

TUGAS AKHIR

**ANALISIS STABILITAS LERENG DENGAN
PENGATURAN KEMIRINGAN DAN DINDING
KANTILEVER DI DESA WARGASARI KABUPATEN
CIANJUR**

***(ANALYSIS OF SLOPE STABILITY WITH SLOPE
GEOMETRY MODIFICATION AND CANTILEVER
RETAINING WALL IN WARGASARI VILLAGE,
CIANJUR REGENCY)***

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



**Rahesa Ariano Putra
21511073**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
2025**

TUGAS AKHIR

ANALISIS STABILITAS LERENG DENGAN PENGATURAN KEMIRINGAN DAN DINDING KANTILEVER DI DESA WARGASARI KABUPATEN CIANJUR (ANALYSIS OF SLOPE STABILITY WITH SLOPE GEOMETRY MODIFICATION AND CANTILEVER RETAINING WALL IN WARGASARI VILLAGE, CIANJUR REGENCY)

Disusun oleh



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

Diuji pada tanggal 22 Desember 2025

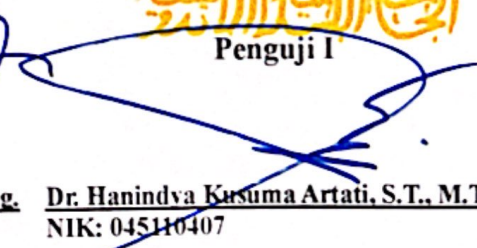
Oleh Dewan Penguji

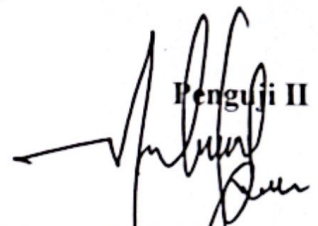
Pembimbing

Penguji I

Penguji II

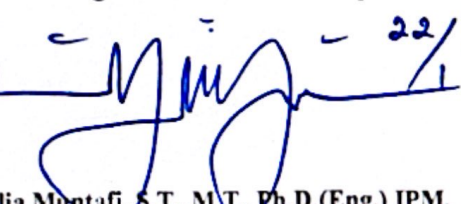

Anisa Nur Amalina, S.T., M.Eng.
NIK: 215111305


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


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



Mengesahkan,
Ketua Program Studi Teknik Sipil


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

PERTANYAAN BEBAS PLAGIASI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa laporan Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan Sarjana pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, dan sepenuhnya merupakan hasil karya saya sendiri. Setiap bagian dalam laporan Tugas Akhir ini yang mengacu atau mengutip karya pihak lain telah dicantumkan sumbernya secara jelas dan benar sesuai dengan norma, kaidah, serta etika penulisan ilmiah. Apabila di kemudian hari terbukti bahwa sebagian atau seluruh isi laporan Tugas Akhir ini bukan merupakan hasil karya saya sendiri atau mengandung unsur plagiarisme, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan peraturan perundang-undangan yang berlaku, termasuk pencabutan gelar akademik yang telah diperoleh.

Yogyakarta, 22 Desember 2025

Yang membuat pernyataan,



Rahesa Ariano Putra

(21511073)

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan judul Analisis Stabilitas Lereng Dengan Pengaturan Kemiringan Dan Dinding Kantilever di Desa Wargasari, Kabupaten Cianjur sebagai salah satu syarat akademik untuk menyelesaikan studi tingkat strata satu pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta. Dalam penyusunan Tugas Akhir ini, penulis mengalami berbagai hambatan dan keterbatasan, mulai dari segi teknis maupun *non*-teknis. Namun, berkat bimbingan, arahan, serta dukungan semangat dari berbagai pihak, Tugas Akhir ini dapat diselesaikan. Oleh karena itu, penulis menyampaikan penghormatan dan ucapan terima kasih yang sedalam-dalamnya kepada:

1. Anisa Nur Amalina, S. T., M. Eng., selaku dosen pembimbing,
2. Dr. Hanindya Kusuma Artati, S.T., M.T., selaku dosen penguji 1
3. Muhammad Rifqi Abdurrozak, S.T., M.Eng., selaku dosen penguji 2
4. Ir. Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D.(Eng.) IPM. selaku ketua program studi teknik sipil.
5. Ibu dan Bapak Penulis, Ibu Retno Dinari dan Bapak Ari Sutarman yang telah memberikan dukungan, mulai dari doa, materi, serta motivasi.
6. Tim Besar UII-Cianjur, yang telah memberi kesempatan penulis untuk melakukan penelitian.
7. Seluruh teman-teman penulis seperjuangan, terkhususnya “Jamet Sipil”, “Keluarga PIKSI” dan teman-teman penulis lainnya yang tidak bisa ditulis satu persatu.

Yogyakarta, 22 Desember 2025

Penulis,



Rahesa Ariano Putra
(21511073)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
PERTANYAAN BEBAS PLAGIASI	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	v
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR LAMPIRAN	xii
DAFTAR NOTASI	xiii
ABSTRAK	xv
<i>ABSTRACT</i>	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	3
1.4 Batasan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Perkuatan Lereng dengan DPT Kantilever dan Pengaturan Kemiringan	5
2.2 Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Sekarang	8
BAB III LANDASAN TEORI	15
3.1 Tanah	15
3.1.1 Klasifikasi Tanah	15
3.1.2 Parameter Sifat Fisik Tanah	19
3.2 Stabilitas Lereng	29
3.2.1 Faktor penyebab longsor	30
3.2.2 Metode penanggulangan longsor	30
3.3 Analisis Dengan Metode Elemen Hingga	31
3.4 Analisis Dengan Metode <i>Fellenius</i>	31

3.5 Metode Rankine	33
3.6 Kriteria Nilai <i>Safety factor</i>	35
3.7 Parameter pembebanan	36
3.8 Dinding Penahan Tanah	36
3.9 Dinding Tipe Kantilever	37
3.10 Stabilitas Dinding Penahan Tanah	38
3.10.1 Stabilitas Terhadap Geser	39
3.10.2 Stabilitas Terhadap Guling	40
3.10.3 Stabilitas Terhadap Daya Dukung Tanah	40
BAB IV METODE PENELITIAN	43
4.1 Pendahuluan	43
4.2 Lokasi Penelitian	43
4.3 Alur Penelitian	44
4.4 Alur Pengoperasian PLAXIS 2D V21	47
4.4.1 PLAXIS 2D V21 <i>input</i>	47
4.4.2 PLAXIS <i>calculation</i>	56
4.4.3 PLAXIS <i>Output</i>	58
4.5 Pengolahan Data	60
BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN	61
5.1 Hasil Penelitian	61
5.1.1 Data Hasil Pengujian Laboratorium	61
5.1.2 Data Beban Gempa	65
5.1.3 Data Curah Hujan	65
5.1.4 Data Topografi	67
5.2 Analisis Lereng Eksisting	69
5.2.1 Analisis Stabilitas Global Lereng Eksisting	69
5.2.2 Analisis Lereng Asli Perhitungan Manual Metode <i>Fellenius</i>	73
5.3 Analisis Lereng dengan Pengaturan Kemiringan	80
5.3.1 Analisis Lereng dengan Pengaturan Kemiringan 1V:1,5 H	80
5.3.2 Analisis Lereng dengan Pengaturan Kemiringan 1V:2H	84
5.4 Analisis Perkuatan Dinding Penahan Tanah Tipe Kantilever	87

5.4.1 Dimensi Dinding Penahan Tanah Tipe Kantilever	87
5.4.2 Gambar Kerja Perkuatan Dinding Penahan Tanah Kantilever	89
5.4.3 Analisis Stabilitas Eksternal	91
5.4.4 Analisis Stabilitas Internal	99
5.4.5 Analisis Stabilitas Global	109
5.5 Pembahasan Hasil Analisis	113
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	116
6.1 Kesimpulan	117
6.2 Saran	119
DAFTAR PUSTAKA	120
LAMPIRAN 1	122

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Lokasi Longsor Desa Wargasari	2
Gambar 3.1 Sistem Klasifikasi Tanah USCS	16
Gambar 3.2 Komponen Penyusun Tanah	19
Gambar 3.3 Batas-batas <i>Atterberg</i>	24
Gambar 3.4 Grafik Hasil Pengujian Batas Cair	24
Gambar 3.5 Gaya Yang Bekerja Pada Irisan	32
Gambar 3.6 Tipikal Dimensi Dinding Kantilever	37
Gambar 4.1 Lokasi Penelitian Desa Wargasari	44
Gambar 4.2 Bagan Alir Penelitian	45
Gambar 4.3 Lanjutan Bagan Alir Penelitian	46
Gambar 4.5 Kotak dialog <i>Quick Start</i>	47
Gambar 4.6 <i>Project Properties Tab Project</i>	48
Gambar 4.7 <i>Project Properties Tab Model</i>	48
Gambar 4.8 <i>Project Properties Tab Constants</i>	49
Gambar 4.9 Tab <i>Soil</i>	49
Gambar 4.10 <i>Material Sets</i>	50
Gambar 4.11 Tab <i>General</i>	51
Gambar 4.12 Tab <i>Parameters</i>	52
Gambar 4.13 Tab <i>Groundwater</i>	52
Gambar 4.14 Tab <i>Structure</i>	53
Gambar 4.15 Fitur <i>Create Soil Polygon</i>	53
Gambar 4.16 Fitur <i>Create Line Load</i>	54
Gambar 4.17 Hasil Pemodelan <i>Structures</i>	54
Gambar 4.18 Hasil <i>Mesh Generate</i>	55
Gambar 4.19 Tab <i>Flow Condition</i>	55
Gambar 4.20 <i>Create Water Level</i>	56
Gambar 4.21 Hasil Modelling Fitur <i>Flow Condition</i>	56
Gambar 4.22 Menu <i>Phases</i> Pada <i>Staged Construction</i>	57
Gambar 4.23 Menu <i>Select Point for Curve</i> Pada <i>Staged Construction</i>	58

Gambar 4.24 Hasil <i>Calculation Result</i>	58
Gambar 4.25 Bagan Alir Penelitian	59
Gambar 5.1 Hasil Klasifikasi Tanah USCS	63
Gambar 5.2 Peta Zonasi Gempa Indonesia PGA	65
Gambar 5.3 Data Curah Hujan 1 Tahun (2023-2024)	66
Gambar 5.4 Curah Hujan Bulan November 2024	67
Gambar 5.5 Peta Kontur Titik Longsor Desa Wargasari	68
Gambar 5.6 <i>Cross Section</i> Potongan A	69
Gambar 5.7 Stabilitas Global Eksisting Kondisi Kering	70
Gambar 5.8 <i>Safety factor</i> Eksisting Kondisi Kering	70
Gambar 5.9 Stabilitas Global Eksisting Kondisi Basah	71
Gambar 5.10 <i>Safety factor</i> Eksisting Kondisi Basah	72
Gambar 5.11 <i>Total Displacemet</i> Dengan Beban Gempa	72
Gambar 5.12 Permodelan Lereng Eksisting Metode <i>Fellenius</i>	73
Gambar 5.13 Detail Sudut Irisan Metode <i>Fellenius</i>	74
Gambar 5.14 Desain Pengaturan Kemiringan 1V:1,5 H	81
Gambar 5.15 Stabilitas Global Kemiringan 1V: 1,5H Kondisi Kering	81
Gambar 5.16 <i>Safety factor</i> Kemiringan 1V: 1,5H Kondisi Kering	82
Gambar 5.17 Stabilitas Global Kemiringan 1V:1,5 H Kondisi Basah	82
Gambar 5.18 <i>Safety factor</i> Kemiringan 1V:1,5H Kondisi Basah	83
Gambar 5.19 <i>Total Displacemet</i> Kemiringan 1V:1,5H Dengan Beban Gempa	83
Gambar 5.20 Desain Pengaturan Kemiringan 1V:2H	84
Gambar 5. 21 Stabilitas Global Kemiringan 1V: 2H Kondisi Kering	85
Gambar 5. 22 <i>Safety factor</i> Kemiringan 1V:2 H Kondisi Kering	85
Gambar 5.23 Stabilitas Global Kemiringan 1V:2 H Kondisi Basah	86
Gambar 5.24 Nilai <i>Safety factor</i> Kemiringan 1V: 2H	86
Gambar 5.25 <i>Total Displacemet</i> Kemiringan 1V:1,2H Dengan Beban Gempa	87
Gambar 5.26 Dimensi Rencana DPT Kantilever	89
Gambar 5.27 Gambar Kerja Dinding Penahan Tanah Kantilever	90
Gambar 5.28 Pembagian Pias Gaya Vertikal Pada Dinding Penahan Tanah	93
Gambar 5.29 Diagram Tekanan Pasif Dan Aktif	94

Gambar 5.30 Dimensi Rencana Penulangan	100
Gambar 5. 31 Sketsa Penulangan DPT Kantilever	109
Gambar 5.32 Permodelan DPT Kantilever Pada Program PLAXIS 2D V21	110
Gambar 5.33 Stabilitas Global DPT Kantilever Kondisi Kering	110
Gambar 5.34 <i>Safety factor</i> DPT Kantilever Kondisi Kering	111
Gambar 5.35 Stabilitas Global DPT Kantilever Kondisi Basah	111
Gambar 5.36 <i>Safety factor</i> DPT Kantilever Kondisi Basah	112
Gambar 5.37 <i>Safety factor</i> DPT Kantilever Dengan Beban Gempa	112
Gambar 5.38 Perbandingan SF Lereng Eksisting	113
Gambar 5.39 Perbandingan SF Pengaturan Kemiringan	114
Gambar 5.40 Perbandingan SF Perkuatan DPT	114
Gambar 5.41 Perbandingan SF Lereng Antara Kondisi Kering dan Basah	115

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Sekarang	8
Tabel 3.1 Sistem Klasifikasi AASHTO	18
Tabel 3.2 Berat Jenis Tanah Berbagai Tanah	22
Tabel 3.3 Susunan Saringan Menurut ASTM D 421-72	23
Tabel 3.4 Nilai Indeks Plastisitas Dan Ragam Tanah	26
Tabel 3.5 Nilai Modulus Elastisitas	27
Tabel 3.6 Nilai Poisson's Ratio	27
Tabel 3.7 Nilai <i>Safety factor</i> Untuk Lereng Tanah	36
Tabel 5.1 Hasil Pengujian Laboratorium <i>Disturbed Sample</i>	61
Tabel 5.2 Hasil Pengujian Laboratorium <i>Undisturbed Sample</i>	62
Tabel 5.3 Sistem Klasifikasi AASHTO	64
Tabel 5.4 Perhitungan Metode <i>Fellenius</i>	76
Tabel 5.5 Data Parameter Tanah Dinding Penahan Tanah	91
Tabel 5.6 Rekapitulasi Perhitungan Gaya dan Momen Vertikal	94
Tabel 5.7 Hasil Rekapitulasi Perhitungan Tekanan Tanah Aktif	96
Tabel 5.8 Hasil Rekapitulasi Perhitungan Tekanan Tanah Pasif	97
Tabel 5.9 Tabel Rekapitulasi Kebutuhan Tulangan	108
Tabel 5.10 Rekapitulasi <i>Safety Factor</i> Eksisting dan Alternatif Perkuatan	116

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Data Laboratorium Tanah

106

DAFTAR NOTASI

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
PI	= Indeks plastisitas
PL	= Batas plastis
w	= Kadar air (%)
W ₁	= Berat cawan kosong (gr)
W ₂	= Berat cawan + tanah basah (gr)
W ₃	= Berat cawan + tanah kering (gr)
γ_b	= Berat volume basah
W	= Berat total tanah
V	= Volume total tanah
G _s	= Berat jenis (kN/m ³)
γ_s	= Berat volume air
e	= Angka pori
γ_d	= Berat volume kering
W _s	= Berat tanah kering
V _s	= Volume total tanah kering
SL	= Batas susut tanah
V	= Volume tanah basah (cm ³)
V _o	= Volume tanah kering oven (cm ³)
W _o	= Berat tanah kering (gr)
E	= Modulus elastisitas (Mpa)
μ	= Poisson's Ratio
τ	= Kuat geser dalam (kN/m ²)
c	= Kohesi (kN/m ²)

σ	= Tegangan normal pada bidang runtuh (kN/m^2)
φ	= Sudut geser dalam ($^\circ$)
P_p	= Tekanan tanah pasif total (kN/m^2)
B	= Lebar pondasi dinding penahan (m)
P_a	= Tekanan tanah aktif total (kN/m^2)
$\sum M_r$	= Momen yang melawan pergulingan (kNm)
$\sum M_o$	= Momen yang mengakibatkan pergulingan (kNm)
q_{ult}	= Daya dukung tanah (kN/m^2)
q_{max}	= Gaya yang menekan pada dasar perkuatan (kN/m^2)
d_c, d_q, d_γ	= Faktor kedalaman
i_c, i_q, i_γ	= Faktor kemiringan
N_c, N_q, N_γ	= Faktor kapasitas dukung

ABSTRAK

Desa Warga Sari, Kabupaten Cianjur, merupakan wilayah yang rawan terhadap kejadian longsor akibat kondisi lereng yang curam, karakteristik tanah yang kurang stabil, serta tingginya intensitas curah hujan. Curah hujan yang tinggi menyebabkan kenaikan muka air tanah yang berakibat pada penurunan kuat geser tanah dan menurunnya nilai faktor keamanan (*safety factor*) lereng. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kondisi tanah dan stabilitas lereng eksisting, meninjau pengaruh curah hujan terhadap kestabilan lereng, serta membandingkan efektivitas metode penahanan berupa pengaturan kemiringan lereng dan perkuatan menggunakan dinding penahan tanah tipe kantilever.

Metode penelitian yang digunakan meliputi analisis numerik menggunakan program PLAXIS 2D V21 berbasis metode elemen hingga dan perhitungan manual menggunakan metode *Fellenius* dan *Rankine*. Analisis dilakukan pada kondisi kering, basah yaitu muka air tanah hingga - 1 m di bawah permukaan tanah sebagai kondisi terburuk akibat curah hujan, dan mempertimbangkan beban gempa. Parameter tanah diperoleh dari hasil pengujian laboratorium dan data lapangan.

Hasil analisis menunjukkan bahwa lereng eksisting memiliki nilai *safety factor* sebesar $SF < 1,5$, sehingga belum memenuhi persyaratan stabilitas lereng menurut SNI 8460:2017. Pengaturan kemiringan lereng menjadi 1V:1,5H dan 1V:2H mampu meningkatkan nilai *safety factor*, namun masih berada di bawah kriteria aman. Perkuatan menggunakan dinding penahan tanah tipe kantilever memberikan hasil paling efektif dengan nilai *safety factor* sebesar 1,633 pada kondisi basah dan 1,11 pada kondisi gempa, serta memenuhi seluruh persyaratan stabilitas eksternal terhadap geser, guling, dan daya dukung tanah. Berdasarkan hasil tersebut, perkuatan menggunakan dinding penahan tanah tipe kantilever direkomendasikan sebagai solusi paling optimal untuk meningkatkan stabilitas lereng di Desa Warga Sari.

Kata kunci: Curah Hujan, Dinding Penahan Tanah Kantilever, PLAXIS 2D, Pengaturan Kemiringan, Stabilitas lereng, *Safety Factor*.

ABSTRACT

Wargasari Village, Cianjur Regency, is an area prone to landslides due to steep slope conditions, unfavorable soil characteristics, and high rainfall intensity. High rainfall causes an increase in groundwater level, which leads to a reduction in soil shear strength and a decrease in the slope safety factor. This study aims to analyze soil conditions and the stability of the existing slope, evaluate the effect of rainfall on slope stability, and compare the effectiveness of mitigation methods in the form of slope geometry modification and reinforcement using a cantilever retaining wall.

The research methods include numerical analysis using PLAXIS 2D V21 based on the finite element method, as well as manual calculations using the Fellenius and Rankine methods. Analyses were carried out under dry conditions, wet conditions with the groundwater level at 1 m below the ground surface as the worst-case scenario due to rainfall, and by considering seismic loading. Soil parameters were obtained from laboratory test results and field data.

The results indicate that the existing slope has a safety factor of $SF < 1.5$, which does not meet the minimum slope stability requirements according to SNI 8460:2017. Modifying the slope geometry to 1V:1.5H and 1V:2H increases the safety factor; however, the values remain below the acceptable criteria. Reinforcement using a cantilever retaining wall provides the most effective results, with safety factor values of 1.633 under wet conditions and 1.11 under seismic loading, while also satisfying all external stability requirements against sliding, overturning, and bearing capacity failure. Based on these findings, reinforcement using a cantilever retaining wall is recommended as the most optimal solution to improve slope stability in Wargasari Village.

Keywords: *Cantilever Retaining Wall, PLAXIS 2D, Rainfall, Safety Factor, Slope Adjustment, Slope Stability.*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Lereng adalah bagian dari permukaan bumi yang memiliki sudut kemiringan tertentu dengan bidang datar. Kemiringan ini menyebabkan lereng memiliki potensi longsor, terutama saat dipengaruhi faktor eksternal seperti curah hujan. Durasi hujan yang lama dan intensitas tinggi menyebabkan tanah menjadi jenuh air, menambah beban lereng dan memicu pergerakan massa tanah ke bawah lereng. Kondisi ini diperparah apabila lereng memiliki retakan yang memudahkan *infiltrasi* air hujan ke dalam tanah (Martini, 2005). Oleh karena itu, untuk mencegah kelongsoran pada lereng, diperlukan suatu konstruksi untuk meningkatkan stabilitas lereng yaitu dinding penahan tanah.

Dinding penahan tanah adalah suatu konstruksi yang menahan tanah miring atau lereng agar tetap stabil, terutama ketika kemampuan tanah tidak cukup untuk menjaga kestabilan lereng secara alami (Sudarmanto, 1996). Struktur dinding penahan tanah ini didesain untuk menahan gaya lateral sehingga efektif untuk mencegah terjadinya longsor.

Desa Warga Sari di Kabupaten Cianjur dilanda bencana longsor pada Jumat, 23 November 2024, yang dipicu oleh intensitas curah hujan yang tinggi. Gerakan tanah yang terjadi pada waktu dini hari mengakibatkan kerusakan pada 35 rumah warga sehingga 90 orang mengungsi (CNN Indonesia, 2024). Curah hujan yang terus berlangsung menyebabkan peningkatan kadar air di dalam tanah, sehingga memicu penurunan stabilitas lereng. Penelitian menunjukkan bahwa dengan bertambahnya intensitas dan durasi curah hujan, muka air tanah naik dan nilai *safety factor* lereng menurun secara signifikan (Muchtaranda dkk. 2023). Salah satu langkah mitigasi yang dapat diterapkan untuk mengurangi risiko ini adalah pemasangan dinding penahan tanah sebagai metode perkuatan lereng. Lokasi longsor di desa Warga Sari dapat dilihat pada Gambar 1.1.



Gambar 1.1 Lokasi Longsor Desa Wargasari

Dalam penelitian ini, akan dilakukan analisis stabilitas lereng untuk mengukur nilai *safety factor* setelah dan sebelum dilakukan perkuatan tanah. Penelitian ini juga mengulas pengaruh curah hujan terhadap kestabilan lereng. Hasil dari studi ini diharapkan mampu memberikan rekomendasi desain dinding penahan tanah yang paling efektif dalam menurunkan risiko longsor di area penelitian.

1.2 Rumusan Masalah

Penelitian ini memiliki rumusan masalah sebagai berikut.

1. Bagaimana klasifikasi tanah pada area penelitian di Desa Wargasari, Kabupaten Cianjur, Jawa Barat?
2. Berapa nilai *Safety Factor* lereng eksisting di Desa Wargasari, Kabupaten Cianjur, Jawa Barat?
3. Berapa nilai *Safety Factor* lereng akibat kenaikan muka air tanah?
4. Bagaimana perbandingan nilai *Safety Factor* antara pengaturan kemiringan lereng dan DPT kantilever?

1.3 Tujuan

Penelitian ini memiliki tujuan sebagai berikut.

1. Mengetahui klasifikasi tanah pada area penelitian di Desa Wargasari, Kabupaten Cianjur, Jawa Barat.
2. Mengetahui nilai *Safety Factor* pada lereng eksisting di Desa Wargasari, Kabupaten Cianjur, Jawa Barat.
3. Mengetahui nilai *Safety Factor* lereng akibat kenaikan muka air tanah.
4. Mengetahui perbandingan nilai *Safety Factor* antara pengaturan kemiringan lereng dan DPT kantilever.

1.4 Batasan Penelitian

Adapun Batasan dalam penelitian ini adalah:

1. Data tanah merupakan data primer dari Desa Wargasari, Kabupaten Cianjur, Jawa Barat.
2. Program yang dipakai untuk menganalisis adalah Program PLAXIS 2D V21.
3. Data topografi didapatkan dari DEMNAS dan disesuaikan dengan pengamatan lapangan
4. Pada pemodelan lereng menggunakan program PLAXIS 2D V21, ditambahkan bidang datar sepanjang 20 meter ke arah kiri dari titik 0. Penambahan ini bertujuan untuk memperluas analisis sehingga bidang gelincir dapat terbentuk dan terlihat secara menyeluruh tanpa terpengaruh batas model.
5. Koefisien gempa horizontal (k_h) pada *input* PLAXIS 2D V21 adalah 0,14
6. Kenaikan muka air tanah diasumsikan berada pada elevasi -1 m dibawah permukaan akibat curah hujan yang tinggi. Asumsi ini digunakan untuk mewakili kondisi terburuk (*worst-case*) yang berpotensi menurunkan kekuatan geser tanah.
7. Data klasifikasi tanah untuk UDS 2 diasumsikan sama dengan UDS 1
8. Tanah timbunan diasumsikan sebagai tanah berpasir.
9. Berat jenis beton yang digunakan dalam perhitungan struktur dinding penahan tanah diasumsikan sebesar 24 kN/m³

10. Penelitian ini tidak mencakup prosedur dan anggaran biaya dalam perencanaan dinding penahan tanah kantilever.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Bagi Penulis

Penelitian ini dapat menambah wawasan dan pengalaman bagi penulis dalam analisis studi kasus permasalahan Geoteknik.

2. Bagi Desa Wargasari

Masyarakat di kawasan yang di sekitarnya merasa aman dari longsoran lereng dengan adanya perbaikan Dinding Penahan Tanah.

3. Bagi Pemerintah Daerah

Hasil penelitian dapat digunakan oleh pemerintah daerah sebagai acuan teknis dalam menentukan metode penanganan lereng yang paling efektif dan aman.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Perkuatan Lereng dengan DPT Kantilever dan Pengaturan Kemiringan

Effendi (2022) menganalisis stabilitas lereng dengan perkuatan dinding penahan tanah beton bertulang kantilever pada proyek jembatan Kenet, Bantul, Yogyakarta. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengevaluasi *safety factor* pada lereng asli Jembatan Kenet, menganalisis stabilitas lereng setelah diperkuat dengan dinding penahan tanah beton bertulang tipe kantilever, serta menilai perilaku deformasi massa tanah yang terjadi pada struktur dinding penahan tanah tersebut. Metode yang diterapkan dalam penelitian ini meliputi analisis menggunakan program PLAXIS 2D 8.6 dan perhitungan manual dengan metode *Fellenius*. Penelitian ini memfokuskan pada analisis stabilitas lereng asli dan yang telah diperkuat, termasuk pengaruh beban gempa, serta mengukur deformasi tanah pada kondisi statis maupun dinamis. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa pada lereng asli, *safety factor* (SF) tanpa beban gempa tercatat 1,1749, dan dengan beban gempa sebesar 1,1666. Sementara itu, pada lereng yang diperkuat dengan dinding penahan tanah beton bertulang tipe kantilever, *safety factor* (SF) tanpa beban gempa adalah 1,3241, dan dengan beban gempa 1,3239. Deformasi yang terjadi pada lereng asli adalah 0,11011 m dengan beban gempa, sedangkan pada lereng yang telah diperkuat, deformasi yang tercatat hanya sebesar 0,03525 m. Penelitian ini menunjukkan bahwa perkuatan dengan dinding penahan tanah berhasil meningkatkan stabilitas lereng dan mengurangi deformasi yang terjadi pada tanah.

Pratama (2021) meneliti mengenai stabilitas lereng pada proyek saluran irigasi Panti Rao di Pasaman, Sumatera Barat, hasil analisis menggunakan program PLAXIS 8.6 menunjukkan bahwa lereng dalam kondisi eksisting memiliki *safety factor* sebesar 1,2282 tanpa perkuatan dan 1,1434 saat diberi beban perkerasan, yang menunjukkan kondisi lereng yang kritis. Pada kondisi ini, potensi keruntuhan

cukup tinggi, mengingat nilai SF yang lebih rendah dari standar keamanan 1,5. Penyebab ketidakstabilan lereng ini terutama dipengaruhi oleh faktor curah hujan tinggi yang meningkatkan kadar air tanah, menyebabkan penurunan kekuatan geser dan membuat tanah lebih labil. Berdasarkan data curah hujan di daerah tersebut, curah hujan yang tercatat mencapai 200 mm/hari selama periode kritis, yang memperburuk kondisi lereng yang sudah rapuh. Hujan tersebut memicu penurunan *safety factor* dan meningkatkan risiko longsor, terutama di area yang tidak memiliki vegetasi yang memadai untuk menahan gerakan tanah. Setelah dilakukan perkuatan dengan dinding penahan tanah tipe kantilever berjenjang, hasil analisis menunjukkan peningkatan angka SF menjadi 1,7823 pada kondisi normal dan 1,1163 pada kondisi gempa, yang menunjukkan bahwa perkuatan tersebut berhasil menstabilkan lereng dan menjadikannya lebih aman meskipun dalam kondisi ekstrem atau saat terkena beban gempa .

Damara dkk. (2023) menganalisis stabilitas lereng timbunan pada proyek pembangunan Jalan Tawang–Ngalang, Gunungkidul, menggunakan perangkat lunak PLAXIS 8.6 dengan pendekatan metode elemen hingga (*finite element method*) dan model tanah Mohr-Coulomb. Untuk mendukung keakuratan simulasi, perhitungan juga dilakukan menggunakan metode *Fellenius* sebagai pendekatan manual untuk analisis stabilitas lereng, serta metode *Rankine* untuk memperkirakan tekanan tanah lateral yang bekerja pada dinding penahan tanah. Penelitian ini mengevaluasi efektivitas perkuatan dengan dinding penahan tanah tipe kantilever terhadap kestabilan lereng kritis. Hasil analisis menunjukkan bahwa nilai *safety factor* (SF) pada lereng asli tanpa gempa adalah 1,0970 dan menurun menjadi 0,9348 saat terjadi gempa, yang mengindikasikan kondisi tidak stabil. Setelah dilakukan perkuatan menggunakan dinding kantilever, nilai SF meningkat signifikan menjadi 1,4702 (tanpa gempa) dan 1,4694 (dengan gempa), menunjukkan kondisi stabil. Penurunan tanah pada kondisi asli tercatat sebesar 0,01191 m (tanpa gempa) dan 0,01575 m (dengan gempa), sementara pada kondisi lereng yang diperkuat menurun menjadi 0,00695 m (tanpa gempa) dan 0,00958 m (dengan gempa). Hasil ini menunjukkan bahwa penggunaan dinding penahan tanah

tipe kantilever efektif dalam meningkatkan stabilitas lereng dari sisi keamanan maupun deformasi.

Ulfaida dkk. (2024) menganalisis stabilitas lereng dengan tiga variasi kemiringan yaitu 1V:1H, 1V:1.5H, dan 1V:2 menggunakan pemodelan PLAXIS 3D untuk mengetahui pengaruh perubahan kemiringan terhadap nilai *safety factor*. Hasil analisis menunjukkan bahwa seluruh kondisi lereng eksisting berada pada kategori tidak stabil dengan nilai SF masing-masing sebesar 1,108; 1,145; dan 1,248, yang masih berada di bawah batas aman $SF \geq 1,5$, serta mengalami tipe longsoran rotasi dengan pola *toe failure*. Temuan ini mengindikasikan bahwa semakin landai kemiringan lereng, semakin besar nilai *safety factor* yang diperoleh, sehingga variasi kemiringan 1V:2H memberikan stabilitas paling baik dibandingkan dua variasi lainnya, meskipun seluruhnya tetap memerlukan perkuatan tambahan.

Hastuty (2020) melakukan analisis stabilitas lereng pada proyek substation Panyabungan dengan perencanaan perkuatan dinding penahan tanah tipe kantilever, hasil analisis menggunakan aplikasi PLAXIS menunjukkan bahwa angka keamanan *safety factor* pada kondisi lereng awal adalah 1,16 menunjukkan kondisi tidak aman. Setelah dilakukan perkuatan dengan dinding penahan tanah kantilever, angka SF meningkat menjadi 1,567, yang menunjukkan bahwa kondisi lereng menjadi aman. Nilai deformasi lereng dengan perkuatan dinding penahan tanah tercatat sebesar $453,28 \times 10^{-3}m$. Selain itu, analisis menunjukkan bahwa *safety factor* terhadap guling adalah 2,528, terhadap geser 2,683, dan terhadap kapasitas dukung tanah sebesar 3,704, semuanya melebihi ambang batas aman. Oleh karena itu, perkuatan tersebut efektif dalam meningkatkan stabilitas lereng.

2.2 Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Sekarang

Berikut ini adalah rangkuman dari penelitian terdahulu yang ditampilkan pada Tabel 2.1

Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Sekarang

Penelitian Terdahulu						Penelitian yang dilakukan
Nama	Effendi (2022)	Pratama (2021)	Damara dkk. (2023)	Ulfaida dkk. (2024)	Hastuty (2020)	Putra (2025)
Judul Penelitian	Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Dinding Penahan Tanah Beton Bertulang Kantilever (Studi Kasus: Proyek	Analisis Stabilitas Lereng dengan Perkuatan Dinding Penahan Tanah Berjenjang Tipe Concrete Kantilever Menggunakan Program PLAXIS 8.6 (Studi Kasus di Pasaman,	Analisis stabilitas lereng timbunan pada proyek jalan Tawang-Ngalang yang terletak di Gunungkidul, Yogyakarta, yang mengalami masalah kelongsoran pada lereng.	Analisis Stabilitas Lereng dengan Variasi Kemiringan 1V:1H, 1V:1.5H, dan 1V:2H dengan Pendekatan Model 3D.	<i>Analysis of Slope Stability by the Planning of Kantilever Retaining Wall Reinforcement Using the Application of PLAXIS (Case Study: Substation</i>	Analisis Perkuatan Lereng dengan Pengaturan Kemiringan Dan Dinding Kantilever Desa Wargasari Kabupaten Cianjur

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Sekarang

Penelitian Terdahulu						Penelitian yang dilakukan
Nama	Effendi (2022)	Pratama (2021)	Damara dkk. (2023)	Ulfaida dkk. (2024)	Hastuty(2020)	Putra (2025)
Judul Penelitian	Jembatan Kenet, Kabupaten Bantul, Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta)	Padang, Sumatera Barat)			<i>Panyabungan Sta 0+060)</i>	

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Sekarang

Penelitian Terdahulu						Penelitian yang dilakukan
Nama	Effendi (2022)	Pratama (2021)	Damara dkk. (2023)	Ulfaida dkk. (2024)	Hastuty(2020)	Putra (2025)
Tujuan Penelitian	Mengetahui angka keamanan lereng asli, setelah diberi perkuatan dinding penahan tanah kantilever dan deformasi tanah	Analisis stabilitas lereng pada proyek saluran irigasi Panti Rao, Padang, Sumatera Barat, yang mengalami masalah kelongsoran tanah.	Untuk menganalisis stabilitas lereng terkait efektivitas DPT sebagai perkuatan menggunakan perangkat lunak PLAXIS 2D, berdasarkan standar SNI 8460:2017.	Mengetahui pengaruh variasi kemiringan lereng terhadap nilai <i>safety factor</i> pada kondisi eksisting dengan melakukan pemodelan menggunakan PLAXIS 3D.	Menentukan nilai <i>safety factor</i> pada kondisi lereng sebelum dan setelah diberi perkuatan, serta untuk mengevaluasi deformasi yang terjadi pada lereng tersebut.	Menganalisis kondisi tanah, Menghitung <i>safety factor</i> eksisting, membandingkan efektivitas metode penanganan melalui pengaturan kemiringan serta penggunaan jenis dinding penahan tanah (DPT) kantilever.

