

**TUGAS AKHIR**

**ANALISIS STABILITAS LERENG DENGAN  
PERKUATAN *SOIL NAILING* MENGGUNAKAN  
PROGRAM *PLAXIS 2D V20***

**(Studi Kasus : Tebing Cibereum, Kabupaten Cianjur)  
(*ANALYSIS OF SLOPE STABILITY WITH SOIL  
NAILING USING PLAXIS 2D V20 PROGRAM*)  
(*Case Study Cibereum Cliff, Cianjur Regency*)**

**Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Yogyakarta Untuk Memenuhi  
Persyaratan Mem peroleh Derajat Sarjana Strata Satu (S1) Teknik Sipil**



**Azmi Afa Iftikhar  
20511093**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA  
2024**

## TUGAS AKHIR

### ANALISIS STABILITAS LERENG DENGAN PERKUATAN *SOIL NAILING* MENGGUNAKAN PROGRAM *PLAXIS 2D V20*

(Studi Kasus : Tebing Cibeureum, Kabupaten Cianjur)  
*(ANALYSIS OF SLOPE STABILITY WITH SOIL  
NAILING USING PLAXIS 2D V20 PROGRAM)*

*(Case Study Cibeureum Cliff, Cianjur Regency)*



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

Diuji pada tanggal 8 Maret 2024  
Oleh Dewan Penguji:

Pembimbing I

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

Penguji I

Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.  
NIK: 215111307

Penguji II

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



Mengesahkan,  
Ketua Program Studi Teknik Sipil

26/3/24

Yunalia Muntafi, Ir., S.T., M.T., Ph.D. (Eng.), IPM.  
NIK: 095110701

## PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya menyatakan bahwa sesungguhnya laporan Tugas Akhir yang telah saya susun sebagai syarat untuk persyaratan memperoleh derajat Sarjana Strata Satu (S1) di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia merupakan hasil karya saya sendiri. Pada beberapa bagian tertentu dalam penulisan laporan Tugas Akhir yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah saya tuliskan sumbernya secara jelas sesuai dengan kaidah dan etika penulisan karya ilmiah. Apabila di kemudian hari ditemukan seluruh atau sebagian laporan Tugas Akhir ini bukan hasil karya saya sendiri atau adanya plagiasi dalam bagian-bagian tertentu, saya bersedia menerima sanksi, termasuk pencabutan gelar akademik yang saya sandang sesuai dengan perundang-undangan yang berlaku

Yogyakarta, 17 Maret 2024

Yang membuat pernyataan



Azmi Aufa Iftikhar

(20511093)

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul Analisis Stabilitas Lereng dengan Perkuatan *Soil nailing* Menggunakan Program *Plaxis 2D V20*. Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat akademik dalam menyelesaikan studi tingkat sarjana di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini, terdapat hambatan yang dihadapi oleh penulis, namun berkat kritik, saran, serta dorongan semangat dari berbagai pihak, puji syukur Tugas Akhir ini dapat diselesaikan dengan baik. Berkaitan dengan ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih sebanyak-banyaknya kepada:

1. Ibu Dr. Hanindya Kusuma Artati, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing yang telah bersedia meluangkan waktu, tenaga, dan pikiran untuk membimbing penulis sehingga Tugas Akhir ini bisa selesai.
2. Bapak Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T. selaku Penguji 1 yang telah memberikan masukan, saran, dan motivasi kepada penulis
3. Ibu Anisa Nur Amalina, S.T., M.Eng. selaku Penguji 2 yang telah memberikan masukan, saran, dan motivasi kepada penulis
4. Bapak, Ibu, Kakak, dan Ipar penulis yang sudah berkorban baik moral, material, dan spiritual kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dan kuliah dengan baik
5. Achmad Fachriza Fauzzi Pratama, Merisa Ayu Pramesti, Fahrizal Musthofa Achyar, Muhamad Ibnu Malik, dan teman-teman grup PPT yang selalu menemani penulis selama perkuliahan dan memberikan semangat untuk segera menyelesaikan Tugas Akhir penulis
6. Teman-teman LABMA UII dan SAMC UII yang dapat menjadi rumah kedua saya baik dalam meningkatkan ilmu kepenulisan dan menambah pertemanan

7. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu, yang telah memberikan dukungan, motivasi, dan pengalaman serta pelajaran hidup selama penulis berada di bangku kuliah

Penulis berharap agar Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi berbagai pihak yang membacanya

Yogyakarta, 17 Maret 2024  
Penulis,



Azmi Afa Iftikhar  
20511093

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xv
ABSTRAK	xvii
<i>ABSTRACT</i>	xviii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Batasan Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Penelitian Terdahulu	5
2.1.1 Penggunaan Aplikasi Komputasi untuk Mendapatkan Nilai Angka Aman Stabilitas Lereng	5
2.1.2 Pengaruh Variasi Panjang <i>Soil Nailing</i> Terhadap Stabilitas Lereng	5
2.1.3 Pengaruh Variasi Diameter dengan Sudut Pemasangan <i>Soil</i> <i>Nailing</i> Terhadap Stabilitas Lereng	6

2.2 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang Akan Dilakukan Sekarang	8
<b>BAB III LANDASAN TEORI</b>	<b>15</b>
3.1 Tanah	15
3.1.1 Pengertian Tanah	15
3.1.2 Klasifikasi Tanah	15
3.1.3 Pengujian Properties Tanah	17
3.1.4 Korelasi Hasil Pengujian Lapangan terhadap Parameter Tanah	23
3.1.4 Kuat Geser Tanah	26
3.2 Stabilitas Lereng	27
3.2.1 Faktor Penyebab Longsor	27
3.2.2 Metode Penanggulangan Kelongsoran Lereng	28
3.2.3 Analisis Stabilitas Lereng dengan Metode <i>Fellenius</i>	28
3.3 Beban Lintas	30
3.4 Kriteria Faktor Keamanan	30
3.5 Soil nailing	31
3.5.1 Elemen Dasar <i>Soil nailing</i>	31
3.5.2 Persyaratan Teknis <i>Soil nailing</i>	33
3.5.3 Kelebihan dan Kekurangan <i>Soil nailing</i>	33
3.5.4 Analisis Stabilitas Lereng dengan Perkuatan <i>Soil nailing</i>	34
3.6 Program Plaxis	43
<b>BAB IV METODE PENELITIAN</b>	<b>45</b>
4.1 Tinjauan Umum	45
4.2 Lokasi Studi Kasus	45
4.3 Data Penelitian	46
4.4 Tahapan Penelitian	46
4.5 Tahapan Pengoperasian Plaxis	47

4.5.1	<i>Plaxis input</i>	47
4.5.2	<i>Plaxis Calculation</i>	53
4.5.3	<i>Plaxis Output</i>	54
4.6	Bagan Alir Penelitian	54
4.7	Bagan Alir Analisis	58
BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN		59
5.1	Hasil Penelitian	59
5.2	Parameter Tanah Hasil Korelasi	63
5.3	Analisis Stabilitas Lereng Tanpa Perkuatan Dengan <i>Plaxis 2D V20</i>	66
5.4	Analisis Stabilitas Lereng Tanpa Perkuatan Dengan Metode Fellenius	69
5.5	Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Dengan <i>Plaxis 2D V20</i>	74
5.6	Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Dengan Metode Baji	83
5.6.1	Analisis Stabilitas Lereng Terhadap Keruntuhan Global Lereng	83
5.6.2	Analisis Stabilitas Lereng Terhadap Gaya Geser	93
5.6.3	Analisis Stabilitas Internal <i>Soil nailing</i> Terhadap Putus Tulangan	96
5.6.4	Analisis Stabilitas Internal <i>Soil nailing</i> Terhadap Cabut Tulangan	100
5.7	Hasil Analisis dan Pembahasan	102
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN		105
6.1	Kesimpulan	106
6.2	Saran	106
DAFTAR PUSTAKA		108
LAMPIRAN		111



## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Penelitian Sekarang	9
Tabel 3.1 Berat Jenis Tanah Berbagai Tanah	19
Tabel 3.2 Macam Tanah Berdasarkan Nilai Indeks Plastisitas	22
Tabel 3.3 Perkiraan Modulus Elastisitas (E)	22
Tabel 3.4 Hubungan Antara Jenis Tanah dan Poisson's Ratio	23
Tabel 3.5 Variasi Korelasi N-SPT dengan Kohesi Tanah Lempung	24
Tabel 3.6 Variasi Korelasi N-SPT dengan Berat Volume Tanah Kohesif	24
Tabel 3.7 Variasi Korelasi N-SPT dengan Berat Volume Tanah Kohesif	25
Tabel 3.8 Variasi Korelasi Jenis Tanah dengan Modulus Elastisitas	25
Tabel 3.9 Variasi Korelasi Jenis Tanah dengan Sudut Geser Lempung	26
Tabel 3.10 Variasi Korelasi Jenis Tanah dengan Permeabilitas	26
Tabel 3.11 Beban Lalu Lintas Untuk Analisis Stabilitas (DPU, 2001) dan Beban di Luar Jalan	30
Tabel 3.12 Kriteria Faktor Keamanan	31
Tabel 3.13 Properti Baja Ulir Untuk <i>Soil nailing</i>	32
Tabel 3.14 Perkiraan Nilai Ks	38
Tabel 3.15 Estimasi Nilai Ultimate Bond Strength	39
Tabel 5.1 Hasil Pengujian Laboratorium	59
Tabel 5.2 Nilai N-SPT	62
Tabel 5.3 Korelasi Parameter Tanah	64
Tabel 5.4 Perhitungan Metode <i>Fellenius</i>	72

Tabel 5.5 Nilai $c_1$ , $c_2$ , dan $c_3$ Tiap Lapis	85
Tabel 5.6 Perhitungan $L_e$ , $T$ , dan $V_e$	89
Tabel 5.7 Rincian Perhitungan Stabilitas Global	91
Tabel 5.8 Data Perhitungan Analisis Stabilitas Internal Putus Tulangan	98
Tabel 5.9 Rekapitulasi Angka Aman Putus Tulangan	99
Tabel 5.10 Rekapitulasi Angka Aman Cabut Tulangan	101
Tabel 5.11 Rekapitulasi Nilai SF	103

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Kondisi Lereng Setelah Longsor	2
Gambar 3.1 Klasifikasi Tanah Berdasarkan USCS	16
Gambar 3.2 Klasifikasi Tanah Berdasarkan AASHTO	17
Gambar 3.3 Gaya yang Bekerja pada Irisan Vertikal	29
Gambar 3.4 Gambar Rinci <i>Soil nailing</i>	31
Gambar 3.5 Macam Analisis Stabilitas Global	34
Gambar 3.6 Gaya yang Bekerja dalam Metode Baji ( <i>Wedge</i> )	35
Gambar 3.7 Korelasi Koefisien $C_1$ , $C_2$ , dan $C_3$	37
Gambar 3.8 Keruntuhan Putus Tulangan	41
Gambar 3.9 Keruntuhan Cabut Tulangan	42
Gambar 4.1 Lokasi Studi Kasus	45
Gambar 4.2 Quick Select	47
Gambar 4.3 <i>Project Properties Tab Project</i>	48
Gambar 4.4 <i>Project Properties Tab Model</i>	49
Gambar 4.5 <i>Create Soil Polygon</i>	49
Gambar 4.6 <i>Create Line Load</i>	50
Gambar 4.7 <i>Material Sets</i>	50
Gambar 4.8 <i>Tab General Pada Material Sets</i>	51
Gambar 4.9 <i>Tab Parameters Pada Material Sets</i>	52
Gambar 4.10 <i>Tab Groundwater Pada Material Sets</i>	52
Gambar 4.11 Hasil <i>Mesh Generation</i>	53

Gambar 4.12 Fitur <i>Phase</i>	53
Gambar 4.13 Pemilihan Titik Kurva	54
Gambar 4.14 <i>Output</i> Perhitungan	54
Gambar 4.15 Bagan Alir Penelitian	57
Gambar 4.16 Bagan Alir Analisis	58
Gambar 5.1 Hasil Klasifikasi Tanah USCS	60
Gambar 5.2 Hasil Klasifikasi Tanah AASHTO	61
Gambar 5.3 Garis Elevasi	66
Gambar 5.4 Permodelan Lereng Setelah Longsor	66
Gambar 5.5 Detail A Permodelan Lereng Setelah Longsor	67
Gambar 5.6 Detail B Permodelan Lereng Setelah Longsor	67
Gambar 5.7 <i>Output Plaxis 2D V20</i> Lereng Awal	68
Gambar 5.8 <i>Output Plaxis 2D V20</i> Lereng Awal Dengan Beban Gempa	69
Gambar 5.9 Metode <i>Fellenius</i>	70
Gambar 5.10 Permodelan Lereng Setelah Modifikasi Sudut Kemiringan	75
Gambar 5.11 Detail Permodelan Lereng Setelah Modifikasi Sudut Kemiringan	75
Gambar 5.12 <i>Output Plaxis 2D V20</i> Lereng Modifikasi Tanpa Beban Gempa	76
Gambar 5.13 <i>Output Plaxis 2D V20</i> Lereng Modifikasi Dengan Beban Gempa	76
Gambar 5.14 <i>Output Plaxis 2D V20</i> Lereng <i>Soil nailing</i> Sudut 10° Tanpa Beban Gempa	78
Gambar 5.15 <i>Output Plaxis 2D V20</i> Lereng <i>Soil nailing</i> Sudut 10° Dengan Beban Gempa	79
Gambar 5.16 <i>Output Plaxis 2D V20</i> Lereng <i>Soil nailing</i> Sudut 15° Tanpa Beban Gempa	80

Gambar 5.17 <i>Output Plaxis 2D V20</i> Lereng <i>Soil nailing</i> Sudut 15° Dengan Beban Gempa	80
Gambar 5.18 <i>Output Plaxis 2D V20</i> Lereng <i>Soil nailing</i> Sudut 20° Tanpa Beban Gempa	81
Gambar 5.19 <i>Output Plaxis 2D V20</i> Lereng <i>Soil nailing</i> Sudut 20° Dengan Beban Gempa	82
Gambar 5.20 <i>Output Plaxis 2D V20</i> Deformasi Massa Lereng <i>Soil nailing</i> Sudut 20° Dengan Beban Gempa	82
Gambar 5.21 Sketsa Lereng dengan Perkuatan terhadap Keruntuhan Global, Kemiringan <i>Nail</i> 20° dan Jarak Antar <i>Nail</i> 1,3 m	83
Gambar 5.22 Penentuan Panjang <i>Le</i>	87
Gambar 5.23 Detail A Penentuan Panjang <i>Le</i>	87
Gambar 5.24 Detail B Penentuan Panjang <i>Le</i>	88
Gambar 5.25 Pengukuran Kedalaman Ujung <i>Nail</i> ke Lapis Tanah (Li)	96
Gambar 5.26 Detail A Pengukuran Kedalaman Ujung <i>Nail</i> ke Lapis Tanah (Li)	97
Gambar 5.27 Detail B Pengukuran Kedalaman Ujung <i>Nail</i> ke Lapis Tanah (Li)	97
Gambar 5.28 Rekapitulasi Nilai SF	104
Gambar 5.29 Rekapitulasi Nilai SF Lereng Tanpa Gempa	104
Gambar 5.30 Rekapitulasi Nilai SF Lereng Setelah Perkuatan	1045
Gambar 5.31 Rekapitulasi Nilai SF Metode Baji Dan Plaxis	1045

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Uji Kadar Air	112
Lampiran 2	Uji Berat Volume	113
Lampiran 3	Uji Berat Jenis	114
Lampiran 4	Uji Analisa Saringan	115
Lampiran 5	Uji Analisa Hidrometer	116
Lampiran 6	Grafik Distribusi Butiran	117
Lampiran 7	Batas Cair Sampel 1	118
Lampiran 8	Batas Cair Sampel 2	119
Lampiran 9	Batas Plastis Sampel 1	120
Lampiran 10	Batas Plastis Sampel 2	121
Lampiran 11	Batas Susut Sampel 1	122
Lampiran 12	Batas Susut Sampel 2	123
Lampiran 13	Uji Geser Langsung Beban 1 kg	124
Lampiran 14	Uji Geser Langsung Beban 2 kg	126
Lampiran 15	Uji Geser Langsung Beban 3 kg	128

## DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

USCS	= <i>Unified Soil Classification System</i>
AASHTO	= <i>American Association of State Highway and Transportation Official</i>
GI	= Indeks kelompok
F	= Persen butiran lolos saringan no.200
LL	= Batas cair, dan
PI	= Indeks plastisitas
PL	= Batas plastis
w	= Kadar air (%)
W <sub>1</sub>	= Berat cawan kosong (gr)
W <sub>2</sub>	= Berat cawan + tanah basah (gr)
W <sub>3</sub>	= Berat cawan + tanah kering (gr)
c <sub>b</sub>	= Berat volume basah
W	= Berat total tanah
V	= Volume total tanah
G <sub>s</sub>	= Berat jenis
γ <sub>s</sub>	= Berat volume air
e	= Angka pori
γ <sub>d</sub>	= Berat volume kering
W <sub>s</sub>	= Berat tanah kering
V <sub>s</sub>	= Volume total tanah kering
G <sub>s</sub>	= Berat jenis
SL	= Batas susut tanah
w	= Kadar air (%)
V	= Volume tanah basah (cm <sup>3</sup> )
V <sub>o</sub>	= Volume tanah kering oven (cm <sup>3</sup> )
W <sub>o</sub>	= Berat tanah kering (gr)

$E$	= Modulus elastisitas (MPa)
$\mu$	= <i>Poisson's Ratio</i>
$\tau$	= Kuat geser dalam ( $\text{kN/m}^2$ )
$c$	= Kohesi ( $\text{kN/m}^2$ )
$\sigma$	= Tegangan normal pada bidang runtuh ( $\text{kN/m}^2$ )
$\varphi$	= Sudut geser dalam (derajat)
$W_i$	= Berat irisan tanah ke-i (kN)
$U_i$	= Tekanan air pori pada irisan ke-i ( $\text{kN/m}^2$ )
$\theta_i$	= Sudut yang didefinisikan dalam gambar 3.3 (derajat)
$Q$	= Beban mati di atas lereng (kN/m)
$L_f$	= Panjang lengkung lingkaran pada irisan ke-n (m)
$L_e$	= Panjang <i>nail bar</i> di belakang bidang longsor (m)
$\beta$	= Kemiringan lereng ( $^\circ$ )
$i$	= Kemiringan pemasangan sudut <i>nail</i> ( $^\circ$ )
$\Sigma T_i$	= Jumlah daya dukung terhadap gaya tarik (kN/m), dan
$\Sigma V_i$	= Jumlah daya dukung gaya geser (kN/m)
$T$	= Gaya tarik ijin <i>nail bar</i> , dan
$R_n$	= Daya dukung tarik <i>nail bar</i>
$EI$	= Kekakuan <i>nail bar</i> , diameter <i>nail bar</i> tanpa grouting
$K_s$	= Modulus reaksi lateral tanah
$H$	= Tinggi tanah (m)
$\sigma_h$	= Tekanan horizontal pada kedalaman tanah yang ditinjau ( $\text{kN/m}^2$ )
$S_v$	= Jarak tulangan arah vertikal (m)
$S_h$	= Jarak tulangan arah horizontal (m)
$F_y$	= Daya dukung tulangan (MPa)
$K_a$	= Koefisien tekanan aktif lateral
$L_p$	= Panjang tulangan di daerah pasir (m)
$D_{dh}$	= Diameter lubang bor (m)



## ABSTRAK

Pada tanggal 21 November 2022 telah terjadi gempa dengan magnitudo senilai 5,6 yang menyebabkan salah satu lereng di Cibeureum, Kabupaten Cianjur mengalami kelongsoran. Dalam rangka perbaikan lereng tersebut diperlukan perkuatan lereng sehingga lereng dapat memiliki nilai stabilitas yang dapat tahan ketika terjadi gempa. Perkuatan yang dilakukan untuk stabilitas lereng salah satunya dapat dengan metode *Soil Nailing*

Analisis stabilitas lereng menggunakan program *Plaxis 2D V20* yang dibandingkan dengan perhitungan metode *Fellenius* pada lereng tanpa perkuatan. Untuk lereng dengan perkuatan menggunakan perbandingan program *Plaxis 2D V20* dan metode baji (*wedge*) untuk melakukan perhitungan stabilitas internal berupa stabilitas terhadap putus dan cabut tulangan dan perhitungan stabilitas eksternal berupa stabilitas terhadap penggeseran.

Hasil yang diperoleh dalam penelitian ini adalah nilai keamanan lereng awal dengan metode *Fellenius* menghasilkan nilai keamanan 1,56. Nilai keamanan lereng awal tanpa gempa dengan program *Plaxis 2D V20* menghasilkan nilai 1,606 dan dengan gempa lereng mengalami keruntuhan sehingga lereng perlu diadakan perbaikan. Kondisi terbaik lereng yang mempunyai nilai angka keamanan terbesar setelah dilakukan perbaikan adalah lereng modifikasi sudut kemiringan dengan sudut lereng menjadi 19° dan penggunaan *soil nailing* dengan panjang *nail* 50 m dan sudut pemasangan 20°. Kondisi tersebut menghasilkan nilai keamanan tanpa gempa dengan program *Plaxis 2D V20* senilai 2,55 dan dengan beban gempa senilai 1,102

**Kata Kunci:** Stabilitas lereng, Perkuatan lereng, *Soil Nailing*, *Plaxis 2D V20*, *Fellenius*

## **ABSTRACT**

*On November 21, 2022, an earthquake with a magnitude of 5.6 caused one of the slopes in Cibereum, Cianjur district to suffer landslide. In order to repair the slope, it is necessary to reinforce the slope so that it can have stability values that can withstand an earthquake. One of the methods of strengthening for slope stability is the Soil Nailing method*

*For slopes with reinforcement, use a comparison of the Plaxis 2D V20 program and the wedge method to calculate internal stability in the form of stability against reinforcement breaking and pulling out and external stability calculations in the form of stability against sliding.*

*The results obtained in this research are the safety value of the original slope using the Fellenius method which produces a safety value of 1.56. The safety value of the original slope without an earthquake using the Plaxis 2D V20 program produced a value of 1.606 and with an earthquake the slope collapsed so the slope needs to be repaired. The best condition of the slope which has the greatest safety value after repairs are modified slope angle with a slope angle of 19° and the use of soil nailing with a nail length of 50 m and installation angle of 20°. This condition produces a safety value without an earthquake with the Plaxis 2D V20 program worth 2.55 and with an earthquake load worth 1.102*

**Keywords:** *Slope stability, Slope reinforcement, Soil Nailing, Plaxis 2D V20, Fellenius*

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Indonesia berada pada wilayah yang dipenuhi oleh aktivitas tektonik karena berada pada lokasi sekitar Cincin Api Pasifik. Karena hal itu, Indonesia menjadi negara dengan risiko terjadinya bencana alam seperti gempa bumi, tanah longsor, dan letusan gunung api yang tinggi. Berbagai risiko yang dialami korban bencana tersebut yakni kehilangan tempat tinggal, kematian, kekurangan bahan makanan, dan risiko cedera. Daryono (2023) dalam Nindy (2023) menyatakan bahwa Indonesia dapat mengalami gempa sekitar 5.818 kali setiap tahunnya

Lereng merupakan tanah yang miring dan membentuk sudut tertentu pada suatu bidang horizontal. Lereng menjadi objek yang berbahaya pada saat terjadi gempa bumi karena tingginya potensi terjadi longsor. Faktor-faktor penyebab suatu lereng dapat mengalami kelongsoran meliputi faktor internal berupa material lereng itu sendiri dan faktor eksternal berupa kegempaan, curah hujan, dan vegetasi (Zakaria, 2009). Utomo (2019) melakukan analisis stabilitas lereng pada Desa Sinduadi, Kabupaten Sleman dengan tujuan untuk melakukan perkuatan lereng menggunakan *soil nailing*. Berdasarkan hal itu, untuk mencegah kelongsoran pada lereng, diperlukan suatu konstruksi untuk meningkatkan stabilitas lereng.

*Soil nailing* merupakan salah satu konstruksi yang dapat meningkatkan stabilitas lereng. Berdasarkan SNI 8460:2017, *soil nailing* merupakan sistem perkuatan lereng tanpa gaya prategang yang terdiri atas sejumlah *nail bar* yang dipasang di dalam tanah dengan cara dibor atau dipancang.

Program komputer yang umum digunakan untuk analisis di bidang geoteknik adalah Plaxis 2D V20. Standyarto dkk (2023) menggunakan program Plaxis 2D untuk menganalisis stabilitas lereng dengan perkuatan soil nailing pada Tol IKN seksi 3A:Karangjoang-KKT Kariangau. Plaxis 2D V20 adalah program elemen hingga untuk analisis di bidang geoteknik di mana aplikasi ini menggunakan model-model tanah untuk simulasi perilaku yang terjadi di tanah.

Kabupaten Cianjur pada tanggal 21 November 2022 menjadi wilayah yang mengalami gempa bumi dengan magnitudo 5,6. Bahri (2022) menyatakan bahwa terdapat 310 orang yang meninggal, 1.000 orang cedera, 20 hilang, dan 58.000 orang mengungsi. Zainal, dkk. (2023) menyatakan bahwa alasan gempa ini menghasilkan banyak korban jiwa adalah karena permukiman yang terdampak gempa berada pada kawasan rawan bencana gempa bumi tinggi. Selain menimbulkan korban jiwa, gempa bumi yang terjadi juga menyebabkan longsor pada beberapa lereng di Cianjur, salah satunya pada lereng Cibeureum. Kondisi longsor pada lereng Cibeureum ditunjukkan pada Gambar 1.1 berikut



**Gambar 1.1 Kondisi Lereng Setelah Longsor**

Berdasarkan permasalahan tersebut, tugas akhir ini mencoba memberikan alternatif perkuatan lereng untuk menanggulangi longsor pada lereng Cibeureum. Jenis perkuatan lereng yang akan dijadikan alternatif dalam tugas akhir ini adalah *Soil nailing*. Kemudian peneliti bermaksud untuk mengetahui nilai *safety factor* pada lereng Cibeureum sebelum dilakukan stabilitasi lereng dan *safety factor* pada lereng Cibeureum setelah dilakukan stabilitasi lereng dengan program Plaxis 2D V20.

## 1.2 Rumusan Masalah

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

1. Bagaimana angka keamanan stabilitas lereng awal pada lereng Cibeureum di Kabupaten Cianjur
2. Bagaimana angka keamanan stabilitas lereng setelah dilakukan perkuatan menggunakan *Soil nailing* pada lereng Cibeureum di Kabupaten Cianjur
3. Bagaimana desain *Soil nailing* yang memberikan nilai keamanan stabilitas lereng optimal
4. Bagaimana perilaku deformasi massa tanah yang terjadi pada *soil nailing* di lereng Cibeureum

## 1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mengetahui angka keamanan stabilitas lereng awal pada lereng Cibeureum di Kabupaten Cianjur
2. Mengetahui angka keamanan stabilitas lereng setelah dilakukan perkuatan menggunakan *Soil nailing* pada lereng Cibeureum di Kabupaten Cianjur
3. Mengetahui desain *Soil nailing* yang memberikan nilai keamanan stabilitas lereng optimal
4. Mengetahui perilaku deformasi massa tanah yang terjadi pada lereng Cibeureum di Kabupaten Cianjur setelah dan sebelum diperkuat *Soil nailing*

## 1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Penelitian ini dapat menjadi pertimbangan bagi Pemerintah Kabupaten Cianjur dalam mengevaluasi lereng di Cibeureum dengan desain *Soil nailing* yang optimal.
2. Memberikan informasi mengenai angka keamanan struktur *soil nailing* yang terdapat di lokasi yang diperiksa.

3. Dapat mengenal dan memberikan gambaran cara menganalisis stabilitas lereng menggunakan program *Plaxis 2D V20*.

### **1.5 Batasan Penelitian**

Batasan-batasan penelitian dibutuhkan agar pembahasan dalam penelitian tetap terfokus pada suatu topik permasalahan. Adapun batasan-batasan penelitian yang ditetapkan pada penelitian ini sebagai berikut.

1. Lokasi penelitian pada lereng Cibeureum, Kabupaten Cianjur
2. Data tanah didapat melalui pengujian di Lab Mekanika Tanah UII dan korelasi hasil uji SPT.
3. Batasan penelitian ini hanya meliputi analisis pada tingkat keamanan lereng yang ada, baik yang kondisi awal maupun yang kondisi setelah diperkuat dengan menggunakan *Soil nailing*. Selanjutnya, akan dibandingkan hasil perhitungan manual dengan hasil perhitungan menggunakan program *Plaxis 2D V20*.
4. Faktor gempa yang disesuaikan pada lokasi lereng Cibeureum, Kabupaten Cianjur dengan menggunakan metode *pseudostatic*.
5. Program yang digunakan untuk membantu menganalisis adalah Program *Plaxis 2D V20*
6. Penelitian ini tidak mencakup rincian gambar, prosedur, dan perkiraan biaya yang terperinci.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Penelitian Terdahulu**

Penelitian-penelitian terdahulu yang dijadikan dasar dan mendukung penelitian ditunjukkan pada poin-poin berikut.

##### **2.1.1 Penggunaan Aplikasi Komputasi untuk Mendapatkan Nilai Angka Aman Stabilitas Lereng**

Alhadis (2022) telah melakukan penelitian yang berjudul “Analisis Perkuatan Tanah Dengan Menggunakan Dinding Penahan Tanah Kantilever dan Sheet Pile Baja”. Penelitian tersebut bertujuan untuk mengetahui nilai angka aman dan penurunan pada lereng sebelum dan sesudah diberikan perkuatan berupa dinding penahan tanah dan *sheet pile* dengan menggunakan program plaxis 8.6. Pendekatan yang diterapkan dalam penelitian tersebut adalah menganalisis data yang terkumpul dan melakukan evaluasi stabilitas lereng menggunakan dinding penahan tanah kantilever dan sheet pile baja dengan menggunakan program Plaxis 8.6.

Berdasarkan penelitian tersebut didapatkan angka aman pada lereng awal dengan metode *Fellini* sebesar 0,841. Nilai tersebut kurang dari 1,3 sehingga lereng awal mengalami kelongsoran. Pada lereng dengan dinding penahan kantilever, nilai angka aman hasil analisis aplikasi Plaxis menunjukkan angka 1,976 pada kondisi tanpa beban gempa dan angka 1,746 pada kondisi dengan beban gempa sehingga lereng berada pada kondisi aman. Sedangkan pada lereng dengan perkuatan *Sheet Pile* baja, nilai angka aman hasil analisis aplikasi Plaxis menunjukkan angka 1,561 pada kondisi tanpa beban gempa dan angka 1,495 pada kondisi dengan beban gempa sehingga lereng berada pada kondisi aman.

##### **2.1.2 Pengaruh Variasi Panjang *Soil Nailing* Terhadap Stabilitas Lereng**

Yosri dkk (2021) telah melakukan penelitian yang berjudul “Studi Literatur Tentang Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan *Soil Nailing* Menggunakan

Program *GEO5*". Penelitian tersebut bertujuan membandingkan nilai faktor keamanan pada lereng dengan kondisi eksisting terhadap lereng yang diberikan perkuatan berupa *soil nailing* dengan variasi panjang *nail bar* dan sudut pemasangan melalui program *GEO5*. Pendekatan yang diterapkan dalam penelitian tersebut adalah menganalisis data yang terkumpul, melakukan evaluasi stabilitas lereng menggunakan *soil nailing* dengan menggunakan program *GEO5*, dan membandingkan angka aman lereng ketika *soil nailing* memiliki panjang *nail bar* yang berbeda yaitu 20 m, 21 m, 22 m, 23 m, 24 m, 25 m, dalam sudut yang berbeda yaitu 10°, 11°, 12°, 13°, 14°, 15°. Didapatkan hasil bahwa lereng eksisting memiliki nilai faktor keamanan senilai 0,27 untuk metode Bishop dan 0,31 untuk metode Fellenius. Sedangkan nilai angka keamanan tertinggi lereng setelah perkuatan ditunjukkan pada kondisi perkuatan panjang *nail* 25 meter dengan sudut pemasangan 10° menghasilkan angka keamanan senilai 1,31.

### **2.1.3 Pengaruh Variasi Diameter dengan Sudut Pemasangan *Soil Nailing* Terhadap Stabilitas Lereng**

Utomo (2019) telah melakukan penelitian yang berjudul "Analisis Stabilitas Lereng dengan Perkuatan *Soil nailing* dengan Menggunakan Program *Geoslope* Studi Kasus Desa Sinduadi, Kecamatan Mlati, Kabupaten Sleman, D.I.Y". Penelitian tersebut bertujuan untuk membandingkan nilai faktor keamanan lereng alami antara metode perhitungan *Fellenius* dan *Bishop* dengan metode menggunakan program *Geoslope* pada lereng Desa Sinduadi. Pendekatan yang diterapkan dalam penelitian tersebut adalah menganalisis data yang terkumpul, melakukan evaluasi stabilitas lereng menggunakan *soil nailing* dengan menggunakan program *Geoslope*, dan membandingkan angka aman lereng ketika *soil nailing* memiliki sudut pemasangan berbeda yaitu 10°, 20°, dan 30°. Didapatkan hasil angka aman lereng alami dengan metode *Fellenius* sebesar 0,9292, dengan metode *Bishop* sebesar 1,125, dan dengan program *Geoslope* sebesar 0,933. Ketiga angka aman tersebut lebih rendah dari 1,3 sehingga lereng perlu diberikan perkuatan. Setelah dilakukan perkuatan dengan *soil nailing*, dengan metode baji menghasilkan angka aman lereng tertinggi pada *soil nailing* dengan sudut pemasangan 30° yaitu sebesar 1,6051. Dengan melakukan program *geoslope*, nilai



angka aman lereng tertinggi pada *soil nailing* dengan sudut pemasangan  $30^\circ$  yang menghasilkan nilai angka aman saat gempa senilai 1,653 dan tanpa gempa 3,253.

Mangnejo dkk. (2019) telah melakukan penelitian yang berjudul “*Numerical Analysis of Soil Slope Stabilization by Soil nailing Technique*”. Penelitian tersebut bertujuan untuk mengetahui dampak perbedaan diameter *nail bar* dan perbedaan sudut pemasangan *nail bar* pada pekerjaan *soil nailing*. Pendekatan yang diterapkan dalam penelitian tersebut adalah menganalisis data yang terkumpul, melakukan evaluasi stabilitas lereng menggunakan *soil nailing* dengan menggunakan program komputasi, dan membandingkan angka aman lereng ketika *soil nailing* memiliki sudut pemasangan berbeda yaitu  $20^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $35^\circ$ , dan  $40^\circ$  dengan diameter *nail bar* yang berbeda yaitu 25 mm dan 40 mm. Didapatkan hasil angka aman lereng alami dengan program komputasi sebesar 1,199. Setelah dilakukan perkuatan dengan *soil nailing* berbagai kondisi dengan melakukan program komputasi, nilai angka aman lereng tertinggi pada *soil nailing* dengan sudut pemasangan  $40^\circ$  dan diameter *nail bar* 40 mm yang menghasilkan nilai angka aman senilai 1,688.

Dewedree dan Jusoh (2019) telah melakukan penelitian yang berjudul “*Slope Stability Analysis Under Different Soil nailing Parameters Using the Slope/W Software*”. Penelitian tersebut bertujuan untuk mengetahui pemasangan sudut *nail bar* paling efektif untuk stabilitas lereng. Pendekatan yang diterapkan dalam penelitian tersebut adalah menganalisis data yang terkumpul, melakukan evaluasi stabilitas lereng menggunakan *soil nailing* dengan menggunakan program *SLOPE/W*, dan membandingkan angka aman lereng ketika *soil nailing* memiliki sudut pemasangan berbeda yaitu  $20^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $40^\circ$ ,  $50^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $70^\circ$ ,  $80^\circ$ ,  $90^\circ$ . Didapatkan hasil angka aman lereng alami dengan program *SLOPE/W* sebesar 0,737. Setelah dilakukan perkuatan dengan *soil nailing* berbagai kondisi dengan melakukan program *SLOPE/W*, nilai angka aman lereng tertinggi pada *soil nailing* dengan sudut pemasangan  $60^\circ$  menghasilkan nilai angka aman senilai 1,689.

## **2.2 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang Akan Dilakukan Sekarang**

Perbandingan penelitian terdahulu dengan penelitian yang akan dilakukan sekarang ditunjukkan pada Tabel 2.1 berikut.

**Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Penelitian Sekarang**

<b>Peneliti</b>	Alhadis	Yosri dkk	Utomo	Mangnejo dkk	Dewedree dan Jusoh	Iftikhar dan Artati
<b>Tahun</b>	2022	2021	2019	2019	2019	2024
<b>Judul Penelitian</b>	Analisis Perkuatan Tanah Dengan Menggunakan Dinding Penahan Tanah Kantilever dan Sheet Pile Baja dengan Program Komputasi	Studi Literatur Tentang Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan <i>Soil Nailing</i> Menggunakan Program <i>GEO5</i>	Analisis Stabilitas Lereng dengan Perkuatan <i>Soil nailing</i> dengan Menggunakan Program <i>Geoslope</i>	<i>Numerical Analysis of Soil Slope Stabilization by Soil nailing Technique</i>	<i>Slope Stability Analysis Under Different Soil nailing Parameters Using the Slope/W Software</i>	Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan <i>Soil nailing</i> Menggunakan Program <i>Plaxis 2D V20</i>

(Sumber : Alhadis, 2022; Yosri dkk, 2021; Utomo, 2019; Mangnejo dkk, 2019; Dewedree dan Jusoh, 2019)

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Penelitian Sekarang

Peneliti	Alhadis	Yosri dkk	Utomo	Mangnejo dkk	Dewedree dan Jusoh	Iftikhar dan Artati
Tahun	2022	2021	2019	2019	2019	2024
Tujuan Penelitian	Mengetahui angka aman dan penurunan lereng sebelum dan sesudah diberikan perkuatan dinding penahan tanah dan <i>sheet pile</i> dengan menggunakan plaxis 8.6.	Membandingkan faktor keamanan lereng dengan kondisi eksisting terhadap lereng yang diberikan perkuatan berupa <i>soil nailing</i> dengan variasi panjang <i>nail bar</i> dan sudut pemasangan melalui <i>GEO5</i>	Membandingkan faktor keamanan lereng alami antara metode perhitungan <i>Fellenius</i> dan <i>Bishop</i> dengan metode menggunakan program <i>Geoslope</i> pada lereng Desa Sinduadi	mengetahui dampak perbedaan diameter <i>nail bar</i> dan perbedaan sudut pemasangan <i>nail bar</i> pada pekerjaan <i>soil nailing</i>	mengetahui pemasang sudut <i>nail bar</i> paling efektif untuk stabilitas lereng	Mengetahui nilai angka aman dan penurunan pada lereng Cibeureum, sebelum dan sesudah diberikan perkuatan berupa <i>soil nailing</i> dengan menggunakan program <i>Plaxis 2D V20</i> serta deformasi massa tanah yang terjadi

(Sumber : Alhadis, 2022; Yosri dkk, 2021; Utomo, 2019; Mangnejo dkk, 2019; Dewedree dan Jusoh, 2019)

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Penelitian Sekarang

Peneliti	Alhadis	Yosri dkk	Utomo	Mangnejo dkk	Dewedree dan Jusoh	Iftikhar dan Artati
Tahun	2022	2021	2019	2019	2019	2024
Metode Penelitian	Menganalisis stabilitas lereng dengan dinding penahan tanah kantilever dan <i>sheet pile</i> baja dengan <i>Plaxis 8.6</i> .	Membandingkan SF perkuatan <i>soil nailing</i> dengan program <i>GEO5</i> ketika <i>soil nailing</i> memiliki panjang <i>nail</i> yaitu 20 m, 21 m, 22 m, 23 m, 24 m, 25 m, dalam sudut yang berbeda yaitu 10°, 11°, 12°, 13°, 14°, 15°	Membandingkan SF perkuatan <i>soil nailing</i> dengan program <i>Geoslope</i> ketika <i>soil nailing</i> memiliki sudut pemasangan berbeda yaitu 10°, 20°, dan 30°.	Membandingkan SF perkuatan <i>soil nailing</i> dengan program komputasi ketika <i>soil nailing</i> memiliki sudut pemasangan 20°, 30°, 35°, dan 40° dengan diameter 25 mm dan 40 mm.	Membandingkan SF perkuatan <i>soil nailing</i> dengan program <i>SLOPE/W</i> ketika <i>soil nailing</i> memiliki sudut pemasangan berbeda yaitu 20°, 30°, 40°, 50°, 60°, 70°, 80°, 90°.	Menganalisis stabilitas lereng dengan perkuatan <i>soil nailing</i> pada lereng Cibeureum dengan sudut 10°, 15°, dan 20° dengan program <i>Plaxis 2D V20</i> dan perhitungan manual dengan metode <i>Fellenius</i> .

(Sumber : Alhadis, 2022; Yosri dkk, 2021; Utomo, 2019; Mangnejo dkk, 2019; Dewedree dan Jusoh, 2019)

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Penelitian Sekarang

<b>Peneliti</b>	Alhadis	Yosri dkk	Utomo	Mangnejo dkk	Dewedree dan Jusoh	Iftikhar dan Artati
<b>Tahun</b>	2022	2021	2019	2019	2019	2024
<b>Hasil Penelitian</b>	Angka aman pada lereng asli sebesar 0,841. Pada lereng dengan dinding penahan kantilever, nilai angka aman 1,976 pada kondisi	lereng eksisting memiliki nilai faktor keamanan senilai 0,27 untuk metode Bishop dan 0,31 untuk metode Fellenius. Sedangkan nilai angka keamanan tertinggi lereng setelah perkuatan ditunjukkan	Dengan melakukan program <i>geoslope</i> , nilai angka aman lereng tertinggi pada <i>soil nailing</i> dengan sudut pemasangan 30° yang menghasilkan nilai angka aman saat gempa senilai	Setelah dilakukan perkuatan dengan <i>soil nailing</i> berbagai kondisi dengan melakukan program komputasi,	Setelah dilakukan perkuatan dengan <i>soil nailing</i> berbagai kondisi dengan melakukan program <i>SLOPE/W</i> , nilai angka aman lereng tertinggi pada <i>soil nailing</i> dengan sudut pemasangan 60°	Kondisi terbaik lereng yang mempunyai nilai angka keamanan terbesar adalah lereng modifikasi sudut kemiringan dengan sudut

(Sumber : Alhadis, 2022; Yosri dkk, 2021; Utomo, 2019; Mangnejo dkk, 2019; Dewedree dan Jusoh, 2019)

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Penelitian Sekarang

<b>Peneliti</b>	Alhadis	Yosri dkk	Utomo	Mangnejo dkk	Dewedree dan Jusoh	Iftikhar dan Artati
<b>Tahun</b>	2022	2021	2019	2019	2019	2024
	tanpa beban gempa dan angka 1,746 pada kondisi dengan beban gempa sehingga. Sedangkan pada lereng dengan perkuatan <i>Sheet Pile</i> baja	pada kondisi perkuatan panjang <i>nail</i> 25 meter dengan sudut pemasangan 10° menghasilkan angka keamanan senilai 1,31..	1,653 dan tanpa gempa 3,253.	nilai angka aman lereng tertinggi pada <i>soil nailing</i> dengan sudut pemasangan 40° dan diameter <i>nail bar</i> 40 mm yang menghasilkan nilai angka aman senilai 1,688..	menghasilkan nilai angka aman senilai 1,689.	lereng menjadi 19° dan penggunaan <i>soil nailing</i> dengan panjang <i>nail</i> 50 m dan sudut pemasangan 20°. Kondisi tersebut menghasilkan nilai

(Sumber : Alhadis, 2022; Yosri dkk, 2021; Utomo, 2019; Mangnejo dkk, 2019; Dewedree dan Jusoh, 2019)

**Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Penelitian Sekarang**

<b>Peneliti</b>	Alhadis	Yosri dkk	Utomo	Mangnejo dkk	Dewedree dan Jusoh	Iftikhar dan Artati
<b>Tahun</b>	2022	2021	2019	2019	2019	2024
	nilai angka aman 1,561 pada kondisi tanpa beban gempa dan angka 1,495 pada kondisi dengan beban gempa.					keamanan tanpa gempa dengan program <i>Plaxis 2D V20</i> senilai 2,55 dan dengan beban gempa senilai 1,102

(Sumber : Alhadis, 2022; Yosri dkk, 2021; Utomo, 2019; Mangnejo dkk, 2019; Dewedree dan Jusoh, 2019)



## **BAB III**

### **LANDASAN TEORI**

#### **3.1 Tanah**

Landasan-landasan teori mengenai tanah dijelaskan dalam poin-poin sebagai berikut.

##### **3.1.1 Umum**

Dalam bidang Teknik Sipil, tanah merujuk pada agregat mineral, bahan organik, dan endapan yang tergolong sebagai material yang relatif lepas (*loose*) yang berada di atas batuan dasar (*bedrock*). Ikatan antara butiran yang terbilang lemah tersebut disebabkan oleh kehadiran zat organik, oksida, atau karbonat yang terendap di antara partikel. Dalam celah antara partikel-partikel tersebut, dapat berisi cairan, udara, atau bahkan keduanya. Terjadinya tanah dari batuan dasar dapat terjadi melalui proses fisik atau kimia. Secara fisik adalah adanya pengaruh dari air, angin, erosi, es, manusia, atau hancurnya partikel-partikel tanah akibat perubahan suhu maupun cuaca. Secara kimia adalah adanya pelapukan yang terpengaruhi oleh karbondioksida, oksigen, air, dan proses-proses kimia lainnya (Hardiyatmo, 2017)

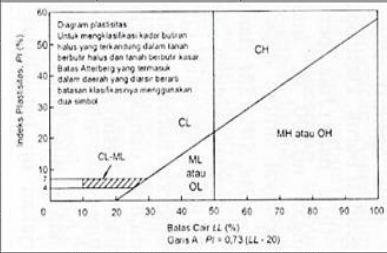
##### **3.1.2 Klasifikasi Tanah**

Klasifikasi tanah yang umum digunakan yaitu klasifikasi tanah berdasarkan USCS (*Unified Soil Classification System*) dan klasifikasi tanah berdasarkan AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Official*)

##### **1. Klasifikasi tanah berdasarkan USCS (*Unified Soil Classification System*)**

Klasifikasi tanah berdasarkan USCS diusulkan oleh A. Cassagrande pada tahun 1942. Metode USCS membagi tanah dengan 2 jenis tanah yaitu tanah berbutir kasar (kerikil dan pasir) dan tanah berbutir halus (lanau dan lempung). Tanah berbutir kasar apabila lebih dari 50% tanah tertahan di atas saringan no. 200. Sementara itu untuk tanah berbutir halus apabila lebih dari 50% tanah lolos dari saringan no. 200. Klasifikasi tanah lebih detail dilihat pada Gambar 3.1 berikut.

Divisi Utama		Symbol Kelompok	Nama Jenis	Kriteria laboratorium
Tanah berbutir kasar 50% atau lebih lolos saringan no. 200 (0.075 mm)	Kerikil 50% atau lebih dari fraksi kasar tertahan saringan no. 4 (4.75 mm)	Kerikil bersih (sedikit atau tak ada butiran halus)	GW GP	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4$ , $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \cdot D_{60}}$ antara 1 dan 3 Tidak memenuhi kriteria untuk GW Batas-batas Atterberg di bawah garis A atau $PI < 4$ Batas-batas Atterberg di atas garis A atau $PI > 7$
		Kerikil banyak kandungan butiran halus	GM GC	
			Pasir lebih dari 50% fraksi kasar lolos saringan no. 4 (4.75 mm)	
		Kerikil banyak kandungan butiran halus		
	Pasir gradasi baik, pasir berkerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus		SW	
	Tanah berbutir halus 50% atau lebih lolos saringan no. 200 (0.075 mm)	Lanau dan lempung batas cair 50% atau kurang	ML	Lanau tak organik dan pasir sangat halus, serbuk bahan atau pasir halus berlanau atau berlempung Lempung tak organik dengan plastisitas rendah sampai sedang, lempung berkerikil, lempung berpasir, lempung berlanau, lempung kasar ("lean clays") Lanau organik dan lempung berlanau organik dengan plastisitas rendah
			CL	
			OL	
Lanau dan lempung batas cair > 50%		MH	Lanau tak organik atau pasir halus diatome, lanau elastis Lempung tak organik dengan plastisitas tinggi, lempung gemuk ("fat clays") Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai tinggi	
		CH		
		OH		
Tanah dengan kadar organik tinggi	P	Gambut ("peat") dan tanah lain dengan kandungan organik tinggi	Manual untuk identifikasi secara visual dapat dilihat di ASTM Designation D-2488	



**Gambar 3.1 Klasifikasi Tanah Berdasarkan USCS**

(Sumber:Hardiyatmo, 2017)

2. Klasifikasi tanah berdasarkan AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Official*)

Dalam sistem ini, tanah diklasifikasikan dalam tujuh kelompok besar yaitu A-1 sampai dengan A-7. Dalam penentuan klasifikasi tanah dengan sistem ini memerlukan nilai Indeks kelompok (GI) untuk mengindikasikan mutu dari suatu tanah. Persamaan untuk menentukan indeks ini dihitung dengan Persamaan 3.1 berikut.

$$GI = (F-35)[0,2+0,005(LL-40)]+0,001(F-15)(PI-10) \tag{3.1}$$

Dengan:

GI = indeks kelompok

F = persen butiran lolos saringan no.200

LL = batas cair, dan

PI = indeks plastisitas

Klasifikasi yang lebih lengkap dapat dilihat pada Gambar 3.2 berikut ini.

Klasifikasi Umum	Material Granuler (<35% lolos saringan no.200)							Tanah-tanah lanau lempung (>35% lolos saringan no.200)			
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				
Analisa saringan (%lolos)											
2,00 mm (no. 10)	50 maks	-	-								
0,425 mm (no. 40)	30 maks	50 maks	51 min								
0,075 mm (no. 200)	15 maks	25 maks	10 maks	35 maks	35 maks	35 maks	35 maks	36 min	36 min	36 min	36 min
Sifat fraksi lolos saringan no. 40											
Batas cair (LL)	-	-	-	40 maks	41 min	40 maks	41 min	40 maks	41 min	40 maks	41 min
Indeks plastis (PI)	6 maks		Np	10 maks	10 maks	11 min	11 min	10 maks	10 maks	11 min	11 min
Indeks kelompok (G)	0		0	0		4 maks		8 maks	12 maks	16 maks	20 maks
Tipe material yang pokok pada umumnya	Pasir batu, kerikil, dan pasir		Pasir Halus	Kerikil berlanau atau berlempung dan pasir				Tanah Berlanau		Tanah Lempung	
Penilaian umum sebagai tanah dasar	Sangat baik sampai baik							Sedang sampai buruk			

**Gambar 3.2 Klasifikasi Tanah Berdasarkan AASHTO**

(Sumber: Hardiyatmo, 2017)

Catatan:

Pada kelompok A-7 dibagi atas 2 sub kelompok, yaitu A-7-5 dan A-7-6. Pembagian ini bergantung pada batas plastisnya (PL). Jika  $PL > 30$  maka klasifikasinya A-7-5. Jika  $PL < 30$  maka klasifikasinya A-7-6.

### 3.1.3 Pengujian Properties Tanah

Tanah terdiri dari dua sampai tiga komponen yaitu udara, air, dan bahan padat serta terdapat ruang antara butiran tanah yang dapat berisi udara dan air. Tanah jenuh merupakan tanah yang seluruh rongga udaranya berisi air. Untuk tanah yang tidak mengandung air disebut tanah kering. Hubungan-hubungan kadar air, berat volume, dan lain-lainnya dijelaskan sebagai berikut.

#### 1. Kadar air

Kadar air pada tanah merujuk pada persentase air yang terkandung dalam tanah. Untuk mengetahui kadar air pada tanah perlu dilakukan pengujian dengan membandingkan berat air pada tanah ( $w_w$ ) dengan berat tanah kering ( $w_s$ ). Untuk mencari kadar air dihitung dengan Persamaan 3.1 berikut

$$w = \frac{W_2 - W_3}{W_3 - W_1} \times 100\% \quad (3.1)$$

Dengan:

$w$  = kadar air (%)

- $w_1$  = berat cawan kosong (gr)  
 $w_2$  = berat cawan + tanah basah (gr)  
 $w_3$  = berat cawan + tanah kering (gr)

2. Berat volume basah ( $\gamma_b$ )

Berat volume basah diartikan sebagai perbandingan antara berat tanah yang terkandung air dan udara dengan total volume tanah. Berat volume basah ditunjukkan pada Persamaan 3.2 sebagai berikut.

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

$$\gamma_b = \frac{G_s \gamma_w (1+w)}{1+e} \quad (3.2)$$

Dimana:

- $\gamma_b$  = Berat volume basah  
 $W$  = Berat total tanah  
 $V$  = Volume total tanah  
 $G_s$  = Berat jenis  
 $\gamma_w$  = Berat volume air  
 $e$  = Angka pori

3. Berat volume kering ( $\gamma_d$ )

Berat volume kering diartikan sebagai perbandingan antara berat tanah kering dengan total volume tanah. Berat volume kering ditunjukkan pada Persamaan 3.3 sebagai berikut.

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

$$\gamma_d = \frac{G_s + \gamma_w w}{1+e} \quad (3.3)$$

Dimana:

- $\gamma_d$  = Berat volume kering  
 $W_s$  = Berat tanah kering

4. Berat volume tanah padat ( $\gamma_s$ )

Berat volume tanah padat diartikan sebagai perbandingan antara berat butiran tanah kering dengan volume total tanah kering. Berat volume tanah padat ditunjukkan pada persamaan 3.4.

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

Dimana:

$V_s$  = Volume total tanah kering

5. Berat jenis ( $G_s$ )

Berat jenis diartikan sebagai perbandingan antara berat volume tanah padat dengan berat volume air. Berat jenis ditunjukkan pada persamaan 3.5.

$$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} \quad (3.5)$$

Berat jenis tanah dari berbagai tanah dapat dilihat pada Tabel 3.1 berikut.

**Tabel 3.1 Berat Jenis Tanah Berbagai Tanah**

No	Jenis Tanah	Berat Jenis ( $G_s$ )
1	Kerikil	2,65 – 2,68
2	Pasir	2,65 – 2,68
3	Lanau anorganik	2,62 – 2,68
4	Lempung organik	2,58 – 2,65
5	Lempung anorganik	2,68 – 2,75
6	Humus	1,37
7	Gambut	1,25 – 1,80

Sumber: Hardiyatmo (2017)

## 6. Pengujian analisis granuler

Pada pengujian analisis granuler ini dibagi menjadi dua pengujian, yaitu analisis saringan dan analisis hidrometer.

a. Analisis saringan

Tujuan dilakukan analisis hidrometer ini diartikan untuk menentukan persentase ukuran butir tanah yang tertahan pada saringan nomer 200. Metode uji ini dilakukan dengan menyaring tanah dalam saringan dengan bukaan saringan yang berbeda.

b. Analisis hidrometer

Tujuan dilakukan analisis hidrometer ini adalah untuk menentukan persentase ukuran butir tanah yang lolos pada saringan nomer 200. Metode uji ini menggunakan dasar hukum Stokes dengan memasukkan *reagen* kedalam larutan air.

7. Batas-batas konsistensi

Tanah dengan butiran halus memiliki kemampuan plastisitas karena kandungan partikel mineral lempung di dalamnya. Sifat plastisitas menggambarkan kemampuan tanah untuk beradaptasi dengan perubahan bentuk pada volume yang sama tanpa retak atau remuk. Berdasarkan kandungan air yang terkandung di dalamnya, tanah dapat berbentuk cair, plastis, semi padat, atau padat. Kondisi fisik tanah pada kadar air tertentu disebut konsistensi. Atterberg (1911) menjelaskan batas-batas konsistensi tanah berbutir halus melalui pengukuran kandungan kadar air, yang terdiri dari batas cair, batas plastis, dan batas susut

a. Batas cair

Batas cair ini merupakan kadar air pada keadaan batas antara tanah berbentuk cair dan plastis. Untuk mendapatkan nilai kadar air pada batas adalah dengan pukulan tanah pada alat *Cassagrande* hingga tanah tertutup celahnya sepanjang 12,7 mm. Jumlah pukulan yang menunjukkan nilai batas cair adalah pada pukulan ke 25.

b. Batas plastis

Batas plastis ini merupakan kadar air pada keadaan batas antara tanah semi solid dengan tanah kondisi plastis. Kondisi ini terjadi saat dapat digulung sampai diameter 3,1 mm dan muncul retak-retak pada permukaanya.

c. Batas susut

Batas cair ini merupakan kadar air pada keadaan batas antara tanah solid dengan tanah semi solid yang ditandai dengan keadaan tanah akan mengalami perubahan volume ketika ditambahkan air. Batas susut dinyatakan dalam Persamaan 3.6 berikut.

$$SL = w - \left( \frac{V-V_0}{W_0} \right) \times 100\% \quad (3.6)$$

Dengan:

SL = batas susut tanah

w = kadar air (%)

V = volume tanah basah (cm<sup>3</sup>)

V<sub>0</sub> = volume tanah kering oven (cm<sup>3</sup>)

W<sub>0</sub> = berat tanah kering (gr)

#### d. Indeks plastisitas

Indeks plastisitas pada tanah adalah suatu parameter yang menggambarkan kemampuan suatu tanah untuk mengalami perubahan bentuk atau deformasi secara plastis saat diberi tekanan. Nilai indeks plastisitas didapatkan dari selisih antara nilai batas cair dan batas plastis sesuai pada Persamaan 3.7 berikut,

$$PI = LL - PL \quad (3.7)$$

Dengan:

PI = indeks plastisitas

LL = batas cair

PL = batas plastis

Berikut merupakan pengelompokan macam tanah berdasarkan nilai indeks plastisitasnya sesuai Tabel 3.2 berikut.

**Tabel 3.2 Macam Tanah Berdasarkan Nilai Indeks Plastisitas**

PI	Sifat	Macam Tanah	Kohesi
0	Non plastis	Pasir	Non kohesif
<7	Plastisitas rendah	Lanau	Kohesif sebagian
7-17	Plastisitas sedang	Lempung berlanau	Kohesif
>17	plastisitas tinggi	Lempung	Kohesif

Sumber: Hardiyatmo (2017)

#### 8. Modulus elastisitas

Modulus elastisitas diartikan sebagai nilai yang menunjukkan angka elastisitas tanah dari nilai perbandingan tegangan yang dihasilkan terhadap regangan. Nilai perkiraan modulus elastisitas tanah dilihat pada Tabel 3.3.

**Tabel 3.3 Perkiraan Modulus Elastisitas (E)**

Macam Tanah	E (kN/m <sup>2</sup> )
<b>Lempung</b>	
Sangat lunak	300 – 3000
Lunak	2000 – 4000
Sedang	4500 – 9000
Keras	7000 – 20000
Berpasir	30000 – 42500
<b>Pasir</b>	
Berlanau	5000 – 20000
Tidak padat	10000 – 25000
Padat	50000 - 100000
<b>Pasir dan kerikil</b>	



**Lanjutan Tabel 3.3 Perkiraan Modulus Elastisitas (E)**

Macam Tanah	E (kN/m <sup>2</sup> )
Padat	80000 – 200000
Tidak padat	50000 – 140000
<b>Lanau</b>	2000 – 20000
<b>Loess</b>	15000 – 60000
<b>Serpih</b>	140000 - 1400000

(Sumber: Bowles, 1977)

#### 9. *Poisson's Ratio*

Nilai *Poisson's Ratio* diperlukan dalam input pada Plaxis 2D, nilai ini dapat ditentukan berdasarkan jenis tanah seperti pada Tabel 3.4 berikut.

**Tabel 3.4 Hubungan Antara Jenis Tanah dan Poisson's Ratio**

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

(Sumber: Bowles, 1977)

#### 3.1.4 Korelasi Hasil Pengujian Lapangan terhadap Parameter Tanah

Diadakannya korelasi hasil pengujian lapangan untuk mendapatkan parameter tanah adalah untuk memudahkan kepada setiap orang yang sedang dalam proses perencanaan atau pengawasan ketika membutuhkan informasi ringkas mengenai hubungan antar masing-masing parameter geoteknik. Salah satu

parameter yang dapat dijadikan bahan korelasi adalah N-SPT yang dikorelasikan untuk mendapatkan parameter-parameter tanah.

1. Korelasi N-SPT dengan kohesi untuk tanah lempung

Terzaghi dan Peck (1967) dalam Warman (2019) memberikan hubungan variasi nilai N-SPT dengan nilai kohesi untuk tanah lempung. Korelasi tersebut ditunjukkan pada Tabel 3.5 berikut.

**Tabel 3.5 Variasi Korelasi N-SPT dengan Kohesi Tanah Lempung**

Konsistensi	N	Cu (kN/m <sup>2</sup> )
Sangat lunak	0-2	<12
Lunak	2-4	12-25
Sedang	4-8	25-50
Kaku	8-15	50-100
Sangat kaku	15-30	100-200
Keras	>30	>200

(Sumber: Terzaghi dan Peck, 1967)

2. Korelasi N-SPT dengan berat volume untuk tanah kohesif

Bowles (1984) dalam Maulidha dkk. (2022) memberikan hubungan variasi nilai N-SPT untuk beberapa parameter tanah lainnya, salah satunya berat volume tanah kohesif yang ditunjukkan pada Tabel 3.6 berikut.

**Tabel 3.6 Variasi Korelasi N-SPT dengan Berat Volume Tanah Kohesif**

<i>Cohesive Soil</i>					
N ( <i>blow</i> )	<4	4-6	6-15	16-25	>25
$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	14-18	16-18	16-18	16-20	>20
qu (kPa)	<25	20-50	30-60	40-200	>100
Consistency	<i>Very soft</i>	<i>Soft</i>	<i>Medium</i>	<i>Stiff</i>	<i>hard</i>

(Sumber: Bowles, 1984)

Bowles (1977) dalam Rahman (2020) memberikan hubungan variasi nilai N-SPT untuk nilai berat volume *saturated* yang ditunjukkan pada Tabel 3.7 berikut.

**Tabel 3.7 Variasi Korelasi N-SPT dengan Berat Volume Tanah Kohesif**

<b>SPT N-Value</b>		<b>0 - 2</b>	<b>2 - 4</b>	<b>4 - 8</b>	<b>8 - 16</b>	<b>16 - 32</b>	<b>&gt;32</b>
<i>Unit</i>	pcf	<100	100 -	110 -	115 -	120 -	>130
<i>Weight</i>			120	125	130	140	
<i>(saturated)</i>	kN/m <sup>3</sup>	<15,7	15,7 –	17,3 –	18,1 –	18,8 –	>20,4
			18,8	19,6	20,4	22.0	

(Sumber: Bowles,1977)

3. Korelasi jenis tanah dengan modulus elastisitas tanah

Look (2014) memberikan hubungan variasi tipe tanah dengan nilai modulus elastisitas yang ditunjukkan pada Tabel 3.8 berikut.

**Tabel 3.8 Variasi Korelasi Jenis Tanah dengan Modulus Elastisitas**

<i>Type</i>	<i>Strength of soil</i>	<i>Elastic modulus, E (MPa)</i>	
		<i>Short term</i>	<i>Long term</i>
<i>Silt</i>	<i>Soft</i>	<10	<8
	<i>Stiff</i>	10-20	8-15
	<i>Hard</i>	>20	>15
<i>Clay</i>	<i>Very soft</i>	<3	<2
	<i>Soft</i>	2-7	1-5
	<i>Firm</i>	5-12	4-8
	<i>Stiff</i>	10-25	7-20
	<i>Very stiff</i>	20-50	15-35
	<i>Hard</i>	40-80	30-60

(Sumber: Look, 2014)

4. Korelasi jenis tanah dengan sudut geser tanah lempung

Carter dan Bentley (1999) memberikan korelasi dari variasi jenis tanah dengan sudut geser untuk tanah lempung yang ditunjukkan pada Tabel 3.9 berikut.

**Tabel 3.9 Variasi Korelasi Jenis Tanah dengan Sudut Geser Lempung**

Soil Type	USCS	$\phi$ (°)
Silty clays, sand – silt mix	SM	34
Clayey sands, Sandy-Clay mix	SC	31
Silts and clayey silts	ML	32
Clays of low plasticity	CL	28
Clayey silts	MH	25
Clays of High Plasticity	CH	19

(Sumber: Carter dan Bentley, 1999)

5. Korelasi jenis tanah dengan nilai permeabilitas tanah

Robertson (1990) dalam Warman (2019) memberikan korelasi antara variasi jenis tanah dengan nilai permeabilitasnya yang ditunjukkan oleh Tabel 3.10 berikut

**Tabel 3.10 Variasi Korelasi Jenis Tanah dengan Permeabilitas**

<i>Soil Type</i>	<b>Permeabilitas (m/s)</b>
<i>Organic soils-peats</i>	$1 \times 10^{-8}$ to $1 \times 10^{-6}$
<i>Clays-clay to silty clay</i>	$1 \times 10^{-10}$ to $1 \times 10^{-7}$
<i>Silt mixtures clayey silt to silty clay</i>	$3 \times 10^{-9}$ to $1 \times 10^{-7}$

(Sumber: Robertson, 1990)

### 3.1.4 Kuat Geser Tanah

Menurut Hardiyatmo (2018), kuat geser tanah merujuk pada gaya yang muncul akibat perlawanan butir-butir tanah terhadap desakan atau tarikan. Selama proses pembebanan, tanah ditahan oleh dua faktor, yaitu kohesi tanah yang

bergantung pada jenis dan kepadatan tanah, serta gesekan antara butir-butir tanah, yang besarnya sebanding dengan tegangan normal pada bidang geserannya.

Persamaan yang digunakan yaitu persamaan *coulomb* (1776). Persamaan tersebut ditunjukkan pada Persamaan 3.8 berikut.

$$\tau = c + \sigma \operatorname{tg}\varphi \quad (3.8)$$

Dengan:

$\tau$  = Kuat geser dalam ( $\text{kN/m}^2$ )

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

$\sigma$  = Tegangan normal pada bidang runtuh ( $\text{kN/m}^2$ )

$\varphi$  = Sudut geser dalam (derajat)

### 3.2 Stabilitas Lereng

Analisis stabilitas lereng merupakan analisis stabilitas pada lereng dengan tujuan untuk mendapatkan nilai keamanan dari berbagai jenis lereng seperti lereng alam dan lereng urugan tanah. Analisis ini perlu dilakukan pada perancangan bangunan seperti jalan raya dan perkuatan lereng yang berpotensi longsor ketika terjadi gempa

#### 3.2.1 Faktor Penyebab Longsor

Dalam Hardiyatmo (2018), Terzaghi (1950) memberikan penjelasan terkait faktor penyebab kelongsoran suatu lereng. Berikut merupakan faktor penyebab kelongsoran suatu lereng

1. Adanya penambahan beban pada lereng seperti adanya bangunan baru, rembesan air yang masuk ke pori tanah, beban dinamis oleh tumbuhan yang tertiuip angin dan lain lain
2. Penggalian pada kaki lereng
3. Kemiringan lereng yang semakin tajam karena adanya penggalian
4. Peningkatan tekanan lateral akibat air
5. Gempa bumi dan getaran yang berlebihan

6. Bertambahnya kadar air sehingga mengurangi kekuatan tahanan geser pembentuk lereng

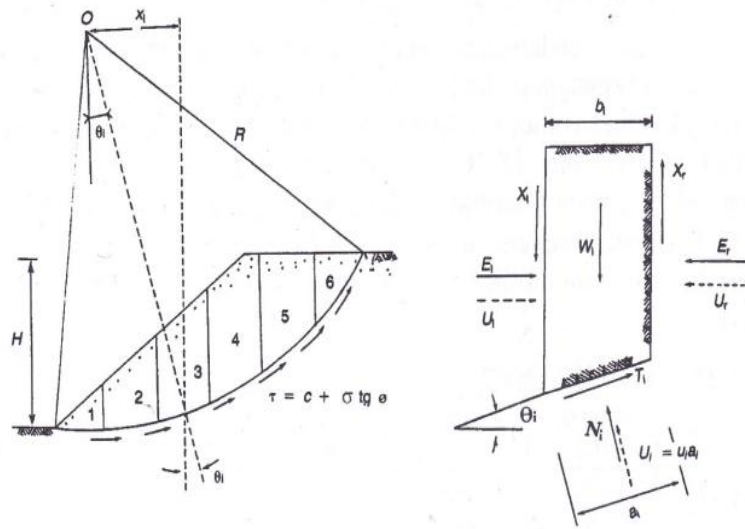
### **3.2.2 Metode Penanggulangan Kelongsoran Lereng**

Serangan longsor pada lereng seringkali menimbulkan dampak yang merugikan. Sehingga, dilakukan beberapa metode untuk mencegahnya. Berikut beberapa teknik yang digunakan untuk mengatasi serangan longsor pada lereng.

1. Melandaikan kemiringan lereng sehingga gaya berat di atas lereng semakin mengecil sehingga lereng mengalami erosi semakin sedikit
2. Membuat terasering pada tebing sehingga memperkecil kemiringan lereng dan memperluas area resapan air hujan ke dalam tanah
3. Dinding penahan tanah yang dapat dibuat dari pasangan batu dan beton bertulang untuk menahan gerakan tanah.
4. Perkuatan dengan bahan geotekstil yang memiliki kuat tarik tinggi untuk mencegah terjadinya longsor dan amblesan tanah
5. Perkuatan dengan metode *soil nailing*

### **3.2.3 Analisis Stabilitas Lereng dengan Metode *Fellenius***

Metode Fellenius mempunyai nilai kesalahan yang tergantung pada beberapa faktor seperti faktor aman, sudut pusat lingkaran, sudut pusat lingkaran yang dipilih, dan tekanan air pori (Hardiyatmo, 2018). Meskipun begitu, metode ini masih banyak digunakan dalam praktik karena dianggap cukup sederhana dan kesalahan perhitungannya masih pada sisi yang aman. Dalam perhitungannya, massa tanah yang longsor dibagi menjadi irisan vertikal dan gaya yang bekerja pada setiap irisan ditunjukkan pada Gambar 3.3.



**Gambar 3.3 Gaya yang Bekerja pada Irisan Vertikal**

(Sumber: Hardiyatmo, 2018)

Dengan:

$X_1, X_r$  = Gaya geser efektif di sepanjang irisan

$E_1, E_r$  = Gaya normal efektif yang bekerja sepanjang dasar irisan

$T_i$  = Resultan gaya geser efektif yang bekerja sepanjang dasar irisan

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

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

$U_i$  = Tekanan air pori di dasar irisan

Analisis dengan metode ini mendefinisikan gaya-gaya yang bekerja pada sisi kiri dan kanan dari sembarang irisan menghasilkan resultan nol pada arah yang tegak lurus dengan bidang kelongsoran. Faktor aman metode ini dinyatakan dalam Persamaan 3.9 berikut.

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

$$F = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} c a_i + (W_i \cos \theta_i - u_i a_i) \text{tg} \phi}{\sum_{i=1}^{i=n} W_i \sin \theta_i} \quad (3.9)$$

Dengan:

$F$  = Faktor aman

- $c$  = Kohesi tanah ( $\text{kN/m}^2$ )  
 $\varphi$  = Sudut geser dalam tanah ( $^\circ$ )  
 $a_i$  = Panjang lengkung lingkaran pada irisan ke-i (m)  
 $W_i$  = Berat irisan tanah ke-i (kN)  
 $U_i$  = Tekanan air pori pada irisan ke-i ( $\text{kN/m}^2$ )  
 $\theta_i$  = Sudut yang didefinisikan dalam gambar (derajat)

### 3.3 Beban Lintas

Beban lalu lintas diterapkan pada seluruh lebar permukaan jalan dengan nilai bebannya disesuaikan dengan kelas jalan. Hubungan kelas jalan dengan beban lalu lintas ditunjukkan pada Tabel 3.11 sebagai berikut.

**Tabel 3.11 Beban Lalu Lintas Untuk Analisis Stabilitas dan Beban di Luar Jalan**

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

(Sumber: SNI 8460:2017)

### 3.4 Kriteria Faktor Keamanan

Kriteria faktor keamanan lereng untuk analisis stabilitas lereng tanah didasarkan pada pertimbangan biaya dan konsekuensi kegagalan lereng terhadap tingkat ketidakpastian kondisi analisis. Kriteria faktor keamanan ditunjukkan pada Tabel 3.12 sebagai berikut



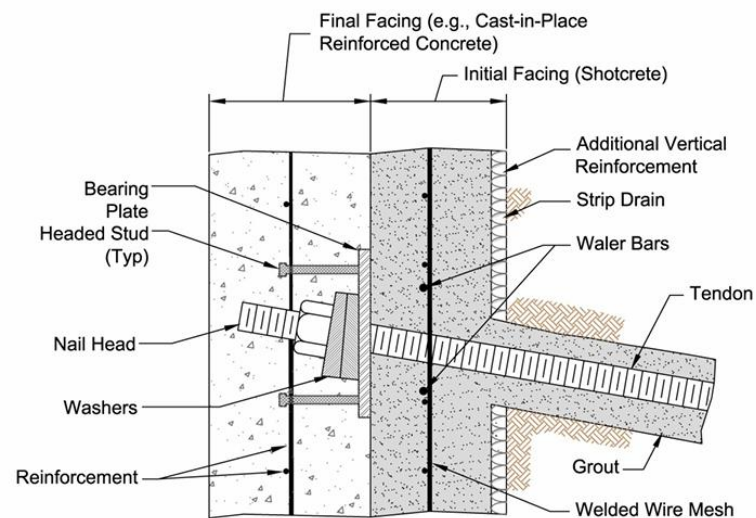
**Tabel 3.12 Kriteria Faktor Keamanan**

Biaya dan konsekuensi dari kegagalan lereng	Tingkat ketidakpastian kondisi analisis	
	Rendah	Tinggi
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

(Sumber: SNI 8460:2017)

### 3.5 *Soil nailing*

Berdasarkan SNI 8460:2017, *soil nailing* merupakan sistem perkuatan lereng tanpa gaya prategang yang terdiri atas sejumlah *nail bar* yang dipasang di dalam tanah dengan cara dibor atau dipancang. Gambar rinci *soil nailing* ditunjukkan pada Gambar 3.4 berikut.

