

TUGAS AKHIR

ANALISIS STABILITAS LERENG DENGAN PERKUATAN *GRAVITY WALL* DAN *CANTILEVER WALL* DI DESA SUKARAHARJA, CIANJUR, JAWA BARAT

**(*ANALYSIS OF SLOPE STABILITY USING GRAVITY WALL
AND CANTILEVER WALL REINFORCEMENT IN
SUKARAHARJA VILLAGE, CIANJUR, JAWA BARAT*)**

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



**Gifara Dzikry M.H.
21511033**

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

TUGAS AKHIR

ANALISIS STABILITAS LERENG DENGAN PERKUATAN *GRAVITY WALL* DAN *CANTILEVER WALL* DI DESA SUKARAHARJA, CIANJUR, JAWA BARAT (*ANALYSIS OF SLOPE STABILITY USING GRAVITY WALL AND CANTILEVER WALL REINFORCEMENT IN SUKARAHARJA VILLAGE, CIANJUR, JAWA BARAT*)

Disusun oleh



Gifara Dzikry M.H.
21511033

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

Diuji pada tanggal
Oleh Dewan Penguji

Pembimbing

Penguji I

Penguji II

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

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

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



Mengesahkan,
Ketua Program Studi Teknik Sipil

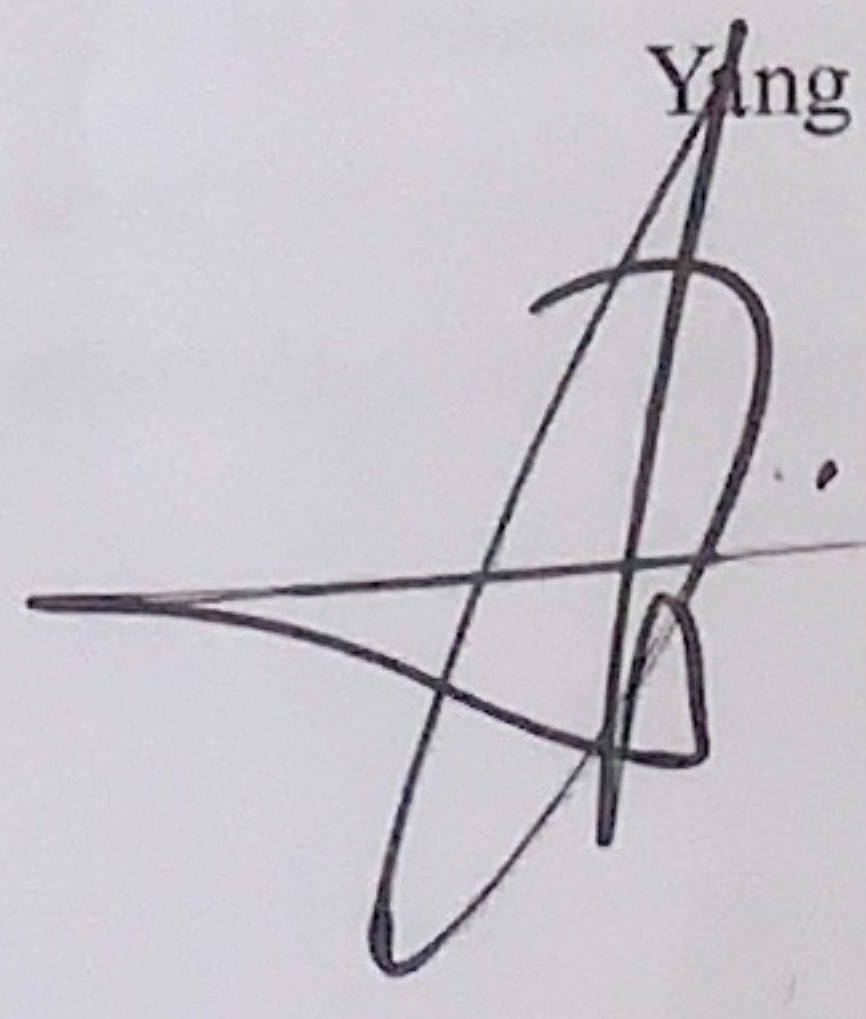
In. Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D.Eng. IPM.
NIK: 095110101

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya dengan ini menyatakan secara sungguh-sungguh bahwa laporan Tugas Akhir yang disusun sebagai syarat penyelesaian Program Sarjana di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, merupakan murni hasil karya saya sendiri; semua bagian yang dikutip atau direferensikan dari hasil karya orang lain telah dicantumkan sumbernya secara jelas, transparan, dan sesuai dengan norma, kaidah, dan etika penulisan karya ilmiah yang berlaku, dan saya bersedia menerima sanksi tegas, termasuk pencabutan gelar akademik, apabila di kemudian hari terbukti adanya plagiasi atau ketidakaslian karya ini, sesuai dengan perundang-undangan yang berlaku.

Yogyakarta, 22 Desember 2025

Yang membuat pernyataan,



Gifara Dzikry M.H.
(21511033)

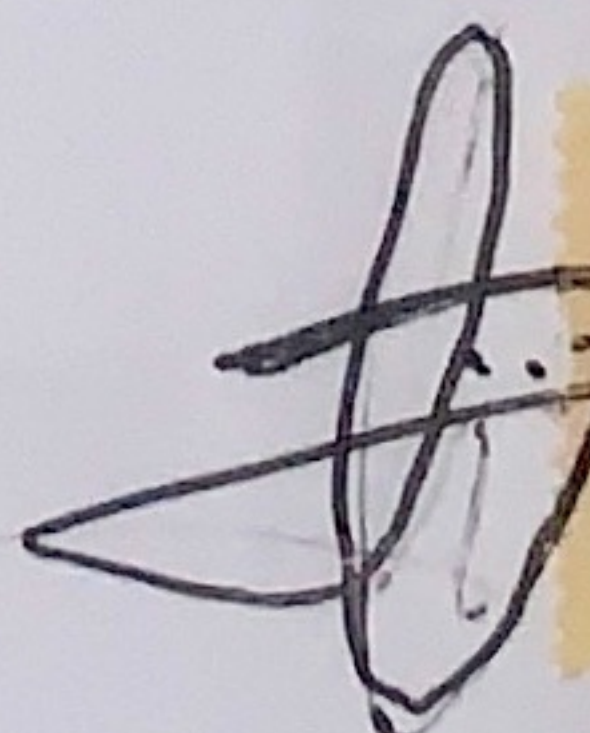
KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah SWT atas rahmat dan hidayah-Nya, sehingga Laporan Tugas Akhir berjudul Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan *Gravity Wall* Dan *Cantilever Wall* di Desa Sukaraharja, Cianjur, Jawa Barat ini dapat terselesaikan sebagai syarat utama meraih gelar Sarjana Teknik Sipil dari Universitas Islam Indonesia. Tugas Akhir ini adalah cerminan dari perjalanan panjang yang tidak mungkin terwujud tanpa kontribusi luar biasa dari banyak pihak. Dengan ketulusan hati, saya menyampaikan terima kasih yang mendalam kepada:

1. Ibu Dr. Hanindya Kusuma Artati, S.T., M.T. Selaku Dosen Pembimbing,
2. Bapak Muhammad Rifqi Abdurrozak, S.T., M.Eng. Selaku Dosen Penguji I,
3. Ibu Anisa Nur Amalina, S.T., M.Eng. Selaku Dosen Penguji II,
4. Ibu Ir. Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D.Eng. IPM. Selaku Kaprodi,
5. Ayah, Mama, Kakak serta Berlian yang telah berkorban dan memberikan dukungan baik moral, material, dan doa,
6. Arkendra, Advani, Fari, Nares, Daris, Angga, dan Annas yang selalu menemani dan menjadi tempat berbagi cerita,
7. Teman-teman “Darul Dingo”, “Jamet Sipil”, dan “ES CEH” yang telah menemani masa masa perkuliahan penulis dan tempat bercengkrama,
8. Terimakasih kepada diri penulis yang telah percaya, kuat, dan bekerja keras selama ini.

Saya menyadari bahwa laporan ini belum sempurna. Oleh karena itu, kritik konstruktif sangat saya harapkan demi perbaikan ilmu pengetahuan. Semoga karya sederhana ini dapat memberikan manfaat yang nyata bagi pengembangan disiplin Teknik Sipil.

Yogyakarta, Desember 2025

  H.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	v
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR LAMPIRAN	xi
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xii
ABSTRAK	xiv
ABSTRACT	xv
BAB I PENDAHULUAN	16
1.1 Latar Belakang	16
1.2 Rumusan Masalah	17
1.3 Tujuan	18
1.4 Manfaat Penelitian	18
1.5 Batasan Penelitian	18
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	20
2.1 Perkuatan Lereng Dengan <i>Gravity Wall</i>	20
2.2 Perkuatan Lereng Dengan <i>Cantilever Wall</i>	21
2.3 Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Sekarang	22
BAB III LANDASAN TEORI	31
3.1 Tanah	31
3.2 Klasifikasi Tanah	31
3.3 Parameter Sifat Fisik Tanah	34
3.3.1 Kadar air	34

3.3.2	Berat Volume	35
3.3.3	Berat Jenis	37
3.3.4	Analisis Granuler	37
3.3.5	Batas-Batas Konsistensi	38
3.3.6	Modulus Elastisitas (E_s)	41
3.3.7	Poisson's Ratio	42
3.3.8	Pengujian Triaksial	43
3.3.9	Kohesi	44
3.3.10	Sudut Geser Dalam	44
3.3.11	Kuat Geser Tanah	44
3.4	Stabilitas Lereng	44
3.4.1	Faktor Penyebab Longsor	45
3.4.2	Metode Penanggulangan Longsor	45
3.5	Metode Fellenius	46
3.6	Metode Rankine	47
3.6.1	Tekanan Tanah Dalam Keadaan Diam	47
3.6.2	Tekanan Tanah Aktif	48
3.6.3	Tekanan Tanah Pasif	48
3.7	Dinding Penahan Tanah	49
3.8	<i>Cantilever Wall</i>	49
3.9	<i>Gravity Wall</i>	50
3.10	Kriteria Angka Faktor Keamanan	51
3.11	Stabilitas Dinding Penahan Tanah	51
3.11.1	Stabilitas Global	52
3.11.2	Stabilitas Terhadap Geser	52
3.11.3	Stabilitas Terhadap Guling	53
3.11.4	Stabilitas Terhadap Daya Dukung Tanah	53
3.12	Parameter Pembebanan	55
3.13	Analisis Dengan Metode Elemen Hingga	56
BAB IV METODE PENELITIAN		57
4.1	Pendahuluan	57

4.2 Lokasi Penelitian	58
4.3 Alur Penelitian	58
4.4 Pengolahan Data	64
4.4.1 Uji Laboratorium Tanah	64
4.4.2 Peta Topografi dan Geologi	64
4.4.3 Data Beban	64
BAB V PEMBAHASAN	66
5.1 Hasil Pengujian Laboratorium	66
5.2 Data Beban Gempa	71
5.3 Topografi Tanah	72
5.4 Analisis Stabilitas Lereng Eksisting	73
5.4.1 Analisis Stabilitas Lereng Eksisting Dengan Metode Fellenius	75
5.5 Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan <i>Gravity Wall</i>	79
5.5.1 Dimensi <i>Gravity Wall</i>	79
5.5.2 Analisis Stabilitas Eksternal dan Internal	80
5.5.3 Stabilitas Global	88
5.5.4 Rekapitulasi Analisis Dinding Penahan Tanah <i>Gravity Wall</i>	90
5.6 Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan <i>Cantilever Wall</i>	91
5.6.1 Dimensi <i>Cantilever Wall</i>	91
5.6.2 Analisis Stabilitas Eksternal dan Internal	91
5.6.3 Analisis Stabilitas Global	108
5.6.4 Rekapitulasi Analisis <i>Cantilever Wall</i>	110
5.7 Gambar Kerja <i>Gravity Wall</i> dan <i>Cantilever Wall</i>	111
5.8 Pembahasan Hasil Analisis	114
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	118
6.1 Kesimpulan	118
6.2 Saran	118
DAFTAR PUSTAKA	120

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Sistem Klasifikasi Tanah USCS	32
Gambar 3.2 Komponen Penyusun Tanah	34
Gambar 3.3 Batas-batas <i>Atterberg</i>	39
Gambar 3.4 Grafik Hasil Pengujian Batas Cair	39
Gambar 3.5 Tipikal Dimensi Dinding Kantilever	50
Gambar 3.6 Tipikal Dimensi <i>Gravity Wall</i>	51
Gambar 3.7 Peta Gempa Indonesia	55
Gambar 4.1 Lokasi Penelitian Desa Sukaraharja	58
Gambar 4.2 Bagan Alir Penelitian	60
Gambar 4.3 Lanjutan Bagan Alir Penelitian	61
Gambar 4.4 Lanjutan Bagan Alir Penelitian	62
Gambar 4. 5 Bagan Alir Analisis PLAXIS 2D V21	63
Gambar 5.1 Hasil Klasifikasi Tanah USCS UDS 2	67
Gambar 5.2 Hasil Klasifikasi Tanah USCS UDS 3	68
Gambar 5. 3 Peta Zonasi Gempa Indonesia PGA	72
Gambar 5. 4 Peta Kontur Pengambilan Sample Desa Sukaraharja	73
Gambar 5.5 Cross <i>Section</i> Lereng A-A	73
Gambar 5.6 Analisis Lereng Eksisting	74
Gambar 5.7 Nilai SF Lereng Eksisting	74
Gambar 5.8 Analisis Lereng Eksisting Dengan Beban Gempa	75
Gambar 5.9 Hasil Analisis Lereng Eksisting Dengan Beban Gempa	75
Gambar 5.10 Potongan Pias Pada Bidang Gelincir Lereng	76
Gambar 5.11 Sudut Pada Potongan Pias Bidang Gelincir Lereng	76
Gambar 5.12 Dimensi DPT <i>Gravity Wall</i>	80
Gambar 5.13 Pembagian Pias Gaya Vertikal Pada <i>Gravity Wall</i>	82
Gambar 5. 14 Diagram Aktif dan Pasif <i>Gravity Wall</i>	83
Gambar 5. 15 Penampang Lereng Pada PLAXIS 2D	88

Gambar 5. 16 Analisis SF Stabilitas Global <i>Gravity Wall</i>	89
Gambar 5. 17 Nilai SF Stabilitas Global	89
Gambar 5. 18 Analisis Stabilitas Global <i>Gravity Wall</i> Dengan Beban Gempa	90
Gambar 5. 19 Nilai SF Stabilitas Global Dengan Beban Gempa	90
Gambar 5. 20 Dimensi <i>Cantilever Wall</i>	91
Gambar 5. 21 Pembagian Pias Gaya Vertikal <i>Cantilever wall</i>	93
Gambar 5. 22 Diagram Tekanan Aktif dan Pasif	94
Gambar 5. 23 Tinjauan Kebutuhan Penulangan	100
Gambar 5.24 Penampang lereng <i>Cantilever Wall</i>	109
Gambar 5.25 Analisis Stabilitas Global <i>Cantilever Wall</i>	109
Gambar 5.26 Nilai SF Stabilitas Global	109
Gambar 5.27 Analisis Stabilitas Global <i>Cantilever Wall</i> Dengan Beban Gempa	110
Gambar 5.28 Nilai SF Stabilitas Global Dengan Beban Gempa	110
Gambar 5.29 Dimensi Tipikal <i>Gravity Wall</i>	111
Gambar 5.30 Gambar Kerja <i>Gravity Wall</i>	112
Gambar 5.31 Dimensi Tipikal <i>Cantilever Wall</i>	112
Gambar 5.32 Gambar Kerja <i>Cantilever Wall</i>	113
Gambar 5.33 Gambar Detail Penulangan <i>Cantilever Wall</i>	113
Gambar 5.34 Perbandingan Nilai SF Lereng Eksisting Dengan SNI 8460:2017	114
Gambar 5.35 Perbandingan Nilai SF <i>Gravity Wall</i> Dengan SNI 8460:2017	115
Gambar 5.36 Perbandingan Nilai SF <i>Cantilever Wall</i> Dengan SNI 8460:2017	116
Gambar 5.37 Grafik Perbandingan SF <i>Gravity Wall</i> dan <i>Cantilever Wall</i>	117

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian <i>Gravity Wall</i> Terdahulu dan Sekarang	23
Tabel 2.2 Perbandingan Penelitian <i>Cantilever Wall</i> Terdahulu Dan Sekarang	27
Tabel 3.1 Sistem Klasifikasi AASHTO	33
Tabel 3.2 Berat Jenis Tanah Berbagai Tanah	37
Tabel 3.3 Susunan Saringan Menurut ASTM D 421-72	38
Tabel 3.4 Nilai Indeks Plastisitas Dan Ragam Tanah	41
Tabel 3.5 Nilai Modulus Elastisitas	42
Tabel 3.6 Nilai <i>Poisson's Ratio</i>	42
Tabel 5.1 Hasil Pengujian Laboratorium	66
Lanjutan Tabel 5.2 Hasil Pengujian Laboratorium	67
Tabel 5. 3 Hasil Klasifikasi Tanah AASHTO UDS 2	69
Tabel 5. 4 Hasil Klasifikasi Tanah AASHTO UDS 3	70
Tabel 5.5 Korelasi Tingkat Keaktifan Dengan Pengembangan	71
Tabel 5.6 Rekapitulasi Perhitungan Metode Fellenius	78
Tabel 5.7 Data Parameter Tanah	81
Tabel 5.8 Rekapitulasi Perhitungan Momen Vertikal Terhadap Titik O	82
Tabel 5.9 Rekapitulasi Tekanan Aktif dan Pasif	85
Tabel 5. 10 Rekapitulasi Hasil Analisis <i>Gravity Wall</i>	90
Tabel 5.11 Data Parameter Tanah	92
Tabel 5. 12 Rekapitulasi Perhitungan Momen Vertikal Terhadap Titik O	94
Tabel 5. 13 Rekapitulasi Tekanan Aktif	96
Tabel 5. 14 Rekapitulasi Tekanan Pasif	97
Tabel 5. 15 Rekapitulasi Kebutuhan Tulangan	108
Tabel 5.16 Rekapitulasi Hasil Analisis <i>Cantilever Wall</i>	111
Tabel 5.17 Rekapitulasi Nilai SF Keseluruhan Analisis	117

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Data Hasil Pengujian Laboratorium

122

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

USCS	= <i>Unified Soil Classification System</i>
AASHTO	= <i>American Association of State Highway and Transportation Official</i>
GI	= Indeks kelompok
SF	= <i>Safety Factor</i>
F	= Persen butiran lolos saringan no.200
LL	= Batas cair
PI	= Indeks plastisitas
PL	= Batas plastis
SL	= Batas susut tanah
w	= Kadar air (%)
W ₁	= Berat cawan kosong (gr)
W ₂	= Berat cawan + tanah basah (gr)
W ₃	= Berat cawan + tanah kering (gr)
W	= Berat total tanah (gr)
v	= Volume total tanah
G _s	= Berat jenis (kN/m ²)
γ _s	= Berat volume air (kN/m ³)
e	= Angka pori
γ _d	= Berat volume kering (kN/m ³)
W _s	= Berat tanah kering (gr)
V _s	= Volume total tanah kering (cm ³)
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	= <i>Poisson's Ratio</i>
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 ($^\circ$)
FS_{sliding}	= Faktor aman terhadap pergeseran
$F_{\text{daya dukung}}$	= Faktor aman terhadap daya dukung tanah
P_p	= Tekanan tanah pasif total (kN/m^2)
P_a	= Tekanan tanah aktif total (kN/m^2)
B	= Lebar fondasi dinding penahan (m)
E	= Eksentrisitas beban (m)
$\sum M_r$	= 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

Kawasan Desa Sukaraharja, Cianjur, Jawa Barat, memiliki kondisi topografi lereng yang rentan terhadap keruntuhan, yang dipicu oleh curah hujan tinggi, dan terbukti telah menyebabkan bencana longsor yang mengganggu akses vital serta keselamatan warga. Berdasarkan hasil analisis awal yang menunjukkan bahwa nilai *Safety Factor* (SF) lereng eksisting berada di bawah batas aman yang disyaratkan ($SF < 1,5$), penelitian ini bertujuan untuk menganalisis stabilitas lereng dan merencanakan solusi perkuatan yang efektif. Fokus utama studi adalah membandingkan efektivitas struktural dua jenis Dinding Penahan Tanah (DPT) yaitu *gravity wall* dan *cantilever wall*.

Metode penelitian yang digunakan adalah analisis stabilitas lereng secara komprehensif dengan mengintegrasikan data parameter tanah aktual yang diperoleh dari pengambilan sampel lapangan dan laboratorium, termasuk klasifikasi tanah (ML dan OH) serta parameter kuat geser tanah. Analisis stabilitas dilakukan menggunakan dua pendekatan, yaitu metode Fellenius dan metode Elemen Hingga (*Finite Element Method*) dengan perangkat lunak PLAXIS 2D V21. Evaluasi perkuatan dilakukan secara detail, mencakup pemeriksaan stabilitas eksternal, internal dan stabilitas global, diuji pada dua kondisi pembebanan yaitu, tanpa beban gempa dan dengan mempertimbangkan beban gempa pseudo-statik.

Hasil analisis lereng eksisting dikategorikan tidak aman dengan nilai SF sebesar 1,111 (Fellenius) dan 1,057 (PLAXIS 2D V21). Setelah penerapan perkuatan, stabilitas meningkat signifikan melampaui batas aman minimum yang disyaratkan. Untuk kondisi tanpa beban gempa, perkuatan *gravity wall* berhasil menaikkan SF menjadi 2,288, sementara *cantilever wall* memberikan nilai, yaitu SF 2,157. Meskipun pada kondisi dengan beban gempa kedua struktur menunjukkan nilai SF yang mendekati batas kritis ($SF_{gravity\ wall} = 1,295$ dan $SF_{cantilever\ wall} = 1,310$), *gravity wall* dan *cantilever wall* direkomendasikan sebagai pilihan perkuatan yang efektif dan efisien untuk penanganan risiko longsor di Desa Sukaraharja karena keduanya telah memenuhi persyaratan stabilitas sesuai dengan SNI 8460:2017.

Kata Kunci: Dinding Penahan Tanah, *Safety Factor*, Stabilitas Lereng, PLAXIS 2D.