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Sekarang

Penelitian Terdahulu						Penelitian yang dilakukan
Nama	Effendi (2022)	Pratama (2021)	Damara dkk. (2023)	Ulfaida dkk. (2024)	Hastuty (2020)	Putra (2025)
Metode Penelitian	Analisis dengan bantuan program PLAXIS 8.6 dan menggunakan perhitungan manual metode <i>Fellenius</i> .	Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan pendekatan analisis stabilitas lereng yang dilakukan secara manual dan dengan bantuan program PLAXIS 8.6	Penelitian ini menggunakan metode manual <i>felinus</i> dan pemodelan numerik dengan menggunakan program PLAXIS 8.6	Pemodelan lereng menggunakan PLAXIS 3D berdasarkan tiga variasi kemiringan lereng (1V:1H, 1V:1.5H, dan 1V:2H).	PLAXIS 8.6 digunakan untuk menganalisis stabilitas lereng, menghitung <i>safety factor</i> lereng asli dan lereng yang diperkuat dengan dinding penahan tanah tipe kantilever.	Metode penelitian ini menggunakan perhitungan manual <i>felinus</i> dan pendekatan analisis stabilitas lereng menggunakan program PLAXIS 8.6

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Sekarang

Penelitian Terdahulu						Penelitian yang dilakukan
Nama	Effendi (2022)	Pratama (2021)	Damara dkk. (2023)	Ulfaida dkk. (2024)	Hastuty(2020)	Putra (2025)
Hasil	<p>- Angka keamanan pada lereng asli tanpa beban gempa adalah 1,1749 (dengan gempa 1,1666)</p> <p>- Setelah diperkuat dengan dinding penahan tanah beton bertulang tipe kantilever,</p>	<p>- Stabilitas lereng eksisting memiliki <i>safety factor</i> (SF) sebesar 1,2282 dalam kondisi tanpa perkerasan dan 1,20787 dengan perhitungan metode <i>Fellenius</i>, yang menunjukkan kondisi lereng yang kritis</p>	<p>- Pada lereng eksisting, <i>safety factor</i> (SF) tanpa beban gempa adalah 1,0970 dan dengan beban gempa 0,9348, yang menunjukkan bahwa lereng dalam kondisi kritis</p> <p>- Pada lereng yang diperkuat dengan dinding penahan</p>	<p>Seluruh variasi kemiringan lereng pada kondisi eksisting dalam keadaan tidak stabil dengan nilai <i>safety factor</i> \leq 1,5. Nilai SF yang diperoleh untuk kemiringan</p>	<p>Perkuatan dengan dinding penahan tanah tipe kantilever meningkatkan stabilitas lereng secara signifikan, menjadikannya aman dengan SF lebih besar dari 1,3. Deformasi pada lereng yang diperkuat juga</p>	<p>Hasil lereng eksisting memiliki nilai SF <1,5 sehingga dinyatakan belum stabil, terutama pada kondisi hujan dengan kenaikan muka air tanah.</p>

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Sekarang

Penelitian Terdahulu						Penelitian yang dilakukan
Nama	Effendi (2022)	Pratama (2021)	Damara dkk. (2023)	Ulfaida dkk. (2024)	Hastuty(2020)	Putra (2025)
Hasil	angka keamanan yang didapatkan adalah 1,3241 tanpa gempa dan 1,3239 dengan gempa. Deformasi pada lereng dengan perkuatan dinding penahan tanah	- Setelah perkuatan dengan dinding penahan tanah berjenjang tipe kantilever, <i>safety factor</i> lereng meningkat menjadi 3,5109 untuk stabilitas guling, 3,3074 untuk stabilitas geser, dan 12,9753 untuk kapasitas	- Tanah kantilever, <i>safety factor</i> (SF) tanpa beban gempa adalah 1,4702 dan dengan beban gempa 1,4694, yang menunjukkan bahwa lereng menjadi stabil. Penurunan pada lereng eksisting adalah 0,01191 m	1V:1H adalah 1,108, untuk 1V:1.5H sebesar 1,145, dan untuk 1V:2H sebesar 1,248. Meskipun ketiganya tidak stabil, lereng dengan kemiringan	lebih kecil dibandingkan dengan lereng asli.	Alternatif perbaikan melalui pengaturan kemiringan 1V:1,5H dan 1V:2H belum mampu mencapai batas aman. Perkuatan paling efektif diperoleh dari penggunaan

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Sekarang

Penelitian Terdahulu						Penelitian yang dilakukan
Nama	Effendi (2022)	Pratama (2021)	Damara dkk. (2023)	Ulfaida dkk. (2024)	Hastuty(2020)	Putra (2025)
Hasil	tipe kantilever juga masih tergolong aman dengan pergerakan horizontal maksimum yang terpantau pada nilai 0,03525 m dalam kondisi gempa	daya dukung tanah, yang semuanya memenuhi standar keamanan.	tanpa beban gempa dan 0,01575 m dengan beban gempa. Sementara itu, pada lereng yang diperkuat, penurunan adalah 0,00695 m tanpa beban gempa dan 0,0958 m dengan beban gempa	lebih landai yaitu 1V:2H memberikan nilai <i>safety factor</i> yang lebih tinggi, sehingga lebih aman		DPT kantilever yang menghasilkan SF 1,633 tanpa gempa dan 1,11 dengan gempa, serta memenuhi seluruh kriteria stabilitas internal sehingga dinyatakan stabil dan aman.

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Tanah

Tanah adalah kumpulan mineral dengan bentuk endapan lepas di atas batuan dasar dan umumnya berasal dari pelapukan batuan organik ataupun vulkanik (Hardiyatmo, 2017). Tanah terbentuk melalui proses pelapukan batuan atau proses geologi lainnya yang berlangsung di permukaan bumi. Pembentukan tanah dari batuan induknya melalui proses pelapukan fisik maupun kimia. Proses fisik merupakan proses perubahan batuan menjadi partikel kecil akibat pengaruh erosi, angin, air, es, aktivitas manusia, dan perubahan suhu maupun cuaca. Sementara itu, pelapukan kimiawi disebabkan oleh oksigen, karbondioksida, air (bersifat asam atau alkali), serta berbagai proses kimia lainnya.

3.1.1 Klasifikasi Tanah

Klasifikasi tanah yang sering digunakan dibagi menjadi dua yaitu klasifikasi tanah berdasarkan sistem USCS (*Unified Soil Classification System*) dan sistem klasifikasi tanah menurut AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Officials*).

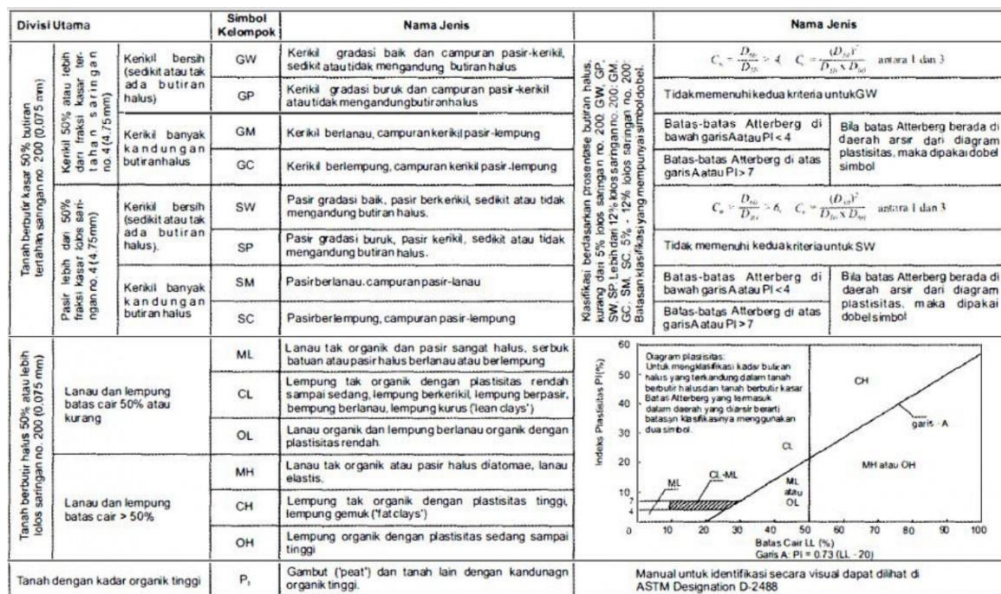
1. USCS (*Unified Soil Classification System*)

USCS (*Unified Soil Classification System*) diusulkan oleh Arthur Casagrande pada tahun 1942 dan kemudian diadopsi secara luas oleh berbagai lembaga dalam bidang teknik sipil. Dalam metode USCS, klasifikasi tanah dibagi menjadi dua kategori utama, yakni tanah berbutir kasar (kerikil dan pasir) dan tanah berbutir halus (lanau dan lempung).

- a. Tanah berbutir kasar merupakan tanah yang terdiri dari kerikil (G) dan pasir (S) dengan komposisi 50% tanah tertahan diatas saringan no. 200.

b. Tanah berbutir halus merupakan tanah yang terdiri dari lanau (M) dan lempung (C) dengan komposisi lebih dari 50% berat totalnya lolos dari saringan no.200.

Klasifikasi tanah menurut USCS lebih detail dapat dilihat pada Gambar 3.1 berikut.



Gambar 3.1 Sistem Klasifikasi Tanah USCS

(Sumber: Hardiyatmo, 2017)

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

AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Official*) adalah suatu metode untuk mengklasifikasikan tanah untuk kebutuhan perancangan dan penentuan timbunan jalan, *subbase*, dan *subgrade*. Metode ini dibagi menjadi tujuh kategori utama (A1 – A7) dan dibagi lagi menjadi kategori yang lebih spesifik. Dalam penggunaan metode ini memerlukan nilai indeks kelompok (GI) untuk menunjukkan kualitas dari tanah tersebut. Persamaan untuk menentukan nilai indeks (GI) dapat dihitung melalui Persamaan 3.1 berikut.

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

dengan:

GI = indeks kelompok

F = persen butiran lolos saringan no.200

LL = batas cair, dan

PI = indeks plastisitas

Untuk tabel klasifikasi dari AASHTO dapat dilihat pada Tabel 3.1 berikut.

Tabel 3.1 Sistem Klasifikasi AASHTO

Uraian	Material Granuler (<35% lolos saringan no.200)							Material Granuler (>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				A-7-5/A-7-6
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	35maks	35 maks	35maks	36 min	36 min	36 min	36 min
Sifat fraksi lolos saringan no. 40											
Batas cair (LL)	-	-	-	40 maks	41 min	40 mkas	41 min	40 maks	41 min	40 maks	41 min
Indeks plastis (PI)	6 maks		Np	10 maks	10 maks	11min	11 min	10 maks	10 maks	11 min	11 min
Indeks Kelompok (GI)	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			

(Sumber: Hardiyatmo, 2017)

Catatan:

Kelompok A-7 dibagi atas A-7-5 dan A-7-6 bergantung pada batas plastisnya (PL)

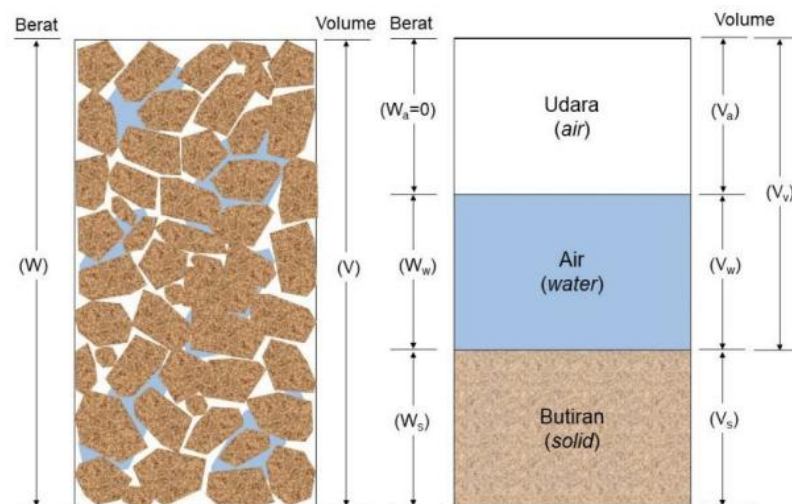
Untuk $PL > 30$, klasifikasinya A-7-5

Untuk $PL < 30$, klasifikasinya A-7-6

Np : Non plastis

3.1.2 Parameter Sifat Fisik Tanah

Tanah terdiri dari tiga komponen utama, yaitu fase padat (*solid*), air (*water*), dan udara (*air*). Tanah kering hanya terdiri dari dua komponen utama, yaitu butiran tanah dan pori-pori yang terisi udara. Sedangkan pada tanah yang jenuh, terdapat dua komponen utama, yakni bagian padat dan air yang mengisi pori-pori tanah. Di sisi lain, dalam kondisi tanah yang tidak jenuh, tanah terdiri dari tiga komponen utama, yaitu bagian padat, air, dan udara. Hubungan kadar air, angka pori, porositas, dan lain-lainnya dapat dilihat dalam Gambar 3.2 berikut



Gambar 3.2 Komponen Penyusun Tanah

(Sumber: Hardiyatmo, 2017)

Karakteristik tanah ini ditunjukkan melalui berbagai parameter yang dikenal sebagai indeks properti atau indeks sifat fisis tanah, seperti berat volume, kadar air, porositas, angka pori, derajat kejenuhan, derajat kepadatan, derajat kerapatan, berat jenis, analisis distribusi butir, batas cair, batas plastis, batas susut, dan lain-lain. Sementara itu, parameter seperti koefisien konsolidasi, kohesi, sudut geser dalam, dan sebagainya merupakan parameter teknis tanah yang dipengaruhi oleh sifat-sifat fisis tanah tersebut.

1. Kadar air

Kadar air adalah perbandingan antara berat air (W_w) dengan berat butiran padat (W_s) (Hardiyatmo, 2017). Persamaan kadar air dapat dilihat pada 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

Berat volume tanah adalah perbandingan antara berat tanah dengan volume keseluruhan tanah. Berat volume dapat diklasifikasikan ke dalam empat jenis, yang akan dijelaskan sebagai berikut.

a. Berat volume basah (γ_b)

Berat volume basah adalah perbandingan antara berat butiran tanah termasuk air dan udara (W) dengan volume total tanah (Hardiyatmo, 2017). Persamaan berat volume basah dapat dilihat pada Persamaan 3.2 dan 3.3 berikut.

$$\gamma_b = \frac{W}{V} \quad (3.2)$$

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

b. Berat volume jenuh (γ_{sat})

Berat volume jenuh adalah perbandingan berat tanah dalam keadaan jenuh dengan volume total. Persamaan berat volume jenuh dapat dilihat pada Persamaan 3.4.

$$\gamma_{\text{sat}} = \frac{\gamma_w (G_s + e)}{1+e} \quad (3.4)$$

c. Berat volume kering (γ_d)

Berat volume kering adalah perbandingan berat butiran (W_s) dalam keadaan kering dengan volume total (V). Persamaan berat volume kering dapat dilihat pada Persamaan 3.5 dan 3.6.

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V} \quad (3.5)$$

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

d. Berat volume padat (γ_s)

Berat volume padat adalah perbandingan berat butiran padat (W_s) dengan volume butiran padat (V_s). Persamaan berat volume kering dapat dilihat pada Persamaan 3.7.

$$\gamma_s = \frac{W_s}{V_s} \quad (3.7)$$

dengan:

γ_w = Berat volume air (kN/m^3)

γ_b = Berat volume basah (kN/m^3)

γ_{sat} = Berat volume jenuh (kN/m^3)

γ_d = Berat volume kering (kN/m^3)

γ_s = Berat volume padat (kN/m^3)

W = Berat total tanah meliputi komponen padat, air, dan udara (kN)

W_s = Berat tanah padat (kN)

V = Volume total tanah (m^3)

V_s = Volume tanah padat (m^3)

G_s = Berat jenis tanah

3. Berat jenis

Berat jenis merupakan perbandingan antara berat volume butiran padat (γ_s) dengan berat volume air (γ_w) pada temperatur 4°C. Persamaan berat jenis ditunjukkan pada Persamaan 3.8. Berat jenis berbagai tanah dapat dilihat pada Tabel 3.2.

$$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} \quad (3.8)$$

Tabel 3.2 Berat Jenis Tanah Berbagai Tanah

No	Jenis Tanah	Berat Jenis (Gs)
1	Kerikil	2,65 – 2,68
2	Pasir	2,65 – 2,68
3	Lanau organik	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)

4. Analisis granuler

Analisis granuler dibagi dua pengujian yaitu analisis saringan (*sieve analysis*) dan analisis hidrometer (*hydrometer analysis*) untuk menganalisis ukuran butiran tanah.

a. Analisis saringan (*Sieve Analysis*)

Analisis saringan bertujuan untuk mengetahui distribusi ukuran tanah yang tertahan pada saringan nomor 200. Pengujian ini dilakukan dengan menyusun tiap saringan secara bertingkat, di mana tanah yang tertahan pada masing-masing saringan ditimbang, kemudian dihitung persentasenya terhadap berat

total tanah. Susunan saringan menurut ASTM D 421-72 dapat dilihat pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3 Susunan Saringan Menurut ASTM D 421-72

No. saringan	Diameter Lubang (mm)
4	4,750
10	2,000
20	0,850
40	0,425
60	0,180
140	0,125
200	0,075

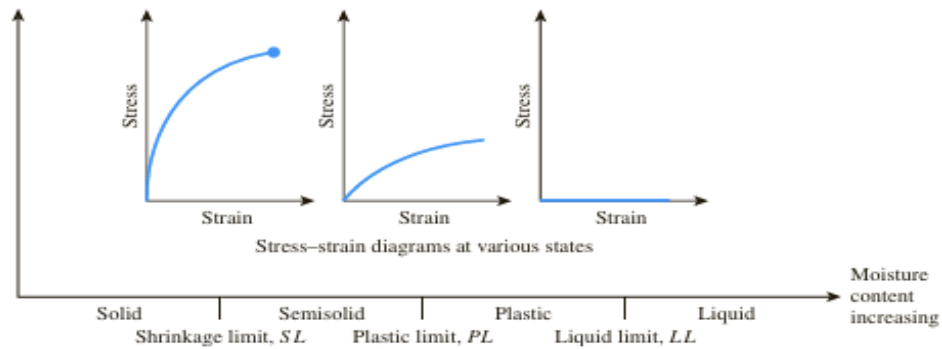
Sumber: ASTM D 421-72

b. Analisis hidrometer (*Hydrometer Analysis*)

Analisis hidrometer bertujuan untuk mengetahui distribusi ukuran tanah yang lolos saringan nomer 200. Metode ini menggunakan dasar Hukum Stokes dengan mencampur sampel tanah dengan air *reagen*, setiap partikel tanah akan mengendap pada kecepatan yang berbeda, yang dipengaruhi oleh faktor seperti bentuk, ukuran, massa, dan kekentalan air (Das dan Sobhan, 2018).

5. Batas-batas konsistensi

Tanah berbutir halus memiliki plastisitas akibat kandungan mineral lempung, yang memungkinkannya berubah bentuk tanpa retak pada volume tetap. Berdasarkan kadar airnya, tanah dapat berada dalam kondisi padat, semi padat, plastis, atau cair. Perubahan kondisi ini dijelaskan melalui batas *Atterberg*, yaitu batas susut, batas plastis, dan batas cair, yang menunjukkan transisi antara masing-masing keadaan konsistensi tanah. Batas-batas *Atterberg* dapat dilihat pada Gambar 3.3 berikut.

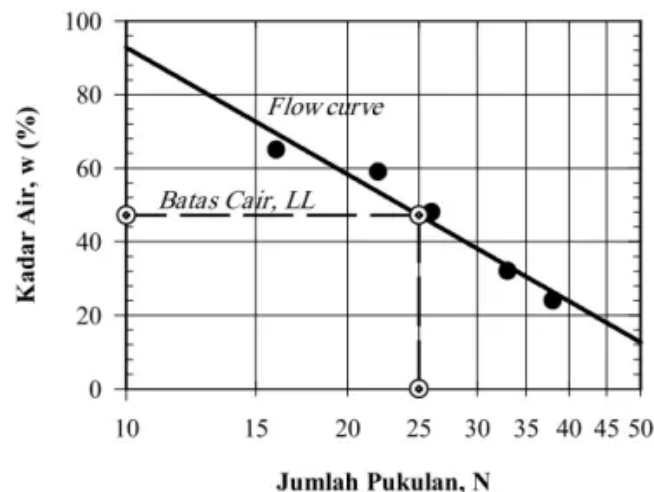


Gambar 3.3 Batas-batas Atterberg

(Sumber: Das dan Shoban, 2018)

a. Batas cair (*Liquid Limit*)

Batas cair adalah nilai kadar air tanah pada batas antara keadaan cair dan keadaan plastis tanah, yaitu nilai batas atas pada daerah plastis. Penentuan nilai batas cair ditentukan dengan pengujian *Cassagrande*. Untuk mendapatkan nilai kadar air pada batas cair dengan menghitung pukulan tanah hingga tanah tertutup celahnya sepanjang 12,7 mm. Jumlah pukulan yang menunjukkan nilai batas cair adalah pada pukulan ke 25. Jumlah ketukan akan memiliki korelasi dengan kadar air seperti gambar 3.4 berikut.



Gambar 3.4 Grafik Hasil Pengujian Batas Cair

(Sumber: Darwis, 2018)

b. Batas plastis (*Plastic Limit*)

Batas plastis adalah nilai kadar air pada kedudukan antara kondisi plastis dan semi padat. Nilai persentase kadar air ini ditentukan melalui tanah dengan diameter silinder 3,2 mm mulai retak ketika digulung, di mana kadar air pada kondisi tersebut disebut batas plastis tanah. Batas plastis tanah dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.9 berikut.

$$PL = \frac{w_p + w_k}{w_k} \quad (3.9)$$

dengan:

PL = Batas plastis tanah (%)

w_p = Berat tanah basah pada kondisi plastis (gram)

w_k = Berat tanah kering (gram)

c. Batas susut (*Shrinkage Limit*)

Batas susut adalah nilai kadar air pada kedudukan antara daerah kondisi semi-padat dan padat. Pada kondisi ini, persentase pengurangan kadar air selanjutnya tidak mengakibatkan perubahan volume tanah. Uji batas susut dilakukan di laboratorium menggunakan cawan porselin berdiameter 44,4 mm dan tinggi 12,7 mm. Bagian dalam cawan terlebih dahulu dilapisi pelumas, lalu diisi dengan tanah yang telah jenuh air secara sempurna. Setelah itu, sampel dikeringkan dalam oven. Volume tanah kering kemudian diukur dengan cara mencelupkannya ke dalam air raksa. Nilai batas susut dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.10 berikut.

$$SL = \frac{V_o}{W_o} - \frac{1}{G_s} \times 100\% \quad (3.10)$$

dengan:

SL = Batas susut tanah (%)

V_o = Volume benda uji kering (cm³)

W_o = Berat benda uji kering (gram)

G_s = Berat jenis tanah

d. Indeks plastisitas

Indeks Plastisitas (PI) adalah selisih batas cair (LL) dengan batas plastis (PL) pada tanah. Indeks plastisitas merupakan interval kadar air dimana tanah masih bersifat plastis. Nilai PI yang tinggi menunjukkan bahwa tanah mengandung banyak lempung, sedangkan nilai PI yang rendah mengindikasikan bahwa tanah didominasi oleh lanau. Tanah lanau memiliki karakteristik khusus, yaitu cepat mengering meskipun kadar airnya hanya sedikit berkurang. Nilai indeks plastisitas dan ragam tanah dapat dilihat pada Tabel 3.4.

Tabel 3.4 Nilai Indeks Plastisitas Dan Ragam Tanah

PI	Sifat	Ragam Tanah	Kohesi
0	Non Plastis	Pasir	Non Kohesif
< 7	Pastisitas Rendah	Lanau	Kohesif Sebagian
7-17	Plastisitas Sedang	Lempung Berlanau	Kohesif
> 17	Plastisitas Tinggi	Lempung	Kohesif

Sumber: Hardiyatmo (2018)

6. Modulus elastisitas (E_s)

Modulus elastisitas atau modulus *young* adalah perbandingan antara tegangan dengan regangan pada tanah yang menunjukkan tingkat elastisitas atau kekakuannya. Pendekatan nilai modulus elastisitas berdasarkan jenis tanahnya terdapat pada Tabel 3.5.

Tabel 3.5 Nilai Modulus Elastisitas

Jenis Tanah	E_s (MPa)
1. Lempung	
- Sangat lunak	
- Lunak	5 – 25
- Sedang	15 – 50
- Kasar	50 – 100
- Pasiran	25 – 250
2. Lapisan glasial	
- Tidak padat	10 – 150
- Padat	150 – 720
- Sangat padat	500 – 1440
3. <i>Loess</i>	15 – 60
4. Pasir	
- Lanau	5 – 20
- Tidak padat	10 – 25
- Padat	50 – 81
5. Pasir dan kerikil	
- Tidak padat	50 – 150
- Padat	100 – 200
6. Material lepas	150 – 5000
7. Lanau	1 – 20

Sumber: Bowles (1977)

7. *Poisson ratio*

Poisson ratio merupakan perbandingan antara regangan lateral terhadap regangan aksial. Nilai *poisson ratio* dapat diperkirakan sesuai dengan jenis tanah, sebagaimana dijelaskan dalam Tabel 3.6 berikut.

Tabel 3.6 Nilai Poisson's Ratio

Jenis Tanah	ν
Pasir Lepas	0,2-0,4
Pasir Sedang	0,25-0,4
Pasir Padat	0,3-0,45
Pasir Kelanauan	0,2-0,4

Lanjutan Tabel 3.6 Nilai Poisson's Ratio

Jenis Tanah	ν
Lempung Lunak	0,15-0,25
Lempung Sedang	0,2-0,5

Sumber: Das dan Sobhan (2018)

8. Pengujian triaksial

Pengujian triaksial adalah metode pengujian sampel tanah yang melibatkan pemberian tekanan dari tiga arah atau dimesi pada sampel tanah. Menurut Hardiyatmo (2018), tegangan yang bekerja pada sampel tanah terdiri dari tiga jenis, yaitu σ_1 , σ_2 , dan σ_3 . Tegangan σ_1 disebut sebagai tegangan utama maksimum (*major principal stress*), sedangkan σ_3 disebut tegangan utama minimum (*minor principal stress*). Tegangan σ_2 merupakan tegangan utama tengah, namun pada uji triaksial yang menggunakan pendekatan dua dimensi, nilai σ_2 dianggap sama dengan σ_3 . Tegangan σ_3 juga dikenal sebagai tegangan sel atau tegangan kekang (*confining stress*), yaitu tekanan seragam dari semua arah samping yang diberikan oleh cairan di dalam alat uji. Sementara itu, selisih antara tegangan σ_1 dan σ_3 , yaitu $(\sigma_1 - \sigma_3)$, disebut sebagai tegangan deviasi (*deviator stress*) atau beda tegangan, yang menunjukkan seberapa besar gaya yang menyebabkan sampel mengalami deformasi atau keruntuhan. Dari pengujian ini, diperoleh parameter kuat geser tanah yaitu nilai kohesi (c) dan sudut geser dalam (ϕ) dari suatu sampel tanah. Selain itu, uji triaksial juga digunakan untuk menentukan sifat-sifat elastik tanah seperti modulus tegangan-regangan (modulus elastis, E_s), modulus geser (G), dan nilai banding angka *Poisson* (μ).

9. Kohesi

Kohesi merupakan gaya antar partikel tanah yang saling tarik menarik dan dalam satuan berat per satuan luas (Virgo dkk, 2018). Kohesi berperan penting dalam menentukan kemampuan tanah menahan tegangan dari luar. Kohesi memiliki satuan yang sama dengan tegangan dan umumnya nilainya meningkat seiring bertambahnya kedalaman. Nilai kohesi ini dapat diperoleh melalui berbagai jenis pengujian, seperti uji triaksial dan uji tekan bebas (*unconfined compression test*).

10. Sudut Geser Dalam

Sudut geser dalam (ϕ) adalah sudut yang menunjukkan hubungan antara tegangan normal dan tegangan geser pada material tanah atau batuan. Menurut Virgo dkk (2018), sudut geser dalam menggambarkan sudut rekahan yang terbentuk ketika suatu material mengalami tegangan melebihi kekuatan gesernya. Semakin besar sudut geser dalam, maka semakin tinggi juga kekuatan geser tanah, sehingga lereng menjadi lebih stabil.

11. Kuat geser tanah

Kuat geser tanah adalah gaya perlawanan yang dilakukan oleh antar butir tanah terhadap desakan atau tarikan. Jika tanah mengalami pembebanan akan ditahan oleh dua komponen utama yaitu kohesi tanah yang bergantung pada jenis dan kepadatan tanah dan gesekan antara butir-butir tanah yang sebanding dengan tegangan normal pada bidang gesernya (Hardiyatmo, 2018). Persamaan untuk mengetahui kuat geser dalam ditunjukkan pada Persamaan 3.11 berikut.

$$\tau = c + \sigma \operatorname{tg}\phi \quad (3.11)$$

dengan:

τ = Kuat geser dalam (kN/m^2)

c = Kohesi (kN/m^2)

σ = Tegangan normal pada bidang runtuh (kN/m^2)

ϕ = Sudut geser dalam ($^\circ$)

3.2 Stabilitas Lereng

Lereng adalah suatu permukaan tanah yang miring dan membentuk sudut terhadap bidang horizontal, baik yang terbentuk secara alami maupun buatan manusia (Das & Sobhan, 2018). Secara umum, lereng dapat diklasifikasikan menjadi dua jenis, yaitu lereng alami dan lereng buatan. Lereng alami terbentuk secara geologis tanpa campur tangan manusia dan umumnya ditemukan di wilayah perbukitan atau pegunungan. Sementara itu, lereng buatan merupakan lereng yang

dibentuk melalui aktivitas manusia untuk keperluan konstruksi, seperti pada bendungan tanah, tanggul sungai, tanggul jalan raya atau rel kereta api, serta berbagai struktur infrastruktur lainnya.

Pergerakan massa tanah yang terjadi ke arah bawah lereng umumnya disebabkan oleh penurunan kuat geser tanah dan peningkatan tegangan geser. Kondisi ini dapat menyebabkan terjadinya keruntuhan lereng yang dikenal sebagai longsoran tanah. Keruntuhan lereng terbagi menjadi keruntuhan rotasi, keruntuhan translasi, dan keruntuhan gabungan (Hardiyatmo, 1998). Oleh karena itu, diperlukan adanya analisis stabilitas lereng yang bertujuan untuk mendapatkan nilai keamanan dari berbagai jenis lereng yang berpotensi longsor.

3.2.1 Faktor penyebab longsor

Hardiyatmo (2018) memberikan penjelasan mengenai faktor penyebab kelongsoran suatu lereng. Berikut merupakan faktor penyebab sebagai berikut.

1. Penambahan beban pada lereng, seperti bangunan baru, rembesan air yang masuk ke dalam pori tanah, beban dinamis oleh tumbuhan.
2. Peningkatan kadar air dalam tanah sehingga mengurangi kekuatan tahanan geser pembentuk lereng.
3. Kemiringan lereng yang semakin curam akibat adanya penggalian tanah.
4. Peningkatan tekanan lateral yang disebabkan akumulasi air tanah.
5. Gempa bumi dan getaran berlebihan.
6. Penggalian pada kaki lereng.

3.2.2 Metode penanggulangan longsor

Tanah longsor pada lereng sering menimbulkan kerugian yang cukup besar, baik dari segi ekonomi, lingkungan, dan keselamatan manusia. Oleh karena itu, perlu dilakukan mitigasi untuk mengurangi dampak negatif yang ditimbulkan oleh tanah longsor. Berikut merupakan hal yang perlu dilakukan dalam upaya penanggulangan longsor.

1. Pembuatan terasering pada lereng untuk mengurangi kemiringan lereng dan memperluas area resapan air hujan.

2. Melandaikan kemiringan lereng, sehingga gaya berat yang bekerja di atas lereng berkurang dan memperkecil resiko terjadi longsor.
3. Pembangunan dinding penahan tanah untuk menahan gerakan tanah.
4. Penggunaan material geotekstil untuk perkuatan tanah.
5. Perkuatan dengan metode *soil nailing*, yaitu teknik perkuatan tanah dengan cara memasukan batang baja (*nail*) ke dalam lereng.

3.3 Analisis Dengan Metode Elemen Hingga

Metode elemen hingga (*Finite Element Method*) digunakan untuk menganalisis stabilitas lereng lebih kompleks dengan memodelkan berbagai kondisi seperti statik, pseudo-statik, dan dinamik. Pada kondisi pseudo statik, beban gempa dimodelkan melalui percepatan pseudo-statik yang menghasilkan gaya inersia baik dalam arah horizontal (F_h) dan vertikal (F_v), yang bekerja pada pusat keruntuhan (BSN, 2017). Salah satu perangkat lunak yang dapat menganalisis lereng dengan metode elemen hingga adalah PLAXIS 2D. PLAXIS 2D merupakan program komputer dengan metode grafis untuk memodelkan geometri suatu lereng dan jaringan elemennya berdasarkan metode elemen hingga dua dimensi. Metode elemen hingga memerlukan *input* data yang baik agar diperoleh *output* yang teliti.

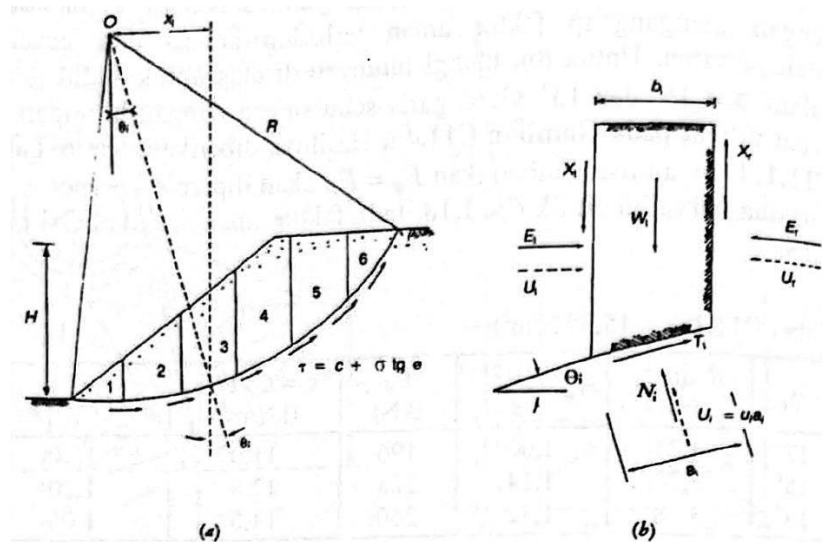
Berikut merupakan prosedur analisis metode elemen hingga Menurut Rao (2010) dalam Ridwan dan Yusa (2019).

1. Proses diskritisasi, yaitu membagi geometri tertentu menjadi elemen diskrit.
2. Memilih persamaan interpolasi untuk memperoleh hasil yang paling mendekati. Umumnya dalam wujud polinomial.
3. Menyelesaikan seluruh persamaan interpolasi.
4. Menyelesaikan kalkulasi tegangan dan regangan.

3.4 Analisis Dengan Metode *Fellenius*

Menurut Darwis (2018), analisis kestabilan lereng menggunakan metode *fellenius* dengan menganggap bahwa gaya-gaya yang bekerja pada sisi kanan dan sisi kiri dari sembarang irisan mempunyai resultan nol ($R=0$) pada arah tegak lurus dengan bidang longsohnya. Dalam proses perhitungannya, massa tanah yang

berpotensi longsor dibagi menjadi beberapa irisan vertikal dan gaya yang bekerja pada setiap irisan ditunjukkan pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5 Gaya Yang Bekerja Pada Irisan

(Sumber: Hardiyatmo, 2018)

Perhitungan untuk metode *fellenius* seperti pada Persamaan 3.12 berikut.

$$SF = \frac{\sum (cl + (W \cos \alpha - ul) \tan \varphi)}{\sum W \sin \alpha} \quad (3.12)$$

dengan:

SF = Faktor aman

c = Kohesi tanah (kN/m²)

φ = Sudut geser dalam tanah (°)

l = Panjang lengkung lingkaran pada pias (m)

W = Berat irisan tanah (kN)

u = Tekanan air pori pada pias (kN/m²)

α = Sudut yang didefinisikan dalam gambar 3.7 (°)

3.5 Metode Rankine

Metode Rankine digunakan untuk menentukan tekanan tanah lateral pada dinding penahan tanah yang disebabkan oleh berat sendiri tanah, baik untuk kondisi diam, aktif maupun pasif (Hardiyatmo,2010). Terdapat 3 macam tekanan tanah lateral sebagai berikut.

1. Tekanan tanah dalam keadaan diam

Tekanan tanah dalam keadaan diam merupakan tanah yang tertahan dalam arah horizontal dan tidak mengalami deformasi horizontal. Menurut Hardiyatmo (2010), nilai banding antara tekanan horizontal dan tekanan vertikal pada kedalaman tertentu, didefinisikan sebagai koefisien tekanan tanah saat diam yang dinyatakan dalam Persamaan 3.13.

$$K_0 = \frac{\sigma_h}{\sigma_v} \quad (3.13)$$

Nilai *Poisson ratio* memiliki hubungan teoritis dengan koefisien tekanan tanah keadaan diam yang dinyatakan pada Persamaan 3.14.

$$K_0 = \frac{\nu}{1-\nu} \quad (3.14)$$

dengan:

K_0 = Koefisien tekanan tanah diam

σ_h = Tegangan horizontal (kN/m²)

σ_v = Tegangan vertikal (kN/m²)

ν = *Poisson ratio*

2. Tekanan tanah aktif (P_a)

Tekanan tanah aktif merupakan kondisi dimana tekanan tanah lateral bergerak mendorong suatu dinding perkuatan kearah luar tanah urug sehingga mengalami keruntuhan. Menurut Hardiyatmo (2010), tekanan tanah aktif berdasarkan teori Rankine dinyatakan pada Persamaan 3.15, 3.16 dan 3.17.

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

$$P_a = \gamma z K_a \quad (3.15)$$

Untuk tanah kohesif adalah sebagai berikut:

$$P_a = \gamma z K_a - 2 c' \sqrt{K_a} \quad (3.16)$$

$$K_a = \operatorname{tg}^2 \left(45 - \frac{\varphi}{2} \right) \quad (3.17)$$

dengan:

γ = Berat volume (kN/m^3)

z = kedalaman (m)

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

K_a = koefisien tanah aktif

φ = sudut geser dalam ($^\circ$)

3. Tekanan tanah pasif (P_p)

Tekanan tanah pasif merupakan kondisi dimana tekanan tanah lateral bergerak mendorong suatu dinding perkuatan kearah dalam tanah urug. Menurut Hardiyatmo (2010), tekanan tanah pasif berdasarkan teori Rankine dinyatakan pada Persamaan 3.18, 3.19 dan 3.20.

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

$$P_p = \gamma z K_p \quad (3.18)$$

Untuk tanah kohesif adalah sebagai berikut:

$$P_p = \gamma z K_p + 2 c' \sqrt{K_p} \quad (3.19)$$

$$K_p = \operatorname{tg}^2 \left(45 + \frac{\varphi}{2} \right) \quad (3.20)$$

dengan:

γ = Berat volume (kN/m^3)

- z = kedalaman (m)
 c' = kohesi tanah (kN/m²)
 K_p = koefisien tanah pasif
 φ = sudut geser dalam (°)

3.6 Kriteria Nilai *Safety factor*

Untuk menentukan stabilitas suatu lereng, diperlukan suatu metode yang dapat menggambarkan seberapa besar kemampuan tanah dalam menahan gaya yang bekerja padanya. Salah satu metode umum yang digunakan adalah dengan menghitung nilai *Safety factor* (SF), yang merupakan perbandingan antara kekuatan tanah dan tegangan yang terjadi pada kondisi kritis. Menurut Das dan Shoban (2018), *safety factor* dapat dinyatakan dalam Persamaan 3.21 berikut:

$$SF = \frac{\tau_f}{\tau_d} \quad (3.21)$$

dengan:

SF = Angka aman

τ_f = Kuat geser tanah rata-rata

τ_d = Tegangan geser rata-rata sepanjang bidang runtuh

Kriteria nilai *safety factor* pada analisis stabilitas lereng ditentukan berdasarkan pertimbangan tingkat ketidakpastian dalam kondisi analisis, serta konsekuensi yang ditimbulkan jika terjadi kegagalan lereng. Selain itu, aspek biaya konstruksi juga menjadi salah satu pertimbangan utama dalam menetapkan nilai *safety factor* yang sesuai. Nilai *safety factor* untuk lereng tanah dapat dilihat pada Tabel 3.7.

