan ($0,0339 < 0,06$). Grafik defleksi pada *sheet pile* dapat dilihat pada Gambar 5.37 berikut.



Gambar 5.37 Defleksi Pada *Sheet Pile* Dengan Angkur kondisi Muka Air Banjir

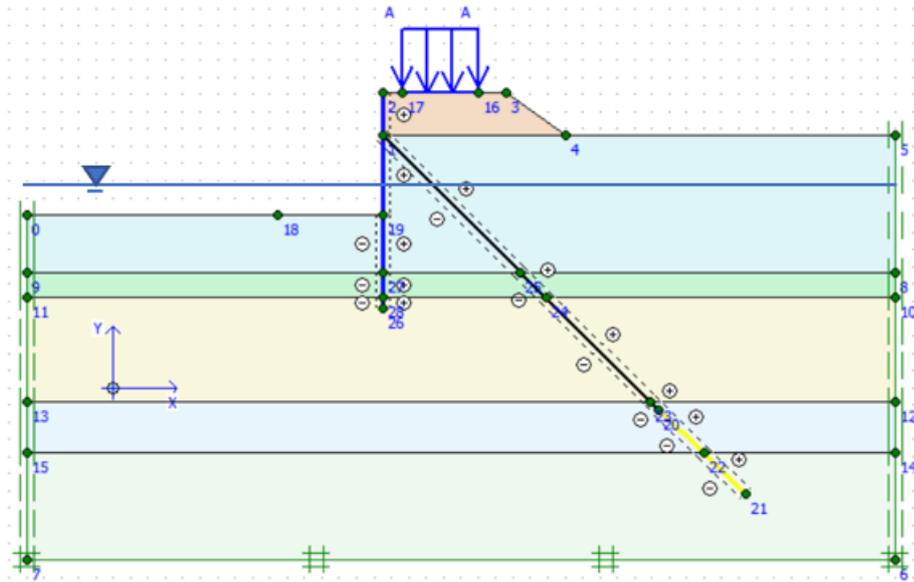
5.6.4 Analisis Faktor Aman *Sheet pile* yang Diangkur Apabila Terjadi Pengurangan Tanah Pasif

Analisis *sheet pile* yang diangkur dengan pengurangan tanah pasif dilakukan untuk meninjau *sheet pile* pada kondisi terburuk. Pengurangan tanah pasif dikhawatirkan dapat terjadi apabila lereng didepan *sheet pile* tergerus oleh air atau faktor lainnya sehingga tekanan tanah pasif yang menahan *sheet pile* berkurang. Skema pengurangan tanah pasif dapat dilihat pada Gambar 5.38. Pengurangan tanah pasif yang dimaksud adalah dihilangkannya area yang diarsir pada Gambar 5.38.



Gambar 5.38 Potongan Melintang Skema Pengurangan Tanah Pasif

Analisis faktor aman *sheet pile* diangkur pada kondisi terjadi pengurangan tanah pasif dilakukan dengan skema air sungai berada pada ketinggian 1,2 meter. Hal tersebut karena berdasarkan analisis diatas didapatkan bahwa saat kondisi muka air normal merupakan kondisi paling lemah atau kritis. Lereng dilakukan pemodelan dengan diberikan timbunan, beban perkerasan jalan, beban lalu lintas, beban gempa, dan pengurangan tanah pasif pada area yang diarsir pada Gambar 5.38. Pemodelan lereng pada Plaxis dapat dilihat pada Gambar 5.39 berikut.

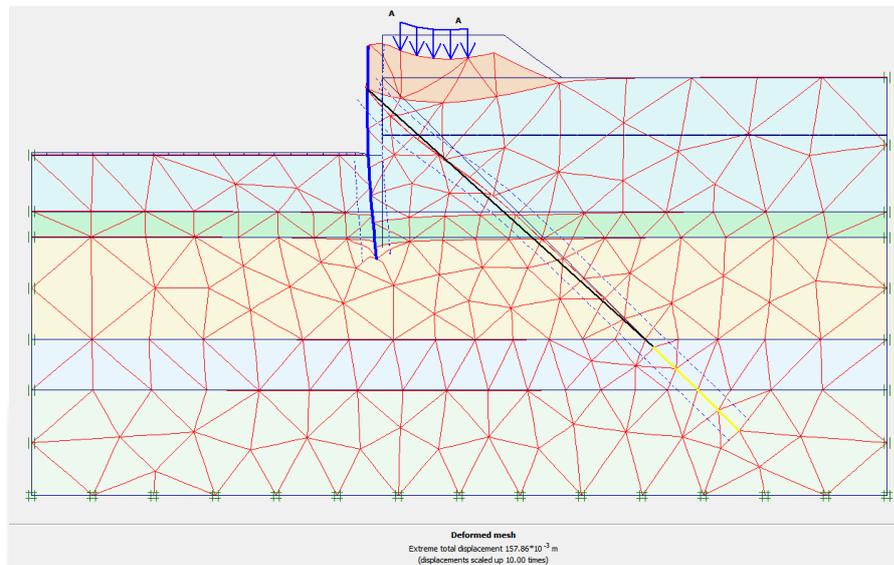


Gambar 5.39 Pemodelan *Sheet Pile* Diangkur Dengan Skema Pengurangan Tanah Pasif

Analisis dilakukan menggunakan program Plaxis secara dua dimensi untuk mengetahui angka keamanan lereng. Adapun hasil dari analisis lereng dengan perkuatan *sheet pile* pada skema pengurangan tanah pasif adalah sebagai berikut.

1. *Deformed Mesh*

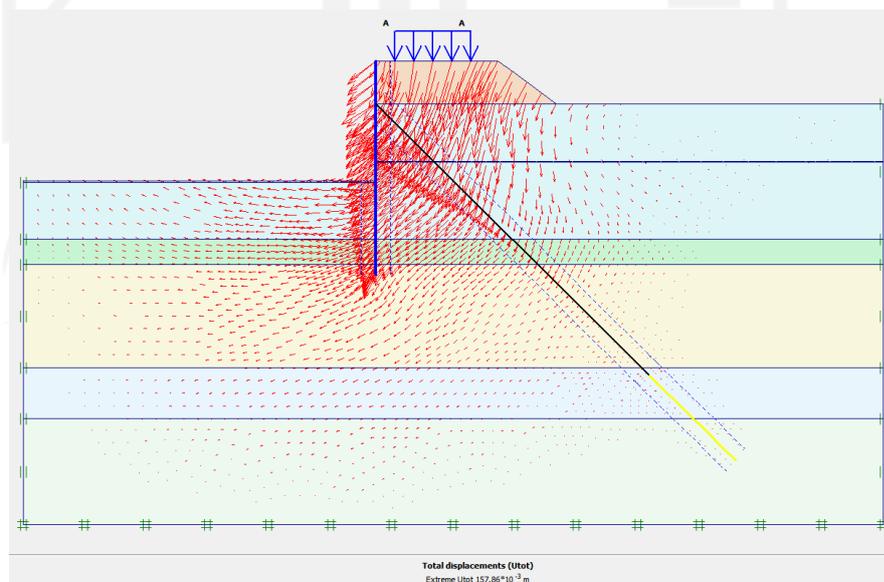
Analisis dilakukan dengan pembagian jaring-jaring elemen (*meshing*) jenis medium. Hasil dari *deformed mesh* terjadi setelah dilakukan perkuatan dan pemberian beban. *Deformed mesh* dilakukan dengan faktor skala sebesar 10. Adapun hasil dari *deformed mesh* dapat dilihat pada Gambar 5.40 berikut.



Gambar 5.40 Deformed Mesh Lereng Dengan Sheet Pile Diangkur Pada Skema Pengurangan Tanah Pasif

2. Arah *displacement*

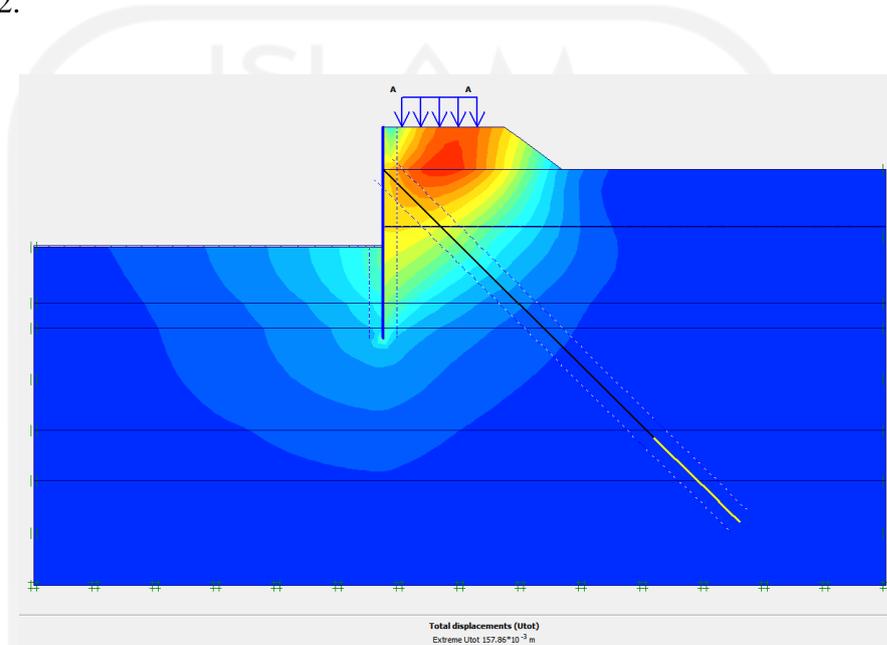
Berdasarkan analisis plaxis dapat dilihat arah pergerakan *displacement* lereng dengan perkuatan *sheet pile* yang diangkur. Gambar arah *displacement* lereng dengan perkuatan *sheet pile* diangkur pada skema pengurangan tanah pasif dapat dilihat pada Gambar 5.41.



Gambar 5.41 Arah Displacement Lereng Dengan Sheet Pile Diangkur Pada Skema Pengurangan Tanah Pasif

3. Area Displacement

Berdasarkan analisis didapatkan nilai total *displacement* sebesar 0,157 m atau sebesar 15,786 cm. Gambar *area displacement* lereng dengan perkuatan *sheet pile* diangkur pada skema pengurangan tanah pasif dapat dilihat pada Gambar 5.42.



Gambar 5.42 Area Displacement Lereng Dengan Sheet Pile Diangkur Pada Skema Pengurangan Tanah Pasif

4. Angka Keamanan

Nilai angka keamanan yang didapatkan dari hasil analisis menggunakan program *plaxis* sebesar 1,359 dapat dilihat pada Gambar 5.43. Nilai tersebut merupakan faktor aman yang terjadi setelah dilakukan pembebanan berupa timbunan, beban lalu lintas, beban perkerasan jalan, dan beban gempa. Berdasarkan SNI 8460-2017 lereng tersebut dinyatakan tidak aman dikarenakan nilai SF 1,359 lebih kecil dari persyaratan yaitu 1,5.