ABSTRACT

Sukaraharja Village in Cianjur, West Java, possesses a sloping topography prone to failure, primarily triggered by high rainfall, which has demonstrably caused landslides that interrupt vital access and compromise public safety. Based on the preliminary analysis indicating that the existing slope's Safety Factor (SF) is below the required safety limit ($SF < 1.5$), this research aims to analyze the slope stability and design an effective reinforcement solution. The main focus of the study is to compare the structural effectiveness of two types of Retaining Walls (DPT): the gravity wall and the cantilever wall.

The research method employed a comprehensive slope stability analysis by integrating actual soil parameter data obtained from field sampling and laboratory tests, including soil classification (ML and OH) and soil shear strength parameters. Stability analysis was conducted using two approaches: the Fellenius method and the Finite Element Method (FEM) with the aid of PLAXIS 2D V21 software. Reinforcement evaluation was performed in detail, covering external, internal, and global stability checks, tested under two loading conditions: without seismic load and considering pseudo-static seismic load.

The existing slope analysis results were categorized as unsafe, with SF values of 1.111 (Fellenius) and 1.057 (PLAXIS 2D V21). Following the implementation of reinforcement, stability significantly increased beyond the required minimum safety limit. For the non-seismic loading condition, the gravity wall reinforcement successfully raised the SF to 2.288, while the cantilever wall provided an SF of 2.157. Although under seismic loading conditions both structures showed SF values close to the critical limit ($SF_{gravity\ wall} = 1.295$ and $SF_{cantilever\ wall} = 1.310$), both the gravity wall and cantilever wall are recommended as effective and efficient reinforcement options for landslide mitigation in Sukaraharja Village because both have satisfied the stability requirements in accordance with SNI 8460:2017.

Keywords: Retaining Wall, Safety Factor, Slope Stability, PLAXIS 2D.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Lereng merupakan bagian dari permukaan bumi yang memiliki kemiringan tertentu terhadap bidang horizontal. Pembentukan lereng dapat terjadi secara alami melalui proses geologi maupun secara buatan akibat aktivitas manusia, seperti pemotongan tanah untuk pembangunan jalan atau permukiman. Dalam kajian mengenai lereng, penting untuk mempertimbangkan berbagai faktor yang dapat menimbulkan bahaya, terutama potensi terjadinya tanah longsor yang merupakan salah satu bencana alam paling umum pada daerah bertopografi miring.

Hardiyatmo, (2017) Tanah longsor terjadi ketika gaya geser yang bekerja pada massa tanah melampaui kekuatan geser material penyusunnya. Fenomena ini dapat disebabkan oleh peningkatan tegangan geser atau penurunan kekuatan geser tanah. Selain itu, aktivitas seismik seperti gempa bumi juga berkontribusi terhadap terjadinya kelongsoran, terutama di Indonesia yang berada pada kawasan cincin api (*ring of fire*) dan memiliki frekuensi gempa yang cukup tinggi. Faktor iklim turut memperbesar risiko ini karena Indonesia beriklim tropis yang dapat memicu peningkatan curah hujan tinggi serta menyebabkan kondisi tanah menjadi jenuh air.

Desa Sukaraharja, Kabupaten Cianjur, Jawa Barat mengalami hujan deras secara terus menerus yang terjadi pada 2-3 Desember 2024. Berdasarkan keterangan warga tersebut, kemungkinan besar tanah longsor terjadi karena tanah yang jenuh akibat hujan dengan intensitas yang tinggi. Lokasi kelongsoran ini berada pada akses jalan utama desa menuju fasilitas umum dan fasilitas kesehatan. Karena hal tersebut menjadikan aktifitas warga menjadi terganggu karena harus melalui jalan lain dengan jarak tempuh yang lebih jauh. Kelongsoran ini perlu dibenahi salah satunya dengan dilakukan perkuatan lereng untuk memastikan keselamatan warga yang beraktifitas dan mengantisipasi adanya kelongsoran kembali



Gambar 1.1 Kondisi Lereng Setelah Longsor

Berdasarkan kelongsoran yang terjadi pada lokasi yang ditinjau hanya terdapat ruang yang terbatas di belakang dinding dan berdekatan dengan pemukiman serta akses jalan. Jenis perkuatan yang dijadikan alternatif untuk memperkuat kondisi lereng pada permasalahan tersebut adalah *gravity wall* dan *cantilever wall*. Kemudian penelitian ini akan mengetahui nilai *safety factor* pada lereng tersebut sebelum dilakukan perkuatan dan setelah dilakukan perkuatan serta deformasi yang terjadi dengan menggunakan PLAXIS 2D untuk mendapatkan modeling lereng.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah.

1. Bagaimana kondisi tanah di Kawasan Desa Sukaraharja, Cianjur, Jawa Barat?
2. Berapa angka aman dari lereng *eksisting* yang ada di Desa Sukaraharja, Cianjur, Jawa Barat?
3. Berapa angka aman dari perkuatan lereng menggunakan *gravity wall* di Desa Sukaraharja, Cianjur, Jawa Barat?
4. Berapa angka aman dari perkuatan lereng menggunakan Dinding Penahan Tanah (DPT) tipe kantilever di Desa Sukaraharja, Cianjur, Jawa Barat?

1.3 Tujuan

Penelitian ini bertujuan untuk mencapai beberapa sasaran sebagai berikut.

1. Untuk mengetahui klasifikasi tanah yang ada pada Kawasan Desa Sukaraharja, Cianjur, Jawa Barat.
2. Mengetahui angka aman dari lereng eksisting.
3. Mengetahui angka aman dari perkuatan lereng dengan *gravity wall*.
4. Mengetahui angka aman dari perkuatan lereng dengan *cantilever wall*.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan beberapa manfaat seperti.

1. Bagi Penulis
Penelitian ini dapat menambah wawasan dan pengetahuan penulis mengenai perkuatan tanah menggunakan *gravity wall* dan *cantilever wall*.
2. Bagi Pemerintah Daerah
Pemerintah daerah sebagai pemilik wewenang terhadap Pembangunan wilayah dapat menjadikan penelitian ini sebagai referensi dalam perencanaan pembangunan *gravity wall* dan *cantilever wall* di Desa Sukaraharja.
3. Bagi Masyarakat
Masyarakat akan merasa lebih aman dalam beraktifitas dengan adanya perkuatan tanah tipe *gravity wall* dan *cantilever wall* pada kawasan rawan longsor.

1.5 Batasan Penelitian

Adapun keterbatasan dalam penelitian ini meliputi.

1. Berat jenis pasangan batu kali pada *gravity wall* dan beton pada *cantilever wall* diasumsikan.
2. Data kontur didapat dari Google Earth dan DEMNAS
3. Data tanah merupakan data primer dari Desa Sukaraharja, Kabupaten Cianjur, Jawa Barat.
4. Muka air tanah diasumsikan -1m dibawah pengambilan sample.

5. Pada perencanaan DPT tipe kantilever tidak memperhitungkan kebutuhan penulangan.
6. Penelitian ini tidak meliputi metode pelaksanaan dan Rencana Anggaran Biaya (RAB).
7. Tanah timbunan diasumsikan sebagai tanah berpasir

\

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Perkuatan Lereng Dengan *Gravity Wall*

Isdianto dan Dian, (2023) menyatakan dalam perencanaan teknis, analisis kestabilan lereng dapat dilakukan dengan bantuan perangkat lunak yang memanfaatkan parameter tanah hasil pengujian laboratorium, seperti kadar air, kohesi, dan sudut geser dalam. Upaya penanggulangan terhadap potensi ketidakstabilan dapat dilakukan melalui perancangan dinding penahan tanah (DPT) yang terdiri atas beberapa tipe, antara lain gravitasi, kantilever, dan bronjong. Setiap jenis DPT memiliki kemampuan yang berbeda dalam menahan gaya geser, mencegah gulingan, serta menghindari keruntuhan struktur.

Sari dkk, (2020) menganalisis variasi desain dinding penahan tanah tipe gravity pada lereng tegak setinggi 4meter menggunakan metode elemen hingga (*finite element method*) dengan perangkat lunak PLAXIS 2D. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin besar berat struktur dinding, maka semakin tinggi pula nilai faktor keamanannya. Desain dinding dengan permukaan depan yang miring terbukti memiliki faktor keamanan lebih tinggi dibanding desain yang ramping seperti tipe cantilever. Penelitian ini menunjukkan pentingnya pemilihan dimensi dan bentuk geometri yang tepat dalam meningkatkan kestabilan dinding penahan.

Pemilihan dimensi dan juga bentuk ini salah satunya dipengaruhi oleh tinggi *gravity wall* dan *cantilever wall*. Hal tersebut diperkuat melalui penelitian yang dilakukan Bari dkk, (2021) yang melakukan studi mengenai tinggi optimum *gravity wall* yang dibangun menggunakan pasangan batu kali pada area tanah berpasir. Hasil analisis kestabilan eksternal dan internal menunjukkan bahwa tinggi maksimum yang aman adalah 7meter. Pada ketinggian lebih dari 8meter, struktur tidak lagi memenuhi syarat stabilitas internal, seperti gaya geser dan momen

penggulingan. Penelitian ini merekomendasikan tinggi 7meter sebagai batas optimum untuk jenis dinding ini.

Analisis stabilitas internal maupun eksternal pada perkuatan lereng menggunakan dinding gravitasi diperlukan untuk menilai tingkat keamanan struktur yang direncanakan Rekso dan Kuningsih, (2020). Penelitian ini menekankan pentingnya evaluasi kestabilan dinding penahan tanah serta kemampuan massa tanah dalam mendukung beban struktur. Dalam kajian tersebut dilakukan analisis terhadap ketahanan terhadap gaya geser, momen guling, dan daya dukung tanah terhadap potensi keruntuhan, dengan indikator utama berupa faktor keamanan, yaitu nilai $SF \geq 2$ untuk kondisi tanah lempung.

Analisis stabilitas lereng dapat dilakukan menggunakan perangkat lunak ataupun perhitungan manual seperti pada penelitian Arya dkk, (2025) menggunakan pendekatan empiris berdasarkan teori Rankine, Terzaghi, Hansen, dan Vesic untuk analisis stabilitas dinding penahan tanah. Studi ini membuktikan bahwa kombinasi metode empiris dan numerik dapat memberikan hasil yang konsisten dengan deviasi $<15\%$. Perhitungan empiris tetap relevan sebagai alat validasi cepat sebelum simulasi kompleks.

2.2 Perkuatan Lereng Dengan *Cantilever Wall*

Selain penggunaan dinding gravitasi, peningkatan faktor keamanan lereng juga dapat dicapai melalui penerapan dinding penahan tanah tipe kantilever sebagai elemen perkuatan. Effendi, (2020) menganalisis stabilitas lereng pada proyek Jembatan Kenet, Bantul, Yogyakarta dengan memanfaatkan metode elemen hingga berbantuan perangkat lunak PLAXIS 8.6, serta perhitungan manual menggunakan metode Fellenius dan teori Rankine. Hasil kajian tersebut menunjukkan bahwa dinding kantilever efektif dalam meningkatkan kestabilan lereng dan mengurangi deformasi, dengan konfigurasi tulangan D16-250, D16-200, D16-125, dan D13-100 yang dinyatakan cukup untuk menahan tegangan internal pada struktur.

Islamey, (2022) menganalisis stabilitas tanah pada lereng Jembatan Kiringan, Sungai Opak, dengan perkuatan dinding penahan tanah tipe kantilever menggunakan fondasi bored pile dan tiang pancang berdiameter 30 cm, 40 cm, dan

50 cm, menggunakan metode elemen hingga dengan perangkat lunak PLAXIS 8.2 dan perhitungan manual berbasis metode Fellenius. Penelitian ini menunjukkan bahwa variasi diameter tiang pancang dan dimensi dinding yang memadai meningkatkan stabilitas lereng, terutama pada kondisi beban gempa.

Rizki dkk, (2023) menganalisis stabilitas lereng di Jalan Lingkar Barat Bendungan Sadawarna, Subang, menggunakan dinding penahan tanah tipe kantilever setinggi 7 meter. Perhitungan faktor keamanan lereng dilakukan dengan metode keseimbangan batas (limit equilibrium method) berbasis metode Janbu, sementara stabilitas dinding dihitung dengan teori Rankine. Hasil Penelitian ini menunjukkan efektivitas dinding kantilever dalam meningkatkan stabilitas lereng dengan memanfaatkan berat struktur dan tanah urug non-kohefif.

Damara dkk, (2023) menganalisis stabilitas lereng di ruas jalan Tawang-Ngalang, Gunungkidul, dengan perkuatan dinding penahan tanah tipe kantilever setinggi 7meter menggunakan PLAXIS 8.6 dan perhitungan manual dengan metode Fellenius serta teori Rankine. Penelitian ini menunjukkan bahwa perkuatan kantilever efektif meningkatkan stabilitas lereng dan mengurangi deformasi tanah, dengan desain tulangan yang sesuai untuk menahan tegangan internal.

Souhoka dkk, (2024) mengevaluasi stabilitas lereng di ruas jalan Waipia-Saleman, Pulau Seram, dengan perkuatan dinding penahan tanah tipe kantilever setinggi 4meter menggunakan perangkat lunak PLAXIS 8.2 dan perhitungan manual berbasis teori Rankine. Hasil penelitian ini menyoroti bahwa analisis numerik dengan PLAXIS memberikan hasil lebih akurat karena memasukkan parameter elastisitas tanah, yang tidak dipertimbangkan dalam perhitungan manual.

2.3 Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Sekarang

Berikut ini adalah rangkuman dari penelitian terdahulu yang ditampilkan pada Tabel 2.1 dan 2.2.

Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian *Gravity Wall* Terdahulu dan Sekarang

Penelitian Terdahulu						Penelitian Yang Dilakukan
Nama	Rekso dan Kuningsih (2020)	Sari dkk. (2020)	Bari dkk. (2021)	Isdianto & Dian (2023)	Arya dkk. (2025)	Hafiz (2025)
Judul Penelitian	Analisis Stabilitas Lereng Dan Perencanaan Desain Dinding Penahan Tanah Tipe Gravity Wall (Studi Kasus :Area Perumahan The Ariston, Gunung Pati, Kota Semarang)	Analisis Stabilitas Variasi Dinding Penahan Tanah konvensional pada Lereng Vertikal	Ketinggian Optimum Dinding Penahan Tanah Gravitasi	Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Dinding Penahan Tanah Menggunakan Program PLAXIS (Studi Kasus: Ruas Jalan Gesek – Simpang Busung, Kabupaten Bintan)	Stabilitas Lereng Perkuatan Dinding Penahan Tanah Menggunakan Software GEO5 Dan Perhitungan Empiris Pada Proyek Jalan Lintas Selatan Lot 1A STA 4+600	Analisis Stabilitas Lereng Menggunakan Perkuatan <i>Gravity Wall</i> dan <i>Cantilever wall</i> Dengan PLAXIS 2D Sukaraharja,Cianjur, Jawa Barat

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

Penelitian Terdahulu						Penelitian Yang Dilakukan
Nama	Rekso dan Kuningsih (2020)	Sari dkk. (2020)	Bari dkk. (2021)	Isdianto & Dian (2023)	Arya dkk. (2025)	Hafiz (2025)
Tujuan Penelitian	Menganalisis stabilitas lereng dan merancang DPT di area perumahan The Ariston, Semarang.	Memperoleh konfigurasi desain dinding penahan tanah yang memberikan stabilitas paling tinggi.	Menentukan tinggi optimal dinding gravitasi dari batuan untuk kondisi tanah pasir.	Untuk menganalisis stabilitas lereng mengevaluasi efektivitas penggunaan dinding penahan tanah (DPT) sebagai perkuatan menggunakan perangkat lunak PLAXIS 2D, berdasarkan standar SNI 8460:2017.	Menganalisis stabilitas lereng pada proyek Jalan Lintas Selatan dengan perkuatan dinding penahan tanah, baik dengan metode empiris maupun software GEO5.	Menganalisis klasifikasi tanah, nilai angka aman lereng eksisting, dan setelah dilakukan perkuatan dengan <i>gravity wall</i> , serta deformasi tanah pada area terjadinya longsor.

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

Penelitian Terdahulu						Penelitian Yang Dilakukan
Nama	Rekso dan Kuningsih (2020)	Sari dkk. (2020)	Bari dkk. (2021)	Isdianto & Dian (2023)	Arya dkk. (2025)	Hafiz (2025)
Metode Penelitian	Analisis manual (metode irisan <i>Fellenius</i>), menggunakan parameter kohesi, sudut geser dalam, dll.	Finite Element Method (FEM) dan pemodelan Mohr Coulomb (MC).	Analisis stabilitas internal dan eksternal dinding gravitasi dengan tinggi bervariasi (4–14 m), menggunakan pendekatan teoritis.	Pengumpulan data dilanjutkan Analisis numerik menggunakan software PLAXIS 2D untuk mendapatkan nilai Faktor Keamanan (<i>Safety factor</i> / SF) dan area deformasi.	Perhitungan empiris dan simulasi numerik menggunakan perangkat lunak GEO5, dengan pendekatan <i>Limit Equilibrium Method</i> .	Pengumpulan data, simulasi numerik menggunakan perangkat lunak PLAXIS 2D dan perhitungan manual dengan metode <i>Fellenius</i> .

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

Penelitian Terdahulu						Penelitian Yang Dilakukan
Nama	Rekso & Kuningsih (2020)	Sari dkk. (2020)	Bari dkk. (2021)	Isdianto & Dian (2023)	Arya dkk. (2025)	Hafiz (2025)
Hasil	Didapatkan Nilai Tegangan Geser: $SF = 2,80 \geq 2$ (Aman) Momen Guling: $SF = 2,51 \geq 2$ (Aman) Daya Dukung Tanah: Aman	Didapatkan Hasil Bahwa Semakin Besar Dimensi Dinding Maka Faktor Keamanan Akan Meningkat Dan Desain Dinding Dengan Sisi Depan Miring Lebih Stabil Dibandingkan Desain Ramping Lurus.	Didapatkan Nilai Stabilitas Ekseternal Aman Hingga Tinggi 14 M Dan Stabilitas Internal Optimum Pada Ketinggian 7 M.	Didapatkan Hasil Kenaikan Nilai Angka Aman Dari 1,066 Menjadi 2,213, Akan Tetapi Terdapat Potensi Deformasi Tanah Pada Bagian Atas Sehingga Diperlukan Tindakan Tambahan Seperti Penambahan Vegetasi Dan Pengaturan Drainase.	Didapatkan Hasil Bahwa Pengaruh Perkuatan Menggunakan <i>Gravity Wall</i> Meningkatkan Nilai Keamanan Dan Hasil Dari Analisis Numerik Dan Empiris Menunjukkan Keselarasan, Di Mana Dinding Penahan Tanah Terbukti Stabil Terhadap Gaya Geser Dan Gaya Guling	Didapatkan Hasil Bahwa Lereng Eksisting Berada Pada Kondisi Kritis Dengan SF 1,303 (PLAXIS 2D V21) Dan 1,249 (<i>Fellenius</i>). Perkuatan Gravity Wall Meningkatkan SF Menjadi 2,133 Tanpa Gempa Dan 1,289 Dengan Gempa, Sedangkan DPT Tipe Kantilever Menghasilkan SF 2,171 Tanpa Gempa Dan 1,290 Dengan Gempa, Menunjukkan Kedua Perkuatan Dapat Meningkatkan Stabilitas Lereng.

Tabel 2.2 Perbandingan Penelitian *Cantilever Wall* Terdahulu Dan Sekarang

Penelitian Terdahulu						Penelitian Yang Dilakukan
Nama	Effendi (2020)	Islamey (2022)	Rizki dkk (2023)	Damara dkk (2023)	Souhoka dkk (2024)	Hafiz (2025)
Judul Penelitian	Analisis Stabilitas Lereng dengan Perkuatan Dinding Penahan Tanah Beton Bertulang Kantilever (Studi Kasus: Proyek Jembatan Kenet, Kabupaten Bantul, Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta)	Analisis Stabilitas Tanah dengan Dinding Penahan Tanah Kantilever dan Fondasi Tiang Pancang Menggunakan Program PLAXIS 8.2 (Studi Kasus Jembatan Kiringan Sungai Opak)	Soil Slope Reinforcement Using Cantilever Retaining Wall on the West Ring Road of Sadawarna Dam, Subang District	Analisis stabilitas lereng timbunan dengan perkuatan dinding penahan tanah kantilever menggunakan program PLAXIS 8.6	Analisis Stabilitas Dinding Penahan Tanah Tipe Kantilever Menggunakan Metode PLAXIS pada Ruas Jalan Waipia-Saleman Pulau Seram	Analisis Stabilitas Lereng Menggunakan Perkuatan <i>Gravity Wall</i> dan <i>Cantilever Wall</i> Dengan PLAXIS 2D Sukaraharja,Cianjur, Jawa Barat

Lanjutan Tabel 2.3 Perbandingan Penelitian *Cantilever Wall* Terdahulu Dan Sekarang

Penelitian Terdahulu						Penelitian Yang Dilakukan
Nama	Effendi (2020)	Islamey (2022)	Rizki dkk (2023)	Damara dkk (2023)	Souhoka dkk (2024)	Hafiz (2025)
Tujuan Penelitian	Menganalisis stabilitas lereng dan merancang DPT untuk memperoleh nilai paling optimal dan juga deformasinya	Memperoleh konfigurasi desain dinding penahan tanah yang memberikan stabilitas paling tinggi.	Menentukan tinggi optimal dinding kantilever dari batuan untuk kondisi tanah pasir.	Untuk menganalisis stabilitas lereng mengevaluasi efektivitas penggunaan dinding penahan tanah (DPT) sebagai perkuatan menggunakan perangkat lunak PLAXIS 2D, berdasarkan standar SNI 8460:2017.	Menganalisis stabilitas lereng pada proyek Jalan Lintas Selatan dengan perkuatan dinding penahan tanah, baik dengan metode empiris maupun software GEO5.	Menganalisis klasifikasi tanah, nilai angka aman lereng eksisting, dan setelah dilakukan perkuatan dengan <i>gravity wall</i> , serta deformasi tanah pada area terjadinya longsor.

Lanjutan Tabel 2.4 Perbandingan Penelitian *Cantilever Wall* Terdahulu Dan Sekarang

Penelitian Terdahulu						Penelitian Yang Dilakukan
Nama	Effendi (2020)	Islamey (2022)	Rizki dkk (2023)	Damara dkk (2023)	Souhoka dkk (2024)	Hafiz (2025)
Metode Penelitian	Analisis manual (metode irisan <i>Fellenius</i>), menggunakan parameter kohesi, sudut geser dalam, dll.	Finite Element Method (FEM) dan pemodelan Mohr Coulomb (MC).	Analisis stabilitas internal dan eksternal dinding gravitasi dengan tinggi bervariasi (4–14 m), menggunakan pendekatan teoritis.	Pengumpulan data dilanjutkan Analisis numerik menggunakan software PLAXIS 2D untuk mendapatkan nilai Faktor Keamanan (<i>Safety factor / SF</i>) dan area deformasi.	Perhitungan empiris dan simulasi numerik menggunakan perangkat lunak GEO5, dengan pendekatan <i>Limit Equilibrium Method</i> .	Pengumpulan data, perhitungan empiris dan simulasi numerik menggunakan perangkat lunak PLAXIS 2D dan perhitungan manual dengan metode <i>Fellenius</i> .