Tabel 3.7 Nilai *Safety factor* Untuk Lereng Tanah

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

Sumber: BSN (2017)

3.7 Parameter pembebanan

BSN (2017) menyatakan bahwa dalam melakukan analisis stabilitas lereng, penting untuk memperhitungkan berbagai jenis beban seperti beban hidup, beban mati, serta beban akibat gempa. Dalam analisis tersebut, digunakan nilai pembebanan sebesar 10 kN/m² yang dianggap sebagai beban yang bekerja di permukaan lereng. Nilai ini diasumsikan mewakili beban dari alat berat yang akan beroperasi di atas lereng tersebut.

3.8 Dinding Penahan Tanah

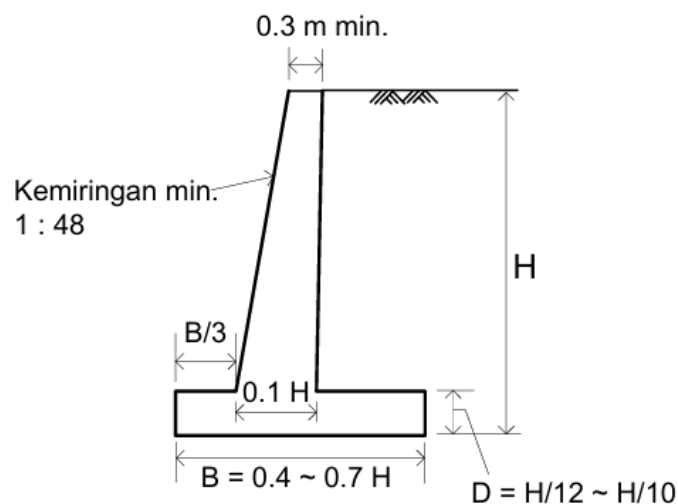
Dinding penahan tanah merupakan struktur perkuatan yang berfungsi untuk menahan massa tanah agar tidak mengalami keruntuhan, terutama pada lereng yang curam atau kondisi tanah yang tidak stabil. Secara umum, dinding penahan tanah terbagi menjadi dua kategori, yaitu dinding penahan tanah konvensional dan dinding *Mechanically Stabilized Earth* (MSE). Dinding penahan tanah konvensional mencakup beberapa jenis, antara lain:

1. Dinding gravitasi
2. Semi gravitasi

3. Kantilever
4. *Counterfort* dan *Buttress*
5. Dinding penahan tanah khusus (*crib wall* dan *gabion*)
6. Dinding tanah bertulang (*reinforced earth wall*)

3.9 Dinding Tipe Kantilever

Dinding penahan tanah tipe kantilever merupakan struktur yang menggabungkan dinding dengan beton bertulang berbentuk huruf T. Struktur ini terdiri dari dua komponen yaitu dinding vertikal (*stem*) dan pondasi tapak (*base slab*). Pondasi tapak atau base slab dibagi lagi menjadi dua bagian yaitu tumit tapak bagian belakang (*heel*), dan ujung kaki tapak bagian depan (*toe*). Selain bobotnya sendiri, dinding penahan tanah kantilever ini mengandalkan pada bobot masa tanah yang berada di atas *base slab*, untuk menjaga stabilitasnya. Dinding penahan tanah ini cocok untuk menahan tanah yang tinggi, hingga 8 m. Dimensi pelat dasarnya dirancang dengan eksentrisitas ($e < B/6$) dan ketebalan minimum pada bagian puncak sebesar 0,30 m (BSN, 2017). Ilustrasi dinding penahan tanah tipe kantilever dapat dilihat pada gambar 3.6 berikut.



Gambar 3.6 Tipikal Dimensi Dinding Kantilever

(Sumber: BSN, 2017)

Perencanaan tulangan lentur pada dinding penahan tanah kantilever dilakukan setelah ditentukan parameter perencanaan berupa tebal pelat (h), mutu

beton ($f'c$), mutu baja tulangan (f_y), serta momen rencana (M_R). Berdasarkan parameter tersebut, tahapan perhitungan kebutuhan tulangan lentur dapat disusun secara sistematis sebagai berikut:

1. Tinggi efektif penampang (d) ditetapkan berdasarkan tebal pelat yang telah direncanakan dengan memperhitungkan selimut beton dan diameter tulangan.
2. Lebar penampang yang ditinjau (b) ditetapkan sebesar satu meter lebar pelat.
3. Nilai M_u/bd^2 dihitung dalam satuan kN/m^2 , dengan momen ultimit (M_u) diperoleh dari pembagian momen rencana (M_R) terhadap faktor reduksi kekuatan (Φ).
4. Rasio tulangan (ρ) ditentukan berdasarkan hubungan antara mutu beton ($f'c$), mutu baja tulangan (f_y), dan nilai M_u/bd^2 .
5. Nilai rasio tulangan yang diperoleh selanjutnya diperiksa agar memenuhi ketentuan batas minimum dan maksimum, yaitu $\rho_{min} < \rho < \rho_{maks}$.
6. Penentuan jumlah tulangan serta jarak antar tulangan dilakukan dengan mengacu pada persyaratan teknis mengenai jarak tulangan dan ketentuan penulangan beton bertulang.

3.10 Stabilitas Dinding Penahan Tanah

Dalam merencanakan dinding penahan tanah, aspek yang harus diperhitungkan adalah analisis terhadap beberapa faktor, yaitu stabilitas terhadap guling, geser lateral, dan kapasitas daya dukung tanah. Ketiga aspek ini harus memenuhi kriteria aman agar struktur dinding tidak mengalami kegagalan. Selain itu, terdapat beberapa faktor tambahan yang juga perlu diperhatikan dalam perencanaan dinding penahan tanah. Pertama, perlu dilakukan analisis kondisi tanah di lokasi yang memiliki potensi keruntuhan global, baik dalam bentuk gelinciran rotasi maupun translasi yang melibatkan seluruh sistem dinding dan tanah pendukungnya. Kedua, lapisan tanah lunak di bawah tanah pendukung langsung dinding harus diidentifikasi, karena dapat menyebabkan penurunan diferensial dalam jangka panjang. Hal ini berisiko menimbulkan rotasi struktur dinding ke arah belakang dan mengurangi stabilitas keseluruhan (BSN, 2017).

Salah satu solusi yang umum digunakan untuk meningkatkan kestabilan lereng dan memperkuat massa tanah adalah melalui perkuatan tanah, seperti penggunaan dinding penahan tipe kantilever. Metode ini sangat efektif, terutama pada wilayah yang rawan longsor atau memiliki karakteristik tanah yang lemah, karena mampu meningkatkan keamanan konstruksi secara keseluruhan.

3.10.1 Stabilitas Terhadap Geser

Menurut Hardiyatmo (2002), jika terdapat tanah timbunan yang bergesekan dengan dasar fondasi maka gaya horizontal yang menggeser dinding penahan tanah akan ditahan oleh tekanan tanah pasif. Secara umum, stabilitas geser didefinisikan sebagai perbandingan antara gaya tahan geser dari dinding penahan tanah dan total gaya horizontal yang bekerja padanya. Analisis stabilitas faktor aman terhadap stabilitas geser disyaratkan minimal 1,5 (BSN, 2017). Persamaan stabilitas geser dapat didefinisikan pada Persamaan 3.22-3.24 sebagai berikut

$$SF = \frac{\sum Fr}{\sum Fd} \quad (3.22)$$

$$SF = \frac{(\sum v) \tan \delta' + B c_a + P_p}{P_a \cos \alpha} \quad (3.23)$$

$$SF = \frac{(\sum V) \tan (k_1 \varphi'^2) + B k_2 c'^2 + P_p}{P_a \cos \alpha} \quad (3.24)$$

dengan:

$\sum Fr$ = Tahanan dinding penahan tanah terhadap penggeseran

$\sum Fd$ = Jumlah gaya horizontal

δ' = Sudut gesek antara tanah dan dasar fondasi, biasanya diambil $(1/3 - 2/3) \varphi'$

c_a = Adhesi antara tanah dan dasar dinding (kN/m^2)

c = Kohesi tanah dasar (kN/m^2)

B = Lebar fondasi (m)

P_p = Tekanan tanah pasif (kN/m)

3.10.2 Stabilitas Terhadap Guling

Menurut Hardiyatmo (2002), stabilitas terhadap guling merupakan kondisi di mana dinding penahan tanah dapat menahan momen yang ditimbulkan oleh tekanan lateral dari tanah urug di belakang dinding. Tekanan ini menciptakan gaya yang dapat menyebabkan dinding berputar dengan titik tumpu di bagian depan pelat fondasi. Oleh karena itu, dinding penahan perlu dirancang agar memiliki momen penahan yang memadai, yang bersumber dari berat struktur itu sendiri serta beban tanah di atas pelat fondasi. Analisis stabilitas faktor aman terhadap stabilitas guling disyaratkan minimal 2 (BSN, 2017). Faktor aman terhadap stabilitas guling dapat didefinisikan pada Persamaan 3.25 dan 3.25 sebagai berikut:

$$SF = \frac{\sum Mr}{\sum Mo} \quad (3.25)$$

$$\sum Mo = Ph \left(\frac{H'}{3} \right) \quad (3.26)$$

dengan,

$\sum Mr$ = Momen yang melawan penggulingan (kN.m)

$\sum Mo$ = Momen yang mengakibatkan penggulingan (kN.m)

$\sum Ph$ = Jumlah gaya-gaya horizontal (kN)

H' = Tinggi dinding penahan tanah (m)

3.10.3 Stabilitas Terhadap Daya Dukung Tanah

Hardiyatmo (2002) menyatakan, beberapa persamaan dalam menghitung stabilitas terhadap kapasitas daya dukung tanah antara lain adalah persamaan persamaan kapasitas dukung Terzhagi (1943), Meyerhof (1951), Hansen (1970) dan Vesic (1975). Dalam menghitung stabilitas terhadap kapasitas daya dukung tanah umumnya digunakan persamaan Meyerhof (1951) untuk mengetahui tegangan ultimit. Perhitungan yang dapat dilihat pada Persamaan 3.27 sebagai berikut.

1. Eksentrisitas (e)

$$e = \frac{B}{2} - \frac{\sum Mr - \sum Mo}{\sum V} \quad (3.27)$$

dengan:

$\sum Mr$ = Momen yang melawan guling (kN.m)

$\sum Mo$ = Momen yang mengakibatkan guling (kN.m)

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

e = Eksentrisitas

B = Lebar kaki dinding penahan (m)

2. Tekanan akibat beban struktur

Hardiyatmo (2002) menyatakan bahwa dalam perancangan, lebar fondasi dinding penahan dirancang sedemikian sehingga $e < (B/6)$. Hal ini bertujuan agar efisiensi fondasi maksimum dan perbedaan tekanan fondasi pada ujung-ujung kaki dinding tidak besar sehingga mengurangi resiko keruntuhan dinding akibat penggulingan. Perhitungan yang dapat dilihat pada Persamaan 3.28 dan 3.29 sebagai berikut.

$$q_{maks} = q_{toe} = \frac{\sum V}{B} \left(1 + \frac{6e}{B}\right) \quad (3.28)$$

$$q_{min} = q_{heel} = \frac{\sum V}{B} \left(1 - \frac{6e}{B}\right) \quad (3.29)$$

3. Kapasitas daya dukung ultimit (q_u)

Kapasitas daya dukung ultimit dihitung dengan menggunakan persamaan Meyerhof (1951). Persamaan daya dukung ultimit dapat dilihat pada Persamaan 3.30-3.38.

$$q_u = c' \cdot 2 N_c F_{cd} F_{ci} + q N_q F_{qd} F_{qi} + 0,5 \gamma B' N_\gamma F_{\gamma d} F_{\gamma i} \quad (3.30)$$

$$q = \gamma_2 D' \quad (3.31)$$

$$B = 2 - e \quad (3.32)$$

$$F_{cd} = F_{qd} - \left(\frac{1 - F_{qd}}{N_c \tan \phi} \right) \quad (3.33)$$

$$F_{qd} = 1 + 2 \tan \phi' (1 - \sin \phi')^2 \left(\frac{D'}{B'} \right) \quad (3.34)$$

$$F_{\gamma d} = 1 \quad (3.35)$$

$$F_{ci} = F_{qi} = \left(1 - \frac{\psi^\circ}{90^\circ} \right)^2 \quad (3.36)$$

$$F_{\gamma i} = \left(1 - \frac{\psi^\circ}{\phi^\circ} \right)^2 \quad (3.37)$$

$$\psi = \tan^{-1} \left(\frac{P_a \cos \alpha}{\Sigma V} \right) \quad (3.38)$$

dengan:

q = Tekanan tanah efektif di dasar pondasi (kN/m^2)

B' = Lebar efektif kaki dinding penahan (m)

e = Eksentrisitas beban (m)

γ = Berat volume tanah (kN/m^3)

ψ = Sudut inklinasi beban ($^\circ$)

c = Kohesi tanah (kN/m^2)

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

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

N_c, N_q, N_γ = Faktor-faktor kapasitas dukung

Syarat nilai *safety factor* minimal untuk stabilitas daya dukung tanah berdasarkan SNI 8560:2017 adalah 3 (BSN, 2017) Persamaan *safety factor* stabilitas daya dukung tanah dapat dilihat pada Persamaan 3.39.

$$SF = \frac{q_u}{q_{maks}} \geq 3 \quad (3.39)$$

dengan:

q_u = Tekanan tanah ultimit (kN/m^2)

q_{maks} = Tekanan maksimal akibat beban strukur (kN/m^2)

BAB IV

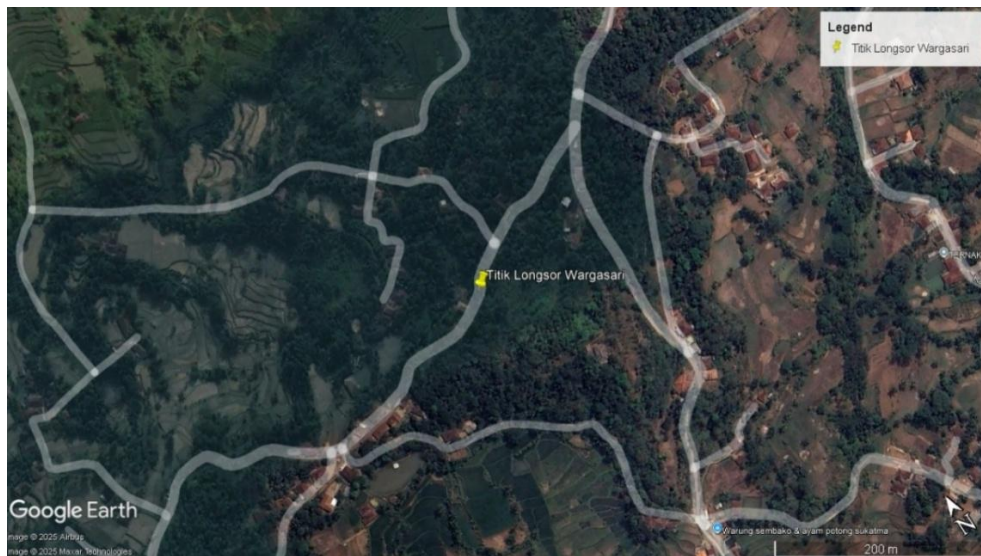
METODE PENELITIAN

4.1 Pendahuluan

Metode penelitian merupakan langkah-langkah sistematis yang dilakukan oleh peneliti untuk menjelaskan proses pelaksanaan penelitian, mulai dari tahap pengumpulan data, analisis data, hingga diperolehnya hasil akhir. Dalam penelitian ini, digunakan pendekatan analisis dengan memanfaatkan data primer dan sekunder. Fokus utama dari penelitian ini adalah mencari solusi perbaikan tanah yang mengalami keruntuhan akibat pengaruh curah hujan tinggi di Desa Warga Sari menggunakan dinding penahan tanah kantilever. Analisis stabilitas lereng dilakukan dengan dua pendekatan, yaitu perhitungan manual menggunakan metode *Felinius*, serta metode elemen hingga (*Finite Element Method*) dengan bantuan perangkat lunak PLAXIS 2D. Perancangan ulang ini mengacu kepada ketentuan yang berlaku yaitu SNI 8460 (2017) tentang persyaratan Perancangan Geoteknik. Hasil yang diperoleh adalah angka *safety factor* sebelum dan sesudah dilakukan perkuatan yang harus memenuhi batas minimum yang disyaratkan.

4.2 Lokasi Penelitian

Penelitian ini berlokasi di Desa Warga Sari, Kecamatan Kadupandak, Kabupaten Cianjur, Provinsi Jawa Barat, dengan koordinat geografis sekitar -7.211705 LS dan 107.000008 BT. Lokasi ini dipilih karena terdapat kasus longsor pada lereng yang disebabkan oleh curah hujan tinggi yang terjadi pada tanggal 23 November 2024. Secara topografi, wilayah ini berada memiliki tinggi sekitar dan didominasi oleh jenis tanah lempung serta lanau, yang memiliki karakteristik rentan terhadap pelunakan dan kehilangan kekuatan geser ketika mengalami kejenuhan akibat air hujan. Lokasi penelitian secara rinci dapat dilihat pada Gambar 4.1 berikut ini.



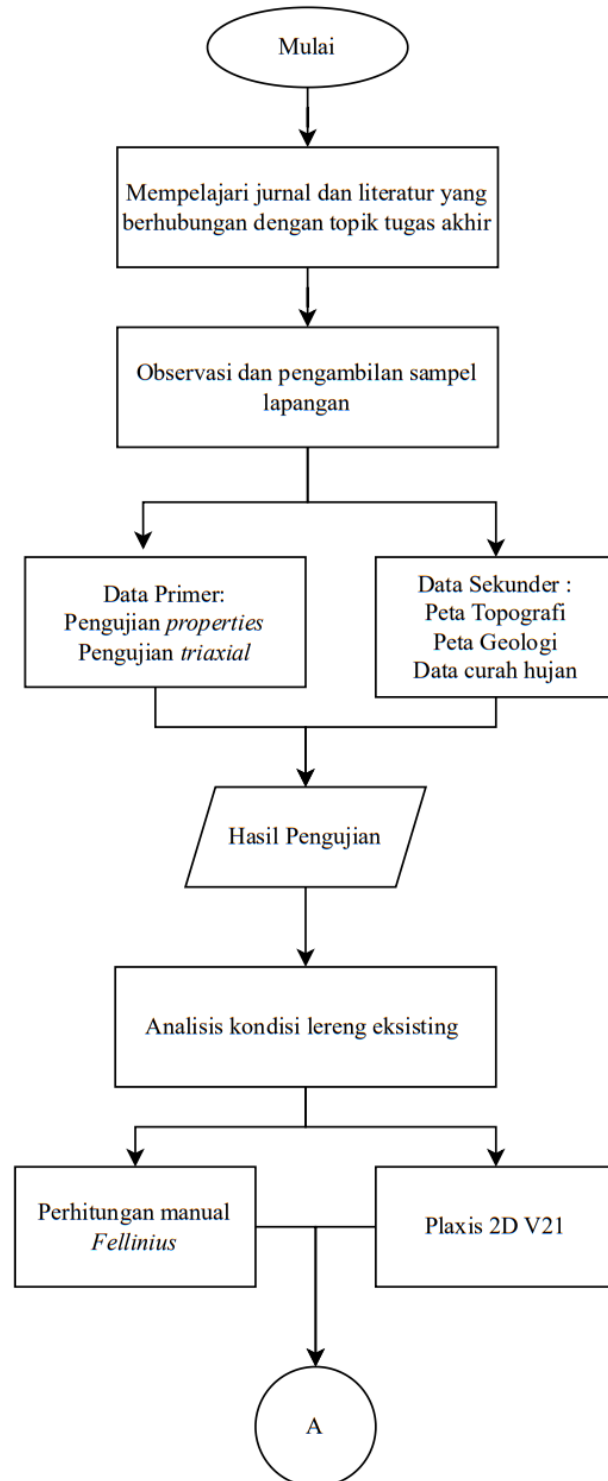
Gambar 4.1 Lokasi Penelitian Desa Wargasari

(Sumber: *Google Earth*, 2025)

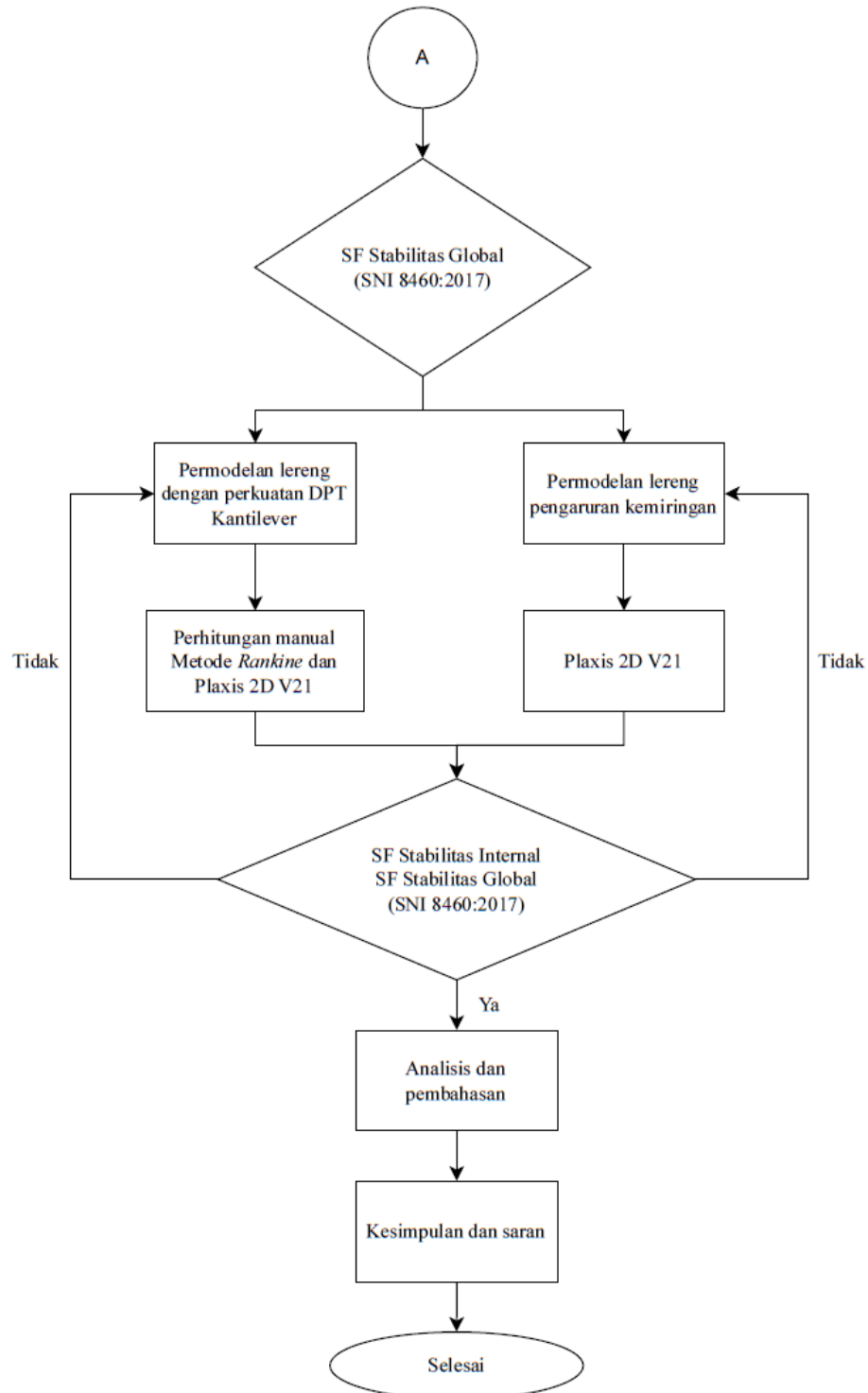
4.3 Alur Penelitian

Alur penelitian ini diawali dengan mempelajari jurnal dan literatur yang berhubungan dengan topik tugas akhir. Kemudian dilanjutkan dengan observasi dan pengambilan sampel tanah yang berada di Desa Wargasari, Kabupaten Cianjur. Kemudian dilakukan pengumpulan data yang meliputi data primer dan sekunder. Data primer berasal dari uji laboratorium terhadap sampel tanah seperti uji properties tanah dan uji triaksial. Data sekunder terdiri dari peta topografi, peta geologi, dan data curah hujan. Berdasarkan hasil pengujian tersebut, dilakukan analisis terhadap kondisi awal lereng. Proses analisis ini dilakukan menggunakan dua pendekatan, yakni metode manual dengan metode *Fellinius* dan menggunakan PLAXIS 2D V21. Nilai *safety factor* yang diperoleh kemudian dievaluasi berdasarkan ketentuan yang tercantum dalam SNI 8460:2017, baik untuk stabilitas internal maupun global. Apabila hasil perhitungan belum memenuhi batas minimum yang disyaratkan dalam standar tersebut, maka dilakukan simulasi ulang dengan menambahkan sistem perkuatan berupa dinding penahan tanah (DPT) tipe kantilever. Setelah itu, analisis dilakukan kembali dengan metode manual dan PLAXIS 2D V21 untuk memperoleh nilai SF terbaru. Langkah ini diulangi hingga diperoleh hasil yang sesuai standar. Tahap akhir dari proses ini adalah analisis

keseluruhan dan penyusunan kesimpulan serta saran. Alur penelitian digambarkan dalam bagan alir pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Bagan Alir Penelitian



Gambar 4.3 Lanjutan Bagan Alir Penelitian

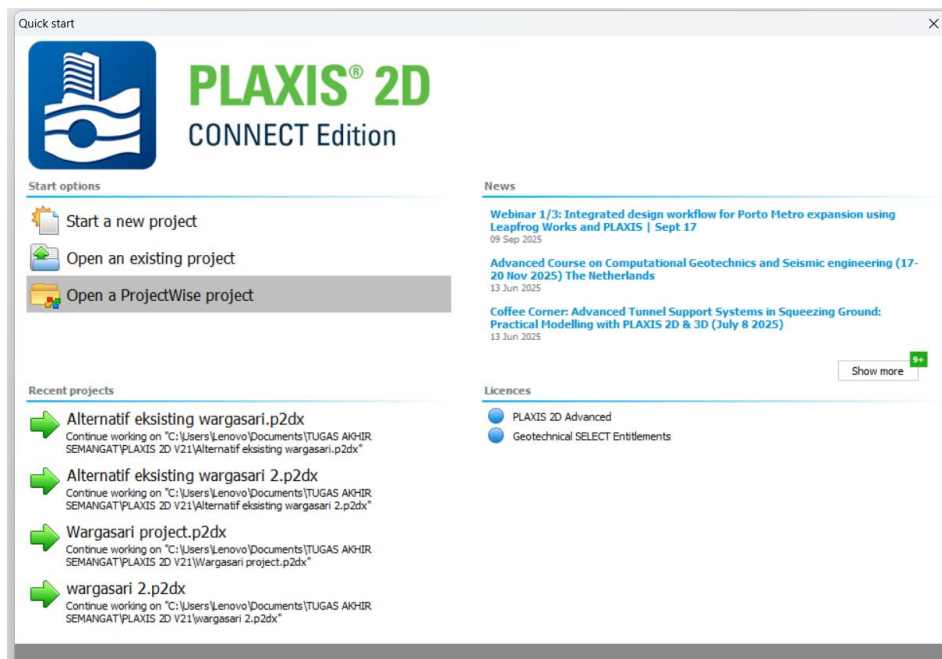
4.4 Alur Pengoperasian PLAXIS 2D V21

Analisis yang digunakan pada penelitian ini menggunakan program PLAXIS 2D V21. Berikut merupakan tahapan dalam pengoperasian PLAXIS 2D V21.

4.4.1 PLAXIS 2D V21 *input*

1. Buka program PLAXIS 2D V21

Penggunaan aplikasi PLAXIS 2D V21 diawali dengan mengklik dua kali pada ikon PLAXIS 2D V21. Setelah itu akan muncul kotak dialog *quick start* berisi pilihan untuk memulai proyek baru atau membuka proyek yang sudah ada. Langkah selanjutnya adalah memilih opsi *new project* untuk memulai proyek baru, seperti diperlihatkan pada Gambar 4.3.

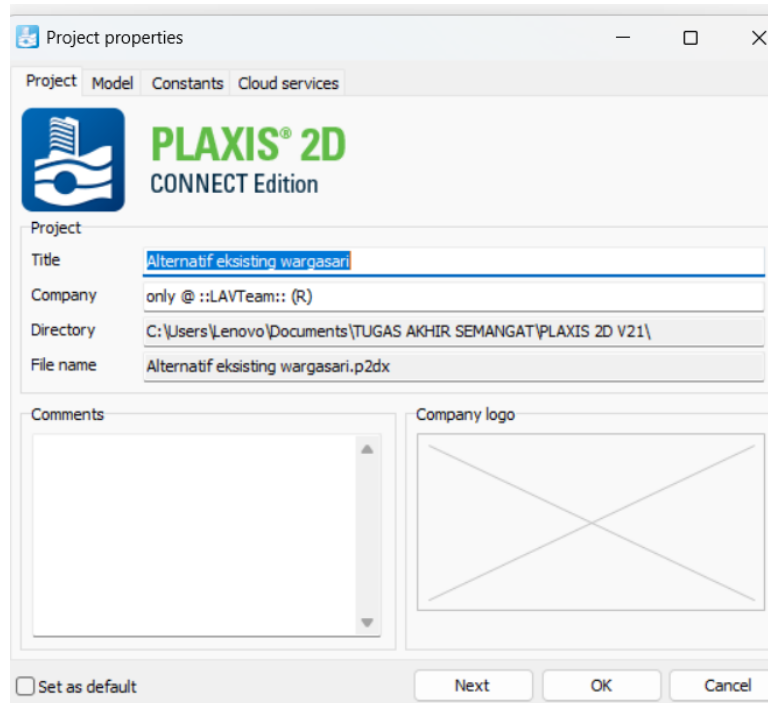


Gambar 4.4 Kotak dialog *Quick Start*

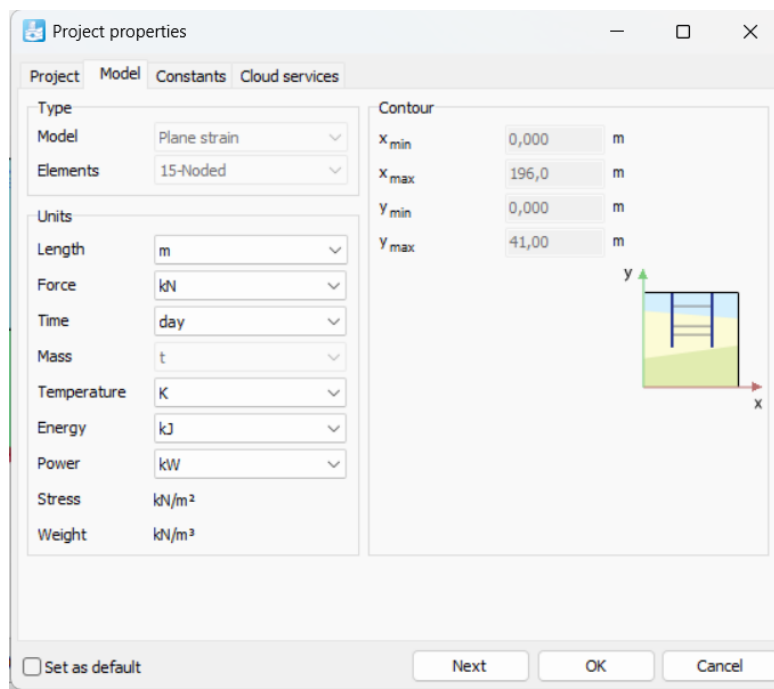
2. *Project Properties*

Terdapat tiga tab pada *project properties*, yaitu *project*, *model*, dan *constants*. Pada tab *project*, masukkan nama proyek yang akan dimodelkan. Selanjutnya, pada tab *model* pilih jenis analisis *plane strain* dan elemen *15-noded* untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat. Pada menu *contour*, tentukan batas area yang akan dimodelkan. Kemudian, pada tab *constants*, atur satuan pada kolom *units* sebagai acuan dalam proses input parameter lereng. Tahap tab

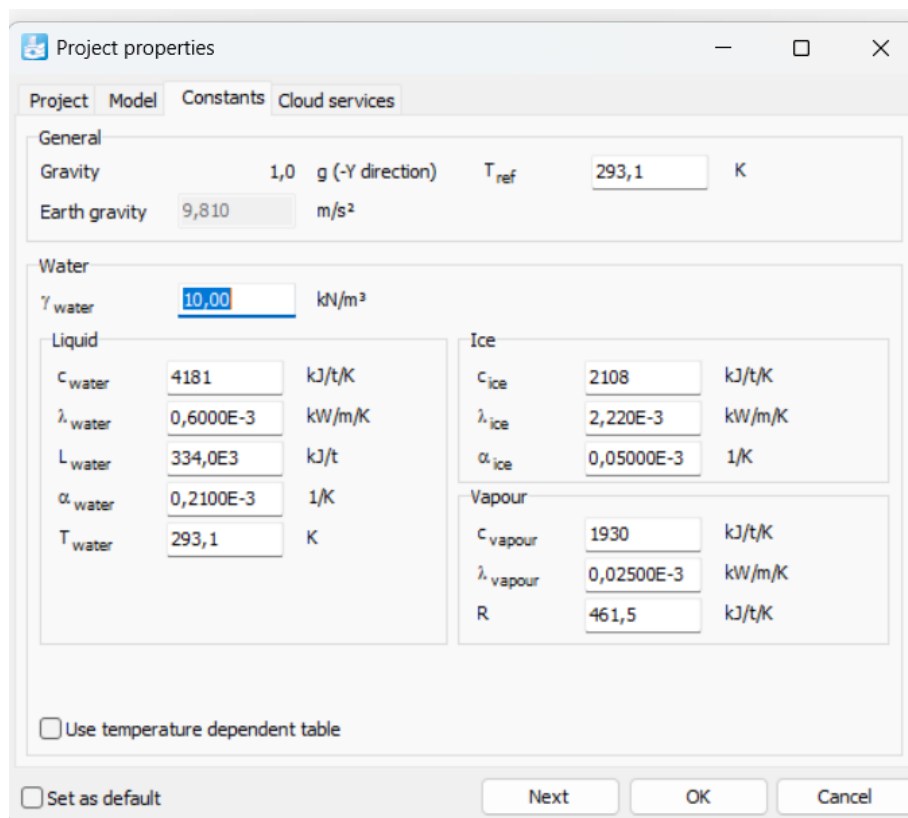
project, *model*, dan *constant* dapat dilihat pada Gambar 4.3, 4.4, dan 4.5 berikut.



Gambar 4.5 Project Properties Tab Project



Gambar 4.6 Project Properties Tab Model

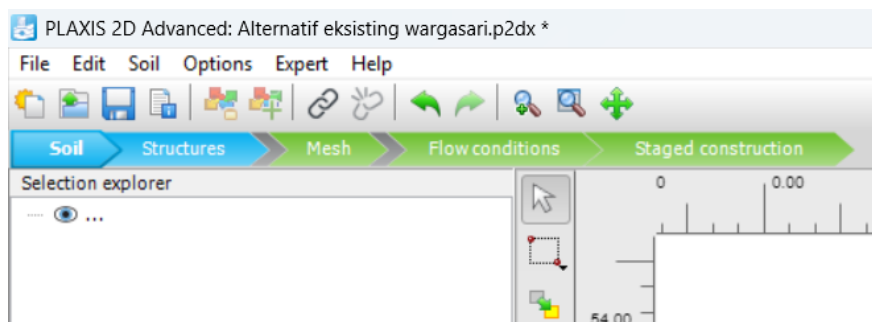


Gambar 4.7 Project Properties Tab Constants

3. Input parameter material

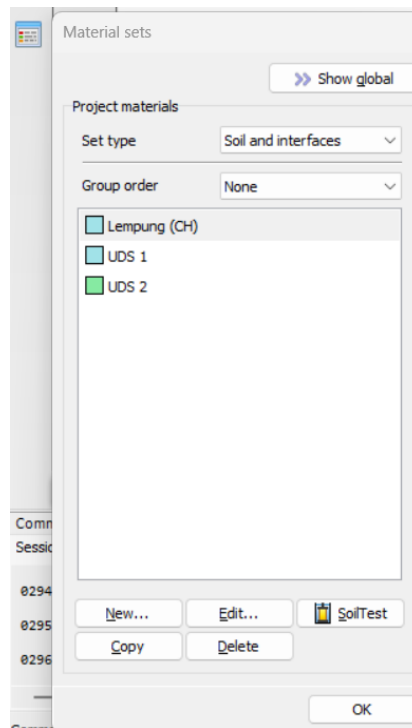
Pada tahap ini, data material dimasukkan melalui opsi *material sets*. Opsi ini dapat menentukan karakteristik fisik dan mekanik dari setiap material yang digunakan dalam model. Adapun langkah-langkah dalam proses input material adalah sebagai berikut:

- a. Pilih opsi *soil* pada tab yang tersedia. Tahap ini ditunjukkan pada Gambar 4.7 sebagai berikut.



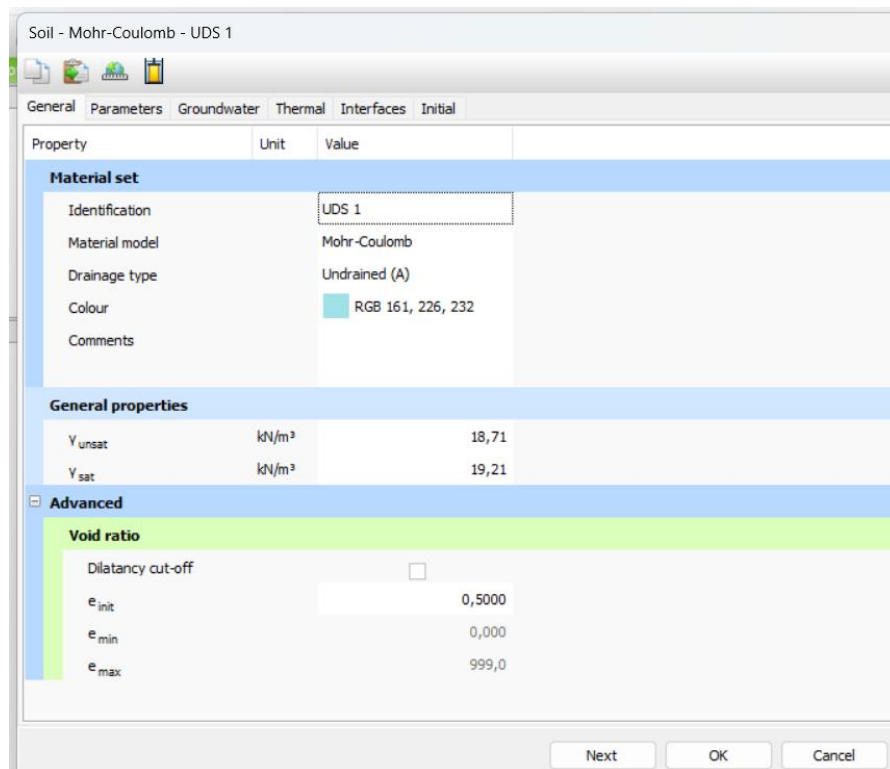
Gambar 4.8 Tab Soil

- b. Memilih opsi *material sets*. Opsi material sets digunakan untuk mengatur dan memasukkan properti material yang akan digunakan dalam pemodelan, baik untuk tanah, struktur, maupun elemen pendukung. Tahap ini ditunjukkan pada Gambar 4.8 berikut.