**Gambar 3.4 Gambar Rinci *Soil nailing***

(Sumber: FHWA-NHI-14-007)

#### 3.5.1 Elemen Dasar *Soil nailing*

Secara umum elemen-elemen dalam *soil nailing* adalah:

1. *Nail bars*

*Nail bars* berupa batangan baja yang sesuai standar ASTM A615 dengan daya dukung tarik 420 MPa (60 ksi atau *Grade 60*) atau 520 MPa (75 ksi atau *Grade 75*). Properti baja ulir ditunjukkan pada Tabel 3.13 sebagai berikut.

**Tabel 3.13 Properti Baja Ulir Untuk *Soil nailing***

Diameter		Luas Penampang		Berat Jenis		Kuat Leleh		Kapasitas Beban Aksial	
Inggris	mm	Inch <sup>2</sup>	mm <sup>2</sup>	Lbs/ft	kg/m	Ksi	MPa	Kips	kN
#6	19	0,44	284	0,86	21,8	60	414	26,4	118
						75	571	33,0	147
#7	22	0,60	387	0,99	25,1	60	414	36,0	160
						75	571	45,0	200
#8	25	0,79	510	1,12	28,4	60	414	47,4	211
						75	571	59,3	264
#9	29	1,00	645	1,26	32,0	60	414	60,0	267
						75	571	75,0	334
#10	32	1,27	819	1,43	36,3	60	414	76,2	339
						75	571	95,3	424
#11	36	1,56	1006	1,61	40,9	60	414	93,6	417
						75	571	117,0	520
#14	43	2,25	1452	1,86	47,2	60	414	135,0	601
						75	571	168,8	751

(Sumber: Bryne et al, 1998)

2. *Nail Head*

*Nail Head* adalah bagian ujung dari baja yang menonjol keluar dari *wall facing*. Komponen ini memiliki pelat penahan, mur persegi enam, cincin, dan *headed stud*.

3. *Grout*

Cor beton untuk *soil nailing* berupa adukan semen pasir dengan semen tipe I, II, dan III yang biasa digunakan. Tipe semen yang digunakan disesuaikan dengan kondisi yang diinginkan

4. *Centralizers*

*Centralizers* dipasang di sepanjang batang baja dengan jarak berkisar antara 0,5 sampai 2,5 m yang terbuat dari PVC atau material sintetik lainnya.

5. *Wall Facing*

*Wall facing* dapat berupa panel beton pracetak terbuat dari *shotcrete* yang berfungsi sebagai penghubung antar batangan baja dan proteksi permukaan tanah terhadap erosi.

6. *Drainage System*

Sistem drainase dalam *soil nailing* berupa lembaran vertikal geokomposit dipasangkan di antara muka dinding sementara dan permukaan galian untuk mencegah meningkatnya tekanan air pada lereng di belakang dinding

7. *Reinforcement Connector*

Penghubung untuk menyambung baja-baja dalam sambungan baja karena kebutuhan baja terlalu panjang

### 3.5.2 Persyaratan Teknis *Soil nailing*

1. Kemiringan *nail*

Berdasarkan SNI 8460:2017, pemasangan *nail bar* dipasang dengan kemiringan berkisar antara  $10^\circ$  sampai dengan  $20^\circ$  di bawah bidang horizontal. Kemiringan yang terlalu besar akan menyebabkan *nail* tidak efektif dalam menahan gaya lateral, sedangkan kemiringan  $< 10^\circ$  akan menyebabkan terbentuknya pori di dalam *grout*.

2. Jarak antar *nail*

Berdasarkan SNI 8460:2017 jarak antar-*nail* secara horizontal dan vertikal biasanya sama. Untuk *soil nailing* berjenis *drilled and grouted* memiliki spasi *nail* 1,5 m dan 1 m sampai 1,2 m untuk *soil nailing* berjenis pancang. *National Highway Institute* (2015) dalam bukunya *Soil Nail Walls Reference Manual* menyatakan bahwa perkalian antara jarak horizontal ( $S_h$ ) dengan jarak vertikal ( $S_v$ ) harus lebih kurang dari 36 hingga 42 ft<sup>2</sup>.

3. Panjang *nail bar*

Berdasarkan SNI 8460:2017, panjang *nail bar* berkisar antara 0,6 H sampai dengan 1,2 H dengan H adalah kedalaman galian atau tinggi timbunan.

### 3.5.3 Kelebihan dan Kekurangan *Soil nailing*

Berdasarkan FHWA-NHI-14-007, kelebihan penggunaan *soil nailing* adalah sebagai berikut.

1. Konstruksi *soil nailing* tidak terlalu mengganggu lalu lintas dan menimbulkan dampak bagi lingkungan lebih kecil dibandingkan teknik lain seperti *soldier pile walls*.
2. Pemasangan *soil nailing* relatif lebih cepat
3. Biaya pemasangan *soil nailing* akan lebih ekonomis dibandingkan pemasangan dinding penahan tanah gravitasi yang memiliki tinggi lebih dari 12 hingga 15 ft

Berdasarkan FHWA-NHI-14-007, penggunaan *soil nailing* memiliki pembatasan yang dijelaskan sebagai berikut.

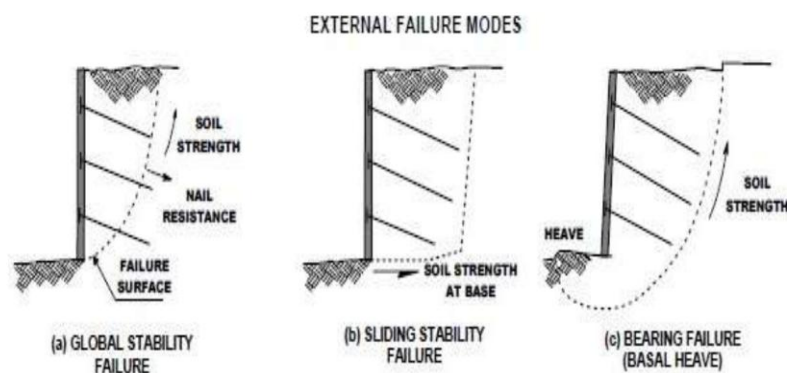
1. Daerah dengan muka air tanah tinggi tidak cocok dengan metode *soil nailing*
2. Dalam proyek yang menerapkan kriteria pergerakan dinding yang ketat, tindakan tambahan untuk membatasi defleksi mungkin diperlukan.

#### 3.5.4 Analisis Stabilitas Lereng dengan Perkuatan *Soil nailing*

Berdasarkan SNI 8460:2017, dinding *soil nailing* perlu dianalisis stabilitas global dan stabilitas internalnya. Analisis stabilitas global bertujuan memeriksa stabilitas perkuatan dinding *soil nailing* secara menyeluruh terhadap bahaya longsor. Sedangkan untuk analisis stabilitas internal bertujuan mendapatkan gaya-gaya *nail* yang selanjutnya digunakan untuk memeriksa keamanan *nail bar*.

1. Analisis stabilitas global

Macam macam analisis stabilitas global ditunjukkan pada Gambar 3.5 berikut.

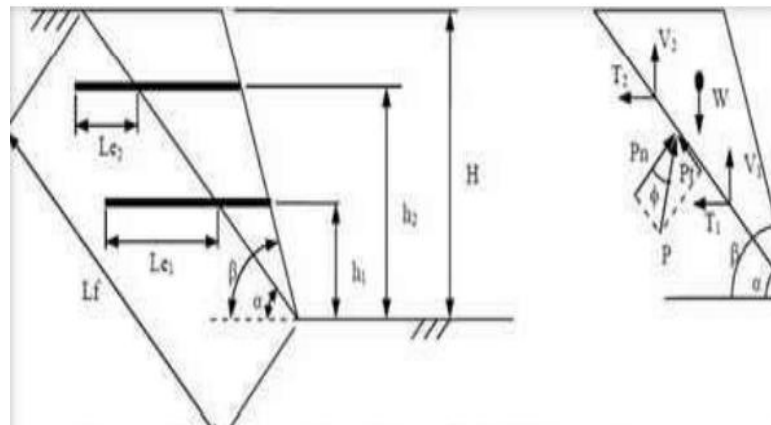


**Gambar 3.5** Macam Analisis Stabilitas Global

(Sumber: Kumalasari, 2012)

a. Faktor aman terhadap keruntuhan global

Prashant dkk (2010) menjelaskan bahwa Metode Baji (*wedge*) digunakan untuk menghitung secara manual dalam menentukan nilai faktor aman terhadap keruntuhan global. Gaya yang bekerja dalam metode baji ditunjukkan pada Gambar 3.6 sebagai berikut.



**Gambar 3.6 Gaya yang Bekerja dalam Metode Baji (*Wedge*)**

(Sumber: Kumalasari, 2012)

Berdasarkan SNI 8460:2017, faktor keamanan minimum terhadap stabilitas global senilai  $\geq 1,5$  untuk kondisi jangka panjang dan  $\geq 1,3$  untuk kondisi jangka pendek. Untuk dinding *soil nailing* permanen, perlu ditinjau dengan beban gempa dan dinyatakan stabil bila faktor keamanan  $\geq 1,1$

Berdasarkan Gambar 3.6 didapatkan Persamaan 3.10 dan 3.11 berikut ini.

$$\sum T_i - P_n \sin a + P_t \cos a = 0 \quad (3.10)$$

$$W - P_n \cos a - P_t \sin a - \sum v_i = 0 \quad (3.11)$$

Perhitungan nilai faktor keamanan suatu lereng ditunjukkan pada

Persamaan 3.11 berikut

$$FS = \frac{c \cdot L_f + W \cos a \cdot \tan \alpha + (\sum T_i \sin(\alpha + i) - \sum V_i \cos(\alpha + i)) \tan \phi}{w \cdot \sin a - \sum T_i \cos(\alpha + i) - \sum V_i \cos(\alpha + i)}$$

Dengan :

FS = faktor aman

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

- $\phi$  = sudut geser dalam tanah ( $^{\circ}$ )  
 $\alpha$  = sudut kemiringan bidang longsor terhadap garis horizontal  
 $W$  = berat irisan tanah ke-n (kN/m)  
 $Q$  = beban mati di atas lereng (kN/m)  
 $L_f$  = panjang lengkung lingkaran pada irisan ke-n (m)  
 $L_e$  = panjang *nail bar* di belakang bidang longsor (m)  
 $\beta$  = kemiringan lereng ( $^{\circ}$ )  
 $i$  = kemiringan pemasangan sudut *nail* ( $^{\circ}$ )  
 $\Sigma T_i$  = jumlah daya dukung terhadap gaya tarik (kN/m), dan  
 $\Sigma V_i$  = jumlah daya dukung gaya geser (kN/m)  
 Utomo (2019) menjelaskan perhitungan terhadap keruntuhan global sebagai berikut.

#### 1) Gaya Geser dan Gaya Tarik Ijin Global

Untuk menghitung gaya geser dan gaya tarik ijin global pada sebuah *nail bar* ditunjukkan pada persamaan 3.12 dan 3.13

$$V = \frac{Rn}{2\sqrt{1+4\tan^2(90^{\circ}-\alpha)}} \quad (3.12)$$

$$T = 4V \tan(90 - \alpha) \quad (3.13)$$

Dengan:

$V$  = gaya geser ijin *nail bar*

$T$  = gaya tarik ijin *nail bar*, dan

$Rn$  = daya dukung tarik *nail bar*

Untuk menghitung gaya geser ijin dari tanah dapat dihitung dengan persamaan 3.14 sebagai berikut.

$$V = P_{max} = \frac{D}{2} L_o \quad (3.14)$$

Dengan:

$V$  = gaya geser ijin pasif tanah

$D$  = diameter *nail bar*+grouting

$$L_o = \sqrt[4]{\frac{4EI}{KsD}}$$

EI = kekauan *nail bar*, diameter *nail bar* tanpa grouting

Ks = modulus reaksi lateral tanah pada Tabel 3.14, dan

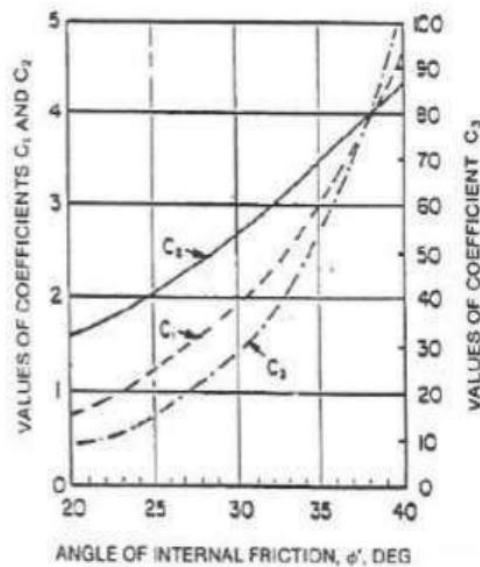
$$P_{\max} = \frac{Pu}{2}$$

= tegangan pasif yang dibatasi menjadi setengah tegangan pasif ultimit dan dihitung dari nilai terkecil pada persamaan 3.15 dan 3.16 berikut

$$Pu = (C_1 \times Z + C_2 \times D) \gamma Z \quad (3.15)$$

$$Pu = C_3 D \gamma Z \quad (3.16)$$

Nilai koefisien  $C_1$ ,  $C_2$ , dan  $C_3$  ditunjukkan pada Gambar 3.7 berikut



**Gambar 3.7 Korelasi Koefisien  $C_1$ ,  $C_2$ , dan  $C_3$**

(Sumber : API, 1987)

Nilai modulus reaksi lateral menurut Bowles ditunjukkan pada Tabel 3.14

Tabel 3.14 Perkiraan Nilai Ks

Jenis Tanah	Ks, kcf	Ks, kN/m <sup>3</sup>
Pasir lepas	300-100	4800 – 16000
Pasir padat sedang	60-500	9600 – 80000
Pasir padat	400-800	64000 – 128000
Pasir padat berlempung	200-500	32000 – 80000
Tanah berlempung	150-300	24000 – 48000
qu ≤ 200 kPa (4ksf)	75-150	12000 – 24000
200 < qu ≤ 400 kPa	150-300	24000 – 48000
qu > 800 kPa	>300	>48000

(sumber : Bowles,1996)

Gaya tarik ijin pada *nail* perlu dibatasi dengan gaya geser ijin terkecil antara *nail bar* dengan tanah. Hal ini ditentukan dengan persamaan 3.17 berikut.

$$\frac{V_{max}^2}{Rc^2} + \frac{T_{max}^2}{Rn^2} = 1 \quad (3.17)$$

Dengan:

$V_{max}$  = gaya geser ijin global

$T_{max}$  = gaya tarik ijin global, dan

$Rc$  =  $\frac{Rn}{2}$  = daya dukung geser *nail bar*

## 2) Gaya Tarik Ijin dari Perkuatan Soil *Nail*

Gaya ijin global dapat digunakan jika gaya ijin global lebih besar dari gaya tarik ijin masing-masing *nail*. Perhitungan ini ditunjukkan dengan persamaan 3.18 berikut

$$T_i = \frac{\pi \times D \times L \times e \times f_{max}}{F_s} \quad (3.18)$$



Nilai Fmax ditunjukkan pada tabel 3.15 berikut.

**Tabel 3.15 Estimasi Nilai Ultimate Bond Strength**

Jenis tanah	Ultimate bond strength, qs	
	kPa	Psi
<i>Silty clay</i>	35-50	5-7
<i>Clayey silt</i>	90-140	13-20
<i>Loess</i>	25-75	4-11
<i>Soft clay</i>	20-30	3-4
<i>Stiff clay</i>	40-60	6-9
<i>Stiff clayey silt</i>	40-100	6-15
<i>Calcareous sandy clay</i>	90-140	13-20

(sumber : Elias a Juran, 1991)

b. Faktor aman terhadap gaya geser

Analisis faktor aman terhadap gaya geser ini dilakukan untuk mengetahui nilai faktor aman lereng perkuatan lereng terhadap kegagalan penggeseran tanah. Prashant dkk (2010) memberikan perhitungan faktor aman terhadap guling ditunjukkan pada Persamaan 3.19 berikut.

$$FS = \frac{Cb.BL + (W + Q + Pa \sin \phi) \tan \phi}{PA \cos \phi} \geq 1,3 \text{ (aman)} \quad (3.19)$$

Nilai Ka ditunjukkan pada persamaan 3.20 untuk digunakan dalam perhitungan tekanan aktif lateral pada persamaan 3.21

$$K_a = \tan^2 \left( 45^\circ - \frac{\phi}{2} \right) \quad (3.20)$$

$$Pa = \frac{\gamma \times H^2}{2} \times Ka \quad (3.21)$$

Dengan:

Fs = faktor aman

Cb = kohesi tanah (kN/m<sup>2</sup>)

BL = lebar struktur

W = berat irisan tanah (kN/m)

Q = beban mati di atas lereng (kN/m)

$\phi$  = sudut geser dalam tanah

H = tinggi tanah (m)

$\gamma$  = berat isi tanah (kN/m), dan

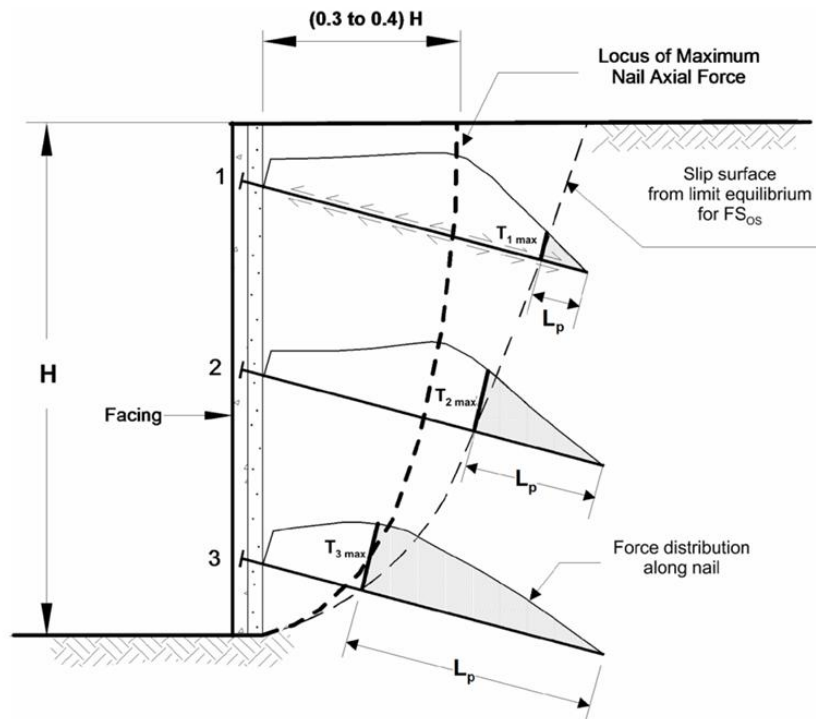
## 2. Analisis stabilitas internal

Berdasarkan SNI 8460:2017, analisis stabilitas internal adalah analisis terhadap sejumlah bidang gelincir yang memotong beberapa atau seluruh *nail bar* yang menyebabkan termobilisasinya tahanan *nail* terhadap cabut pada bagian *nail* di belakang bidang gelincir.

### a. Faktor aman terhadap putus tulangan

Hardiyatmo (2006) dalam Hanif dkk (2017) membuat batas faktor aman terhadap putus tulangan adalah  $\geq 1,2$ .

Gambaran keruntuhan putus tulangan ditunjukkan pada Gambar 3.8 berikut.



**Gambar 3.8 Keruntuhan Putus Tulangan**

(Sumber: FHWA-NHI-14-007)

Prashant dkk (2010) memberikan perhitungan faktor aman terhadap putus tulangan ditunjukkan pada Persamaan 3.22 dan 3.23 berikut.

$$Fr = \frac{0,25 \times \pi \times d^2 \times fy}{1000 \times \sigma_h \times S_v \times S_h} \quad (3.22)$$

$$\sigma_h = K_a \times \gamma \times Z \quad (3.23)$$

Dimana:

$S_v$  = jarak tulangan arah vertikal (m)

$S_h$  = jarak tulangan arah horizontal (m)

$F_y$  = daya dukung tulangan (MPa)

$d$  = diameter tulangan (mm)

$\sigma_h$  = tekanan horizontal pada kedalaman tanah yang ditinjau ( $\text{kN/m}^2$ )

$\gamma$  = berat isi tanah ( $\text{kN/m}^3$ )

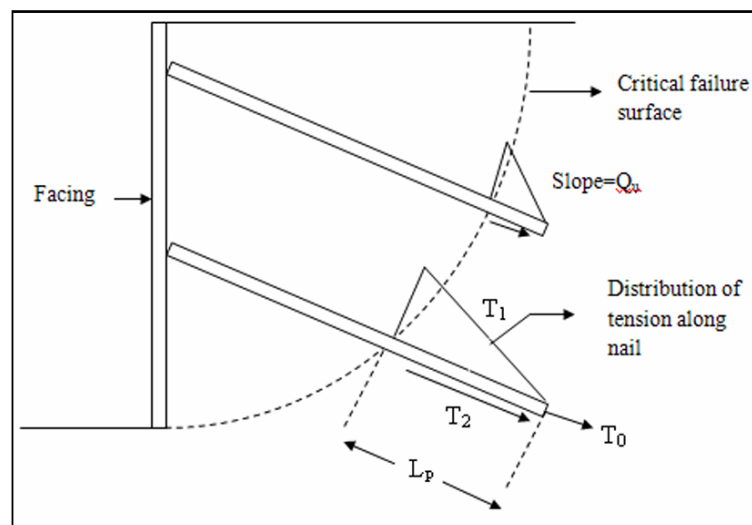
$Z$  = kedalaman tanah yang ditinjau (m)

$K_a$  = koefisien tekanan aktif lateral pada persamaan 3.20

b. Faktor aman terhadap cabut tulangan

Hardiyatmo (2006) dalam Hanif dkk (2017) membuat batas faktor aman terhadap cabut tulangan adalah  $\geq 1,5$ .

Gambaran keruntuhan cabut tulangan ditunjukkan pada Gambar 3.9 berikut



**Gambar 3.9 Keruntuhan Cabut Tulangan**

(Sumber: Prashant dkk, 2010)

Prashant dkk (2010) memberikan perhitungan faktor aman terhadap putus tulangan ditunjukkan pada Persamaan 3.24 berikut.

$$F_p = \frac{\pi \times q_u \times D \times h \times L_p}{\sigma_h \times S_v \times S_h} \quad (3.24)$$

Dengan:

$S_v$  = jarak tulangan vertikal (m)

$q_u$  = *ultimate bond strength* (kN/m<sup>2</sup>)

$\sigma_h$  = tekanan horizontal pada kedalaman tanah yang ditinjau (kN/m<sup>2</sup>)

$L_p$  = panjang tulangan di daerah pasir (m)

$\phi$  = sudut geser dalam tanah

Ddh = diameter lubang bor (m)

### 3.6 Program Plaxis

Program komputer yang umum digunakan untuk analisis di bidang geoteknik adalah plaxis. Plaxis adalah program elemen hingga untuk analisis di bidang geoteknik di mana aplikasi ini menggunakan model-model tanah untuk simulasi perilaku yang terjadi di tanah. Prosedur pembuatan model secara grafis yang mudah sehingga memungkinkan pembuatan model elemen hingga yang rumit menjadi lebih cepat dengan fasilitas yang dapat menampilkan hasil yang lebih rinci. Model yang akan digunakan pada penelitian ini yaitu model Mohr-Coulomb yang merupakan model elastis – plastis yang terdiri dari lima buah parameter, yaitu  $E$  dan  $\mu$  untuk memodelkan elastisitas tanah,  $\phi$  dan  $c$  untuk memodelkan plastisitas tanah, dan  $\psi$  sebagai sudut dilatasi.

Dalam pemrograman plaxis, menurut SNI 8460:2017, metode pseudostatik digambarkan dengan pengaruh gempa berupa percepatan horizontal dan atau vertikal. Koefisien dari nilai seismik yang digunakan adalah nilai puncak di permukaan (PGA). Untuk koefisien seismik horizontal yang dimasukkan ke dalam perhitungan metode pseudostatik adalah koefisien seismik horizontal yang bernilai 0,5 dari PGA.

Terdapat beberapa langkah yang harus dilakukan dalam tahap pengerjaan program Plaxis seperti berikut ini.

1. *Input data*

Pada tahap pertama ini dilakukan pemodelan pada aplikasi agar sesuai dengan kondisi asli di lapangan. Beberapa data yang dimasukkan seperti *properties* tanah di setiap lapisan, beban yang ada di tanah tersebut, dan letak kedalaman muka air

2. *Calculation*

Setelah memasukkan semua data yang diperlukan untuk dianalisis oleh Plaxis, langkah selanjutnya adalah dengan melakukan perhitungan dari pemodelan yang sudah ada.

3. *Output*

Setelah melakukan kalkulasi, plaxis akan menampilkan *output* hasil perhitungan. Hasil dari kalkulasi dapat berupa angka, gambar, dan kurva

4. *Curve*

Plaxis dapat dipakai untuk menggambarkan kurva hubungan antara dua variabel seperti hubungan beban terhadap *displacement* dan diagram tegangan-regangan.

## BAB IV

### METODE PENELITIAN

#### 4.1 Tinjauan Umum

Metode penelitian adalah proses yang dilakukan oleh peneliti dalam rangka mengumpulkan data serta melakukan analisis terhadap data yang telah didapatkan. Penelitian dilakukan pada lereng Cibeureum, Kabupaten Cianjur. Penelitian meliputi analisis stabilitas lereng dengan kondisi lereng awal dan lereng hasil perkuatan dengan *soil nailing* menggunakan program *Plaxis 2D V20* yang menghasilkan berupa angka keamanan lereng.

#### 4.2 Lokasi Studi Kasus

Penelitian dilakukan pada lereng Cibeureum, Kabupaten Cianjur yang sebelumnya mengalami kelongsoran akibat gempa bumi tanggal 21 November 2022 dengan *Latitude* 6°47'44.49"S dan *Longitude* 107° 4'45.93"E. Lokasi studi kasus dapat dilihat pada Gambar 4.1 berikut



**Gambar 4.1 Lokasi Studi Kasus**

(Sumber: Google Earth, 2023)

### 4.3 Data Penelitian

Penelitian yang akan digunakan dalam penelitian ini merupakan data sekunder sebagai berikut.

1. Data uji tanah di lapangan
2. Data gambar geometri lereng
3. Data laboratorium
4. Data beban gempa, dan
5. Data *soil nailing*

### 4.4 Tahapan Penelitian

Dalam penelitian ini dilakukan beberapa tahap penelitian sebagai berikut.

1. Tahapan persiapan  
Pada tahap ini dilakukan pencarian dan mempelajari literatur terkait topik penelitian yang akan dilakukan.
2. Tahapan pengumpulan data  
Dalam tahapan ini dilakukan pengumpulan data-data lapangan dan referensi pendukung untuk penelitian. Selain itu, peneliti melakukan pengambilan sampel tanah pada lereng Cibeureum. Setelah itu, peneliti melakukan pengujian tanah sampel di Laboratorium Mekanika Tanah UII untuk mendapatkan data propertis tanah dan pengujian geser langsung.
3. Tahap analisis data  
Setelah data *properties* tanah dan hasil uji geser langsung didapatkan, kemudian dilakukan pengolahan data dan menganalisis dengan bantuan *Plaxis 2D V20*. Analisis yang dilakukan antara lain sebagai berikut
  - a. Analisis stabilitas lereng awal dengan program *Plaxis 2D V20* dan perhitungan manual dengan metode *Fellenius*
  - b. Analisis lereng dengan perkuatan *soil nailing* dengan program *Plaxis 2D V20* kemudian dibandingkan dengan perhitungan manual
4. Tahap pembahasan



Memberikan pembahasan berisi jawaban dari hasil penelitian secara sistematis dan lengkap. Dari hasil pembahasan ini kemudian peneliti membuat kesimpulan yang menjawab rumusan masalah dari penelitian ini.

## 4.5 Tahapan Pengoperasian Plaxis

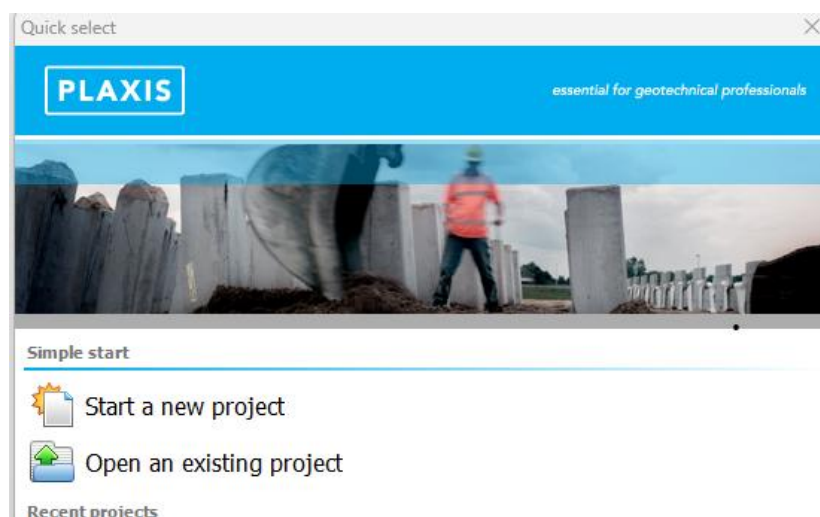
Tahapan analisis yang digunakan pada penelitian ini menggunakan program Plaxis V20 sebagai berikut

### 4.5.1 Plaxis *input*

Berikut merupakan tahapan dalam tahap Plaxis *input*

1. Buka program *Plaxis 2D V20*

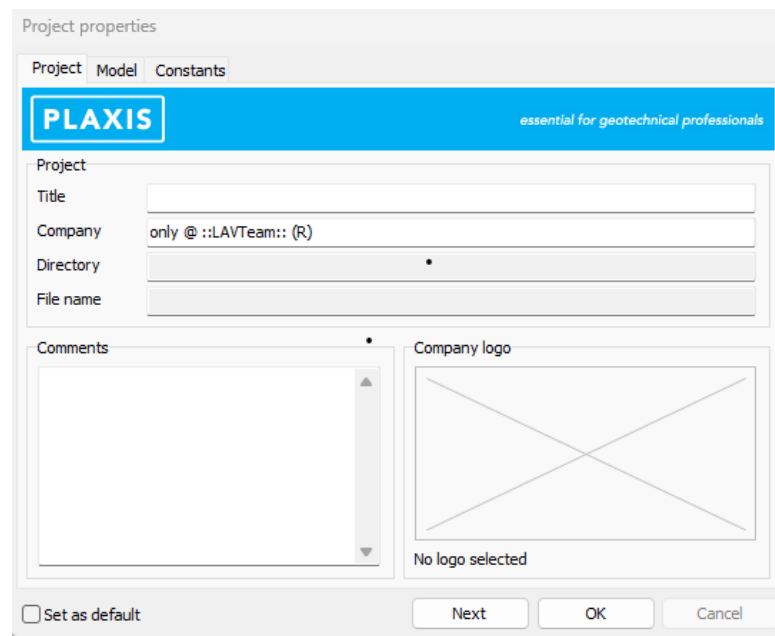
Pengoperasian aplikasi *Plaxis 2D V20* dimulai dengan melakukan *double click* pada *icon* aplikasi *Plaxis 2D V20 input*. Lalu akan muncul kotak informasi dengan pilihan *Start new project/open an existing project*, kemudian memilih *new project* dan pilih OK seperti tampak pada Gambar 4.2 berikut ini.



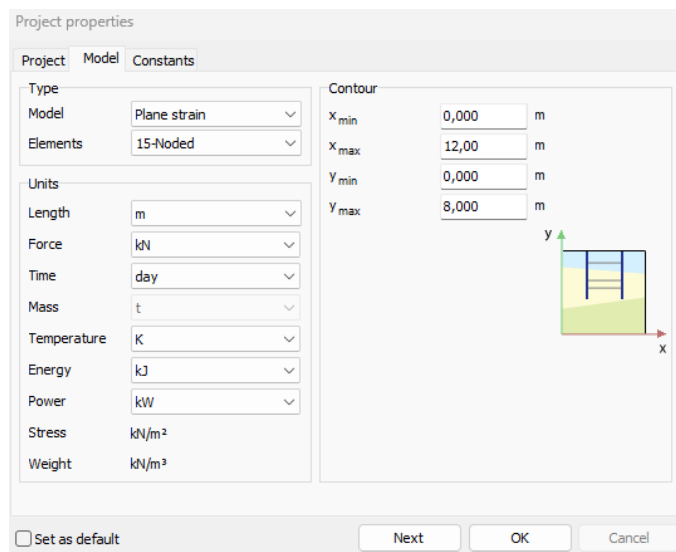
**Gambar 4.2 Quick Select**

## 2. *Project Properties*

Terdapat tiga tab pada *project properties*, yaitu *tab project*, *model*, dan *constant*. Memasukkan nama proyek yang akan dimodelkan dalam kotak dialog *title* pada tab *project*. Kemudian memilih analisis model *plain strain* dan memilih jenis elemen dasar *15-Noded* untuk hasil analisis yang akurat. Kemudian menentukan satuan pada kolom *units* sebagai acuan dalam proses *input* parameter pemodelan lereng. Tahap ini ditunjukkan pada Gambar 4.3 dan 4.4 berikut.



**Gambar 4.3 *Project Properties Tab Project***

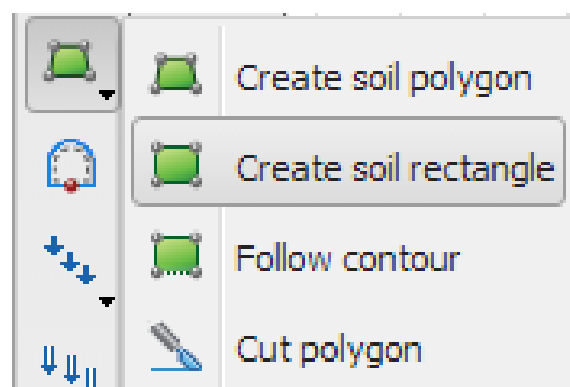


**Gambar 4.4 Project Properties Tab Model**

3. Pemodelan geometri

Tahapan-tahapan yang dilakukan dalam penggambaran model geometri adalah sebagai berikut.

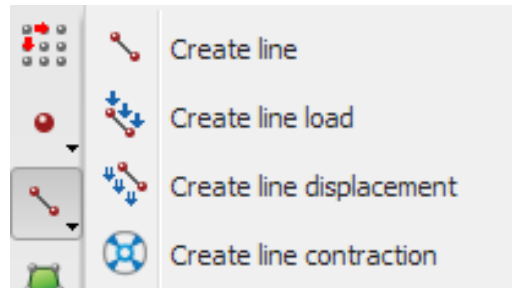
- a. Memilih opsi *Structure* pada tab
- b. Kemudian membuat gambar geometri dengan fitur *Create soil polygon* sesuai koordinat yang telah ditentukan. Langkah ini ditunjukkan pada Gambar 4.5 berikut.



**Gambar 4.5 Create Soil Polygon**

- c. Menambah beban pada geometri tanah dengan memilih opsi *create line load* lalu memulai dari titik awal dan titik akhir pada geometri yang

menerima beban, lalu klik kanan *mouse* untuk mengakhiri opsi ini. Tahap ini ditunjukkan pada Gambar 4.6 berikut.

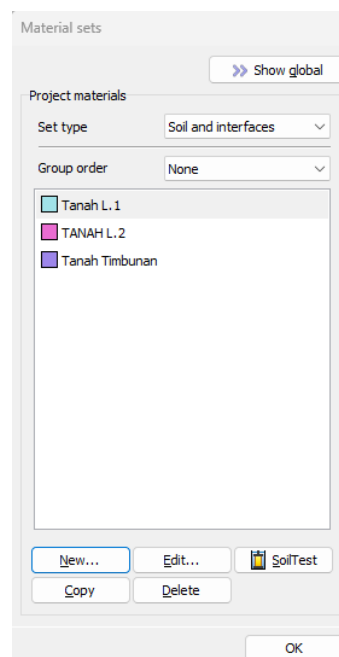


**Gambar 4.6 Create Line Load**

4. *Input* parameter material

Pada tahap ini, data material dimasukkan dengan menggunakan opsi *material sets*. Tahapan-tahapan *input* material adalah sebagai berikut.

a. Memilih opsi *material sets*. Tahap ini ditunjukkan pada Gambar 4.7 berikut.