Lanjutan Tabel 2.5 Perbandingan Penelitian *Cantilever Wall* Terdahulu Dan Sekarang

Penelitian Terdahulu						Penelitian Yang Dilakukan
Nama	Effendi (2020)	Islamey (2022)	Rizki dkk (2023)	Damara dkk (2023)	Souhoka dkk (2024)	Hafiz (2025)
Hasil Penelitian	Didapatkan nilai Tegangan geser: $SF = 2,80 \geq 2$ (aman) Momen guling: $SF = 2,51 \geq 2$ (aman) Daya dukung tanah: aman	Didapatkan hasil bahwa semakin besar dimensi dinding maka faktor keamanan akan meningkat dan desain dinding dengan sisi depan miring lebih stabil dibandingkan desain ramping lurus.	Didapatkan nilai stabilitas ekseternal aman hingga tinggi 14 m dan stabilitas internal optimum pada ketinggian 7 m.	Didapatkan hasil kenaikan nilai angka aman dari 1,066 menjadi 2,213, akan tetapi terdapat potensi deformasi tanah pada bagian atas sehingga diperlukan tindakan tambahan seperti penambahan vegetasi dan pengaturan drainase.	Didapatkan hasil bahwa pengaruh perkuatan menggunakan <i>gravity wall</i> meningkatkan nilai keamanan dan hasil dari analisis numerik dan empiris menunjukkan keselarasan, di mana dinding penahan tanah terbukti stabil terhadap gaya geser dan gaya guling	Didapatkan hasil bahwa Lereng eksisting berada pada kondisi kritis dengan SF 1,303 (PLAXIS) dan 1,249 (<i>Fellenius</i>). Perkuatan <i>gravity wall</i> meningkatkan SF menjadi 2,133 tanpa gempa dan 1,289 dengan gempa, sedangkan DPT tipe kantilever menghasilkan SF 2,171 tanpa gempa dan 1,290 dengan gempa, menunjukkan kedua perkuatan dapat meningkatkan stabilitas lereng.

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Tanah

Das and Sobhan, (2018) Menyatakan bahwa tanah didefinisikan sebagai agregat lepas yang tidak tersementasi, tersusun atas butiran mineral dan bahan organik yang telah mengalami pelapukan sebagai partikel padat, dengan ruang antarpartikel yang terisi oleh air dan udara. Proses pembentukan tanah terjadi melalui mekanisme fisik, kimia, dan biologis yang dipengaruhi oleh kondisi iklim, aktivitas organisme, lamanya waktu, serta karakteristik topografi. Secara umum, tanah tersusun atas mineral dan bahan organik yang berfungsi sebagai media penopang pertumbuhan tanaman sekaligus sebagai penyedia air dan unsur hara yang dibutuhkan.

3.2 Klasifikasi Tanah

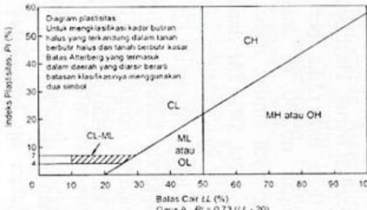
Bowles, (1989) Klasifikasi tanah digunakan untuk studi lebih mendalam mengenai kondisi tanah dan penentuan pengujian untuk mengetahui, karakteristik dan sifat tanah. Klasifikasi tanah yang umum digunakan yaitu klasifikasi tanah berdasarkan USCS (*Unified Soil Classification System*) dan klasifikasi tanah berdasarkan AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Official*).

1. USCS (*Unified Soil Classification System*)

USCS dikembangkan oleh Arthur Casagrande pada tahun 1940-an dan kemudian diadopsi oleh berbagai lembaga teknik sipil. Sistem ini mengategorikan tanah berdasarkan ukuran butirnya dan sifat plastisitasnya. Dalam sistem ini klasifikasi tanah dibagi menjadi dua yaitu tanah berbutir kasar dan tanah berbutir halus.

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

Divisi Utama			Simbol Kelompok	Nama Jenis	Kriteria laboratorium		
Tanah berbutir kasar 50% atau lebih lolos saringan no. 200 (0,075 mm)	Kerikil 50% atau lebih dari fraksi kasar tertahan saringan no. 4 (4,75 mm)	GW	Kerikil gradasi baik dan campuran pasir - kerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus	Klasifikasi berdasarkan prosedure butiran halus, kurang dari 5% lolos saringan no. 200 ; GW, GP, SW, SP, Leleh dari 12% lolos saringan no. 200 ; GM, GC, SM, SC, 5% - 12% lolos saringan no. 200 ; Batasan klasifikasi yang memenuhi simbol dobel	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4$, $C_c = \frac{(D_{30})^3}{D_{10} \times D_{60}}$ antara 1 dan 3 Tidak memenuhi kriteria untuk GW Batas-batas Atterberg di bawah garis A atau $PI < 4$ Batas-batas Atterberg di atas garis A atau $PI > 7$ $C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 6$, $C_c = \frac{(D_{30})^3}{D_{10} \times D_{60}}$ antara 1 dan 3 Tidak memenuhi kriteria untuk SW Batas-batas Atterberg di bawah garis A atau $PI < 4$ Batas-batas Atterberg di atas garis A atau $PI > 7$ Bila batas Atterberg berada di daerah arsur dari diagram plastisitas, maka dipakai simbol dobel		
		GP	Kerikil gradasi buruk dan campuran pasir - kerikil, atau tidak mengandung butiran halus				
		GM	Kerikil berlanau, campuran kerikil pasir - lempung				
		GC	Kerikil berlempung, campuran kerikil pasir - lempung				
	Pasir lebih dari 50% fraksi kasar lolos saringan no. 4 (4,75 mm)	SW	Pasir gradasi baik, pasir berkerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus				
		SP	Pasir gradasi buruk, pasir berkerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus				
Tanah berbutir halus 50% atau lebih lolos saringan no. 200 (0,075 mm)	Kerikil banyak kandungan butiran halus	SM	Pasir berlanau, campuran pasir - lanau	 Diagram plastisitas Untuk mengidentifikasi kadar butiran halus yang lebih terkandung dalam tanah berbutir halus dan tanah berbutir kasar Batas Atterberg yang termasuk dalam daerah yang dari daerah batasan klasifikasi antara menggunakan dua simbol Batas Cair LL (%) Garis A : $PI = 0.73 (LL - 20)$			
		SC	Pasir berlempung, campuran pasir - lempung				
		Lanau dan lempung batas cair 50 % atau kurang	ML		Lanau tak organik dan pasir sangat halus, serbuk bauan atau pasir halus berlanau atau berlempung		
			CL		Lempung tak organik dengan plastisitas rendah sampai sedang, lempung berkerikil, lempung berpasir, lempung berlanau, lempung kurus ("lean clay")		
	Lanau dan lempung batas cair > 50 %	OL	Lanau organik dan lempung berlanau organik dengan plastisitas rendah				
		MH	Lanau tak organik atau pasir halus distome, lanau elastis				
		CH	Lempung tak organik dengan plastisitas tinggi, lempung gemuk ("fat clay")				
		OH	Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai tinggi				
		Tanah dengan kadar organik tinggi			Pt	Gambut ("peat") dan tanah lain dengan kandungan organik tinggi	Manual untuk identifikasi secara visual dapat dilihat di ASTM Designation D-2488

Gambar 3.1 Sistem Klasifikasi Tanah USCS

(Sumber: Darwis, 2018)

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

AASHTO merupakan 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 menunjukan kualitas dari tanah tersebut. 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	41min	40 maks	41 min	40 maks	41 maks	40 maks	41 min
Indeks plastis (PI)	6 maks		Np	10 maks	10 maks	11 min	11 min	10 maks	10 maks	11 min	11 min
Indeks Kelompok (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)

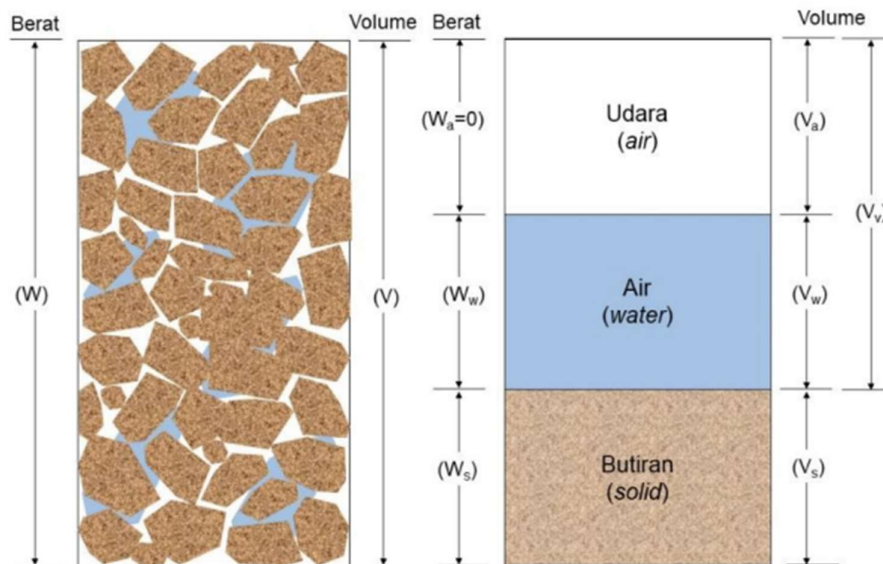
Untuk $PL > 30$, klasifikasinya A-7-5

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

Np : Non plastis

3.3 Parameter Sifat Fisik Tanah

Tanah tersusun atas tiga komponen utama, yaitu fase padat (solid), air, dan udara, yang secara bersama-sama membentuk sistem tanah sebagai media dasar bagi konstruksi. Dalam perencanaan dan perancangan bangunan teknik sipil, kondisi dan perilaku tanah dasar menjadi faktor penentu kinerja elemen struktur yang didirikan di atasnya. Karakteristik tanah tersebut dinyatakan melalui berbagai parameter yang dikenal sebagai indeks sifat fisis, antara lain berat volume, kadar air, porositas, angka pori, derajat kejenuhan, derajat kepadatan, derajat kerapatan, berat jenis, distribusi ukuran butir, batas cair, batas plastis, serta batas susut. Di sisi lain, parameter seperti koefisien konsolidasi, kohesi, dan sudut geser dalam diklasifikasikan sebagai parameter teknis tanah, yang nilainya sangat dipengaruhi oleh sifat-sifat fisis tersebut.



Gambar 3.2 Komponen Penyusun Tanah

(Sumber: Hardiyatmo, 2017)

3.3.1 Kadar air

Hardiyatmo, (2017) Kadar air adalah perbandingan antara berat air (W_w) dengan berat butiran padat (W_s). 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)

3.3.2 Berat Volume

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

1. Berat Volume Basah (γ_b)

Hardiyatmo, (2017) Berat volume basah didefinisikan sebagai perbandingan antara berat total massa tanah yang mengandung butiran tanah, air, dan udara dengan volume keseluruhan tanah tersebut. Dengan kata lain, berat volume basah mencerminkan berat tanah dalam kondisi berair per satuan volumenya. Persamaan berat volume basah dapat dilihat pada Persamaan 3.2 dan 3.3 berikut.

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

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

2. 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.

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

3. Berat Volume Kering (γ_d)

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

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

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

4. Berat Volume Padat (γ_s)

Berat volume padat adalah perbandingan berat butiran padat (Ws) dengan volume butiran padat (Vs). 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

3.3.3 Berat Jenis

Berat jenis merupakan perbandingan antara berat volume butiran padat (γ_s) dengan berat volume air (γ_w) pada temperatur 4°C dengan persamaan sebagaimana berikut. Berat jenis ditunjukkan pada Persamaan 3.6. Berat jenis berbagai tanah daapt 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 (G_s)
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)

3.3.4 Analisis Granuler

Analisis granuler merupakan penentuan persentase berat partikel pada ukuran diameter tertentu dilakukan dengan dua pengujian yang saling terkait dan tidak bisa dipisahkan, yaitu, analisis saringan (*sieve analysis*) dan analisis hidrometer (*hydrometer analysis*).

1. Analisis Saringan (*sieve analysis*)

Analisis saringan digunakan untuk menentukan distribusi ukuran butir tanah yang tertahan pada saringan nomor 200 dalam rangkaian pengujian gradasi yang umumnya diterapkan pada tanah berbutir kasar dengan menggunakan susunan saringan bertingkat, di mana tanah yang tertahan pada setiap saringan ditimbang dan beratnya dinyatakan dalam persentase terhadap berat total sampel tanah,

sedangkan tata letak serta urutan saringan yang digunakan mengacu pada standar ASTM D 421-72 sebagaimana disajikan pada Tabel 3.3.berikut.

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

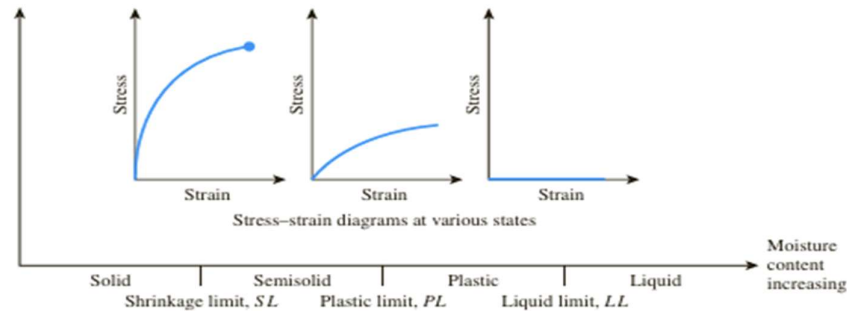
Sumber: ASTM D 421-72

2. Analisis Hidrometer (*Hydrometer Analysis*)

Analisis hidrometer merupakan metode yang menggunakan prinsip pengendapan partikel tanah yang lolos saringan no.200 di dalam air. Saat sampel tanah dicampur dengan air *reagen*, partikel-partikel tanah akan mengendap dengan kecepatan yang berbeda-beda, yang dipengaruhi oleh faktor seperti bentuk, ukuran, massa, dan kekentalan air. Sebagai penyederhanaan, diasumsikan bahwa semua partikel tanah berbentuk bulat, dan kecepatan pengendapannya dapat dijelaskan dengan Hukum Stokes pada Das & Sobhan, (2018)

3.3.5 Batas-Batas Konsistensi

Tanah berbutir halus memiliki plastisitas akibat kandungan mineral lempung, yang memungkinkannya berubah bentuk tanpa retak pada volume tetap. Perilaku tanah bisa dibagi ke dalam empat keadaan utama, yaitu padat, setengah padat, plastik, dan cair. Kandungan kelembaban di mana transisi dari keadaan padat ke setengah padat terjadi disebut sebagai batas penyusutan. Sementara itu, kelembaban pada titik transisi dari setengah padat ke plastik disebut batas plastis, dan batas cair terjadi saat transisi dari plastik ke cair. Parameter-parameter ini dikenal sebagai batas Atterberg seperti pada Gambar 3.3 berikut.

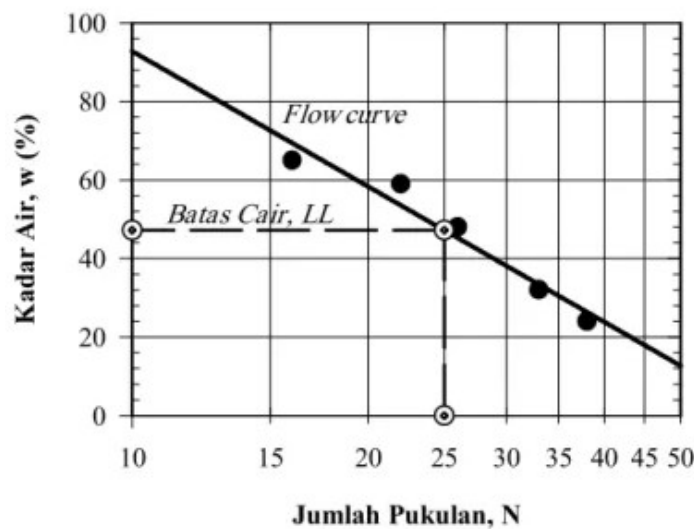


Gambar 3.3 Batas-batas *Atterberg*

(Sumber: Das dan Shoban, 2018)

1. Batas Cair (*Liquid Limit*)

Batas cair merupakan kadar air tanah pada kondisi peralihan antara keadaan cair dan plastis, yang sekaligus menjadi batas atas dari rentang sifat plastis tanah. Nilai batas cair ini ditentukan melalui pengujian menggunakan alat Cassagrande, dengan cara menghitung jumlah pukulan mangkuk sampai alur tanah menutup sepanjang 12,7 mm. Jumlah pukulan yang merepresentasikan batas cair umumnya diambil pada 25 ketukan, kemudian hubungan antara jumlah ketukan dan kadar air digambarkan dalam bentuk kurva, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.4 berikut.



Gambar 3.4 Grafik Hasil Pengujian Batas Cair

(Sumber: Darwis, 2018)

2. Batas Plastis (*Plastic Limit*)

Batas plastis merupakan kadar air tanah pada saat tanah berada dalam kondisi peralihan antara plastis dan semi padat. Kadar air ini ditentukan melalui pengujian di mana contoh tanah dibentuk menjadi silinder dengan diameter sekitar 3,2 mm dan mulai menunjukkan retakan ketika digulung, sehingga kondisi tersebut dinyatakan sebagai batas plastis tanah. Nilai batas plastis selanjutnya dapat dihitung menggunakan persamaan yang disajikan pada 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 (gr)

w_k = Berat tanah kering (gr)

3. Batas Susut (*Shrinkage Limit*)

Batas susut adalah kadar air saat tanah berada pada transisi antara kondisi semi-padat dan padat. Pada kondisi ini, penurunan kadar air tidak menyebabkan perubahan volume tanah. Volume tanah diukur dengan merendam sampel tanah 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

4. Indeks Plastisitas

Indeks plastisitas (PI) adalah selisih antara batas cair (LL) dan batas plastis (PL) yang menunjukkan rentang kadar air di mana tanah masih bersifat plastis, yaitu masih dapat dibentuk tanpa retak atau hancur. Parameter ini digunakan untuk mengidentifikasi perilaku tanah halus dan membedakan lempung dengan lanau, di mana nilai PI yang tinggi umumnya menunjukkan kandungan lempung yang besar dengan kohesi dan plastisitas tinggi, sedangkan nilai PI rendah mengindikasikan dominasi partikel lanau yang kurang kohesif dan lebih rapuh. Nilai indeks plastisitas ditentukan menggunakan Persamaan 3.11, sedangkan klasifikasi jenis tanah berdasarkan nilai PI dapat dilihat pada Tabel 3.4 berikut.

$$PI = LL - PL \quad (3.11)$$

dengan,

PI = *Plasticity index*

LL = *Liquid limit*

PL = *Plastic limit*

Tabel 3.4 Nilai Indeks Plastisitas Dan Ragam Tanah

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

Sumber: Darwis (2018)

3.3.6 Modulus Elastisitas (E_s)

Modulus Elastisitas atau modulus young merupakan perbandingan antara tegangan dengan regangan pada tanah yang menunjukkan tingkat elastisitas atau kekakuannya. Pendekatan nilai modulus elastisitas berdasarkan jenis tanah menurut Bowles 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	2 – 20

Sumber: Bowles (1977)

3.3.7 Poisson's 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

Lanjutan Tabel 3.6 Poisson's Ratio

Jenis Tanah	ν
Pasir Padat	0,3-0,45
Pasir Kelanauan	0,2-0,4
Lempung Lunak	0,15-0,25
Lempung Sedang	0,2-0,5

Sumber: Das dan Sobhan (2018)

3.3.8 Pengujian Triaksial

Hardiyatmo, (2017) pengujian triaksial merupakan metode uji tanah yang melibatkan aplikasi tekanan dari tiga arah atau dimensi pada suatu sampel tanah. Pengujian triaksial *Unconsolidated Undrained* (UU) dipilih dalam penelitian ini karena dirasa sesuai untuk menggambarkan kondisi tanah pada saat terjadi hujan lebat atau peningkatan kadar air secara mendadak di lapangan. Pada pengujian UU, sampel tanah tidak diberikan waktu untuk terkonsolidasi dan tidak diizinkan mengalami drainase selama proses pengujian, sehingga seluruh tegangan yang diamati merupakan tegangan total (*undrained*). Kondisi ini sangat relevan untuk analisis stabilitas lereng setelah kejadian hujan, ketika tanah berada dalam keadaan jenuh dan air pori belum sempat terlepas. Parameter kekuatan geser yang diperoleh, yaitu kohesi (c) dan sudut geser dalam (ϕ) UU, merepresentasikan kekuatan tanah dalam situasi darurat dan sangat penting untuk penentuan SF lereng pada kondisi cepat tanpa penyesuaian volume akibat drainase. Selain itu, pengujian ini juga memberikan data terkait sifat elastisitas, seperti modulus elastisitas (E_s), modulus geser (G), dan angka Poisson (μ), yang digunakan untuk analisis deformasi tanah pada kondisi jenuh. Berdasarkan analisis tersebut, pemilihan pengujian triaxial UU merupakan langkah yang tepat untuk menjawab permasalahan stabilitas tanah akibat pengaruh air hujan di lapangan, karena hasil uji mencerminkan parameter kekuatan tanah pada kondisi kritis, jenuh air, dan tanpa drainase.

3.3.9 Kohesi

Virgo dkk, (2018) Kohesi adalah gaya tarik menarik antarpartikel penyusun tanah yang dinyatakan dalam satuan tegangan, yaitu berat per satuan luas. Dalam mekanika tanah, kohesi berperan penting sebagai salah satu parameter utama yang menentukan kemampuan tanah dalam menahan tegangan atau beban luar. Nilai kohesi umumnya ditentukan melalui pengujian laboratorium, antara lain uji geser langsung, uji triaksial, maupun uji tekan bebas yang kemudian digunakan sebagai dasar analisis kestabilan lereng dan perencanaan fondasi.