Gambar 4.9 Material Sets

- c. Pada tab *general*, terdapat kotak *identification* yang berfungsi untuk memberi nama pada material yang akan digunakan. Dalam penelitian ini, pada bagian material model dipilih tipe *mohr-coulomb*, dengan *drainage type* diatur menjadi *undrained A*. Setelah itu, data dimasukkan pada bagian *general properties* dan *advance*. Tahap ini ditunjukkan pada Gambar 4.9 sebagai berikut.



Gambar 4.10 Tab General

- d. Pada tab *parameters*, nilai-nilai diisi sesuai dengan data hasil pengujian yang tersedia pada menu *stiffness* dan *strenght*. Tahap ini ditunjukkan pada Gambar 4.10 sebagai berikut.

Soil - Mohr-Coulomb - UDS 1

General Parameters Groundwater Thermal Interfaces Initial

Property	Unit	Value
Stiffness		
E'	kN/m ²	6000
ν' (nu)		0,2500
Alternatives		
G	kN/m ²	2400
E_{oed}	kN/m ²	7200
Strength		
C'_{ref}	kN/m ²	16,67
ϕ' (phi)	°	23,45
ψ (psi)	°	0,000
Advanced		
Set to default values <input checked="" type="checkbox"/>		
Stiffness		
E'_{inc}	kN/m ² /m	0,000
Y_{ref}	m	0,000
Strength		
C'_{inc}	kN/m ² /m	0,000
Y_{ref}	m	0,000
Tension cut-off		<input checked="" type="checkbox"/>
Tensile strength	kN/m ²	0,000
Undrained behaviour		
Undrained behaviour		Standard
Skempton-B		0,9833
V_u		0,4950

Next OK Cancel

Gambar 4.11 Tab *Parameters*

e. Selanjutnya, pada tab *groundwater*, dilakukan pengisian nilai pada kolom *flow parameters*. Tahap ini ditunjukkan pada Gambar 4.12 sebagai berikut.

Soil - Mohr-Coulomb - UDS 1

General Parameters Groundwater Thermal Interfaces Initial

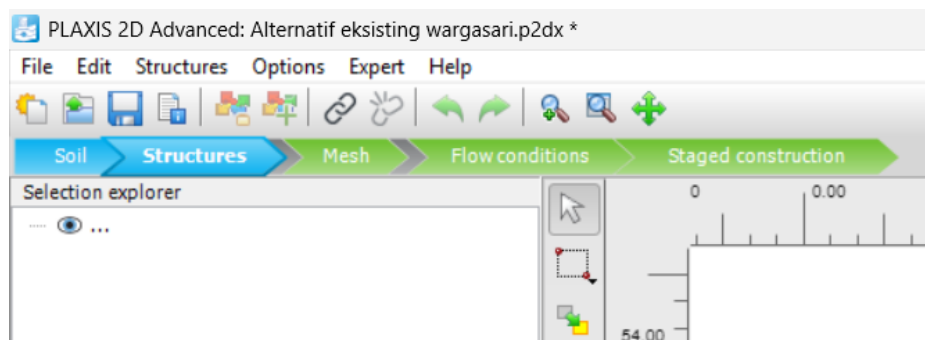
Property	Unit	Value
Model		
Data set		Standard
Soil		
Type		Fine
< 2 μ m	%	46,00
2 μ m - 50 μ m	%	26,00
50 μ m - 2 mm	%	28,00
Flow parameters		
Use defaults		From grain size distribution
k_x	m/day	0,7510E-3
k_y	m/day	0,7510E-3
$-V_{unsat}$	m	10,00E3
e_{init}		0,5000
S_s	1/m	0,04252E-3
Change of permeability		
c_k		1000E12

Soil Graphs

Next OK Cancel

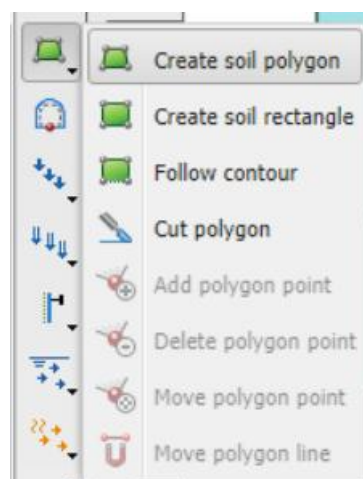
Gambar 4.12 Tab *Groundwater*

- f. Dalam penelitian ini, proses pengisian data material hanya dilakukan sampai pada tab *groundwater*. Setelah seluruh data dimasukkan, pilih OK untuk menyimpan material tersebut.
- g. Material tanah yang telah dibuat kemudian akan dimasukkan ke dalam model geometri tanah yang akan dimodelkan.
4. Pemodelan geometri
- Tahapan dalam pembuatan model geometri adalah sebagai berikut:
- a. Pilih opsi *structure* pada tab yang tersedia. Tahap ini ditunjukkan pada Gambar 4.12 sebagai berikut.



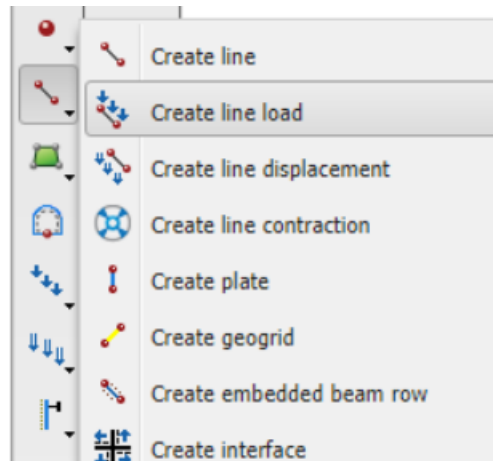
Gambar 4.13 Tab Structure

- b. Buat gambar geometri menggunakan fitur *create soil polygon* sesuai dengan koordinat yang telah ditentukan. Fitur *create soil polygon* dapat dilihat pada gambar 4.14 sebagai berikut.



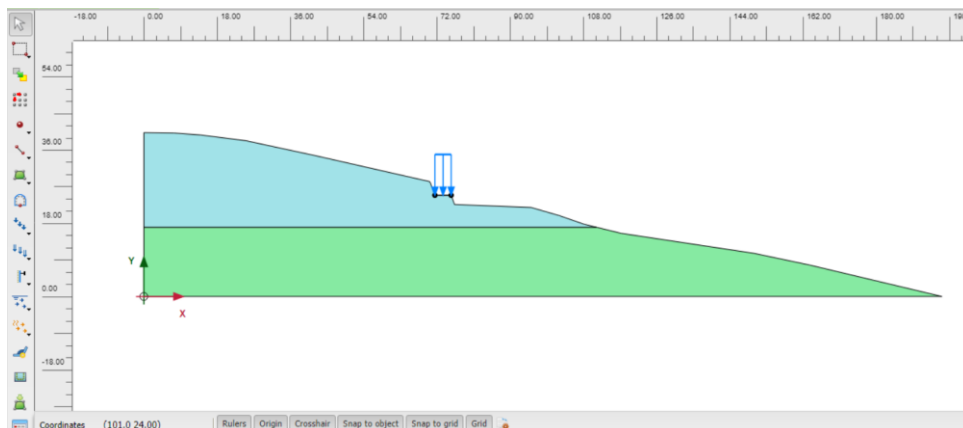
Gambar 4.14 Fitur Create Soil Polygon

- c. Penambahan beban merata pada geometri tanah yang sudah dibuat dilakukan dengan memilih opsi *create line load*, kemudian menentukan titik awal dan titik akhir pada bagian geometri yang akan diberi beban. Setelah itu, klik kanan mouse untuk mengakhiri proses ini. Tahapan ini dapat dilihat pada Gambar 4.14 berikut.



Gambar 4.15 Fitur *Create Line Load*

- d. Modelkan bentuk potongan tanah sesuai data topografi tanah. Berikut adalah contoh pemodelan tanah eksisting yang dapat dilihat pada Gambar 4.15.

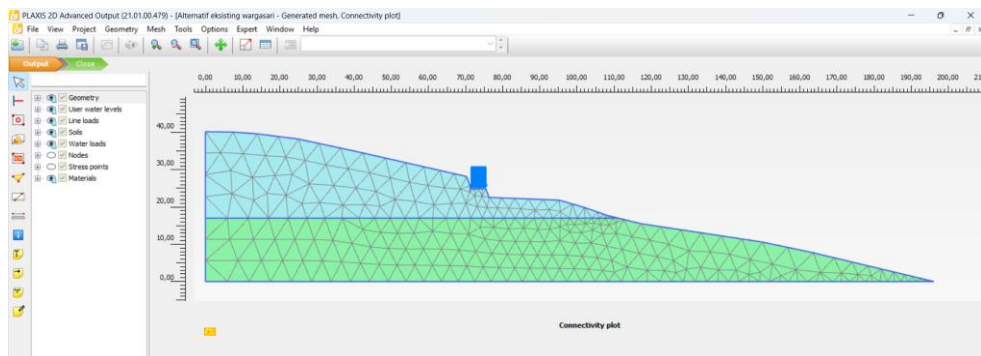


Gambar 4.16 Hasil Pemodelan *Structures*

5. *Mesh Generate*

Setelah selesai melakukan pemodelan pada opsi *structure*, langkah selanjutnya adalah memilih opsi *mesh*. Kemudian, pilih fitur generate mesh

dan tentukan tingkat element distribution yang tersedia mulai dari *very coarse* hingga *very fine*. Fitur *generate mesh* berfungsi untuk membagi model menjadi elemen-elemen kecil agar proses analisis numerik dapat dilakukan secara lebih akurat. Setelah proses *generate mesh* dilakukan, hasilnya akan muncul pada program PLAXIS 2D *output*. Tampilan hasil dari tahap ini dapat dilihat pada Gambar 4.16 berikut.

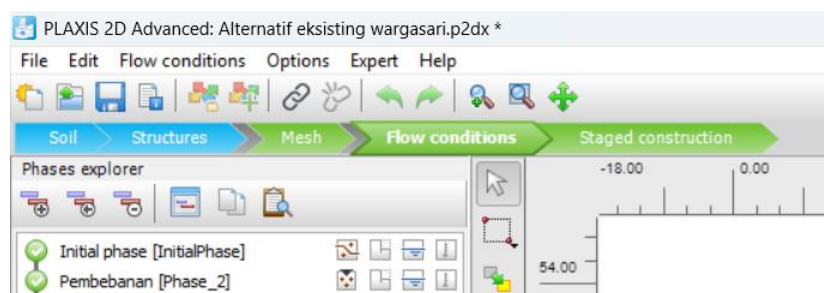


Gambar 4.17 Hasil Mesh Generate

6. *Flow Condition*

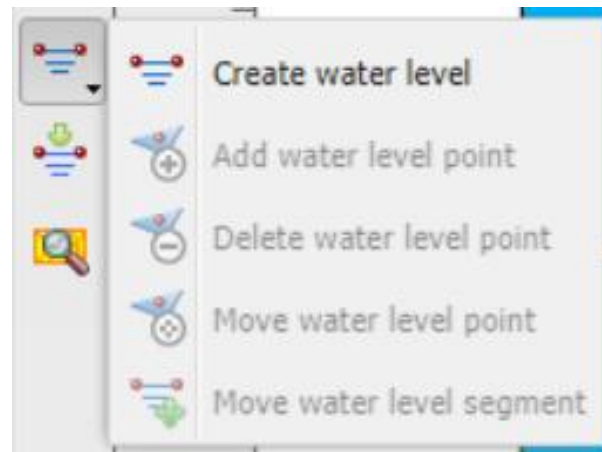
Fitur *flow condition* berfungsi untuk memodelkan batas muka air pada tanah. Pada penelitian ini, diasumsikan muka air tanah yaitu 1 meter dari permukaan tanah. Berikut adalah tahapan dari fitur *flow condition*.

- a. Pilih opsi *flow condition* pada tab yang tersedia. Tahap ini ditunjukkan pada Gambar 4.17 sebagai berikut.



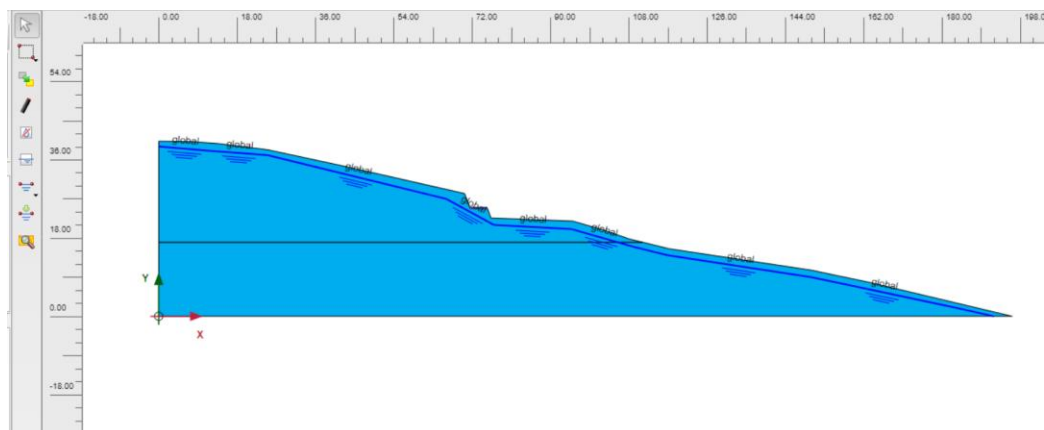
Gambar 4.18 Tab Flow Condition

- b. Pilih ikon *create water level* pada toolbar di sisi kiri layar. Tahapan ini dapat dilihat pada Gambar 4.17.



Gambar 4.19 Create Water Level

- c. Klik pada titik awal di permukaan tanah tempat muka air akan dimulai. Geser kursor ke bawah sejauh 1 meter dari permukaan tanah, lalu klik untuk menetapkan posisi muka air tanah. Setelah garis muka air tanah selesai dibuat, klik kanan dan pilih finish untuk mengakhiri proses. Berikut merupakan hasil modeling muka air tanah yang dapat dilihat pada Gambar 4.19.



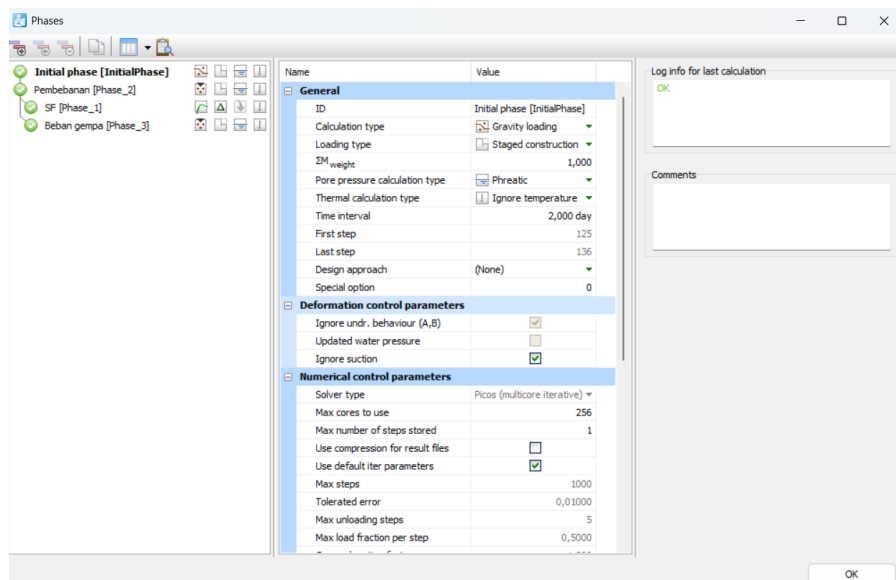
Gambar 4.20 Hasil Modelling Fitur Flow Condition

4.4.2 PLAXIS calculation

Pada tahap PLAXIS calculation bisa menggunakan fitur pada tab *staged construction*. Tahap ini digunakan untuk mensimulasikan urutan pelaksanaan konstruksi sesuai dengan kondisi di lapangan. Proses ini terdiri dari beberapa tahap utama, yaitu:

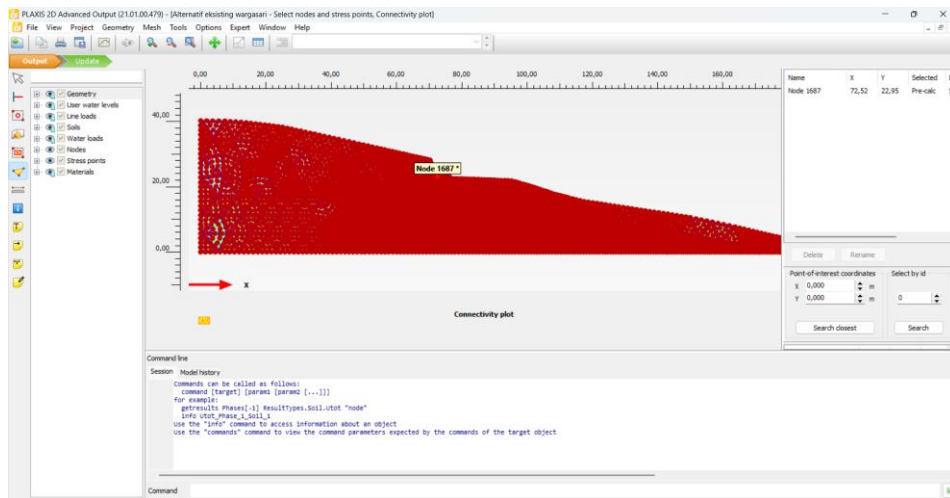
- a. *Initial phase*: menentukan kondisi awal tanah, termasuk tegangan awal dan muka air tanah.
- b. Pembebanan: memberikan beban eksternal seperti beban merata, struktur, atau timbunan untuk melihat respon tanah.
- c. *Safety factor*: menghitung tingkat kestabilan lereng untuk memperoleh nilai faktor keamanan.
- d. Beban gempa: mensimulasikan pengaruh gaya dinamis akibat gempa melalui input percepatan (PGA) untuk melihat perubahan deformasi dan stabilitas lereng.

Tahap ini bisa dilihat pada Gambar 4.20 sebagai berikut.



Gambar 4.21 Menu *Phases* Pada *Staged Construction*

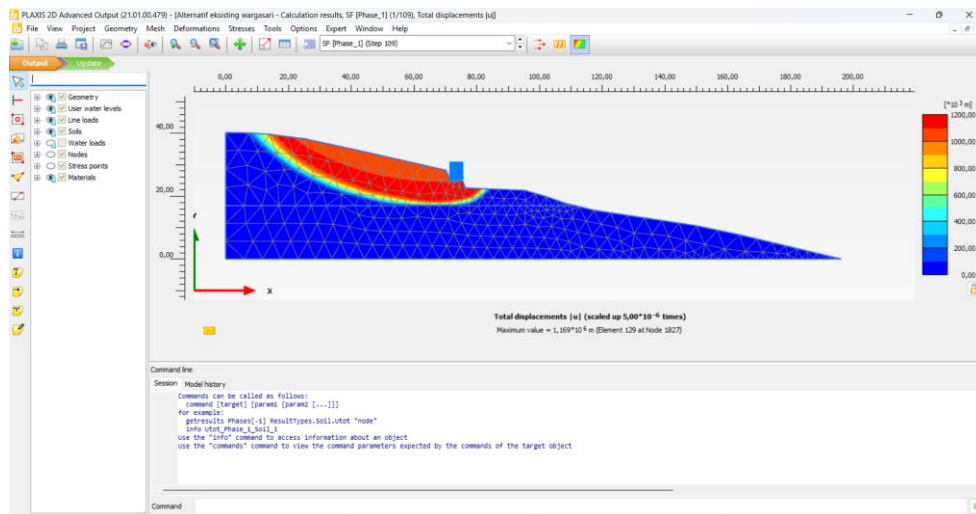
Langkah selanjutnya adalah menentukan titik-titik yang akan ditinjau untuk menghasilkan grafik kurva. Pilih opsi *Select point for curve* seperti terlihat pada Gambar 4.13, kemudian klik pada lokasi-lokasi pada model yang ingin dianalisis untuk mengekstrak nilai variabel sepanjang waktu atau tahapan (*stages*).



Gambar 4.22 Menu *Select Point for Curve* Pada *Staged Construction*

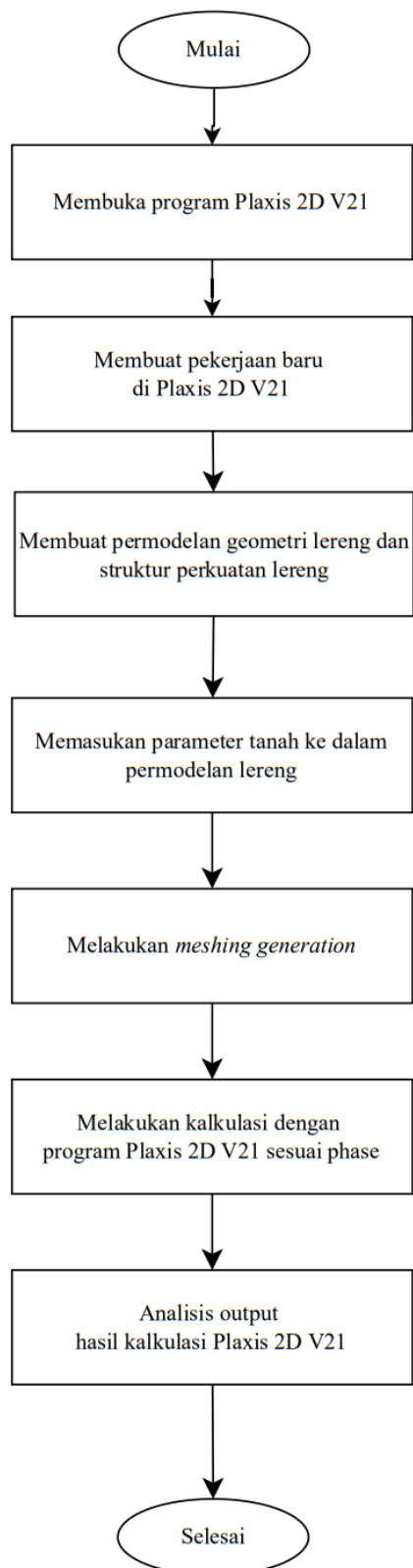
4.4.3 PLAXIS Output

Setelah tahap *staged construction*, maka bisa dilakukan proses rendering dengan memilih opsi *calculate*. Hasil kalkulasi dapat dilihat pada menu *view calculation result*. Hasil *output* dapat dilihat pada Gambar 4.14 berikut.



Gambar 4.23 Hasil *Calculation Result*

Berikut merupakan bagan alir analisis PLAXIS 2D V21 yang dapat dilihat pada Gambar 4.23 sebagai berikut.



Gambar 4.24 Bagan Alir Penelitian

4.5 Pengolahan Data

Pengolahan data menggunakan data sekunder. Adapun data tanah eksisting yang digunakan dalam analisis sebagai berikut.

1. Uji laboratorium tanah
 - a. Pengujian *properties* tanah
 - b. Pengujian gradasi
 - c. Pengujian limit Atterberg
 - d. Pengujian triaksial
2. Peta Topografi
3. Data curah hujan
4. Data beban gempa

BAB V

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

5.1 Hasil Penelitian

5.1.1 Data Hasil Pengujian Laboratorium

Data primer yang digunakan mencakup data properties tanah, analisis saringan (distribusi ukuran butir), dan batas-batas konsistensi dilakukan dengan menggunakan sampel tanah terganggu (*Disturbed Sample/DS*). Sementara itu, pengujian triaksial dilakukan dengan menggunakan sampel tanah tidak terganggu (*Undisturbed Sample/UDS*) untuk memperoleh parameter kekuatan geser tanah yang lebih akurat. Berikut merupakan hasil pengujian laboratorium *disturbed sample* yang dapat dilihat pada Tabel 5.1. Hasil pengujian laboratorium *undisturbed sample* dapat dilihat pada tabel 5.2.

Tabel 5.1 Hasil Pengujian Laboratorium *Disturbed Sample*

	Parameter Uji	Satuan	Wargasari DS 1
Soil Properties	Kadar air (<i>Natural Water Content, w</i>)	%	24,23
	Berat Jenis Tanah (<i>Specific Gravity of Soil, G_s</i>)		2,660
	Berat volume tanah kering (<i>dry dencity, g_a</i>)	gr/cm ³	1,551
	Berat volume tanah basah (<i>wet dencity, g_b</i>)	gr/cm ³	1,907
	Angka Pori (<i>Void ratio, e</i>)		0,741
	Porositas	%	42,284
	Derajad kejenuhan (degree of Saturated,S)	%	0,82
Grain size analysis	Kandungan Krikil (<i>Gravel part</i>)	%	0,00
	Kandungan Pasir (<i>Sand part</i>)	%	6,66
	Kandungan Lanau (<i>Silt part</i>)	%	87,51
	Kandungan Lempung (<i>Clay part</i>)	%	5,83

Lanjutan Tabel 5.1 Hasil Pengujian Laboratorium *Distrubed Sample*

	D10 (mm)	mm	0,05
	D30 (mm)	mm	0,05
	D60 (mm)	mm	0,30
	koefisien keseragaman, Cu		6,12
	koefisien gradasi, Cc		0,19
	Passing #200	%	47,72
Consistency	Batas cair (<i>liquid limit, LL</i>)	%	53,70
	Batas plastis (<i>plastic limit, PL</i>)	%	28,08
	Indek plastis (<i>plasticity index, PI</i>)	%	25,62
	Batas Susut (<i>Srinkage limit, SL</i>)	%	0,39

Tabel 5.2 Hasil Pengujian Laboratorium *Undistrubed Sample*

	Parameter Uji	Satuan	Wargasari UDS 1	Wargasari UDS 2
Triaxial UU	Sudut Geser Dalam, ϕ	$^{\circ}$	23,45	11,75
	Kohesi, c, kg/cm ²	kg/cm ²	0,17	0,42

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

Divisi Utama	Simbol Kelompok	Nama Jenis	Nama Jenis
Tanah berbutir kasar 50% butiran tertahan saringan no. 200 (0.075 mm)	Kerikil bersih (sedikit atau tak ada butiran halus)	GW	Kerikil gradasi baik dan campuran pasir-kerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus
		GP	Kerikil gradasi buruk dan campuran pasir-kerikil atau tidak mengandung butiran halus
	Kerikil banyak kandungan butiran halus	GM	Kerikil berlanau, campuran kerikil-pasir-lempung
		GC	Kerikil berlempung, campuran kerikil-pasir-lempung
	Pasir lebih dari 50% atau lebih kasar dari saringan no. 4 (4.75mm)	SW	Pasir gradasi baik, pasir berkerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus.
		SP	Pasir gradasi buruk, pasir kerikil, 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 batuan 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 diatomae, lanau elastis
CH		Lempung tak organik dengan plastisitas tinggi, lempung gemuk ('fat clays')	
Tanah dengan kadar organik tinggi	OH	OH	Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai tinggi
		P _i	Gambut ('peat') dan tanah lain dengan kandungan organik tinggi.

Klasifikasi berdasarkan Prosentase butiran halus, kurang dari 5% lolos saringan no. 200 GW, GP, GM, GC, SW, SP, SM, SC, dan SH. Batas-batas kelas-kelas yang mempunyai simbol.

Klasifikasi berdasarkan Prosentase butiran halus, kurang dari 5% lolos saringan no. 200 GW, GP, GM, GC, SW, SP, SM, SC, dan SH. Batas-batas kelas-kelas yang mempunyai simbol.

$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4$ $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ antara 1 dan 3
 Tidak memenuhi kedua kriteria untuk GW
 Batas-batas Atterberg di bawah garis A atau $P_L < 4$
 Batas-batas Atterberg di atas garis A atau $P_L > 7$
 $C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4$ $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ antara 1 dan 3
 Tidak memenuhi kedua kriteria untuk SW
 Batas-batas Atterberg di bawah garis A atau $P_L < 4$
 Batas-batas Atterberg di atas garis A atau $P_L > 7$
 Bila batas Atterberg berada di daerah arsur dari diagram plastisitas, maka dipakai simbol

Diagram plastisitas:
Untuk mengklasifikasi kadar butiran halus yang terkandung dalam tanah berbutir halus dan tanah berbutir kasar. Batas Atterberg yang termasuk dalam daerah yang diarsir berarti batasan klasifikasinya menggunakan dua simbol.

Batas Cair (LL) (%)
Garis A: $P_L = 0.73(LL - 20)$

Manual untuk identifikasi secara visual dapat dilihat di ASTM Designation D-2486

Gambar 5.1 Hasil Klasifikasi Tanah USCS

Selain klasifikasi berdasarkan sistem USCS, identifikasi jenis tanah juga dilakukan menggunakan sistem klasifikasi AASHTO, dengan mempertimbangkan nilai *Group Index* (GI) sebagai parameter penunjang. Berdasarkan perhitungan nilai GI dan klasifikasi tanah berdasarkan AASHTO ditunjukkan pada Tabel 5.3 berikut.

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

$$GI = (47,72-35) [0,2+0,005(53,08-40)] + 0,01 (47,72-15) (25,02-10)$$

$$= 8,29$$

Tabel 5.3 Sistem Klasifikasi AASHTO

Uraian	Material Granuler (<35% lolos saringan no.200)							Material Granuler (>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				A-7-5/A-7-6
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	35maks	35 maks	35maks	36 min	36 min	36 min	36 min
Sifat fraksi lolos saringan no. 40											
Batas cair (LL)	-	-	-	40 maks	41 min	40 mkas	41 min	40 maks	41 min	40 maks	41 min
Indeks plastis (PI)	6 maks		Np	10 maks	10 maks	11min	11 min	10 maks	10 maks	11 min	11 min
Indeks Kelompok (GI)	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			

Catatan:

Kelompok A-7 dibagi atas A-7-5 dan A-7-6 bergantung pada batas plastisnya (PL)

Untuk $PL > 30$, klasifikasinya A-7-5

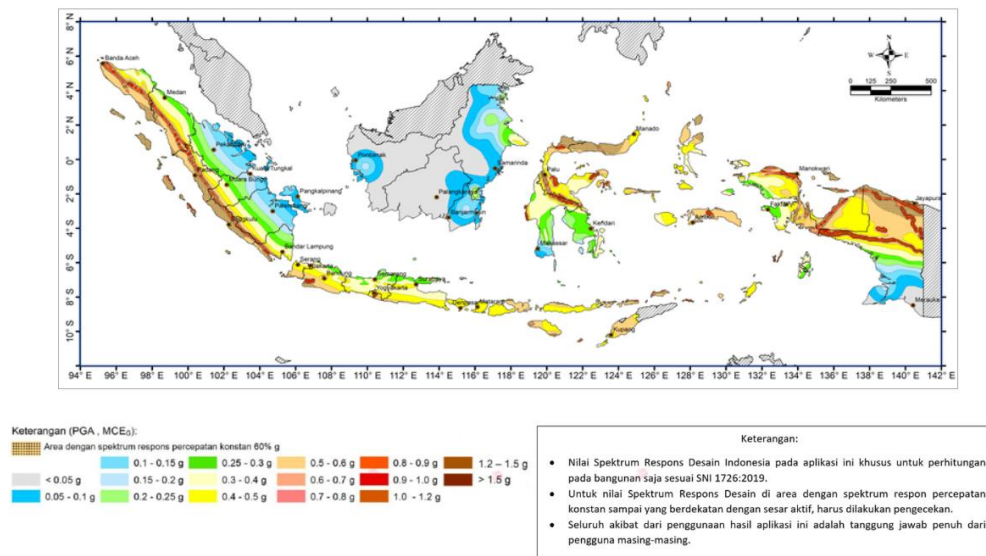
Untuk $PL < 30$, klasifikasinya A-7-6

Np : Non plastis

Klasifikasi berdasarkan sistem AASHTO menunjukkan bahwa tanah ini termasuk dalam kelompok A-7-6, dengan nilai *group index (GI)* sebesar 8, yang dihitung menggunakan parameter LL, PI, dan persen lolos No. 200. Klasifikasi ini mengindikasikan bahwa tanah tergolong lempung plastis tinggi dengan kualitas sebagai lapisan tanah dasar (subgrade) yang rendah hingga sedang.

5.1.2 Data Beban Gempa

Data beban gempa diperhitungkan karena lokasi penelitian berada di wilayah yang tergolong rawan gempa, yaitu Kabupaten Cianjur, Jawa Barat. Beban gempa dimasukkan dalam analisis menggunakan perangkat lunak PLAXIS 2D V21 dan dikategorikan sebagai analisis dinamis, karena melibatkan percepatan, interval waktu, dan bersifat tidak konstan. Nilai percepatan gempa untuk wilayah Cianjur merujuk pada SNI 1726:2012, dengan percepatan sebesar 0,5-0.6 g. Zonasi seismik Indonesia yang memuat informasi ini dapat dilihat pada Gambar 5.2.



Gambar 5.2 Peta Zonasi Gempa Indonesia PGA

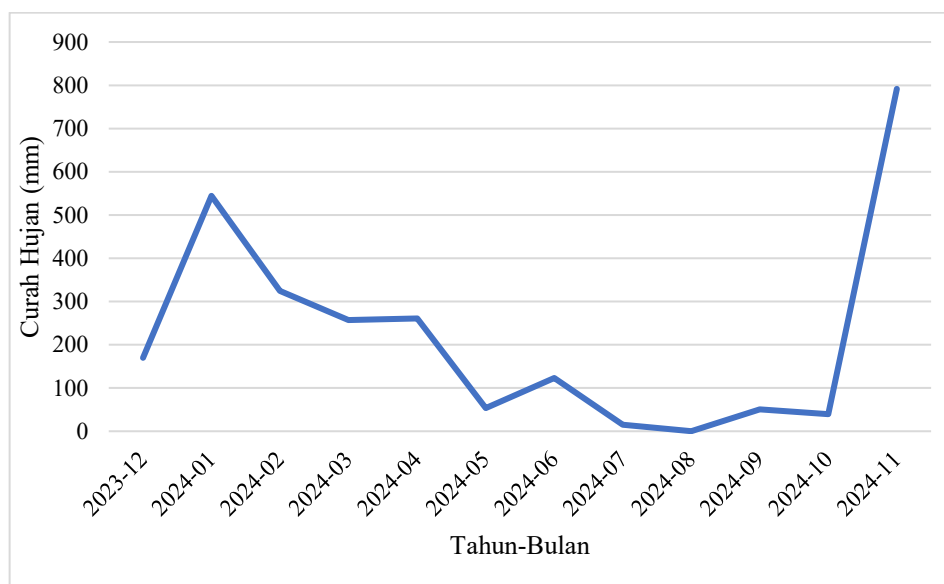
(Sumber: SNI 1726:2012)

5.1.3 Data Curah Hujan

Data curah hujan yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari web JAXA *Global Rainfall Watch*, yaitu sistem pemantauan curah hujan global yang dikembangkan oleh *Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA)*. Sistem ini

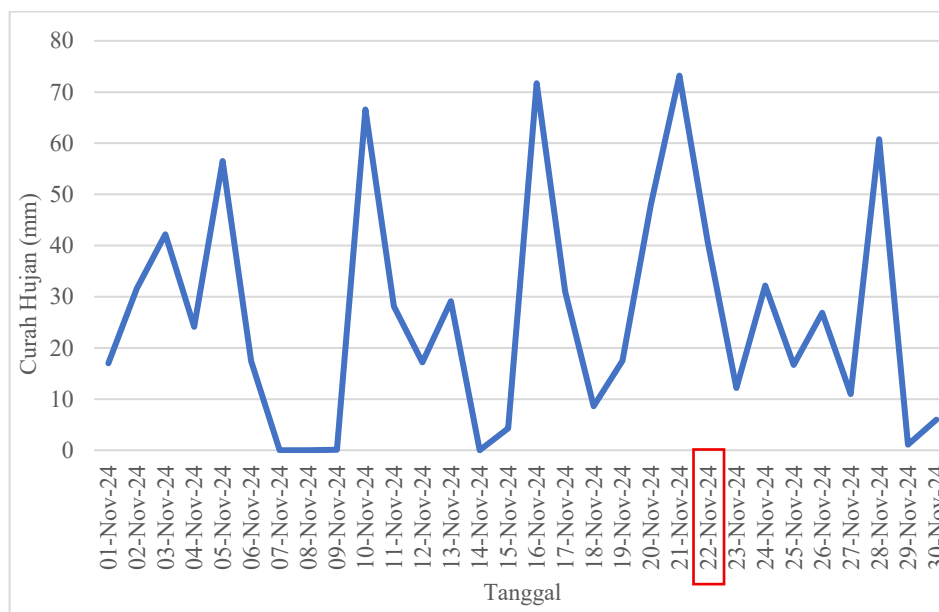
menyediakan informasi curah hujan berbasis satelit secara *real-time* maupun historis dengan cakupan global, termasuk wilayah Indonesia. Data yang tersedia merupakan hasil pengolahan dari *satellite-based precipitation* radar melalui proyek *Global Satellite Mapping of Precipitation (GSMaP)*.

Dalam konteks penelitian ini, data curah hujan digunakan untuk mengetahui curah hujan per hari di Desa Wargasari, Kabupaten Cianjur, Jawa Barat, khususnya menjelang kejadian longsor yang terjadi pada tanggal 22 November 2024. Untuk itu, data curah hujan diambil selama satu tahun sebelumnya, yaitu dari November 2023 hingga November 2024. Berikut merupakan grafik curah hujan selam 1 tahun yang dapat dilihat pada Gambar 5.3.