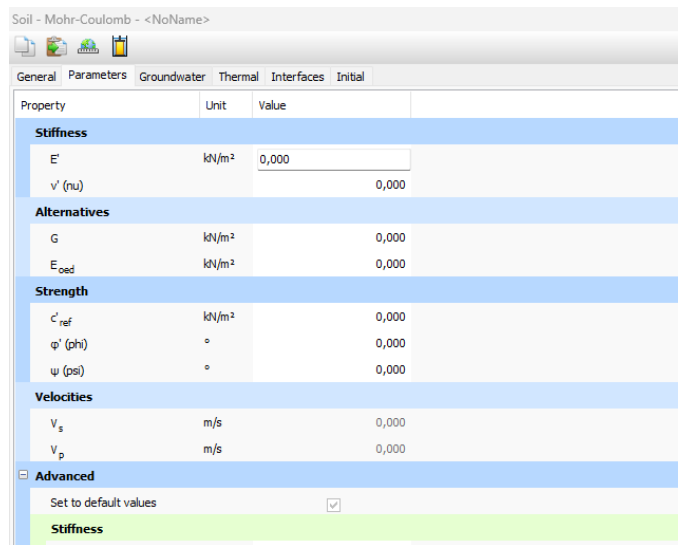
**Gambar 4.7 Material Sets**

b. Pilih *new* lalu akan muncul tiga lembar tab, yaitu *general*, *parameters*, dan *interface*

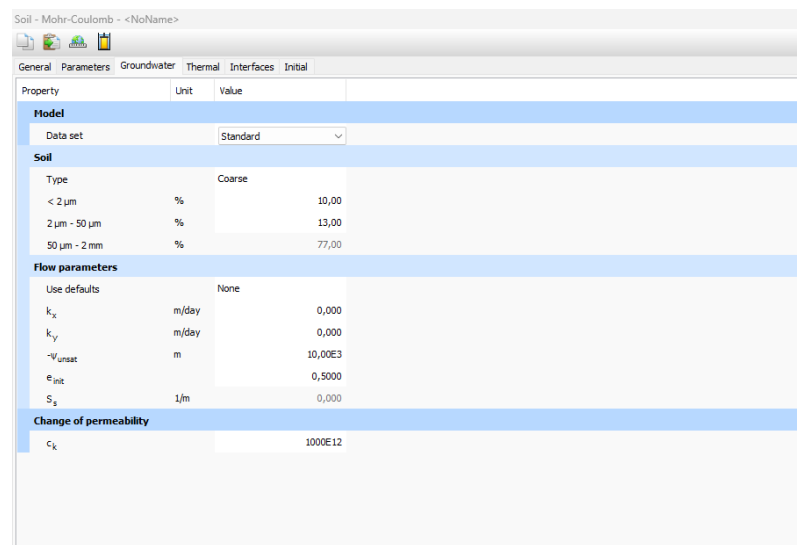
- c. Dalam tab *general*, terdapat kotak *identification* untuk memberikan nama material
- d. Dalam penelitian ini bagian kotak *material model* menggunakan Mohr-coulomb dan mengisi *drained* pada kotak *drainage type*
- e. Memasukan data pada bagian *General properties* dan *advance*
- f. Pada tab *parameters*, memasukan nilai sesuai dengan data yang dimiliki
- g. Pada tab *groundwater*, memasukan nilai pada kotak *flow parameters*
- h. Dalam penelitian ini hanya menggunakan tab hingga *groundwater*
- i. Lalu memilih OK untuk menyimpan material
- j. Memasukan data tanah yang sudah dimasukkan sebelumnya ke dalam gambar pemodelan tanah yang sudah dibuat
- k. Lalu memilih OK untuk menyelesaikan tahap *input material*
- l. Segala tahap memasukan material baru pada *material sets* ditunjukkan pada Gambar 4.8, 4.9, dan 4.10 berikut

Property	Unit	Value
<b>Material set</b>		
Identification		<NoName>
Material model		Mohr-Coulomb
Drainage type		Drained
Colour		RGB 134, 234, 162
Comments		
<b>General properties</b>		
Y unsat	kN/m <sup>3</sup>	0,000
Y sat	kN/m <sup>3</sup>	0,000
<b>Advanced</b>		
<b>Void ratio</b>		
Dilatancy cut-off		<input type="checkbox"/>
e <sub>init</sub>		0,5000
e <sub>min</sub>		0,000
e <sub>max</sub>		999,0
<b>Damping</b>		
Rayleigh α		0,000
Rayleigh β		0,000

**Gambar 4.8 Tab General Pada Material Sets**



**Gambar 4.9 Tab Parameters Pada Material Sets**

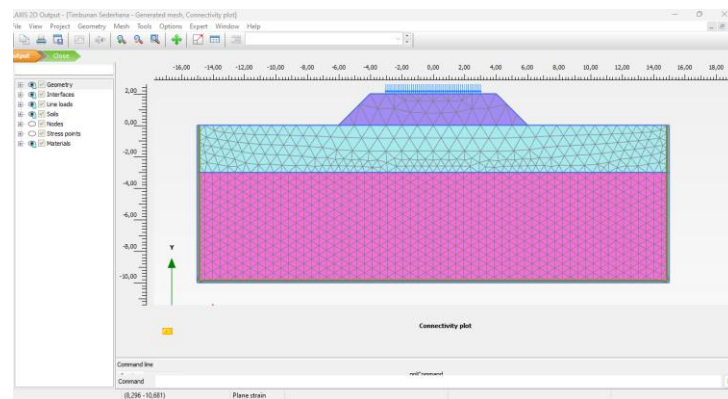


**Gambar 4.10 Tab Groundwater Pada Material Sets**

- m. Dalam opsi *Structure* dapat membuat perkuatan tanah seperti dinding penahan tanah dan geotekstil
- m. Melakukan *boundary* pada pemodelan tanah sebelum dilakukan *Mesh Generation*

## 5. Mesh Generation

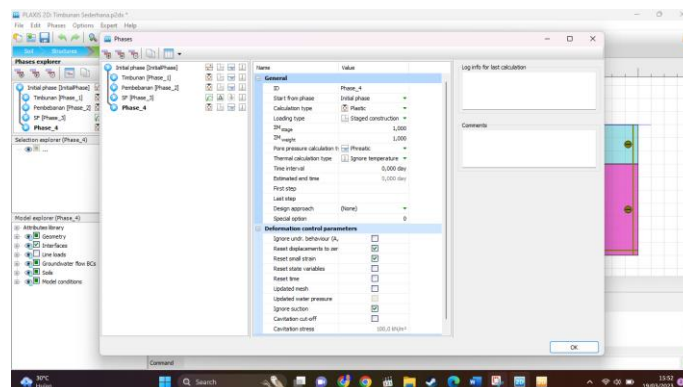
Memilih opsi *mesh* yang terbuka setelah melakukan pemodelan di opsi *structure*. Kemudian memilih fitur *Generate mesh* dan memilih tingkatan *element distribution* yang dimulai dari *very coarse* hingga *very fine*. Setelah melakukan *Generate mesh* maka *output* dari hasil ini akan muncul di program *Plaxis Output*. Hasil tahap ini dilihat pada Gambar 4.11 berikut.



**Gambar 4.11 Hasil Mesh Generation**

### 4.5.2 Plaxis Calculation

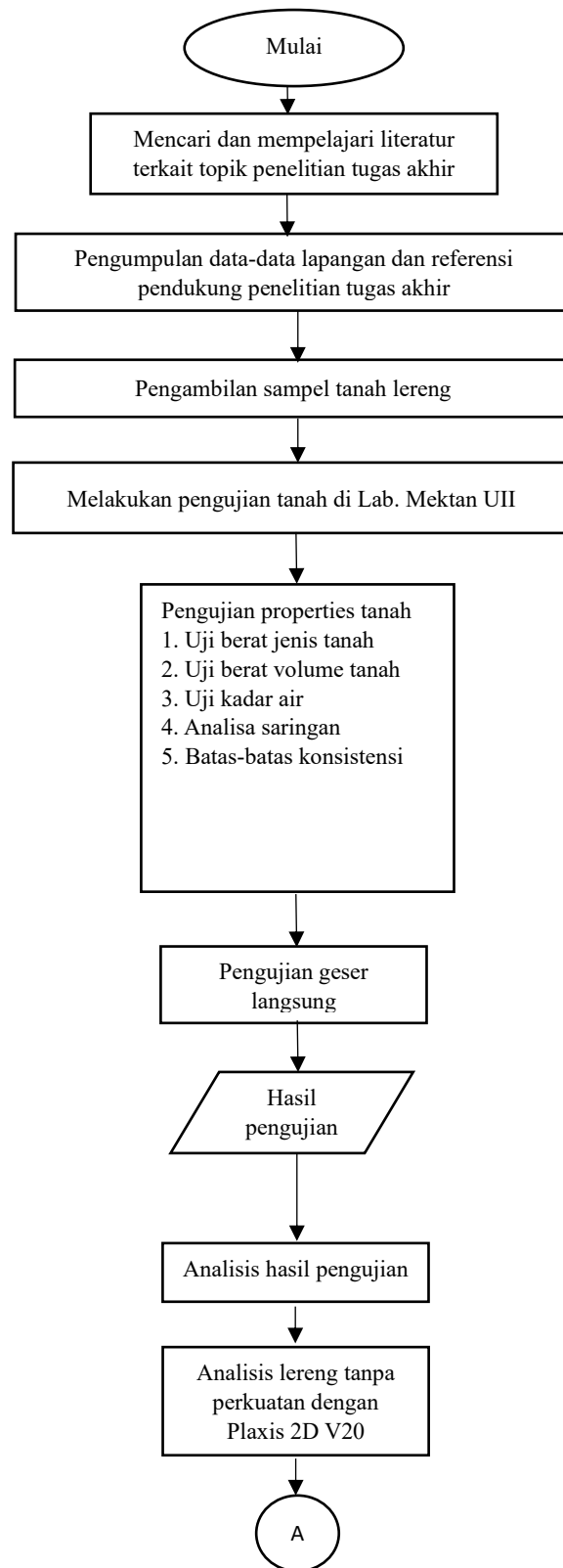
Tahap kalkulasi ini dilakukan pada opsi *staged construction* dengan membuat *phase*. *Phase* disini digunakan untuk memodelkan tiap tiap tahapan kejadian yang terjadi di lapangan. Tahap ini ditunjukkan pada Gambar 4.12 berikut.

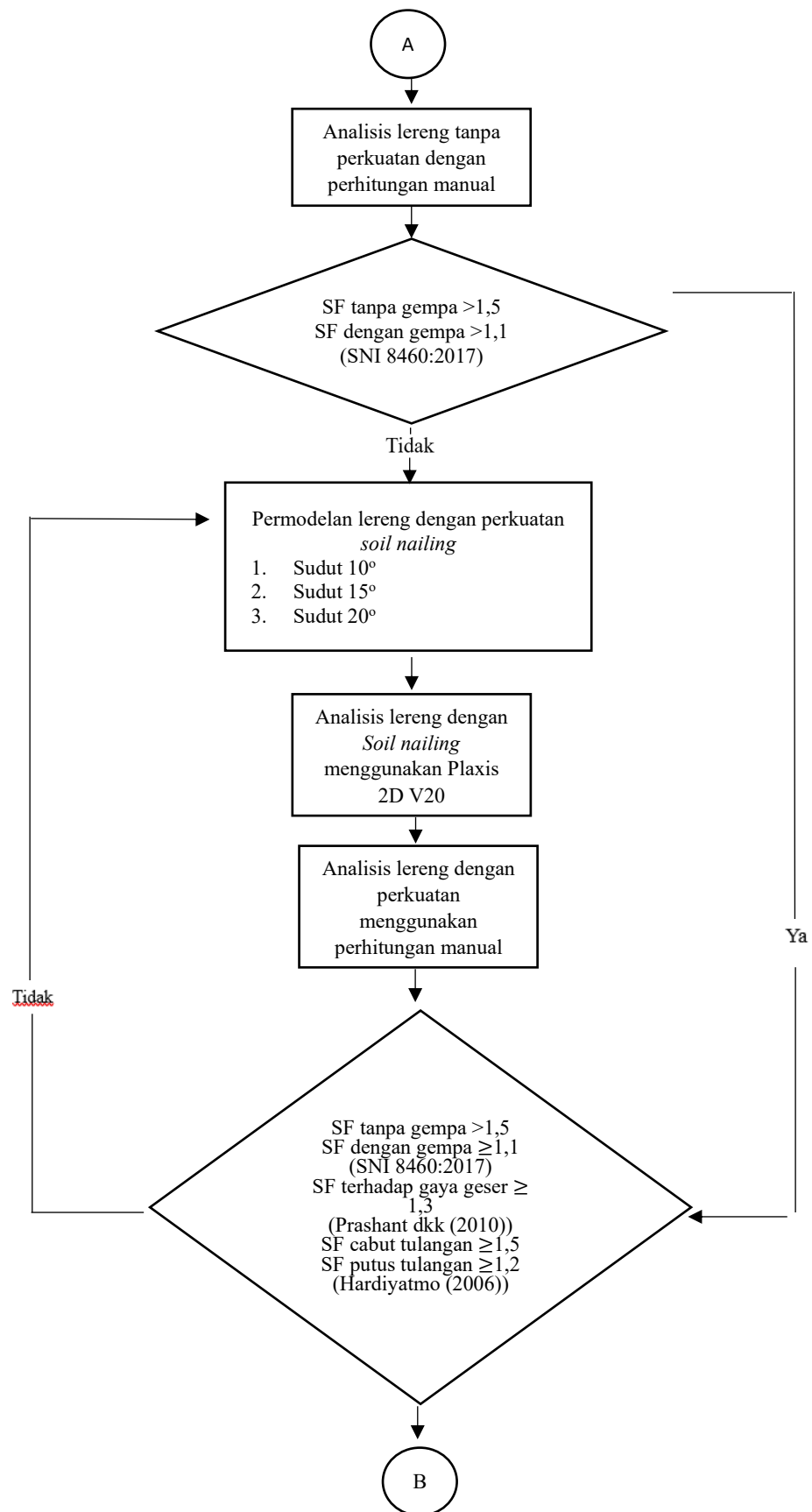


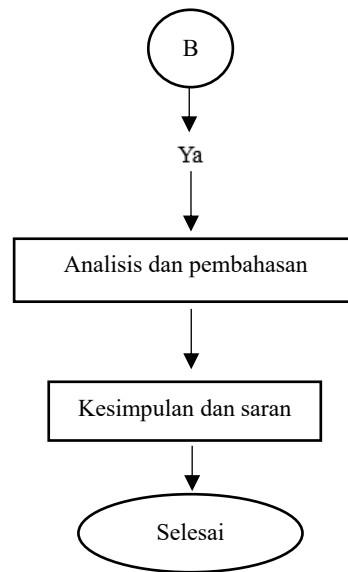
**Gambar 4.12 Fitur Phase**





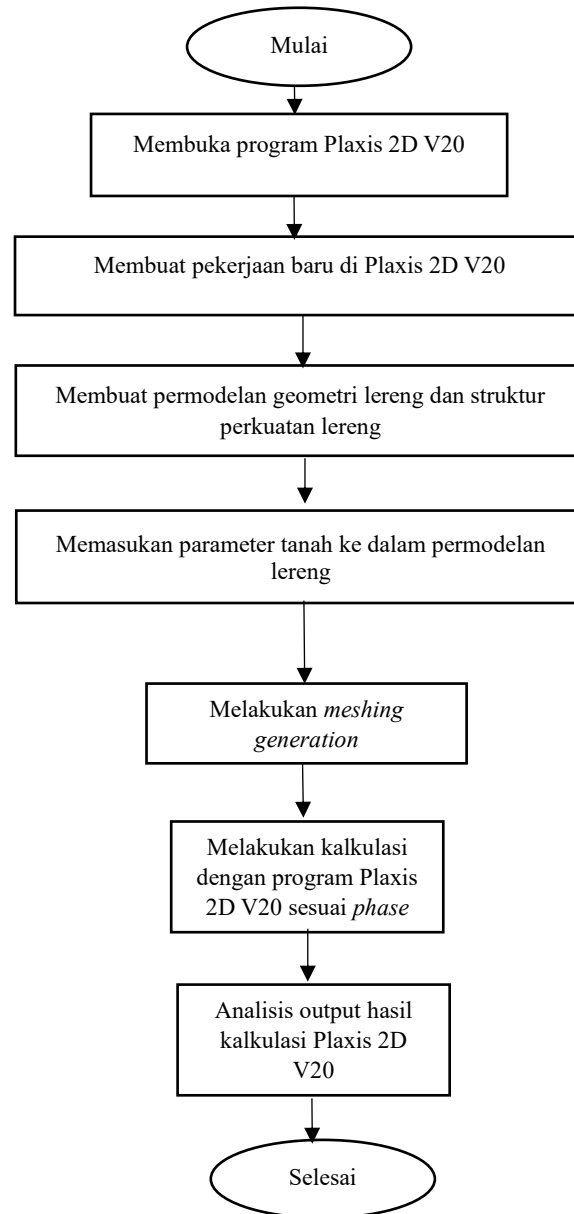






**Gambar 4.15 Bagan Alir Penelitian**

#### 4.7 Bagan Alir Analisis



**Gambar 4.16 Bagan Alir Analisis**

## BAB V

### ANALISIS DAN PEMBAHASAN

#### 5.1 Hasil Penelitian

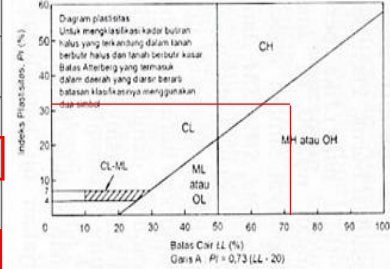
Data primer yang digunakan dalam penelitian ini adalah data properties tanah. Data tersebut didapatkan dari hasil uji langsung di laboratorium dan hasil korelasi nilai N-SPT yang didapatkan. Pada pengujian di Laboratorium Mekanika Tanah, pengujian yang dilakukan berupa uji kadar air, uji berat volume, uji berat jenis, uji analisa granuler, uji batas-batas atterberg, dan uji geser langsung. Dalam penelitian ini, data hasil pengujian laboratorium sebagai parameter tanah pada lereng 50 meter dan dianggap homogen. Hasil pengujian yang didapatkan ditunjukkan pada Tabel 5.1 sebagai berikut.

**Tabel 5.1 Hasil Pengujian Laboratorium**

NO	KETERANGAN	SATUAN	HASIL
1	Kadar air	%	61,3
2	Berat volume <i>unsaturated</i>	kN/m <sup>3</sup>	15,8
3	Berat jenis		2,58
4	Lolos saringan No.200	%	66,9
	Kerikil	%	0,75
	Pasir	%	32,3
	Lanau	%	20,6
	Lempung	%	46,4
5	Batas susut	%	17,2
6	Batas plastis	%	40,6
7	Batas cair	%	70,9
8	Indeks plastisitas	%	30,4
9	Sudut geser tanah	°	24,5
10	Kohesi tanah	kN/m <sup>2</sup>	20,4

Berdasarkan hasil pada Tabel 5.1, didapatkan klasifikasi tanah berdasarkan sistem klasifikasi tabel USCS yang ditunjukkan pada Gambar 5.1 berikut.

Divisi Utama		Symbol Kelompok	Nama Jenis	Kriteria laboratorium
Tanah berbutir kasar 50% atau lebih lolos saringan no. 200 (0,075 mm)	Kerikil 50% atau lebih dari fraksi kasar ter-tahan saringan no. 4 (4,75 mm)	GW	Kerikil gradasi baik dan campuran pasir - kerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4, C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ antara 1 dan 3 Tidak memenuhi kriteria untuk GW Batas-batas Atterberg di bawah garis A atau $PI < 4$ Batas-batas Atterberg di atas garis A atau $PI > 7$ $C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 6, C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ antara 1 dan 3 Tidak memenuhi kriteria untuk SW Batas-batas Atterberg di bawah garis A atau $PI < 4$ Batas-batas Atterberg di atas garis A atau $PI > 7$
		GP	Kerikil gradasi buruk dan campuran pasir - kerikil, atau tidak mengandung butiran halus	
		GM	Kerikil berlanau, campuran kerikil pasir - lempung	
		GC	Kerikil berlempung, campuran kerikil pasir - lempung	
	Pasir lebih dari 50 % fraksi kasar lolos saringan no. 4 (4,75 mm)	SW	Pasir gradasi baik, pasir berkerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus	
		SP	Pasir gradasi buruk, pasir berkerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus	
Kerikil banyak kandungan butiran halus	SM	Pasir berlanau, campuran pasir - lanau		
	SC	Pasir berlempung, campuran pasir - lempung		
Tanah berbutir halus 50% atau lebih lolos saringan no. 200 (0,075 mm)	Lanau dan lempung batas cair 50 % atau kurang	ML	Lanau tak organik dan pasir sangat halus, serbuk bauan atau pasir halus berlanau atau berlempung	
		CL	Lempung tak organik dengan plastisitas rendah sampai sedang, lempung berkerikil, lempung berpasir, lempung berlanau, lempung kurus ('lean clays')	
		OL	Lanau organik dan lempung berlanau organik dengan plastisitas rendah	
	Lanau dan lempung batas cair > 50 %	MH	Lanau tak organik atau pasir halus diatome, lanau elastis	
		CH	Lempung tak organik dengan plastisitas tinggi, lempung gemuk ('fat clays')	
	OH	Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai tinggi		
Tanah dengan kadar organik tinggi	P <sub>t</sub>	Gambut ('peat') dan tanah lain dengan kandungan organik tinggi	Manual untuk identifikasi secara visual dapat dilihat di ASTM Designation D-2488	



Gambar 5.1 Hasil Klasifikasi Tanah USCS

Kemudian, selain menggunakan tabel USCS, digunakan tabel klasifikasi AASHTO dengan nilai GI sebagai berikut.

$$GI = (F-35) [0,2+0,005(LL-40)] + 0,001 (F-15) (PI-10)$$

$$GI = (66,934-35) [0,2+0,005(70,94-40)] + 0,001 (66,934-15) (30,38-10) = 12,39$$

Berdasarkan nilai GI tersebut, klasifikasi tanah berdasarkan AASHTO ditunjukkan pada Gambar 5.2 berikut

Klasifikasi Umum	Material Granuler (<35% lolos saringan no.200)							Tanah-tanah lanau lempung (>35% lolos saringan no.200)			
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				
Analisa saringan (%lolos)											
2,00 mm (no. 10)	50 maks	-	-								
0,425 mm (no. 40)	30 maks	50 maks	51 min								
0,075 mm (no. 200)	15 maks	25 maks	10 maks	35 maks	35 maks	35 maks	35 maks	36 min	36 min	36 min	36 min
Sifat fraksi lolos saringan no. 40											
Batas cair (LL)	-	-	-	40 maks	41 min	40 maks	41 min	40 maks	41 min	40 maks	41 min
Indeks plastis (PI)	6 maks		Np	10 maks	10 maks	11 min	11 min	10 maks	10 maks	11 min	11 min
Indeks kelompok (G)	0		0	0		4 maks		8 maks	12 maks	16 maks	20 maks
Tipe material yang pokok pada umumnya	Pasir batu, kerikil, dan pasir		Pasir Halus	Kerikil berlanau atau berlempung dan pasir				Tanah Berlanau		Tanah Lempung	
Penilaian umum sebagai tanah dasar	Sangat baik sampai baik							Sedang sampai buruk			

**Gambar 5.2 Hasil Klasifikasi Tanah AASHTO**

Gambar 5.2 memiliki catatan bahwa nilai A-7 dibagi atas A-7-5 dan A-7-6 bergantung pada batas plastisitasnya. Batas plastis > 30 untuk klasifikasi A-7-5 dan batas plastis < 30 untuk klasifikasi A-7-6. Sehingga berdasarkan hasil pada Tabel 5.1 didapatkan bahwa tanah berada pada klasifikasi A-7-5 dengan material pokok berupa tanah lempung dan penilaian umum sebagai tanah dasar bersifat sedang sampai buruk.

Hasil N-SPT pada daerah tebing Cibeureum ditunjukkan pada Tabel 5.2 sebagai berikut.

Tabel 5.2 Nilai N-SPT

Kedalaman (m)	Deskripsi	N-SPT
0	<i>clayey silt, soft to very soft</i>	0
1		
2		2
3		
4	<i>soft</i>	3
5		
6	<i>medium stiff to stiff</i>	8
7		
8		10
9		
10	<i>very stiff</i>	16
11		
12		20
13		
14		18
15		
16	<i>stiff</i>	10
17		
18		9
19		
20	<i>very stiff</i>	22
21		
22		15
23		
24	<i>stiff</i>	10
25		
26	<i>hard</i>	37
27		
28		44
29		
30	<i>hard</i>	43
31		
32		33
33		



Lanjutan Tabel 5.2 Nilai N-SPT

Kedalaman (m)	Deskripsi	N- SPT
34	<i>hard</i>	41
35		
36	<i>hard</i>	50
37		
38	<i>hard</i>	>50
39		
40		>50

## 5.2 Parameter Tanah Hasil Korelasi

Parameter tanah hasil korelasi digunakan sebagai parameter tanah pada lapis pertama hingga tanah lapis terbawah. Tanah lapis pertama adalah daerah yang digunakan untuk kegiatan lalu lintas. Hasil korelasi parameter tanah ditunjukkan pada Tabel 5.3 sebagai berikut.

Tabel 5.3 Korelasi Parameter Tanah

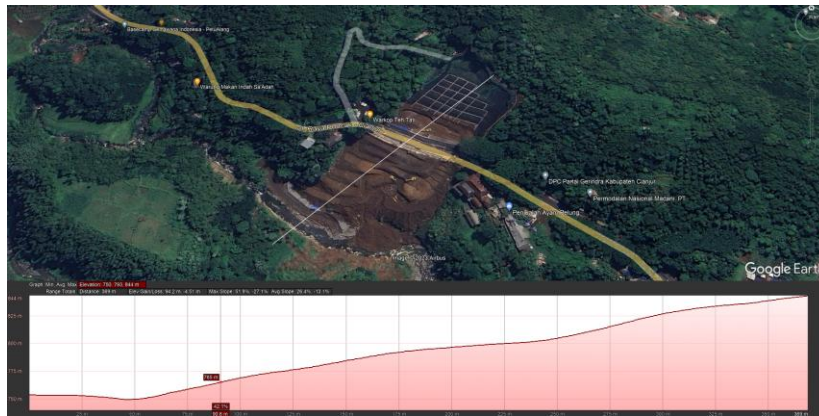
Kedalaman (m)	Deskripsi	N-SPT	Rerata NSPT	$\phi_{sat}$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\phi_{unsat}$ (kN/m <sup>3</sup> )	E (MPa)	$\nu$	c (kN/m <sup>2</sup> )	sudut geser (°)	permeabilitas (m/s)
0	<i>clayey silt, soft to very soft</i>	0	2	16,00	15,00	2	0,3	15	25	0,00864
1										
2		2								
3										
4	<i>soft</i>	3	3	16,00	15,00	3	0,3	20	25	0,00864
5										
6	<i>medium stiff to stiff</i>	8	8	18,00	16,00	10	0,3	50	25	0,00864
7										
8		10	10	19,00	16,00	10	0,4	50	25	0,00864
9										
10	<i>very stiff</i>	16	18	20,00	18,00	20	0,4	120	25	0,00864
11										
12		20								
13										
14		18								
15										
16	<i>stiff</i>	10	9,5	19,00	16,00	10	0,4	70	25	0,00864
17										
18		9								
19										

Lanjutan Tabel 5.3 Korelasi Parameter Tanah

Kedalaman (m)	Deskripsi	N-SPT	Rerata NSPT	$\phi_{sat}$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\phi_{unsat}$ (kN/m <sup>3</sup> )	E (MPa)	$\nu$	c (kN/m <sup>2</sup> )	sudut geser (°)	permeabilitas (m/s)
20	<i>very stiff</i>	22	18,5	20,00	16,00	20	0,4	120	25	0,00864
21										
22		15								
23										
24	<i>stiff</i>	10	10	19,00	16,00	10	0,4	70	25	0,00864
25										
26	<i>hard</i>	37	40,5	23,00	21,00	40	0,4	200	25	0,00864
27										
28		44								
29										
30	<i>hard</i>	43	41,75	23,00	21,00	40	0,40	200	25	0,00864
31										
32		33								
33										
34		41								
35										
36		50								
37										
38	<i>hard</i>	>50	>50	23,00	21,00	50	0,4	200	25	0,00864
39										
40		>50								

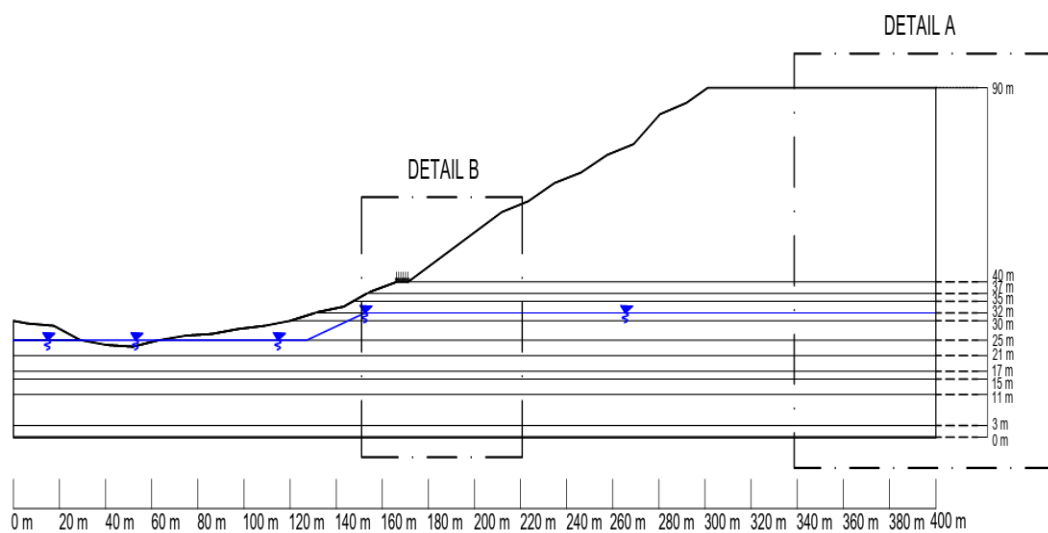
### 5.3 Analisis Stabilitas Lereng Tanpa Perkuatan Dengan *Plaxis 2D V20*

Tahap awal dalam melakukan analisis stabilitas lereng adalah dengan membuat permodelan lerengnya. Permodelan lereng dibuat dengan mengikuti elevasi yang didapatkan melalui aplikasi Google Earth. Garis elevasi ditunjukkan pada Gambar 5.3 berikut.



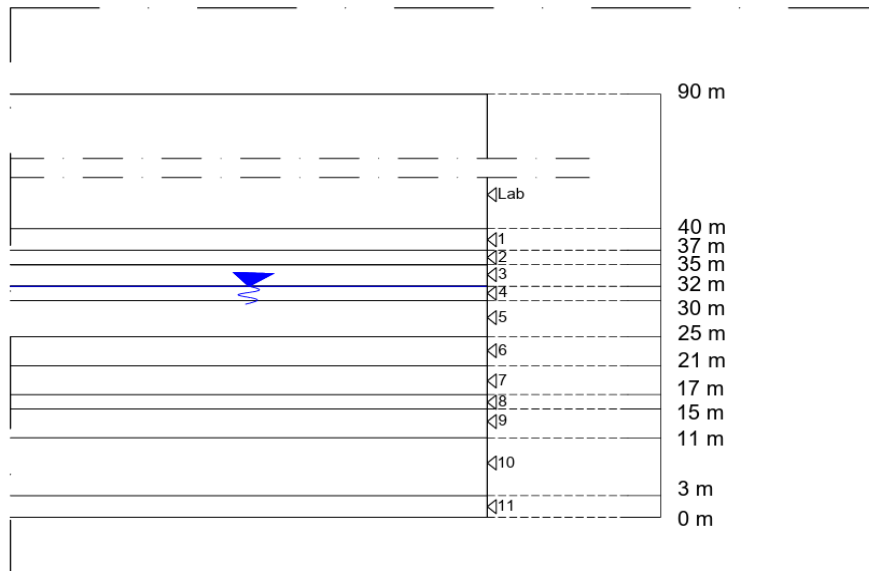
**Gambar 5.3 Garis Elevasi**

Berdasarkan Gambar 5.3, permodelan lereng ditunjukkan pada Gambar 5.4 dengan gambar detail pada Gambar 5.5 dan Gambar 5.6 sebagai berikut



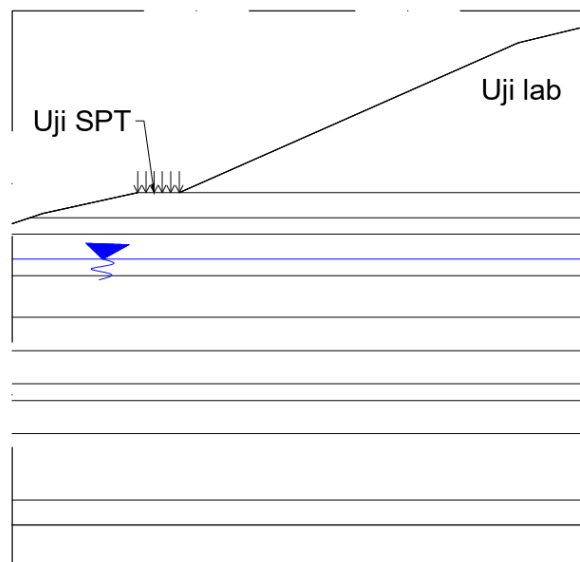
**Gambar 5.4 Permodelan Lereng Setelah Longsor**

## DETAIL A



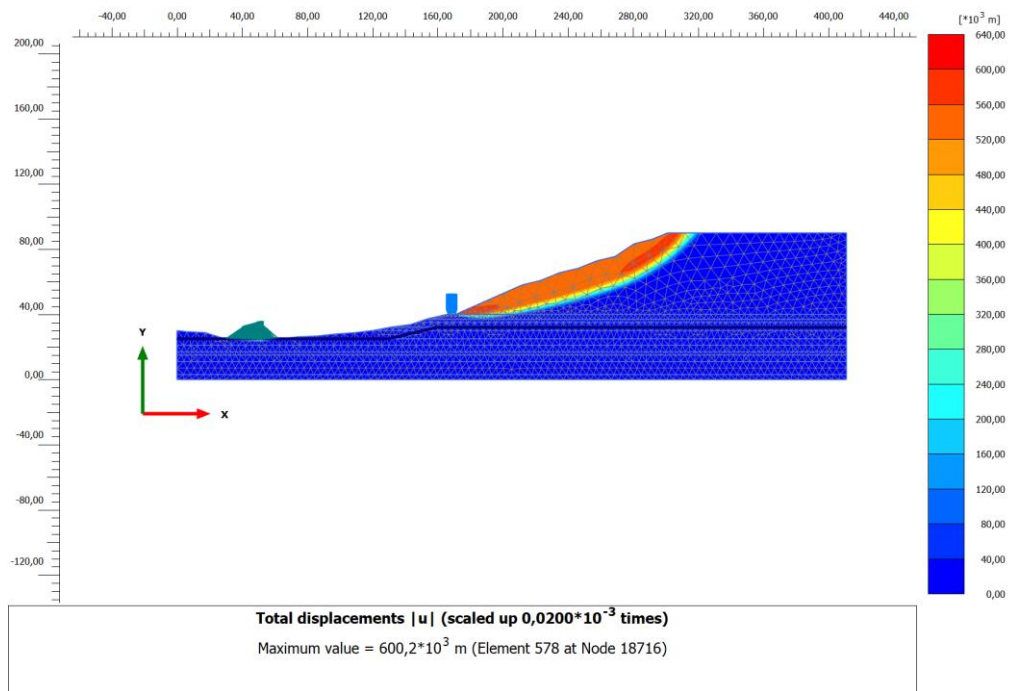
**Gambar 5.5 Detail A Permodelan Lereng Setelah Longsor**

## DETAIL B



**Gambar 5.6 Detail B Permodelan Lereng Setelah Longsor**

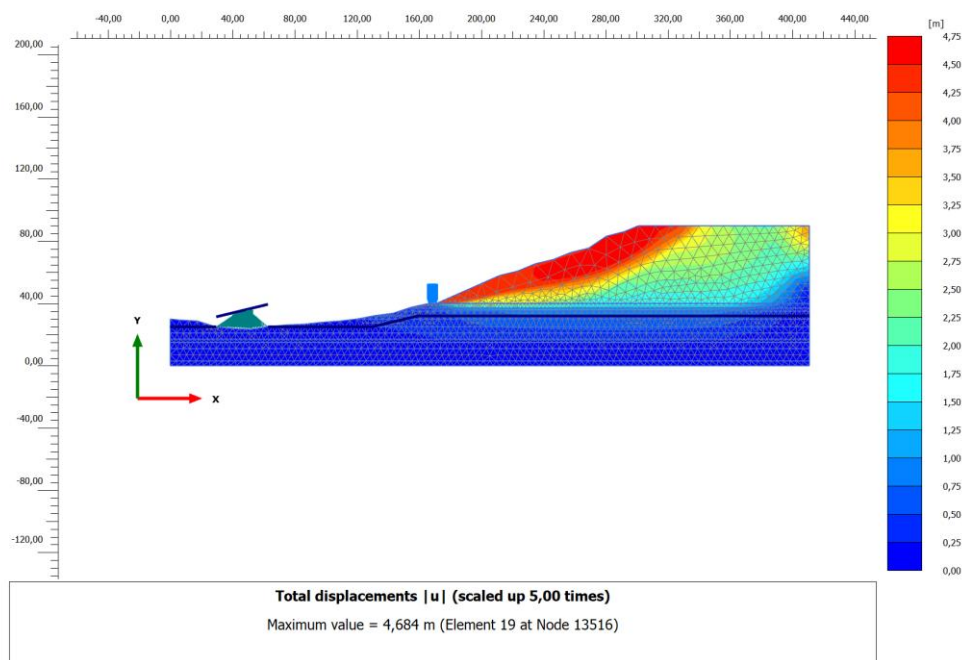
Analisis stabilitas lereng secara komputasi dilakukan oleh program Plaxis 2D V20 untuk mendapatkan bentuk keruntuhan lereng dan nilai SF pada setiap kondisi lereng. Hasil permodelan lereng seperti pada Gambar 5.7 berikut.