3.3.10 Sudut Geser Dalam

Virgo dkk, (2018) Sudut geser dalam merupakan sudut yang dibentuk dari hubungan antara tegangan normal dan tegangan geser di dalam material tanah atau batuan. Sudut geser dalam adalah sudut rekahan yang dibentuk jika suatu material dikenai tegangan atau gaya terhadapnya yang melebihi tegangan gesernya. Semakin besar sudut geser dalam suatu material maka material tersebut akan lebih tahan menerima tegangan luar yang dikenakan terhadapnya.

3.3.11 Kuat Geser Tanah

Hardiyatmo, (2017) 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.

3.4 Stabilitas Lereng

Das & Sobhan, (2018) Lereng adalah suatu permukaan tanah yang miring dan membentuk sudut terhadap bidang horizontal, baik yang terbentuk secara alami maupun buatan manusia. 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 longsor tanah. Keruntuhan lereng terbagi menjadi keruntuhan rotasi, keruntuhan translasi, dan keruntuhan gabungan. Oleh karena itu, diperlukan adanya analisis stabilitas lereng yang bertujuan untuk mendapatkan nilai keamanan dari berbagai jenis lereng yang berpotensi longsor.

3.4.1 Faktor Penyebab Longsor

Hardiyatmo, (2017) memberikan penjelasan terkait faktor penyebab kelongsoran suatu lereng sebagai berikut.

1. Terdapat penambahan beban pada lereng seperti bangunan baru, rembesan air yang masuk kedalam pori tanah, beban dinamis oleh tumbuhan.
2. Bertambahnya kadar air sehingga mengurangi kekuatan tahanan geser pembentuk lereng.
3. Kemiringan lereng yang semakin tajam karena adanya penggalian.
4. Peningkatan tekanan lateral akibat air.
5. Gempa bumi dan getaran berlebihan.
6. Penggalian pada kaki lereng.

3.4.2 Metode Penanggulangan Longsor

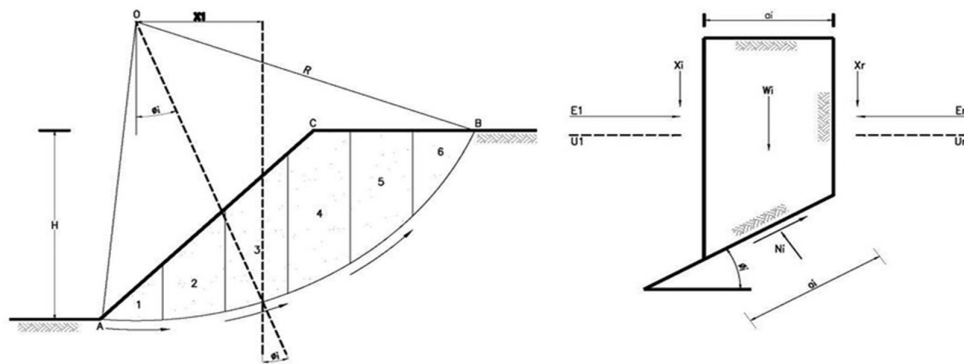
longsor pada lereng sering menimbulkan kerugian yang cukup besar. Sehingga, perlu dilakukan mitigasi untuk mengurangi dampak yang ditimbulkan oleh tanah longsor. Berikut beberapa hal yang dapat dilakukan.

1. Membuat terasering pada tebing untuk memperkecil kemiringan lereng dan memperluas area resapan hujan
2. Melandaikan kemiringan lereng sehingga gaya berat di atas lereng semakin mengecil
3. Membuat dinding penahan tanah untuk menahan gerakan tanah

4. Perkuatan dengan geotekstil
5. Perkuatan dengan *soil nailing*

3.5 Metode Fellenius

Analisis kestabilan lereng menggunakan metode Fellenius didasarkan pada asumsi 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 longsornya Darwis, (2018). Perhitungan untuk metode Fellenius seperti pada Persamaan 3.11 dan 3.12 berikut.



Gambar 3.7 Gaya Yang Bekerja Pada Irisan

(Sumber: Darwis, 2018)

Perhitungan untuk metode Fellenius seperti pada Persamaan 3.11 dan 3.12 berikut.

$$F_s = \frac{\text{Jumlah momen dari tahanan geser sepanjang bidang longsor}}{\text{Jumlah momen dari berat massa tanah yang longsor}} \quad (3.11)$$

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

dengan,

F_s = Faktor aman

c = Kohesi tanah (kN/m^2)

φ = Sudut geser dalam tanah ($^\circ$)

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

- W_i = Berat irisan tanah ke-I (kN)
 u_i = Tekanan air pori pada irisan ke-I (kN/m²)
 θ_i = Sudut yang didefinisikan dalam gambar 3.7 (°)

3.6 Metode Rankine

Metode Rankine digunakan dalam perancangan dinding penahan tanah dengan mempertimbangkan gaya tekan lateral yang diberikan oleh tanah pada dinding tersebut Agusty dkk, (2020). Tekanan tanah lateral sendiri dapat dibedakan menjadi beberapa jenis.

3.6.1 Tekanan Tanah Dalam Keadaan Diam

Tekanan tanah dalam keadaan diam terjadi ketika tanah tertahan dalam arah horizontal tanpa mengalami deformasi horizontal. Besarnya tekanan ini dapat dihitung menggunakan koefisien tekanan tanah dalam keadaan diam (K_0), yang didefinisikan sebagai perbandingan antara tegangan horizontal dan tegangan vertikal yang sesuai pada Persamaan 3.13.

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

Rasio Poisson (μ) dan koefisien tekanan tanah dalam keadaan diam (K_0) memiliki hubungan teoritis yang dapat dinyatakan melalui persamaan yang menghubungkan keduanya dalam konteks perilaku elastis tanah. Secara umum, hubungan tersebut dirumuskan bahwa koefisien tekanan tanah diam K_0 adalah fungsi dari Poisson ratio seperti pada Persamaan 3.14 berikut.

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

dengan,

K_0 = Koefisien tekanan tanah diam

σ_h = Tegangan horizontal ($\frac{\text{Kn}^2}{\text{m}}$)

σ_v = Tegangan vertikal ($\frac{\text{Kn}^2}{\text{m}}$)

ν = *Poisson ratio*

3.6.2 Tekanan Tanah Aktif

Tekanan tanah aktif merupakan tekanan lateral yang bekerja pada dinding penahan tanah, di mana gaya yang dihasilkan cenderung mendorong dinding dan berpotensi menyebabkan keruntuhan struktur apabila tidak ditahan secara memadai. Menurut Hardiyatmo (2010), tekanan tanah aktif (P_a) pada tanah lempung dapat dihitung berdasarkan teori Rankine, yang telah dirumuskan dalam Persamaan 3.15 dan 3.16 berikut.

$$P_a = \gamma z K_a - 2c'\sqrt{K_a} \quad (3.15)$$

$$K_a = \tan^2\left(45 - \frac{\phi}{2}\right) \quad (3.16)$$

dengan,

K_a = Koefisien Tanah Aktif

γ = Berat volume ($\frac{\text{Kn}^3}{\text{m}}$)

z = Kedalam (M)

c' = Kohesi Tanah ($\frac{\text{Kn}^2}{\text{m}}$)

ϕ = Sudut Geser Dalam ($^\circ$)

3.6.3 Tekanan Tanah Pasif

Tekanan tanah pasif adalah tekanan lateral tanah yang bekerja pada dinding penahan dengan arah gaya menahan pergerakan akibat tekanan tanah aktif. Menurut Hardiyatmo (2017), tekanan tanah pasif (P_p) berdasarkan teori Rankine digunakan untuk menghitung besarnya tekanan maksimum yang dapat dikembangkan tanah ketika dinding penahan bergerak ke arah tanah urug sehingga tanah harus memberikan reaksi penahan maksimal sebelum terjadi keruntuhan diformulasikan dalam Persamaan 3.17 dan 3.18 berikut.

$$P_p = \gamma z K_p + 2c'\sqrt{K_p} \quad (3.17)$$

$$K_p = \gamma z^2 \left(45 + \frac{\varphi}{2} \right) \quad (3.18)$$

dengan,

- K_p = Koefisien Tanah Aktif
- γ = Berat volume (kN/m^3)
- z = Kedalam (M)
- c' = Kohesi Tanah (kN/m^2)
- φ = Sudut Geser Dalam ($^\circ$)

3.7 Dinding Penahan Tanah

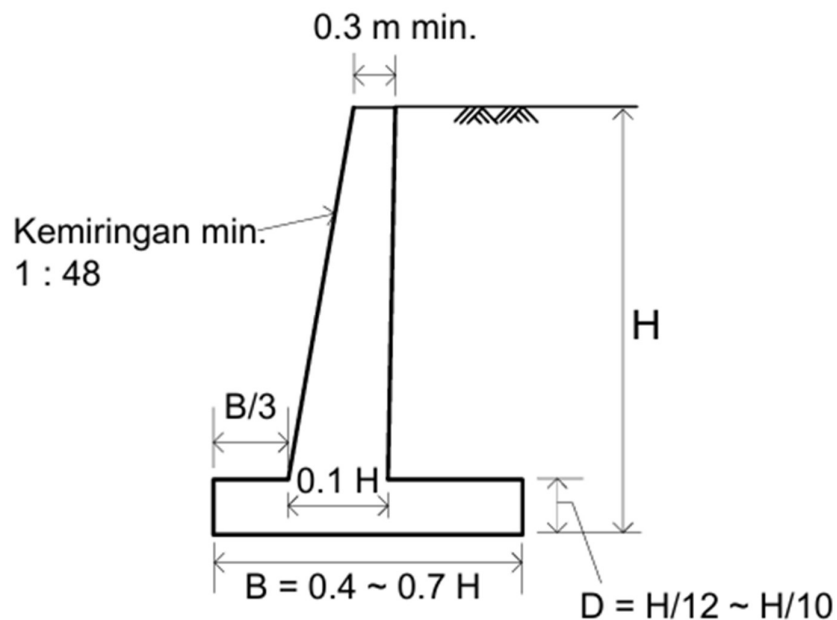
Dinding penahan tanah merupakan struktur perkuatan yang berfungsi untuk menahan massa tanah agar tidak mengalami keruntuhan, terutama pada lereng yang curam atau kondisi tanah yang tidak stabil. Secara umum, dinding penahan tanah terbagi menjadi dua kategori, yaitu dinding penahan tanah konvensional 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*)

3.8 *Cantilever Wall*

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 fondasi tapak (*base slab*). fondasi 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 0,30m menurut BSN, (2017). Ilustrasi dinding penahan tanah tipe kantilever dapat dilihat pada Gambar 3.5 berikut.

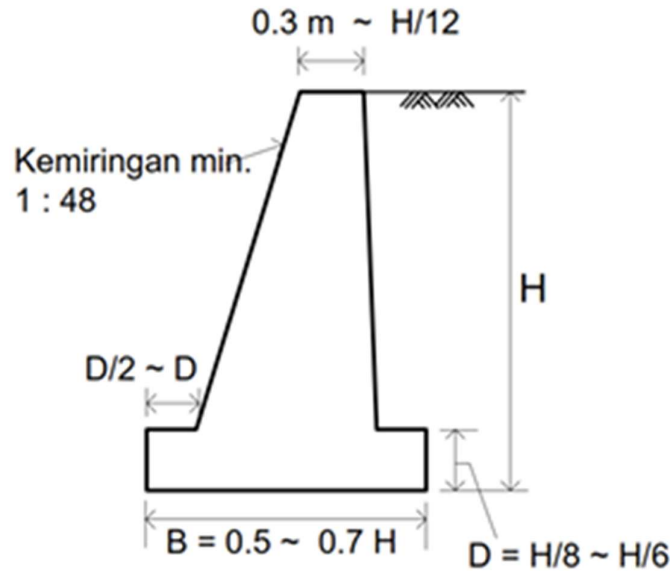


Gambar 3.5 Tipikal Dimensi Dinding Kantilever

(Sumber: BSN, 2017)

3.9 Gravity Wall

Perkuatan tanah adalah teknik untuk meningkatkan stabilitas lereng, kekuatan, dan daya dukung tanah. Salah satu cara untuk memperkuat stabilitas lereng adalah dengan membangun struktur perkuatan, seperti dinding penahan tanah jenis gravitasi. Dinding penahan tanah jenis gravitasi dan semi-gravitasi terbuat dari pasangan batu kali atau beton, dengan stabilitas yang bergantung pada bobot dinding itu sendiri serta tanah yang berada di atas sebagian dinding tersebut. Ilustrasi *gravity wall* dapat dilihat pada Gambar 3.6 berikut.



Gambar 3.6 Tipikal Dimensi Gravity Wall

(Sumber: BSN, 2017)

3.10 Kriteria Angka Faktor Keamanan

Das dan Shoban, (2018) untuk menilai stabilitas suatu lereng, diperlukan metode yang mampu menggambarkan kemampuan tanah dalam menahan gaya-gaya yang bekerja padanya. Salah satu pendekatan yang umum digunakan adalah dengan menghitung faktor keamanan (*Factor of Safety*), yaitu rasio antara kekuatan tanah dengan tegangan yang muncul pada kondisi paling kritis.

3.11 Stabilitas Dinding Penahan Tanah

BSN, (2017) dalam merancang dinding penahan tanah, perlu mempertimbangkan beberapa faktor utama, yaitu stabilitas terhadap guling, geser lateral, dan kapasitas daya dukung tanah. Ketiga aspek tersebut harus dipastikan aman agar dinding penahan tidak mengalami kegagalan. Selain itu, ada beberapa hal penting lainnya yang harus diperhatikan. Pertama, dilakukan analisis kondisi tanah di lokasi yang berpotensi mengalami keruntuhan global, baik berupa gelinciran rotasi maupun translasi yang melibatkan keseluruhan sistem dinding dan tanah penyangganya. Kedua, perlu mengidentifikasi adanya lapisan tanah lunak di bawah tanah pendukung langsung dinding, karena lapisan ini dapat menimbulkan

penurunan diferensial dalam jangka panjang. Kondisi ini berisiko menyebabkan rotasi dinding ke arah belakang sehingga mengurangi stabilitas struktur secara keseluruhan.

Salah satu solusi yang umum diterapkan untuk meningkatkan kestabilan lereng dan memperkuat massa tanah adalah dengan penggunaan perkuatan tanah, seperti dinding penahan *gravity wall* dan kantilever. Metode ini sangat efektif terutama pada daerah rawan longsor atau tanah dengan karakteristik lemah, karena dapat meningkatkan keamanan dan kekuatan struktur secara menyeluruh.

3.11.1 Stabilitas Global

Analisis stabilitas global merupakan stabilitas seluruh sistem dinding penahan tanah terhadap kegagalan besar seperti kelongsoran atau pergeseran massa tanah secara keseluruhan. Analisis ini dapat menggunakan bantuan software dengan metode analisis yang ditentukan, seperti perangkat lunak PLAXIS 2D dengan metode Analisis *Finite Element Methode* (FEM). Syarat angka aman minimum terhadap stabilitas global untuk *gravity wall* dan kantilever >1,5 sesuai BSN, (2017).

3.11.2 Stabilitas Terhadap Geser

Stabilitas geser merupakan kemampuan menahan pergeseran horizontal yang terjadi pada tanah dengan fondasi. Analisis stabilitas geser lateral memiliki syarat faktor aman minimal 1,5 menurut BSN, (2017). Faktor aman terhadap pergeseran (*Fsliding*) dinyatakan pada Persamaan 3.19 berikut.

$$F_{S_{sliding}} = \frac{\sum(w_i) \tan \phi + B c' + P_p}{P_a} \quad (3.19)$$

dengan,

$F_{S_{sliding}}$ = Faktor aman terhadap pergeseran

P_p = Tekanan tanah pasif total ($\frac{kN^2}{m}$)

W_i = Berat dinding penahan dan tanah diatas pelat fondasi

- φ = Sudut geser dalam ($^{\circ}$)
 B = Lebar fondasi dinding penahan (m)
 c' = Kohesi pada tanah geser ($\frac{kN^2}{m}$)
 P_a = Tekanan tanah aktif total ($\frac{kN^2}{m}$)

3.11.3 Stabilitas Terhadap Guling

Stabilitas guling merupakan kemampuan menahan guling akibat tekanan tanah lateral yang cenderung mendorong *gravity wall* terhadap pusat rotasi. Nilai minimum faktor aman terhadap guling dinding penahan adalah 2 sesuai dengan BSN, (2017). Persamaan untuk mengetahui nilai keamanan pada stabilitas guling terdapat pada Persamaan 3.20 berikut.

$$FS_{\text{guling}} = \frac{\sum M_r}{\sum M_o} \quad (3.20)$$

dengan:

- $\sum M_r$ = Momen yang melawan pergulingan (kNm)
 $\sum M_o$ = Momen yang mengakibatkan pergulingan (kNm)

3.11.4 Stabilitas Terhadap Daya Dukung Tanah

Pengaruh resultan gaya yang terjadi pada *gravity wall*, analisis terhadap daya dukung tanah penting dilakukan untuk mencegah adanya kegagalan terhadap penurunan berlebih. Syarat angka aman minimal untuk stabilitas daya dukung izin tanah berdasarkan SNI 8460:2017 adalah 3 sesuai dengan BSN, (2017). Perhitungan analisis daya dukung tanah dapat dilihat pada Persamaan 3.21 - 3.31 berikut.

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

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

$$q_u = c' \cdot 2 \cdot N_c \cdot F_{cd} \cdot F_{ci} + q \cdot N_q \cdot F_{qd} \cdot F_{qi} + 0,5 \cdot Y \cdot B' \cdot N_Y \cdot F_{Yd} \cdot F_{Yi} \quad (3.23)$$

$$q = \gamma_2 D' \quad (3.24)$$

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

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

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

$$F_{Yd} = 1 \quad (3.28)$$

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

$$F_{Yi} = \left(1 - \frac{\psi^\circ}{\phi^\circ} \right)^2 \quad (3.30)$$

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

dengan,

$F_{S_{\text{daya dukung}}}$ = faktor aman terhadap daya dukung tanah

q_{ult} = daya dukung tanah (kN/m²)

q_{max} = gaya yang menekan pada dasar perkuatan (kN/m²)

e = jarak horizontal berat total dinding penahan dan tanah di atas pelat fondasi terhadap pusat fondasi (m)

X = jarak horizontal berat total dinding penahan dan tanah di atas pelat fondasi terhadap sisi terluar fondasi (m)

B = lebar dasar perkuatan (m)

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

B = lebar dasar fondasi sebenarnya (m)

E = eksentrisitas beban (m)

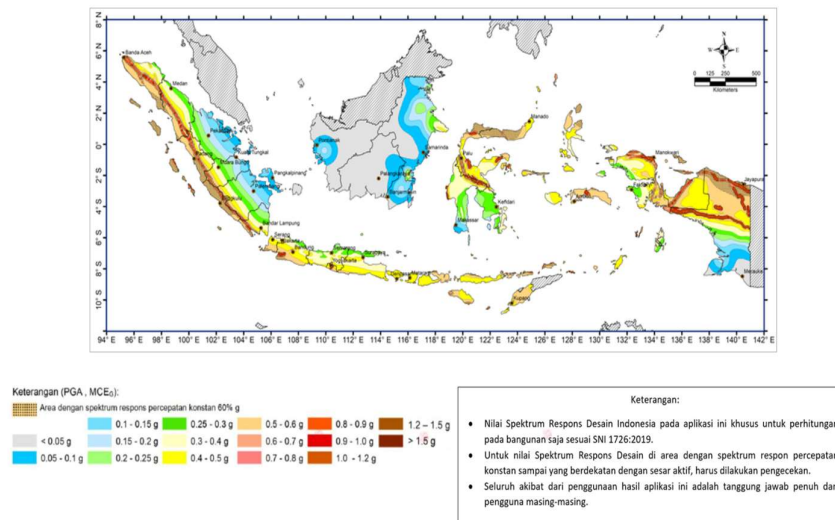
γ = berat volume tanah (kN/m³)

Syarat eksentris pada dasar perkuatann harus lebih kecil atau sama dengan lebar dasar perkuatan dibagi 6 ($e \leq B/6$). Apabila syarat tersebut tidak terpenuhi, maka terjadi gaya tarik pada perkuatan tersebut.

3.12 Parameter Pembebanan

Badan Standardisasi Nasional BSN, (2017) menyatakan bahwa dalam melakukan analisis stabilitas lereng, perlu mempertimbangkan berbagai jenis pembebanan, meliputi beban mati, beban hidup, serta beban akibat pengaruh gempa bumi. Dalam analisis ini digunakan nilai pembebanan sebesar 10 kN/m^2 , yang diasumsikan sebagai beban yang bekerja pada permukaan lereng. Nilai tersebut dianggap merepresentasikan beban dari aktivitas alat berat yang beroperasi di bagian atas lereng.

Pengaruh beban gempa diperhitungkan pada lereng galian atau timbunan yang direncanakan dibangun di dekat area pemukiman atau memiliki kepentingan strategis. Dalam analisis stabilitas lereng menggunakan model pseudo statik, SF minimum yang disyaratkan adalah lebih besar dari 1,1 ($SF > 1,1$). Koefisien seismik yang digunakan dalam perhitungan diperoleh dari percepatan puncak di permukaan (PGA) sesuai kelas situs lokasi lereng seperti pada Gambar 3.7 berikut.



Gambar 3.7 Peta Gempa Indonesia

(Sumber: Desain Spektra Indonesia-RSA-PU)

3.13 Analisis Dengan Metode Elemen Hingga

Metode elemen hingga (*Finite Element Method*) menganalisis stabilitas lereng lebih kompleks dengan memodelkan kondisi statik, pseudo-statik, dan dinamik. Beban gempa pada kondisi pseudo statik menunjukkan pengaruh seismic dengan percepatan pseudo statik dengan yang akan menghasilkan gaya inersia dengan percepatan horizontal (F_h) dan percepatan vertikal (F_v) bekerja pada pusat keruntuhan menurut BSN, (2017). Salah satu perangkat lunak yang dapat menganalisis lereng dengan metode elemen hingga adalah PLAXIS 2D. PLAXIS merupakan program komputer dengan metode grafis untuk memodelkan geometri suatu lereng dan jaringan elemennya berdasarkan metode elemen hingga dua dimensi.