Gambar 5.3 Data Curah Hujan 1 Tahun (2023-2024)

Pada bulan November 2024 terjadi lonjakan curah hujan yang sangat signifikan dibandingkan dengan bulan-bulan sebelumnya. Berdasarkan grafik, curah hujan mencapai nilai tertinggi dalam periode satu tahun terakhir (November 2023 – November 2024), dengan akumulasi mendekati 800 mm. Untuk lebih detail curah hujan pada bulan November 2024 dapat dilihat pada Gambar 5.4.



Gambar 5.4 Curah Hujan Bulan November 2024

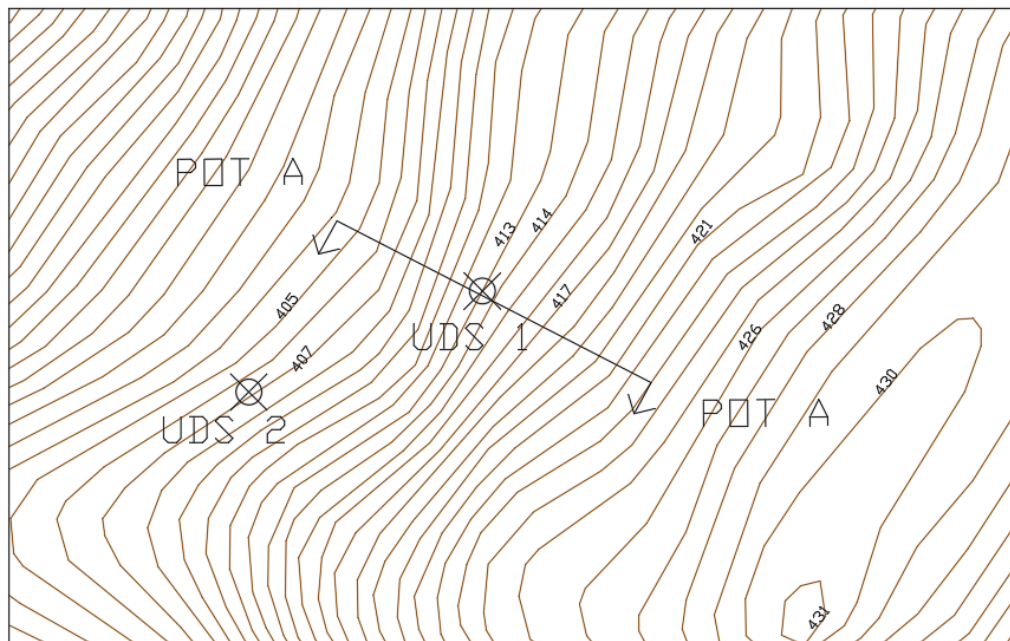
Pada bulan November 2024, curah hujan di Desa Wargasari menunjukkan peningkatan yang sangat signifikan, baik dari segi intensitas maupun frekuensi hujan. Berdasarkan grafik data harian, terlihat bahwa hampir setiap hari terjadi hujan dengan intensitas yang bervariasi. Terdapat beberapa hari dengan curah hujan sangat tinggi, yaitu di atas 50 mm per hari, yang terjadi pada tanggal 6, 11, 17, 21, dan 25 November 2024. Pola hujan selama bulan ini cenderung bersifat berulang dan terus-menerus, tanpa adanya jeda kering yang cukup panjang. Kondisi ini menyebabkan tanah mengalami kejenuhan secara bertahap, sehingga meningkatkan tekanan air pori dan mengurangi kekuatan geser tanah.

Berdasarkan data hujan di atas, pada penelitian ini dilakukan analisis stabilitas lereng dengan mempertimbangkan adanya kenaikan muka air tanah pada kedalaman 1m di bawah permukaan lereng. Kondisi ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh kenaikan muka air tanah akibat hujan atau dalam kondisi *worst case*.

5.1.4 Data Topografi

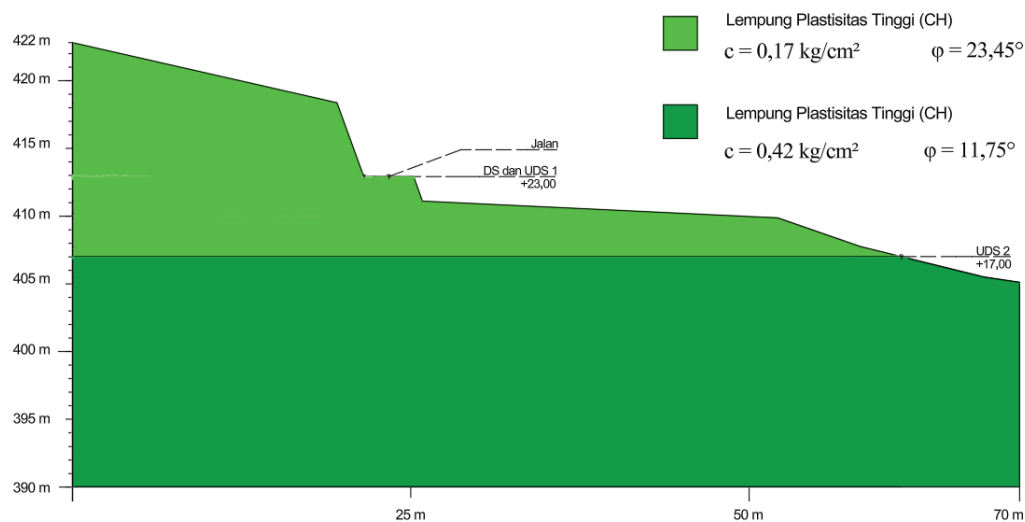
Data topografi merupakan informasi mengenai bentuk dan karakteristik permukaan bumi, terutama terkait elevasi atau ketinggian suatu lokasi terhadap

permukaan laut. Data ini mencerminkan kondisi kemiringan, ketinggian, dan morfologi lahan yang dapat mempengaruhi stabilitas lereng, drainase, serta perencanaan bangunan dan infrastruktur. Pada studi ini, data topografi diperoleh dari citra *Digital Elevation Model Nasional* (DEMNAS), yang merupakan data ketinggian resolusi tinggi milik Badan Informasi Geospasial (BIG) Indonesia. Data ini kemudian diolah menggunakan perangkat lunak *Global Mapper*, untuk mendapatkan ketinggian dan pembuatan model kontur secara otomatis. Berikut merupakan peta kontur pada titik longsor di Desa Wargasari yang dapat dilihat pada Gambar 5.5.



Gambar 5.5 Peta Kontur Titik Longsor Desa Wargasari

Untuk memperoleh gambaran visual kondisi kemiringan dan elevasi sepanjang lereng di lokasi studi, dilakukan analisis potongan melintang lereng (*cross section*) menggunakan fitur *Path Profile* pada perangkat lunak *Global Mapper*. Fitur ini memungkinkan penarikan garis lintasan (*path*) di atas peta kontur atau data DEM, yang kemudian secara otomatis menghasilkan grafik elevasi terhadap jarak horizontal. Berikut merupakan *Cross Section* yang dapat dilihat pada Gambar 5.6.



Gambar 5.6 Cross Section Potongan A

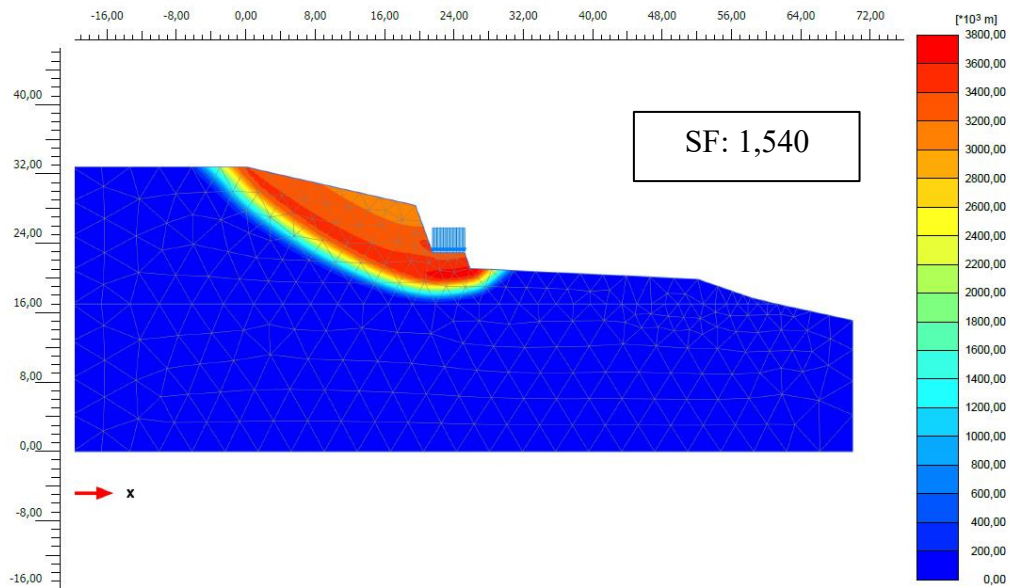
5.2 Analisis Lereng Eksisting

5.2.1 Analisis Stabilitas Global Lereng Eksisting

Analisis stabilitas global lereng eksisting dilakukan untuk mengetahui tingkat kestabilan lereng alami sebelum adanya pengaruh pengaturan kemiringan maupun perkuatan. Analisis ini bertujuan untuk memperoleh nilai *safety factor* dari kondisi awal lereng sebagai acuan dalam menentukan tingkat kerentanan terhadap potensi longsor. Lereng dianalisis pada 2 kondisi, yaitu kondisi kering dan kondisi dengan muka air tanah (MAT) berada 1 m di bawah permukaan lereng. Selanjutnya, pengaruh beban gempa dianalisis pada kondisi MAT -1 m untuk mengetahui perubahan *safety factor* lereng akibat kombinasi kenaikan muka air tanah dan gaya dinamis gempa. Analisis stabilitas lereng dihitung dengan cara komputasi menggunakan perangkat lunak PLAXIS 2D V21.

1. Analisis kondisi kering

Analisis pada kondisi kering dilakukan untuk menggambarkan stabilitas lereng saat tidak terdapat pengaruh air tanah maupun curah hujan. Stabilitas global lereng eksisting kondisi kering dapat dilihat pada Gambar 5.7 berikut.



Gambar 5.7 Stabilitas Global Eksisting Kondisi Kering

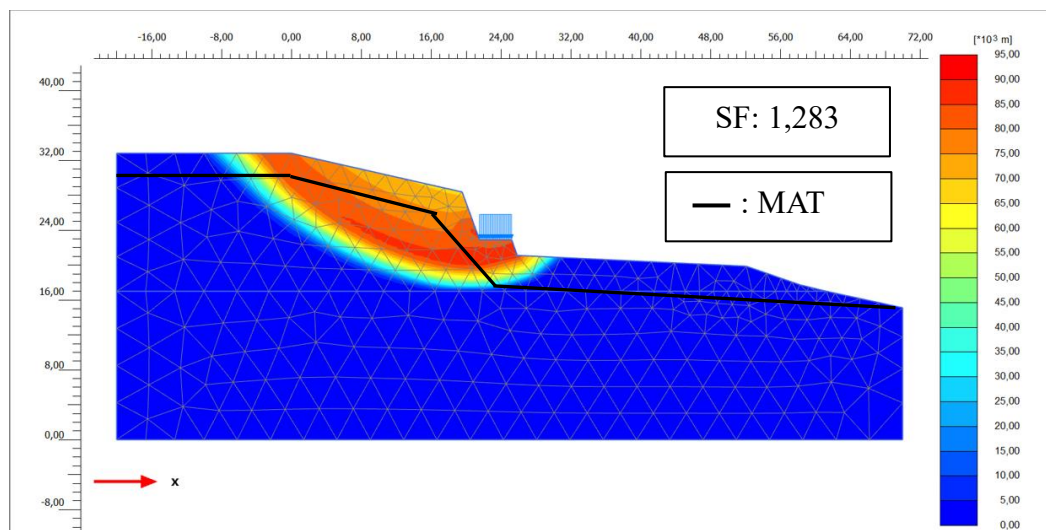
Dari hasil pemodelan lereng eksisting menggunakan PLAXIS 2D V21 pada kondisi kering, diperoleh nilai *safety factor* lereng. Melalui analisis tersebut, program PLAXIS 2D V21 secara otomatis akan menampilkan bidang gelincir paling kritis pada model yang telah dibuat. Nilai SF yang didapatkan sebesar 1,540. Nilai tersebut memiliki nilai SF lebih dari 1,5 sehingga lereng tersebut dikategorikan aman. Nilai SF dapat dilihat pada menu *phases* yang dapat dilihat pada Gambar 5.8 sebagai berikut.

Reached values	
Reached total time	2,000 day
CSP - Relative stiffness	-3,662E-15
ForceX - Reached total force X	0,000 kN
ForceY - Reached total force Y	0,000 kN
Pmax - Reached max pp	192,6 kN/m ²
ΣM_{stage} - Reached phase proportion	0,000
ΣM_{weight} - Reached weight proportion	1,000
ΣM_{sf} - Reached safety factor	1,540

Gambar 5.8 Safety factor Eksisting Kondisi Kering

2. Analisis kondisi basah

Analisis pada kondisi basah yaitu muka air tanah (MAT) berada 1 m di bawah permukaan lereng dilakukan untuk mengetahui pengaruh keberadaan air tanah terhadap stabilitas lereng. Kondisi ini menggambarkan curah hujan di daerah cianjur relatif tinggi, di mana tekanan air pori mulai berkembang dan berpotensi menurunkan *safety factor* lereng dibandingkan kondisi kering. Stabilitas global lereng eksisting kondisi MAT -1m dapat dilihat pada Gambar 5.9 berikut.



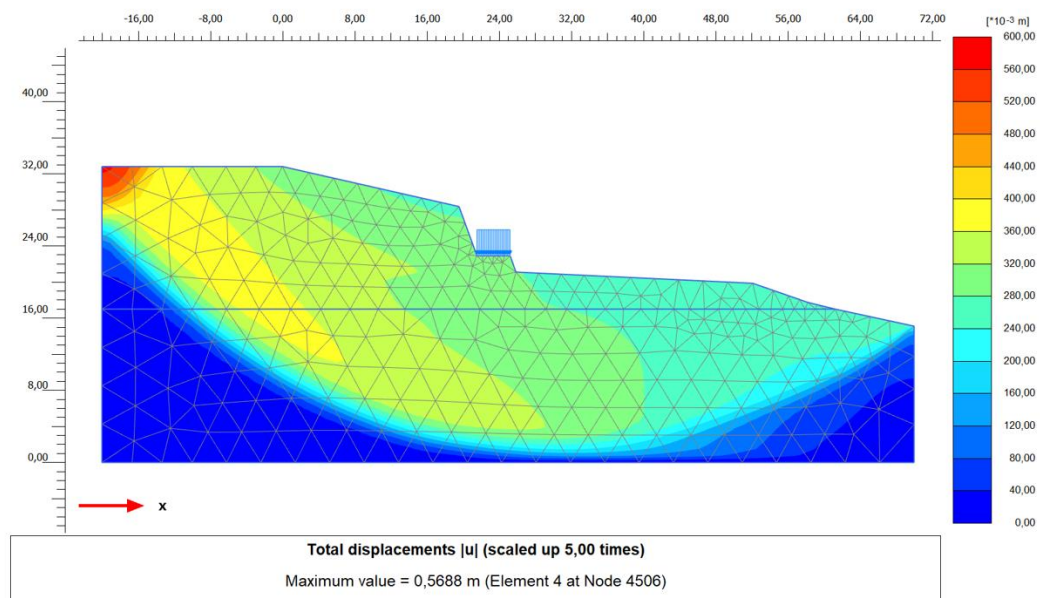
Gambar 5.9 Stabilitas Global Eksisting Kondisi Basah

Dari hasil pemodelan lereng eksisting menggunakan PLAXIS 2D V21 pada kondisi MAT -1m tanpa mempertimbangkan pengaruh gempa, diperoleh nilai *safety factor* lereng. Nilai SF yang didapatkan sebesar 1,283. Nilai tersebut memiliki nilai SF kurang dari 1,5 sehingga lereng tersebut dikategorikan tidak aman. Nilai SF dapat dilihat pada menu *phases* yang dapat dilihat pada Gambar 5.10 sebagai berikut.

Reached values	
Reached total time	2,000 day
CSP - Relative stiffness	-0,5613E-12
ForceX - Reached total force X	0,000 kN
ForceY - Reached total force Y	0,000 kN
Pmax - Reached max pp	155,9 kN/m ²
ΣM_{stage} - Reached phase proportion	0,000
ΣM_{weight} - Reached weight proportion	1,000
ΣM_{sf} - Reached safety factor	1,283

Gambar 5.10 Safety factor Eksisting Kondisi Basah

Selanjutnya analisis dilakukan dengan memperhitungkan beban gempa. Analisis beban gempa dilakukan untuk mengetahui pengaruh beban gempa terhadap stabilitas lereng pada kondisi eksisting. Beban gempa dimodelkan sebagai gaya tambahan yang bekerja pada lereng, sehingga dapat diketahui perubahan *safety factor* lereng pada kondisi *worst case* akibat kombinasi pengaruh gempa dan kondisi muka air tanah. Berikut merupakan *total displacement* dengan beban gempa dapat dilihat pada Gambar 5.11 berikut.

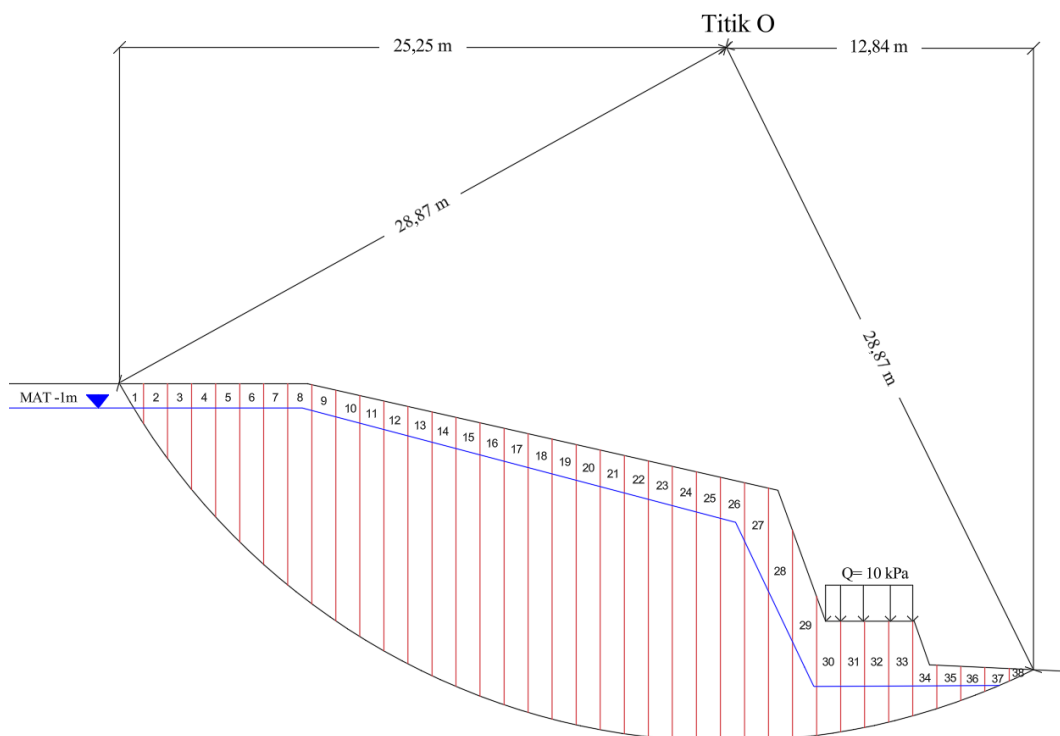


Gambar 5.11 Total Displacemet Dengan Beban Gempa

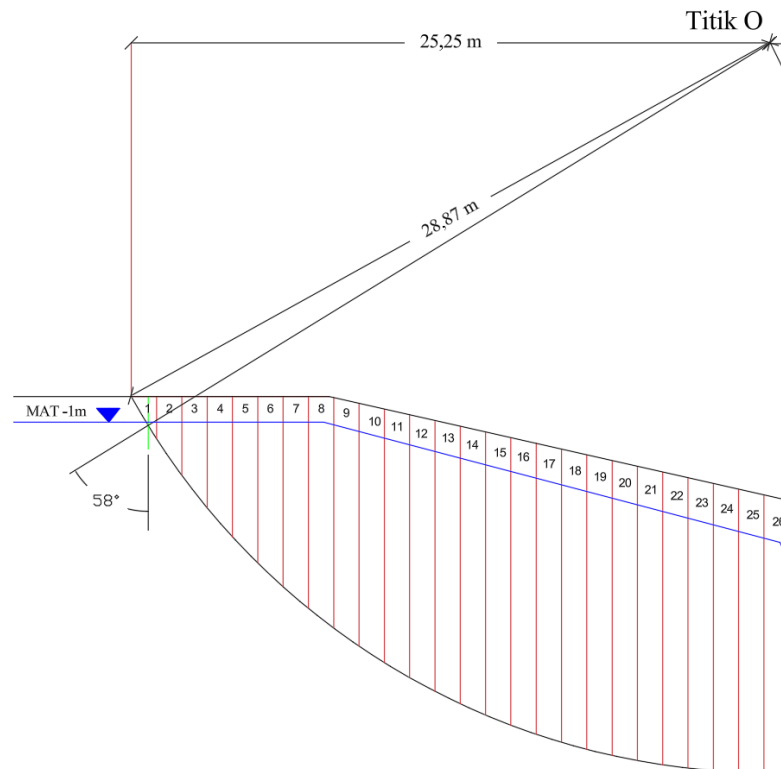
Dari hasil kalkulasi menggunakan beban gempa, didapatkan bahwa dalam proses *running* lereng mengalami *collapse* dengan nilai SF dibawah 1 sehingga lereng eksisting akan runtuh jika diberi beban gempa dengan nilai deformasi massa paling tinggi 0,5688 m di daerah rawan longsor. Oleh karena itu, lereng perlu dilakukan adanya perkuatan lereng untuk mengantisipasi beban gempa.

5.2.2 Analisis Lereng Asli Menggunakan Perhitungan Manual Metode *Fellenius*

Perhitungan manual lereng asli pada penelitian ini dilakukan menggunakan Metode *Fellenius* untuk memperoleh nilai *safety factor* lereng. Analisis dilakukan pada kondisi asumsi muka air tanah dibawah 1 meter dari permukaan tanah. Berikut merupakan permodelan lereng eksisting menggunakan Metode *Fellenius* yang ditunjukkan pada Gambar 5.12 dan detail sudut irisan Metode *Fellenius* yang dapat dilihat pada Gambar 5.13.



Gambar 5.12 Permodelan Lereng Eksisting Metode *Fellenius*



Gambar 5.13 Detail Sudut Irisan Metode *Fellenius*

Bidang longsor pada penelitian ini terbagi menjadi 38 pias. Panjang total bidang longsor kearah horizontal adalah sebesar 38,02 meter. Pada setiap irisan akan mempunyai lebar $38,02/38 = 1$ meter. Sedangkan, sudut irisan metode *Fellenius* diperoleh dari perpotongan garis antara titik berat irisan dengan pusat lingkaran gelincir (titik O) berdasarkan jarak geometrisnya. Berikut contoh perhitungan manual lereng asli menggunakan metode *Fellenius*.

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

a. Perhitungan berat irisan tanah (W)

$$\begin{aligned} W_1 &= \gamma \times A_1 \text{ (tanah)} \\ &= 19,21 \times 0,85 \end{aligned}$$

$$W_1 = 16,32 \text{ kN/m}$$

b. Perhitungan berat irisan muka air tanah (U_n)

$$\begin{aligned} U_n &= \gamma \times A_1 \text{ (air)} \\ &= 9,81 \times 0,13 \\ &= 1,275 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

c. Perhitungan radians

$$\begin{aligned}\text{Rad}_1 &= \alpha \times \frac{\pi}{180} \\ &= 58^\circ \times \frac{3,14}{180} \\ &= 1,01\end{aligned}$$

d. Perhitungan Sin α

$$\begin{aligned}\text{Sin } \alpha_1 &= \text{Sin (Rad1)} \\ &= \text{Sin (1,01)} \\ &= 0,848\end{aligned}$$

e. Perhitungan Cos α

$$\begin{aligned}\text{Cos } \alpha_1 &= \text{Cos (Rad1)} \\ &= \text{Cos (1,01)} \\ &= 0,529\end{aligned}$$

f. Perhitungan ΔL_n (m)

$$\begin{aligned}\Delta L_n &= \text{Panjang pias} / \text{Cos } \alpha_1 \\ &= 1 / 0,529 \\ &= 1,88 \text{ m}\end{aligned}$$

g. Perhitungan Un. ΔL_n

$$\begin{aligned}\text{Un. } \Delta L_n &= 1,275 \times 1,88 \\ &= 2,40\end{aligned}$$

h. Perhitungan $W \times \text{Sin } \alpha$

$$\begin{aligned}W_1 \times \text{Sin } \alpha &= 16,32 \text{ kN/m} \times 0,848 \\ &= 13,84 \text{ kN/m}\end{aligned}$$

i. Perhitungan $W \times \text{Cos } \alpha$

$$\begin{aligned}W_1 \times \text{Cos } \alpha &= 16,32 \text{ kN/m} \times 0,529 \\ &= 8,65 \text{ kN/m}\end{aligned}$$

Perhitungan lebih lengkap ditunjukkan pada Tabel 5.4 berikut.

Tabel 5.4 Perhitungan Metode *Fellenius*

Pias No	Luas Irisan	Berat (Wn)	Luas Irisan Muka Air	Un	Sudut Irisan (α_n)	Radians	$\sin \alpha_n$	Cos α_n	Panjang bidang gelincir (ΔL_n)	(Un. ΔL_n)	Wn Sin α_n	Wn Cos α_n
	m ²	(kN/m)	m ²	(kN/m)	($^\circ$)				(m)		(kN/m)	(kN/m)
1	0,85	16,329	0,13	1,275	58	1,012	0,848	0,530	1,887	2,407	13,847	8,653
2	2,41	46,296	1,38	13,538	55	0,960	0,819	0,574	1,743	23,602	37,924	26,554
3	3,77	72,422	2,70	26,487	52	0,908	0,788	0,616	1,624	43,022	57,069	44,587
4	4,98	95,666	3,97	38,946	49	0,855	0,755	0,656	1,524	59,363	72,200	62,762
5	6,07	116,605	5,06	49,639	46	0,803	0,719	0,695	1,440	71,458	83,878	81,000
6	7,06	135,623	6,04	59,252	43	0,750	0,682	0,731	1,367	81,017	92,494	99,188
7	7,95	152,720	6,94	68,081	41	0,716	0,656	0,755	1,325	90,209	100,193	115,259
8	8,76	168,280	7,73	75,831	38	0,663	0,616	0,788	1,269	96,231	103,603	132,606
9	9,36	179,806	8,26	81,031	35	0,611	0,574	0,819	1,221	98,920	103,132	147,288
10	9,82	188,642	8,68	85,151	33	0,576	0,545	0,839	1,192	101,531	102,742	158,209
11	10,21	196,134	9,04	88,682	31	0,541	0,515	0,857	1,167	103,460	101,017	168,120

Lanjutan Tabel 5.4 Perhitungan Metode *Fellenius*

Pias No	Luas Irisan	Berat (Wn)	Luas Irisan Muka Air	Un	Sudut Irisan (α_n)	Radians	sin α_n	Cos α_n	Panjang bidang gelincir (ΔL_n)	(Un. ΔL_n)	Wn Sin α_n	Wn Cos α_n
	m ²	(kN/m)	m ²	(kN/m)	(°)				(m)		(kN/m)	(kN/m)
12	10,55	202,666	9,35	91,724	28	0,489	0,469	0,883	1,133	103,883	95,146	178,943
13	10,84	208,236	9,60	94,176	26	0,454	0,438	0,899	1,113	104,780	91,285	187,162
14	11,09	213,039	9,80	96,138	24	0,419	0,407	0,914	1,095	105,236	86,651	194,621
15	11,28	216,689	9,96	97,708	22	0,384	0,375	0,927	1,079	105,381	81,173	200,910
16	11,44	219,762	10,08	98,885	20	0,349	0,342	0,940	1,064	105,231	75,163	206,509
17	11,55	221,876	10,16	99,670	18	0,314	0,309	0,951	1,051	104,799	68,563	211,016
18	11,62	223,220	10,19	99,964	16	0,279	0,276	0,961	1,040	103,992	61,528	214,573
19	11,65	223,797	10,19	99,964	14	0,244	0,242	0,970	1,031	103,024	54,141	217,149
20	11,65	223,797	10,14	99,473	11	0,192	0,191	0,982	1,019	101,335	42,702	219,685
21	11,61	223,028	10,07	98,787	9	0,157	0,156	0,988	1,012	100,018	34,889	220,282
22	11,53	221,491	9,95	97,610	7	0,122	0,122	0,993	1,008	98,343	26,993	219,840
23	11,42	219,378	9,80	96,138	5	0,087	0,087	0,996	1,004	96,505	19,120	218,543

Lanjutan Tabel 5.4 Perhitungan Metode *Fellenius*

Pias No	Luas Irisan	Berat (Wn)	Luas Irisan Muka Air	Un	Sudut Irisan (α_n)	Radians	$\sin \alpha_n$	Cos α_n	Panjang bidang gelincir (ΔL_n)	(Un. ΔL_n)	Wn Sin α_n	Wn Cos α_n
	m ²	(kN/m)	m ²	(kN/m)	($^\circ$)				(m)		(kN/m)	(kN/m)
24	11,27	216,497	9,62	94,372	3	0,052	0,052	0,999	1,001	94,502	11,331	216,200
25	11,09	213,039	9,40	92,214	1	0,017	0,017	1,000	1,000	92,228	3,718	213,006
26	10,87	208,813	9,02	88,486	0	0,000	0,000	1,000	1,000	88,486	0,000	208,813
27	10,62	204,010	7,26	71,221	-2	-0,035	-0,035	0,999	1,001	71,264	-7,120	203,886
28	9,86	189,411	5,10	50,031	-4	-0,070	-0,070	0,998	1,002	50,153	-13,213	188,949
29	7,22	138,696	2,92	28,645	-6	-0,105	-0,105	0,995	1,006	28,803	-14,498	137,936
30	4,87	93,553	1,97	19,326	-8	-0,140	-0,139	0,990	1,010	19,516	-13,020	92,642
31	4,51	86,637	1,81	17,756	-10	-0,175	-0,174	0,985	1,015	18,030	-15,044	85,321
32	4,31	82,795	1,61	15,794	-13	-0,227	-0,225	0,974	1,026	16,210	-18,625	80,673
33	4,07	78,185	1,37	13,440	-15	-0,262	-0,259	0,966	1,035	13,914	-20,236	75,521
34	2,66	51,099	1,10	10,791	-17	-0,297	-0,292	0,956	1,046	11,284	-14,940	48,866
35	1,60	30,736	0,79	7,750	-19	-0,332	-0,326	0,946	1,058	8,196	-10,007	29,061

Lanjutan Tabel 5.4 Perhitungan Metode *Fellenius*

Pias No	Luas Irisan	Berat (Wn)	Luas Irisan Muka Air	Un	Sudut Irisan (α_n)	Radians	sin α_n	Cos α_n	Panjang bidang gelincir (ΔL_n)	(Un. ΔL_n)	Wn Sin α_n	Wn Cos α_n
	m ²	(kN/m)	m ²	(kN/m)	(°)				(m)		(kN/m)	(kN/m)
36	1,21	23,244	0,43	4,218	-21	-0,367	-0,358	0,934	1,071	4,518	-8,330	21,700
37	0,77	14,792	0,07	0,687	-23	-0,401	-0,391	0,921	1,086	0,746	-5,780	13,616
38	0,26	4,995	0,00	0,000	-25	-0,436	-0,423	0,906	1,103	0,000	-2,111	4,527
								Total Σ	43,868	2521,598	1477,581	5154,178

Nilai *safety factor* lereng tersebut dapat dihitung sebagai berikut.

$$\begin{aligned} SF &= \frac{\sum (cl + (W \cos \alpha - ul) \tan \phi)}{\sum W \sin \alpha} \\ SF &= \frac{(16,67 \times 43,86 + (5154,178 - 2521,59) \tan 23,45)}{1477,58} \\ SF &= 1,267 \end{aligned}$$

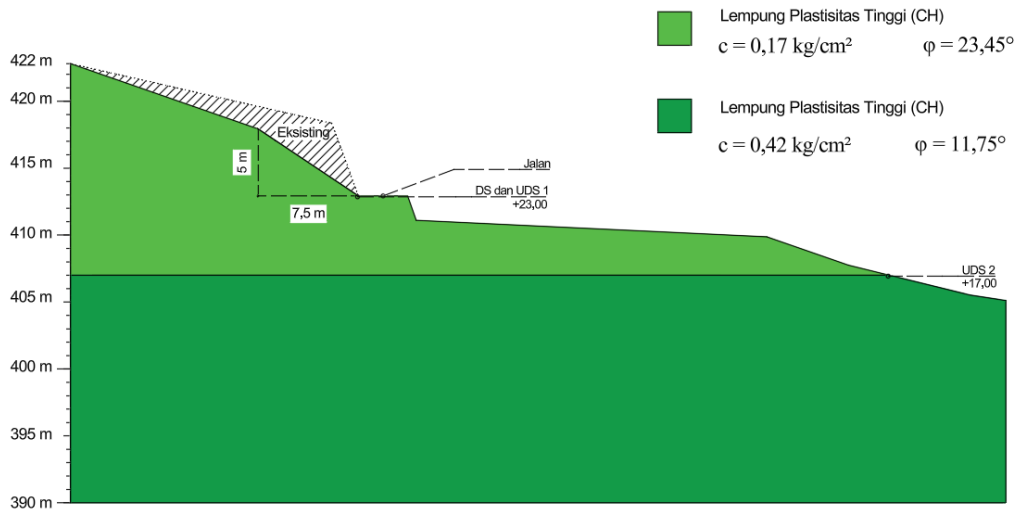
Berdasarkan hasil analisis menggunakan metode *fellenius*, lereng eksisting dengan kondisi muka air tanah 1 meter dibawah permukaan memiliki nilai *Safety factor* (SF) sebesar 1,267. Nilai ini menunjukkan bahwa kondisi lereng belum memenuhi nilai standar aman yaitu sebesar 1,5.

5.3 Analisis Lereng dengan Pengaturan Kemiringan

Pengaturan kemiringan lereng merupakan salah satu metode rekayasa geoteknik untuk meningkatkan kestabilan lereng dengan cara mengatur perbandingan antara panjang vertikal dan horizontal suatu lereng. Tujuannya untuk menjadikan lereng lebih landai sehingga mendapatkan SF yang lebih besar. Terdapat 2 analisis yaitu pengaturan kemiringan dengan perbandingan 1V:1,5H dan 1V:2H.

5.3.1 Analisis Lereng dengan Pengaturan Kemiringan 1V:1,5 H

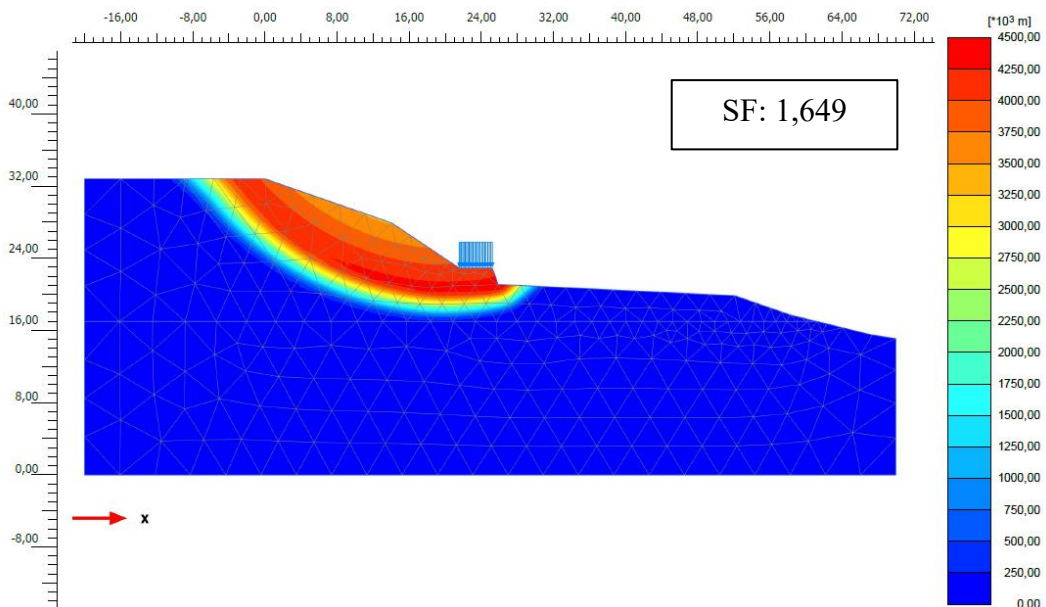
Pengaturan kemiringan difokuskan kepada area yang terdampak longsor yaitu pada bagian lereng diatas jalan. Oleh karena itu, dilakukan perbaikan geometri dengan mengatur kemiringan lereng menjadi 1V:1,5H. Berdasarkan perbandingan tersebut, lereng memiliki tinggi 5 meter dan panjang alas sebesar 7,5 meter dengan sudut kemiringan sebesar 34°. Lereng dianalisis pada 2 kondisi, yaitu kondisi kering dan kondisi dengan muka air tanah (MAT) berada 1 m di bawah permukaan lereng. Selanjutnya, pengaruh beban gempa dianalisis pada kondisi MAT -1 m untuk mengetahui perubahan *safety factor* lereng akibat kombinasi kenaikan muka air tanah dan gaya dinamis gempa. Berikut merupakan desain pengaturan kemiringan lereng yang dapat dilihat pada Gambar 5.14.



Gambar 5.14 Desain Pengaturan Kemiringan 1V:1,5 H

1. Analisis Kondisi Kering

Analisis pada kondisi kering dilakukan untuk menggambarkan stabilitas lereng saat tidak terdapat pengaruh air tanah maupun curah hujan. Stabilitas global lereng pengaturan kemiringan 1V:1,5V kondisi kering dapat dilihat pada Gambar 5.15 berikut.