Incremental multipliers		Total multipliers	
Mdisp:	0.0000	Σ -Mdisp:	1.0000
MloadA:	0.0000	Σ -MloadA:	1.0000
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:	1.3585

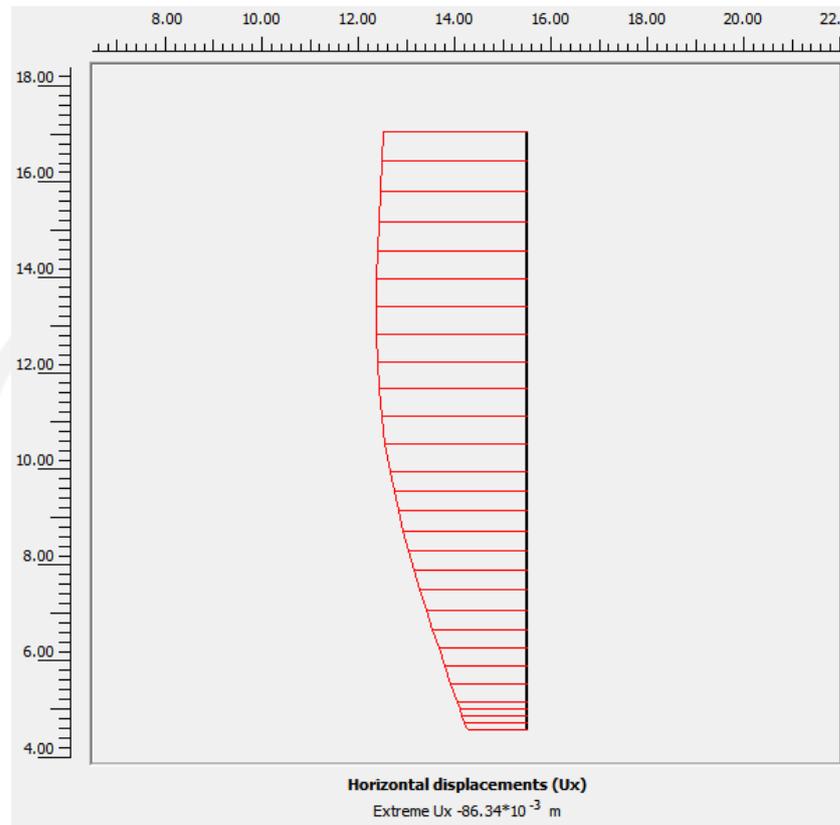
Gambar 5.43 Angka Aman Lereng Dengan Sheet Pile Diangkur Pada Skema Pengurangan Tanah Pasif

5. Defleksi pada *sheet pile*

Defleksi pada *sheet pile* ditinjau terhadap sumbu X atau secara horizontal. Defleksi ditinjau pada saat *sheet pile* terbebani oleh timbunan, beban lalu lintas, dan beban perkerasan jalan. Berdasarkan analisis Plaxis didapatkan defleksi terbesar adalah 0,0863 m atau 8,634 cm. Berdasarkan SNI 8460 (2017), mensyaratkan defleksi maksimum untuk dinding *embedded walls* sebagai batas toleransi adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{Defleksi maksimum} &= 0,5\% \times H \\
 &= 0,5\% \times 12\text{m} \\
 &= 0,06 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan didapatkan hasil defleksi maksimum sebagai batas toleransi adalah sebesar 0,06m. *Sheet pile* dianggap tidak memenuhi persyaratan karena nilai defleksi yang terjadi pada *sheet pile* lebih besar daripada yang disyaratkan ($0,0863 > 0,06$). Grafik defleksi pada *sheet pile* dapat dilihat pada Gambar 5.44 berikut.



Gambar 5.44 Defleksi Pada *Sheet Pile* Diangkur Dengan Skema Pengurangan Tanah Pasif

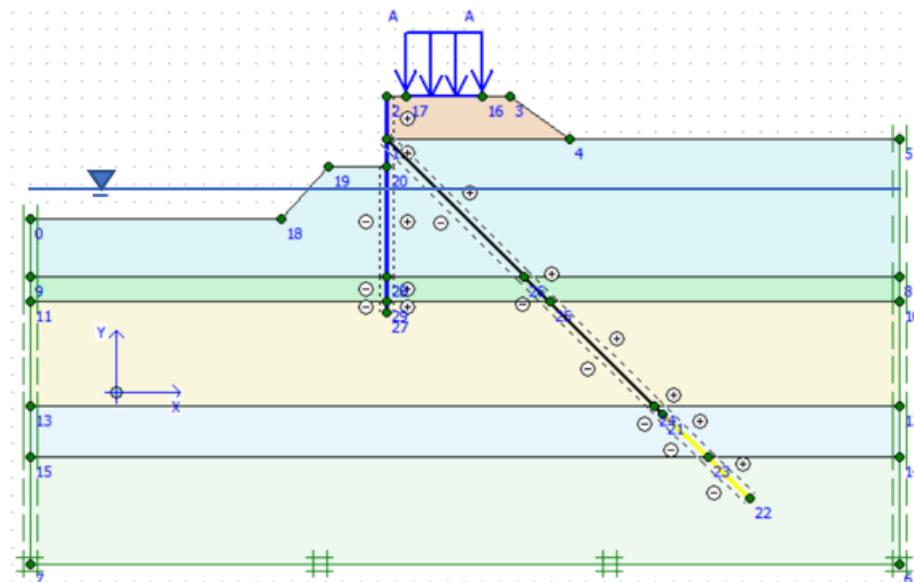
Setelah dilakukan analisis *sheet pile* diangkur dengan skema pengurangan tanah pasif untuk jangka pendek (*short term*) didapatkan bahwa nilai defleksi dan angka keamanan yang terjadi tidak memenuhi persyaratan. Akan tetapi, angka keamanan yang didapatkan sebesar 1,3 yang menunjukkan bahwa lereng belum longsor sehingga tidak terlalu membahayakan. Untuk alasan keamanan, tanah pasif di depan *sheet pile* dapat dipertahankan dengan cara diberi perlindungan seperti *geomembrane* atau dinding pasangan batu sehingga dapat terhindar dari erosi.

5.7 Analisis Sheet Pile Diangkur Untuk Jangka Panjang (*Long Term*)

Setelah dilakukan analisis lereng dengan perkuatan *sheet pile* diangkur untuk jangka pendek (*short term*), selanjutnya dilakukan analisis untuk jangka panjang. Analisis dilakukan untuk pengecekan apakah hasil analisis *sheet pile* diangkur sebelumnya aman untuk jangka panjang. Dalam analisis *sheet pile* ini digunakan parameter tanah *drained* atau jangka pendek (*long term*). Analisis *sheet pile* yang di angkur untuk jangka panjang (*long term*) adalah sebagai berikut.

5.7.1 Analisis Faktor Aman *Sheet pile* yang Diangkur pada Kondisi Air Normal

Analisis faktor aman *sheet pile* kondisi muka air normal dilakukan dengan skema air sungai berada pada ketinggian 1,2 meter dari dasar sungai. Lereng dilakukan pemodelan dengan diberikan timbunan, beban perkerasan jalan, beban lalu lintas, dan beban gempa yang diperkuat *sheet pile* setinggi 12 m yang diangkur. Pemodelan lereng pada Plaxis dapat dilihat pada Gambar 5.45 berikut.

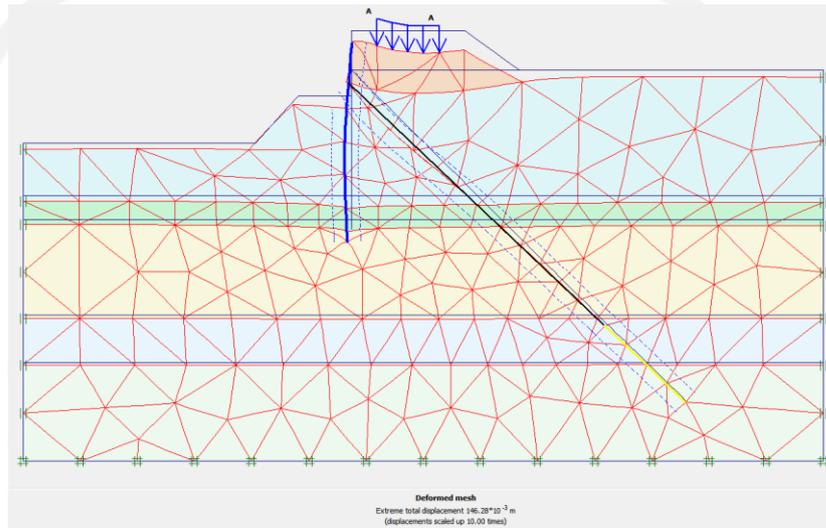


Gambar 5.45 Pemodelan *Sheet Pile* Diangkur Pada Kondisi Muka Air Normal

Analisis dilakukan menggunakan program Plaxis secara dua dimensi untuk mengetahui angka keamanan lereng. Adapun hasil dari analisis lereng dengan perkuatan *sheet pile* kondisi muka air normal dengan beban gempa adalah sebagai berikut.

1. *Deformed Mesh*

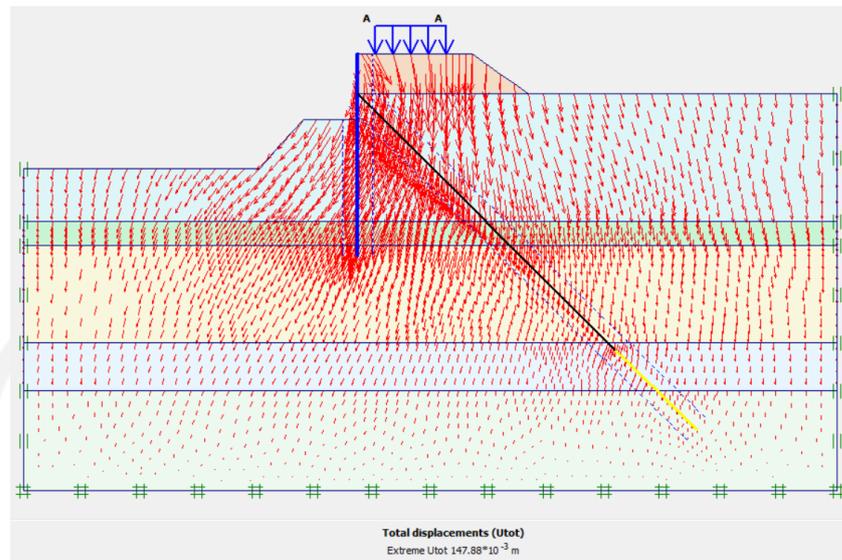
Analisis dilakukan dengan pembagian jaring-jaring elemen (*meshing*) jenis medium. Hasil dari *deformed mesh* terjadi setelah dilakukan perkuatan dan pemberian beban. *Deformed mesh* dilakukan dengan faktor skala sebesar 10. Adapun hasil dari *deformed mesh* dapat dilihat pada Gambar 5.46 berikut.