BAB IV

METODE PENELITIAN

4.1 Pendahuluan

Metode penelitian merupakan rangkaian langkah sistematis yang dijalankan oleh peneliti untuk mengumpulkan data secara akurat serta melakukan analisis terhadap data yang sudah diperoleh guna menjawab permasalahan penelitian. Dalam penelitian ini, lokasi studi berada di Desa Sukaraharja, Kecamatan Randu Pandak, Kabupaten Cianjur, Provinsi Jawa Barat, yang memiliki permasalahan stabilitas lereng yang perlu ditangani.

Proses penelitian mencakup beberapa tahapan utama, yaitu pengumpulan data kondisi lereng awal, termasuk karakteristik geoteknik tanah dan kondisi topografi, serta pelaksanaan simulasi perkuatan lereng menggunakan dua metode yaitu *gravity wall* dan *cantilever wall*. Simulasi ini dilakukan menggunakan perangkat lunak PLAXIS 2D, sebuah program analisis elemen hingga yang khusus digunakan untuk memodelkan perilaku tanah dan struktur penahan tanah.

Analisis yang dilakukan dalam penelitian meliputi pemeriksaan angka SF lereng dan evaluasi deformasi tanah pada kondisi sebelum dan sesudah penerapan metode perkuatan tersebut. Dengan membandingkan hasil numerik dari simulasi, penelitian bertujuan untuk menentukan efektivitas metode perkuatan dalam meningkatkan stabilitas lereng. Selain itu, data deformasi tanah juga dianalisis untuk menilai potensi pergerakan dan penurunan yang mungkin terjadi, sehingga diperoleh gambaran yang lebih komprehensif mengenai keamanan dan keandalan solusi perkuatan yang diaplikasikan. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya memberikan gambaran kondisi stabilitas lereng secara kuantitatif, sehingga dapat mencegah bahaya longsor dan meningkatkan keselamatan masyarakat di sekitar lereng tersebut.

4.2 Lokasi Penelitian

Penelitian ini berlokasi di Desa Sukaraharja, Kecamatan Kadupandak, Kabupaten Cianjur, Provinsi Jawa Barat, dengan koordinat geografis sekitar $7^{\circ}14'47.4''\text{S}$ $106^{\circ}58'58.0''\text{E}$. Lokasi ini dipilih karena terdapat kasus longsor pada lereng yang disebabkan oleh hujan secara terus menerus. Secara topografi, wilayah ini berada pada perbukitan 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.



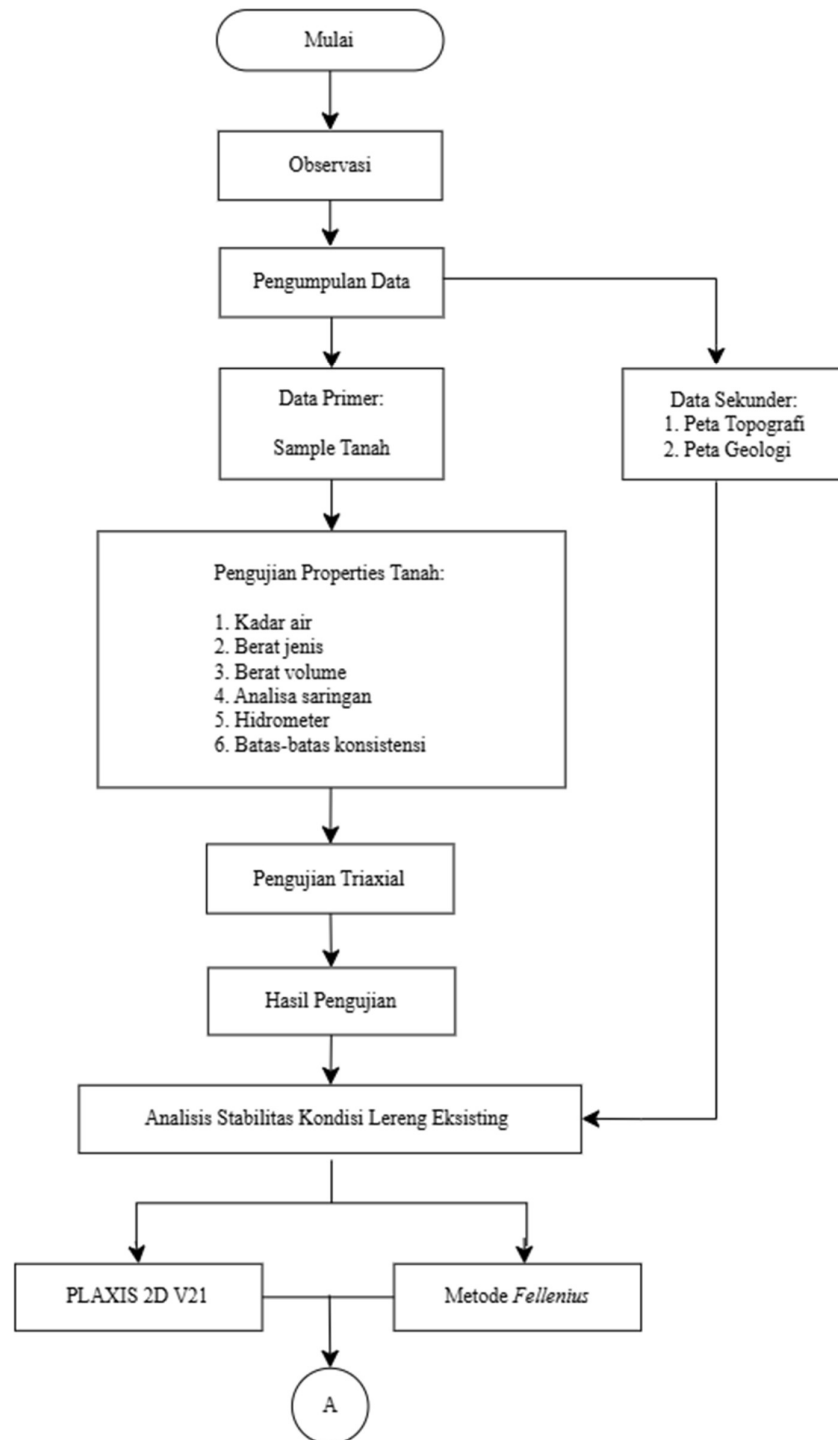
Gambar 4.1 Lokasi Penelitian Desa Sukaraharja

(Sumber: *Google Earth*, 2025)

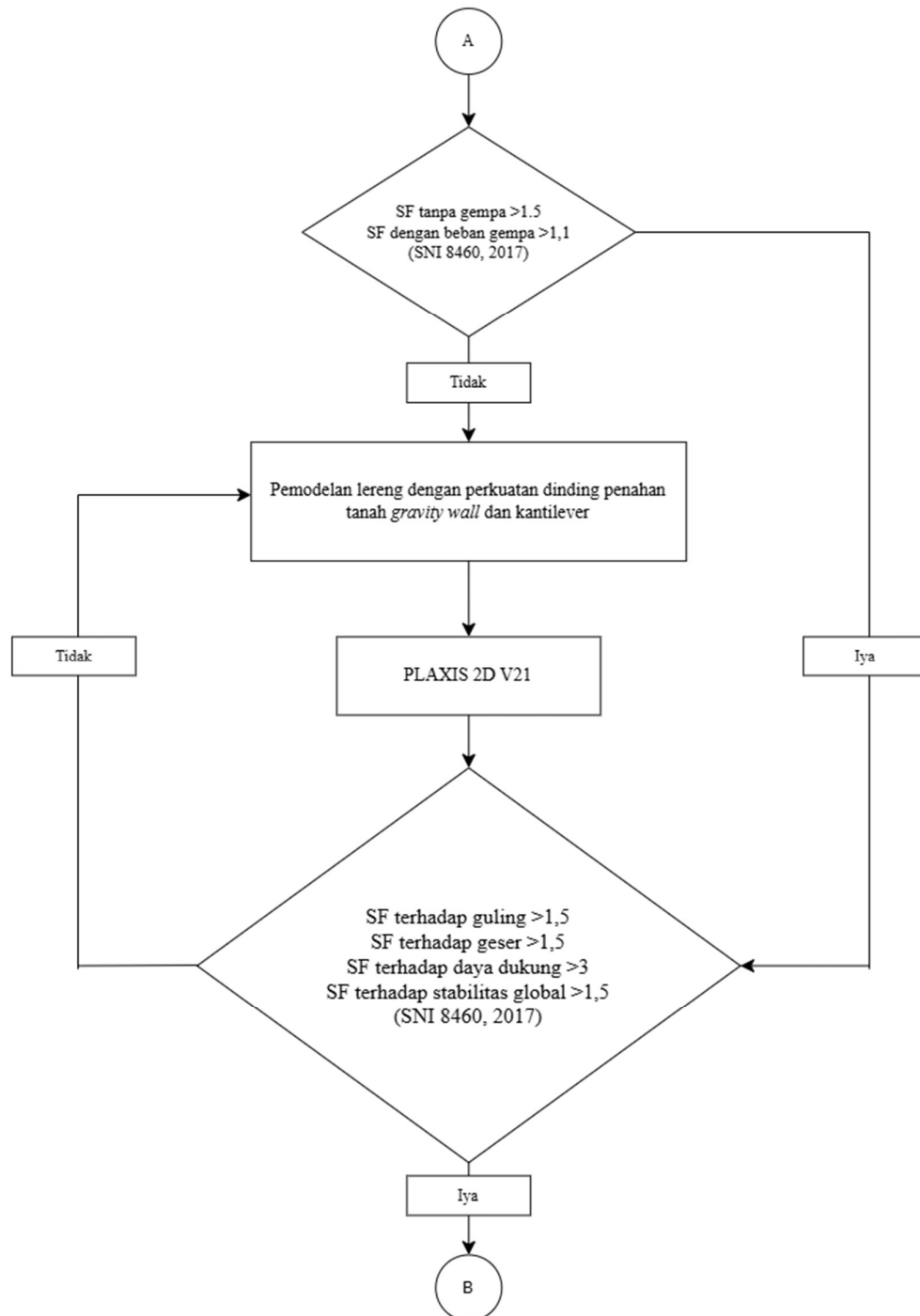
4.3 Alur Penelitian

Alur penelitian ini dimulai dengan dilakukan observasi lapangan dan pengambilan sampel tanah di Desa Sukaraharja, Kabupaten Cianjur. Pengumpulan

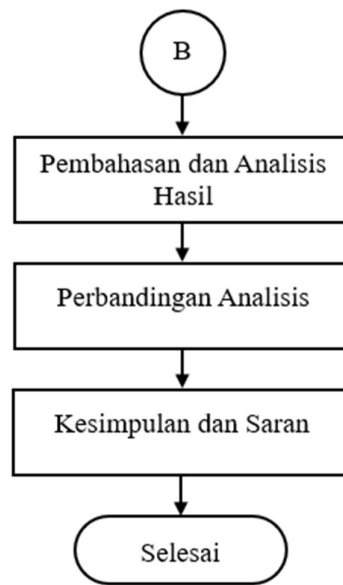
data dilakukan dengan mengumpulkan data primer dan sekunder. Data primer berasal dari pengujian laboratorium pada sampel tanah, seperti uji *properties*, analisis saringan dan uji triaksial, sedangkan data sekunder mencakup peta topografi dan peta geologi. Berdasarkan data yang diperoleh, dilakukan analisis terhadap kondisi lereng awal menggunakan dua metode, yaitu analisis manual dengan metode Fellenius dan analisis menggunakan perangkat lunak PLAXIS 2D versi 21. Nilai SF (*safety factor*) hasil analisis kemudian dievaluasi sesuai dengan ketentuan SNI 8460:2017, baik untuk stabilitas internal maupun stabilitas global. Apabila nilai SF belum memenuhi standar yang ditetapkan, dilakukan simulasi ulang dengan menambahkan sistem perkuatan berupa dinding penahan tanah (DPT) tipe kantilever. Analisis kemudian diulang menggunakan kedua metode tersebut hingga diperoleh nilai SF yang sesuai standar. Tahap akhir penelitian adalah melakukan analisis menyeluruh serta menyusun kesimpulan dan rekomendasi. Alur penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 4.2 dan alur analisis menggunakan PLAXIS 2D V21 pada Gambar 4.5 berikut.



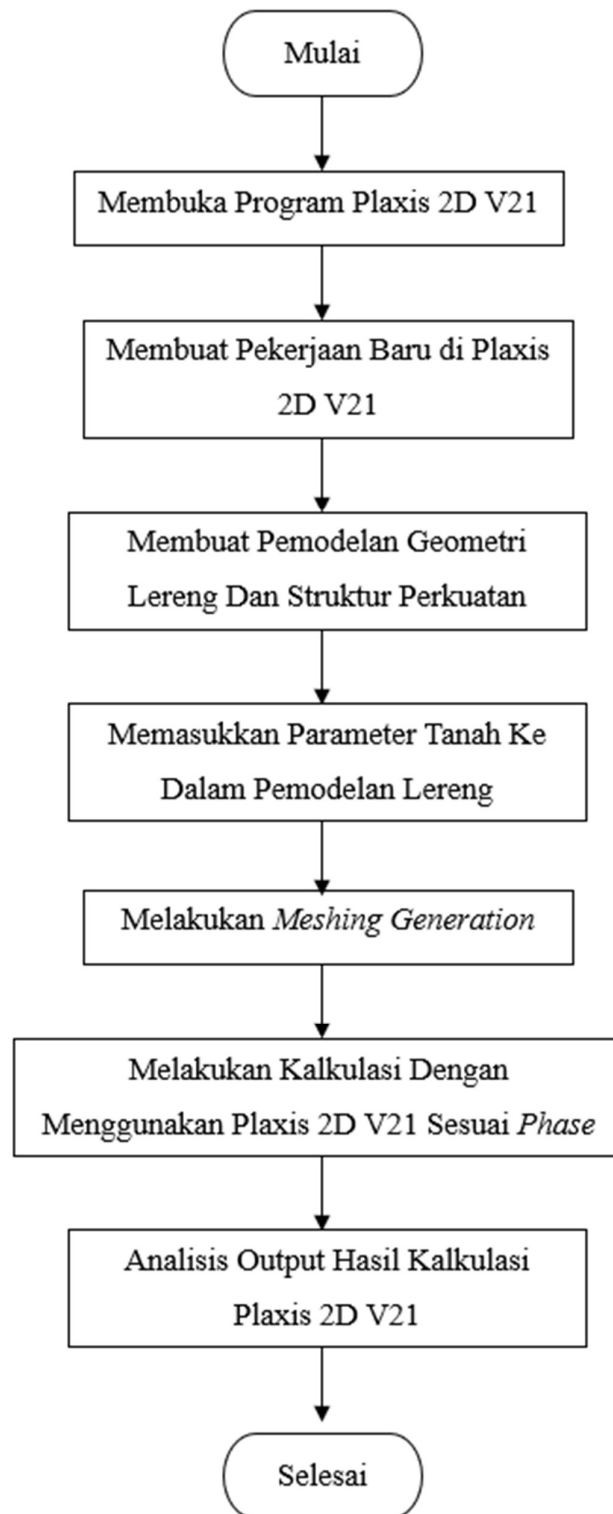
Gambar 4.2 Bagan Alir Penelitian



Gambar 4.3 Lanjutan Bagan Alir Penelitian



Gambar 4.4 Lanjutan Bagan Alir Penelitian



Gambar 4. 5 Bagan Alir Analisis PLAXIS 2D V21

4.4 Pengolahan Data

Pengolahan data menggunakan data primer dan sekunder. Adapun data yang digunakan dalam analisis sebagai berikut.

4.4.1 Uji Laboratorium Tanah

Uji laboratorium tanah dilakukan untuk mengetahui sifat fisik dan mekanik tanah yang diteliti. Pengujian ini meliputi beberapa tahapan, yaitu pengujian sifat indeks tanah (*soil properties*) seperti kadar air, berat jenis, *limit* Atterberg, dan analisis saringan (*sieve analysis*) untuk menentukan distribusi ukuran butiran tanah dan klasifikasinya, serta pengujian triaxial *uncosolidatied undrained* (UU) yang bertujuan untuk mengetahui parameter kuat geser tanah seperti kohesi (c) dan sudut geser dalam (ϕ) di bawah kondisi pembebanan tertentu. Hasil dari rangkaian uji ini memberikan data penting berupa nilai kadar air alami, klasifikasi jenis tanah menurut sistem USCS, serta parameter kuat geser yang digunakan untuk analisis stabilitas lereng, fondasi, dan perencanaan konstruksi tanah lainnya. Dengan mengetahui karakteristik tersebut, perencanaan teknik sipil dapat dilakukan secara lebih akurat dan aman.

4.4.2 Peta Topografi dan Geologi

Peta topografi dan geologi berperan penting dalam analisis stabilitas lereng karena memberikan gambaran mengenai kondisi morfologi lahan dan karakteristik bawah permukaan. Peta topografi digunakan untuk mengetahui kemiringan, elevasi, dan kontur lereng yang menjadi dasar dalam pemodelan geometri lereng di PLAXIS 2D, sedangkan peta geologi memberikan informasi mengenai jenis tanah, struktur geologi, dan lapisan batuan yang memengaruhi parameter mekanik tanah. Berdasarkan hasil analisis, lokasi studi memiliki kemiringan yang curam dan sering terjadi hujan lebat yang menyebabkan rawan longsor, sehingga diperlukan perkuatan lereng menggunakan *gravity wall* dan kantilever untuk menjaga kestabilannya.

4.4.3 Data Beban

Data beban merupakan komponen penting dalam analisis stabilitas lereng karena mempengaruhi besar gaya yang bekerja pada sistem lereng dan struktur

perkuatannya. Beban yang diperhitungkan dalam studi ini meliputi beban mati (dead load) seperti berat sendiri tanah dan struktur perkuatan (*gravity wall* dan *cantilever wall*), serta beban gempa. Selain itu, tekanan air pori akibat hujan atau muka air tanah juga turut diperhitungkan sebagai beban tambahan yang dapat memengaruhi kestabilan lereng, terutama pada kondisi jenuh. Semua data beban ini diinput ke dalam pemodelan numerik menggunakan PLAXIS 2D V21 untuk mendapatkan respons lereng terhadap berbagai kombinasi beban, baik dalam kondisi normal maupun ekstrem. Hasil analisis dari data beban ini menjadi dasar dalam mengevaluasi kinerja dan efektivitas dari sistem perkuatan yang digunakan.

BAB V

PEMBAHASAN

5.1 Hasil Pengujian Laboratorium

Data primer yang digunakan pada penelitian ini meliputi data properties tanah yang didapatkan dari pengujian laboratorium. Pada pengujian laboratorium yang dilakukan berupa uji kadar air, uji berat volume, uji berat jenis, uji analisa granuler, uji batas-batas atterberg, dan uji triaxial UU pada sample tanah UDS 2 dan UDS 3. Hasil pengujian yang didapatkan ditunjukkan pada Tabel 5.1 berikut.

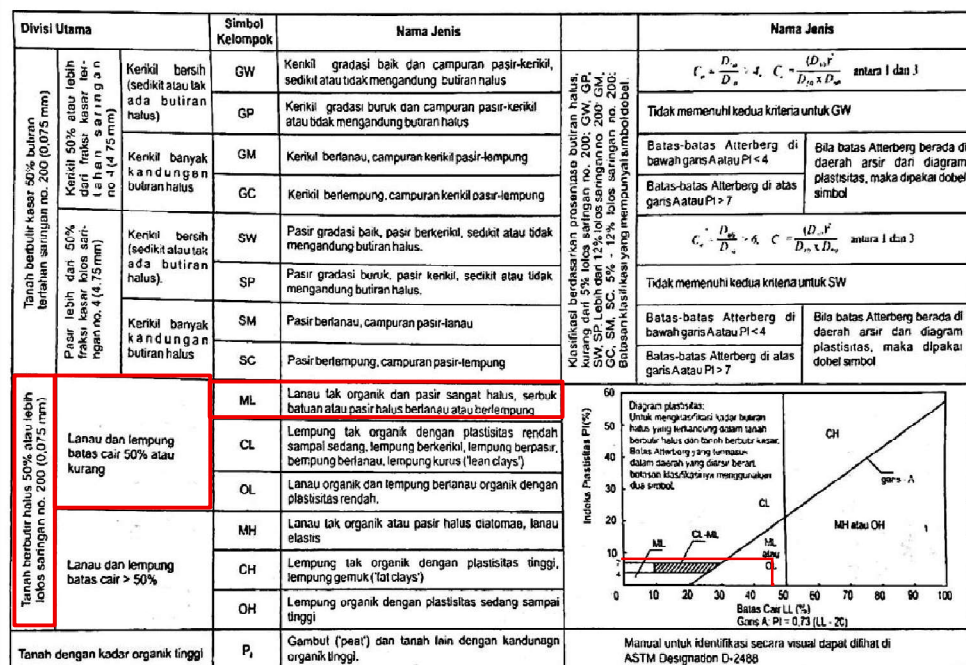
Tabel 5.1 Hasil Pengujian Laboratorium

No	Parameter Uji	Satuan	Hasil	
			UDS 2	UDS 3
1	Kadar air	%	40,14	24,23
2	Berat Jenis Tanah (<i>Specific Gravity of Soil, G_s</i>)		2,632	2,634
3	Berat volume tanah kering (<i>dry dencity, g_d</i>)	gr/cm ³	1,160	1,551
4	Berat volume tanah basah (<i>wet dencity, g_b</i>)	gr/cm ³	1,626	1,907
5	Angka Pori (<i>Void ratio, e</i>)		1,275	0,756
6	Porositas	%	55,365	37,424
7	Derajat kejenuhan (<i>degree of Saturated, S</i>)	%	0,83	0,89
8	Kandungan Krikil (<i>Gravel part</i>)	%	0,00	0,00
9	Kandungan Pasir (<i>Sand part</i>)	%	6,66	6,66
10	Kandungan Lanau (<i>Silt part</i>)	%	89,49	31,04
11	Kandungan Lempung (<i>Clay part</i>)	%	3,85	62,30
12	D10 (mm)	mm	0,05	0,01
13	D30 (mm)	mm	0,05	0,05
14	D60 (mm)	mm	0,30	0,06

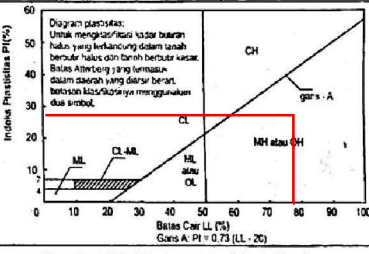
Lanjutan Tabel 5.2 Hasil Pengujian Laboratorium

No	Parameter Uji	Satuan	Hasil	
			UDS 2	UDS 3
15	Koefisien keseragaman, C_u		6,38	4,62
16	Koefisien gradasi, C_c		0,20	3,33
17	Passing #200	%	39,73	52,03
18	Batas cair (<i>liquid limit</i> , LL)	%	49,70	77,00
19	Batas plastis (<i>plastic limit</i> , PL)	%	41,90	48,48
20	Indek plastis (<i>plasticity index</i> , PI)	%	7,80	28,52
21	Batas Susut (<i>Srinkage limit</i> , SL)	%	0,37	0,39
22	Aktivitas (PI/C, A)		2,03	2,318
23	Sudut Geser Dalam, ϕ	$^{\circ}$	15,71	19,22
24	Kohesi, c	kg/cm ²	0,51	0,20

Berdasarkan hasil pengujian sistem klasifikasi tabel USCS seperti pada Gambar 5.1 dan 5.2 dibawah berikut.