**Gambar 5.7 Output *Plaxis 2D V20* Lereng Awal**

Dari hasil perhitungan *Plaxis 2D V20* tanpa gempa, didapatkan bidang longsor seperti pada Gambar 5.7. Nilai faktor keamanan yang didapatkan yaitu senilai 1,62. Nilai FS tersebut memiliki nilai FS > 1,5 sehingga aman jika tidak ada beban gempa.

Setelah mendapatkan nilai FS pada lereng awal tanpa beban gempa, kemudian dilakukan analisis ketika lereng awal tersebut ketika menerima beban gempa. PGA pada daerah tebing Cibereum senilai 0,4982 sehingga nilai koefisien seismik horizontalnya adalah 0,2491. Hasil permodelan lereng dengan beban gempa ditunjukkan pada Gambar 5.8 berikut.

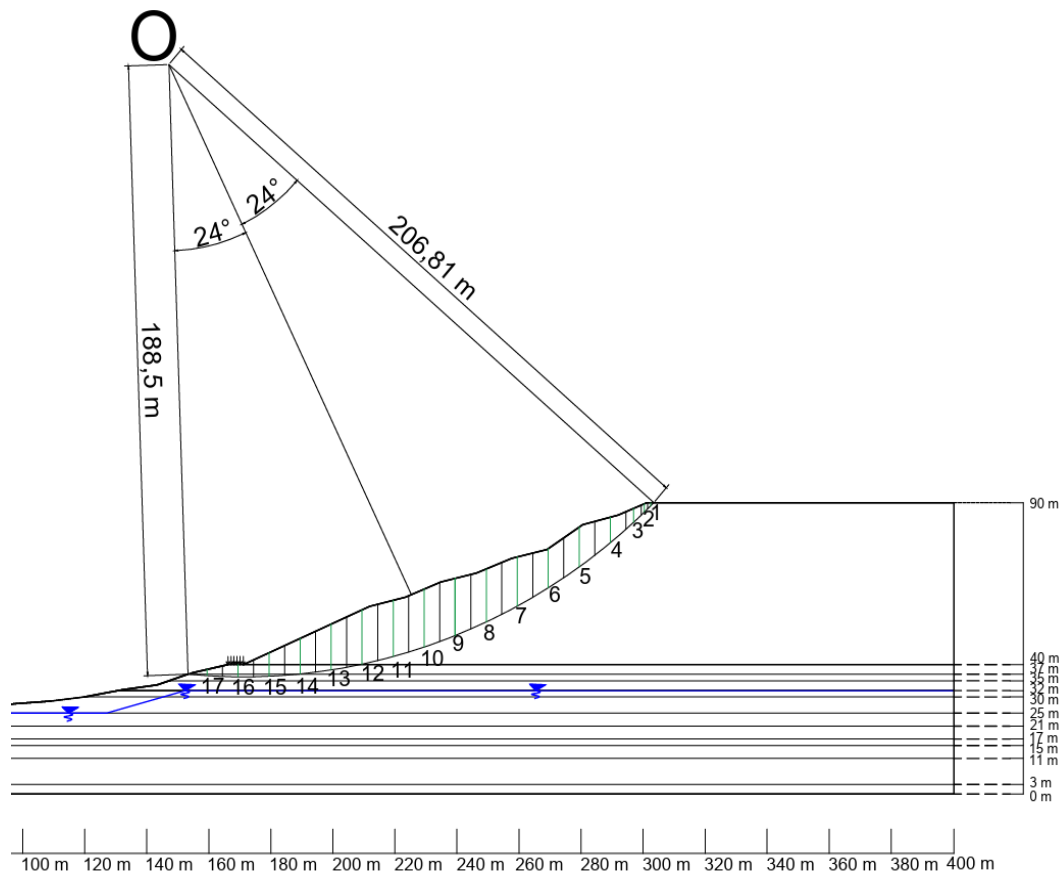


**Gambar 5.8 Output *Plaxis 2D V20* Lereng Awal Dengan Beban Gempa**

Dari hasil perhitungan *Plaxis 2D V20* dengan beban gempa, didapatkan deformasi massa tanah seperti pada Gambar 5.8. Dalam proses *running* lereng mengalami *collapse* sehingga lereng alami akan runtuh jika diberikan beban gempa dengan nilai deformasi massa paling tinggi senilai 4,684 m pada daerah rawan longsor. Berdasarkan hal ini, lereng tersebut perlu diberikan perkuatan agar tidak runtuh ketika terjadi gempa.

#### **5.4 Analisis Stabilitas Lereng Tanpa Perkuatan Dengan Metode *Fellenius***

Berdasarkan data yang terdapat pada Tabel 5.1, Tabel 5.3, dan garis kelongsoran pada Gambar 5.7 maka dapat diilustrasikan gambar seperti pada Gambar 5.9 berikut.



**Gambar 5.9 Metode Fellenius**

1. Perhitungan manual dengan metode *Fellenius* pada irisan nomer 1

a. Perhitungan berat irisan tanah

$$\begin{aligned} W_t &= \gamma \times A_1 \\ &= 15,79 \times 1,92 \\ &= 30,45 \text{ kN} \end{aligned}$$

b. Perhitungan radians

$$\begin{aligned} \text{Rad1} &= \theta \times \frac{\pi}{180} \\ &= 44^\circ \times \frac{\pi}{180} \\ &= 0,767 \end{aligned}$$

c. Perhitungan Sin  $\alpha$

$$\begin{aligned} \text{Sin } \alpha_1 &= \text{Sin (rad1)} \\ &= \text{Sin (0,767)} \end{aligned}$$



$$= 0,694$$

d. Perhitungan  $\cos \alpha$

$$\begin{aligned}\cos \alpha &= \cos (\text{rad}) \\ &= \cos (0,767) \\ &= 0,719\end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}W_t \times \sin \alpha &= 30,45 \times 0,694 \\ &= 21,15 \text{ kN}\end{aligned}$$

f. Perhitungan  $W_t \times \cos \alpha$

$$\begin{aligned}W_t \times \cos \alpha &= 30,45 \times 0,719 \\ &= 21,904 \text{ kN}\end{aligned}$$

Perhitungan lebih lengkap ditunjukkan pada Tabel 5.4 berikut.

Tabel 5.4 Perhitungan Metode *Fellenius*

No	Lapisan tanah	Luas Irisan	Berat	Sudut irisan	Radian	Cos $\alpha$	Sin $\alpha$	Wt.Cos $\alpha$ (kN)	Wt.Sin $\alpha$ (kN)
		m <sup>2</sup>	kN	°					
1	lab	1,93	30,45	44	0,77	0,72	0,69	21,90	21,15305
2	lab	5,05	79,79	43	0,75	0,73	0,68	58,35	54,41559
3	lab	21,30	336,29	41	0,72	0,75	0,66	253,80	220,6234
4	lab	78,86	1245,18	39	0,68	0,78	0,63	967,69	783,6174
5	lab	119,67	1889,61	35	0,61	0,82	0,57	1547,88	1083,834
6	lab	125,30	1978,48	31	0,54	0,86	0,52	1695,89	1018,993
7	lab	150,72	2379,82	28	0,49	0,88	0,47	2101,25	1117,256
8	lab	163,60	2583,25	24	0,42	0,91	0,41	2359,92	1050,704
9	lab	176,38	2784,98	21	0,37	0,93	0,36	2600,00	998,0459
10	lab	178,67	2821,18	18	0,31	0,95	0,31	2683,10	871,7932
11	lab	173,35	2737,18	15	0,26	0,97	0,26	2643,92	708,4353
12	lab	165,23	2609,03	12	0,21	0,98	0,21	2552,02	542,4476
	1	1,73	25,98					25,41	5,40061
13	lab	125,17	1976,48	9	0,16	0,99	0,16	1952,15	309,1899
	1	16,01	240,12					237,16	37,56257
14	lab	80,93	1277,83	6	0,10	0,99	0,10	1270,83	133,5699
	1	27,86	417,96					415,67	43,6884
	2	0,49	7,39					7,35	0,772361
15	lab	36,68	579,19	3	0,05	1,00	0,05	578,39	30,31221
	1	30,00	450,00					449,38	23,55118
	2	5,35	80,23					80,12	4,198704

Lanjutan Tabel 5.4 Perhitungan Metode *Fellenius*

No	Lapisan tanah	Luas Irisan	Berat	Sudut irisan	Radian	Cos $\alpha$	Sin $\alpha$	Wt.Cos $\alpha$ (kN)	Wt.Sin $\alpha$ (kN)
		m <sup>2</sup>	kN	°					
16	lab	2,39	37,81	-1	-0,02	1,00	-0,02	37,81	-0,66
	1	29,68	520,18					520,10	-9,08
	2	7,04	105,65					105,63	-1,84
17	1	15,43	231,39	-3	-0,05	1,00	-0,05	231,07	-12,11
	2	3,46	51,83					51,76	-2,71

Nilai faktor aman lereng tersebut dapat dihitung sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 FS &= \frac{\sum (\sum c_{ai} + W \cos \alpha \operatorname{tg} \varphi)}{\sum W \sin \alpha + Mq_1} \\
 \sum c_{ai} &= (c_{\text{lab}} \times a_{\text{lab}}) + (c_{\text{lapis1}} \times a_{\text{lapis1}}) + (c_{\text{lapis2}} \times a_{\text{lapis2}}) \\
 &= (20,36 \times 108,63) + (15 \times 22,02) + (20 \times 30) \\
 &= 3140,44 \text{ kN} \\
 W \cos \alpha \operatorname{tg} \varphi &= (W \cos \alpha \times \operatorname{tg} \varphi)_{\text{lab}} + (W \cos \alpha \times \operatorname{tg} \varphi)_{\text{lapis1}} + \\
 &\quad (W \cos \alpha \times \operatorname{tg} \varphi)_{\text{lapis2}} \\
 &= (23324,9 \times \operatorname{tg} 24,5) + (1878,79 \times \operatorname{tg} 25) + \\
 &\quad (244,86 \times \operatorname{tg} 25) \\
 &= 11620,04 \text{ kN} \\
 qA &= q_{\text{lalulintas}} \times A \\
 &= 15 \times 29,67 \\
 &= 445,181 \text{ kN} \\
 Wt. \sin \alpha &= 9033,16 \text{ kN} \\
 FS &= \frac{11620,04 + 3140,4}{9033,16 + 445,181} \\
 &= 1,56
 \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan FS tersebut, lereng alami tanpa beban gempa memiliki nilai FS senilai  $1,56 > 1,5$  (aman). Kedua nilai FS metode *fellenius* dan *Plaxis 2D* memiliki nilai  $FS > 1,5$  sehingga aman jika tidak ada beban gempa.

### 5.5 Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Dengan *Plaxis 2D V20*

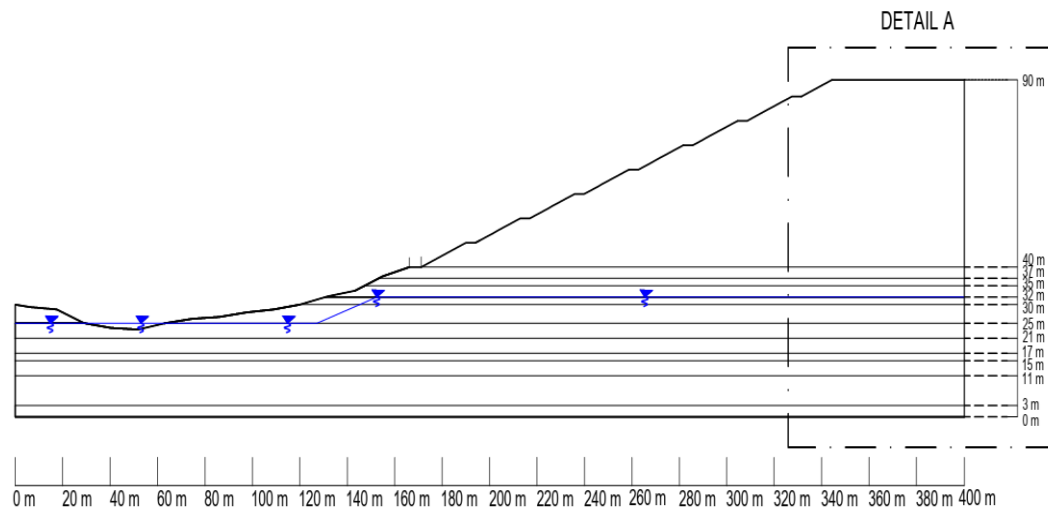
Analisis perkuatan lereng dengan metode *soil nailing* menggunakan program *Plaxis 2D V20* dilakukan dengan beberapa permodelan sebagai berikut.

1. Dilakukannya desain ulang terkait bentuk lereng

Desain ulang terkait bentuk lereng ini dimaksudkan sebagai peningkatan stabilitas lereng sehingga lereng memiliki nilai FS lebih tinggi saat terjadi gempa.

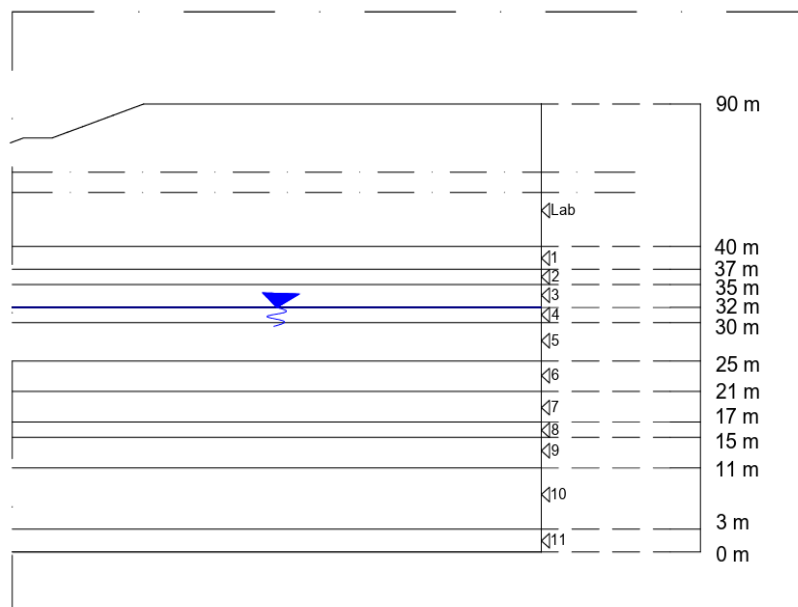
Desain ulang dilakukan dengan cara mengurangi sudut kemiringan lereng dan terasering. Sudut kemiringan lereng semula bernilai  $21^\circ$  diubah menjadi  $19^\circ$ .

Permodelan lereng hasil modifikasi tanpa beban gempa dan dengan beban gempa ditunjukkan pada Gambar 5.10 dengan detail pada Gambar 5.11 berikut.



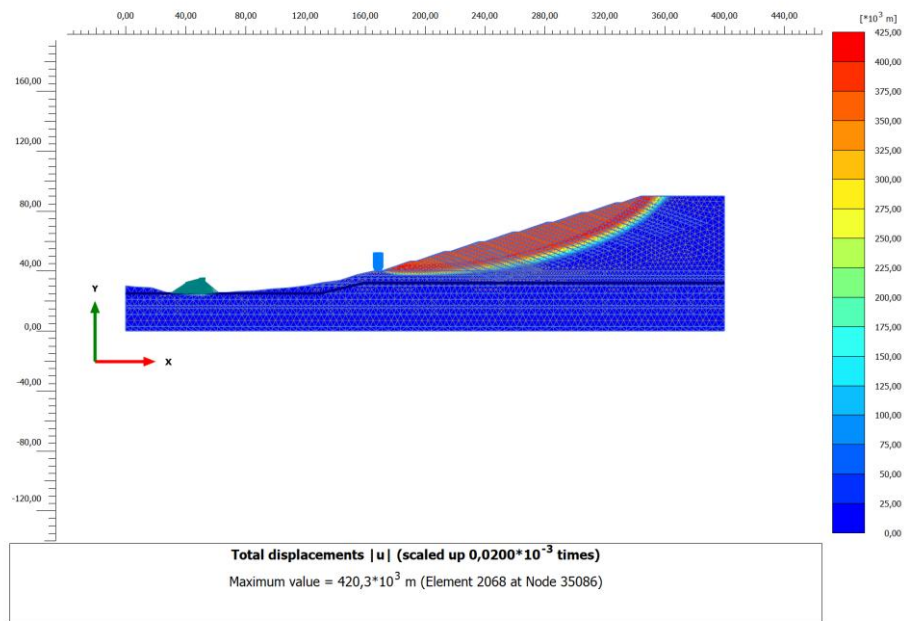
**Gambar 5.10 Permodelan Lereng Setelah Modifikasi Sudut Kemiringan**

## DETAIL A

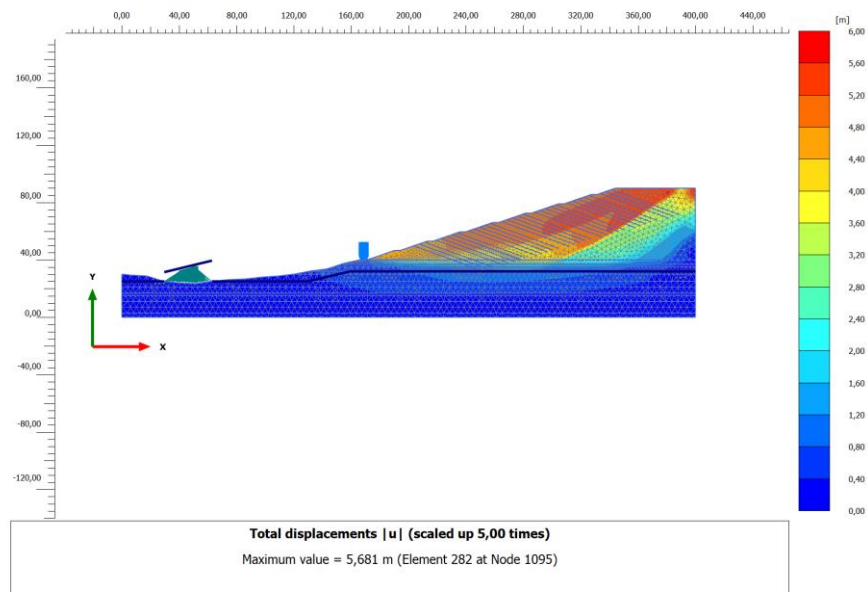


**Gambar 5.11 Detail Permodelan Lereng Setelah Modifikasi Sudut Kemiringan**

Berdasarkan permodelan lereng modifikasi pada Gambar 5.10, dilakukan permodelan analisis stabilitas lereng pada program Plaxis 2D V20 yang ditunjukkan pada Gambar 5.12 dan Gambar 5.13



**Gambar 5.12 Output Plaxis 2D V20 Lereng Modifikasi Tanpa Beban Gempa**



**Gambar 5.13 Output Plaxis 2D V20 Lereng Modifikasi Dengan Beban Gempa**

Dari hasil perhitungan *Plaxis 2D V20* tanpa gempa, didapatkan bidang longsor seperti pada Gambar 5.12. Nilai faktor keamanan yang didapatkan yaitu senilai 2,05. Namun, dalam proses *running* lereng dengan adanya beban gempa, lereng masih mengalami *collapse* sehingga lereng alami akan runtuh jika diberikan beban gempa dengan deformasi massa paling tinggi senilai 5,681 m pada daerah yang akan diperkuat *soil nailing*. Pada perhitungan dengan metode *Fellenius* memiliki cara yang sama dengan kondisi lereng awal. Hasil-hasil perhitungan dengan metode *Fellenius* ditunjukkan sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 FS &= \frac{\sum (\sum c_{ai} + W \cos \alpha \operatorname{tg} \varphi)}{\sum W \sin \alpha + Mq_1} \\
 \sum c_{ai} &= (c_{\text{lab}} \times a_{\text{lab}}) + (c_{\text{lapis1}} \times a_{\text{lapis1}}) + (c_{\text{lapis2}} \times a_{\text{lapis2}}) + (c_{\text{lab}} \times a_{\text{lapis3}}) \\
 &\quad + (c_{\text{lapis1}} \times a_{\text{lapis4}}) + (c_{\text{lapis2}} \times a_{\text{lapis5}}) \\
 &= (20,36 \times 100,068) + (15 \times 9,622) + (20 \times 7) + (50 \times 12,22) \\
 &\quad + (50 \times 15,94) + (120 \times 98,04) \\
 &= 15496,1 \text{ kN} \\
 W \cos \alpha \operatorname{tg} \varphi &= (W \cos \alpha \times \operatorname{tg} \varphi)_{\text{lab}} + (W \cos \alpha \times \operatorname{tg} \varphi)_{\text{lapis1}} + (W \cos \alpha \times \operatorname{tg} \varphi)_{\text{lapis2}} \\
 &\quad + (W \cos \alpha \times \operatorname{tg} \varphi)_{\text{lapis3}} + (W \cos \alpha \times \operatorname{tg} \varphi)_{\text{lapis4}} + (W \cos \alpha \times \operatorname{tg} \varphi)_{\text{lapis5}} \\
 &= (43585,78 \times \operatorname{tg} 24,5) + (4674,08 \times \operatorname{tg} 25) + (3108,57 \times \operatorname{tg} 25) \\
 &\quad + (5012,97 \times \operatorname{tg} 24,5) + (1931,57 \times \operatorname{tg} 25) + (3026,19 \times \operatorname{tg} 25) \\
 &= 23492,29 \text{ Kn} \\
 qA &= q_{\text{lalulintas}} \times A \\
 &= 15 \times 59,17 \\
 &= 887,57 \text{ kN} \\
 Wt. \sin \alpha &= 16954 \text{ kN} \\
 FS &= \frac{15496,1 + 23492,29}{16954 + 887,57} \\
 &= 2,18
 \end{aligned}$$

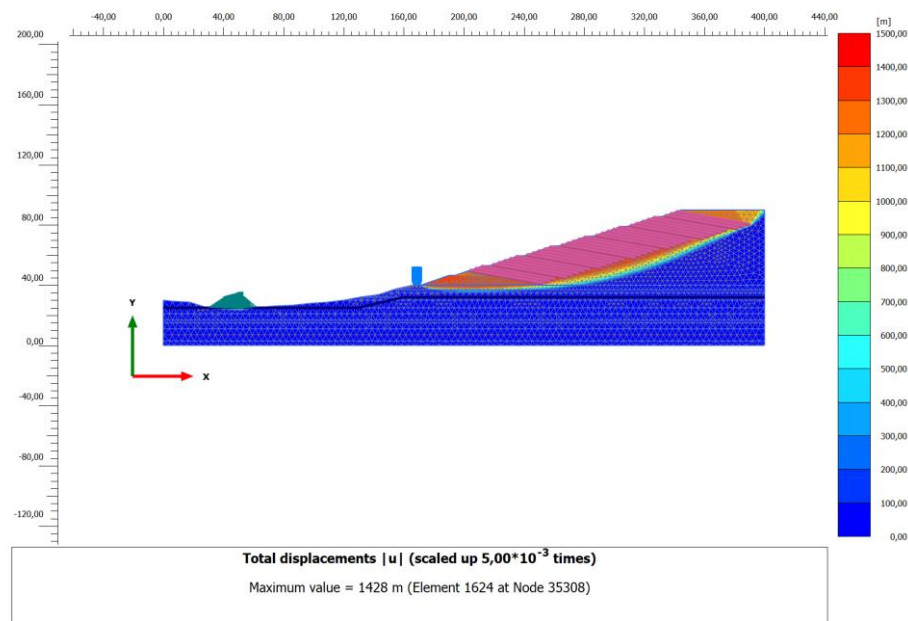
Hasil perhitungan dengan metode *Fellenius* memiliki nilai sebesar 2,18.

2. Pemasangan *soil nailing* dengan sudut pemasangan  $10^\circ$

Berikut merupakan data *soil nailing* yang dimasukkan ke dalam aplikasi *Plaxis 2D V20*.

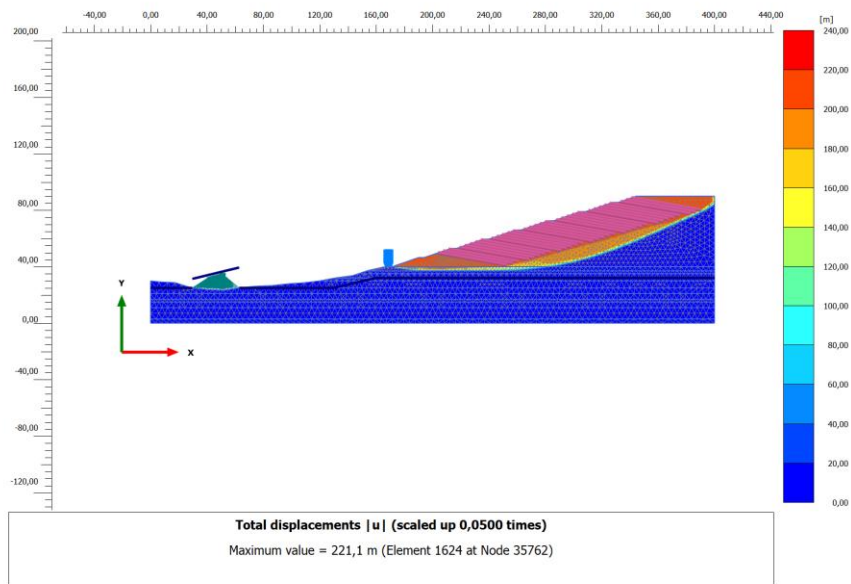
- a. Modulus elastisitas = 210000000 kN/m<sup>2</sup>
- b. Berat volume = 78,5 kN/m<sup>3</sup>
- c. Diameter = 0,043 m
- d. Spasi = 1,3 m
- e. Axial skin resistance
  - 1)  $T_{\text{skin,start,max}}$  = 149,23 kN/m
  - 2)  $T_{\text{skin,end,max}}$  = 149,23 kN/m
- f. Panjang *soil nailing* = 50 m

Hasil permodelan lereng tanpa gempa dan dengan gempa ditunjukkan pada Gambar 5.14 dan Gambar 5.15 sebagai berikut.



**Gambar 5.14 Output *Plaxis 2D V20* Lereng *Soil nailing* Sudut 10° Tanpa Beban Gempa**



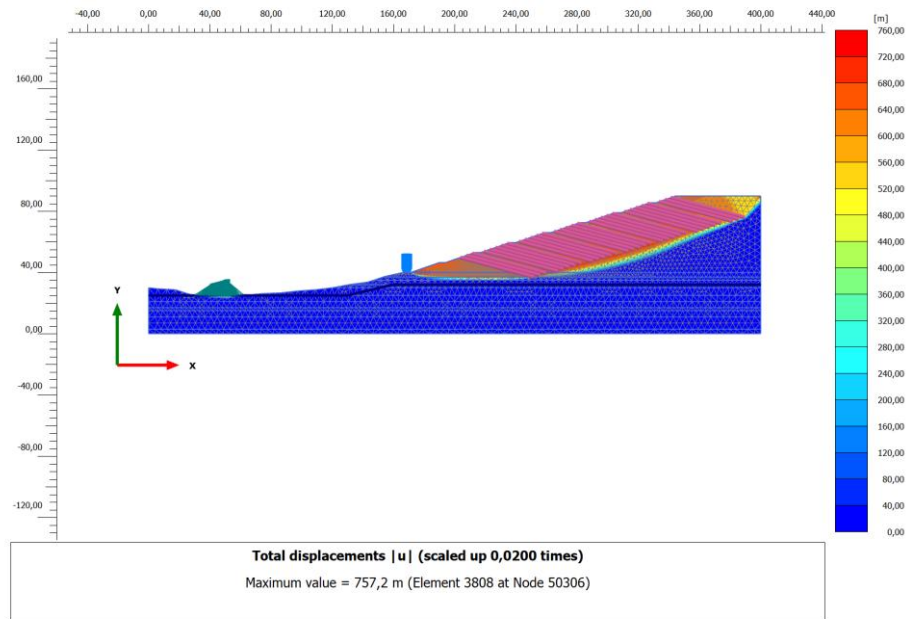


**Gambar 5.15 Output Plaxis 2D V20 Lereng Soil nailing Sudut 10° Dengan Beban Gempa**

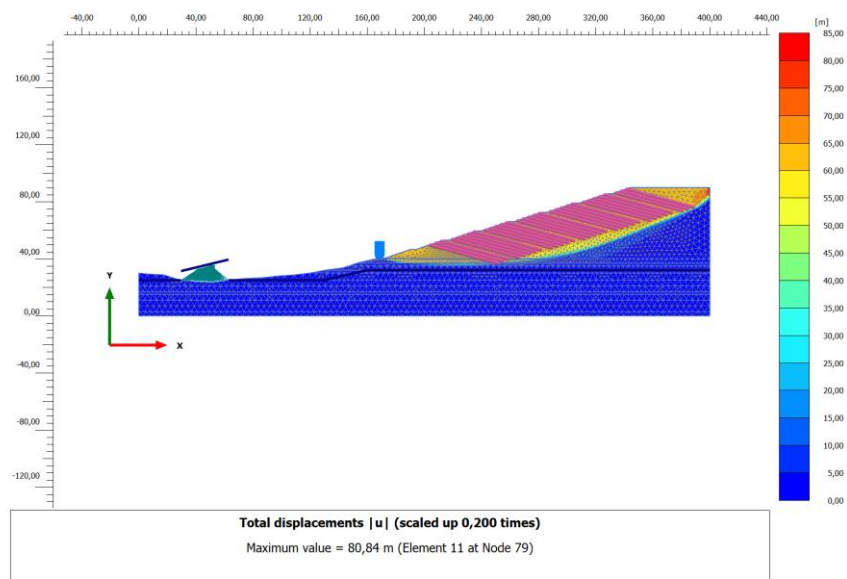
Dari hasil analisa kestabilan lereng yang telah diperkuat dengan *soil nailing*, pada kondisi tanpa gempa memiliki nilai FS senilai 2,34 sedangkan pada kondisi gempa memiliki nilai FS senilai 1,01. Nilai FS kondisi gempa 1,01 < 1,1 sehingga lereng belum aman.

3. Pemasangan *soil nailing* dengan sudut pemasangan 15°

Hasil permodelan lereng tanpa gempa dan dengan gempa ditunjukkan pada Gambar 5.16 dan Gambar 5.17 sebagai berikut.



**Gambar 5.16 Output Plaxis 2D V20 Lereng Soil nailing Sudut 15° Tanpa Beban Gempa**

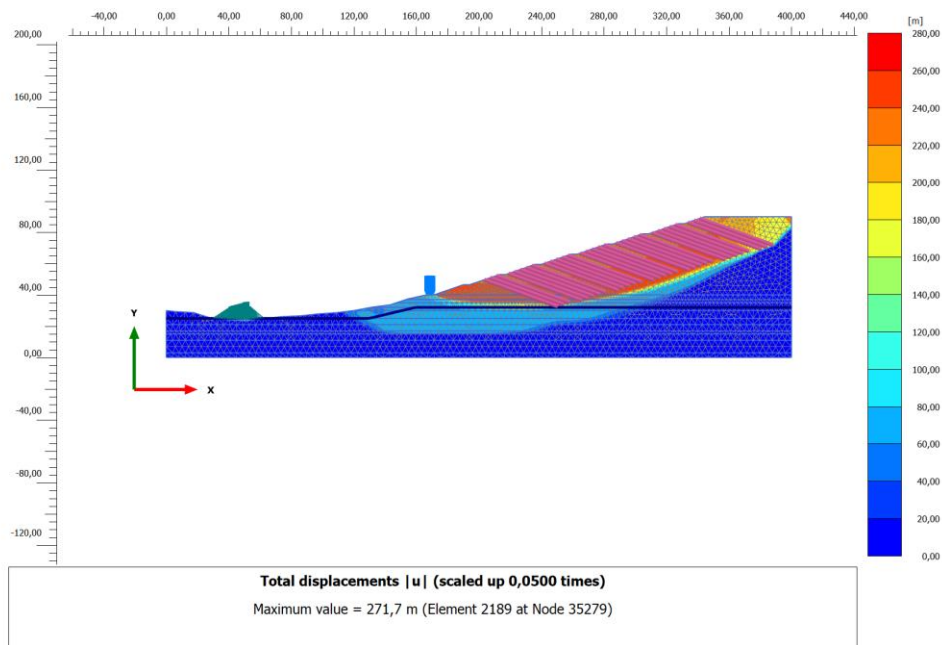


**Gambar 5.17 Output Plaxis 2D V20 Lereng Soil nailing Sudut 15° Dengan Beban Gempa**

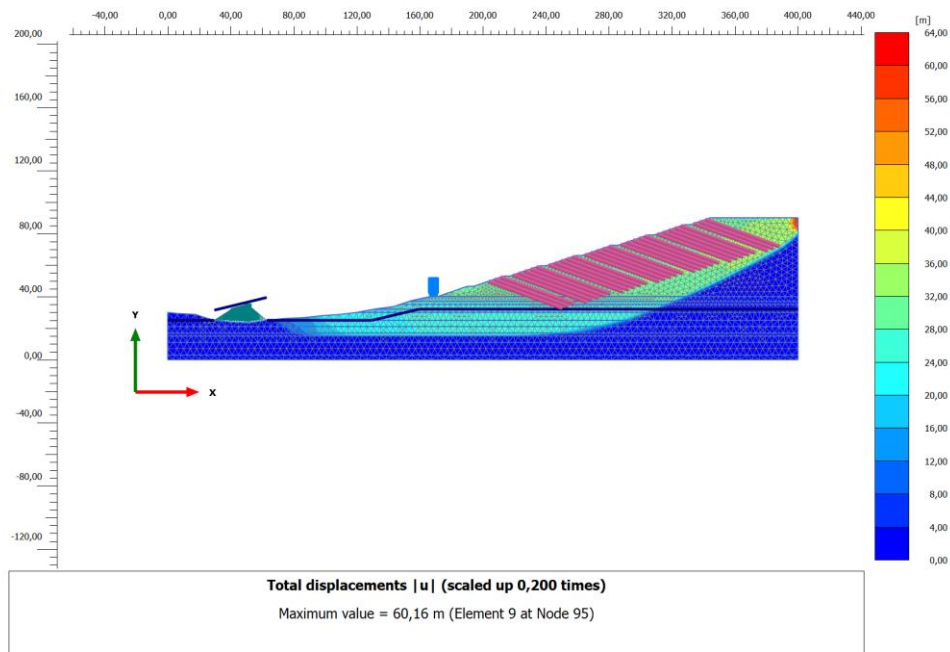
Dari hasil analisa kestabilan lereng yang telah diperkuat dengan *soil nailing*, pada kondisi tanpa gempa memiliki nilai FS senilai 2,4 sedangkan pada kondisi gempa memiliki nilai FS senilai 1,03. Nilai FS kondisi gempa 1,03 < 1,1 sehingga lereng belum aman.