Gambar 5.46 *Deformed Mesh* Lereng Dengan *Sheet Pile* Diangkur Pada Kondisi Muka Air Normal

2. Arah *displacement*

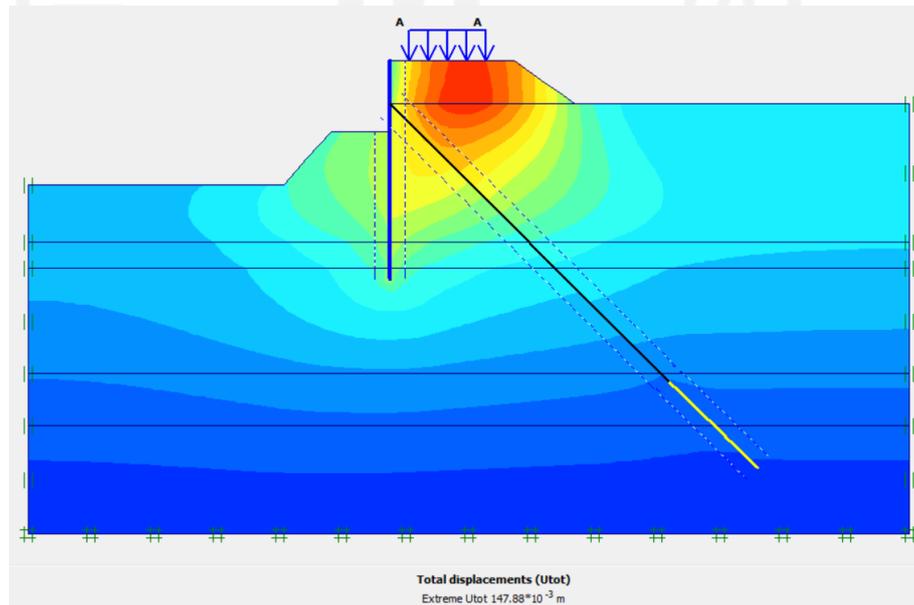
Berdasarkan analisis plaxis dapat dilihat arah pergerakan *displacement* lereng dengan perkuatan *sheet pile* yang diangkur. Gambar arah *displacement* lereng dengan perkuatan *sheet pile* pada kondisi muka air normal dapat dilihat pada Gambar 5.47.



Gambar 5.47 Arah *Displacement* Lereng Dengan *Sheet Pile* Diangkur Pada Kondisi Muka Air Normal

3. *Area Displacement*

Berdasarkan analisis didapatkan nilai total *displacement* sebesar 0,148 m atau sebesar 14,788 cm. Gambar *area displacement* lereng dengan perkuatan *sheet pile* pada kondisi muka air normal dapat dilihat pada Gambar 5.48.



Gambar 5.48 *Area Displacement* Lereng Dengan *Sheet Pile* Diangkur Pada Kondisi Muka Air Normal

4. Angka Keamanan

Nilai angka keamanan tanpa beban gempa yang didapatkan dari hasil analisis menggunakan program plaxis sebesar 1,728 dapat dilihat pada Gambar 5.49. Berdasarkan SNI 8460-2017 lereng tersebut dinyatakan aman dikarenakan nilai SF 1,728 lebih tinggi dari persyaratan yaitu 1,7. Sedangkan untuk nilai angka aman dengan beban gempa sebesar 1,393 dapat dilihat pada Gambar 5.50. Berdasarkan SNI 8460-2017 lereng tersebut dinyatakan aman dari gempa dikarenakan nilai SF lereng dengan beban gempa sebesar 1,393 lebih tinggi dari persyaratan yaitu 1,1.

Incremental multipliers		Total multipliers	
Mdisp:	0.0000	Σ -Mdisp:	1.0000
MloadA:	0.0000	Σ -MloadA:	1.0000
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:	1.7275

Gambar 5.49 Angka Aman *Sheet Pile* Diangkur Tanpa Beban Gempa Pada Kondisi Muka Air Normal

Incremental multipliers		Total multipliers	
Mdisp:	0.0000	Σ -Mdisp:	1.0000
MloadA:	0.0000	Σ -MloadA:	1.0000
MloadB:	0.0000	Σ -MloadB:	1.0000
Mweight:	0.0000	Σ -Mweight:	1.0000
Maccel:	0.0000	Σ -Maccel:	0.1870
Msf:	0.1000	Σ -Msf:	1.3930

Gambar 5.50 Angka Aman *Sheet Pile* Diangkur Dengan Beban Gempa Pada Kondisi Muka Air Normal

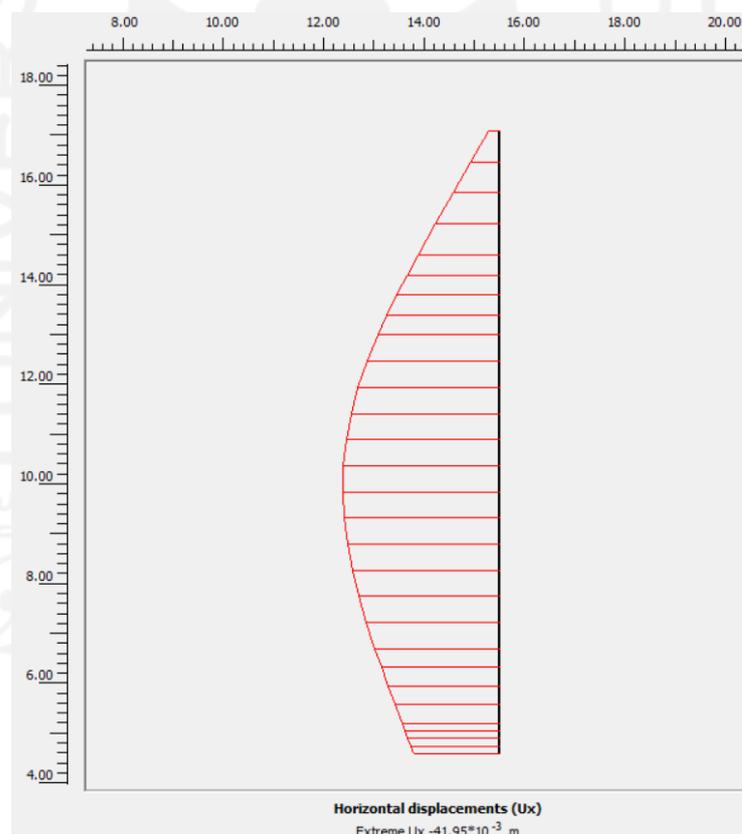
5. Defleksi pada *sheet pile*

Defleksi pada *sheet pile* ditinjau terhadap sumbu X atau secara horizontal. Defleksi ditinjau pada saat *sheet pile* terbebani oleh timbunan, beban lalu lintas,

dan beban perkerasan jalan. Berdasarkan analisis Plaxis didapatkan defleksi terbesar adalah 0,042 m atau 4,195 cm. Berdasarkan SNI 8460 (2017), mensyaratkan defleksi maksimum untuk dinding *embedded walls* sebagai batas toleransi adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Defleksi maksimum} &= 0,5\% \times H \\ &= 0,5\% \times 12\text{m} \\ &= 0,06 \text{ m} \end{aligned}$$

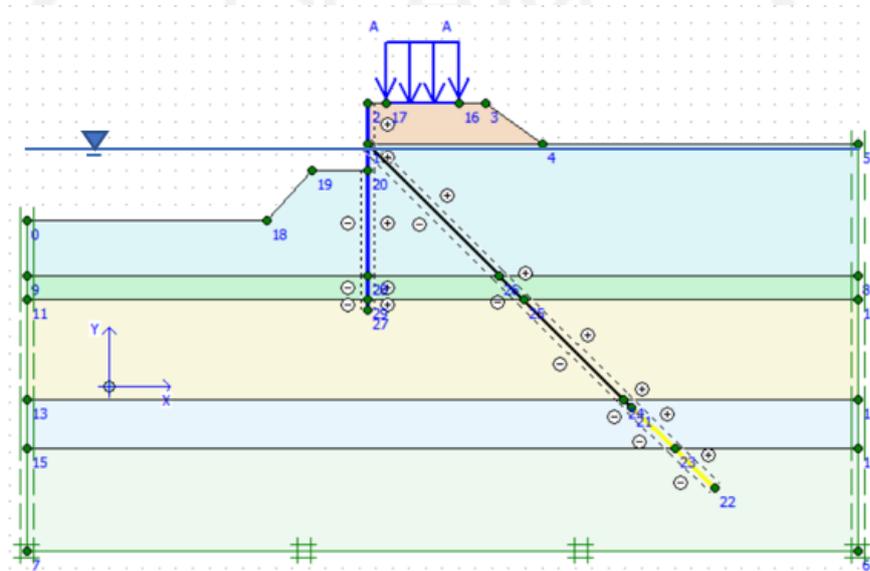
Berdasarkan perhitungan didapatkan hasil defleksi maksimum sebagai batas toleransi adalah sebesar 0,06m. *Sheet pile* dianggap memenuhi persyaratan karena nilai defleksi yang terjadi pada *sheet pile* lebih kecil daripada yang disyaratkan ($0,042 < 0,06$). Grafik defleksi pada *sheet pile* dapat dilihat pada Gambar 5.51 berikut.



Gambar 5.51 Defleksi Pada *Sheet Pile* Dengan Angkur kondisi Muka Air Normal

5.7.2 Analisis Faktor Aman *Sheet pile* yang Diangkur pada Kondisi Air Banjir

Analisis faktor aman *sheet pile* kondisi muka air normal dilakukan dengan skema air sungai berada pada ketinggian 4,4 meter dari dasar sungai. Lereng dilakukan pemodelan dengan diberikan timbunan, beban perkerasan jalan, beban lalu lintas, dan beban gempa yang diperkuat *sheet pile* setinggi 12 m yang diangkur. Pemodelan lereng pada Plaxis dapat dilihat pada Gambar 5.52 berikut.