Gambar 5.1 Hasil Klasifikasi Tanah USCS UDS 2

Divisi Utama	Simbol Kelompok	Nama Jenis	Nama Jenis
Tanah berbutir kasar 50% buliran beraturan saringan no. 200 (0,075 mm)	GW	Kenkil gradasi baik dan campuran pasir-kenkil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus	$e_s = \frac{D_{20}}{D_{60}} \times 5, \quad C_u = \frac{(D_{60})^2}{D_{20} \times D_{30}} \text{ antara 1 dan 3}$ Tidak memenuhi kedua kriteria untuk GW Batas-batas Atterberg di bawah garis A atau $PI < 4$ Batas-batas Atterberg di atas garis A atau $PI > 7$ Bila batas Atterberg berada di daerah arsir dan diagram plastisitas, maka dipakai simbol
	GP	Kenkil gradasi buruk dan campuran pasir-kenkil atau tidak mengandung butiran halus	
	GM	Kenkil berlanau, campuran kenkil pasir-lempung	
	GC	Kenkil berlempung, campuran kenkil pasir-lempung	
	SW	Pasir gradasi baik, pasir berkenkil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus	
	SP	Pasir gradasi buruk, pasir kenkil, sedikit atau tidak mengandung 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)	ML	Lanau tak organik dan pasir sangat halus, serbuk batuan atau pasir halus berlanau atau berlempung	Klasifikasi berdasarkan prosentase butiran halus: 50% lolos saringan no. 200, 25% lolos saringan no. 40, 5% lolos saringan no. 200, 0,075 mm. SW, SP Lebih dari 12% lolos saringan no. 200, GC, SM, SC 5% - 12% lolos saringan no. 200. Batas-batas klasifikasi yang mempunyai ambang ganda. Diagram plastisitas: Untuk mengkonversi kadar air ke nilai yang berkaitan dengan tanah berbutir halus dan berbutir kasar. Batas Atterberg yang tertera dalam daerah yang diarsir berarti, batasan klasifikasi menggunakan dua simbol.  Manual untuk identifikasi secara visual dapat dilihat di ASTM Designation D-2488
	CL	Lempung tak organik dengan plastisitas rendah sampai sedang, lempung berkenkil, lempung berpasir, lempung berlanau, lempung kurus (lean clays)	
	OL	Lanau organik dan lempung berlanau organik dengan plastisitas rendah	
	MH	Lanau tak organik atau pasir halus cialomas, lanau elastis	
	CH	Lempung tak organik dengan plastisitas tinggi, lempung gemuk (fat clays)	
Tanah dengan kadar organik tinggi	OH	Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai tinggi	
	PI	Gambut ('peat') dan tanah lain dengan kandungan organik tinggi	

Gambar 5.2 Hasil Klasifikasi Tanah USCS UDS 3

Berdasarkan klasifikasi tanah menurut USCS untuk sample UDS 2 terdapat pada divisi utama tanah berbutir halus 50% atau lebih lolos saringan no. 200 (0,075 mm) dengan lanau dan lempung batas cair 50% atau kurang didapat simbol kelompok ML dengan keterangan lanau tak organik dan pasir sangat halus, serbuk batuan atau pasir halus berlanau atau berlempung. Sedangkan pada sample UDS 3 terdapat pada divisi utama tanah berbutir halus 50% atau lebih lolos saringan no. 200 (0,075 mm) dengan lanau dan lempung batas cair $> 50\%$ didapat simbol kelompok OH dengan keterangan lempung organik dengan plastisitas sedang sampai tinggi.

Kemudian, selain menggunakan table USCS, digunakan tabel klasifikasi AASHTO seperti pada tabel 5.3 dan 5.4 berikut.

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

$$GI = (39,73-35) [0,2+0,005(49,7-40)] + 0,001 (39,73-15) (7,8-10) = 1,12$$

Berdasarkan nilai GI tersebut, didapatkan klasifikasi tanah berdasarkan AASHTO ditunjukkan pada Tabel 5.1 berikut.

Tabel 5. 3 Hasil Klasifikasi Tanah AASHTO UDS 2

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	41min	40 maks	41 min	40 maks	41 min	40 maks	41 min
Indeks plastis (PI)	6 maks		Np	10 maks	10 maks	11 min	11 min	10 maks	10 maks	11 min	11 min
Indeks Kelompok (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

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

$$GI = (52,03-35) [0,2+0,005(77-40)] + 0,001 (52,03-15) (28,52-10) = 13,41$$

Berdasarkan nilai GI tersebut, didapatkan klasifikasi tanah berdasarkan AASHTO ditunjukkan pada Tabel 5.1 berikut.

Tabel 5. 4 Hasil Klasifikasi Tanah AASHTO UDS 3

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	41min	40 maks	41 min	40 maks	41 min	40 maks	41 min
Indeks plastis (PI)	6 maks		Np	10 maks	10 maks	11 min	11 min	10 maks	10 maks	11 min	11 min
Indeks Kelompok (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

Tabel klasifikasi menurut AASHTO memiliki catatan bahwa nilai A-7 dibagi atas A-7-5 dan A-7-6 bergantung pada batas plastisnya. Batas plastis >30 untuk klasifikasi A-7-5 dan batas plastis <30 untuk klasifikasi A-7-6. Sehingga berdasarkan hasil pada Tabel 5.3 dan 5.4 didapatkan bahwa tanah berada pada klasifikasi A-7-5 dengan material pokok berupa tanah lempung dan penilaian umum sebagai tanah dasar bersifat sedang sampai buruk.

Identifikasi potensi lempung ekspansif pada lokasi penelitian dilakukan secara tidak langsung menggunakan nilai aktivitas (A) berdasarkan konsep Skempton (1953), yaitu perbandingan antara indeks plastisitas (PI) dan persentase tanah yang lolos ayakan No.200. Hasil perhitungan menunjukkan nilai aktivitas sebesar 0,20 untuk sampel UDS 2 dan 0,55 untuk sampel UDS 3. Berdasarkan klasifikasi Skempton seperti pada Tabel 5.5, kedua nilai tersebut termasuk dalam kategori lempung tidak aktif ($A < 0,75$), sehingga tanah pada lokasi penelitian tidak tergolong sebagai lempung ekspansif aktif. Meskipun demikian, nilai indeks plastisitas dan batas cair yang relatif tinggi pada sampel UDS 3 menunjukkan bahwa tanah masih sensitif terhadap perubahan kadar air, sehingga potensi permasalahan geoteknik lebih dipengaruhi oleh kondisi kejenuhan daripada sifat ekspansif mineral lempung.

Tabel 5.5 Korelasi Tingkat Keaktifan Dengan Pengembangan

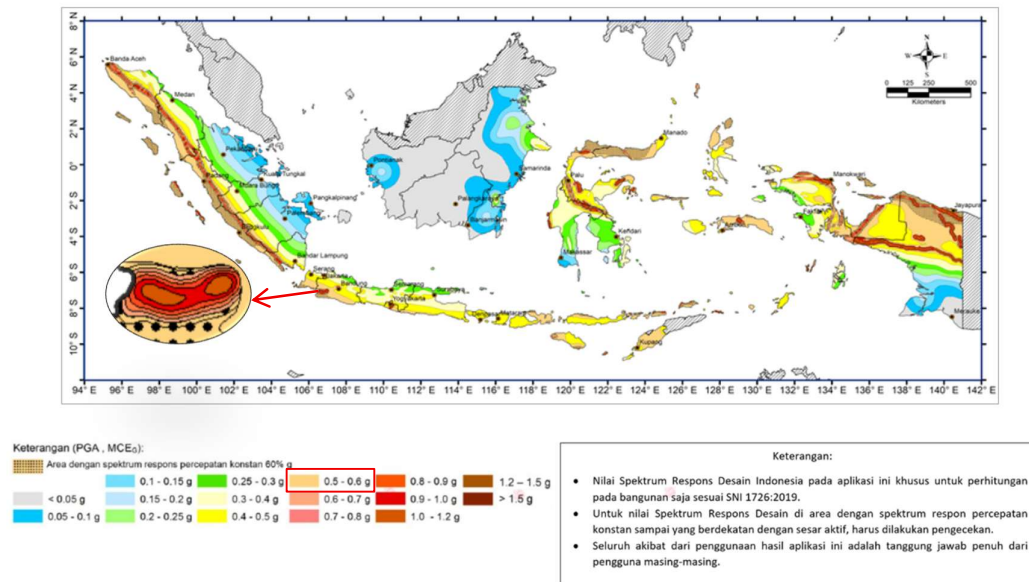
Tingkat Keaktifan	Potensi Pengembangan
$<0,75$	Rendah
0,75-1,25	Sedang
1,25-2,00	Tinggi
$>2,00$	Sangat Tinggi

Sumber: Skempton (1953)

5.2 Data Beban Gempa

Data beban gempa diperhitungkan karena lokasi penelitian berada di wilayah dengan tingkat seismisitas tinggi, yaitu Kabupaten Cianjur, Jawa Barat. Dalam analisis menggunakan perangkat lunak PLAXIS, beban gempa dimasukkan sebagai analisis dinamis karena melibatkan parameter percepatan, interval waktu,

serta karakteristik beban yang tidak konstan. Nilai percepatan gempa untuk wilayah Cianjur mengacu pada SNI 1726:2012, dengan rentang percepatan antara 0,5 hingga 0,6 g. Informasi mengenai zonasi seismik Indonesia yang menjadi acuan dapat dilihat pada Gambar 4.2.

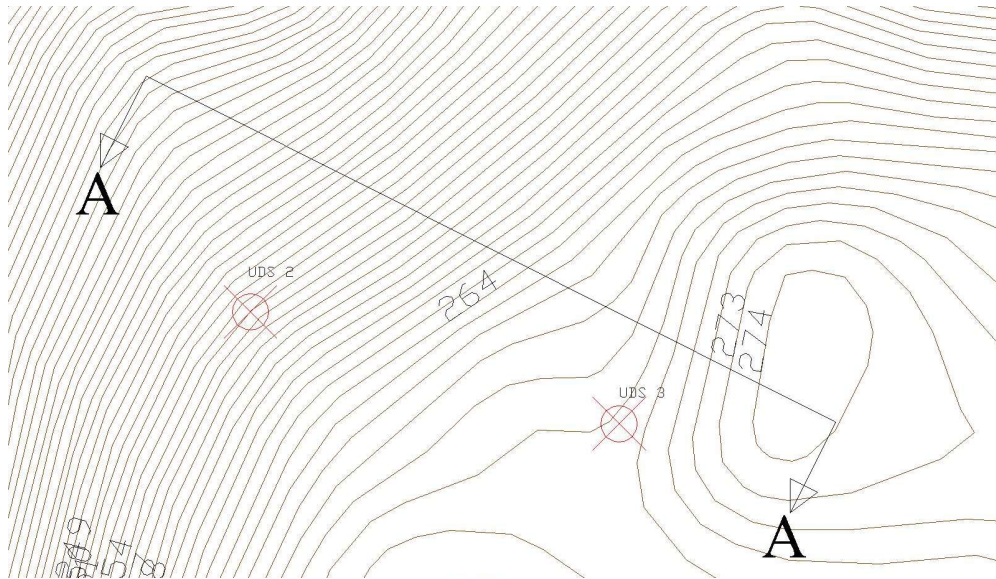


Gambar 5. 3 Peta Zonasi Gempa Indonesia

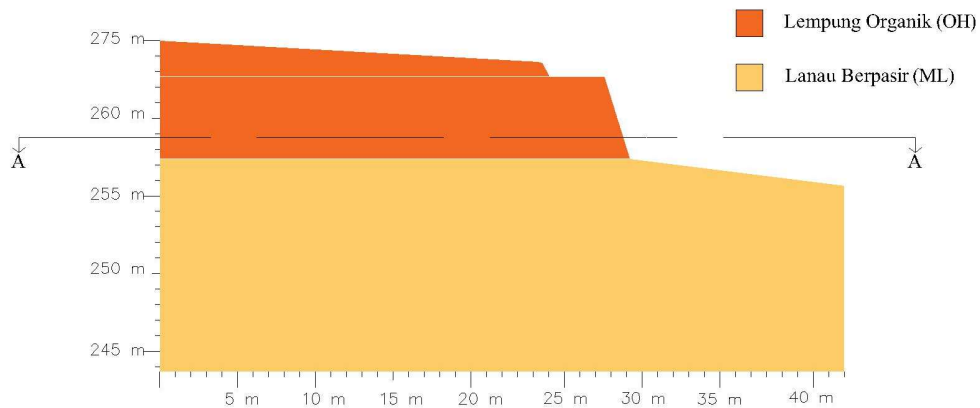
(Sumber: Desain Spektra Indonesia-RSA-PU)

5.3 Topografi Tanah

Data topografi merupakan informasi tentang bentuk dan ciri-ciri permukaan bumi, khususnya yang berkaitan dengan elevasi atau ketinggian suatu area dari permukaan laut. Informasi ini menggambarkan kondisi kemiringan, tinggi tempat, serta morfologi tanah yang berpengaruh pada kestabilan lereng, sistem drainase, dan perencanaan struktur bangunan maupun infrastruktur. Dalam penelitian ini, data topografi diperoleh dari citra *Digital Elevation Model* Nasional (DEMNAS), yaitu data elevasi dengan resolusi tinggi yang dikeluarkan oleh Badan Informasi Geospasial (BIG) Indonesia. Data tersebut kemudian diproses *software* Global Mapper untuk memperoleh nilai ketinggian dan menghasilkan model garis kontur seperti pada Gambar 5.4 dan 5.5 berikut.



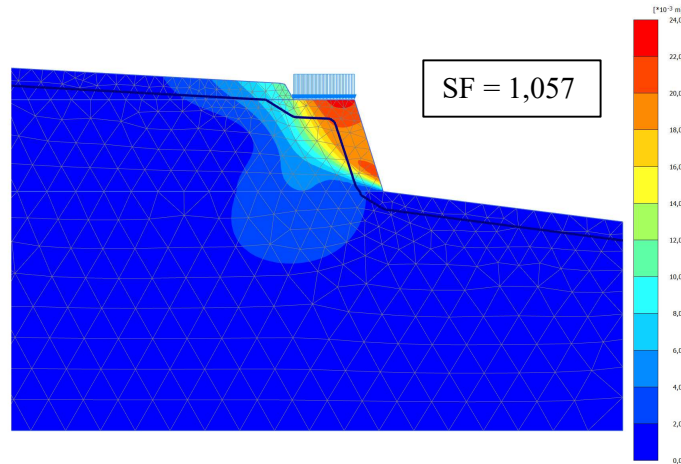
Gambar 5. 4 Peta Kontur Pengambilan Sample Desa Sukaraharja



Gambar 5.5 Cross Section Lereng A-A

5.4 Analisis Stabilitas Lereng Eksisting

Analisis stabilitas lereng dilakukan melalui pemodelan geometrik yang mengacu pada data elevasi dari citra Google Earth. Analisis ini bertujuan untuk menentukan nilai *safety factor* (SF) pada kondisi eksisting sebagai indikator tingkat kerentanan terhadap potensi longsor. Proses perhitungan dilakukan secara komputasi menggunakan perangkat lunak PLAXIS 2D V21, di mana hasil analisis SF untuk lereng tinjauan disajikan pada Gambar 5.6 berikut.



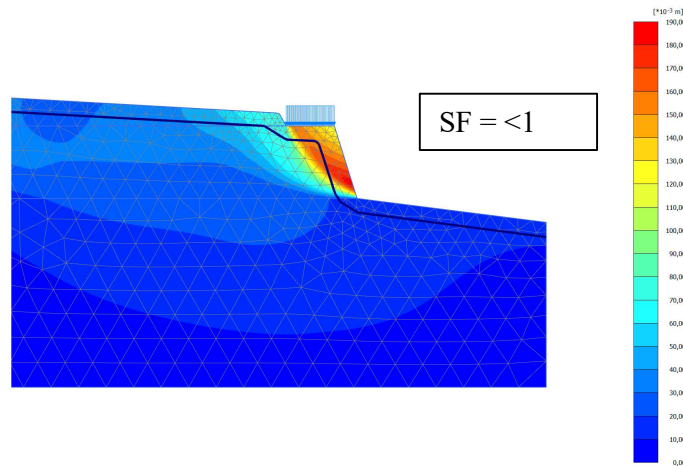
Gambar 5.6 Analisis Lereng Eksisting

Dari hasil pemodelan lereng eksisting menggunakan PLAXIS 2D V21 tanpa mempertimbangkan pengaruh gempa, diperoleh nilai SF lereng. Melalui analisis ini, program PLAXIS secara otomatis menampilkan bidang gelincir paling kritis pada model yang dibuat. Nilai SF yang diperoleh adalah 1,057. Karena nilai ini kurang dari 1,5, maka lereng tersebut diklasifikasikan sebagai tidak aman dan pada kondisi dilapangan terjadi longsor. Nilai *safety factor* dapat dilihat pada menu *phases* yang ditunjukkan pada Gambar 5.7 berikut.

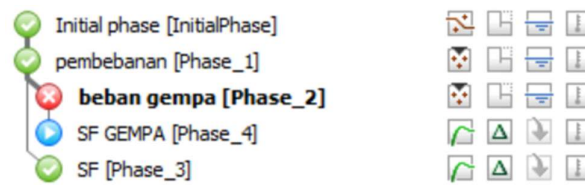
Reached total time	4,000 day
CSP - Relative stiffness	1,150E-15
ForceX - Reached total force	0,000 kN
ForceY - Reached total force	0,000 kN
Pmax - Reached max pp	120,2 kN/m ²
ΣM_{stage} - Reached phase p	0,000
ΣM_{weight} - Reached weight	1,000
ΣM_{sf} - Reached safety fact	1,057

Gambar 5.7 Nilai SF Lereng Eksisting

Dilakukan juga analisis dengan memperhitungkan beban gempa sesuai pada sub bab 5.2 dan didapatkan nilai seperti pada gambar 5.8 dan 5.9 berikut.



Gambar 5.8 Analisis Lereng Eksisting Dengan Beban Gempa

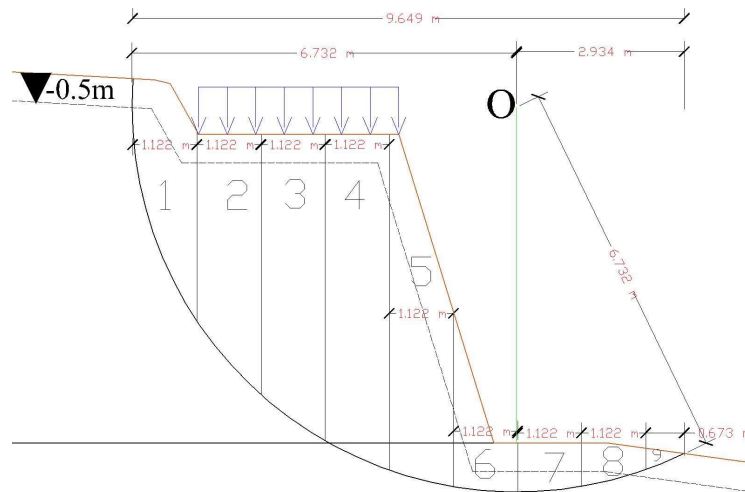


Gambar 5.9 Hasil Analisis Lereng Eksisting Dengan Beban Gempa

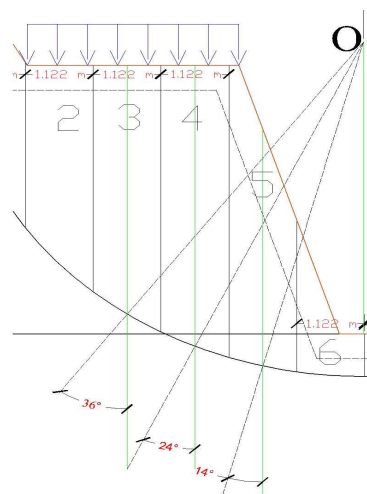
Dari hasil tersebut didapatkan bahwa lereng mengalami kelongsoran apabila memperhatikan beban gempa dan didapatkan hasil *collapse* sehingga dapat diartikan bahwa nilai SF kurang dari 1,1 sehingga belum memenuhi persyaratan.

5.4.1 Analisis Stabilitas Lereng Eksisting Dengan Metode Fellenius

Berdasarkan data hasil pengujian laboratorium pada Tabel 5.1 serta garis kelongsoran pada Gambar 5.6 maka dapat diilustrasikan seperti pada Gambar 5.10 berikut untuk digunakan sebagai perhitungan menggunakan metode Fellenius.



Gambar 5.10 Potongan Pias Pada Bidang Gelincir Lereng



Gambar 5.11 Sudut Pada Potongan Pias Bidang Gelincir Lereng

Bidang gelincir longsor pada lereng tersebut terbagi menjadi 9 pias. Panjang total 9,649 m dengan panjang tiap pias rata-rata sebesar 1,122 m. setelah itu, dengan adanya ilustrasi bidang gelincir yang ada akan disesuaikan dengan perhitungan menggunakan rumus Fellenius seperti contoh perhitungan berikut.