4. Pemasangan *soil nailing* dengan sudut pemasangan 20°

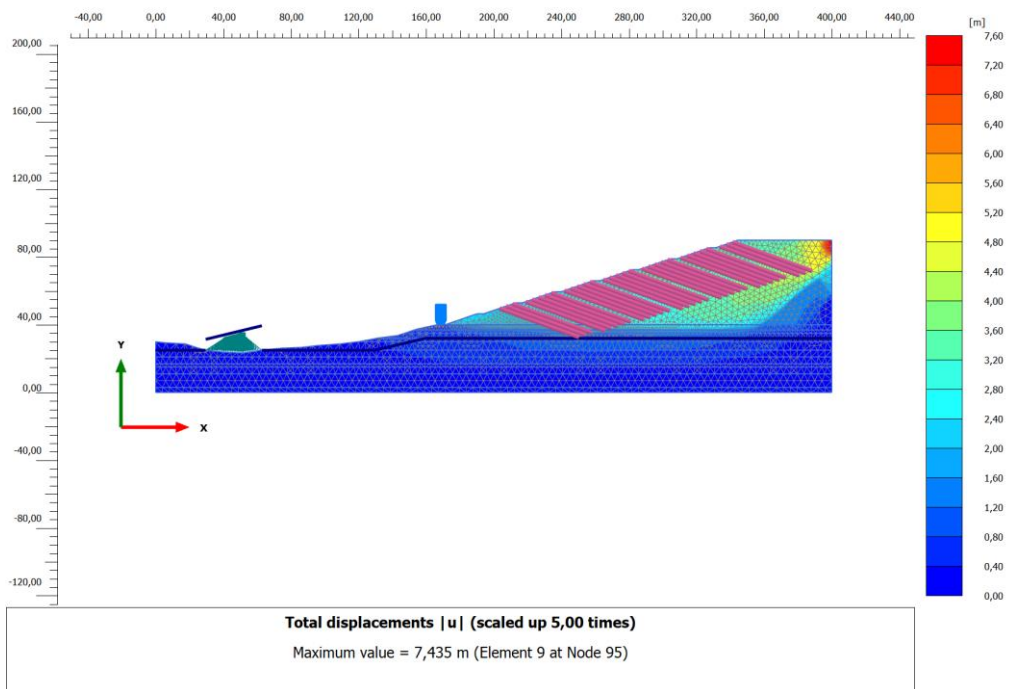
Hasil permodelan lereng tanpa gempa dan dengan gempa ditunjukkan pada Gambar 5.18, Gambar 5.19, dan Gambar 5.20 sebagai berikut.



**Gambar 5.18 Output Plaxis 2D V20 Lereng *Soil nailing* Sudut 20° Tanpa Beban Gempa**



**Gambar 5.19** *Output Plaxis 2D V20 Lereng Soil nailing Sudut 20° Dengan Beban Gempa*



**Gambar 5.20** *Output Plaxis 2D V20 Deformasi Massa Lereng Soil nailing Sudut 20° Dengan Beban Gempa*

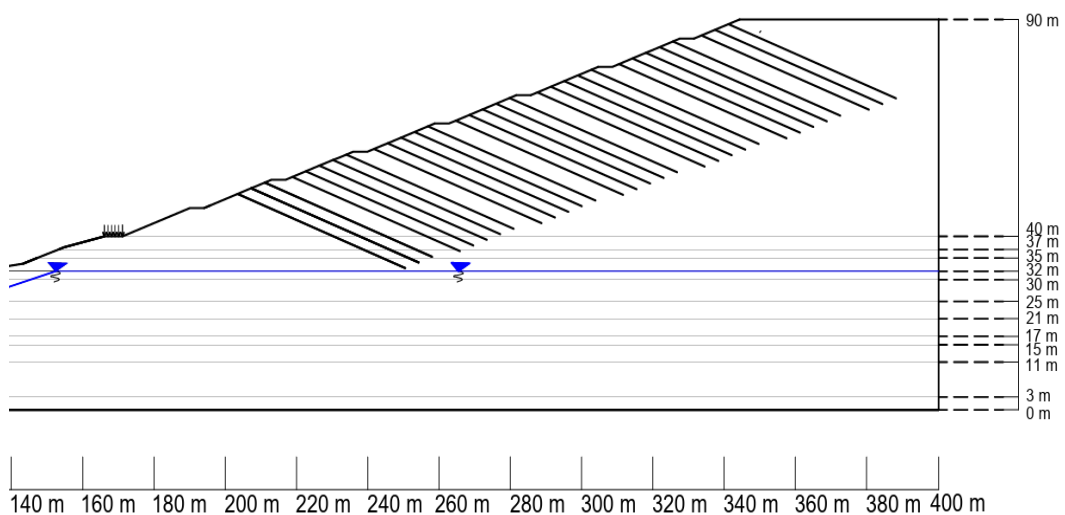
Dari hasil analisa kestabilan lereng yang telah diperkuat dengan *soil nailing*, pada kondisi tanpa gempa memiliki nilai FS senilai 2,55 sedangkan pada kondisi gempa memiliki nilai FS senilai 1,101 dengan nilai deformasi massa tanah pada daerah perkuatan bernilai antara 4,8 m hingga 1,6 m. Nilai FS kondisi gempa  $1,101 > 1,1$  sehingga lereng sudah aman.

## 5.6 Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Dengan Metode Baji

Berdasarkan hasil analisis *Plaxis 2D V20*, kondisi aman berada pada pemasangan *soil nailing* dengan sudut pemasangan  $20^\circ$ . Sehingga permodelan tersebut perlu dilakukan analisis secara global dan internal untuk memastikan hasil yang diberikan aplikasi memiliki kesamaan dengan hasil manual.

### 5.6.1 Analisis Stabilitas Lereng Terhadap Keruntuhan Global Lereng

Perhitungan manual stabilitas lereng dilakukan dengan metode baji (*wedge*). Gambar 5.21 menunjukkan sketsa lereng dengan perkuatan terhadap keruntuhan global.



**Gambar 5.21 Sketsa Lereng dengan Perkuatan terhadap Keruntuhan Global, Kemiringan *Nail*  $20^\circ$  dan Jarak Antar *Nail* 1,3 m**

Kemiringan bidang longsor ( $\alpha$ ) disesuaikan dengan bagian irisan tanah tempat *nail* itu berada. Namun untuk perhitungan yang dilakukan secara umum

menggunakan nilai rata-rata dari bidang longsor yang dikenai oleh *nail*, yaitu  $29,6^\circ$ . Untuk sudut kemiringan lereng ( $\beta$ ) bernilai  $19^\circ$  dan kemiringan *nail* ( $i$ ) adalah  $20^\circ$ . Perhitungan keruntuhan global dijelaskan sebagai berikut.

1. Berat massa tanah yang longsor,  $W_t = 64952,34739 \text{ kN}$
2. Cek terhadap gaya tarik dan izin geser

a. Daya dukung tarik tulangan

$$\begin{aligned} 1) R_n &= F_y \times A_s \text{ tulangan} \\ &= 520 \times 0,25 \times \pi \times 43^2 \\ &= 755144,6261 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2) R_c &= 0,5 \times R_n \\ &= 0,5 \times 755144,6261 \\ &= 377572,3131 \text{ kN} \end{aligned}$$

b. Gaya geser izin tulangan

$$\begin{aligned} V_n &= \frac{R_n}{2\sqrt{1+\tan^2(90-(\alpha+i))}} \\ &= \frac{755144,6261}{2\sqrt{1+\tan^2(90-(29,6+20))}} \\ &= 191258,415 \text{ kN} \end{aligned}$$

c. Gaya tarik izin tulangan

$$\begin{aligned} T &= 4 \times V_n \times \tan(90-(\alpha-i)) \\ &= 4 \times 191258,415 \times \tan(90-(29,6+20)) \\ &= 651094,6791 \text{ kN} \end{aligned}$$

d. Gaya geser izin dari tanah

Perhitungan gaya geser izin dari tanah menggunakan grafik hubungan antara nilai  $\phi$  dengan nilai  $c_1$ ,  $c_2$ , dan  $c_3$ . Hasil hubungan dari grafik tersebut menghasilkan nilai pada Tabel 5.5 sebagai berikut.

**Tabel 5.5 Nilai  $c_1$ ,  $c_2$ , dan  $c_3$  Tiap Lapis**

Lapis	$c_1$	$c_2$	$c_3$	H (m)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )
Lab	1,2	2	18	50	15,79
1	1,3	2,1	18,5	3	15
2	1,3	2,1	18,5	2	15
3	1,3	2,1	18,5	2,33	16

1) Menghitung nilai  $P_u$ 

$$a) P_u = (c_1 \times H + c_2 D) \times \gamma \times H$$

$$P_{u_{lab}} = (1,2 \times 50 + 2 \times 0,043) \times 15,79 \times 50$$

$$= 47437,9 \text{ kN}$$

$$P_{u_1} = (1,3 \times 3 + 2,1 \times 0,043) \times 15 \times 3$$

$$= 179,56 \text{ kN}$$

$$P_{u_2} = (1,3 \times 2 + 2,1 \times 0,043) \times 15 \times 2$$

$$= 80,71 \text{ kN}$$

$$P_{u_3} = (1,3 \times 2,33 + 2,1 \times 0,043) \times 16 \times 2,33$$

$$= 116,29 \text{ kN}$$

$$P_u = P_{u_{lab}} + P_{u_1} + P_{u_2} + P_{u_3}$$

$$= 47814,46 \text{ kN}$$

$$P_i = c_3 \times D \times \gamma \times Z$$

$$P_{i_{lab}} = 18 \times 0,043 \times 15,79 \times 50$$

$$= 611,07 \text{ kN}$$

$$P_{i_1} = 18,5 \times 0,043 \times 15 \times 3$$

$$= 35,79 \text{ kN}$$

$$P_{i_2} = 18,5 \times 0,043 \times 15 \times 2$$

$$= 23,87 \text{ kN}$$

$$P_{i_3} = 18,5 \times 0,043 \times 16 \times 2,33$$

$$= 29,66 \text{ kN}$$

$$P_i = P_{i_{lab}} + P_{i_1} + P_{i_2} + P_{i_3}$$

$$= 700,39 \text{ kN}$$

Dari hasil  $P_u$  dan  $P_i$ , nilai  $P_u$  pakai menggunakan nilai terkecil antara  $P_u$  dan  $P_i$  sehingga nilai  $P = 700,39$  kN

$$\begin{aligned} P_p &= \frac{P}{2} \\ &= \frac{700,39}{2} \\ &= 350,195 \text{ kN} \end{aligned}$$

Nilai  $E$  = modulus elastisitas baja = 210000000 kN/m<sup>2</sup>

Nilai  $I$  = momen inersia *nail bar*

$$= \frac{\pi r^4}{64} = \frac{\pi \times 0,043^4}{64} = 1,67 \times 10^{-7} \text{ m}^4$$

$K_s$  = 12000 berdasarkan Tabel 3.14

$$\begin{aligned} L_o &= \sqrt[4]{\frac{4EI}{K_s D}} \\ &= \sqrt[4]{\frac{4 \times 210000000 \times 1,67 \times 10^{-7}}{12000 \times 0,043}} \\ &= 0,723 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_s &= P_p \times \frac{D}{2} L_o \\ &= 350,195 \times \frac{0,043}{2} \times 0,723 \\ &= 5,44 \text{ Kn} < V_n = 191258,415 \text{ kN} \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan nilai  $V_s$ , didapatkan bahwa  $V_s < V_n$  sehingga gaya geser izin global ( $V_{max}$ ) digunakan sebesar 5,44 kN. Adanya pembatasan gaya geser izin menyebabkan gaya tarik izin dari *nail* harus dikoreksi kembali sebagai berikut.

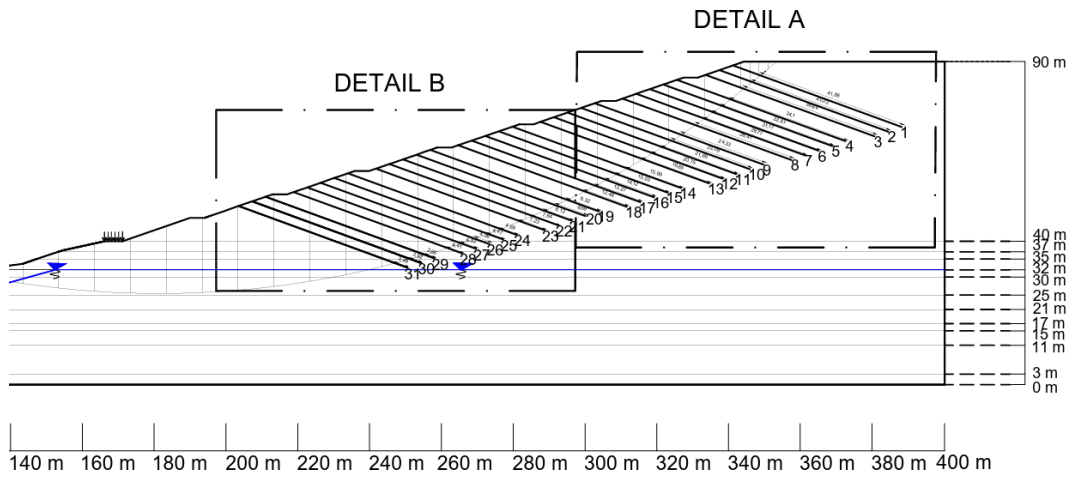
$$\begin{aligned} \frac{V_{max}^2}{R_c^2} + \frac{T_{max}^2}{R_n^2} &= 1 \\ \frac{5,44^2}{377572,3131^2} + \frac{T_{max}^2}{755144,6261^2} &= 1 \\ T_{max} &= 755144,6261 \text{ kN} \end{aligned}$$

## 2) Menentukan panjang $L_e$

Nilai  $L_e$  adalah panjang *nail* yang berada di belakang garis bidang longsor. Untuk menentukan nilai  $L_e$  dapat menggunakan bantuan *Autocad* 2019. Permodelan menghitung panjang *nail* ditunjukkan

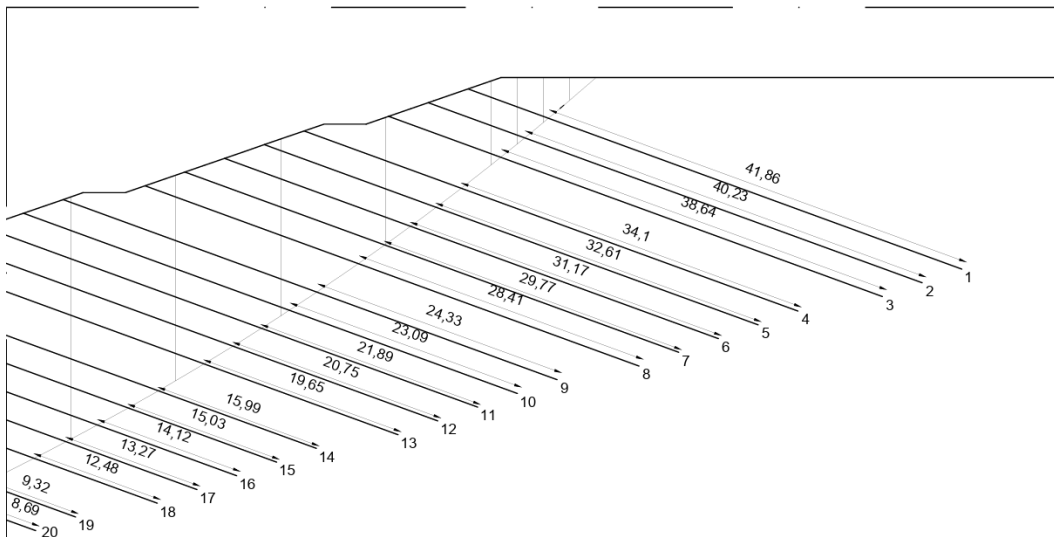


pada Gambar 5.22 dengan detail pada Gambar 5.23 dan Gambar 5.24 dengan satuan meter sebagai berikut



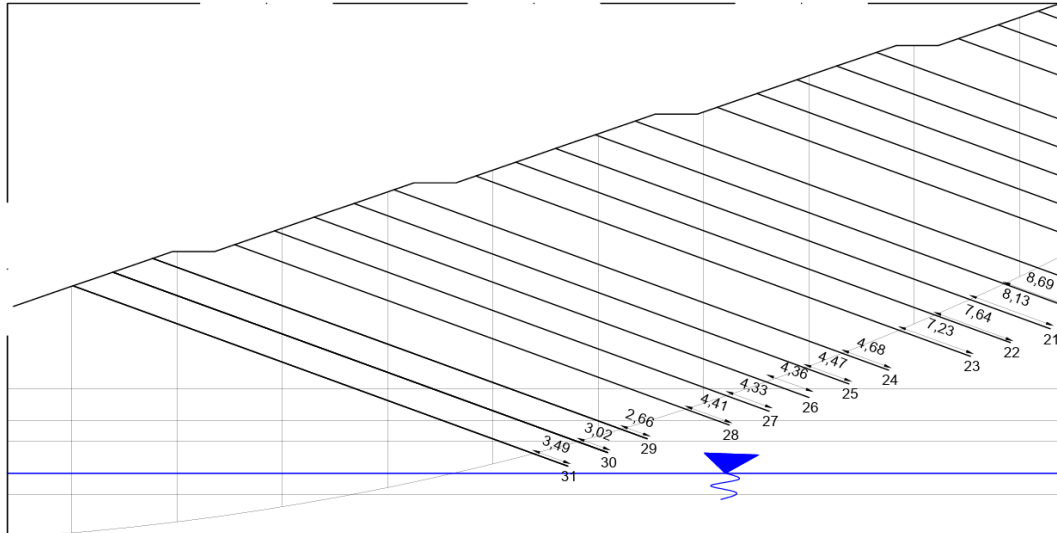
Gambar 5.22 Penentuan Panjang Le

## DETAIL A



Gambar 5.23 Detail A Penentuan Panjang Le

## DETAIL B



**Gambar 5.24 Detail B Penentuan Panjang  $L_e$**

Contoh perhitungan pada *nail* pertama dengan nilai  $L_e$  sebesar 41,86 m dan asumsi pertama nilai faktor keamanan senilai 2. Dengan cara trial nilai SF didapatkan nilai SF yang sama dengan SF akhir senilai  $2,5 > 1,5$  (aman).

$$F_{\max} = 60 \text{ kN/m}^2 \text{ (Tabel 3.15)}$$

$$TI = \frac{\pi \times D \times L_e \times f_{\max}}{SF}$$

$$TI = \frac{\pi \times 0,043 \times 41,86 \times 60}{2,5}$$

$$= 135,715 \text{ kN} < T_{\max} \text{ (aman)}$$

Dengan perhitungan yang sama didapatkan rekapitulasi hasil perhitungan pada Tabel 5.6 berikut

Tabel 5.6 Perhitungan Le, T, dan Ve

No.Nail	Le (m)	T (kN)	Ve (kN)
1	41,86	135,715	5,44
2	40,23	130,431	5,44
3	38,64	125,276	5,44
4	34,1	110,556	5,44
5	32,61	105,725	5,44
6	31,17	101,057	5,44
7	29,77	96,518	5,44
8	28,41	92,109	5,44
9	24,33	78,881	5,44
10	23,09	74,861	5,44
11	21,89	70,970	5,44
12	20,49	66,431	5,44
13	19,65	63,708	5,44
14	15,99	51,842	5,44
15	15,03	48,729	5,44
16	14,12	45,779	5,44
17	13,27	43,023	5,44
18	12,48	40,462	5,44
19	9,32	30,217	5,44
20	8,69	28,174	5,44
21	8,13	26,358	5,44
22	7,64	24,770	5,44
23	7,23	23,440	5,44
24	4,68	15,173	5,44
25	4,47	14,492	5,44
26	4,35	14,103	5,44
27	4,33	14,038	5,44
28	4,41	14,298	5,44
29	2,88	9,337	5,44
30	3,01	9,759	5,44
31	3,49	11,315	5,44
Total		1717,55	168,74

a) Gaya tarik izin total dari *nail bar*

$$\sum Ti = \frac{T1+T2+\dots+Tn}{sh}$$

$$\sum Ti = \frac{1717,55}{1,3}$$

$$\sum Ti = 1321,19 \text{ kN/m}$$

Sh adalah nilai spasi horizontal antar *nail* = 1,3 m

b) Gaya geser izin total dari *nail bar*

$$\sum V_{ei} = \frac{V_{e1} + V_{e2} + \dots + V_{en}}{Sh}$$

$$\sum V_{ei} = \frac{168,74}{1,3}$$

$$\sum V_{ei} = 129,803 \text{ kN/m}$$

c) Menghitung faktor keamanan terhadap keruntuhan global

$$FS = \frac{c.Lf + W \cos a \cdot \tan a + (\sum T_i \sin(\alpha+i) - \sum V_i \cos(\alpha+i)) \tan \phi}{w \cdot \sin a - \sum T_i \cos(\alpha+i) - \sum V_i \cos(\alpha+i)}$$

Nilai  $a$  disesuaikan dengan derajat keruntuhan lereng pada daerah yang terdapat *soil nailing*. Sehingga komponen perhitungan pada FS harus disesuaikan dengan nilai  $a$  yang ditunjukkan pada Tabel 5.7 berikut.

Tabel 5.7 Rincian Perhitungan Stabilitas Global

No.Nail	Le (m)	T (kN)	$\alpha$ (°)	TI sin ( $\alpha + i$ ) (kN)	Vi cos ( $\alpha + i$ ) (kN)	$\phi$ (°)	$((TI \sin (\alpha + i)) + (Vi \cos (\alpha + i))) \tan \phi$ (kN)	TI cos ( $\alpha + i$ ) (kN)
1	41,86	135,715	40	117,533	-2,72168	24,5	52,322	-67,858
2	40,23	130,431	39	111,801	-2,80354	24,5	49,673	-67,177
3	38,64	125,276	39	107,382	-2,80354	24,5	47,659	-64,522
4	34,1	110,556	36	91,655	-3,04389	24,5	40,383	-61,822
5	32,61	105,725	36	87,651	-3,04389	24,5	38,557	-59,121
6	31,17	101,057	36	83,780	-3,04389	24,5	36,794	-56,510
7	29,77	96,518	36	80,017	-3,04389	24,5	35,079	-53,972
8	28,41	92,109	36	76,362	-3,04389	24,5	33,413	-51,507
9	24,33	78,881	36	65,395	-3,04389	24,5	28,415	-44,110
10	23,09	74,861	36	62,062	-3,04389	24,5	26,896	-41,862
11	21,89	70,970	30	54,366	-3,49892	24,5	23,182	-45,619
12	20,49	66,431	30	50,889	-3,49892	24,5	21,597	-42,701
13	19,65	63,708	30	48,803	-3,49892	24,5	20,646	-40,951
14	15,99	51,842	30	39,713	-3,49892	24,5	16,504	-33,323
15	15,03	48,729	30	37,329	-3,49892	24,5	15,417	-31,322
16	14,12	45,779	30	35,069	-3,49892	24,5	14,387	-29,426
17	13,27	43,023	25	30,422	-3,84903	24,5	12,110	-30,422
18	12,48	40,462	25	28,611	-3,84903	24,5	11,285	-28,611
19	9,32	30,217	25	21,366	-3,84903	24,5	7,983	-21,366
20	8,69	28,174	25	19,922	-3,84903	24,5	7,325	-19,922
21	8,13	26,358	25	18,638	-3,84903	24,5	6,740	-18,638

Lanjutan Tabel 5.7 Rincian Perhitungan Stabilitas Global

No.Nail	Le (m)	T (kN)	$\alpha$ (°)	TI sin ( $\alpha +i$ ) (kN)	Vi cos ( $\alpha +i$ ) (kN)	$\phi$ (°)	((TI sin ( $\alpha +i$ ))+ ( Vi cos ( $\alpha +i$ ) ) tan $\phi$ (kN)	TI cos ( $\alpha +i$ ) (kN)
22	7,64	24,770	25	17,515	-3,84903	24,5	6,228	-17,515
23	7,23	23,440	21	15,378	-4,10815	24,5	5,136	-17,691
24	4,68	15,173	21	9,954	-4,10815	24,5	2,664	-11,451
25	4,47	14,492	21	9,508	-4,10815	24,5	2,461	-10,937
26	4,35	14,103	21	9,253	-4,10815	25	2,399	-10,644
27	4,33	14,038	21	9,210	-4,10815	25	2,379	-10,595
28	4,41	14,298	16	8,404	-4,40377	25	1,865	-11,567
29	2,88	9,337	16	5,488	-4,40377	25	0,506	-7,554
30	3,01	9,759	16	5,736	-4,40377	25	0,621	-7,895
31	3,49	11,315	16	6,651	-4,40377	25	1,048	-9,154
Total				2902,56	-111,88		571,673	-1025,764

Dari hasil perhitungan Tabel 5.7 didapatkan perhitungan FS sebagai berikut.

$$FS = \frac{15496,14 + 23492,29348 + 571,673}{16954 - 1025,76 - 111,879}$$

$$FS = 2,5$$

Dengan

$$\begin{aligned} C_{lf} &= (20,36 \times 100,068) + (15 \times 9,62) \times (20 \times 7) \\ &\quad \times (50 \times 12,22) \times (50 \times 15,94) \times (120 \times 98,04) \\ &= 15496,14 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$W \cdot \cos \alpha \cdot \tan \alpha = 23492,29 \text{ kN}$$

$$W \cdot \sin \alpha = 16954 \text{ kN}$$

Berdasarkan nilai FS yang diperoleh maka nilai FS keruntuhan global secara manual menghasilkan nilai 2,5 dan nilai FS hasil *Plaxis 2D V20* menghasilkan nilai 2,55 dan keduanya >1,5 (aman).

### 5.6.2 Analisis Stabilitas Lereng Terhadap Gaya Geser

Analisis stabilitas lereng terhadap gaya geser dijelaskan sebagai berikut.

- Menghitung koefisien tekanan tanah lateral aktif dan pengaruh kohesi

$$\begin{aligned} \text{a. } K_{a_{lab}} &= \tan^2\left(45 - \frac{\phi}{2}\right) \\ &= \tan^2\left(45 - \frac{24,5}{2}\right) \\ &= 0,413 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{b. } K_{a_{lapis1}} &= \tan^2\left(45 - \frac{25}{2}\right) \\ &= 0,406 \end{aligned}$$

$$\text{c. } K_{a_{lapis2}} = 0,406$$

$$\text{d. } K_{a_{lapis3}} = 0,406$$

Nilai pengaruh adanya kohesi ditunjukkan sebagai berikut

$$\begin{aligned} \text{a. } C_{lab} &= -2 \times c \sqrt{K_{a1}} \times h \\ &= -2 \times 20,36 \sqrt{0,413} \times 50 \\ &= -1309,6 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

$$\text{b. } C_{lapis1} = -2 \times 15 \sqrt{0,406} \times 3$$

$$= -57,34 \text{ kN/m}^2$$

$$\begin{aligned} \text{c. } C_{\text{lapis2}} &= -2 \times 20 \sqrt{0,406} \times 2 \\ &= -50,96 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{d. } C_{\text{lapis3}} &= -2 \times 50 \sqrt{0,406} \times 3 \\ &= -191,12 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

2. Menghitung tekanan aktif di belakang daerah perkuatan per lapisan (PA)

$$\begin{aligned} \text{a. Lapisan lab} &= 0,5 \times \gamma \times H_{\text{lab}}^2 \times K_{a\text{lab}} \\ &= 0,5 \times 15,79 \times 50^2 \times 0,413 \\ &= 8166,08 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

b. Lapisan 1

$$\begin{aligned} \text{1) Tegangan tanah} &= 0,5 \times \gamma \times H_{\text{lapis1}}^2 \times K_{\text{lapis1}} \\ &= 0,5 \times 15 \times 3^2 \times 0,406 \\ &= 27,39 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{2) Tegangan akibat tanah lapis atas} &= H_{\text{lab}} \times \gamma_{\text{lab}} \times K_{a\text{lapis1}} \times H_{\text{lapis1}} \\ &= 50 \times 15,79 \times 0,406 \times 3 \\ &= 961,27 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{3) Tegangan akibat beban jalan} &= Q \times H_{\text{lapis1}} \times K_{a\text{lapis1}} \\ &= 15 \times 3 \times 0,406 \\ &= 18,26 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

c. Lapisan 2

$$\begin{aligned} \text{1) Tegangan tanah} &= 0,5 \times \gamma \times H_{\text{lapis2}}^2 \times K_{\text{lapis2}} \\ &= 0,5 \times 15 \times 2^2 \times 0,406 \\ &= 12,17 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{2) Tegangan akibat tanah lapis atas} &= (H_{\text{lapis1}} \times \gamma_{\text{lapis1}} \times K_{a\text{lapis2}} \times H_{\text{lapis2}}) \\ &\quad + \text{Tegangan akibat tanah lapisan} \\ &\quad \text{sebelumnya} \\ &= (3 \times 15 \times 0,406 \times 2) + 961,27 \\ &= 997,80 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{3) Tegangan akibat beban jalan} &= Q \times H_{\text{lapis2}} \times K_{a\text{lapis2}} \\ &= 15 \times 2 \times 0,406 \\ &= 12,18 \text{ kN/m} \end{aligned}$$



## d. Lapisan 3

$$\begin{aligned}
 1) \text{ Tegangan tanah} &= 0,5 \times \gamma \times H_{\text{lapis3}}^2 \times K_{\text{lapis3}} \\
 &= 0,5 \times 16 \times 3^2 \times 0,406 \\
 &= 29,22 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 2) \text{ Tegangan akibat tanah lapis atas} &= (H_{\text{lapis2}} \times \gamma_{\text{lapis2}} \times K_{\text{lapis3}} \times H_{\text{lapis3}}) \\
 &\quad + \text{Tegangan akibat tanah lapisan} \\
 &\quad \text{sebelumnya} \\
 &= (2 \times 16 \times 0,406 \times 3) + 997,80 \\
 &= 1036,76 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 3) \text{ Tegangan akibat beban jalan} &= Q \times H_{\text{lapis3}} \times K_{\text{a lapis3}} \\
 &= 15 \times 3 \times 0,406 \\
 &= 18,26 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan Pa dan pengaruh kohesi, maka Pa total adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{Pa total} &= \text{PA} + \text{C} \\
 &= 11279,42 + (-1609,02) \\
 &= 9670,394
 \end{aligned}$$

## 3. Faktor aman terhadap geser

$$\begin{aligned}
 L_x &= L_{\text{nail}} \times \cos i - t \tan \alpha \\
 &= 50 \times \cos (20^\circ) - 0,5 \tan (29,6) \\
 &= 46,7 \text{ meter}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{BL} &= X_1 + L_x \\
 &= (\cos (\beta) \times \frac{H_{\text{lereng}}}{\sin \beta}) + L_x \\
 &= (\cos (19) \times \frac{50}{\sin(19)}) + 46,7 \\
 &= 191,91 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$W = 64952,35 \text{ kN}$$

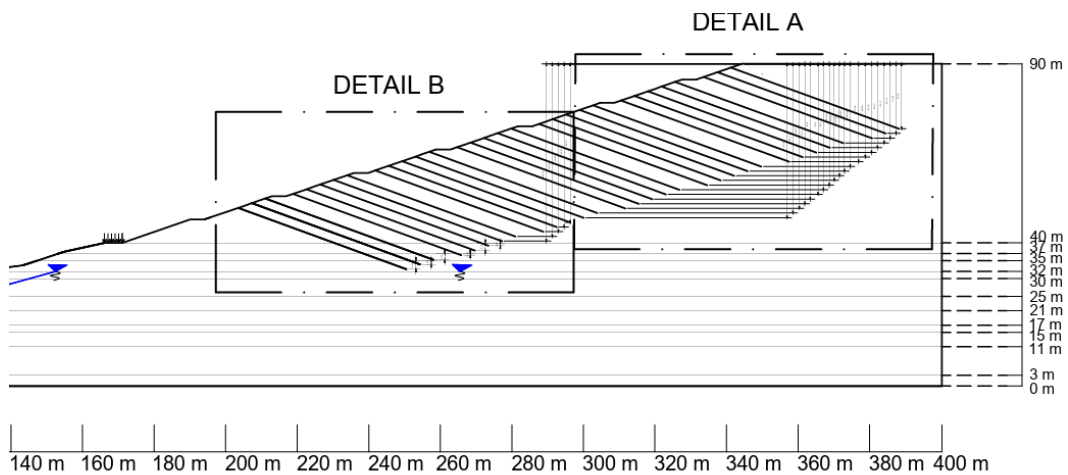
$$Q = 15 \text{ kN/m}^2$$

$$\begin{aligned}
 \text{CB.BL} &= (C_{\text{lab}} \times \text{BL}) + (C_{\text{lapis1}} \times \text{BL}) + (C_{\text{lapis2}} \times \text{BL}) + (C_{\text{lapis3}} \times \text{BL}) \\
 &= (20,36 \times 191,91) + (15 \times 191,91) + (20 \times 191,91) + (50 \times 191,91) \\
 &= 20219,75
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 FS &= \frac{C_b.BL+(W+Q+Pa \sin\phi) \tan \phi}{PA \cos \phi} \\
 FS &= \frac{20219,75+(64952,35+15+9670,394 \sin (24,75) \tan (24,75))}{9670,394 \cos 24,75} \\
 &= 5,91 > 1,3 \text{ (ok)}
 \end{aligned}$$

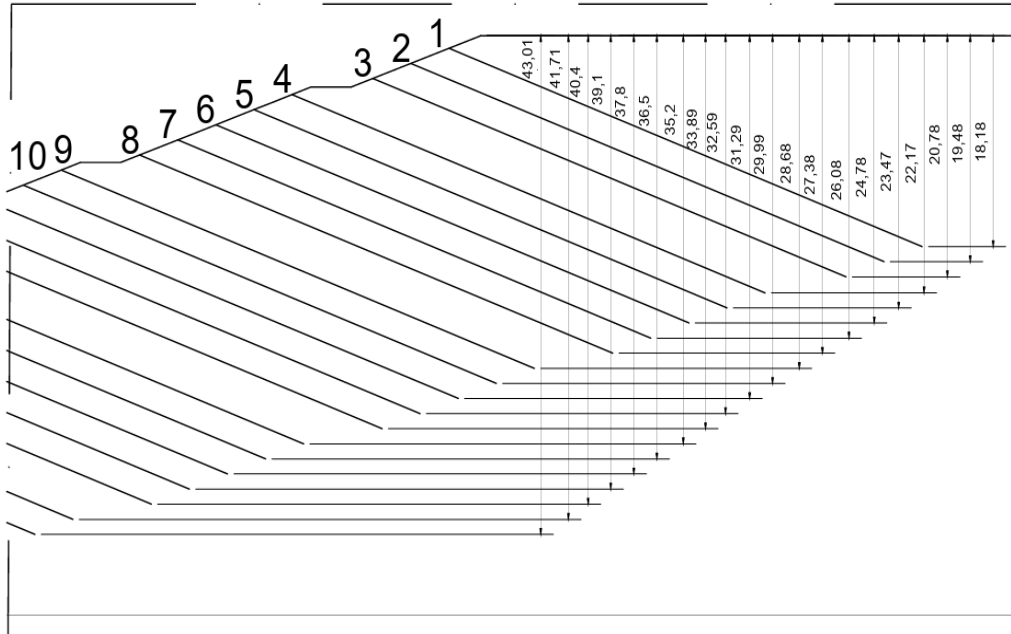
### 5.6.3 Analisis Stabilitas Internal *Soil nailing* Terhadap Putus Tulangan

Analisis stabilitas internal untuk putus tulangan dilakukan dengan bantuan aplikasi *Autocad* 2019 untuk mengetahui panjang *nail* di belakang bidang longsor dan kedalaman ujung *nail* dari lapis tanah di atasnya. Perhitungan kedalaman ujung *nail* dari lapis tanah di atasnya dengan satuan meter ditunjukkan pada Gambar 5.25 dengan detail pada Gambar 5.26 dan Gambar 5.27 berikut.