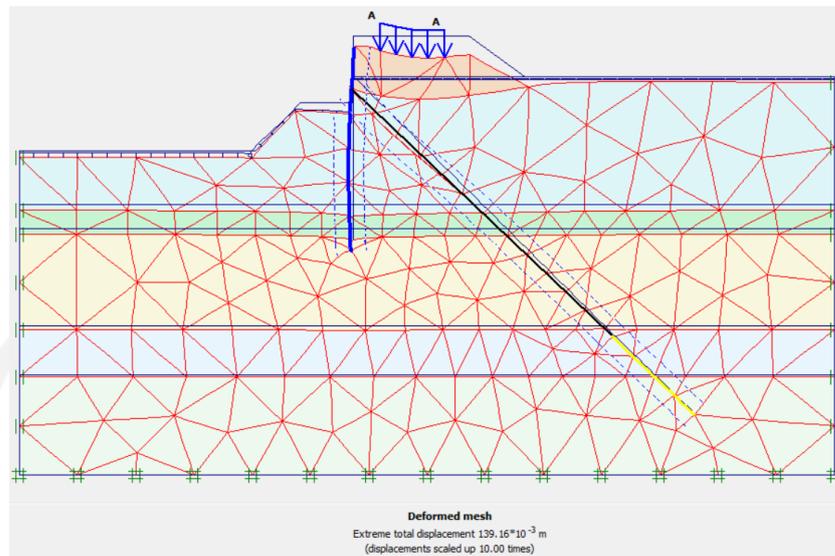


Gambar 5.52 Pemodelan *Sheet Pile* Diangkur Pada Kondisi Muka Air Banjir

Analisis dilakukan menggunakan program Plaxis secara dua dimensi untuk mengetahui angka keamanan lereng. Adapun hasil dari analisis lereng dengan perkuatan *sheet pile* kondisi muka air normal dengan beban gempa adalah sebagai berikut.

1. *Deformed Mesh*

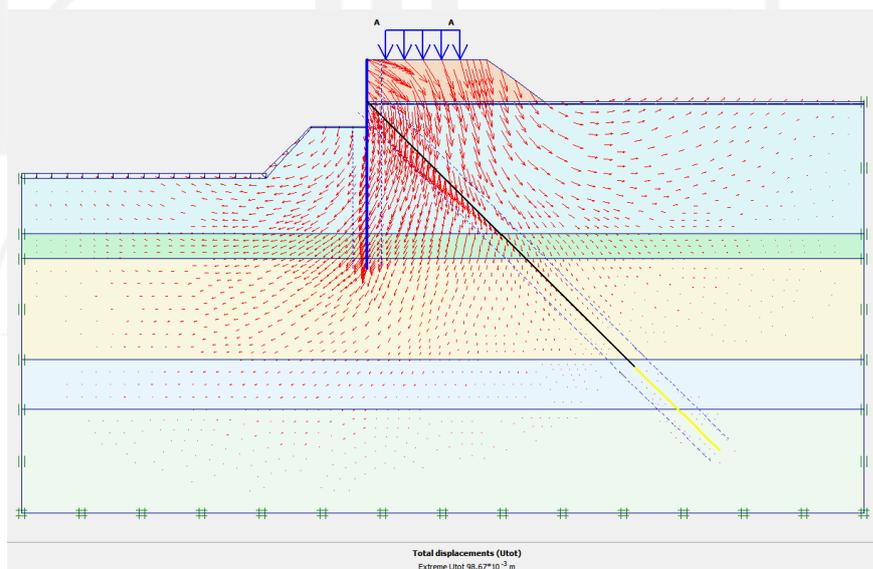
Analisis dilakukan dengan pembagian jaring-jaring elemen (*meshing*) jenis medium. Hasil dari *deformed mesh* terjadi setelah dilakukan perkuatan dan pemberian beban. *Deformed mesh* dilakukan dengan faktor skala sebesar 10. Adapun hasil dari *deformed mesh* dapat dilihat pada Gambar 5.53 berikut.



Gambar 5.53 Deformed Mesh Lereng Dengan Sheet Pile Diangkur Pada Kondisi Muka Air Banjir

2. Arah displacement

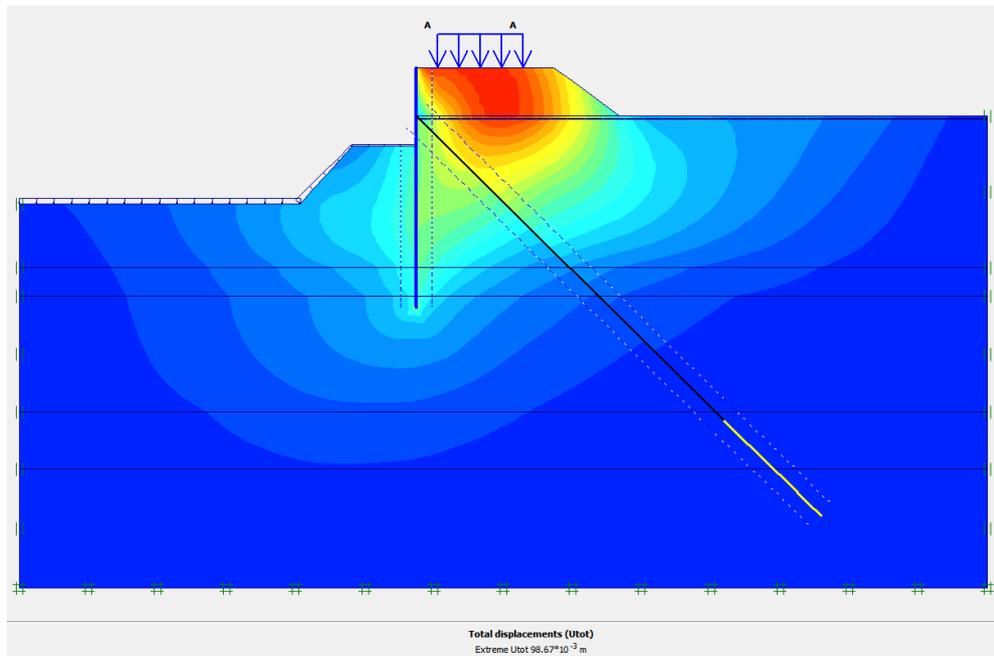
Berdasarkan analisis plaxis dapat dilihat arah pergerakan displacement lereng dengan perkuatan sheet pile yang diangkur. Gambar arah displacement lereng dengan perkuatan sheet pile pada kondisi muka air normal dapat dilihat pada Gambar 5.54.



Gambar 5.54 Arah Displacement Lereng Dengan Sheet Pile Diangkur Pada Kondisi Muka Air Banjir

3. Area Displacement

Berdasarkan analisis didapatkan nilai total *displacement* sebesar 0,0987 m atau sebesar 9,867 cm. Gambar area *displacement* lereng dengan perkuatan *sheet pile* pada kondisi muka air normal dapat dilihat pada Gambar 5.55



Gambar 5.55 Area Displacement Lereng Dengan Sheet Pile Diangkur Pada Kondisi Muka Air Banjir

4. Angka Keamanan

Nilai angka keamanan yang didapatkan dari hasil analisis menggunakan program plaxis sebesar 1,723 dapat dilihat pada Gambar 5.56. Nilai tersebut merupakan faktor aman yang terjadi setelah dilakukan pembebanan berupa timbunan, beban lalu lintas, beban perkerasan jalan, dan beban gempa. Berdasarkan SNI 8460-2017 lereng tersebut dinyatakan aman dikarenakan nilai SF 1,723 lebih tinggi dari persyaratan yaitu 1,5.

Incremental multipliers		Total multipliers	
Mdisp:	0.0000	Σ -Mdisp:	1.0000
MloadA:	0.0000	Σ -MloadA:	1.0000
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:	1.7231

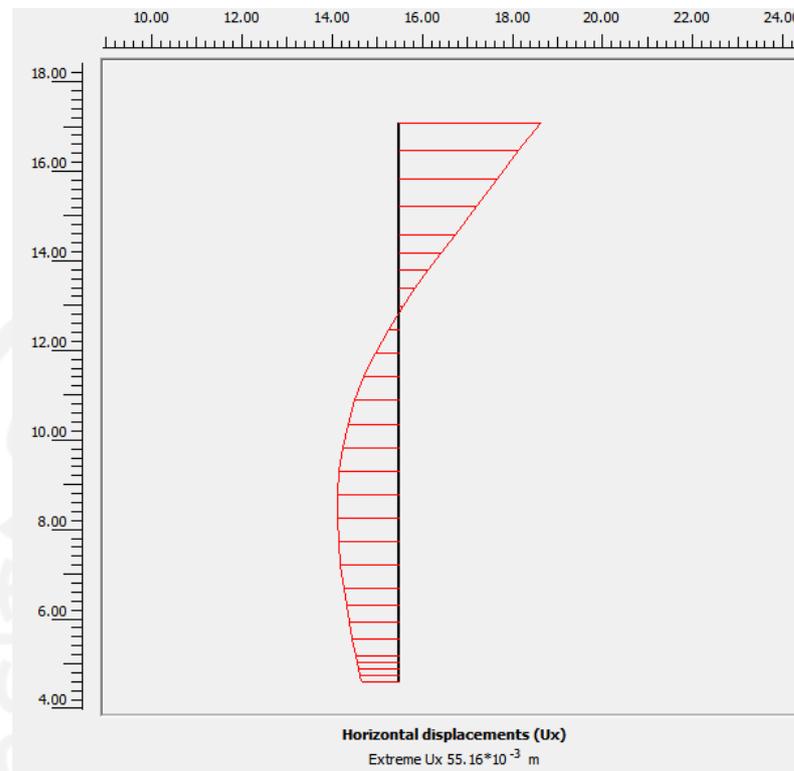
Gambar 5.56 Angka Aman Lereng Dengan Sheet Pile Diangkur Pada Kondisi Muka Air Banjir

5. Defleksi pada *sheet pile*

Defleksi pada *sheet pile* ditinjau terhadap sumbu X atau secara horizontal. Defleksi ditinjau pada saat *sheet pile* terbebani oleh timbunan, beban lalu lintas, beban perkerasan jalan, dan beban gempa. Berdasarkan analisis Plaxis didapatkan defleksi terbesar adalah 0,0552 m atau 5,516 cm. Berdasarkan SNI 8460 (2017), mensyaratkan defleksi maksimum untuk dinding *embedded walls* sebagai batas toleransi adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{Defleksi maksimum} &= 0,5\% \times H \\
 &= 0,5\% \times 12\text{m} \\
 &= 0,06 \text{ m}
 \end{aligned}$$