Perhitungan manual dengan metode Fellenius pada pias nomer 1

1. Perhitungan berat irisan tanah (W)

$$W_1 = \gamma \times A_1$$

$$= 19,15 \text{ kN/m}^3 \times 3,2 \text{ m}^2$$

$$= 61.353 \text{ kN/m}$$

2. Perhitungan radians

$$\text{Rad}_1 = \alpha \times \frac{\pi}{180}$$

$$= 66^\circ \times \frac{\pi}{180}$$

$$= 1,152$$

3. Perhitungan Sin α

$$\text{Sin } \alpha_1 = \text{Sin (Rad1)}$$

$$= \text{Sin (1,152)}$$

$$= 0,914$$

4. Perhitungan Cos α

$$\text{Cos } \alpha_1 = \text{Cos (Rad1)}$$

$$= \text{Cos (1,152)}$$

$$= 0,407$$

5. Perhitungan ΔLn (m)

$$\Delta \text{Ln} = \text{Panjang pias} \times \text{Cos } \alpha_1$$

$$= 1,122\text{m} \times 0,407$$

$$= 2,759 \text{ m}$$

6. Perhitungan Un

$$\text{Luas Irisan} \times \Delta \text{Ln} = 2,759 \text{ m} \times 14,904 \text{ kN/m}$$

$$= 41,114 \text{ kN/m}$$

7. Perhitungan Un x ΔLn

$$\text{Un} \times \Delta \text{Ln} = 14,904 \text{ kN/m} \times 2,759 \text{ m}$$

$$= 41,114$$

8. Perhitungan W x Sin α

$$\text{W1} \times \text{Sin } \alpha = 45,160 \text{ kN/m} \times 0,914$$

$$= 619,98 \text{ kN/m}$$

9. Perhitungan W x Cos α

$$\text{W1} \times \text{Cos } \alpha = 45,16\text{kN/m} \times 0,407$$

$$= 18,368 \text{ kN/m}$$

Tabel 5.6 Rekapitulasi Perhitungan Metode Fellenius

Pias	Luas Irisan	Berat (Wn)	Luas Irisan Muka Air	Un	Sudut Irisan (α_n)	Radians	$\sin \alpha_n$	$\cos \alpha_n$	Panjang Bidang Gelincir (ΔL_n)	$(U_n \cdot \Delta L_n)$	$W_n \sin \alpha_n$	$W_n \cos \alpha_n$
	m ²	(kN/m)	m ²	(kN/m)	(°)				(m)		(kN/m)	(kN/m)
1	3.20	61.353	2.367	23.220	66	1.152	0.914	0.407	2.759	64.054	56.049	24.954
2	4.46	85.315	3.8934	38.194	48	0.838	0.743	0.669	1.677	64.044	63.402	57.087
3	5.60	107.234	5.0387	49.430	36	0.628	0.588	0.809	1.387	68.552	63.031	86.754
4	6.33	121.237	5.6997	55.914	24	0.419	0.407	0.914	1.228	68.673	49.311	110.755
5	5.67	108.563	3.4116	33.468	14	0.244	0.242	0.970	1.156	38.700	26.264	105.338
6	1.727	33.064	0.4949	4.855	5	0.087	0.087	0.996	1.126	5.468	2.882	32.939
7	0.925	17.708	0.363	3.561	-5	-0.087	-0.087	0.996	1.126	4.011	-1.543	17.641
8	0.677	12.957	0.3102	3.043	-15	-0.262	-0.259	0.966	1.162	3.535	-3.353	12.515
9	0.131	2.507	0	0.000	-22	-0.384	-0.375	0.927	0.726	0.000	-0.939	2.324
Total Σ				211.685					12.347	317.037	255.102	450.308

Berdasarkan perhitungan pada Tabel 5.5 dapat diperoleh nilai *safety factor* (SF) sebagai berikut.

$$F_s = \frac{\sum (cl + (W \cos \alpha - ul) \tan \phi)}{\sum W \sin \alpha}$$

$$F_s = \frac{(16,67 \frac{Kn}{m^2} \times 12,347m + (450,308 \frac{Kn}{m} - 317,037) \tan 19,15)}{255,102}$$

$$F_s = 1,111$$

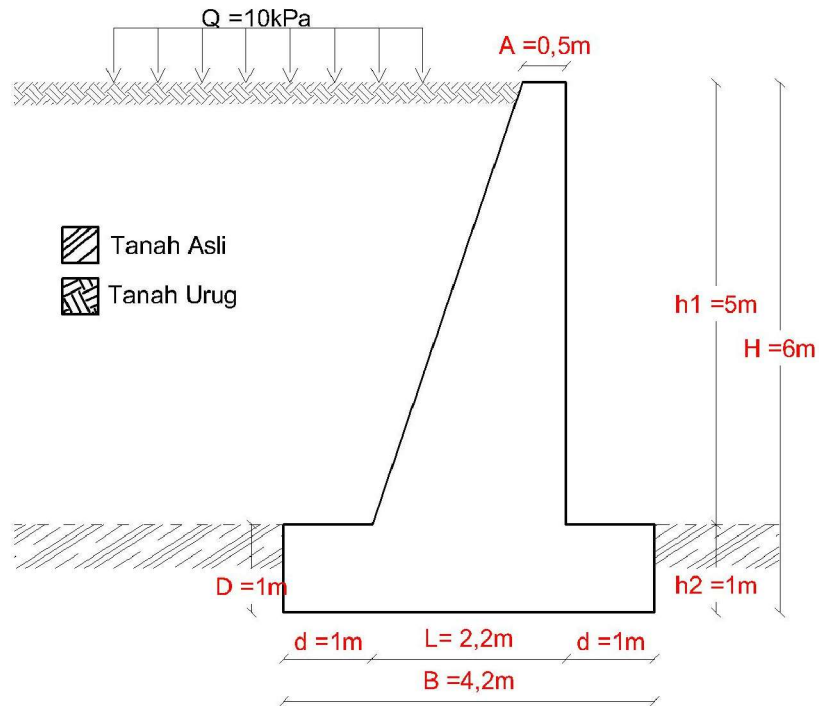
Berdasarkan hasil perhitungan SF menggunakan metode Fellenius pada lereng eksisting tanpa memperhitungkan beban gempa didapatkan nilai sebesar 1,111 sedangkan menggunakan PLAXIS 2D V21 didapatkan nilai SF sebesar 1,057. Pada analisis menggunakan metode Fellenius dan PLAXIS 2D V21 terdapat deviasi sebesar 0,054.

5.5 Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan *Gravity Wall*

Perancangan dinding penahan tanah tipe *gravity wall* ini dilakukan dengan penentuan dimensi serta memperhatikan stabilitas eksternal dan internal untuk mengetahui kekuatan dan angka aman yang memenuhi syarat pada stabilitas yang ditinjau.

5.5.1 Dimensi *Gravity Wall*

Dimensi *gravity wall* pada perancangan ini ditentukan berdasarkan kapasitas stabilitas terhadap gaya-gaya eksternal yang bekerja, serta mempertimbangkan ketentuan desain sesuai standar BSN 2017. Dimensi yang diterapkan meliputi tinggi total dinding (H), tinggi dinding di atas tanah urug (h1), lebar fondasi (B), lebar fondasi bawah (D), dan serta lebar bagian atas (A). Penentuan dimensi ini disesuaikan agar dinding penahan tanah mampu menahan tekanan tanah serta beban di atasnya secara optimal sesuai persyaratan kestabilan dan keamanan struktur. Gambar dimensi *gravity wall* dapat dilihat pada Gambar 5.12 berikut.



Gambar 5.12 Dimensi DPT Gravity Wall

Gambar 5.12 di atas merupakan desain gravity wall yang sudah sesuai dengan BSN 2017.

H	$= 6,0\text{ m}$	D	$= 1,0\text{ m}$	L	$= 2,2\text{ m}$
h_1	$= 5,0\text{ m}$	d	$= 1,0\text{ m}$		
B	$= 4,2\text{ m}$	A	$= 0,5\text{ m}$		

5.5.2 Analisis Stabilitas Eksternal dan Internal

Analisis ini bertujuan untuk menentukan nilai SF terhadap pergeseran, penggulingan, dan keruntuhan kapasitas dukung tanah. Beban yang diperhitungkan meliputi beban tanah di atas dinding penahan tanah (DPT) sebesar 10 kPa. Perhitungan stabilitas lereng dengan perkuatan dilakukan pada kondisi lereng menggunakan perkuatan *gravity wall*. Analisis stabilitas DPT dengan tinjauan eksternal ini diterapkan pada lokasi Desa Sukaraharja, Cianjur, Jawa Barat.

1. Data Tanah Lapisan Dan Parameter Beban

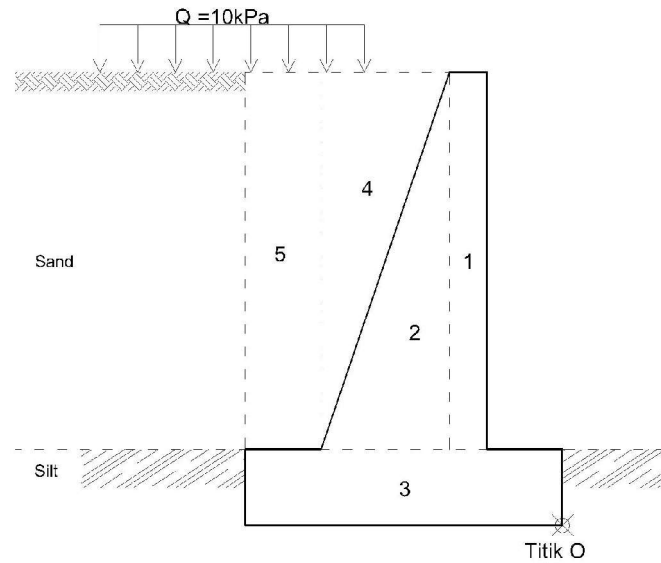
Terdapat dua lapisan tanah yaitu tanah timbunan pasir dan tanah asli. Berikut merupakan data parameter tanah lapisan yang sudah dikonversi sesuai kebutuhan untuk input analisis menggunakan PLAXIS 2D V21 dan perhitungan stabilitasnya dapat dilihat pada Tabel 5.7 berikut.

Tabel 5.7 Data Parameter Tanah

No	Parameter	Nilai	Satuan
1	Tanah lapis 1 (Tanah timbunan)		
	Berat volume tanah basah (γ_{sat})	18	kN/m ³
	Berat volume tanah kering (γ_{unsat})	17	kN/m ³
	Sudut geser (ϕ)	32	°
	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)		
	Berat volume tanah basah (γ_{sat})	16,87	kN/m ³
	Berat volume tanah kering (γ_{unsat})	15,94	kN/m ³
	Sudut geser (ϕ)	15,71	°
	Kohesi (c)	49,01	kN/m ²
	Kekakuan (E)	15000	kN/m ²
	<i>Poisson Ratio</i> (ν)	0,3	
3	Berat jenis pasangan batu kali	24	kN/m ³
4	Beban merata	10	kPa

2. Gaya Vertikal dan Momen Yang Bekerja

Gaya-gaya yang diperhitungkan meliputi gaya akibat berat struktur dan gaya akibat tekanan tanah di belakang dinding penahan tanah. Distribusi gaya-gaya tersebut dibagi ke dalam beberapa pias pada dinding penahan tanah sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 5.13 berikut.



Gambar 5.13 Pembagian Pias Gaya Vertikal Pada Gravity Wall

Berikut contoh perhitungan gaya vertikal pada pias 1.

$$\begin{aligned}
 \text{Luas} &= A \times t \\
 &= 0,5 \times 5 \\
 &= 2,5 \text{ m}^2 \\
 \text{Gaya} &= \text{Luas} \times \text{berat jenis beton} \\
 &= 2,5 \times 22 \\
 &= 55 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

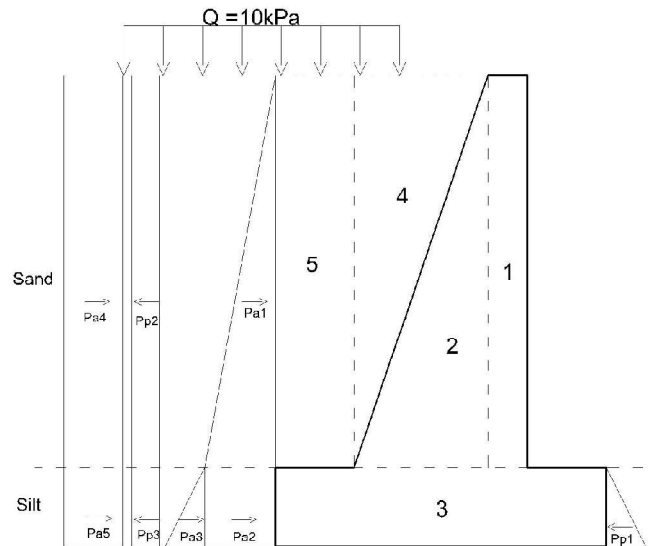
Dengan menggunakan perhitungan yang sama sehingga didapat rekapitulasi gaya vertikal dan momen pada setiap pias yang dapat dilihat pada Tabel 5.8 Berikut.

Tabel 5.8 Rekapitulasi Perhitungan Momen Vertikal Terhadap Titik O

No	Area (m ²)	Berat/Panjang (kN/m)	Jarak titik berat ke titik O	Momen (kN-m/m)
1	2.5	55	1.25	68.75
2	4.25	93.5	2.63	245.905
3	4.2	92.4	2.1	194.04
4	4.25	93.5	2.07	193.545
5	5	110	3.7	407
Σ_v		444.400	Σ_{Mr}	1109.240

3. Gaya Lateral

Pada tahap analisis ini dilakukan perhitungan tekanan tanah aktif dan pasif. Nilai tekanan tersebut ditentukan berdasarkan koefisien tekanan tanah aktif dan pasif untuk setiap lapisan tanah yang dianalisis. Analisis dilakukan pada kondisi normal, yaitu tanpa mempertimbangkan pengaruh beban luar tambahan seperti beban gempa atau beban lalu lintas. Diagram tekanan pasif dan aktif dapat dilihat pada Gambar 5.14 berikut.



Gambar 5. 14 Diagram Aktif dan Pasif Gravity Wall

Berikut merupakan perhitungan untuk tekanan aktif dan pasif.

a. Koefisien Tekanan Aktif

Koefisien tekanan aktif pada lapisan 1 (timbunan) dinotasikan sebagai Ka-1, sedangkan koefisien tekanan aktif pada lapisan 2 (tanah asli) dinotasikan sebagai Ka-2. Berikut merupakan perhitungan untuk koefisien tekanan aktif.

$$\begin{aligned} K_{a-1} &= \tan^2 \left(45 - \frac{\varphi}{2} \right) \\ &= \tan^2 \left(45 - \frac{32}{2} \right) \\ &= 0.307 \end{aligned}$$

$$K_{a-2} = \tan^2 \left(45 - \frac{\varphi}{2} \right)$$

$$= \tan^2 \left(45 - \frac{15,71}{2} \right)$$

$$= 0,574$$

b. Koefisien Tekanan Pasif

Koefisien tekanan pasif pada lapisan 1 (timbunan) dinotasikan sebagai Kp-1, sedangkan pada lapisan 2 (tanah asli) dinotasikan sebagai Kp-2. Berikut merupakan perhitungan untuk koefisien tekanan pasif.

$$Kp-1 = \tan^2 \left(45 + \frac{\varphi}{2} \right)$$

$$= \tan^2 \left(45 + \frac{32}{2} \right)$$

$$= 3,255$$

$$Kp-2 = \tan^2 \left(45 + \frac{\varphi}{2} \right)$$

$$= \tan^2 \left(45 + \frac{15,71}{2} \right)$$

$$= 1,743$$

c. Perhitungan Tekanan Aktif dan Pasif

Berikut merupakan perhitungan dari tekanan tanah aktif dan pasif.

$$Pa1 = 0,5 \gamma_1 h_1^2 Ka_1$$

$$= 0,5 \times 17 \times (5)^2 \times 0,307$$

$$= 65,292 \text{ kN}$$

$$Pa2 = \gamma_1 h_1 h_2 Ka_2$$

$$= 17 \times 5 \times 1 \times 0,574$$

$$= 26,117 \text{ kN}$$

$$Pa3 = 0,5 \gamma_2 h_2^2 Ka_2$$

$$= 0,5 \times 16,87 \times (1)^2 \times 0,574$$

$$= 4,840 \text{ kN}$$

$$Pa4 = q Ka_1 h_1$$

$$= 10 \times 0,307 \times 5$$

$$= 15,363 \text{ kN}$$

$$Pa5 = q Ka_2 D$$

$$= 10 \times 0,574 \times 1$$

$$= 5,739 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned}
 Pp1 &= 0,5 \gamma_2 D^2 Kp_2 \\
 &= 0,5 \times 15,94 \times (1)^2 \times 1,743 \\
 &= 58,796 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Pp2 &= 2 c_1 \sqrt{Kp_1} \times h_1 \\
 &= 2 \times 16,67 \times \sqrt{3,255} \times 5 \\
 &= 134,648 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Pp3 &= 2 c_2 \sqrt{Kp_2} \times h_2 \\
 &= 2 \times 0,3 \times \sqrt{1,743} \times 1 \\
 &= 44,011 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Tabel 5.9 Rekapitulasi Tekanan Aktif dan Pasif

Diagram	Rumus	Gaya (kN)	Keterangan
Pa1	$0,5 \gamma_1 h_1^2 K_{a1}$	65,292	Akibat tekanan tanah lapis 1
Pa2	$\gamma_1 h_1 h_2 K_{a2}$	26,177	Akibat berat tanah lapis 1 yang mempengaruhi lapis 2
Pa3	$0,5 \gamma_2 h_2^2 K_{a2}$	4,84	Akibat tekanan tanah lapis 2
Pa4	$q K_{a1} h_1$	15,363	Akibat beban merata
Pa5	$q K_{a2} h_2$	5,739	Akibat beban merata
ΣPa		117,351 kN	
Pp1	$0,5 \gamma_2 D^2 K_{p2}$	58,797	Tekanan tanah didepan dinding
Pp2	$2 c_1 \sqrt{K_{p1}} \times h_1$	134,648	Tekanan pasif dari kohesi tanah
Pp3	$2 c_2 \sqrt{K_{p2}} \times h_2$	44,011	Tekanan pasif dari kohesi tanah
ΣPp		237,455 kN	

4. Stabilitas Geser

$$k1=k2= 0,67$$

$$\begin{aligned}
 SF &= \frac{(\Sigma V) \tan \delta' + B c' a + Pp}{Pa \cos \alpha} \\
 &= \frac{(\Sigma V) \tan(k1 \phi' / 2) + B k2 c' / 2 + Pp}{Pa \cos \alpha}
 \end{aligned}$$

$$= \frac{117,351 \tan(0,67 \times 15,71) + 4,2 \times 0,67 \times 16,67 + 237,455}{117,351 \cos 0}$$

$$= 3,12 > 1,5$$

SF terhadap stabilitas geser sebesar 3,12 sehingga dapat dinyatakan bahwa telah memenuhi syarat minimal yaitu, 1,5. Oleh karena itu *gravity wall* dapat dinyatakan aman terhadap stabilitas geser.

5. Stabilitas Guling

$$\Sigma M_o = Ph \left(\frac{H'}{3} \right)$$

$$= 117,351 \left(\frac{6}{3} \right)$$

$$= 234,703 \text{ kN/m}$$

$$SF = \frac{\Sigma M_r}{\Sigma M_o}$$

$$= \frac{1109,240}{234,703}$$

$$= 4,726 > 2$$

SF terhadap stabilitas guling sebesar 4,499 sehingga dapat dinyatakan bahwa telah memenuhi syarat minimal yaitu, 2. Oleh karena itu *gravity wall* dapat dinyatakan aman terhadap stabilitas guling.

6. Stabilitas Daya Dukung

$$e = \frac{B}{2} - \frac{\Sigma M_r - \Sigma M_o}{\Sigma V}$$

$$= \frac{4,2}{2} - \frac{1109,240 - 234,703}{444,4}$$

$$= 0,132$$

$$\frac{B}{6} = \frac{4,2}{6}$$

$$= 0,7$$

$$e < B/6$$

$$0,132 < 0,7 \text{ (memenuhi syarat)}$$

Dengan nilai eksentrisitasnya yang memenuhi persyaratan maka dapat diartikan bahwa dinding penahan tidak mengalami tarik sehingga dapat dilakukan analisis lebih lanjut mengenai daya dukung.

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

$$= \frac{117,351}{4,2} \left(1 + \frac{6 \times 0,132}{4,2} \right)$$

$$= 125,78 \text{ kN/m}^2$$

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

$$= \frac{117,351}{4,2} \left(1 - \frac{6 \times 0,132}{4,2} \right)$$

$$= 85,84 \text{ kN/m}^2$$

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 $15,71^\circ$ maka diperoleh nilai-nilai sebagai berikut

$$N_c = 13,582$$

$$N_q = 4,826$$

$$N_y = 2,855$$

$$q = \gamma_2 D'$$

$$= 15,94 \times 1$$

$$= 31,88 \text{ kN/m}^2$$

$$B' = B - 2e$$

$$= 4,2 - 2 \times 0,336$$

$$= 3,527 \text{ m}$$

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

$$= 1 + 2 \tan 15,71 (1 - \sin 15,71)^2 \left(\frac{1}{3,527} \right)$$

$$= 1,315$$

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

$$= 3,26 - \left(\frac{1 - 1,315}{13,582 \tan 15,71} \right)$$

$$= 1,397$$

$$F_{yd} = 1$$

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

$$= \tan^{-1} \left(\frac{117,351}{465,65} \right)$$

$$= 3,884$$

$$\begin{aligned}
 F_{yi} &= \left(1 - \frac{\psi}{\varphi}\right)^2 \\
 &= \left(1 - \frac{3,884}{15,71}\right)^2 \\
 &= 0,567
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F_{ci} = F_{qi} &= \left(1 - \frac{\psi}{90}\right)^2 \\
 &= \left(1 - \frac{3,884}{90}\right)^2 \\
 &= 0,916
 \end{aligned}$$

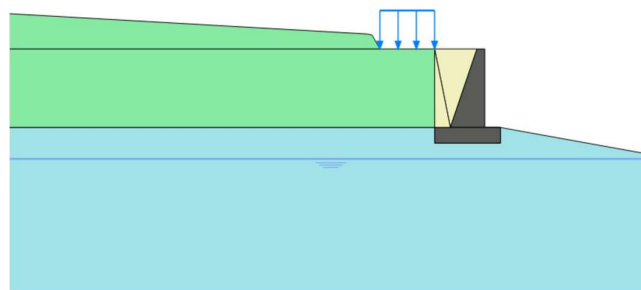
$$\begin{aligned}
 Q_u &= c' \cdot 2 \cdot N_c \cdot F_{cd} \cdot F_{ci} + q \cdot N_q \cdot F_{qd} \cdot F_{qi} + 0,5 \cdot Y' \cdot B' \cdot N_Y \cdot F_{Yd} \cdot F_{yi} \\
 &= 16,67 \times 13,582 \times 1,397 \times 0,916 + 31,88 \times 4,826 \times 1,315 \times 0,916 \\
 &\quad + 0,5 \times 7,060 \times 3,527 \times 2,855 \times 1 \times 0,567 \\
 &= 493,609 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 SF &= \frac{Q_u}{Q_{\max}} \\
 &= \frac{500,994}{164,130} \\
 &= 3,924 > 3
 \end{aligned}$$

SF terhadap daya dukung tanah sebesar 3,924 sehingga dapat dinyatakan bahwa memenuhi syarat minimal yaitu, 3. Oleh karena itu *gravity wall* dapat dinyatakan aman terhadap stabilitas daya dukung.