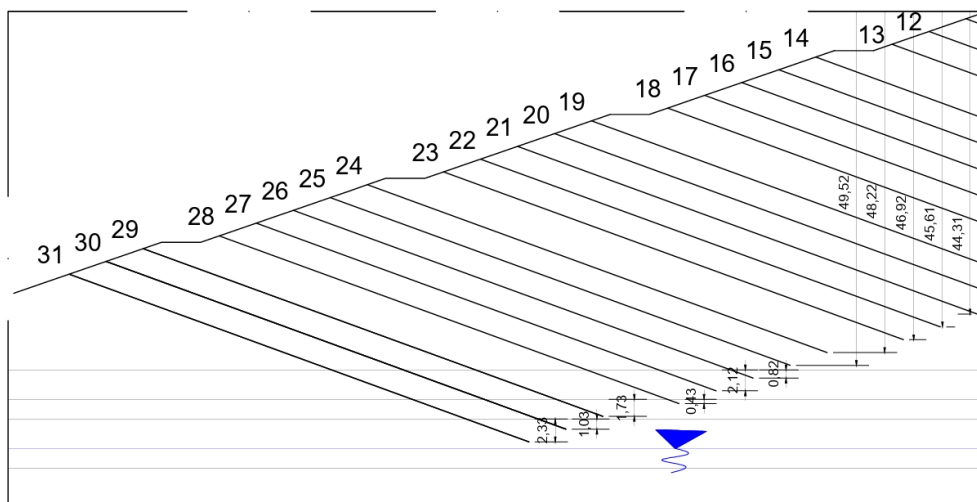
**Gambar 5.25 Pengukuran Kedalaman Ujung *Nail* ke Lapis Tanah (Li)**

# DETAIL A



Gambar 5.26 Detail A Pengukuran Kedalaman Ujung Nail ke Lapis Tanah (Li)

# DETAIL B



Gambar 5.27 Detail B Pengukuran Kedalaman Ujung Nail ke Lapis Tanah (Li)

Data-data perhitungan untuk analisis stabilitas internal terhadap putus tulangan ditunjukkan pada Tabel 5.8 berikut.

**Tabel 5.8 Data Perhitungan Analisis Stabilitas Internal Putus Tulangan**

No. Nail	Li (m)	Le (m)	Lapisan
1	18,18	41,86	lab
2	19,48	40,23	lab
3	20,78	38,64	lab
4	22,17	34,1	lab
5	23,47	32,61	lab
6	24,78	31,17	lab
7	26,08	29,77	lab
8	27,38	28,41	lab
9	28,68	24,33	lab
10	29,99	23,09	lab
11	31,29	21,89	lab
12	32,59	20,49	lab
13	33,89	19,65	lab
14	35,2	15,99	lab
15	36,5	15,03	lab
16	37,8	14,12	lab
17	39,1	13,27	lab
18	40,4	12,48	lab
19	41,71	9,32	lab
20	43,01	8,69	lab
21	44,31	8,13	lab
22	45,61	7,64	lab
23	46,92	7,23	lab
24	48,22	4,68	lab
25	49,52	4,47	lab
26	0,82	4,35	1
27	2,12	4,33	1
28	0,43	4,41	2
29	1,55	2,88	2
30	1,03	3,01	3
31	2,33	3,49	3

1. Koefisien tekanan tanah lateral aktif

- a.  $K_{a\text{lab}} = \tan^2\left(45 - \frac{\phi}{2}\right)$

$$= \tan^2\left(45 - \frac{24,5}{2}\right)$$

$$= 0,413$$

$$\text{b. } K_{a_{\text{lapis1}}} = \tan^2\left(45 - \frac{25}{2}\right)$$

$$= 0,406$$

$$\text{c. } K_{a_{\text{lapis2}}} = 0,406$$

$$\text{d. } K_{a_{\text{lapis3}}} = 0,406$$

2. Menghitung tegangan horizontal di tiap *nail*, contoh perhitungan di *nail* nomer 1

$$\sigma_{h1} = (-2 \times c \times \sqrt{K_{a_{\text{Lab}}}}) + (\gamma_1 \times Li_1 \times K_{a_{\text{Lab}}})$$

$$= (-2 \times 20,36 \times \sqrt{0,414}) + (15,79 \times 18,18 \times 0,414)$$

$$= 92,58 \text{ kN/m}^2$$

3. Menghitung angka keamanan terhadap putus tulangan *nail*

$$Fr1 = \frac{0,25 \times \pi \times D^2 \times F_y}{1000 \times \sigma_{h1} \times S_v \times S_h}$$

$$= \frac{0,25 \times \pi \times 43^2 \times 520}{1000 \times 92,58 \times 1,3 \times 1,3}$$

$$= 4,83$$

Rekapitulasi nilai angka aman terhadap putus tulangan ditunjukkan pada Tabel 5.9 berikut.

**Tabel 5.9 Rekapitulasi Angka Aman Putus Tulangan**

No. <i>Nail</i>	Li (m)	Le (m)	Lapisan	$\sigma_h$ (kN/m <sup>2</sup> )	SF	Cek
1	18,18	41,86	lab	92,58	4,83	OK
2	19,48	40,23	lab	101,07	4,42	OK
3	20,78	38,64	lab	109,56	4,08	OK
4	22,17	34,1	lab	118,64	3,77	OK
5	23,47	32,61	lab	127,13	3,51	OK
6	24,78	31,17	lab	135,69	3,29	OK
7	26,08	29,77	lab	144,19	3,10	OK
8	27,38	28,41	lab	152,68	2,93	OK
9	28,68	24,33	lab	161,17	2,77	OK
10	29,99	23,09	lab	169,73	2,63	OK
11	31,29	21,89	lab	178,22	2,51	OK

Lanjutan Tabel 5.9 Rekapitulasi Angka Aman Putus Tulangan

No. Nail	Li (m)	Le (m)	Lapisan	$\sigma_h$ (kN/m <sup>2</sup> )	SF	Cek
12	32,59	20,49	lab	186,71	2,39	OK
13	33,89	19,65	lab	195,21	2,29	OK
14	35,2	15,99	lab	203,76	2,19	OK
15	36,5	15,03	lab	212,26	2,11	OK
16	37,8	14,12	lab	220,75	2,02	OK
17	39,1	13,27	lab	229,24	1,95	OK
18	40,4	12,48	lab	237,74	1,88	OK
19	41,71	9,32	lab	246,29	1,81	OK
20	43,01	8,69	lab	254,79	1,75	OK
21	44,31	8,13	lab	263,28	1,70	OK
22	45,61	7,64	lab	271,77	1,64	OK
23	46,92	7,23	lab	280,33	1,59	OK
24	48,22	4,68	lab	288,82	1,55	OK
25	49,52	4,47	lab	297,32	1,50	OK
26	0,82	4,35	1	306,31	1,46	OK
27	2,12	4,33	1	314,22	1,42	OK
28	0,43	4,41	2	315,82	1,41	OK
29	1,55	2,88	2	322,64	1,38	OK
30	1,03	3,01	3	293,85	1,52	OK
31	2,33	3,49	3	302,29	1,48	OK

#### 5.6.4 Analisis Stabilitas Internal *Soil nailing* Terhadap Cabut Tulangan

Perhitungan stabilitas terhadap cabut tulangan dengan contoh *nail* pertama dijelaskan sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 F_p &= \frac{0,25 \times q_u \times D_d h \times L_{e1}}{\sigma_{h1} \times S_v \times S_h} \\
 &= \frac{0,25 \times 60 \times 1 \times 41,86}{92,58 \times 1,3 \times 1,3} \\
 &= 50,43
 \end{aligned}$$

Rekapitulasi nilai angka aman terhadap cabut tulangan ditunjukkan pada Tabel 5.10 berikut.

**Tabel 5.10 Rekapitulasi Angka Aman Cabut Tulangan**

No.Nail	$\sigma_h$ (kN/m <sup>2</sup> )	Le (m)	SF	Cek
1	92,58	41,86	50,433	ok
2	101,07	40,23	44,397	ok
3	109,56	38,64	39,337	ok
4	118,64	34,10	32,058	ok
5	127,13	32,61	28,609	ok
6	135,69	31,17	25,621	ok
7	144,19	29,77	23,029	ok
8	152,68	28,41	20,754	ok
9	161,17	24,33	16,837	ok
10	169,73	23,09	15,173	ok
11	178,22	21,89	13,699	ok
12	186,71	20,49	12,240	ok
13	195,21	19,65	11,227	ok
14	203,76	15,99	8,753	ok
15	212,26	15,03	7,898	ok
16	220,75	14,12	7,134	ok
17	229,24	13,27	6,456	ok
18	237,74	12,48	5,855	ok
19	246,29	9,32	4,221	ok
20	254,79	8,69	3,804	ok
21	263,28	8,13	3,444	ok
22	271,77	7,64	3,135	ok
23	280,33	7,23	2,877	ok
24	288,82	4,68	1,807	ok
25	297,32	4,47	1,677	ok
26	306,31	4,35	1,584	ok
27	314,22	4,33	1,537	ok
28	315,82	4,41	1,557	ok
29	322,64	2,88	0,996	Kurang
30	293,85	3,01	1,143	Kurang
31	302,29	3,49	1,288	Kurang

Terdapat *soil nailing* yang tidak memenuhi angka aman sehingga untuk *soil nailing* tersebut perlu diperbesar diameter *grouting* dan mengurangi jarak antar *soil nailing*.

## 5.7 Hasil Analisis dan Pembahasan

Penentuan parameter tanah pada analisis stabilitas lereng Cibeureum ini menggunakan 2 kombinasi metode, yaitu hasil uji lab dan korelasi parameter terhadap hasil pengujian SPT. Hasil uji lab memberikan klasifikasi tanah lereng Cibeureum berdasarkan USCS berupa MH atau OH, sedangkan berdasarkan AASHTO menunjukkan jenis tanah berupa tanah lempung dan penilaian umum sebagai tanah dasar bersifat sedang sampai buruk. Kemudian hasil SPT memberikan jenis tanah berupa *clayey silt*.

Analisis perhitungan nilai keamanan terhadap lereng di Cibeureum, Kabupaten Cianjur menggunakan perhitungan manual dan analisis menggunakan program *Plaxis 2D V20*. Pada lereng awal dengan sudut kemiringan  $21^\circ$  tanpa gempa, nilai keamanan dengan metode *Fellenius* menghasilkan nilai  $1,56 > 1,5$  (aman), kemudian pada penggunaan program *Plaxis 2D V20*, menghasilkan nilai  $1,62 > 1,5$  (aman) sehingga kedua metode tersebut menghasilkan nilai keamanan  $> 1,5$  yang berarti aman ketika tanpa gempa. Sebaliknya, pada lereng ini jika diberikan beban gempa dengan program *Plaxis* maka lereng akan runtuh sehingga perlu diberikan perbaikan.

Utomo (2019) membuktikan bahwa dengan memberikan perkuatan *soil nailing* pada suatu lereng dengan program komputasi dapat meningkatkan nilai angka aman suatu lereng yang semula 0,933 menjadi 3,253 setelah diberikan perkuatan. Pada penelitian ini, perbaikan lereng yang dilakukan berupa pengurangan sudut lereng, membuat bentuk lereng berupa terasering, dan perkuatan *Soil nailing*. Pada lereng dengan sudut kemiringan  $19^\circ$  tanpa gempa, nilai keamanan dengan program *Plaxis* menghasilkan nilai 2,05. Pada lereng ini jika diberikan beban gempa dengan *Plaxis* maka lereng akan runtuh sehingga perlu diberikan perkuatan. Perkuatan *soil nailing* dilakukan dengan panjang *nail* 50 meter dan jarak antar *nail* adalah 1,3 m. Lereng dengan perkuatan ini dianalisis dengan metode Baji dan analisis program *Plaxis 2D V20*. Untuk mencari nilai keamanan optimal, diberikan perbedaan kondisi *soil nailing* dengan sudut pemasangan  $10^\circ$ ,  $15^\circ$ , dan  $20^\circ$ . Berdasarkan hasil program *Plaxis*, nilai keamanan dengan sudut pemasangan *soil nailing*  $10^\circ$  tanpa gempa memiliki nilai keamanan 2,34 dan dengan gempa memiliki

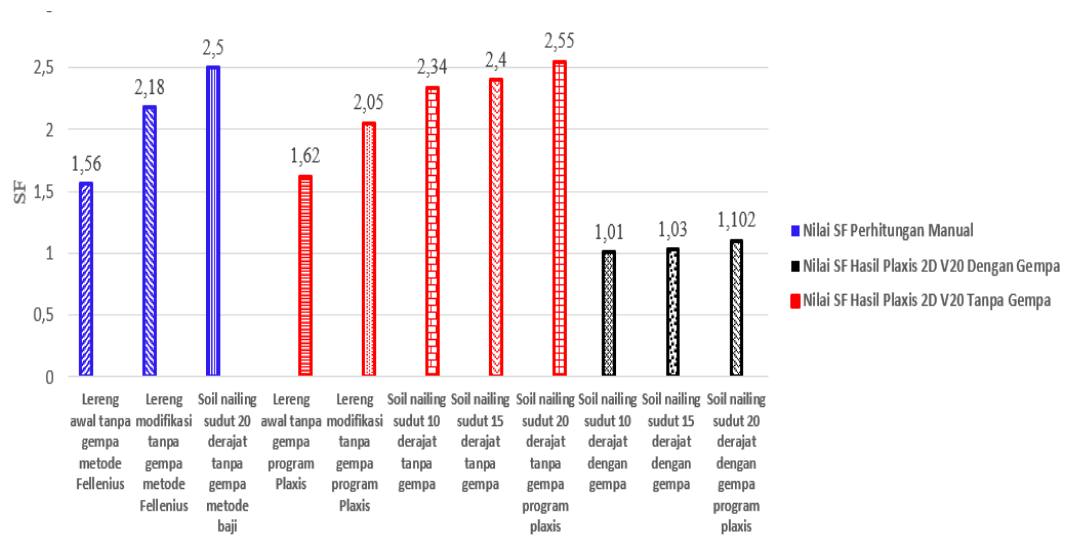


nilai keamanan  $1,01 < 1,1$  (tidak aman). Berdasarkan hasil program Plaxis, nilai keamanan dengan sudut pemasangan *soil nailing*  $15^\circ$  tanpa gempa memiliki nilai keamanan 2,4 dan dengan gempa memiliki nilai keamanan  $1,03 < 1,1$  (tidak aman). Berdasarkan hasil program Plaxis, nilai keamanan dengan sudut pemasangan *soil nailing*  $20^\circ$  tanpa gempa memiliki nilai keamanan 2,55 dan dengan gempa memiliki nilai keamanan  $1,102 > 1,1$  (aman) dengan memiliki nilai deformasi massa tanah pada daerah perkuatan bernilai antara 4,8 m hingga 1,6 m. Berdasarkan hal tersebut nilai keamanan yang memenuhi syarat hanya pada pemasangan *soil nailing*  $20^\circ$ . Kemudian dengan metode baji menghasilkan nilai keamanan global senilai 2,5 dan nilai keamanan terhadap gaya geser 5,91. Untuk nilai keamanan terhadap putus tulangan dan nilai keamanan terhadap cabut tulangan memiliki hasil melebihi angka aman, namun terdapat beberapa *soil nailing* yang tidak memenuhi syarat angka aman cabut tulangan sehingga perlu permodelan ulang bagian *soil nailing* itu.

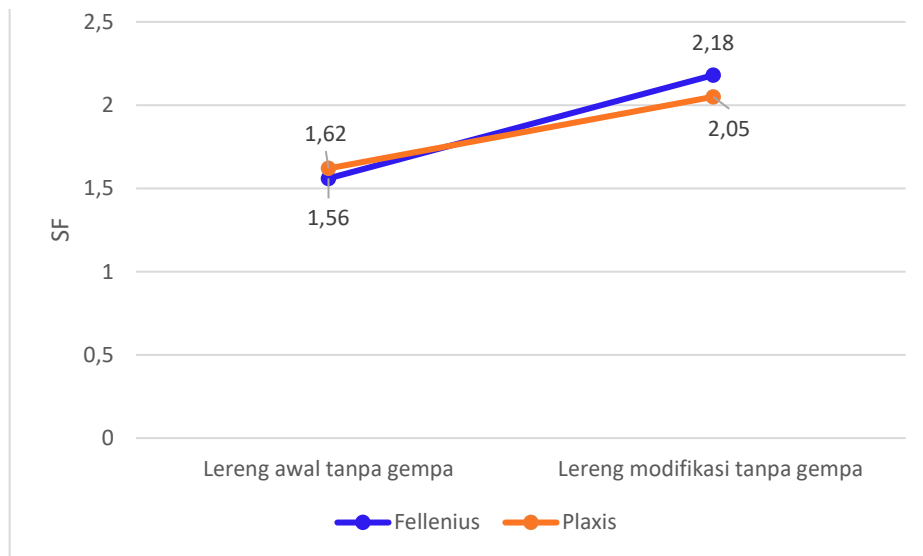
Berikut rekapitulasi nilai SF pada lereng alami, lereng modifikasi, dan lereng modifikasi dengan perkuatan *Soil nailing* yang dapat dilihat pada Tabel 5.11 dan Gambar 5.28, Gambar 5.29, Gambar 5.30, dan Gambar 5.31.

**Tabel 5.11 Rekapitulasi Nilai SF**

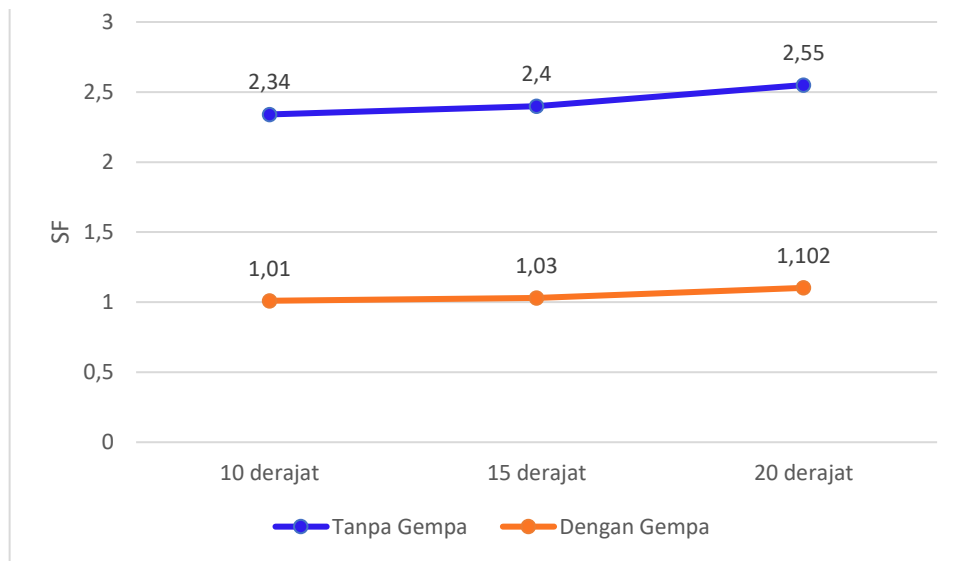
<b>Rincian</b>	<b>Kondisi</b>	<b>Metode</b>	<b>Nilai Aman</b>
Lereng awal	Tanpa Gempa	<i>Fellenius</i>	1,56
	Tanpa Gempa	Plaxis	1,62
	Gempa	Plaxis	-
Lereng modifikasi	Tanpa Gempa	<i>Fellenius</i>	2,18
	Tanpa Gempa	Plaxis	2,05
	Gempa	Plaxis	-
<i>Soil nailing</i> sudut $10^\circ$	Tanpa Gempa	Plaxis	2,34
	Gempa	Plaxis	1,01
<i>Soil nailing</i> sudut $15^\circ$	Tanpa Gempa	Plaxis	2,4
	Gempa	Plaxis	1,03
<i>Soil nailing</i> sudut $20^\circ$	Tanpa Gempa	Plaxis	2,55
	Gempa	Plaxis	1,102
	Tanpa Gempa	Baji	2,5



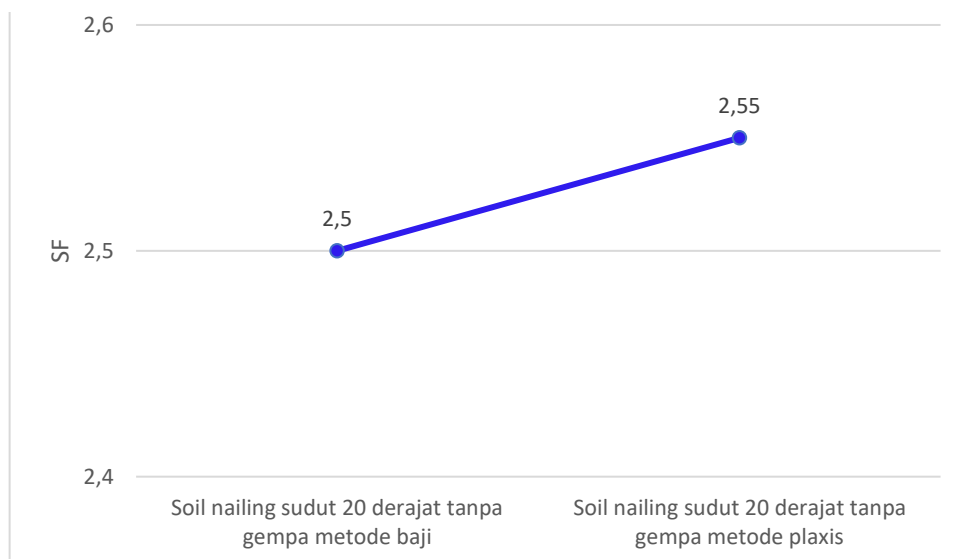
Gambar 5.28 Rekapitulasi Nilai SF



Gambar 5.29 Rekapitulasi Nilai SF Lereng Tanpa Gempa



**Gambar 5.30 Rekapitulasi Nilai SF Lereng Setelah Perkuatan**



**Gambar 5.31 Rekapitulasi Nilai SF Metode Baji Dan Plaxis**

## **BAB VI**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **6.1 Kesimpulan**

Berdasarkan analisis dan pembahasan studi kasus yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya, kesimpulan yang didapatkan sebagai berikut.

1. Nilai keamanan lereng awal dengan metode *Fellenius* menghasilkan nilai keamanan 1,56 Nilai keamanan lereng awal tanpa gempa dengan program *Plaxis 2D V20* menghasilkan nilai 1,62 dan dengan gempa lereng mengalami keruntuhan. Sehingga lereng perlu diadakan perbaikan
2. Perbaikan lereng yang dilakukan berupa pengurangan sudut kemiringan lereng dan penggunaan *soil nailing* sebagai perkuatan
3. Kondisi terbaik lereng yang mempunyai nilai angka keamanan terbesar adalah lereng modifikasi sudut kemiringan dengan sudut lereng menjadi 19° dan penggunaan *soil nailing* dengan panjang *nail* 50 m dan sudut pemasangan 20°. Kondisi tersebut menghasilkan nilai keamanan tanpa gempa dengan program *Plaxis 2D V20* senilai 2,55 dan dengan beban gempa senilai 1,102
4. Deformasi massa tanah sebelum diberikan perkuatan lereng memiliki nilai paling tinggi senilai 4,684 m pada daerah rawan longsor. Kemudian lereng setelah diberikan perkuatan lereng memiliki nilai deformasi massa tanah pada daerah perkuatan bernilai antara 4,8 m hingga 1,6 m

#### **6.2 Saran**

Berdasarkan analisis dan pembahasan studi kasus yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya, terdapat beberapa saran sebagai berikut.

1. Penelitian selanjutnya dapat melakukan variasi perkuatan lereng dengan jenis perkuatan lainnya
2. Penelitian selanjutnya dapat melakukan analisis dengan aplikasi analisis lain seperti *Plaxis 3D* untuk mendapatkan hasil kestabilan lereng lebih sesuai

3. Penelitian selanjutnya dapat melakukan variasi terkait sudut lereng dan jarak antarnail agar perencanaan dapat lebih efektif
4. Penelitian selanjutnya dapat mempertimbangkan jenis perkuatan yang lebih ekonomis dengan mempertimbangkan rencana anggaran biaya kegiatan perkuatan lereng

## DAFTAR PUSTAKA

- Alhadis, I.H. 2022. Analisis Perkuatan Tanah dengan Menggunakan Dinding Penahan Tanah Kantilever dan Sheet Pile Baja. *Tugas Akhir*. (Tidak Diterbitkan). Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta
- API. 1987. *Recommended Practice for Field Testing Water-based Drilling Fluids. Publication API RP 13B-1*. American Petroleum Institute. Washington D.C.
- Badan Standarisasi Nasional. 2017. SNI 8460: 2017. Persyaratan Perancangan Geoteknik. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta
- Bahri, S. 2022. Pemenuhan Kebutuhan Bagi Korban Gempa Cianjur Dari Pemerintah, Lembaga Badan Swasta Dan Masyarakat Indonesia. *Jurnal Ekonomi dan Akuntansi 2*. Vol 2 No 2: 236–240. Yogyakarta
- Barrang, Y.E., Mandagi, A.T., dan Riogilang, H. 2021. Studi Literatur Tentang Analisis Stabilitas Lereng dengan Perkuatan Soil Nailing Menggunakan Program GEO5. *TEKNO*. Vol. 19 No 79: 275-287. Manado.
- Carter, M. dan Bentley, S. P. 1991. *Correlations of Soil Properties*. Pentech Press. London
- Dewedree, S. dan Jusoh, S.N. 2019. *Slope Stability Analysis Under Different Soil Nailing Parameters Using The SLOPE/W Software*. *Journal of Physics*. Thn. 2019: 1-7
- Hanif, F., Setiawan,, B., dan Dananjaya, H. 2017. Analisis Perkuatan Soil Nailing Sebagai Metode Perbaikan Stabilitas Lereng. *Matriks Teknik Sipil*. 484-490. Surakarta.
- Hardiyatmo, H.C. 2017. *Mekanika Tanah 1 Edisi ke Tujuh*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta
- Hardiyatmo, H.C. 2018. *Mekanika Tanah 2 Edisi ke Enam*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta
- Hardiyatmo, H.C. 2014. *Analisis dan Perencanaan Fondasi 1 Edisi ke Tiga*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta


- Hardiyatmo, H. C. 2015. Analisis dan Perencanaan Fondasi 2 Edisi ke Tiga. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta
- Kumalasari, V. 2012. Analisis Stabilitas Lereng dengan Perkuatan Soil Nailing Menggunakan Program Geoslope. *Tugas Akhir*. Universitas Sebelas Maret, Surakarta
- Lazarte, C.A., Elias, V., Espinoza, D., dan Sabatini, P.J. 2003. *Soil Nail Walls*. FHWA0-IF-03-017. Federal Highway Administration, Washington, D.C.
- Look, B.G. 2014. *Handbook of Geotechnical Investigation and Design Tables. Deformation Parameters*. London
- Mangnejo, D.A., Oad, S.J., Kalhoro, S.A., Ahmed, S., Laghari, F.H., dan Siyal, Z.A. 2019. *Numerical Analysis of Soil Slope Stabilization by Soil Nailing Technique. Engineering, Technology & Applied Science Research*. Vol. 9 No. 4: 4469-4473. Pakistan.
- Maulidha, Z.F., Satria, T.R., dan Lastiasih, Y. 2022. *Geotechnical Mapping for Soil Physical and Mechanical Parameters and Hard Soil Depth in Badung Regency. Journal of Infrastructure and Facility Asset Management*. Vol 4 No 2: 89-104. Surabaya.
- Muksin, Z., Rahim, A., Hermansyah, A., Samudra, A.A., dan Satispi, E. 2023. Mitigasi Bencana Gempa Bumi di Cianjur. *JIIP - Jurnal Ilmiah Ilmu Pendidikan*. Vol. 6 No. 4: 2486–2490. Jakarta.
- Nindy, D. 2022. BMKG sebut Indonesia Dilanda Gempa Sekitar 5.818 Kali Per Tahun. Antara. 16 Agustus. Jakarta
- Öser, C. 2021. *Cantilever piles or well foundations in supporting temporary deep excavations: comparison of performance, safety and cost. Turkish Journal of Engineering*. Vol 6 No 2: 140-148
- Prashant, A. dan Mukherjee, M. 2010. *Soil Nailing for Stabilization of Steep Slopes Near Railway Tracks. Research Designs and Standards Organization. Indian Institute of Technology Kanpur*. Lucknow
- Rahman, M.M. 2020. *Foundation Design using Standard Penetration Test (SPT) N-Value*. Bangladesh

- Standyarto, A.N., Prayitno, A.Y., dan Prayitno, D. 2023. Stabilisasi Lereng Dengan Aplikasi Soil Nailing Pada Area Galian Dalam Dan Kemiringan Curam. *Jurnal Jalan-Jembatan*. Vol 40 No 2: 104-113. Balikpapan
- Utomo, B.P. 2019. Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan *Soil Nailing* Dengan Menggunakan Program *Geoslope*. *Tugas Akhir*. (Tidak Diterbitkan). Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta
- Warman, R.S. 2019. *Kumpulan Korelasi Parameter Geoteknik dan Fondasi*. Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Direktorat Jenderal Bina Marga. Jakarta



# LAMPIRAN


### Lampiran 1 Uji Kadar Air

	<b>LABORATORIUM MEKANIKA TANAH</b> <b>JURUSAN TEKNIK SIPIL</b> <b>FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN</b> Jl. Kaliurang KM 14,4 Telp (0274) 8905042, 895707 fax 895330 Yogyakarta			
<b>PENGUJIAN KADAR AIR</b> <b>ASTM D 2216-71</b>				
Proyek : Tugas akhir Lokasi : Lereng Cibeureum, Kabupaten Cianjur Dikerjakan : Azmi Afa Iftikhar Tanggal : 31 Maret 2023 Sampel : Tanah Lereng Cibeureum				
<b>No</b>	<b>Uraian</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>Satuan</b>
1	Berat container (W1)	13,04	12,73	gr
2	Berat container + tanah basah (W2)	23,72	24,23	gr
3	Berat container + tanah kering (W3)	19,72	19,80	gr
4	Berat air (ww)	4,00	4,43	gr
5	Berat tanah kering (ws)	6,68	7,07	gr
6	Kadar air	59,88	62,66	%
7	Kadar air rata-rata (w)	61,27		%


  

<b>Mengetahui,</b> <b>Kepala Lab. Mekanika Tanah</b>	<b>Yogyakarta, 22 Januari 2024</b>
<b>(Muhammad Rifqi Abdurrozak, S.T., M.Eng)</b>	<b>(Azmi Afa Iftikhar)</b>

## Lampiran 2 Uji Berat Volume

	<b>LABORATORIUM MEKANIKA TANAH</b> <b>JURUSAN TEKNIK SIPIL</b> <b>FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN</b> Jl. Kaliurang KM 14,4 Telp (0274) 8905042, 895707 fax 895330 Yogyakarta								
<b>PENGUJIAN BERAT VOLUME</b> <b>ASTM D 2216</b>									
Proyek : Tugas akhir Lokasi : Lereng Cibeureum, Kabupaten Cianjur Dikerjakan : Azmi Afa Iftikhar Tanggal : 31 Maret 2023 Sampel : Tanah Lereng Cibeureum									
<b>Uraian</b>	<b>Simbol</b>	<b>Sampel</b>			<b>Satuan</b>				
		<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>					
Diameter ring	d	4,98	4,98	4,98	cm				
Tinggi ring	t	2,05	2,05	2,05	cm				
Volume ring	V	39,93	39,93	39,93	cm <sup>3</sup>				
Berat ring	W1	34,08	34,08	34,08	gr				
Berat ring + tanah basah	W2	97,40	97,63	99,95	gr				
Berat tanah basah	W3	63,32	63,55	65,87	gr				
Berat volume tanah	$\gamma_b$	1,59	1,59	1,65	gr/cm <sup>3</sup>				
Berat volume rata-rata	$\gamma_b$ rata-rata	1,61			gr/cm <sup>3</sup>				
<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 60%; vertical-align: top;"> <b>Mengetahui,</b>  <b>Kepala Lab. Mekanika Tanah</b> </td> <td style="width: 40%; vertical-align: top; text-align: right;"> <b>Yogyakarta, 22 Januari 2024</b> </td> </tr> <tr> <td style="vertical-align: top; padding-top: 20px;"> <b>(Muhammad Rifqi Abdurrozak, S.T., M.Eng)</b> </td> <td style="vertical-align: top; text-align: right; padding-top: 20px;"> <b>(Azmi Afa Iftikhar)</b> </td> </tr> </table>						<b>Mengetahui,</b> <b>Kepala Lab. Mekanika Tanah</b>	<b>Yogyakarta, 22 Januari 2024</b>	<b>(Muhammad Rifqi Abdurrozak, S.T., M.Eng)</b>	<b>(Azmi Afa Iftikhar)</b>
<b>Mengetahui,</b> <b>Kepala Lab. Mekanika Tanah</b>	<b>Yogyakarta, 22 Januari 2024</b>								
<b>(Muhammad Rifqi Abdurrozak, S.T., M.Eng)</b>	<b>(Azmi Afa Iftikhar)</b>								

### Lampiran 3 Berat Jenis

	<b>LABORATORIUM MEKANIKA TANAH</b> <b>JURUSAN TEKNIK SIPIL</b> <b>FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN</b> Jl. Kalurang KM 14,4 Telp (0274) 8905042, 895707 fax 895330 Yogyakarta
	<b>PENGUJIAN BERAT JENIS</b> <b>ASTM D 854-72</b>
Proyek : Tugas akhir Lokasi : Lereng Cibeureum, Kabupaten Cianjur Dikerjakan : Azmi Aufa Iftikhar Tanggal : 3 April 2023 Sampel : Tanah Lereng Cibeureum	

Uraian	Simbol	1	2	Satuan
Berat piknometer	W1	37,46	41,6	gr
Berat piknometer + tanah kering	W2	73,05	77,51	gr
Berat piknometer + tanah + air penuh	W3	159,73	164,78	gr
Berat piknometer + air penuh	W4	138,06	142,66	gr
Suhu air	t	27	27	°c
Berat jenis air pada suhu T	$\gamma_w$	0,9965	0,9965	gr/cm <sup>3</sup>
Berat jenis air pada suhu 20 °c	$\gamma_w$	0,9982	0,9982	gr/cm <sup>3</sup>
Berat tanah kering	Ws	35,59	35,91	gr
A		173,65	178,57	gr
I		13,92	13,79	gr
Berat jenis tanah pada suhu T	Gs	2,56	2,60	gr
Berat jenis tanah pada suhu 27 °c	Gs	2,55	2,60	gr
Berat jenis rata-rata pada suhu 27 °c		2,58		gr


Mengetahui,  
Kepala Lab. Mekanika Tanah

Yogyakarta, 22 Januari 2024

(Muhammad Rifqi Abdurrozak, S.T., M.Eng)

(Azmi Aufa Iftikhar)

### Lampiran 4 Uji Analisa Saringan

 <p style="text-align: center;"><b>LABORATORIUM MEKANIKA TANAH</b>  <b>JURUSAN TEKNIK SIPIL</b>  <b>FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN</b>          Jl. Kaliurang KM 14,4 Telp (0274) 8905042, 895707 fax 895330 Yogyakarta</p>																																																																														
<p><b>PENGUJIAN ANALISA SARINGAN</b>  <b>ASTM D 422-72</b></p>																																																																														
<p>Proyek : Tugas akhir          Lokasi : Lereng Cibeureum, Kabupaten Cianjur          Dikerjakan : Azmi Aufa Iftikhar          Tanggal : 3 April 2023          Sampel : Tanah Lereng Cibeureum</p>																																																																														
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">No. Saringan</th> <th style="text-align: center;">Diameter Saringan (mm)</th> <th style="text-align: center;">Berat tertahan (gr)</th> <th style="text-align: center;">Berat Lolos (gr)</th> <th style="text-align: center;">% Tertahan</th> <th style="text-align: center;">% lolos</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td style="text-align: center;">3/8</td><td style="text-align: center;">9,5</td><td style="text-align: center;">0</td><td style="text-align: center;">244,270</td><td style="text-align: center;">0,00</td><td style="text-align: center;">100,00</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">4</td><td style="text-align: center;">4,75</td><td style="text-align: center;">1,82</td><td style="text-align: center;">242,450</td><td style="text-align: center;">0,75</td><td style="text-align: center;">99,25</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">8</td><td style="text-align: center;">2</td><td style="text-align: center;">9,14</td><td style="text-align: center;">233,310</td><td style="text-align: center;">3,74</td><td style="text-align: center;">95,51</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">20</td><td style="text-align: center;">0,84</td><td style="text-align: center;">9,26</td><td style="text-align: center;">224,050</td><td style="text-align: center;">3,79</td><td style="text-align: center;">91,72</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">40</td><td style="text-align: center;">0,42</td><td style="text-align: center;">16,33</td><td style="text-align: center;">207,720</td><td style="text-align: center;">6,69</td><td style="text-align: center;">85,04</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">80</td><td style="text-align: center;">0,25</td><td style="text-align: center;">16,85</td><td style="text-align: center;">190,870</td><td style="text-align: center;">6,90</td><td style="text-align: center;">78,14</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">100</td><td style="text-align: center;">0,149</td><td style="text-align: center;">23,51</td><td style="text-align: center;">167,360</td><td style="text-align: center;">9,62</td><td style="text-align: center;">68,51</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">200</td><td style="text-align: center;">0,075</td><td style="text-align: center;">3,86</td><td style="text-align: center;">163,500</td><td style="text-align: center;">1,58</td><td style="text-align: center;">66,93</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">Pan</td><td></td><td style="text-align: center;">163,5</td><td style="text-align: center;">0,000</td><td style="text-align: center;">66,93</td><td style="text-align: center;">0,00</td></tr> <tr><td colspan="2" style="text-align: center;"><b>TOTAL</b></td><td style="text-align: center;">244,27</td><td></td><td style="text-align: center;">100,00</td><td></td></tr> <tr><td colspan="4" style="text-align: center;">Berat tanah mula-mula</td><td style="text-align: center;">244,27</td><td style="text-align: center;">gr</td></tr> <tr><td colspan="4" style="text-align: center;">Prosentase lolos saringan 200</td><td style="text-align: center;">66,934</td><td style="text-align: center;">%</td></tr> </tbody> </table>	No. Saringan	Diameter Saringan (mm)	Berat tertahan (gr)	Berat Lolos (gr)	% Tertahan	% lolos	3/8	9,5	0	244,270	0,00	100,00	4	4,75	1,82	242,450	0,75	99,25	8	2	9,14	233,310	3,74	95,51	20	0,84	9,26	224,050	3,79	91,72	40	0,42	16,33	207,720	6,69	85,04	80	0,25	16,85	190,870	6,90	78,14	100	0,149	23,51	167,360	9,62	68,51	200	0,075	3,86	163,500	1,58	66,93	Pan		163,5	0,000	66,93	0,00	<b>TOTAL</b>		244,27		100,00		Berat tanah mula-mula				244,27	gr	Prosentase lolos saringan 200				66,934	%
No. Saringan	Diameter Saringan (mm)	Berat tertahan (gr)	Berat Lolos (gr)	% Tertahan	% lolos																																																																									
3/8	9,5	0	244,270	0,00	100,00																																																																									
4	4,75	1,82	242,450	0,75	99,25																																																																									
8	2	9,14	233,310	3,74	95,51																																																																									
20	0,84	9,26	224,050	3,79	91,72																																																																									
40	0,42	16,33	207,720	6,69	85,04																																																																									
80	0,25	16,85	190,870	6,90	78,14																																																																									
100	0,149	23,51	167,360	9,62	68,51																																																																									
200	0,075	3,86	163,500	1,58	66,93																																																																									
Pan		163,5	0,000	66,93	0,00																																																																									
<b>TOTAL</b>		244,27		100,00																																																																										
Berat tanah mula-mula				244,27	gr																																																																									
Prosentase lolos saringan 200				66,934	%																																																																									
<p><b>Mengetahui,</b>  <b>Kepala Lab. Mekanika Tanah</b></p>	<p><b>Yogyakarta, 22 Januari 2024</b></p>																																																																													
<p><b>(Muhammad Rifqi Abdurrozak, S.T., M.Eng)</b></p>	<p><b>(Azmi Aufa Iftikhar)</b></p>																																																																													