Gambar 5.15 Stabilitas Global Kemiringan 1V: 1,5H Kondisi Kering

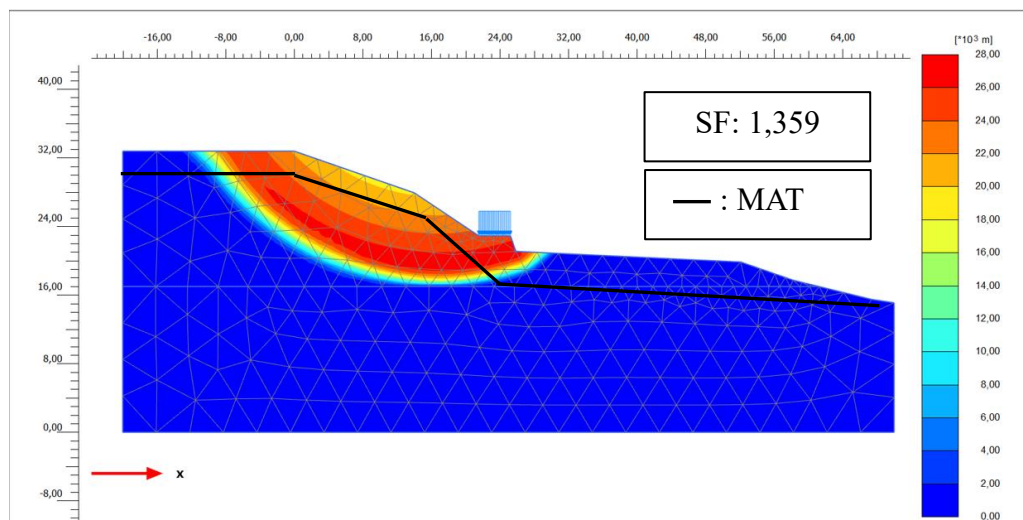
Dari hasil pemodelan lereng eksisting menggunakan PLAXIS 2D V21 pada kondisi kering, diperoleh nilai *safety factor* lereng. Nilai SF yang didapatkan sebesar 1,649. Nilai tersebut memiliki nilai SF lebih dari 1,5 sehingga lereng tersebut dikategorikan aman. Nilai SF dapat dilihat pada menu *phases* yang dapat dilihat pada Gambar 5.16 sebagai berikut

Reached values	
Reached total time	2,000 day
CSP - Relative stiffness	1,795E-15
ForceX - Reached total force X	0,000 kN
ForceY - Reached total force Y	0,000 kN
Pmax - Reached max pp	241,7 kN/m ²
ΣM_{stage} - Reached phase proportion	0,000
ΣM_{weight} - Reached weight proportion	1,000
ΣM_{sf} - Reached safety factor	1,649

Gambar 5.16 *Safety factor* Kemiringan 1V: 1,5H Kondisi Kering

2. Analisis Kondisi Basah

Stabilitas global lereng pengaturan kemiringan 1V:1,5V kondisi basah dapat dilihat pada Gambar 5.17 berikut.



Gambar 5.17 Stabilitas Global Kemiringan 1V:1,5 H Kondisi Basah

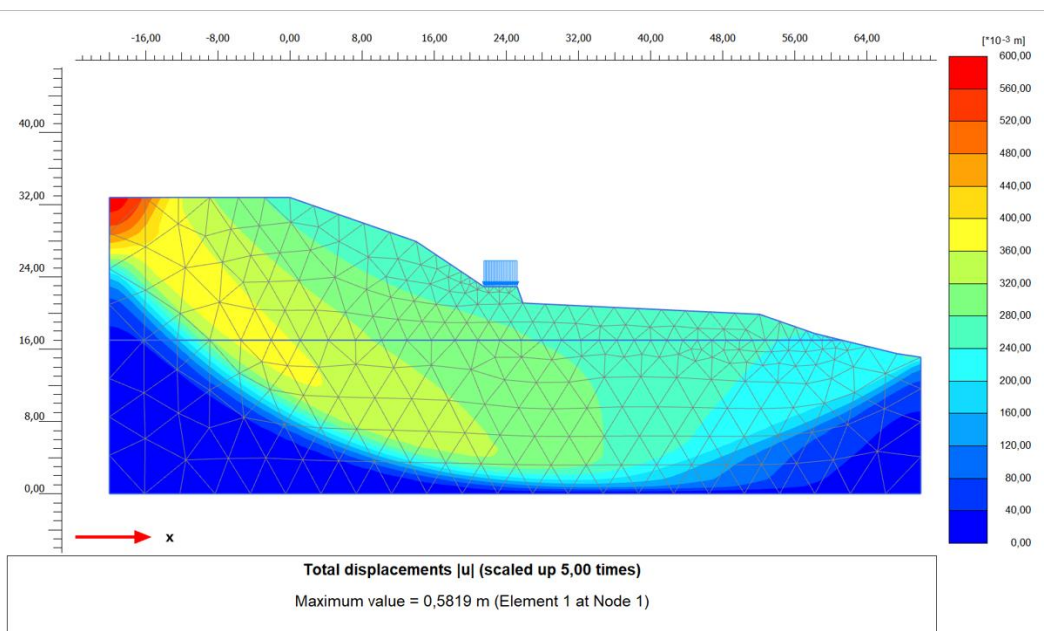
Berdasarkan hasil analisis menggunakan PLAXIS 2D V21, lereng dengan kemiringan 1V:1,5H memiliki nilai *safety factor* (SF) sebesar 1,359. Nilai ini

menunjukkan bahwa kondisi lereng belum memenuhi nilai standar aman yaitu sebesar 1,5. Nilai SF dapat dilihat pada menu *phases* yang dapat dilihat pada Gambar 5.18 sebagai berikut.

Reached values	
Reached total time	2,000 day
CSP - Relative stiffness	0,09980E-12
ForceX - Reached total force X	0,000 kN
ForceY - Reached total force Y	0,000 kN
Pmax - Reached max pp	131,1 kN/m ²
ΣM_{stage} - Reached phase proportion	0,000
ΣM_{weight} - Reached weight proportion	1,000
ΣM_{sf} - Reached safety factor	1,359

Gambar 5.18 Safety factor Kemiringan 1V:1,5H Kondisi Basah

Setelah dilakukan perhitungan SF tanpa beban gempa, selanjutnya dilakukan analisis dengan memperhitungkan beban gempa. *Total displacemet* dengan beban gempa dapat dilihat pada Gambar 5.19 berikut.

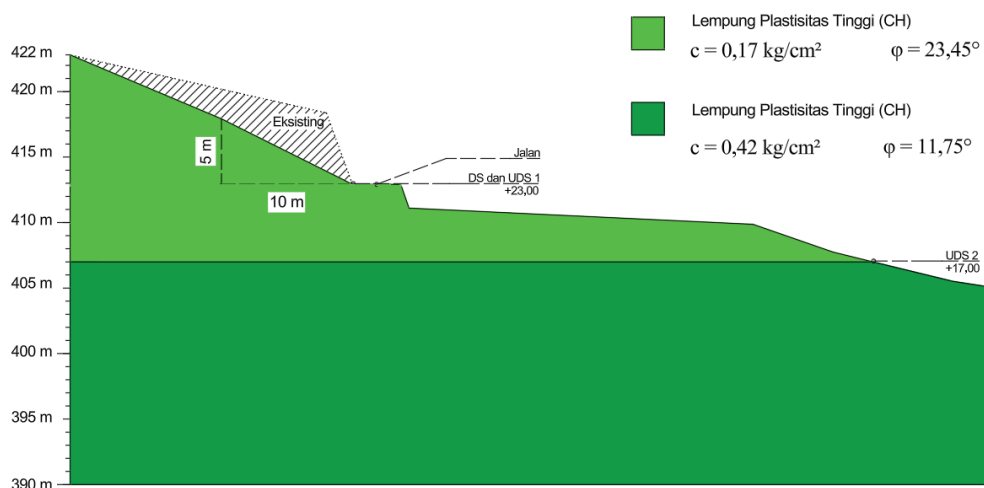


Gambar 5.19 Total Displacemet Kemiringan 1V:1,5H Dengan Beban Gempa

Dari hasil kalkulasi menggunakan beban gempa, didapatkan bahwa dalam proses *running* lereng mengalami *collapse* dengan nilai SF dibawah 1 sehingga lereng akan runtuh jika diberi beban gempa dengan nilai deformasi massa paling tinggi 0,5819 m di daerah rawan longsor.

5.3.2 Analisis Lereng dengan Pengaturan Kemiringan 1V:2H

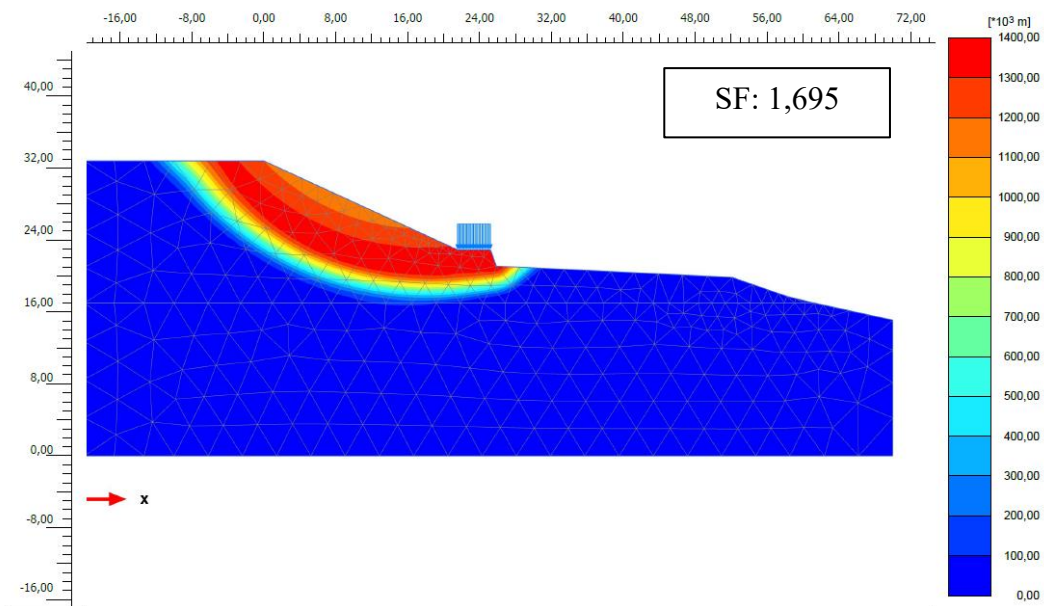
Perbaikan geometri kedua dengan mengatur kemiringan lereng menjadi 1V:2H. Berdasarkan perbandingan tersebut, lereng memiliki tinggi 5 meter dan panjang alas sebesar 10 meter dengan sudut kemiringan sebesar 27° . Berikut merupakan desain pengaturan kemiringan lereng yang dapat dilihat pada Gambar 5.20.



Gambar 5.20 Desain Pengaturan Kemiringan 1V:2H

1. Analisis Kondisi Kering

Stabilitas global lereng pengaturan kemiringan 1V:2H kondisi kering dapat dilihat pada Gambar 5.21 berikut.



Gambar 5. 21 Stabilitas Global Kemiringan 1V: 2H Kondisi Kering

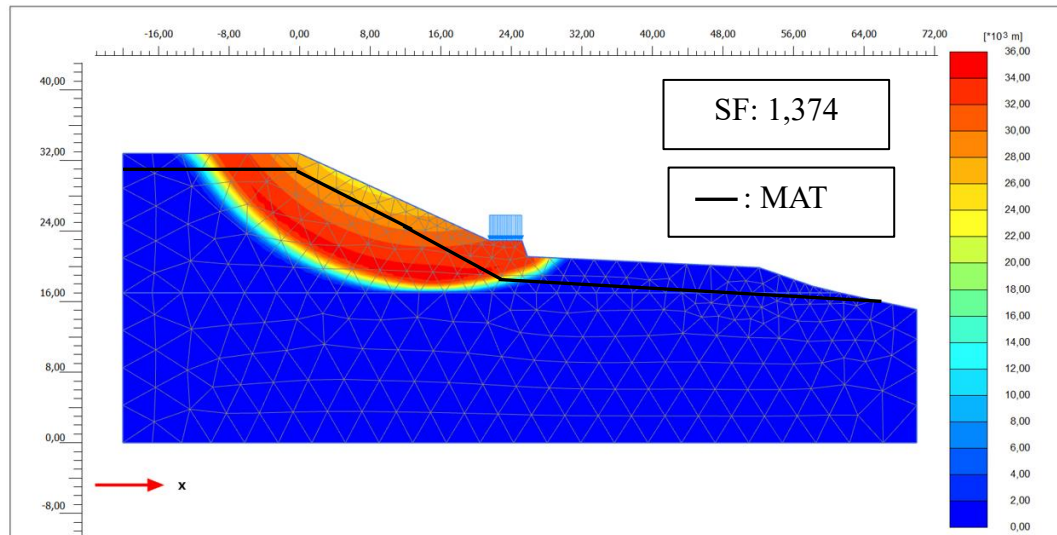
Berdasarkan hasil analisis menggunakan PLAXIS 2D V21, lereng dengan kemiringan 1V:2H memiliki nilai *safety factor* (SF) sebesar 1,695. Nilai ini menunjukkan bahwa kondisi lereng sudah memenuhi nilai standar aman yaitu sebesar 1,5. Nilai SF dapat dilihat pada menu *phases* yang dapat dilihat pada Gambar 5.22 sebagai berikut.

Reached values	
Reached total time	2,000 day
CSP - Relative stiffness	0,03963E-12
ForceX - Reached total force X	0,000 kN
ForceY - Reached total force Y	0,000 kN
Pmax - Reached max pp	259,1 kN/m ²
ΣM_{stage} - Reached phase proportion	0,000
ΣM_{weight} - Reached weight proportion	1,000
ΣM_{sf} - Reached safety factor	1,695

Gambar 5. 22 Safety factor Kemiringan 1V:2 H Kondisi Kering

2. Analisis Kondisi Basah

Stabilitas global lereng pengaturan kemiringan 1V:2H kondisi basah dapat dilihat pada Gambar 5.23 berikut.



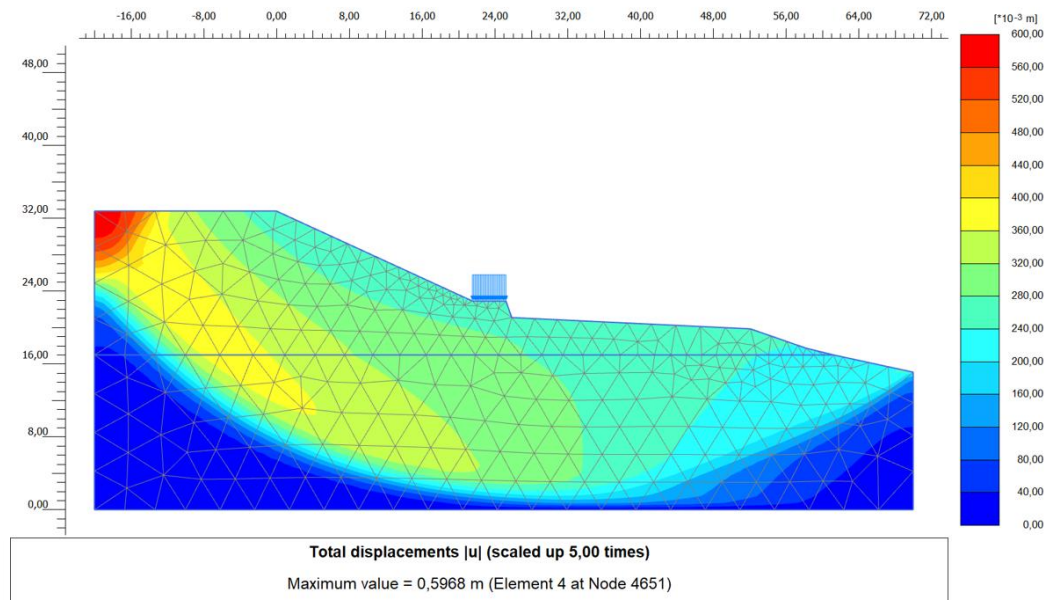
Gambar 5.23 Stabilitas Global Kemiringan 1V:2 H Kondisi Basah

Berdasarkan hasil analisis menggunakan PLAXIS 2D V21, lereng dengan kemiringan 1V:2H memiliki nilai *Safety factor* (SF) sebesar 1,374. Nilai ini menunjukkan bahwa nilai SF bertambah dari analisis lereng dengan pengaturan kemiringan 1V:1,5H dan kondisi lereng belum memenuhi nilai standar aman yaitu sebesar 1,5. Nilai SF dapat dilihat pada menu *phases* yang dapat dilihat pada Gambar 5.24 sebagai berikut.

Reached values	
Reached total time	2,000 day
CSP - Relative stiffness	-0,8955E-12
ForceX - Reached total force X	0,000 kN
ForceY - Reached total force Y	0,000 kN
Pmax - Reached max pp	166,3 kN/m ²
ΣM_{stage} - Reached phase proportion	0,000
ΣM_{weight} - Reached weight proportion	1,000
ΣM_{sf} - Reached safety factor	1,374

Gambar 5.24 Nilai *Safety factor* Kemiringan 1V: 2H

Setelah dilakukan perhitungan SF tanpa beban gempa, selanjutnya dilakukan analisis dengan memperhitungkan beban gempa. *Total displacement* dengan beban gempa dapat dilihat pada Gambar 5.25 berikut.



Gambar 5.25 Total Displacement Kemiringan 1V:1,2H Dengan Beban Gempa

Dari hasil kalkulasi menggunakan beban gempa, didapatkan bahwa dalam proses *running* lereng mengalami *collapse* dengan nilai SF dibawah 1 sehingga lereng akan runtuh jika diberi beban gempa dengan nilai deformasi massa paling tinggi 0,5968 m di daerah rawan longsor.

5.4 Analisis Perkuatan Dinding Penahan Tanah Tipe Kantilever

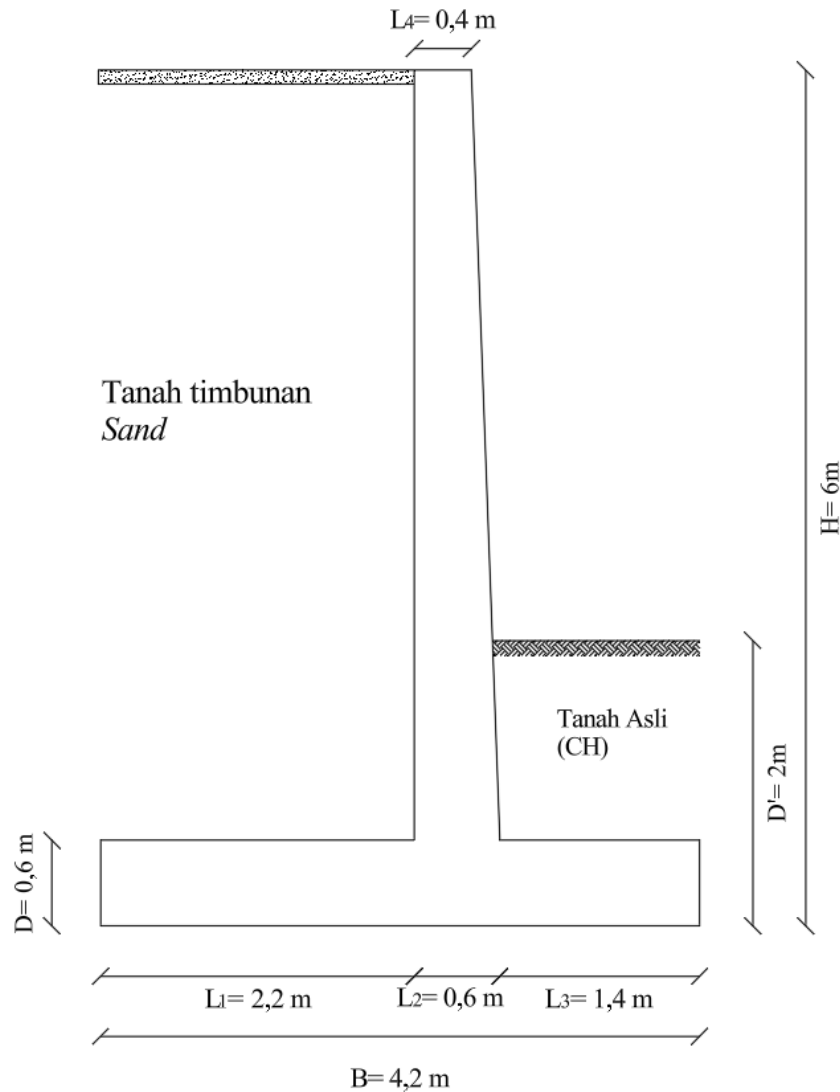
5.4.1 Dimensi Dinding Penahan Tanah Tipe Kantilever

Analisis perkuatan lereng dengan menggunakan Dinding Penahan Tanah (DPT) tipe kantilever dilakukan untuk meningkatkan stabilitas lereng pada area yang memiliki potensi longsor akibat kondisi tanah yang kurang stabil. DPT tipe kantilever ini menahan tanah timbunan setinggi 6 m. Dimensi rencana mengacu pada SNI 8460:2017 tentang persyaratan perancangan geoteknik. Berikut adalah perhitungan rencana dimensi DPT kantilever.

1. H = 6 meter
2. B = 0,4 ~ 0,7 H

- $$= 0,7 \times 6$$
- $$= 4,2 \text{ meter}$$
3. D = $H/12 \sim H/10$
- $$= 6/10$$
- $$= 0,6 \text{ meter}$$
4. $L_3 = B/3$
- $$= 4,2/3$$
- $$= 1,4 \text{ meter}$$
5. $L_2 = 0,1 H$
- $$= 0,1 \times 6$$
- $$= 0,6 \text{ meter}$$
6. $L_4 = 0,4 \text{ meter}$
7. Kemiringan = $\frac{H-D}{L_2-L_4}$ (min 1:48 = 0,02)
- $$= \frac{6-0,6}{0,6-0,4}$$
- $$= \frac{5,4}{0,2}$$
- $$= 0,03 > 0,02 \text{ (OK)}$$

Dimensi rencana DPT tipe kantilever dapat dilihat pada Gambar 5.26.

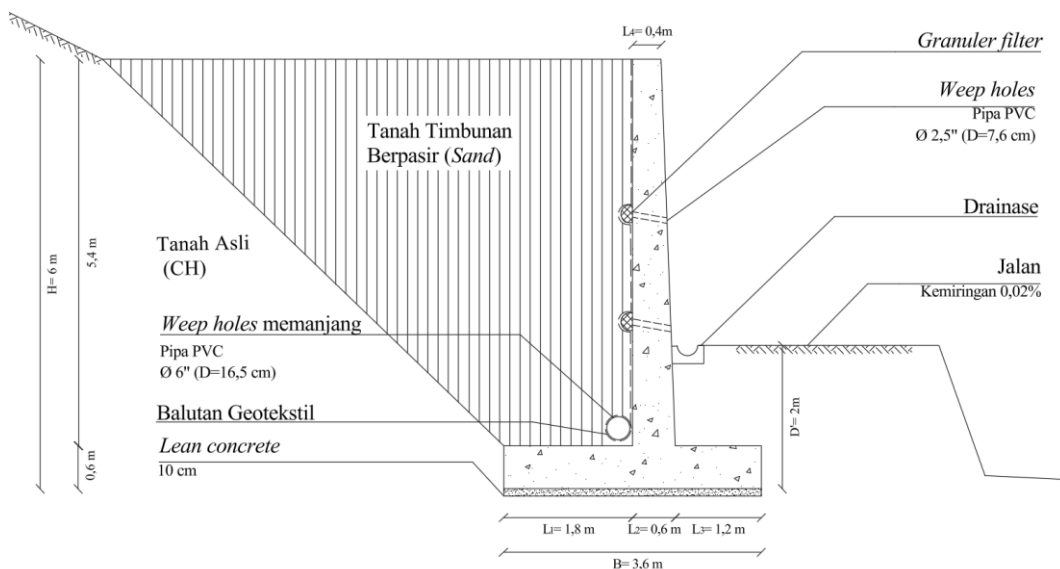


Gambar 5.26 Dimensi Rencana DPT Kantilever

5.4.2 Gambar Kerja Perkuatan Dinding Penahan Tanah Kantilever

Gambar kerja perkuatan dinding penahan tanah kantilever dilengkapi dengan sistem drainase yang bertujuan untuk menurunkan tekanan air pori akibat curah hujan tinggi dibelakang dinding. Timbunan berpasir berfungsi sebagai zona drainase karena memiliki permeabilitas tinggi, sehingga air dari infiltrasi hujan dapat mengalir dengan baik. Untuk mengurangi tekanan air di belakang dinding, dipasang *weepholes* horizontal berupa pipa PVC berdiameter 2,5” menembus

dinding penahan tanah untuk mengalirkan air ke saluran drainase. Filter granuler dipasang pada ujung pipa sebagai penahan agar butiran halus tidak masuk ke dalam pipa dan terjadi penyumbatan. Selain itu, pada bagian bawah dinding dipasang *weepholes* memanjang menggunakan pipa PVC berdiameter 6" yang berfungsi sebagai saluran pengumpul air dari zona drainase. *Weep holes* memanjang juga dibalut dengan geotekstil, bertujuan untuk mencegah masuknya partikel halus tanah ke dalam pipa dan menghindari terjadinya penyumbatan. Dinding penahan tanah didirikan di atas lapisan *lean concrete* setebal 10 cm yang berfungsi sebagai lantai kerja dan alas pondasi. Air yang keluar melalui *weepholes* selanjutnya dialirkan menuju sistem drainase jalan dengan kemiringan sebesar 0,02% sehingga aliran air dapat masuk ke dalam drainase. Dengan adanya sistem perkuatan dan drainase ini, tekanan air pori dan tekanan lateral tanah dapat dikurangi, sehingga stabilitas lereng meningkat dan risiko keruntuhan akibat pengaruh curah hujan dapat diminimalkan. Gambar kerja perkuatan dinding penahan tanah kantilever dapat dilihat pada Gambar 5.27.



Gambar 5.27 Gambar Kerja Dinding Penahan Tanah Kantilever

5.4.3 Analisis Stabilitas Eksternal

Analisis stabilitas eksternal bertujuan untuk mendapatkan nilai tekanan aktif, pasif, gaya vertikal dan momen bekerja pada dinding penahan tanah. Nilai yang didapatkan kemudian digunakan untuk menganalisis stabilitas geser, guling, dan daya dukung tanah. Beban yang digunakan pada analisis ini adalah beban jalan sebesar 10 kPa. Perhitungan stabilitas eksternal pada dinding penahan tanah adalah sebagai berikut.

1. Data tanah lapisan dan parameter beban

Terdapat dua data tanah lapisan yaitu tanah timbunan pasir dan tanah lempung. Berikut merupakan data parameter tanah lapisan yang dapat dilihat pada Tabel 5.5.

Tabel 5.5 Data Parameter Tanah Dinding Penahan Tanah

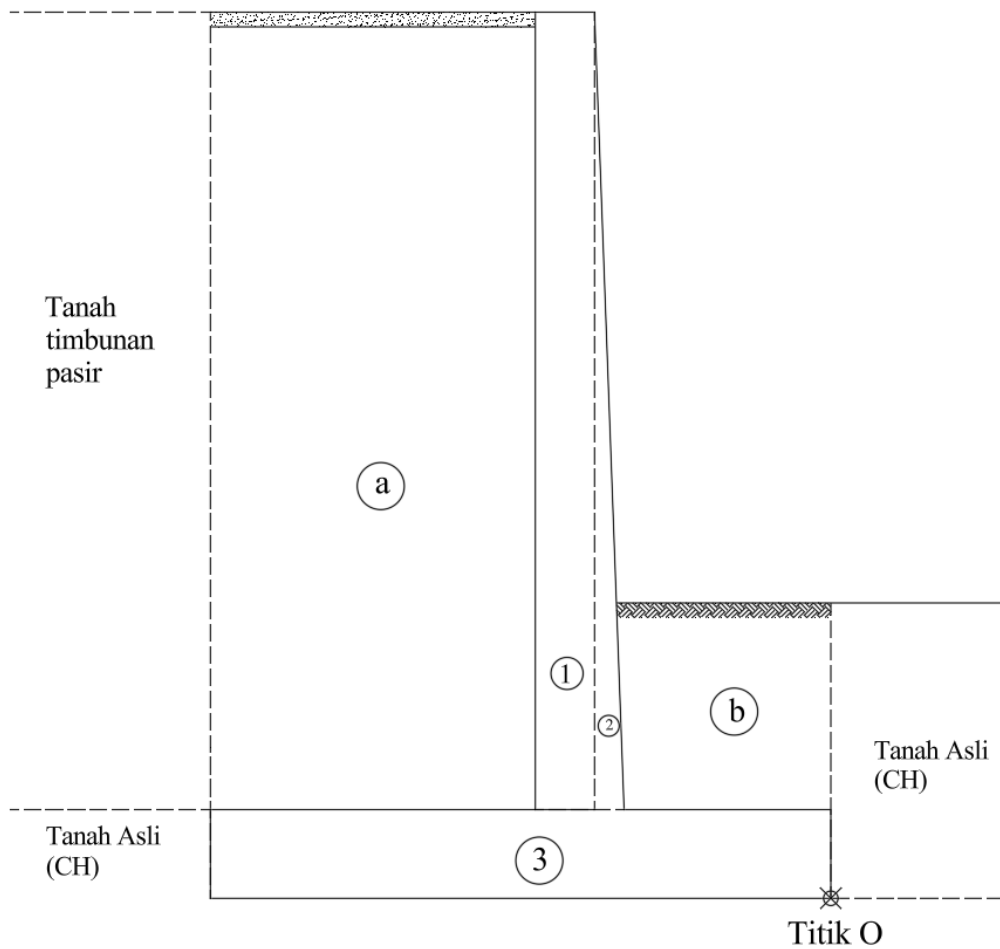
No	Parameter	Nilai	Satuan
1	Tanah lapis 1 (Tanah pasir timbunan)		
	Berat volume tanah basah (γ_{sat})	18	kN/m ³
	Berat volume tanah kering (γ_{unsat})	17	kN/m ³
	Sudut geser (ϕ)	33	°
	Kohesi (c)	0,3	kN/m ²
	Kekakuan (E)	10000	kN/m ²
	<i>Poisson Ratio</i> (ν)	0,25	
2	Tanah lapis 2 (Tanah Asli – UDS 1)		
	Berat volume tanah basah (γ_{sat})	19,21	kN/m ³
	Berat volume tanah kering (γ_{unsat})	18,71	kN/m ³
	Sudut geser (ϕ)	23,45	°
	Kohesi (c)	16,67	kN/m ²
	Kekakuan (E)	10000	kN/m ²
	<i>Poisson Ratio</i> (ν)	0,25	
3	Tanah lapis 3 (Tanah Asli – UDS 2)		
	Berat volume tanah basah (γ_{sat})	19,21	kN/m ³
	Berat volume tanah kering (γ_{unsat})	18,71	kN/m ³

Lanjutan Tabel 5.5 Data Parameter Tanah Dinding Penahan Tanah

No	Parameter	Nilai	Satuan
	Sudut geser (ϕ)	11,75	$^{\circ}$
	Kohesi (c)	42	kN/m ²
	Kekakuan (E)	15000	kN/m ²
	<i>Poisson Ratio</i> (ν)	0,25	
4	DPT Beton		
	Berat jenis beton	24	kN/m ³
	Kekakuan (E)	620000	kN/m ²
	<i>Poisson Ratio</i> (ν)	0,25	
	Beban merata	10	kPa

2. Gaya vertikal dan momen yang bekerja

Gaya vertikal yang bekerja adalah gaya akibat berat tanah diatas struktur dan berat dinding penahan tanah itu sendiri. Kemudian, gaya tersebut dibagi menjadi beberapa pias untuk memudahkan perhitungan. Berikut merupakan pembagian pias yang bekerja pada dinding penahan tanah yang dapat dilihat pada Gambar 5.28.



Gambar 5.28 Pembagian Pias Gaya Vertikal Pada Dinding Penahan Tanah

Berikut contoh perhitungan gaya vertikal pada pias 1.

$$\begin{aligned}
 \text{Luas} &= a \times t \\
 &= 0,4 \times 5,4 \\
 &= 2,16 \text{ m}^2 \\
 \text{Gaya} &= \text{Luas} \times \text{berat jenis beton} \\
 &= 2,16 \times 24 \\
 &= 51,84 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

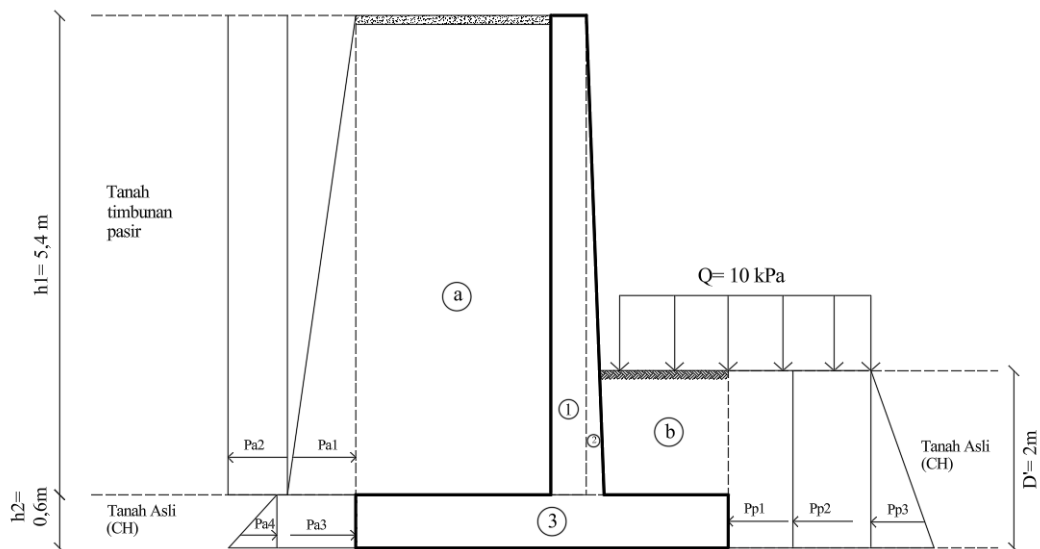
Berikut merupakan rekapitulasi gaya vertikal dan momen yang dapat dilihat pada Tabel 5.6 berikut ini.

Tabel 5.6 Rekapitulasi Perhitungan Gaya dan Momen Vertikal

Pias	Luas (m ²)	Berat jenis (kN/m ³)	Gaya (kN/m)	Jarak titik berat ke titik o (m)	Momen (kNm)
1	2,16	24	51,84	1,8	93,312
2	0,54	24	12,96	1,52	19,6992
3	2,52	24	60,48	2,1	127,008
a	11,88	18,75	201,96	3,1	626,076
b	1,99	18,75	37,2329	0,7	26,06303
		ΣV	364,4729	ΣMr	892,15823

3. Tekanan tanah lateral

Pada tahap analisis ini dilakukan perhitungan tekanan tanah aktif dan pasif. Penentuan nilai tekanan tersebut membutuhkan koefisien tekanan tanah aktif dan pasif pada setiap lapisan tanah. Analisis tanah dilakukan pada kondisi normal. Berikut merupakan diagram tekanan pasif dan aktif pada Gambar 5.29 berikut.

**Gambar 5.29 Diagram Tekanan Pasif Dan Aktif**

Berikut merupakan contoh perhitungan untuk tekanan tanah lateral:

a. Koefisien tekanan aktif

Koefisien tekanan aktif pada lapisan 1 (timbunan pasir) dinotasikan sebagai K_{a-1} , sedangkan koefisien tekanan aktif pada lapisan 2 (tanah asli) dinotasikan sebagai K_{a-2} . Berikut merupakan contoh perhitungan untuk koefisien tekanan aktif.

$$\begin{aligned} K_{a-1} &= \tan^2 \left(45 - \frac{\phi}{2} \right) \\ &= \tan^2 \left(45 - \frac{33}{2} \right) \\ &= 0,29 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} K_{a-2} &= \tan^2 \left(45 - \frac{\phi}{2} \right) \\ &= \tan^2 \left(45 - \frac{23,45}{2} \right) \\ &= 0,43 \end{aligned}$$

b. Koefisien tekanan pasif

Koefisien tekanan pasif pada lapisan 2 (tanah asli) dinotasikan sebagai K_{p-2} . Berikut merupakan contoh perhitungan untuk koefisien tekanan pasif.

$$\begin{aligned} K_{p-2} &= \tan^2 \left(45 + \frac{\phi}{2} \right) \\ &= \tan^2 \left(45 + \frac{23,45}{2} \right) \\ &= 2,32 \end{aligned}$$

c. Perhitungan tekanan aktif dan pasif

Berikut merupakan contoh dari perhitungan tekanan tanah aktif dan pasif.

$$\begin{aligned} Pa_1 &= 0,5 \gamma_1 h_1^2 K_{a-1} \\ &= 0,5 \times 17 \times (5,4)^2 \times 0,29 \\ &= 73,06 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Pa_2 &= -2 c_1 h_1 \sqrt{K_{a-1}} \\ &= -2 \times 0,3 \times 5,4 \times \sqrt{0,29} \\ &= -1,75 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Pa_3 &= \gamma_1 h_1 h_2 K_{a-2} \\ &= 17 \times 5,4 \times 0,6 \times 0,43 \end{aligned}$$

$$= 23,17 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} Pa4 &= 0,5 \gamma_2 h_2^2 Ka-2 \\ &= 0,5 \times 18,71 \times (0,6)^2 \times 0,43 \\ &= 1,45 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Pp1 &= q Kp-2 D' \\ &= 10 \times 2,32 \times 2 \\ &= 46,43 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Pp2 &= -2 c_2 D \sqrt{Kp - 2} \\ &= -2 \times 16,67 \times 2 \times \sqrt{2,32} \\ &= 101,60 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Pp3 &= 0,5 \gamma_2 D'^2 Kp-2 \\ &= 0,5 \times 18,71 \times (2)^2 \times 2,32 \end{aligned}$$

Untuk hasil rekapitulasi perhitungan tekanan tanah aktif dapat dilihat pada Tabel 5.7 dan untuk rekapitulasi perhitungan tekanan tanah pasif dan dilihat pada Tabel 5.8.