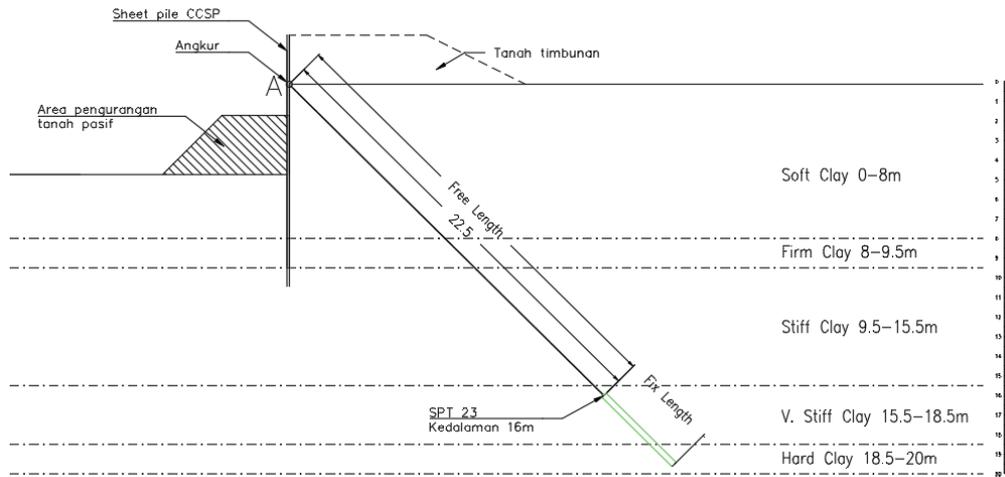
Berdasarkan perhitungan didapatkan hasil defleksi maksimum sebagai batas toleransi adalah sebesar 0,06m. *Sheet pile* dianggap memenuhi persyaratan karena nilai defleksi yang terjadi pada *sheet pile* lebih kecil daripada yang disyaratkan ($0,0552 < 0,06$). Grafik defleksi pada *sheet pile* dapat dilihat pada Gambar 5.57 berikut.



Gambar 5.57 Defleksi Pada Sheet Pile Dengan Angkur kondisi Muka Air Banjir

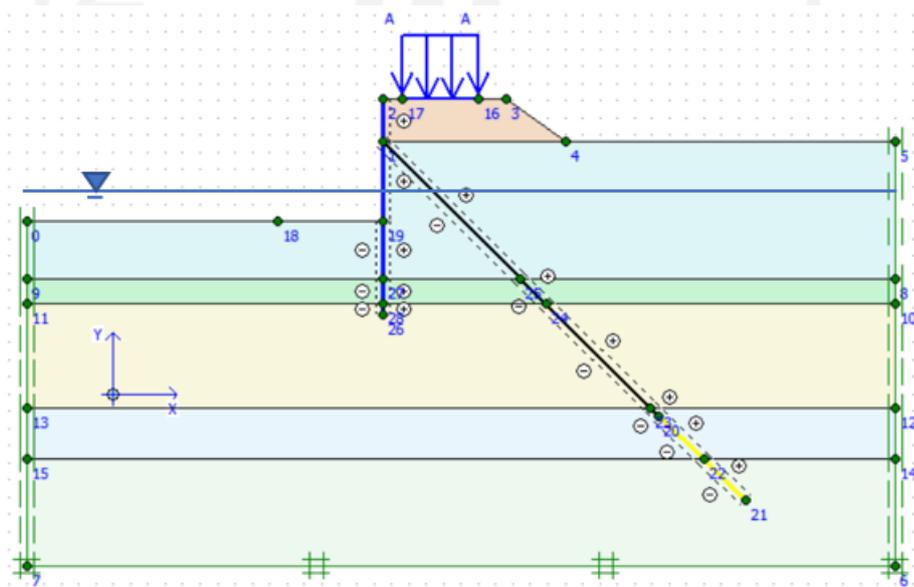
5.7.3 Analisis Faktor Aman Sheet pile yang Diangkur Apabila Terjadi Pengurangan Tanah Pasif

Analisis *sheet pile* yang diangkur dengan pengurangan tanah pasif dilakukan untuk meninjau *sheet pile* pada kondisi terburuk. Pengurangan tanah pasif dikhawatirkan dapat terjadi apabila lereng didepan *sheet pile* tergerus oleh air atau faktor lainnya sehingga tekanan tanah pasif yang menahan *sheet pile* berkurang. Skema pengurangan tanah pasif dapat dilihat pada Gambar 5.58. Pengurangan tanah pasif yang dimaksud adalah dihilangkannya area yang diarsir pada Gambar 5.58.



Gambar 5.58 Potongan Melintang Skema Pengurangan Tanah Pasif

Analisis faktor aman *sheet pile* diangkur pada kondisi terjadi pengurangan tanah pasif dilakukan dengan skema air sungai berada pada ketinggian 1,2 meter. Hal tersebut karena berdasarkan analisis diatas didapatkan bahwa saat kondisi muka air normal merupakan kondisi paling lemah atau kritis. Lereng dilakukan pemodelan dengan diberikan timbunan, beban perkerasan jalan, beban lalu lintas, beban gempa, dan pengurangan tanah pasif pada area yang diarsir pada Gambar 5.58. Pemodelan lereng pada Plaxis dapat dilihat pada Gambar 5.59 berikut.

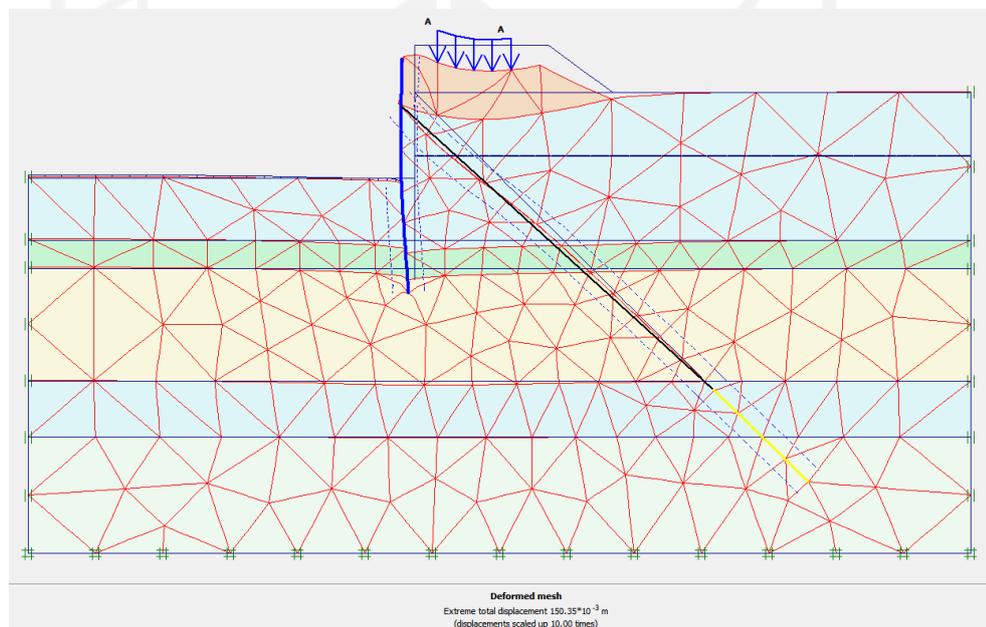


Gambar 5.59 Pemodelan *Sheet Pile* Diangkur Dengan Skema Pengurangan Tanah Pasif

Analisis dilakukan menggunakan program Plaxis secara dua dimensi untuk mengetahui angka keamanan lereng. Adapun hasil dari analisis lereng dengan perkuatan *sheet pile* pada skema pengurangan tanah pasif adalah sebagai berikut.

1. *Deformed Mesh*

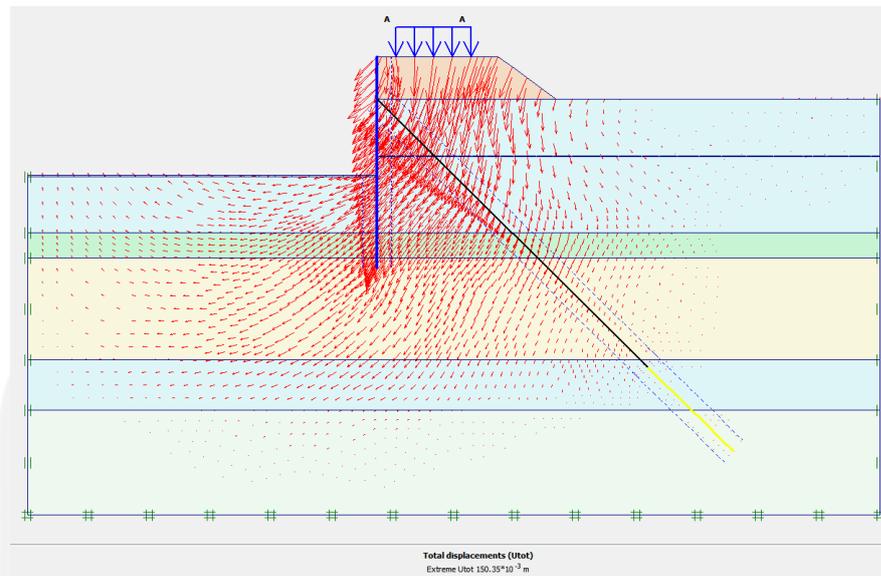
Analisis dilakukan dengan pembagian jaring-jaring elemen (*meshing*) jenis medium. Hasil dari *deformed mesh* terjadi setelah dilakukan perkuatan dan pemberian beban. *Deformed mesh* dilakukan dengan faktor skala sebesar 10. Adapun hasil dari *deformed mesh* dapat dilihat pada Gambar 5.60 berikut.