## Lampiran 5 Uji Analisa Hidrometer



**LABORATORIUM MEKANIKA TANAH**  
**JURUSAN TEKNIK SIPIL**  
**FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN**  
 Jl. Kaliurang KM 14,4 Telp (0274) 8905042, 895707 fax 895330 Yogyakarta 55584

**PENGUJIAN ANALISA SARINGAN**  
**ASTM D422-72**

Proyek : Tugas akhir  
 Lokasi : Lereng Cibeureum, Kabupaten Cianjur  
 Dikerjakan : Azmi Aufa Iftikhar  
 Tanggal : 3 April 2023  
 Sampel : Tanah Lereng Cibeureum

Time (t)	Suhu (°C)	Ra	Rc	Persen Lolos	R	L (cm)	L/t	k	Diameter
0	26	47	49	55,428	50	8,3	0	0,012994	0
1	26	47	49	55,428	50	8,3	8,300	0,012994	0,037435
2	26	46	48	54,297	49	8,4	4,200	0,012994	0,02663
5	26	39	41	46,379	42	9,6	1,920	0,012994	0,018005
15	26	36	38	42,985	39	10,1	0,673	0,012994	0,010662
30	26	34	36	40,723	37	10,4	0,347	0,012994	0,007651
60	26	31	33	37,329	34	10,9	0,182	0,012994	0,005538
250	26	23	25	28,280	26	12,2	0,049	0,012994	0,00287
1440	26	20	22	24,886	23	12,7	0,009	0,012994	0,00122

**Mengetahui,**  
**Kepala Lab. Mekanika Tanah**

**Yogyakarta, 22 Januari 2024**

**(Muhammad Rifqi Abdurrozak, S.T., M.Eng)**

**(Azmi Aufa Iftikhar)**

## Lampiran 6 Grafik Distribusi Butiran

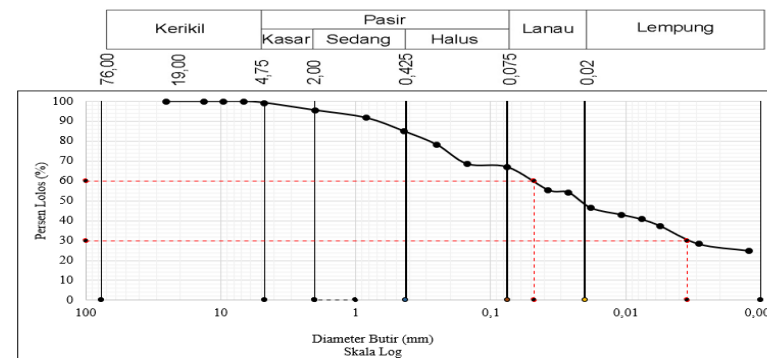


**LABORATORIUM MEKANIKA TANAH**  
**JURUSAN TEKNIK SIPIL**  
**FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN**  
 Jl. Kaliurang KM 14,4 Telp (0274) 8905042, 895707 fax 895330 Yogyakarta 55584

**PENGUJIAN ANALISA SARINGAN**  
**ASTM D422-72**

Proyek : Tugas akhir  
 Lokasi : Lereng Cibeureum, Kabupaten Cianjur  
 Dikerjakan : Azmi Aufa Iftikhar  
 Tanggal : 3 April 2023  
 Sampel : Tanah Lereng Cibeureum

Uraian	Satuan	Hasil
Lolos saringan No.200	%	66,93
Kerikil	%	0,75
Pasir	%	32,32
Lanau	%	20,56
Lempung	%	46,38
D10	mm	0
D30	mm	0,004
D60	mm	0,048
Koefisien Keseragaman (Cu)		-
Koefisien Kelengkungan (Cc)		-



Mengetahui,


Kepala Lab. Mekanika Tanah

Yogyakarta, 22 Januari 2024

(Muhammad Rifqi Abdurrozak, S.T., M.Eng)

(Azmi Aufa Iftikhar)

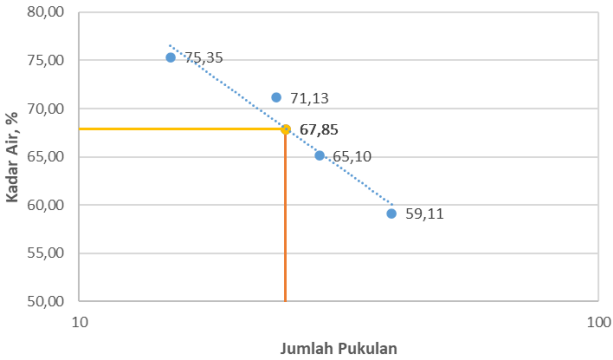
## Lampiran 7 Batas Cair Sampel 1

	<b>LABORATORIUM MEKANIKA TANAH</b> <b>JURUSAN TEKNIK SIPIL</b> <b>FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN</b> Jl. Kaliurang KM 14,4 Telp (0274) 8905042, 895707 fax 895330 Yogyakarta
<b>PENGUJIAN BATAS CAIR</b> <b>ASTM D 423-66</b>	
Proyek : Tugas akhir Lokasi : Lereng Cibeureum, Kabupaten Cianjur Dikerjakan : Azmi Aufa Iftikhar Tanggal : 31 Maret 2023 Sampel : Tanah Lereng Cibeureum	

Uraian	Sat	I		II		III		IV	
		1	2	3	4	5	6	7	8
No Cawan									
Berat Cawan	gr	8,61	12,96	8,96	8,84	8,91	9,06	9,21	9,2
Berat Cawan+Tanah Basah	gr	16,61	22,55	20,62	23,31	20,63	23,39	20,15	18,65
Berat Cawan+Tanah Kering	gr	13,18	18,42	15,73	17,35	15,89	17,89	15,93	15,28
Berat Air	gr	3,43	4,13	4,89	5,96	4,74	5,5	4,22	3,37
Berat Tanah Kering	gr	4,57	5,46	6,77	8,51	6,98	8,83	6,72	6,08
Kadar Air	%	75,05	75,64	72,23	70,04	67,91	62,29	62,80	55,43
Kadar Air Rata-Rata	%	75,35		71,13		65,10		59,11	
Jumlah Pukulan		15		24		29		40	



Kadar Air, %

Jumlah Pukulan

**Mengetahui,**  
**Kepala Lab. Mekanika Tanah**


**Yogyakarta, 22 Januari 2024**

(Muhammad Rifqi Abdurrozak, S.T., M.Eng)

(Azmi Aufa Iftikhar)



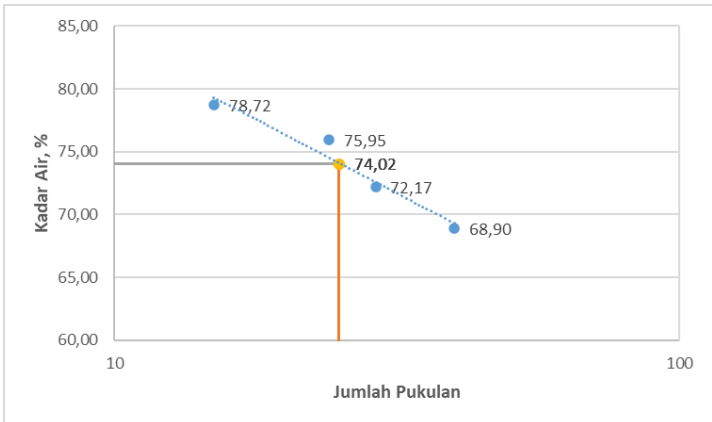
## Lampiran 8 Batas Cair Sampel 2

 <p style="text-align: center;"><b>LABORATORIUM MEKANIKA TANAH</b>  <b>JURUSAN TEKNIK SIPIL</b>  <b>FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN</b>          Jl. Kalurang KM 14,4 Telp (0274) 8905042, 895707 fax 895330 Yogyakarta</p>
<p><b>PENGUJIAN BATAS CAIR</b>  <b>ASTM D 423-66</b></p>
<p>Proyek : Tugas akhir          Lokasi : Lereng Cibeureum, Kabupaten Cianjur          Dikerjakan : Azmi Aufa Iftikhar          Tanggal : 31 Maret 2023          Sampel : Tanah Lereng Cibeureum</p>

Uraian	Sat	I		II		III		IV	
		1	2	3	4	5	6	7	8
No Cawan									
Berat Cawan	gr	8,61	12,96	8,96	8,84	8,91	9,06	9,21	9,2
Berat Cawan+Tanah Basah	gr	16,61	22,55	20,62	23,31	20,63	23,39	20,15	18,65
Berat Cawan+Tanah Kering	gr	13,05	18,37	15,55	17,11	15,72	17,38	15,74	14,75
Berat Air	gr	3,56	4,18	5,07	6,2	4,91	6,01	4,41	3,9
Berat Tanah Kering	gr	4,44	5,41	6,59	8,27	6,81	8,32	6,53	5,55
Kadar Air	%	80,18	77,26	76,93	74,97	72,10	72,24	67,53	70,27
Kadar Air Rata-Rata	%	78,72		75,95		72,17		68,90	
Jumlah Pukulan		15		24		29		40	




The graph plots 'Kadar Air, %' on the vertical axis (ranging from 60.00 to 85.00) against 'Jumlah Pukulan' on the horizontal axis (ranging from 10 to 100). Four data points are plotted and connected by a dashed line: (15, 78.72), (24, 75.95), (29, 72.17), and (40, 68.90). A horizontal solid line is drawn at the value 74.02% on the y-axis, which intersects the dashed line between 24 and 29 blows.


  

<p><b>Mengetahui,</b>  <b>Kepala Lab. Mekanika Tanah</b></p> <p><b>(Muhammad Rifqi Abdurrozak, S.T., M.Eng)</b></p>	<p><b>Yogyakarta, 22 Januari 2024</b></p> <p><b>(Azmi Aufa Iftikhar)</b></p>
---	--


### Lampiran 9 Batas Plastis Sampel 1

	<b>LABORATORIUM MEKANIKA TANAH</b> <b>JURUSAN TEKNIK SIPIL</b> <b>FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN</b> Jl. Kaliurang KM 14,4 Telp (0274) 8905042, 895707 fax 895330 Yogyakarta		
<b>PENGUJIAN BATAS PLASTIS</b> <b>ASTM D 424-74</b>			
Proyek : Tugas akhir Lokasi : Lereng Cibeureum, Kabupaten Cianjur Dikerjakan : Azmi Afa Iftikhar Tanggal : 8 Mei 2023 Sampel : Tanah Lereng Cibeureum			
<b>No Cawan</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>Satuan</b>
Berat Cawan	9,09	9,05	gram
Berat Cawan+Tanah Basah	15,93	18,59	gram
Berat Cawan+Tanah Kering	13,97	15,84	gram
Berat Air	1,96	2,75	gram
Berat Tanah Kering	4,88	6,79	gram
Kadar Air	40,16	40,50	%
Kadar Air Rata-Rata	40,33		%
<div style="display: flex; justify-content: space-between; margin-top: 20px;"> <div style="width: 45%;"> <p><b>Mengetahui,</b>  <b>Kepala Lab. Mekanika Tanah</b></p> <p style="margin-top: 100px;">(Muhammad Rifqi Abdurrozak, S.T., M.Eng)</p> </div> <div style="width: 45%; text-align: right;"> <p><b>Yogyakarta, 22 Januari 2024</b></p> <p style="margin-top: 100px;">(Azmi Afa Iftikhar)</p> </div> </div>			

### Lampiran 10 Batas Plastis Sampel 2

	<b>LABORATORIUM MEKANIKA TANAH</b> <b>JURUSAN TEKNIK SIPIL</b> <b>FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN</b> Jl. Kaliurang KM 14,4 Telp (0274) 8905042, 895707 fax 895330 Yogyakarta		
<b>PENGUJIAN BATAS PLASTIS</b> <b>ASTM D 424-74</b>			
Proyek : Tugas akhir Lokasi : Lereng Cibeureum, Kabupaten Cianjur Dikerjakan : Azmi Aufa Iftikhar Tanggal : 8 Mei 2023 Sampel : Tanah Lereng Cibeureum			
<b>No Cawan</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>Satuan</b>
Berat Cawan	9,09	9,05	gram
Berat Cawan+Tanah Basah	17,93	18,59	gram
Berat Cawan+Tanah Kering	15,32	15,88	gram
Berat Air	2,61	2,71	gram
Berat Tanah Kering	6,23	6,83	gram
Kadar Air	41,89	39,68	%
Kadar Air Rata-Rata	40,79		%
<div style="display: flex; justify-content: space-between; margin-top: 20px;"> <div style="width: 45%;"> <p><b>Mengetahui,</b>  <b>Kepala Lab. Mekanika Tanah</b></p> <p><b>(Muhammad Rifqi Abdurrozak, S.T., M.Eng)</b></p> </div> <div style="width: 45%; text-align: right;"> <p><b>Yogyakarta, 22 Januari 2024</b></p> <p><b>(Azmi Aufa Iftikhar)</b></p> </div> </div>			

### Lampiran 11 Batas Susut Sampel 1

	<b>LABORATORIUM MEKANIKA TANAH</b> <b>JURUSAN TEKNIK SIPIL</b> <b>FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN</b> Jl. Kaliurang KM 14,4 Telp (0274) 8905042, 895707 fax 895330 Yogyakarta
<b>PENGUJIAN BATAS SUSUT</b> <b>ASTM D 427-74</b>	
Proyek	: Tugas akhir
Lokasi	: Lereng Cibeureum, Kabupaten Cianjur
Dikerjakan	: Azmi Aufa Iftikhar
Tanggal	: 31 Maret 2023
Sampel	: Tanah Lereng Cibeureum


  

Uraian	Simbol	I	II	Satuan
Berat cawan susut	W1	36,66	41,84	gr
Berat cawan susut + tanah basah	W2	59,01	65,98	gr
Berat cawan susut + tanah kering	W3	51,42	57,48	gr
Berat tanah kering	W0	14,76	15,64	gr
Kadar air	w	51,42	54,35	%
Diameter ring	d	4,04	4,12	cm
Tinggi ring	t	1,32	1,33	cm
Volume ring	V	16,91	17,72	cm <sup>3</sup>
Berat air raksa yang terdesak tanah kering + gelas ukur	W4	171,01	174,02	gr
Berat gelas ukur	W5	60,59	60,59	gr
Berat air raksa	W6	110,42	113,43	gr
Berat tanah kering	W <sub>o</sub>	14,76	15,64	gr
Volume tanah kering	V <sub>o</sub>	8,12	8,34	cm <sup>3</sup>
Batas susut tanah	SL	16,25	14,57	%
Batas susut rata-rata	SL	15,41		%


  

<b>Mengetahui,</b> <b>Kepala Lab. Mekanika Tanah</b>	<b>Yogyakarta, 22 Januari 2024</b>
 (Muhammad Rifqi Abdurrozak, S.T., M.Eng)	 (Azmi Aufa Iftikhar)

## Lampiran 12 Batas Susut Sampel 2

 <p style="text-align: center;"><b>LABORATORIUM MEKANIKA TANAH</b>  <b>JURUSAN TEKNIK SIPIL</b>  <b>FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN</b>          Jl. Kaliurang KM 14,4 Telp (0274) 8905042, 895707 fax 895330 Yogyakarta</p>																																																																																
<p><b>PENGUJIAN BATAS SUSUT</b>  <b>ASTM D 427-74</b></p>																																																																																
<p>Proyek : Tugas akhir          Lokasi : Lereng Cibeureum, Kabupaten Cianjur          Dikerjakan : Azmi Afa Iftikhar          Tanggal : 31 Maret 2023          Sampel : Tanah Lereng Cibeureum</p>																																																																																
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">Uraian</th> <th style="text-align: center;">Simbol</th> <th style="text-align: center;">I</th> <th style="text-align: center;">II</th> <th style="text-align: center;">Satuan</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Berat cawan susut</td> <td style="text-align: center;">W1</td> <td style="text-align: center;">34,78</td> <td style="text-align: center;">40,44</td> <td style="text-align: center;">gr</td> </tr> <tr> <td>Berat cawan susut + tanah basah</td> <td style="text-align: center;">W2</td> <td style="text-align: center;">54,01</td> <td style="text-align: center;">63,62</td> <td style="text-align: center;">gr</td> </tr> <tr> <td>Berat cawan susut + tanah kering</td> <td style="text-align: center;">W3</td> <td style="text-align: center;">48,42</td> <td style="text-align: center;">56,24</td> <td style="text-align: center;">gr</td> </tr> <tr> <td>Berat tanah kering</td> <td style="text-align: center;">W0</td> <td style="text-align: center;">13,64</td> <td style="text-align: center;">15,8</td> <td style="text-align: center;">gr</td> </tr> <tr> <td>Kadar air</td> <td style="text-align: center;">w</td> <td style="text-align: center;">40,9824</td> <td style="text-align: center;">46,7089</td> <td style="text-align: center;">%</td> </tr> <tr> <td>Diameter ring</td> <td style="text-align: center;">d</td> <td style="text-align: center;">4,04</td> <td style="text-align: center;">4,12</td> <td style="text-align: center;">cm</td> </tr> <tr> <td>Tinggi ring</td> <td style="text-align: center;">t</td> <td style="text-align: center;">1,34</td> <td style="text-align: center;">1,32</td> <td style="text-align: center;">cm</td> </tr> <tr> <td>Volume ring</td> <td style="text-align: center;">V</td> <td style="text-align: center;">17,1687</td> <td style="text-align: center;">17,5889</td> <td style="text-align: center;">cm<sup>3</sup></td> </tr> <tr> <td>Berat air raksa yang terdesak tanah kering + gelas ukur</td> <td style="text-align: center;">W4</td> <td style="text-align: center;">170,44</td> <td style="text-align: center;">181,21</td> <td style="text-align: center;">gr</td> </tr> <tr> <td>Berat gelas ukur</td> <td style="text-align: center;">W5</td> <td style="text-align: center;">60,59</td> <td style="text-align: center;">60,59</td> <td style="text-align: center;">gr</td> </tr> <tr> <td>Berat air raksa</td> <td style="text-align: center;">W6</td> <td style="text-align: center;">109,85</td> <td style="text-align: center;">120,62</td> <td style="text-align: center;">gr</td> </tr> <tr> <td>Berat tanah kering</td> <td style="text-align: center;">W<sub>o</sub></td> <td style="text-align: center;">13,64</td> <td style="text-align: center;">15,8</td> <td style="text-align: center;">gr</td> </tr> <tr> <td>Volume tanah kering</td> <td style="text-align: center;">V<sub>o</sub></td> <td style="text-align: center;">8,08</td> <td style="text-align: center;">8,87</td> <td style="text-align: center;">cm<sup>3</sup></td> </tr> <tr> <td>Batas susut tanah</td> <td style="text-align: center;">SL</td> <td style="text-align: center;">20,4574</td> <td style="text-align: center;">17,374</td> <td style="text-align: center;">%</td> </tr> <tr> <td>Batas susut rata-rata</td> <td style="text-align: center;">SL</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">18,9157</td> <td style="text-align: center;">%</td> </tr> </tbody> </table>	Uraian	Simbol	I	II	Satuan	Berat cawan susut	W1	34,78	40,44	gr	Berat cawan susut + tanah basah	W2	54,01	63,62	gr	Berat cawan susut + tanah kering	W3	48,42	56,24	gr	Berat tanah kering	W0	13,64	15,8	gr	Kadar air	w	40,9824	46,7089	%	Diameter ring	d	4,04	4,12	cm	Tinggi ring	t	1,34	1,32	cm	Volume ring	V	17,1687	17,5889	cm <sup>3</sup>	Berat air raksa yang terdesak tanah kering + gelas ukur	W4	170,44	181,21	gr	Berat gelas ukur	W5	60,59	60,59	gr	Berat air raksa	W6	109,85	120,62	gr	Berat tanah kering	W <sub>o</sub>	13,64	15,8	gr	Volume tanah kering	V <sub>o</sub>	8,08	8,87	cm <sup>3</sup>	Batas susut tanah	SL	20,4574	17,374	%	Batas susut rata-rata	SL	18,9157		%
Uraian	Simbol	I	II	Satuan																																																																												
Berat cawan susut	W1	34,78	40,44	gr																																																																												
Berat cawan susut + tanah basah	W2	54,01	63,62	gr																																																																												
Berat cawan susut + tanah kering	W3	48,42	56,24	gr																																																																												
Berat tanah kering	W0	13,64	15,8	gr																																																																												
Kadar air	w	40,9824	46,7089	%																																																																												
Diameter ring	d	4,04	4,12	cm																																																																												
Tinggi ring	t	1,34	1,32	cm																																																																												
Volume ring	V	17,1687	17,5889	cm <sup>3</sup>																																																																												
Berat air raksa yang terdesak tanah kering + gelas ukur	W4	170,44	181,21	gr																																																																												
Berat gelas ukur	W5	60,59	60,59	gr																																																																												
Berat air raksa	W6	109,85	120,62	gr																																																																												
Berat tanah kering	W <sub>o</sub>	13,64	15,8	gr																																																																												
Volume tanah kering	V <sub>o</sub>	8,08	8,87	cm <sup>3</sup>																																																																												
Batas susut tanah	SL	20,4574	17,374	%																																																																												
Batas susut rata-rata	SL	18,9157		%																																																																												
<p><b>Mengetahui,</b>  <b>Kepala Lab. Mekanika Tanah</b></p>	<p><b>Yogyakarta, 22 Januari 2024</b></p>																																																																															
<p><b>(Muhammad Rifqi Abdurrozak, S.T., M.Eng)</b></p>	<p><b>(Azmi Afa Iftikhar)</b></p>																																																																															

## Lampiran 12 Uji Geser Langsung Beban 1 kg


 <b>LABORATORIUM MEKANIKA TANAH</b> <b>JURUSAN TEKNIK SIPIL</b> <b>FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN</b> Jl. Kaliurang KM 14,4 Telp (0274) 8905042, 895707 fax 895330 Yogyakarta 55584								
<b>UJI GESER LANGSUNG</b>								
Proyek	: Tugas akhir							
Lokasi	: Lereng Cibeureum, Kabupaten Cianjur							
Dikerjakan	: Azmi Aufo Iftikhar							
Tanggal	: 23 Juni 2023							
Sampel	: Tanah Lereng Cibeureum							
<b>PENGUKURAN AWAL</b>								
Diameter (D)	6,03 cm					Luas (A)	28,56 cm <sup>2</sup>	
Tinggi (H)	1,86 cm					Volume (V)	53,12 cm <sup>3</sup>	
Berat (W)	49,12 gr					Berat Isi Basah	0,925	
Kadar air	58,21					Berat Isi Kering	0,585	
Angka pori	0,582							
<b>PENGGESERAN</b>								
Kalibrasi (k)	: 0,44 kg/div					Proving Ring	0,076	
Kec. Peralihan	: 1,262 mm/mm					Beban Total	1 kg	
						Tegangan Normal	10 kg	

Waktu	Peralihan horizontal, $\delta$ (0.01 mm)	Regangan	Pembacaan dial beban	Beban horizontal	Luas terkoreksi	Tegangan geser	Pembacaan vertikal	
							Pembacaan dial (0.01 mm)	Pergerakan vertikal
menit	div	%	div	kg	cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	div	mm
0	0	0,000	0	0,000	28,558	0,000	0,0	0,000
0,5	30	0,498	0,5	0,220	28,701	0,008	-2,0	0,020
1	60	0,995	1	0,440	28,845	0,015	-3,0	0,030
1,5	90	1,493	1,5	0,660	28,990	0,023	-3,5	0,035
2	120	1,990	1,5	0,660	29,138	0,023	-4,0	0,040
2,5	150	2,488	2	0,880	29,286	0,030	-5,0	0,050
3	180	2,985	2,5	1,100	29,436	0,037	-5,5	0,055
3,5	210	3,483	5	2,200	29,588	0,074	-5,5	0,055
4	240	3,980	6	2,640	29,742	0,089	-6,0	0,060
4,5	270	4,478	9	3,960	29,896	0,132	-7,0	0,070
5	300	4,975	10	4,400	30,053	0,146	-8,0	0,080
5,5	330	5,473	12,0000	5,280	30,211	0,175	-10,0	0,100
6	360	5,970	15,0000	6,600	30,371	0,217	-10,5	0,105
6,5	390	6,468	19,0000	8,360	30,533	0,274	-10,5	0,105
7	420	6,965	21,0000	9,240	30,696	0,301	-11,0	0,110
7,5	450	7,463	22,0000	9,680	30,861	0,314	-12,0	0,120
8	480	7,960	24,0000	10,560	31,028	0,340	-14,0	0,140
8,5	510	8,458	25,5000	11,220	31,196	0,360	-15,0	0,150
9	540	8,955	22,0000	9,680	31,367	0,309	-14,0	0,140
9,5	570	9,453	19,0000	8,360	31,539	0,265	-12,0	0,120



### Lampiran 13 Uji Geser Langsung Beban 2 kg

 <b>LABORATORIUM MEKANIKA TANAH</b> <b>JURUSAN TEKNIK SIPIL</b> <b>FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN</b> Jl. Kaliurang KM 14,4 Telp (0274) 8905042, 895707 fax 895330 Yogyakarta 55584								
<b>UJI GESER LANGSUNG</b>								
Proyek	: Tugas akhir							
Lokasi	: Lereng Cibeureum, Kabupaten Cianjur							
Dikerjakan	: Azmi Aufa Iftikhar							
Tanggal	: 23 Juni 2023							
Sampel	: Tanah Lereng Cibeureum							
<b>PENGUKURAN AWAL</b>								
Diameter (D)	6,03 cm					Luas (A)	28,56 cm <sup>2</sup>	
Tinggi (H)	1,86 cm					Volume (V)	53,12 cm <sup>3</sup>	
Berat (W)	49,12 gr					Berat Isi Basah	0,925	
Kadar air	59,606					Berat Isi Kering	0,579	
Angka pori	0,596							
<b>PENGGESERAN</b>								
Kalibrasi (k)	: 0,44 kg/div					Proving Ring	0,076	
Kec. Peralihan	: 1,262 mm/mm					Beban Total	2 kg	
						Tegangan Normal	20 kg	

Waktu	Peralihan horizontal, $\delta$ (0.01 mm)	Regangan	Pembacaan dial beban	Beban horizontal	Luas terkoreksi	Tegangan geser	Pembacaan vertikal	
							Pembacaan dial (0.01 mm)	Pergerakan vertikal
menit	div	%	div	kg	cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	div	mm
0	0	0,000	0	0,000	28,558	0,000	0,0	0,000
0,5	30	0,498	2	0,880	28,701	0,031	-3,0	0,030
1	60	0,995	5	2,200	28,845	0,077	-4,0	0,040
1,5	90	1,493	6	2,640	28,990	0,092	-5,0	0,050
2	120	1,990	8	3,520	29,138	0,123	-7,0	0,070
2,5	150	2,488	9	3,960	29,286	0,139	-7,5	0,075
3	180	2,985	9,5	4,180	29,436	0,146	-7,5	0,075
3,5	210	3,483	10	4,400	29,588	0,154	-8,0	0,080
4	240	3,980	11	4,840	29,742	0,169	-9,0	0,090
4,5	270	4,478	12	5,280	29,896	0,185	-11,0	0,110
5	300	4,975	14	6,160	30,053	0,216	-14,0	0,140
5,5	330	5,473	15,0000	6,600	30,211	0,231	-14,5	0,145
6	360	5,970	15,5000	6,820	30,371	0,239	-14,5	0,145
6,5	390	6,468	18,0000	7,920	30,533	0,277	-15,0	0,150
7	420	6,965	20,0000	8,800	30,696	0,308	-16,0	0,160
7,5	450	7,463	22,0000	9,680	30,861	0,339	-16,0	0,160
8	480	7,960	22,5000	9,900	31,028	0,347	-16,5	0,165
8,5	510	8,458	24,0000	10,560	31,196	0,370	-16,5	0,165
9	540	8,955	27,0000	11,880	31,367	0,416	-17,0	0,170



9,5	570	9,453	28,0000	12,320	31,539	0,431	-18,0	0,180
10	600	9,950	30,0000	13,200	31,713	0,462	-18,0	0,180
10,5	630	10,448	31,0000	13,640	31,890	0,478	-19,0	0,190
11	660	10,945	32,5000	14,300	32,068	0,501	-19,5000	0,195
11,5	690	11,443	32,5000	14,300	32,248	0,501	-19,5000	0,195
12	720	11,940	35,5000	15,620	32,430	0,547	-19,0000	0,190
12,5	750	12,438	27,0000	11,880	32,614	0,416	-15,0000	0,150
13	780	12,935	21,0000	9,240	32,801	0,324	-12,0000	0,120


**Mengetahui,  
Kepala Lab. Mekanika Tanah**

**Yogyakarta, 22 Januari 2024**

**(Muhammad Rifqi Abdurrozak, S.T., M.Eng)**

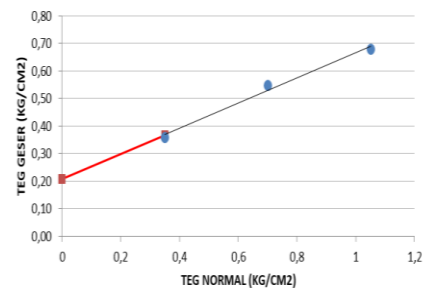
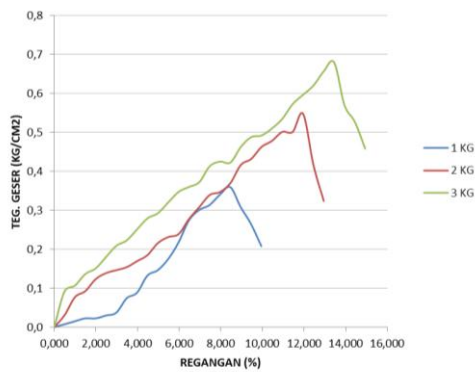
**(Azmi Aufa Iftikhar)**

### Lampiran Lampiran 14 Uji Geser Langsung Beban 3 kg

		<b>LABORATORIUM MEKANIKA TANAH</b> <b>JURUSAN TEKNIK SIPIL</b> <b>FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN</b> Jl. Kaliurang KM 14,4 Telp (0274) 8905042, 895707 fax 895330 Yogyakarta 55584	
<b>UJI GESER LANGSUNG</b>			
Proyek	: Tugas akhir		
Lokasi	: Lereng Cibeureum, Kabupaten Cianjur		
Dikerjakan	: Azmi Aufa Iftikhar		
Tanggal	: 23 Juni 2023		
Sampel	: Tanah Lereng Cibeureum		
<b>PENGUKURAN AWAL</b>			
Diameter (D)	6,03 cm	Luas (A)	28,56 cm <sup>2</sup>
Tinggi (H)	1,86 cm	Volume (V)	53,12 cm <sup>3</sup>
Berat (W)	49,12 gr	Berat Isi Basah	0,925
Kadar air	59,907	Berat Isi Kering	0,582
Angka pori	0,589		
<b>PENGGESERAN</b>			
Kalibrasi (k)	: 0,44 kg/div	Proving Ring	0,076
Kec. Peralihan	: 1,262 mm/mm	Beban Total	3 kg
		Tegangan Normal	30 kg

Waktu	Peralihan horizontal, $\delta$ (0.01 mm)	Regangan	Pembacaan dial beban	Beban horizontal	Luas terkoreksi	Tegangan geser	Pembacaan vertikal	
							Pembacaan dial (0.01 mm)	Pergerakan vertikal
menit	div	%	div	kg	cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	div	mm
0	0	0,000	0,0	0,000	28,558	0,000	0,0	0,000
0,5	30	0,498	6,0	2,640	28,701	0,092	-7,0	0,070
1	60	0,995	7,0	3,080	28,845	0,107	-11,0	0,110
1,5	90	1,493	9,0	3,960	28,990	0,137	-15,0	0,150
2	120	1,990	10,0	4,400	29,138	0,151	-17,0	0,170
2,5	150	2,488	12,0	5,280	29,286	0,180	-19,0	0,190
3	180	2,985	14,0	6,160	29,436	0,209	-21,0	0,210
3,5	210	3,483	15,0	6,600	29,588	0,223	-21,5	0,215
4	240	3,980	17,0	7,480	29,742	0,252	-22,0	0,220
4,5	270	4,478	19,0	8,360	29,896	0,280	-22,5	0,225
5	300	4,975	20,0	8,800	30,053	0,293	-25,0	0,250
5,5	330	5,473	22,0	9,680	30,211	0,320	-28,0	0,280
6	360	5,970	24,0	10,560	30,371	0,348	-28,5	0,285
6,5	390	6,468	25,0	11,000	30,533	0,360	-29,0	0,290
7	420	6,965	26,0	11,440	30,696	0,373	-29,5	0,295
7,5	450	7,463	29,0	12,760	30,861	0,413	-29,5	0,295
8	480	7,960	30,0	13,200	31,028	0,425	-31,0	0,310
8,5	510	8,458	30,0	13,200	31,196	0,423	-31,5	0,315
9	540	8,955	33,0	14,520	31,367	0,463	-33,0	0,330

9,5	570	9,453	35,0	15,400	31,539	0,488	-33,0	0,330
10	600	9,950	35,5	15,620	31,713	0,493	-34,0	0,340
10,5	630	10,448	37,0	16,280	31,890	0,511	-35,0	0,350
11	660	10,945	39,0	17,160	32,068	0,535	-35,5000	0,355
11,5	690	11,443	42,0	18,480	32,248	0,573	-35,5000	0,355
12	720	11,940	44,0	19,360	32,430	0,597	-36,0000	0,360
12,5	750	12,438	46,0	20,240	32,614	0,621	-36,5000	0,365
13	780	12,935	49,0	21,560	32,801	0,657	-38,0000	0,380
13,5	810	13,433	51,0	22,440	32,989	0,680	-39,0	0,390
14	840	13,930	43,0	18,920	33,180	0,570	-37,0	0,370
14,5	870	14,428	40,0	17,600	33,373	0,527	-35,0	0,350
15	900	14,925	35,0	15,400	33,568	0,459	-28,0	0,280



Sudut geser dalam,  $\varphi = 24,543^\circ$   
 Kohesi,  $c = 0,2076 \text{ kg/cm}^2$

**Mengetahui,**  
**Kepala Lab. Mekanika Tanah**

**Yogyakarta, 22 Januari 2024**

**(Muhammad Rifqi Abdurrozak, S.T., M.Eng)**

**(Azmi Aufa Iftikhar)**