Tabel 5.7 Hasil Rekapitulasi Perhitungan Tekanan Tanah Aktif

Diagram	Rumus	Gaya (kN)	Keterangan
Pa1	$0,5 \gamma_1 h_1^2 Ka-1$	73,069	Akibat tekanan tanah lapis 1
Pa2	$-2 c_1 h_1 \sqrt{Ka - 1}$	-1,759	Akibat kohesi aktif
Pa3	$\gamma_1 h_1 h_2 Ka-2$	23,721	Akibat berat tanah lapis 1 yang mempengaruhi lapis 2
Pa4	$0,5 \gamma_2 h_2^2 Ka-2$	1,450	Akibat tekanan tanah lapis 2
Total Pa		96,481	

Tabel 5.8 Hasil Rekapitulasi Perhitungan Tekanan Tanah Pasif

Diagram	Rumus	Gaya (kN)	Keterangan
Pp1	$q K_p - 2 D'$	46,439	Akibat beban merata
Pp2	$2 c_2 D \sqrt{K_p - 2}$	101,607	Akibat kohesi aktif
Pp3	$0,5 \gamma_2 D'^2 K_p - 2$	86,888	Akibat berat tanah lapis 2
Total Pp		234,935	

4. Stabilitas terhadap guling

$$\begin{aligned} \sum M_o &= Ph \left(\frac{H'}{3} \right) \\ &= 96,48 \left(\frac{6}{3} \right) \\ &= 192,96 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} SF &= \frac{\sum M_r}{\sum M_o} \\ &= \frac{892,15}{192,96} \\ &= 4,6 > 2 \text{ (OK)} \end{aligned}$$

5. Stabilitas terhadap geser

$$\begin{aligned} k_1 = k_2 &= 0,67 \\ SF &= \frac{(\sum V) \tan \delta' + Bc/a + Pp}{Pa \cos \alpha} \\ &= \frac{(\sum V) \tan (k_1 \varphi'/2) + B k_2 c'/2 + Pp}{Pa \cos \alpha} \\ &= \frac{364,47 \tan (0,67 \times 23,45) + 4,2 \times 0,67 \times 16,67 + 234,93}{96,48 \cos 0} \\ &= 3,97 > 1,5 \text{ (OK)} \end{aligned}$$

6. Stabilitas terhadap daya dukung

$$\begin{aligned} e &= \frac{B}{2} - \frac{\sum M_r - \sum M_o}{\sum V} \\ &= \frac{4,2}{2} - \frac{892,15 - 192,96}{364,47} \\ &= 0,181 \\ \frac{B}{6} &= \frac{4,2}{6} \\ &= 0,7 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 e &< B/6 \\
 0,181 &< 0,7 \\
 q_{\max} &= \frac{\Sigma V}{B} \left(1 + \frac{6e}{B}\right) \\
 &= \frac{\Sigma V}{4,2} \left(1 + \frac{6 \times 1,8}{4,2}\right) \\
 &= 109,29 \text{ kN/m}^2 \\
 q_{\min} &= \frac{\Sigma V}{B} \left(1 - \frac{6e}{B}\right) \\
 &= \frac{\Sigma V}{4,2} \left(1 - \frac{6 \times 1,8}{4,2}\right) \\
 &= 64,26 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

Faktor daya dukung didapat dari cara interpolasi berdasarkan tabel nilai faktor kapasitas dukung tanah Terzaghi (1943) dalam Das dan Sobhan (2018), dengan sudut geser sebesar $23,45^\circ$ maka diperoleh nilai-nilai sebagai berikut.

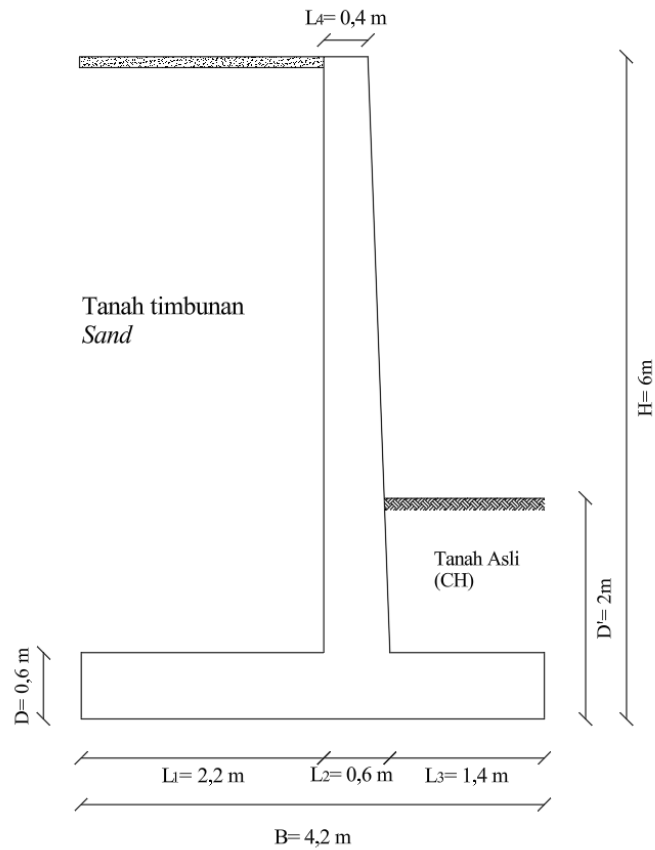
$$\begin{aligned}
 N_c &= 18,60 \\
 N_q &= 9,07 \\
 N_y &= 5,20 \\
 q &= \gamma_2 D' \\
 &= 18,71 \times 2 \\
 &= 37,42 \text{ kN/m}^2 \\
 B' &= B - 2e \\
 &= 4,2 - 2 \times 0,197 \\
 &= 3,82 \text{ m} \\
 F_{qd} &= 1 + 2 \tan \varphi' (1 - \sin \varphi')^2 \left(\frac{D'}{B'}\right) \\
 &= 1 + 2 \tan 23,45 (1 - \sin 23,45)^2 \left(\frac{2}{3,8}\right) \\
 &= 3,26 \\
 F_{cd} &= F_{qd} - \left(\frac{1 - F_{qd}}{N_c \tan \varphi}\right) \\
 &= 3,26 - \left(\frac{1 - 3,26}{18,60 \tan 23,45}\right) \\
 &= 3,54 \\
 F_{yd} &= 1
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\psi &= \tan^{-1} \left(\frac{Pa \cos \alpha}{\Sigma V} \right) \\
&= \tan^{-1} \left(\frac{96,48}{364,47} \right) \\
&= 3,68 \\
F_{yi} &= \left(1 - \frac{\psi}{\phi} \right)^2 \\
&= \left(1 - \frac{3,68}{23,45} \right)^2 \\
&= 0,71 \\
F_{ci} &= F_{qi} = \left(1 - \frac{\psi}{90} \right)^2 \\
&= \left(1 - \frac{3,68}{90} \right)^2 \\
&= 0,91 \\
q_u &= c' \cdot 2 N_c F_{cd} F_{ci} + q N_q F_{qd} F_{qi} + 0,5 \gamma_2 B' N_\gamma F_{\gamma d} F_{\gamma i} \\
&= 23,45 \times 18,6 \times 0,91 + 37,42 \times 9,07 \times 3,26 \times 0,91 + 0,5 \times 18,71 \times \\
&\quad 3,82 \times 5,2 \times 1 \times 0,71 \\
&= 2165,36 \text{ kN/m}^2 \\
SF &= \frac{q_u}{q_{\max}} \\
&= \frac{2165,36}{109,29} \\
&= 19,81 > 3 \text{ (OK)}
\end{aligned}$$

5.4.4 Analisis Stabilitas Internal

Stabilitas internal dinding penahan tanah kantilever dianalisis berdasarkan kemampuan elemen beton bertulang dalam menahan gaya-gaya internal yang bekerja akibat tekanan tanah dan beban struktur. Penulangan pada dinding penahan tanah kantilever meliputi tulangan pada bagian tumit (*heel*), tulangan pada bagian telapak (*toe*), serta tulangan pada bagian badan dinding (*stem*). Perhitungan manual terhadap kebutuhan tulangan dilakukan dengan mengevaluasi momen lentur dan gaya geser yang terjadi pada setiap elemen struktur, kemudian dibandingkan dengan kapasitas beton dan tulangan sesuai ketentuan perencanaan beton bertulang

yang berlaku. Berikut merupakan rencana penulangan DPT Kantilever yang ditunjukkan pada Gambar 5.30.



Gambar 5.30 Dimensi Rencana Penulangan

H	= 6 meter
B	= 4,2 meter
D	= 0,6 meter
D'	= 2 meter
L ₁	= 2,2 meter
L ₃	= 1,4 meter
L ₂	= 0,6 meter
L ₄	= 0,4 meter

Mutu Baja (f_y) = 400 Mpa

Mutu Beton (f'_c) = 24 Mpa

a. Perhitungan kebutuhan tulangan utama dinding vertikal

$$\text{Diameter baja } (\emptyset) = 19 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Tebal dinding } (L_2) &= 0,6 \text{ m} \\ &= 600 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\text{Selimut Beton } (T_s) = 75 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Tebal efektif } (d) &= 600 - 75 - (1/2\emptyset) \\ &= 515 \text{ mm} \\ &= 0,515 \text{ m} \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} \text{Momen ultimit } (M_u) &= \frac{P_h \times (H-d)}{3} \\ &= \frac{96,48 \times (6-0,515)}{3} \\ &= 176,3976 \text{ kNm} \\ &= 17639760 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\Phi = 0,8$$

$$\begin{aligned} M_n &= \frac{M_u}{\Phi} \\ &= \frac{176,3976}{0,8} \\ &= 220,497 \\ &= M_n/100 \times 10^8 \\ &= 220497200 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

Tulangan yang diperlukan (A_s)

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{M_n}{b \times d^2} \\ &= \frac{220497200}{1000 \times 515^2} \\ &= 0,831359 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m &= \frac{f_y}{0,85 \times f'_c} \\ &= \frac{400}{0,85 \times 24} \\ &= 19,6 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_b &= \frac{0,85 \times \beta \times f'_c}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} \\ &= \frac{0,85 \times 0,85 \times 24}{400} \times \frac{600}{600 + 400} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 0,02601 \\
 \rho_{\max} &= 0,75 \times \rho_b \\
 &= 0,75 \times 0,02601 \\
 &= 0,01951 \\
 \rho_{\min} &= \frac{1,4}{f_y} \\
 &= \frac{1,4}{400} \\
 &= 0,0035 \\
 \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{F_y}} \right) \\
 &= \frac{1}{19,6} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 19,6 \times 0,831359}{400}} \right) \\
 &= 0,002122
 \end{aligned}$$

Cek kondisi

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

$$0,0035 < 0,0021 < 0,01951$$

Maka ρ pakai adalah 0,0035

Luas tulangan lentur yang dibutuhkan untuk setiap meter panjang

$$\begin{aligned}
 n &= b/s + 1 \\
 &= 1000/150 + 1 \\
 &= 7 \text{ buah tulangan}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{As perlu} &= \rho_{\text{pakai}} \times b \times d \\
 &= 0,0035 \times 1000 \times 515 \\
 &= 1802,05 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{As terpasang} &= \frac{1}{4} \times \pi \times \emptyset^2 \times n \\
 &= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 19^2 \times 7 \\
 &= 1984,7 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Cek} &= \text{As terpasang} > \text{As perlu} \\
 &= 1984,7 \text{ mm}^2 > 1802,05 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}
 \end{aligned}$$

Tulangan yang dipakai merupakan D19-150, tulangan diameter 19 mm dengan jarak pemasangan 150 mm sehingga dalam setiap 1 meter panjang terdapat sebanyak 7 batang tulangan.

b. Perhitungan tulangan horizontal atau tulangan bagi dinding vertikal

Tulangan horizontal pada dasar dinding disesuaikan dengan SNI 2847-2019 pasal 11.6.1 adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} A_s \text{ min} &= 0,0025 \times b \times L_2 \\ &= 0,0025 \times 1000 \times 600 \\ &= 1500 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Sesuai dengan SNI 2847-2019 pasal 11.6.1, maka luas tulangan dibagi merata menjadi dua sisi.

$$\begin{aligned} A_s \text{ perlu} &= 0,5 \times A_s \text{ min} \\ &= 0,5 \times 1500 \\ &= 750 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n &= b/s + 1 \\ &= 1000/200 + 1 \\ &= 6 \text{ buah tulangan} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_s \text{ terpasang} &= \frac{1}{4} \times \pi \times 13^2 \times n \\ &= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 13^2 \times 6 \\ &= 796,39 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Cek} &= A_s \text{ terpasang} > A_s \text{ perlu} \\ &= 796 \text{ mm}^2 > 700 \text{ mm}^2 \text{ (OK)} \end{aligned}$$

Tulangan yang digunakan adalah D13-300 dengan jumlah tulangan susut per meter panjang sebanyak 6 buah tulangan.

c. Desain terhadap geser

$$\text{Diameter tulangan} = 13 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} A_v &= 2 \times \frac{1}{4} \times \pi \times r^2 \\ &= 2 \times \frac{1}{4} \times 3,14 \times 13^2 \\ &= 265,5714 \text{ mm} \\ &= 2,66 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 d &= D - T_s - 0,5 \times \emptyset \\
 &= 600 - 75 - 0,5 \times 13 \\
 &= 518,15 \text{ mm} \\
 d_g &= (H - D) - (d/1000) \\
 &= (6000 - 600) - (518,15/1000) \\
 &= 5399,48 \text{ mm} \\
 v_u &= P_h \times 1,6 \\
 &= 96,48 \times 1,6 \\
 &= 154,36 \text{ kN} \\
 v_c &= (1/6 \times \sqrt{f_c'}) \times b \times d \\
 &= (1/6 \times \sqrt{24}) \times 1000 \times 518,15 \\
 &= 423,067 \text{ kN} \\
 \phi v &= \phi \times V_c \\
 &= 0,75 \times 423,067 \\
 &= 317,515 \text{ kN} > V_u, \text{ maka aman terhadap geser.}
 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}
 S_{min} &= \frac{3 \times A_v \times F_y}{b_w} \\
 &= \frac{3 \times 2,66 \times 400}{600} \\
 &= 531,14 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Maka, tulangan geser yang digunakan adalah D13-300

d. Desain tulangan bagian *heel*

Diambil tebal pelat kaki (t) = 600 mm

Selimut beton = 75 mm

Diameter tulangan = 19 mm

$$\begin{aligned}
 q_{max} &= \frac{\Sigma V}{B} \left(1 + \frac{6e}{B} \right) \\
 &= \frac{\Sigma V}{4,2} \left(1 + \frac{6 \times 1,8}{4,2} \right) \\
 &= 109,29 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}
 &= \frac{\Sigma V}{4,2} \left(1 - \frac{6 \times 1,8}{4,2} \right) \\
 &= 64,26 \text{ kN/m}^2 \\
 q &= q \text{ min} + \left(\frac{q_{\text{max}} - q_{\text{min}}}{B} \right) \\
 &= 64,26 + \left(\frac{109,29 - 64,26}{4,2} \right) \\
 &= 74,98 \text{ kN/m}^2 \\
 Mu &= 1/8 \times q \times B^2 \\
 &= 1/8 \times 74,98 \times 4,2^2 \\
 &= 165,3309 \text{ kN} \\
 &= 165330900 \text{ Nmm} \\
 \text{Tulangan yang diperlukan (As)} \\
 \Phi &= 0,8 \\
 Mn &= \frac{Mu}{\phi} \\
 &= \frac{165,3309}{0,8} \\
 &= 206,6636 \text{ Mpa} \\
 &= Mn/100 \times 10^8 \\
 &= 206,6636/100 \times 10^8 \\
 &= 206663600 \text{ Nmm} \\
 Rn &= \frac{Mn}{b \times d^2} \\
 &= \frac{206663600}{1000 \times 518,15^2} \\
 &= 0,769756 \text{ Mpa} \\
 m &= \frac{fy}{0,85 \times f'c} \\
 &= \frac{400}{0,85 \times 24} \\
 &= 19,6 \\
 \rho_b &= \frac{0,85 \times \beta \times f'c}{fy} \times \frac{600}{600 + fy} \\
 &= \frac{0,85 \times 0,85 \times 24}{400} \times \frac{600}{600 + 400} \\
 &= 0,02601
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\max} &= 0,75 \times \rho_b \\
 &= 0,75 \times 0,02601 \\
 &= 0,01951 \\
 \rho_{\min} &= \frac{1,4}{f_y} \\
 &= \frac{1,4}{400} \\
 &= 0,0035 \\
 \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{F_y}} \right) \\
 &= \frac{1}{19,6} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 19,6 \times 0,831359}{400}} \right) \\
 &= 0,002122
 \end{aligned}$$

Cek kondisi

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

$$0,0035 < 0,0021 < 0,01951$$

Maka ρ pakai adalah 0,0035

Luas tulangan lentur yang dibutuhkan untuk setiap meter panjang

$$\begin{aligned}
 n &= b/s + 1 \\
 &= 1000/150 + 1 \\
 &= 7 \text{ buah tulangan}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{As perlu} &= \rho_{\text{pakai}} \times b \times d \\
 &= 0,0035 \times 1000 \times 515 \\
 &= 1802,05 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{As terpasang} &= \frac{1}{4} \times \pi \times \phi^2 \times n \\
 &= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 19^2 \times 7 \\
 &= 1984,7 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Cek} &= \text{As terpasang} > \text{As perlu} \\
 &= 1984,7 \text{ mm}^2 > 1802,05 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}
 \end{aligned}$$

Tulangan yang dipakai merupakan D19-150, tulangan diameter 19 mm dengan jarak pemasangan 150 mm sehingga dalam setiap 1 meter panjang terdapat sebanyak 7 batang tulangan.

e. Perhitungan kebutuhan tulangan geser pada pelat kaki atau telapak

$$\text{Diameter tulangan} = 13 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} A_v &= 2 \times \frac{1}{4} \times \pi \times r^2 \\ &= 2 \times \frac{1}{4} \times 3,14 \times 13^2 \\ &= 265,5714 \text{ mm} \\ &= 2,66 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d &= D - T_s - 0,5 \times \emptyset \\ &= 600 - 75 - 0,5 \times 13 \\ &= 518,15 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d_g &= (H - D) - (d/1000) \\ &= (6000 - 600) - (518,15/1000) \\ &= 5399,48 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} v_u &= P_h \times 1,6 \\ &= 96,48 \times 1,6 \\ &= 154,36 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} v_c &= (1/6 \times \sqrt{f_c'}) \times b \times d \\ &= (1/6 \times \sqrt{24}) \times 1000 \times 518,15 \\ &= 423,067 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi v &= \phi \times V_c \\ &= 0,75 \times 423,067 \\ &= 317,515 \text{ kN} > V_u, \text{ maka aman terhadap geser.} \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} S_{min} &= \frac{3 \times A_v \times F_y}{b_w} \\ &= \frac{3 \times 2,66 \times 400}{600} \\ &= 531,14 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka, tulangan geser yang digunakan adalah D13-300

f. Desain tulangan horizontal telapak

Tulangan horizontal telapak tidak perlu diperhitungkan, namun tetap direncanakan tulangan horizontal dan digunakan tulangan D13 – 300.

g. Rekapitulasi kebutuhan tulangan

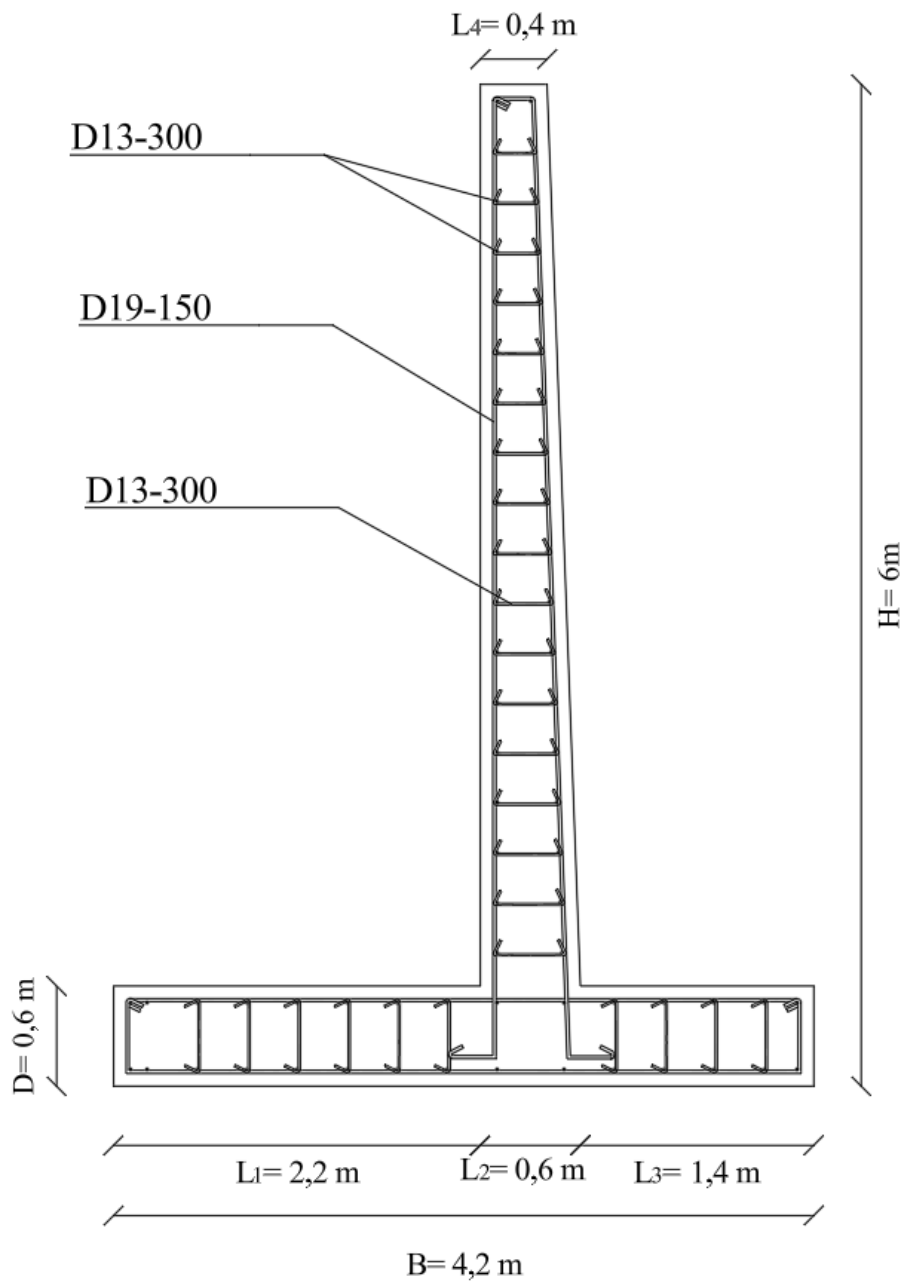
Rekapitulasi keseluruhan perhitungan kebutuhan tulangan dinding penahan tanah tipe kantilever dapat dilihat pada Tabel 5.9 berikut ini.

Tabel 5.9 Tabel Rekapitulasi Kebutuhan Tulangan

Tulangan Pokok dinding vertikal	Tulangan horizontal/bagi dinding vertikal	Tulangan geser telapak	Tulangan Pokok telapak	Tulangan horizontal/bagi telapak	Tulangan geser telapak
D19-150	D13-300	D13-300	D19-150	D13-300	D13-300

h. Sketsa penulangan DPT Kantilever

Berdasarkan seluruh hasil perhitungan manual kebutuhan tulangan dinding penahan tanah yang telah dilakukan, berikut merupakan sketsa penulangan dinding penahan tanah yang ditunjukkan pada Gambar 5.31.

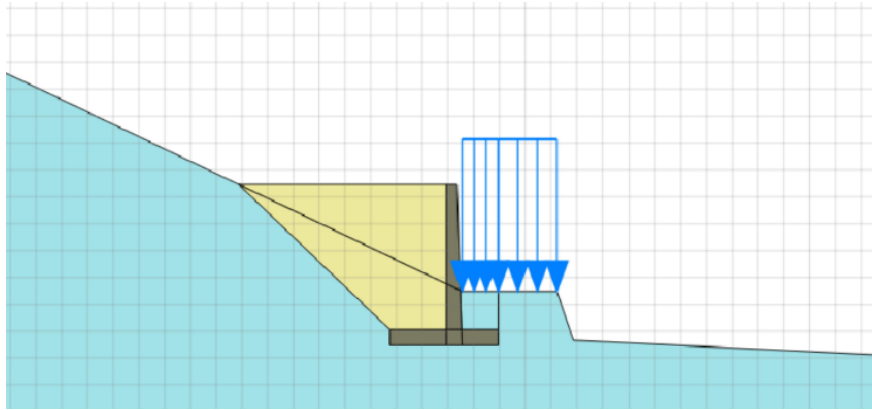


Gambar 5.31 Sketsa Penulangan DPT Kantilever

5.4.5 Analisis Stabilitas Global

Analisis stabilitas global dimodelkan menggunakan PLAXIS 2D V21 untuk mendapatkan nilai SF pada kondisi kering dan basah. Muka air tanah ditetapkan 1 meter di bawah dasar dinding akibat pemasangan drainase yang berfungsi

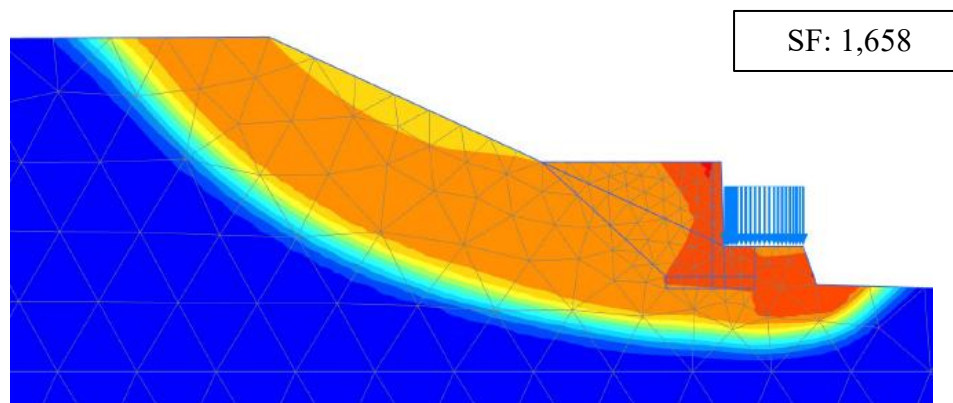
mengurangi tekanan air pori. Berikut merupakan permodelan DPT kantilever pada program PLAXIS 2D V21 yang dapat dilihat pada Gambar 5.32.



Gambar 5.32 Permodelan DPT Kantilever Pada Program PLAXIS 2D V21

1. Analisis kondisi kering

Stabilitas global lereng DPT kantilever kondisi kering dapat dilihat pada Gambar 5.33 berikut.



Gambar 5.33 Stabilitas Global DPT Kantilever Kondisi Kering

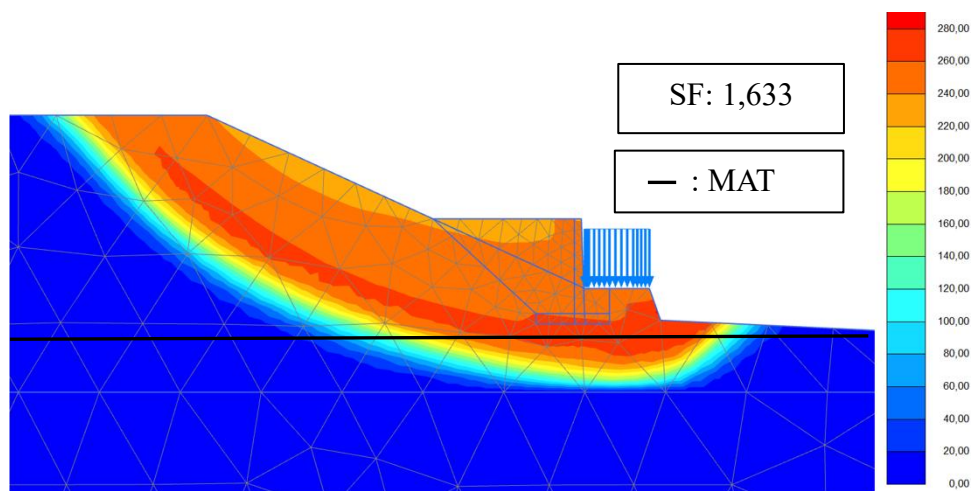
Dari hasil pemodelan DPT Kantilever menggunakan PLAXIS 2D V21 pada kondisi kering, diperoleh nilai *safety factor* lereng. Nilai SF yang didapatkan sebesar 1,658. Nilai tersebut memiliki nilai SF lebih dari 1,5 sehingga lereng tersebut dikategorikan aman. Nilai SF dapat dilihat pada menu *phases* yang dapat dilihat pada Gambar 5.34 sebagai berikut

Reached values	
Reached total time	0,000 day
CSP - Relative stiffness	5,945E-9
ForceX - Reached total force X	0,000 kN
ForceY - Reached total force Y	0,000 kN
Pmax - Reached max pp	155,5 kN/m ²
ΣM_{stage} - Reached phase proportion	0,000
ΣM_{weight} - Reached weight proportion	1,000
ΣM_{sf} - Reached safety factor	1,658

Gambar 5.34 Safety factor DPT Kantilever Kondisi Kering

2. Analisis kondisi basah

Pada analisis ini muka air tanah ditetapkan 1 meter di bawah dasar dinding akibat pemasangan drainase yang berfungsi mengurangi tekanan air pori. Stabilitas global DPT Kantilever kondisi basah dapat dilihat pada Gambar 5.35 berikut.



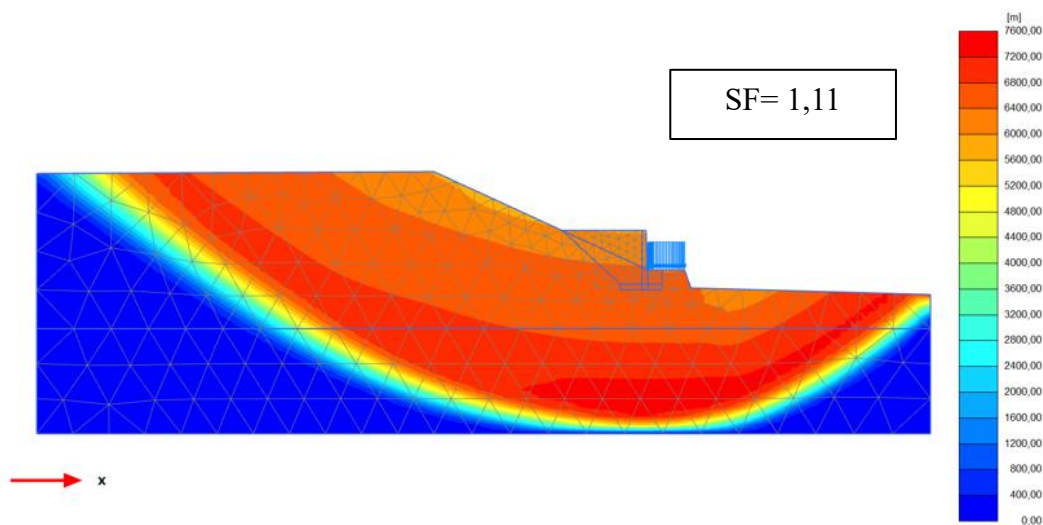
Gambar 5.35 Stabilitas Global DPT Kantilever Kondisi Basah

Berdasarkan hasil analisis menggunakan PLAXIS 2D V21, lereng perkuatan DPT kantilever memiliki nilai *Safety factor* (SF) sebesar 1,633. Nilai ini menunjukkan bahwa nilai SF bertambah dari analisis lereng dengan pengaturan kemiringan sebelumnya dan kondisi lereng sudah memenuhi nilai standar aman yaitu sebesar 1,5. Nilai SF dapat dilihat pada menu *phases* yang dapat dilihat pada Gambar 5.36 sebagai berikut

Reached values	
Reached total time	0,000 day
CSP - Relative stiffness	0,5029E-12
ForceX - Reached total force X	0,000 kN
ForceY - Reached total force Y	0,000 kN
Pmax - Reached max pp	278,0 kN/m ²
ΣM_{stage} - Reached phase proportion	0,000
ΣM_{weight} - Reached weight proportion	1,000
ΣM_{sf} - Reached safety factor	1,633

Gambar 5.36 Safety factor DPT Kantilever Kondisi Basah

Setelah dilakukan perhitungan SF tanpa beban gempa, selanjutnya dilakukan analisis dengan memperhitungkan beban gempa. Hasil permodelan *safety factor* dengan beban gempa dapat dilihat pada Gambar 5.37 berikut.

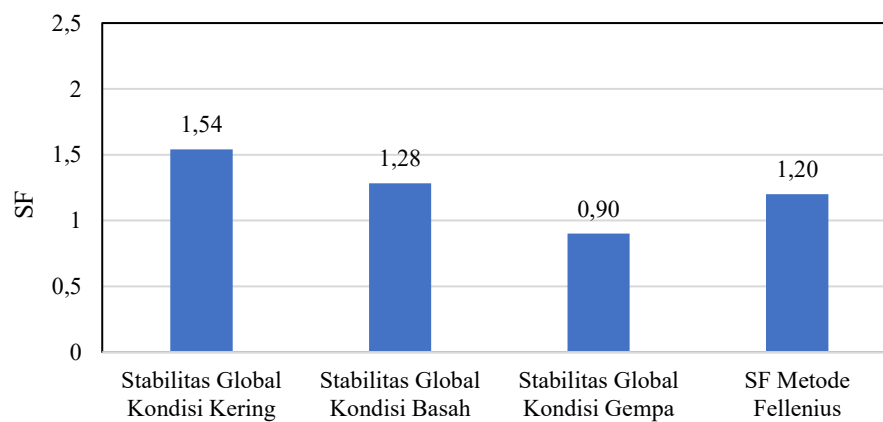


Gambar 5.37 Safety factor DPT Kantilever Dengan Beban Gempa

Berdasarkan hasil perhitungan dengan mempertimbangkan beban gempa, diperoleh nilai *Safety factor* sebesar 1,11. Nilai tersebut berada dalam kategori aman terhadap pengaruh gempa dan sudah memenuhi nilai standar aman yaitu sebesar 1,1. sehingga lereng dinyatakan stabil setelah diberikan perkuatan berupa dinding penahan tanah tipe kantilever.

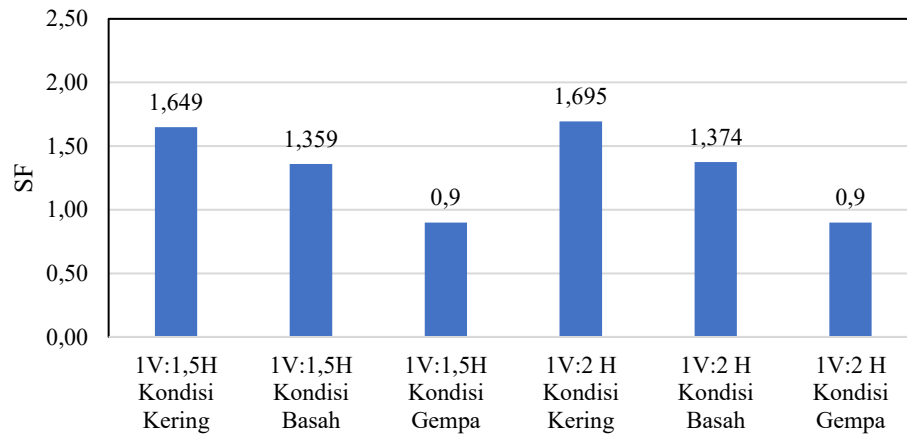
5.5 Pembahasan Hasil Analisis

Analisis lereng pada Desa Wargasari, Kecamatan Kadupandak, Kabupaten Cianjur, dilakukan untuk mendapatkan nilai *safety factor* melalui stabilitas lereng. Analisis dilakukan pada lereng eksisting pada kondisi kering, kondisi basah, kondisi diberi beban gempa, dan perhitungan manual menggunakan metode *fellenius*. Berikut adalah grafik perbandingan nilai *safety factor* pada kondisi eksisting yang dapat dilihat pada Gambar 5.38.



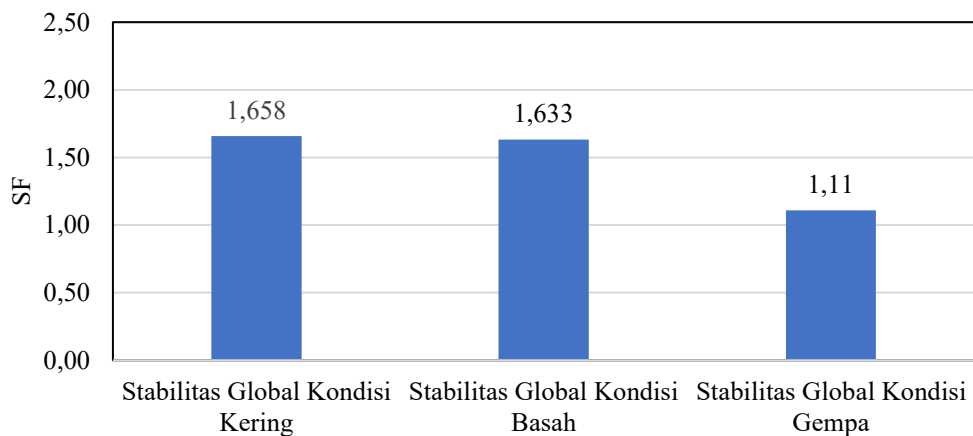
Gambar 5.38 Perbandingan SF Lereng Eksisting

Setelah lereng dianalisis pada keadaan eksisting perlu dilakukan stabilitas tanah, salah satunya adalah pengaturan kemiringan pada geometri lereng. Metode ini sangat sesuai diterapkan pada Desa Wargasari yang memiliki akses terbatas, sehingga solusi yang murah, mudah dilaksanakan, dan tidak membutuhkan teknologi tinggi menjadi pilihan yang paling efektif. Dalam analisis ini, dilakukan dua variasi kemiringan lereng, yaitu 1V:1,5H dan 1V:2H, yang masing-masing dianalisis pada kondisi kering, kondisi basah dengan muka air tanah -1m dibawah permukaan, serta kondisi dengan penambahan beban gempa. Berikut adalah grafik perbandingan nilai *safety factor* pada analisis pengaturan kemiringan yang dapat dilihat pada Gambar 5.39.