Gambar 5.60 *Deformed Mesh* Lereng Dengan *Sheet Pile* Diangkur Pada Skema Pengurangan Tanah Pasif

2. *Arah displacement*

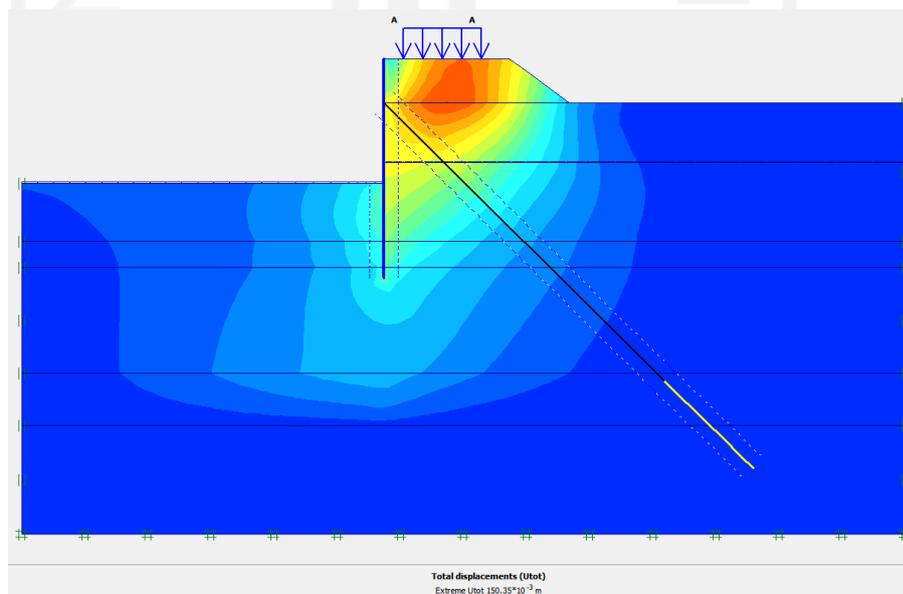
Berdasarkan analisis plaxis dapat dilihat arah pergerakan *displacement* lereng dengan perkuatan *sheet pile* yang diangkur. Gambar arah *displacement* lereng dengan perkuatan *sheet pile* diangkur pada skema pengurangan tanah pasif dapat dilihat pada Gambar 5.61.



Gambar 5.61 Arah Displacement Lereng Dengan Sheet Pile Diangkur Pada Skema Pengurangan Tanah Pasif

3. *Area Displacement*

Berdasarkan analisis didapatkan nilai total *displacement* sebesar 0,157 m atau sebesar 15,786 cm. Gambar *area displacement* lereng dengan perkuatan *sheet pile* diangkur pada skema pengurangan tanah pasif dapat dilihat pada Gambar 5.62.



Gambar 5.62 Area Displacement Lereng Dengan Sheet Pile Diangkur Pada Skema Pengurangan Tanah Pasif

4. Angka Keamanan

Nilai angka keamanan yang didapatkan dari hasil analisis menggunakan program plaxis sebesar 1,371 dapat dilihat pada Gambar 5.63. Nilai tersebut merupakan faktor aman yang terjadi setelah dilakukan pembebanan berupa timbunan, beban lalu lintas, beban perkerasan jalan, dan beban gempa. Berdasarkan SNI 8460-2017 lereng tersebut dinyatakan tidak aman dikarenakan nilai SF 1,371 lebih kecil dari persyaratan yaitu 1,5.

Incremental multipliers		Total multipliers	
Mdisp:	0.0000	Σ -Mdisp:	1.0000
MloadA:	0.0000	Σ -MloadA:	1.0000
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:	1.3705

Gambar 5.63 Angka Aman Lereng Dengan Sheet Pile Diangkur Pada Kondisi Pengurangan Tanah Pasif

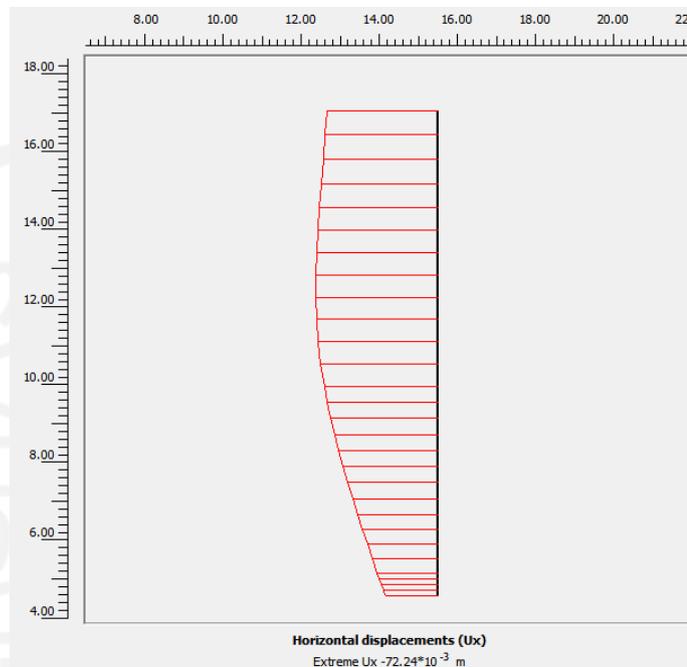
5. Defleksi pada *sheet pile*

Defleksi pada *sheet pile* ditinjau terhadap sumbu X atau secara horizontal. Defleksi ditinjau pada saat *sheet pile* terbebani oleh timbunan, beban lalu lintas, beban perkerasan jalan, dan beban gempa. Berdasarkan analisis Plaxis didapatkan defleksi terbesar adalah 0,0722 m atau 7,224 cm. Berdasarkan SNI 8460 (2017), mensyaratkan defleksi maksimum untuk dinding *embedded walls* sebagai batas toleransi adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{Defleksi maksimum} &= 0,5\% \times H \\
 &= 0,5\% \times 12\text{m} \\
 &= 0,06 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan didapatkan hasil defleksi maksimum sebagai batas toleransi adalah sebesar 0,06m. *Sheet pile* dianggap tidak memenuhi persyaratan karena nilai defleksi yang terjadi pada *sheet pile* lebih besar

daripada yang disyaratkan ($0,0722 > 0,06$). Grafik defleksi pada *sheet pile* dapat dilihat pada Gambar 5.64 berikut.



Gambar 5.64 Defleksi Pada Sheet Pile Diangkur Dengan Skema Pengurangan Tanah Pasif

Setelah dilakukan analisis *sheet pile* diangkur dengan skema pengurangan tanah pasif untuk jangka panjang (*long term*) didapatkan bahwa nilai defleksi dan angka keamanan yang terjadi tidak memenuhi persyaratan. Akan tetapi, angka keamanan yang didapatkan sebesar 1,37 yang menunjukkan bahwa lereng belum longsor sehingga tidak terlalu membahayakan. Untuk alasan keamanan, tanah pasif di depan *sheet pile* dapat dipertahankan dengan cara diberi perlindungan seperti *geomembrane* atau dinding pasangan batu sehingga dapat terhindar dari erosi.

5.8 Rekapitulasi Hasil Analisis

Rekapitulasi hasil analisis dapat dilihat pada tabel 5.25 berikut.

Tabel 5.25 Rekapitulasi Angka Aman dan Defleksi Atau *Displacement*

No	Keterangan	Kondisi	Angka aman (SF)	Persyaratan angka aman	Kesimpulan Angka Aman	Defleksi atau <i>Displacement</i>	Persyaratan Defleksi	Kesimpulan Defleksi atau <i>Displacement</i>	Jenis Perkuatan
1	Lereng tanpa perkuatan <i>sheet pile</i>	Elevasi muka air normal	1,001	$\geq 1,5$	Tidak memenuhi persyaratan	10,66 m	-	Tidak aman	-
2	<i>Sheet pile</i> tanpa angkur	Elevasi muka air normal	1,915	$\geq 1,5$	Memenuhi persyaratan	0,188 m	$\leq 0,08$ m	Tidak memenuhi persyaratan	CPC W-600 Class B
3	<i>Sheet pile</i> diangkur dengan skema jangka pendek (<i>short term</i>)	Elevasi muka air normal	1,521	$\geq 1,5$	Memenuhi persyaratan	0,0437 m	$\leq 0,06$ m	Memenuhi persyaratan	CPC W-400 Class B
		Penambahan beban gempa	1,206	$\geq 1,1$	Memenuhi persyaratan	-	-	-	
		Elevasi muka air banjir	1,76	$\geq 1,5$	Memenuhi persyaratan	0,0339 m	$\leq 0,06$ m	Memenuhi persyaratan	
		Terjadi pengurangan tanah pasif	1,359	$\geq 1,5$	Tidak memenuhi persyaratan	0,0863 m	$\leq 0,06$ m	Tidak memenuhi persyaratan	

Lanjutan Tabel 5.25 Rekapitulasi Angka Aman dan Defleksi Atau *Displacement*

No	Keterangan	Kondisi	Angka aman (SF)	Persyaratan angka aman	Kesimpulan Angka Aman	Defleksi atau <i>Displacement</i>	Persyaratan Defleksi	Kesimpulan Defleksi atau <i>Displacement</i>	Jenis Perkuatan
4	<i>Sheet pile</i> diangkur dengan skema jangka panjang (<i>long term</i>)	Elevasi muka air normal	1,728	$\geq 1,5$	Memenuhi persyaratan	0,042 m	$\leq 0,06$ m	Memenuhi persyaratan	CPC W-400 Class B
		Penambahan beban gempa	1,393	$\geq 1,1$	Memenuhi persyaratan	-	-	-	
		Elevasi muka air banjir	1,723	$\geq 1,5$	Memenuhi persyaratan	0,0552 m	$\leq 0,06$ m	Memenuhi persyaratan	
		Terjadi pengurangan tanah pasif	1,371	$\geq 1,5$	Tidak memenuhi persyaratan	0,0722 m	$\leq 0,06$ m	Tidak memenuhi persyarat	

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisis dan pembahasan pada bab sebelumnya, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut.

1. Berdasarkan analisis lereng tanpa perkuatan didapatkan angka aman sebesar 1. *Displacement* arah X yang terjadi pada titik A sebesar 5,94 m dan titik B sebesar 3,949 m. *Displacement* arah Y yang terjadi pada titik A sebesar 5,939 m dan titik B sebesar 5,348 m. Berdasarkan angka aman yang lebih kecil dari persyaratan dan *displacement* yang terlalu besar maka lereng dianggap tidak aman sehingga diperlukan perkuatan.
2. Berdasarkan analisis menggunakan metode ujung bebas didapatkan panjang *sheet pile* tanpa ankur yang diperlukan adalah 16m dengan jenis *sheet pile* yang digunakan adalah CPC W-600 class B.
3. Berdasarkan analisis *sheet pile* tanpa diangkur didapatkan angka aman sebesar 1,915. Defleksi yang terjadi pada *sheet pile* tanpa ankur sebesar 0,188 m sehingga defleksi pada *sheet pile* tidak memenuhi persyaratan.
4. Berdasarkan analisis menggunakan metode ujung bebas didapatkan panjang *sheet pile* dengan ankur yang diperlukan adalah 12 m dengan jenis *sheet pile* yang digunakan adalah CPC W-400 class B. Panjang *Free Length* pada ankur yang diperlukan sebesar 22,5 m. Panjang *fix length* pada ankur yang diperlukan sebesar 7 m.
5. Berdasarkan analisis *sheet pile* yang diangkur dengan skema jangka pendek (*short term*) pada kondisi elevasi muka air normal didapatkan angka aman sebesar 1,584 dengan defleksi terbesar adalah 0,0438 m, pada kondisi elevasi muka air banjir didapatkan angka aman sebesar 1,748 dengan defleksi terbesar adalah 0,0374 m, pada kondisi pengurangan tanah pasif dengan skema jangka pendek (*short term*) didapatkan angka aman sebesar 1,359 dengan defleksi terbesar yang terjadi adalah 0,0863 m. Berdasarkan analisis Plaxis *sheet pile*

diangkur dengan skema jangka panjang (*Long term*) pada kondisi elevasi muka air normal didapatkan angka aman sebesar 1,726 dengan defleksi adalah 0,0401 m, pada kondisi elevasi muka air banjir didapatkan angka aman sebesar 1,723 dengan defleksi terbesar adalah 0,0374 m, pada kondisi pengurangan tanah pasif didapatkan angka aman sebesar 1,371 dengan defleksi terbesar adalah 0,0722 m. Berdasarkan hasil tersebut, *sheet pile* yang diangkur telah memenuhi semua persyaratan dan dinyatakan aman dengan catatan tidak terjadi pengurangan tanah pasif.