Gambar 5.39 Perbandingan SF Pengaturan Kemiringan

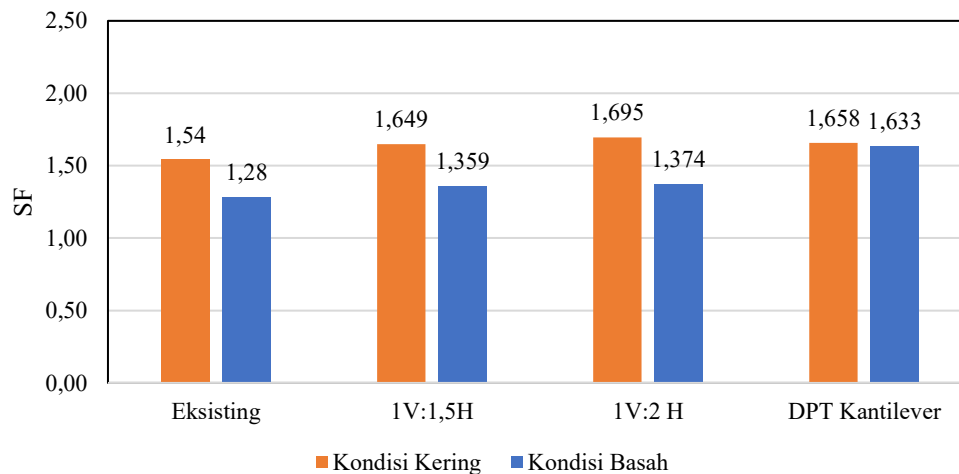
Alternatif stabilitas lereng lainnya adalah perkuatan menggunakan dinding penahan tanah tipe kantilever. Pada alternatif sebelumnya, yaitu pengaturan kemiringan lereng, nilai *safety factor* minimum masih belum tercapai sehingga diperlukan analisis lanjutan menggunakan dinding penahan tanah kantilever. Analisis dilakukan pada kondisi kering, kondisi basah, kondisi diberi beban gempa. Berikut adalah grafik perbandingan nilai *safety factor* lereng perkuatan dinding penahan tanah kantilever yang dapat dilihat pada Gambar 5.40.



Gambar 5.40 Perbandingan SF Perkuatan DPT

Analisis perbandingan nilai *Safety Factor* (SF) menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan antara kondisi kering dan basah. Secara keseluruhan, pemodelan mulai dari kondisi eksisting, perubahan kemiringan lereng (1V:1.5H dan

1V:2H), dan Dinding Penahan Tanah (DPT) Kantilever mengalami penurunan nilai SF ketika beralih ke kondisi basah. Berikut adalah grafik perbandingan nilai *safety factor* lereng antara kondisi kering dan basah yang dapat dilihat pada Gambar 5.41.



Gambar 5.41 Perbandingan SF Lereng Antara Kondisi Kering dan Basah

Berdasarkan hasil analisis kedua alternatif stabilitas lereng, alternatif yang memenuhi persyaratan *safety factor* minimum sesuai SNI 8460:2017 serta ketentuan Bina Marga 2009 adalah penggunaan perkuatan berupa dinding penahan tanah (DPT) tipe kantilever. Perkuatan ini mampu memberikan nilai stabilitas yang lebih tinggi dibandingkan alternatif pengaturan kemiringan lereng. Gambar kerja perkuatan dinding penahan tanah tipe kantilever yang digunakan dalam analisis dapat dilihat pada Gambar 5.31. Berikut merupakan rangkuman hasil analisis SF global kondisi eksisting, pengaturan kemiringan dan perkuatan DPT yang dapat dilihat pada Tabel 5.10.

Tabel 5.10 Rekapitulasi *Safety Factor* Eksisting dan Alternatif Perkuatan

Eksisting			
Perbandingan SF	SF	SF syarat	Keterangan
Stabilitas Global Kondisi Kering	1,54	1,5	Aman
Stabilitas Global Kondisi Basah	1,283	1,5	Tidak Aman
Stabilitas Global Kondisi Gempa	<1	1,1	Tidak Aman
SF Metode <i>Fellenius</i>	1,2	1,5	Tidak Aman
Alternatif 1 Pengaturan Kemiringan			
Perbandingan SF	SF	SF syarat	Keterangan
1V:1,5H Kondisi Kering	1,649	1,5	Aman
1V:1,5H Kondisi Basah	1,359	1,5	Tidak Aman
1V:1,5H Kondisi Gempa	<1	1,1	Tidak Aman
1V:2 H Kondisi Kering	1,695	1,5	Aman
1V:2 H Kondisi Basah	1,374	1,5	Tidak Aman
1V:2 H Kondisi Gempa	<1	1,1	Tidak Aman
Alternatif 2 Perkuatan DPT Kantilever			
Perbandingan SF	SF	SF syarat	Keterangan
Stabilitas Global Kondisi Kering	1,658	1,5	Aman
Stabilitas Global Kondisi Basah	1,633	1,5	Aman
Stabilitas Global Kondisi Gempa	1,11	1,1	Aman
Stabilitas geser	3,97	1,5	Aman
Stabilitas guling	4,6	2	Aman
Stabilitas daya dukung	19,81	3	Aman

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Kesimpulan dari rumusan masalah pada dinding penahan tanah tipe kantilever di kawasan Desa Wargasari, Kecamatan Kadupandak, Kabupaten Cianjur adalah sebagai berikut.

1. Tanah di kawasan Desa Wargasari yang terdampak longsor memiliki jenis lapisan tanah lempung (CH). Pengambilan sampel tanah menggunakan sampel tanah terganggu (*Disturbed Sample/DS*) dan sampel tanah tidak terganggu (*Undisturbed Sample/UDS*) untuk memperoleh data *properties* tanah dan parameter kekuatan geser tanah. Pada kondisi jenuh air, tanah kohesif memiliki permeabilitas rendah akibat ukuran pori-pori tanah yang kecil. Hal ini menyebabkan air sulit bergerak keluar, sehingga tekanan pori meningkat dan tahanan gesek tanah berkurang.
2. Berdasarkan hasil analisis stabilitas lereng eksisting di Desa Wargasari, Kabupaten Cianjur, Jawa Barat, diperoleh nilai *safety factor* yang bervariasi pada setiap kondisi. Pada kondisi kering, nilai *safety factor* global sebesar 1,54 yang menunjukkan lereng berada pada kondisi relatif stabil dan memenuhi persyaratan minimum menurut SNI 8460:2017. Namun, pada kondisi basah dengan kenaikan muka air tanah akibat curah hujan, nilai *safety factor* menurun menjadi 1,28 sehingga tidak memenuhi nilai faktor keamanan minimum sebesar 1,5. Selanjutnya, pada kondisi dengan penambahan beban gempa, nilai *safety factor* kembali menurun < 1 yang mengindikasikan lereng berada pada kondisi tidak stabil. Hasil perhitungan manual menggunakan metode *Fellenius* menghasilkan nilai *safety factor* sebesar 1,20, yang masih berada di bawah standar yang disyaratkan. Berdasarkan hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa lereng eksisting berpotensi mengalami ketidakstabilan terutama pada kondisi basah dan kondisi gempa, sehingga diperlukan upaya rekayasa stabilisasi lereng untuk meningkatkan faktor keamanan.

3. Berdasarkan hasil analisis stabilitas lereng akibat kenaikan muka air tanah hingga 1 m di bawah permukaan tanah, diperoleh nilai *safety factor* pada kondisi eksisting sebesar 1,28 yang menunjukkan lereng tidak memenuhi nilai SF minimum sebesar 1,5. Pengaturan kemiringan lereng menyebabkan nilai *safety factor* menurun dari kondisi kering, yaitu menjadi 1,359 pada kemiringan 1V:1,5H dan 1,374 pada kemiringan 1V:2H. namun masih belum memenuhi kriteria stabilitas. Perkuatan menggunakan dinding penahan tanah tipe kantilever memberikan hasil terbaik dengan nilai *safety factor* sebesar 1,633 pada kondisi basah.
4. Perbandingan hasil stabilitas lereng setelah perkuatan menunjukkan bahwa alternatif pengaturan kemiringan dengan rasio 1V:1,5H dan 1V:2H, saat kondisi kering, basah dan gempa, masih menghasilkan nilai *safety factor* di bawah batas aman 1,5, sehingga dinyatakan belum stabil. Oleh karena itu dilakukan analisis lanjutan menggunakan dinding penahan tanah tipe kantilever. Hasil pemodelan DPT Kantilever menunjukkan peningkatan stabilitas yang signifikan, dengan SF global tanpa gempa sebesar 1,633 dan SF global dengan gempa sebesar 1,11 yang keduanya memenuhi syarat aman. Selain itu, nilai stabilitas eksternal berada jauh di atas nilai minimal yang dipersyaratkan yaitu stabilitas geser sebesar 3,97, stabilitas guling sebesar 4,6, dan stabilitas daya dukung sebesar 19,81. Kenaikan nilai *safety factor* pada DPT tipe kantilever disebabkan oleh adanya sistem drainase yang direncanakan pada bagian belakang dinding, sehingga tekanan air pori dan tekanan air tanah dapat dikurangi karena air dialirkan keluar melalui drainase. Selain itu, keberadaan DPT turut berkontribusi sebagai elemen penahan yang berada dalam area momen penahan terhadap momen pendorong pada analisis metode *Fellenius*, sehingga secara keseluruhan mampu meningkatkan stabilitas lereng dan nilai *safety factor*. Dengan demikian, perkuatan DPT kantilever merupakan alternatif yang paling efektif dalam meningkatkan *safety factor* lereng pada lokasi penelitian.

6.2 Saran

Adapun saran yang diberikan dari hasil penulisan Tugas Akhir adalah sebagai berikut.


1. Perlu dilakukan adanya pengujian N-SPT agar mendapatkan stratigrafi tanah per lapisan yang lebih akurat.
2. Perlu dilakukan survei topografi lapangan lanjutan menggunakan Total Station, GNSS RTK, atau drone fotogrametri agar geometri lereng yang dimodelkan benar-benar sesuai dengan kondisi lapangan. Akurasi topografi sangat memengaruhi hasil analisis stabilitas.
3. Perlu dilakukan pemantauan muka air tanah dengan pemasangan alat seperti piezometer karena mampu memberikan data muka air tanah yang lebih akurat. Alternatif lainnya adalah melakukan pengamatan melalui sumur gali atau lubang bor, yang dapat digunakan sebagai metode sederhana untuk mengetahui kedalaman muka air tanah.
4. Pemilihan alternatif perkuatan perlu disesuaikan dengan Rencana Anggaran Biaya (RAB) serta metode pelaksanaannya, yang pada penelitian ini masih menjadi salah satu keterbatasan dalam penyusunan tugas akhir.
5. Pengaturan kemiringan lereng memerlukan kubikasi galian yang besar sehingga kurang efisien dari segi biaya dan pelaksanaan. Oleh karena itu, penggunaan DPT kantilever lebih disarankan karena membutuhkan ruang yang lebih minimal dan memberikan peningkatan faktor keamanan lereng yang lebih optimal.

DAFTAR PUSTAKA

- ASTM. (1972). *Standard Method for Particle-Size Analysis of Soils (ASTM D421-72)*. American Society for Testing and Materials, Philadelphia.
- BSN. 2013. *SNI 2847:2013 Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung*. Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.
- BSN. 2017. *SNI 8460:2017 Perancangan Geoteknik*. Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.
- Bowles, J.E. 1977. *Foundation Analysis and Design*. McGraw-Hill. New York.
- CNN Indonesia. 2024. *Tanah Bergerak di Cianjur, 35 Rumah Rusak, 90 Orang Mengungsi*. (Online). (<https://www.cnnindonesia.com/nasional/20241126095524-20-1170662/tanah-bergerak-di-cianjur-35-rumah-rusak-90-orang-mengungsi>). Diakses 21 Juli 2025).
- Damara, A., Nugroho, A., dan Putra, R. 2023. *Analisis Stabilitas Lereng pada Proyek Jalan Tawang–Ngalang Menggunakan Dinding Kantilever*. Jurnal Geoteknik Terapan. Yogyakarta.
- Das, B.M. dan Sobhan, K. 2018. *Principles of Geotechnical Engineering*. 9th ed. Cengage Learning. Boston.
- Darwis, M. 2018. *Geoteknik untuk Stabilitas lereng dan Dinding Penahan Tanah*. UII Press. Yogyakarta.
- Effendi, M. 2022. *Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Dinding Penahan Tanah Beton Bertulang Kantilever (Studi Kasus: Proyek Jembatan Kenet, Bantul)*. Skripsi. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Hardiyatmo, H.C. 1998. *Stabilitas Lereng Alami dan Buatan*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- Hardiyatmo, H.C. 2002. *Analisis dan Perancangan Fondasi Bagian I*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- Hardiyatmo, H.C. 2002. *Mekanika Tanah I*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- Hardiyatmo, H.C. 2017. *Mekanika Tanah II*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- Hastuty, R. 2020. *Analysis of Slope Stability by the Planning of Kantilever Retaining Wall Reinforcement Using the Application of Plaxis (Case Study: Substation Panyabungan)*. Tesis. Universitas Sumatera Utara. Medan.
- Martini, S. 2005. *Pengaruh Curah Hujan terhadap Potensi Longsor di Lereng*. Jurnal Rekayasa Sipil, 8(1), pp.45–52.

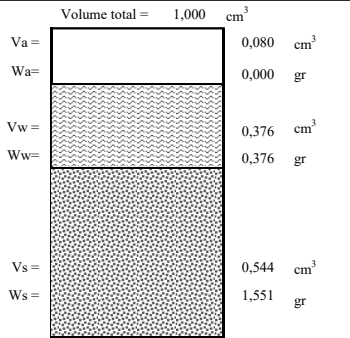
- Muchtaranda, A., Siregar, R., dan Nugroho, T. 2023. *Pengaruh Curah Hujan terhadap Stabilitas Lereng dan Muka Air Tanah*. Jurnal Teknik Sipil. Vol. 12(4): 134–143. Bandung.
- Pratama, R. 2021. *Analisis Stabilitas Lereng dengan Perkuatan Dinding Penahan Tanah Berjenjang Tipe Concrete Kantilever Menggunakan Program Plaxis 8.6 (Studi Kasus di Pasaman, Sumatera Barat)*. Skripsi. Universitas Andalas. Padang.
- Ridwan, F. dan Yusa, M. 2019. *Penerapan Metode Elemen Hingga pada Konstruksi Geoteknik*. Penerbit Geoteknik Indonesia. Jakarta.
- Sudarmanto, S. 1996. *Dinding Penahan Tanah dan Perencanaan Teknisnya*. Andi Offset. Yogyakarta.
- Terzaghi, K. 1948. *Theoretical Soil Mechanics*. John Wiley & Sons. New York.
- Ulfaida, N., Rahman, F., & Hidayat, A. (2024). Analisis stabilitas lereng dengan variasi kemiringan menggunakan PLAXIS 3D. *Jurnal Geoteknik Indonesia*, 13(1), 1–12.
- Virgo, B., Maulana, I., dan Saputra, Y. 2018. *Kohesi dan Sudut Geser dalam pada Tanah Lempung*. Jurnal Mekanika Tanah. Vol. 4(2): 99–110.

LAMPIRAN 1

 <small>FAKULTAS TEKNIK SIPIL & PERENCANAAN</small> <small>Geologi M. H. H. Sidiq E. Kusumadewi Ph.D. M. Sc. S. T. E. Daryanto Ph.D. M. Sc. S. T. E. Daryanto Ph.D. M. Sc. S. T. E. Daryanto Ph.D. M. Sc. S. T. M. H. H. Sidiq</small>		RESUME PROPERTIES TANAH	
Proyek : <u>Penelitian Longsor Cianjur</u> Lokasi : <u>Cianjur, Jawa Barat</u> No Titik : <u>Wargasari DS 1</u> Dikerjakan : <u>Gifara Dzikry M.H. / Rahesa Ariano P</u> Tanggal : <u>10/06/2025</u>			
B. Uji Berat Volume (ASTM D7263)			
No Ring	Satuan	a	b
Berat Ring	gram	5,07	6,43
Diameter Ring	cm	1,84	2,42
Tinggi Ring	cm	37,15	78,46
Volume Ring	cm ³	38,37	80,08
Berat ring + Tanah Basah	gram	108,19	231,86
Berat Tanah Basah	gram	69,82	151,78
Berat Volume tanah basah	gr/cm ³	1,88	1,93
Berat Volume tanah basah rata-rata	gr/cm ³	1,907	
A. Uji Kadar air (ASTM D2216)			
No Cawan	Satuan	a	b
Berat Cawan	gram	6,43	5,90
Berat Cawan + Tanah Basah	gram	29,06	32,27
Berat Cawan + Tanah Kering	gram	23,08	29,33
Berat air	gram	5,98	2,94
Berat tanah kering	gram	16,65	23,43
Kadar air	%	35,92	12,55
Kadar air rata-rata	%	24,232	
C. Uji Berat Jenis (ASTM D854-72)			
No Pengujian	Satuan	1	2
Berat piknometer (W1)	gr	31,23	27,13
Berat piknometer + Tanah kering. (W2)	gr	61,84	55,49
Berat piknometer + Tanah + air. (W3)	gr	101,96	96,47
Berat piknometer + air. (W4)	gr	82,50	79,13
Suhu air (t ^a)	gr	27,00	27,00
g air pada suhu (t ^b)		0,99650	0,99650
g air pada suhu (20 ^o C)		0,99640	0,99640
Berat Tanah kering (Ws)	gr	30,61	28,36
A = Ws + W4	gr	113,11	107,49
I = A - W3	gr	11,150	11,020
Berat Jenis tanah pada suhu (t ^a). Gs = Ws / I		2,745	2,574
Berat Jenis tanah pada suhu (20 ^o)= Gs. (gw t ^a / gw t 20 ^o C)		2,746	2,574
Berat jenis rata-rata pada suhu (20 ^o)		2,660	

No Sampel	Satuan	1	2	rerata
Kadar air (w)	%	35,92	12,55	24,232
Berat volume tanah basah (γ)	gr/cm ³	1,880	1,934	1,907
Berat volume tanah kering (γ _d)	gr/cm ³	1,383	1,719	1,551
Berat Jenis Tanah (Gs)		2,746	2,574	2,660
Angka pori, e		0,985	0,497	0,741
Porositas, n	%	49,63	33,22	41,425
Derajat kejenuhan		1,00	0,65	0,82

Volume total = 1,000 cm³



Diperiksa
Kepala Laboratorium

Dr. Hanindy Kusuma.A.,ST.,MT



FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

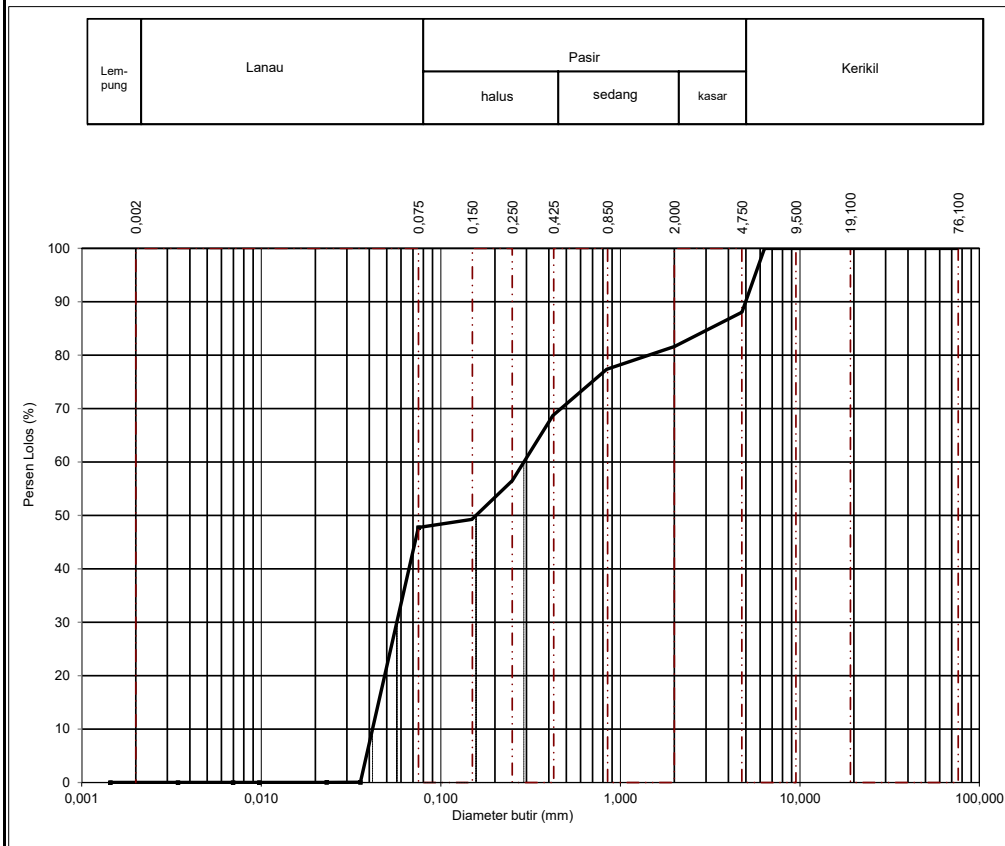
Gedung 8th, Blok. 8A-8B
Jl. Sekeloa Indah No. 145, Yogyakarta
S. 55172 (Indonesia) 10000
P. 0271 895330
E. teknik@uii.ac.id
W. teknik.uii.ac.id

PARTICLE SIZE DISTRIBUTION ANALYSIS

(ASTM D 422)

Proyek : Penelitian Longsor Cianjur
Lokasi : Cianjur, Jawa Barat
No Titik : Wargasari DS 1
Dikerjakan : Gifara Dzikry M.H. / Rahesa Ariano P
Tanggal : 10-Jun-25


■ Kurva Analisa Saringan
- - Kurva Analisa Hidrometer



lolos # 200	47,721 %	D10 (mm)	0,049 mm
		D30 (mm)	0,053 mm
Krikil	0,000 %	D60 (mm)	0,300 mm
Pasir	6,660 %	Cu = D60/D10	6,122 mm
Lanau	87,509 %	Cc = D30 ² / (D10xD60)	0,191 mm
Lempung	5,831 %	D50 (mm)	0,175 mm

Diperiksa
Kepala Laboratorium

Dr. Hanindya Kusuma.A.,ST.,MT

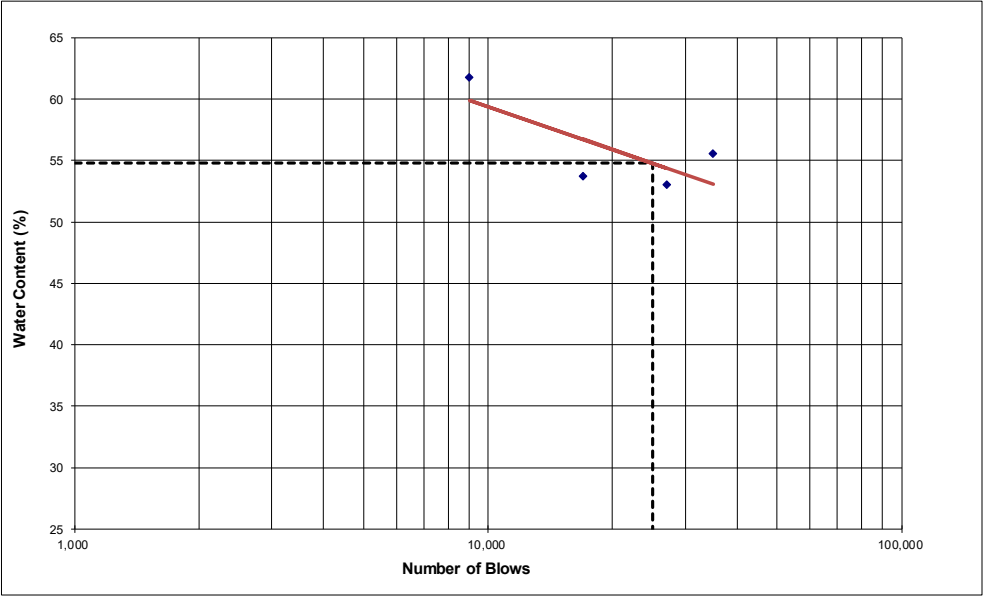
	FAKULTAS TEKNIK SIPIL & PERENCANAAN	Gedung KH. Moh. Natsir Jl. Kaliurang Km 14,5 Yogyakarta T. (0274) 896444 ext. 3200 F. (0274) 895330 E. tepa@ub.ac.id W. tepa.ub.ac.id	ATTEBERG LIMITS
---	--	--	------------------------

Project : Penelitan Longsor Cianjur
 Location : Cianjur, Jawa Barat
 Hole No. : Wargasari DS 1
 Tested By : Gifara Dzikry M.H. / Rahesa Ariano P
 Date : 10/06/2025

LIQUID LIMIT (ASTM D4318)

No. of Blows	35		9		27		17		PLASTIC LIMIT	
Container No.	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Wt. Container	g 7,67	6,60	6,43	6,56	6,45	7,19	6,64	5,84	6,25	7,58
Wt. Container + Wet Soil	g 21,38	24,47	17,28	17,79	17,98	17,73	18,44	18,81	7,01	8,64
Wt. Container + Dry Soil	g 16,46	18,12	13,26	13,38	14,01	14,05	14,54	14,04	6,85	8,40
Wt. Water	g 4,92	6,35	4,02	4,41	3,97	3,68	3,90	4,77	0,16	0,24
Wt. Dry Soil (Ws)	g 8,79	11,52	6,83	6,82	7,56	6,86	7,90	8,20	0,60	0,82
Water Content (w)	% 55,97	55,12	58,86	64,66	52,51	53,64	49,37	58,17	26,90	29,27
Average Water Content (w)	% 55,55		61,76		53,08		53,77		28,08	

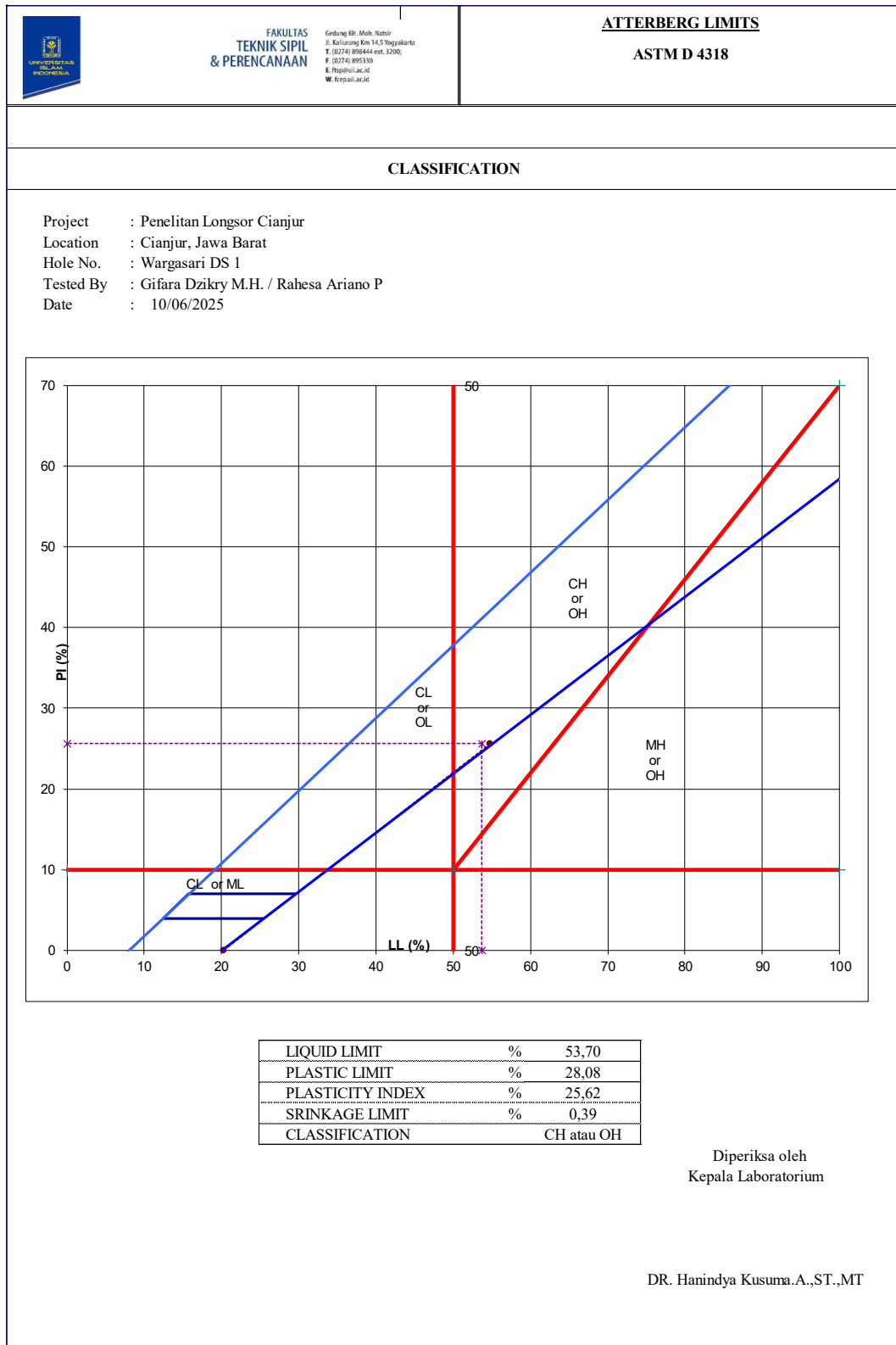
FLOW CURVE



RESULT SUMMARY		
LIQUID LIMIT	%	53,70
PLASTIC LIMIT	%	28,08
PLASTICITY INDEX	%	25,62

Kepala Laboratorium

DR. Hanindya Kusuma.A.,ST.,MT



	LABORATORIUM MEKANIKA TANAH JURUSAN TEKNIK SIPIL FTSP - UII	Gedung CH Moh Natsir Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia Jl. Kaliurang KM 14,4 Yogyakarta 55584 T. (0274) 895444 ext. 5224 F. (0274) 895330 W. ftsp.uii.ac.id
<h2 style="margin: 0;">PENGUJIAN TRIAKSIAL</h2> <h3 style="margin: 0;">(TRIAxIAL TEST)</h3> <p style="margin: 0;">SNI 03 4813-1998</p>		

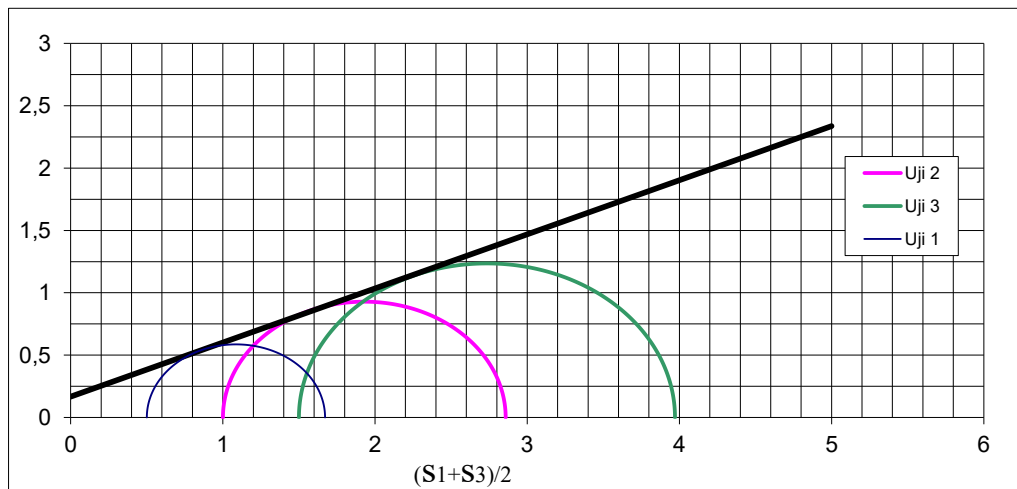
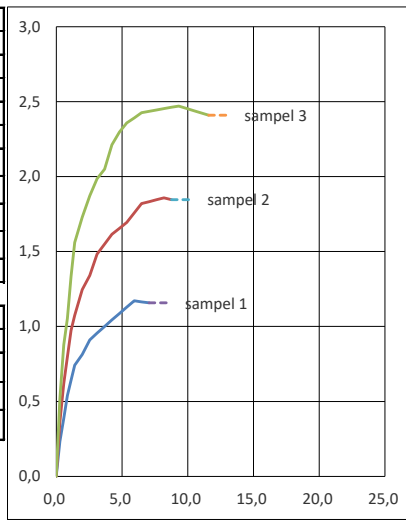
Grafik Lingkaran Mohr

Proyek : Penelitian Longsor Cianjur
 Asal Tanah : Cianjur, Jawa Barat
 No. Sampel : Wargasari UDS 1
 Dikerjakan : Vinda Nurul H. A. / Gifara Dzikry M.H. / Rahesa Ariano P
 Tanggal : 19/06/25

PENGUKURAN AWAL	Satuan	Speciment		
		I	II	III
Diameter, D	cm	3,640	3,640	3,640
Tinggi, H	cm	7,080	7,080	7,080
Berat, W	gr	89,110	89,110	89,110
Kadar Air, w	%	70,908	53,388	70,456
Luas, A	cm ²	10,406	10,406	10,406
Volume, V	cm ³	73,676	73,676	73,676
Berat Isi Basah, g	gr/cm ³	1,209	1,209	1,209
Berat Isi Kering, gd	gr/cm ³	0,708	0,789	0,710

Pembebanan	Satuan	Speciment		
		I	II	III
Tegangan Keliling, σ_3	kg/cm ²	0,500	1,000	1,500
Teg Geser Max, $\Delta\sigma$	kg/cm ²	1,172	1,858	2,470
Teg Utama σ_1	kg/cm ²	1,672	2,858	3,970

Sudut geser dalam, f	23,453°
Kohesi, c	0,167 kg/cm ²



Kepala Laboratorium

Dr. Hanindya Kusuma.A.,ST.,MT

<p style="font-size: small; margin: 0;"> LABORATORIUM MEKANIKA TANAH JURUSAN TEKNIK SIPIL FTSP - UII </p> <p style="font-size: x-small; margin: 0;"> Gedung OH Moh Natsir Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia Jl. Kaliurang KM 14,4 Yogyakarta 55584 T. (0274) 895444 ext. 3224 F. (0274) 895330 W. ftsp.uii.ac.id </p>	<h2 style="margin: 0;">PENGUJIAN TRIAKSIAL (TRIAXIAL TEST)</h2> <p style="margin: 0;">SNI 03 4813-1998</p>
--	--

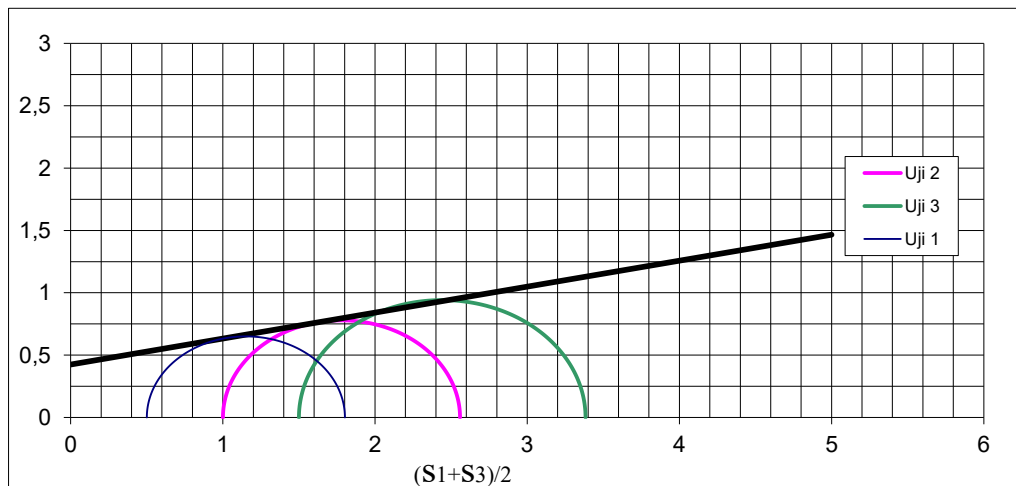
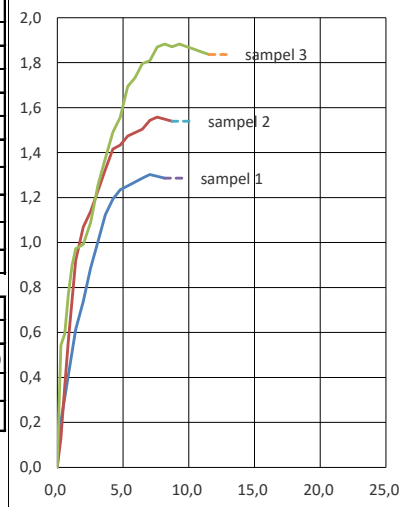
Grafik Lingkaran Mohr

Proyek : Penelitan Longsor Cianjur
 Asal Tanah : Cianjur, Jawa Barat
 No. Sampel : Wargasari UDS 2
 Dikerjakan : Vinda Nurul H. A. / Gifara Dzikry M.H. / Rahesa Ariano P
 Tanggal : 19/06/25

PENGUKURAN AWAL	Satuan	Speciment		
		I	II	III
Diameter, D	cm	3,640	3,640	3,640
Tinggi, H	cm	7,100	7,100	7,100
Berat, W	gr	89,110	89,110	89,110
Kadar Air, w	%	57,681	57,529	49,996
Luas, A	cm ²	10,406	10,406	10,406
Volume, V	cm ³	73,884	73,884	73,884
Berat Isi Basah, g	gr/cm ³	1,206	1,206	1,206
Berat Isi Kering, gd	gr/cm ³	0,765	0,766	0,804

Pembebanan	Satuan	Speciment		
		I	II	III
Tegangan Keliling, σ_3	kg/cm ²	0,500	1,000	1,500
Teg Geser Max, $\Delta\sigma$	kg/cm ²	1,302	1,558	1,883
Teg Utama σ_1	kg/cm ²	1,802	2,558	3,383

Sudut geser dalam, f	11,753°
Kohesi, c	0,426 kg/cm ²



Kepala Laboratorium

Dr. Hanindya Kusuma.A.,ST.,MT