6.2 Saran

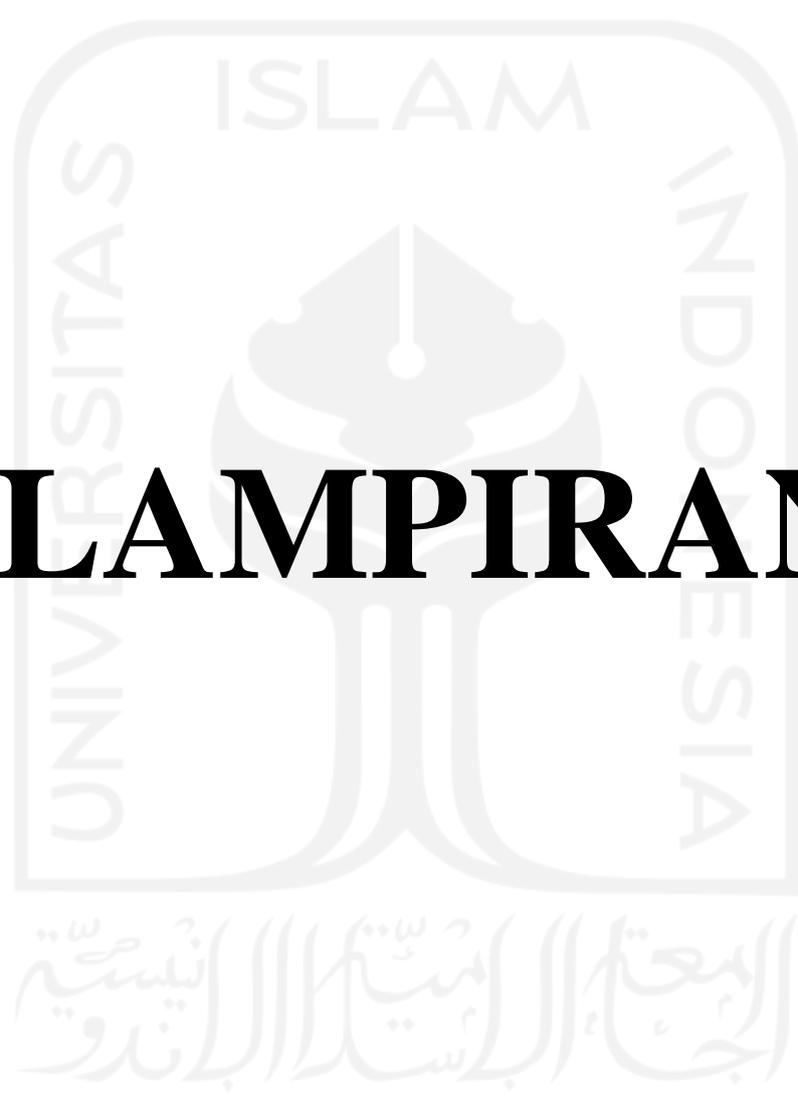
Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, berikut merupakan beberapa saran yang dapat digunakan untuk penelitian selanjutnya.

1. Pemodelan dan analisis lereng dapat dibandingkan menggunakan *software* geoteknik lainnya seperti Geoslope, dan STABB.
2. Perlu adanya penelitian analisis *sheet pile* pada kondisi setelah terjadi banjir.
3. Membandingkan dengan perkuatan tanah lainnya seperti dinding penahan tanah.
4. Dapat ditambahkan analisis dampak dari penurunan *sheet pile* karena gaya tarik angkur.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standardisasi Nasional. 2012. *Tata Cara Perancangan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*. SNI 1726:2012. Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. 2017. *Persyaratan Perancangan Geoteknik*. SNI 8460:2017. Jakarta.
- Brinkgreve, R.B.J. 2007. *Manual Plaxis (Indonesia)*. Delft University of Technology & Plaxis b.v. Belanda.
- Das, B.M dkk. 2016. *Correlations of Soil and Rock Properties in Geotechnical Engineering*. Springer. New Delhi.
- Das, B.M. 1995. *Principles of Geotechnical Engineering*, International Thomson Publishing.
- Diliaristanto, K. 2016. Pengaruh Kedalaman Sheet Pile dan kemiringan Tanah Diatas Sheet Pile pada Stabilitas Lereng. *Tugas Akhir*. Universitas Sebelas Maret. Surakarta.
- Ditjen Cipta Karya. 2021. Aplikasi Spektrum Respons Desain Indonesia. Kementerian PUPR. (<https://rsa.ciptakarya.pu.go.id/2021/>). Diakses 20 Januari 2023).
- Fitradi, N.I. 2019. Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Geotekstil Dan Turap Beton Menggunakan Program Plaxis. *Tugas Akhir*. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Hardiyatmo, H.C. 2018. *Mekanika Tanah II*. Edisi Keenam. Gajah Mada University Press. Yogyakarta.
- Hardiyatmo, H.C. 2020a. *Analisis dan perancangan Fondasi I*. Edisi Keempat. Gajah Mada University Press. Yogyakarta.
- Hardiyatmo, H.C. 2020b. *Analisis dan perancangan Fondasi II*. Edisi Kelima. Gajah Mada University Press. Yogyakarta.
- Hediyanto, R. 2018. Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Dinding Kantilever Dan Sheet pile Pada Bantaran Sungai Code. *Tugas Akhir*. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.

- Iskandar, B dan Nova, H.K.S. 2019. *Kondisi Daerah Aliran Sungai Ciliwung (Lokasi Studi: Jembatan Warung Jambu Kota Bogor - Jembatan Panus Kota Depok)*. Insitut Pertanian Bogor. Bogor.
- Kurniawan, D. 2019. Analisis Stabilitas Dinding Penahan Tanah Dan Sheet Pile Baja Pada Lereng Jalan Tol Balikpapan – Samarinda Sta 2+850 – 3+050. *Tugas Akhir*. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Lambe, T.W & Whitman, R.V. 1969. *Soil Mechanics*. John Willey and Son, Inc. New York.
- Look, B. 2007. *Handbook of Geotechnical Investigation and Design Tables*. Taylor & Francis Group. London.
- Nurtanti, E.Z. Analisis Perkuatan Tanah Dengan Menggunakan Dinding Penahan Tanah Beton Bertulang Dan Dinding Turap Baja Dengan Program Plaxis 8.6 Pada Sungai Pabelan. *Tugas Akhir*. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Ray, R. L. And De Smedt, F. 2009. *Slope stability Analysis on s Regional Scale using GIS: A Case Staudy from Dhading*. Environ Geol 57:1603-1611. Nepal.
- Suripin. 2004. *Sistem Drainase perkotaan yang Berkelanjutan*. Andi Offset. Yogyakarta.
- Terzaghi, K. 1950. *Mechanism of Land Slides*. Geol. Soc. Am., Eng. Geology, Berkey, Vol pp.83-123. Reprinted in From Theory to Practice in Soil Mechanics. New York.



LAMPIRAN

Lampiran 1 Data Pengujian Bor Log

DRILLING LOG					HOLE NO.	BH-4											
Project PENGENDALIAN BANJIR SUNGAI CILIWUNG RUAS CAWANG - RAWAJATI			Type of Drilling Continues Coring		Coordinates:												
Location Gang Ciliwung II Cawang - Jakarta Selatan			Driller Nursin			X											
Date 18 - 20 Januari 2022			Supervisor Lasimin			Y											
GWL 10.0 m					Z	16.980											
Depth	Sampling	Symbol	Soil Description	N1 (0-15CM)	N2 (15-30CM)	N3 (30-45CM)	N-SPT	SPT Curve	Soil Laboratory Results								
									γw t/m ³	Gs	W %	LL %	PL %	Type	C (kg/cm ²)	φ (°)	
0.0																	
0.5																	
1.0	SPT 1 1.00-1.45	CH	silty CLAY, high plasticity, brown, very soft to soft consistency	1	1	1	2										
1.5																	
2.0	UDS 1 2.00-2.50		same as above					1.63	2.66	55.42	84.18	34.10	UU	0.16	2.80		
2.5	SPT 2 2.50-2.95		grades soft to medium stiff consistency	1	1	3	4										
3.0																	
3.5																	
4.0	SPT 3 4.00-4.45		grades soft consistency	1	1	2	3										
4.5																	
5.0	UDS 2 5.00-5.50		same as above					1.64	2.66	51.17	90.4	36.10	UU	0.17	3		
5.5	SPT 4 5.50-5.88		grades medium stiff consistency	1	2	3	5										
6.0																	
6.5																	
7.0	SPT 5 7.00-7.45	CL	grades sandy CLAY, gray, low to medium plasticity, soft to medium stiff consistency	1	2	2	4										
7.5																	
8.0																	
8.5	SPT 6 8.50-8.95	CH	silty CLAY, medium plasticity, gray, medium stiff consistency	4	4	5	9										
9.0																	
9.5																	
10.0	SPT 7 10.00-10.45		grades silty CLAY, gray, low to medium plasticity, stiff consistency	4	4	6	10										
10.5																	
11.0																	
11.5	SPT 8 11.50-11.95		same as above	6	7	8	15										
12.0																	
12.5	UDS 3 12.50-13.00		same as above					1.69	2.68	30.72	43.21	22.77	UU	0.48	5.5		
13.0	SPT 9 13.00-13.45		grades stiff consistency	6	7	8	15										
13.5																	
14.0																	
14.5	SPT 10 14.50-14.95		grades stiff consistency	3	4	6	10										
15.0																	
15.5																	
16.0	SPT 11 16.00-16.45	CL	grades sandy CLAY, gray, low to medium plasticity, very stiff consistency	8	10	13	23										
16.5																	
17.0																	
17.5	SPT 12 17.50-17.95		same as above	8	9	12	21										
18.0																	
18.5																	
19.0	SPT 13 19.00-19.45	MH	clayey SILT trace sand, gray, low plasticity, hard consistency	9	15	26	41										
19.5			Drilling stopped at 20.0m depth														
20.0	SPT 14 20.00-20.45		same as above	9	18	29	47										

Remarks :  UDS (Undisturbed Sample)
 SPT Sample

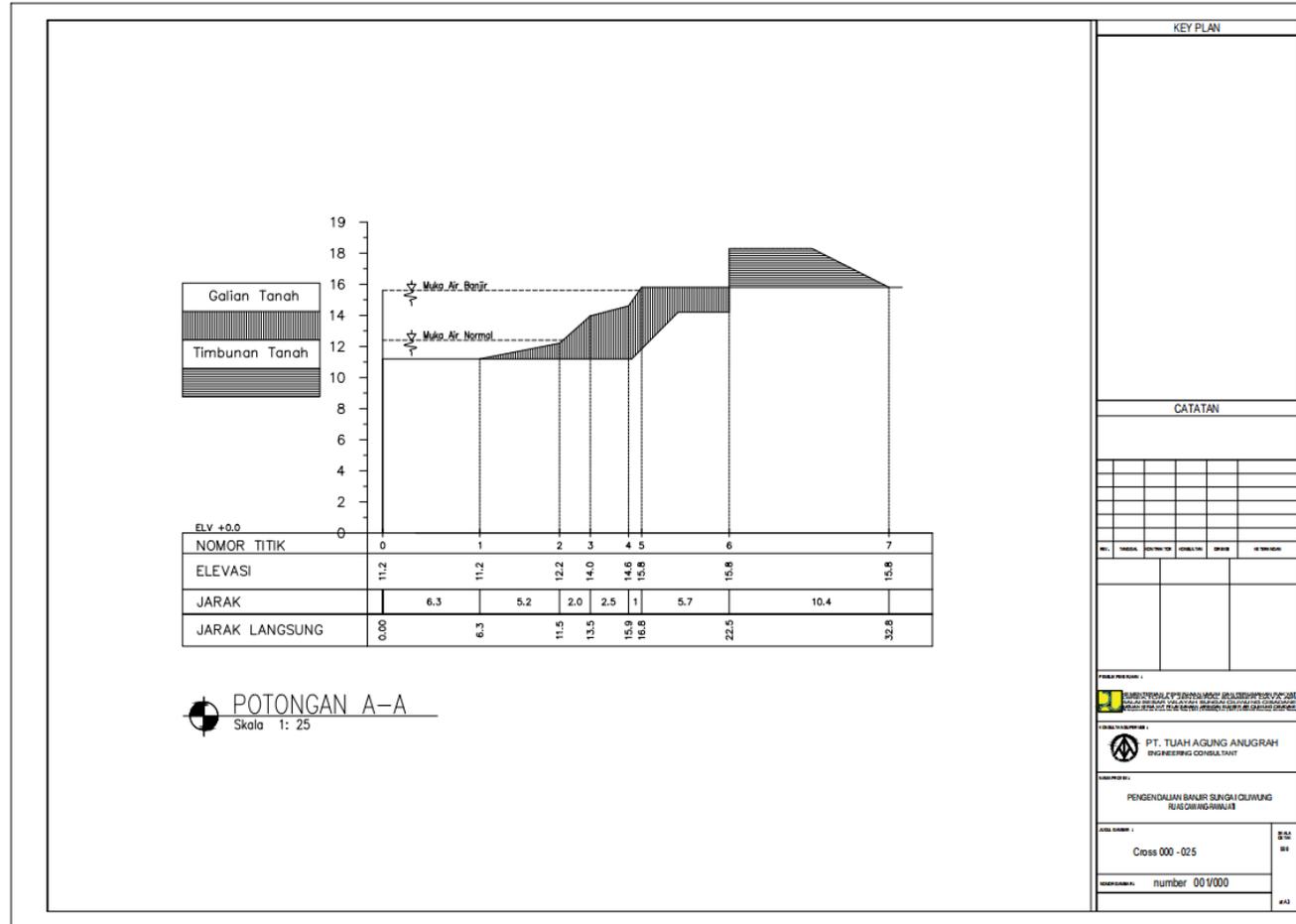
Lampiran 2 Data Hasil Pengujian Laboratorium Tanah Eksisting

	Project	PENGENDALIAN BANJIR SUNGAI CILIWUNG RUAS CAWANG - RAWAJATI			
	Tested By	TEAM			
	Checked By	KHK			
SUMMARY OF LABORATORY TEST RESULTS					
Location : GANG CILIWUNG II CAWANG-JAKARTA SELATAN					
Bore Hole No		BH-4			
Depth	meter	2.00-2.50	5.00-5.50	12.50-13.00	
Sample Type		UDS1	UDS2	UDS3	
A. NATURAL WATER CONTENT, DENSITY, AND SPECIFIC GRAVITY TEST					
Specific Gravity		2.66	2.66	2.68	
Natural Water Content	%	20.51	21.80	24.19	
Wet density	gr/cm ³	1.63	1.64	1.69	
Bulk Density	gr/cm ³	1.05	1.09	1.45	
Dry Density	gr/cm ³	0.99	1.03	1.22	
Void ratio		1.69	1.59	1.20	
Porosity		0.63	0.61	0.54	
Degree of saturation	%	32.32	36.62	54.16	
B. ATTERBERG LIMIT TEST					
Liquid Limits (LL)	%	84.18	90.14	43.21	
Plastic Limits (PL)	%	34.10	36.10	22.77	
Plasticity Index (PI)	%	50.04	54.03	20.44	
C. GRAIN SIZE DISTRIBUTION TEST					
Gravel	%	0.00	0.00	0.00	
Sand	%	3.40	2.20	1.20	
Silt	%	40.60	41.80	48.80	
Clay	%	56.00	56.00	50.00	
Soil Classification (USC)		CH	CH	CL	
D. TRIAXIAL UU TEST					
Cohesion (c)	kg/cm ²	0.16	0.17	0.48	
Friction Angle (φ)	°	2.80	3.00	5.50	
E. DIRECT SHEAR TEST					
Cohesion (c)	kg/cm ²				
Friction Angle (φ)	°				
F. CONSOLIDATION TEST					
Effective overburden pressure, Po	kg/cm ²	0.37	0.86	1.85	
Preconsolidation Pressure, Pc	kg/cm ²	0.45	0.85	1.70	
Over consolidation ratio, OCR		1.23	0.99	0.92	
Compression ratio, Cc		0.57	0.72	0.63	
Recompression ratio, Cr		0.075	0.058	0.040	
Coeff. of consolidation, Cv	cm ² /sec	0.00209	0.00216	0.00189	
Vol. Compressibility, mv	cm ² /kg	0.105	0.065	0.033	

Lampiran 3 Data Hasil Pengujian Laboratorium Tanah Timbunan

	Project	PENGENDALIAN BANJIR SUNGAI CILIWUNG RUAS CAWANG - RAWAJATI	
		Tested By	TEAM
		Checked By	KHK
SUMMARY OF LABORATORY TEST RESULTS			
Sample Name	Tanah Timbunan		
Soil Classification (USC)	ML (Silt Low Plasticity)		
Location	Tanah Timbunan ex Bogor		
A. STANDARD PROCTOR			
Specific Gravity			2.68
Optimum Moisture Content	%		25.01
Bulk density	gr/cm ³		1.60
Dry Density	gr/cm ³		1.28
Wet density	gr/cm ³		1.80
Porosity			0.52
B. ATTERBERG LIMIT TEST			
Liquid Limits (LL)	%		46.12
Plastic Limits (PL)	%		23.21
Plasticity Index (PI)	%		22.91
C. TRIAXIAL UU TEST			
Cohesion (c)	kg/cm ²		
Friction Angle (φ)	°		
D. DIRECT SHEAR TEST			
Cohesion (c)	kg/cm ²		0.82
Friction Angle (φ)	°		35.00

Lampiran 4 Potongan Melintang Lereng



Lampiran 5 Spesifikasi Sheet Pile PT Wijaya Karya Beton

PC SHEET PILES

DESCRIPTION

Type of Sheet Piles
 CPC Sheet Piles : Corrugated Prestressed Concrete Sheet Piles
 FPC Sheet Piles : Flat Prestressed Concrete Sheet Piles
 FRC Sheet Piles : Flat Reinforced Concrete Sheet Piles

Method of Installation
 Dynamic Pile Driving :
 1. Vibro Hammer (corrugated type) + Water Jet (special requirement)
 2. Diesel Hammer (flat type)

DESIGN & MANUFACTURING REFERENCE

Design	JIS A 5326 - 1988 JIS A 5325 - 1981 SNI 2847 - 2013	Prestressed Concrete Sheet Piles Reinforced Concrete Sheet Piles Indonesian Standard Code for Concrete
Manufacturing	JIS A 5326 - 1988 JIS A 5325 - 1981 WB - PCP - PS - 08	Prestressed Concrete Sheet Piles Reinforced Concrete Sheet Piles Production Manufacturing Procedure

PRODUCT SHAPE & SPECIFICATION | CORRUGATED PRESTRESSED CONCRETE SHEET PILES

CPC SHEET PILES SPECIFICATION

Concrete Compressive Strength $f_c' = 62 \text{ MPa}$ (Cube 700 kg/cm²)

Type	Width (mm)	Cross Section (cm ²)	Section Inertia (cm ⁴)	Unit Weight (kg/m)	Class	Moment (ton.m)		Allow. Service Moment (ton.m)		Length* (m)
						Crack	Break	Temporary	Permanent	
W-325	996	1,315	134,264	329	A	11.40	22.80	10.07	6.74	8 - 15
					B	13.30	26.60	11.97	8.64	8 - 16
W-350	996	1,468	169,432	368	A	15.60	31.20	14.04	10.14	9 - 17
					B	17.00	34.00	15.44	11.54	10 - 18
W-400	996	1,598	248,691	400	A	20.10	40.20	18.10	13.08	10 - 18
					B	23.40	46.80	21.40	16.38	11 - 20
W-450	996	1,835	353,363	459	A	26.90	53.80	24.37	18.04	11 - 20
					B	30.70	61.40	28.17	21.84	12 - 21
W-500	996	1,818	462,373	455	A	35.20	70.40	32.22	24.76	12 - 22
					B	40.40	80.80	37.42	29.96	13 - 24
W-600	996	2,078	765,907	520	A	50.60	101.20	46.48	36.19	14 - 25
					B	59.60	119.20	55.48	45.19	15 - 27

Note: * Length of Concrete Corrugated Sheet Piles may exceed usual standard whenever lifted in certain position

October - 2017

PC SHEET PILES