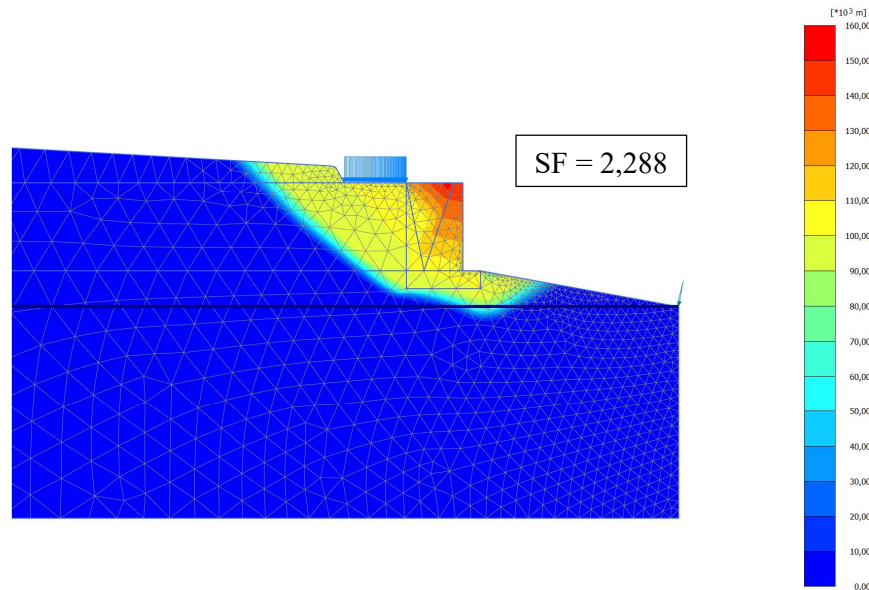
5.5.3 Stabilitas Global

Nilai stabilitas global ditentukan melalui pemodelan menggunakan PLAXIS. Gambar 5.15 menampilkan penampang lereng pada pemodelan tersebut dengan konfigurasi lapisan tanah yang mengacu pada Tabel 5.6.



Gambar 5. 15 Penampang Lereng Pada PLAXIS 2D

Bidang longsor hasil analisis SF global ditunjukkan pada Gambar 5.16. Berdasarkan hasil analisis, diperoleh SF terhadap stabilitas global sebesar 2,288 seperti pada Gambar 5.17, yang lebih besar dari nilai persyaratan yaitu 1,5.

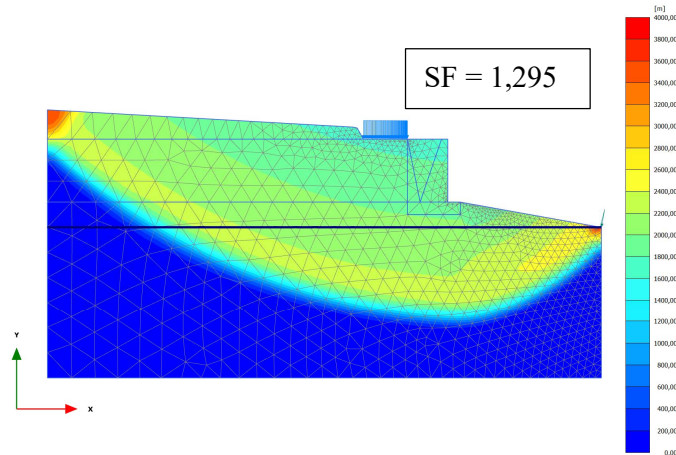


Gambar 5. 16 Analisis SF Stabilitas Global *Gravity Wall*

Reached total time	4,000 day
CSP - Relative stiffness	-0,1129E-12
ForceX - Reached total force	0,000 kN
ForceY - Reached total force	0,000 kN
Pmax - Reached max pp	228,3 kN/m ²
ΣM_{stage} - Reached phase p	0,000
ΣM_{weight} - Reached weight	1,000
ΣM_{sf} - Reached safety fact	2,288

Gambar 5. 17 Nilai SF Stabilitas Global

Sedangkan pada Gambar 5.18 menunjukan hasil analisis lereng dengan perkuatan *gravity wall* dengan mempertimbangkan beban gempa sesuai pada sub bab 5.2 diperoleh nilai SF sebesar 1,295 seperti pada Gambar 5.19. Dengan nilai yang lebih besar dari nilai syarat sebesar 1,1 sehingga dapat dikatakan telah memenuhi persyaratan.



Gambar 5.18 Analisis Stabilitas Global *Gravity Wall* Dengan Beban Gempa

Reached total time	6,000 day
CSP - Relative stiffness	5,590E-12
ForceX - Reached total force	0,000 kN
ForceY - Reached total force	0,000 kN
Pmax - Reached max pp	208,6 kN/m ²
ΣM_{stage} - Reached phase p	0,000
ΣM_{weight} - Reached weight	1,000
ΣM_{sf} - Reached safety fact	1,295

Gambar 5.19 Nilai SF Stabilitas Global Dengan Beban Gempa

5.5.4 Rekapitulasi Analisis Dinding Penahan Tanah Gravity Wall

Hasil analisis yang sudah dilakukan didapatkan nilai seperti pada Tabel 5.10 berikut.

Tabel 5. 10 Rekapitulasi Hasil Analisis *Gravity Wall*

Stabilitas	<i>Safety Factor</i> (SF)	Syarat <i>Safety Factor</i> (SF)	Keterangan
Geser	3,120	1,5	Aman
Guling	4,726	2,0	Aman
Daya dukung tanah	3,924	3,0	Aman
Global	2,288	1,5	Aman
Global dengan gempa	1,295	1,1	Aman

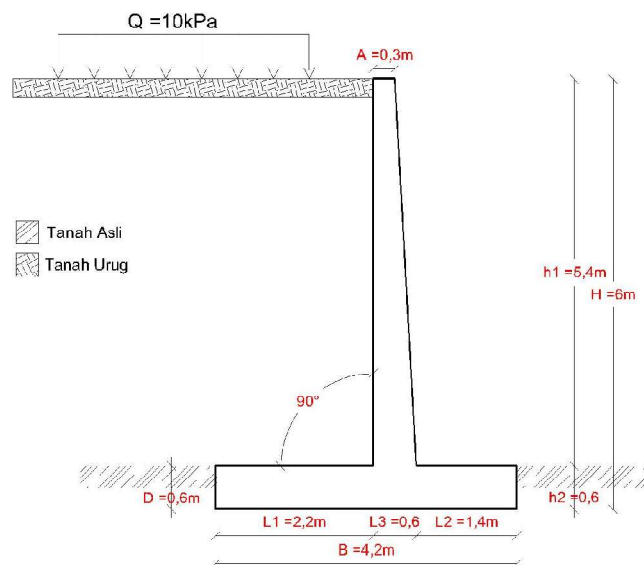
Berdasarkan Tabel 5.10 diketahui bahwa *gravity wall* telah memenuhi seluruh syarat ketentuan stabilitas dan dapat dikatakan aman.

5.6 Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan *Cantilever Wall*

Perancangan *cantilever wall* ini dilakukan dengan penentuan dimensi serta memperhatikan stabilitas terhadap eksternal dan internal untuk mengetahui kekuatan dan angka aman yang sesuai dengan persyaratan.

5.6.1 Dimensi *Cantilever Wall*

Cantilever wall pada perancangan ini ditetapkan berdasarkan kapasitas stabilitasnya terhadap gaya-gaya eksternal yang bekerja, dengan mengacu pada ketentuan desain dalam standar BSN 2017. Dimensi yang direncanakan antara lain tinggi total dinding (H), tinggi dinding di atas tanah urug (h_1), lebar pelat dasar (B), lebar tumit dan ujung (heel dan toe), serta tebal badan dinding (stem). Penentuan dimensi tersebut disesuaikan agar dinding penahan tanah kantilever mampu menahan tekanan tanah dan beban di atasnya secara optimal sesuai persyaratan kestabilan. Gambar *cantilever wall* ditunjukkan pada Gambar 5.20 berikut.



Gambar 5. 20 Dimensi *Cantilever Wall*

5.6.2 Analisis Stabilitas Eksternal dan Internal

Analisis ini bertujuan untuk menentukan SF *cantilevr wall* terhadap pergeseran, penggulingan, dan keruntuhan kapasitas dukung tanah. Beban yang

diperhitungkan meliputi beban tanah di atas dinding penahan tanah (DPT) sebesar 10 kPa. Perhitungan manual stabilitas lereng dengan perkuatan DPT dilakukan pada kondisi lereng yang diperkuat menggunakan dinding penahan tanah tipe kantilever. Analisis stabilitas DPT dengan tinjauan eksternal ini diterapkan pada lokasi Desa Sukaraharja, Cianjur, Jawa Barat.

1. Data Tanah Lapisan Dan Parameter Beban

Terdapat dua lapisan tanah yaitu tanah timbunan pasir dan tanah asli. Berikut merupakan data parameter tanah lapisan yang sudah dikonversi sesuai kebutuhan untuk input analisis menggunakan PLAXIS 2D V21 dan perhitungan stabilitasnya dapat dilihat pada Tabel 5.11 berikut.

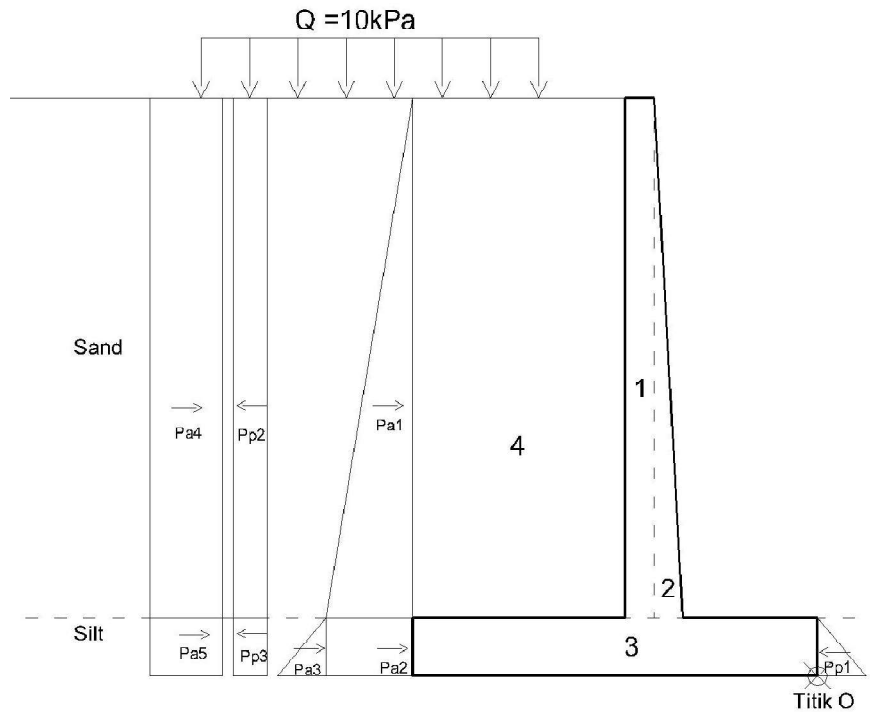
Tabel 5.11 Data Parameter Tanah

No	Parameter	Nilai	Satuan
1	Tanah lapis 1 (Tanah timbunan)		
	Berat volume tanah basah (γ_{sat})	18	kN/m ³
	Berat volume tanah kering (γ_{unsat})	17	kN/m ³
	Sudut geser (ϕ)	32	°
	Kohesi (c)	0.3	kN/m ²
	Kekakuan (E)	10000	kN/m ²
	Poisson Ratio (ν)	0,25	
2	Tanah lapis 2 (Tanah Asli)		
	Berat volume tanah basah (γ_{sat})	16,87	kN/m ³
	Berat volume tanah kering (γ_{unsat})	15,94	kN/m ³
	Sudut geser (ϕ)	15,71	°
	Kohesi (c)	49,01	kN/m ²
	Kekakuan (E)	15000	kN/m ²
	Poisson Ratio (ν)	0,3	
3	Berat jenis pasangan batu kali	24	kN/m ³
4	Beban merata	10	kPa

2. Gaya Vertikal dan Momen Yang Bekerja

Gaya-gaya yang diperhitungkan pada dinding penahan tanah tipe kantilever meliputi gaya akibat berat sendiri struktur serta gaya akibat tekanan tanah di

belakang dinding. Distribusi gaya-gaya tersebut dibagi ke dalam beberapa pias pada elemen dinding penahan tanah kantilever, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 5.21 berikut.



Gambar 5. 21 Pembagian Pias Gaya Vertikal *Cantilever wall*

Berikut contoh perhitungan gaya vertikal pada pias 1.

$$\begin{aligned}\text{Luas} &= A \times t \\ &= 0,3 \times 5,4 \\ &= 1,62 \text{ m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Gaya} &= \text{Luas} \times \text{berat jenis beton} \\ &= 1,62 \times 24 \\ &= 38,88 \text{ kN/m}\end{aligned}$$

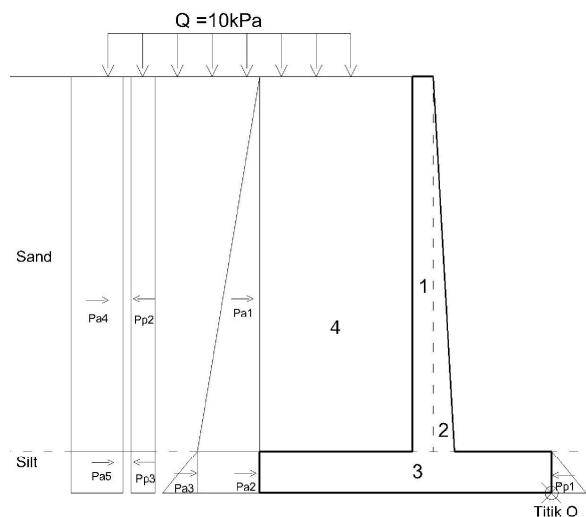
Dengan menggunakan perhitungan yang sama didapat rekapitulasi gaya vertikal dan momen pada setiap pias yang dapat dilihat pada Tabel 5.12 berikut.

Tabel 5. 12 Rekapitulasi Perhitungan Momen Vertikal Terhadap Titik O

No	Area (m ²)	Berat/Panjang (kN/m)	Jarak titik berat ke titik O	Momen (kN-m/m)
1	1,62	38,880	1,85	71,928
2	0,81	19,440	1,5	29,16
3	2,52	60,480	2,1	127,008
4	11,88	201,960	3,1	626,076
Σ_v		320,760	Σ_{Mr}	854,172

3. Gaya Lateral

Pada tahap analisis ini dilakukan perhitungan tekanan tanah aktif dan pasif. Nilai tekanan tersebut ditentukan berdasarkan koefisien tekanan tanah aktif dan pasif untuk setiap lapisan tanah yang dianalisis. Analisis dilakukan pada kondisi normal, yaitu tanpa mempertimbangkan pengaruh beban luar tambahan seperti beban gempa atau beban lalu lintas. Diagram tekanan pasif dan aktif dapat dilihat pada Gambar 5.22 berikut.



Gambar 5. 22 Diagram Tekanan Aktif dan Pasif

a. Koefisien Tekanan Aktif

Koefisien tekanan aktif pada lapisan 1 (timbunan) dinotasikan sebagai K_{a1} , sedangkan koefisien tekanan aktif pada lapisan 2 (tanah asli) dinotasikan sebagai K_{a2} . Berikut merupakan perhitungan untuk koefisien tekanan aktif.

$$\begin{aligned} K_{a-1} &= \tan^2 \left(45 - \frac{\phi}{2} \right) \\ &= \tan^2 \left(45 - \frac{32}{2} \right) \\ &= 0.307 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} K_{a-2} &= \tan^2 \left(45 - \frac{\phi}{2} \right) \\ &= \tan^2 \left(45 - \frac{15,71}{2} \right) \\ &= 0.574 \end{aligned}$$

b. Koefisien Tekanan Pasif

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

$$\begin{aligned} K_{p-1} &= \tan^2 \left(45 + \frac{\phi}{2} \right) \\ &= \tan^2 \left(45 + \frac{32}{2} \right) \\ &= 3,255 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} K_{p-2} &= \tan^2 \left(45 + \frac{\phi}{2} \right) \\ &= \tan^2 \left(45 + \frac{15,71}{2} \right) \\ &= 1,743 \end{aligned}$$

c. Perhitungan Tekanan Aktif dan Pasif

Berikut merupakan perhitungan dari tekanan tanah aktif dan pasif.

$$\begin{aligned} Pa_1 &= 0,5 \gamma_1 h_1^2 K_{a1} \\ &= 0,5 \times 17 \times (5,4)^2 \times 0,307 \\ &= 76,157 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Pa_2 &= \gamma_1 h_1 h_2 K_{a2} \\ &= 17 \times 5,4 \times 0,6 \times 0,574 \\ &= 16,924 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Pa3 &= 0,5 \gamma_2 h_2^2 K_{a2} \\
 &= 0,5 \times 16,87 \times (0,6)^2 \times 0,574 \\
 &= 1,743 \text{ kN} \\
 Pa4 &= q K_{a1} h_1 \\
 &= 10 \times 0,307 \times 5,4 \\
 &= 16,592 \text{ kN} \\
 Pa5 &= q K_{a2} D \\
 &= 10 \times 0,574 \times 0,6 \\
 &= 3,443 \text{ kN} \\
 Pp1 &= 0,5 \gamma_2 D^2 K_{p2} \\
 &= 0,5 \times 15,94 \times (0,6)^2 \times 1,743 \\
 &= 61,036 \text{ kN} \\
 Pp2 &= 2 c_1 \sqrt{K_{p1}} \times h_1 \\
 &= 2 \times 16,67 \times \sqrt{3,25} \times 5,4 \\
 &= 8,768 \text{ kN} \\
 Pp3 &= 2 c_2 \sqrt{K_{p2}} \times h_2 \\
 &= 2 \times 0,3 \times \sqrt{1,743} \times 0,6 \\
 &= 4,882 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Tabel 5. 13 Rekapitulasi Tekanan Aktif

Diagram	Rumus	Gaya (kN)	Keterangan
Pa1	$0,5 \gamma_1 h_1^2 K_{a1}$	76,157	Akibat tekanan tanah lapis 1
Pa2	$\gamma_1 h_1 h_2 K_{a2}$	16,924	Akibat berat tanah lapis 1 yang mempengaruhi lapis 2
Pa3	$0,5 \gamma_2 h_2^2 K_{a2}$	1,743	Akibat tekanan tanah lapis 2
Pa4	$q K_{a1} h_1$	16,592	Akibat beban merata
Pa5	$q K_{a2} h_2$	3,443	Akibat beban merata
ΣPa		114,859 kN	

Tabel 5. 14 Rekapitulasi Tekanan Pasif

Diagram	Rumus	Gaya (kN)	Keterangan
Pp1	$0,5\gamma_2 D^2 K_{p2}$	4,882	Tekanan tanah didepan dinding
Pp2	$2 c_1 \sqrt{K_p} \times h_1$	61,036	Tekanan pasif dari kohesi tanah
Pp3	$2 c_2 \sqrt{K_p} \times h_2$	8,768	Tekanan pasif dari kohesi tanah
ΣP_p			74,685 kN

4. Stabilitas Geser

$$k_1=k_2 = 0,67$$

$$\begin{aligned}
 SF &= \frac{(\Sigma V) \tan \delta' + Bc' a + P_p}{Pa \cos \alpha} \\
 &= \frac{(\Sigma V) \tan(k_1 \phi' / 2) + B k_2 c' / 2 + P_p}{Pa \cos \alpha} \\
 &= \frac{117,351 \tan(0,67 \times 15,71) + 4,2 \times 0,67 \times 16,67 + 74,685}{114,859 \cos 0} \\
 &= 1,57 > 1,5
 \end{aligned}$$

SF terhadap stabilitas geser sebesar 1,57 sehingga dapat dinyatakan bahwa telah memenuhi syarat minimal yaitu, 1,5. Oleh karena itu *cantilever wall* dapat dinyatakan aman terhadap stabilitas geser.

5. Stabilitas Guling

$$\begin{aligned}
 \Sigma M_o &= Ph \left(\frac{H'}{3} \right) \\
 &= 114,859 \left(\frac{6}{3} \right) \\
 &= 229,717 \text{ kN/m} \\
 SF &= \frac{\Sigma M_r}{\Sigma M_o} \\
 &= \frac{854,172}{229,717} \\
 &= 3,718 > 2
 \end{aligned}$$

SF terhadap stabilitas guling sebesar 3,718 sehingga dapat dinyatakan bahwa telah memenuhi syarat minimal yaitu, 2. Oleh karena itu *cantilever wall* dapat dinyatakan aman terhadap stabilitas guling.

6. Stabilitas Daya Dukung

$$\begin{aligned}
 e &= \frac{B}{2} - \frac{\sum M_r - \sum M_o}{\sum V} \\
 &= \frac{4,2}{2} - \frac{854,172 - 229,717}{320,760} \\
 &= 0,153
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \frac{B}{6} &= \frac{4,2}{6} \\
 &= 0,7
 \end{aligned}$$

$$e < B/6$$

$$0,153 < 0,7 \text{ (memenuhi syarat)}$$

$$\begin{aligned}
 q_{\max} &= \frac{\sum V}{B} \left(1 + \frac{6e}{B} \right) \\
 &= \frac{\sum V}{4,2} \left(1 + \frac{6 \times 0,153}{4,2} \right) \\
 &= 93,09 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 q_{\min} &= \frac{\sum V}{B} \left(1 - \frac{6e}{B} \right) \\
 &= \frac{\sum V}{4,2} \left(1 - \frac{6 \times 0,153}{4,2} \right) \\
 &= 59,66 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

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 $15,71^\circ$ maka diperoleh nilai-nilai sebagai berikut

$$N_c = 13,582$$

$$N_q = 4,826$$

$$N_y = 2,855$$

$$\begin{aligned}
 q &= \gamma_2 D' \\
 &= 15,94 \times 0,6 \\
 &= 23,305 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

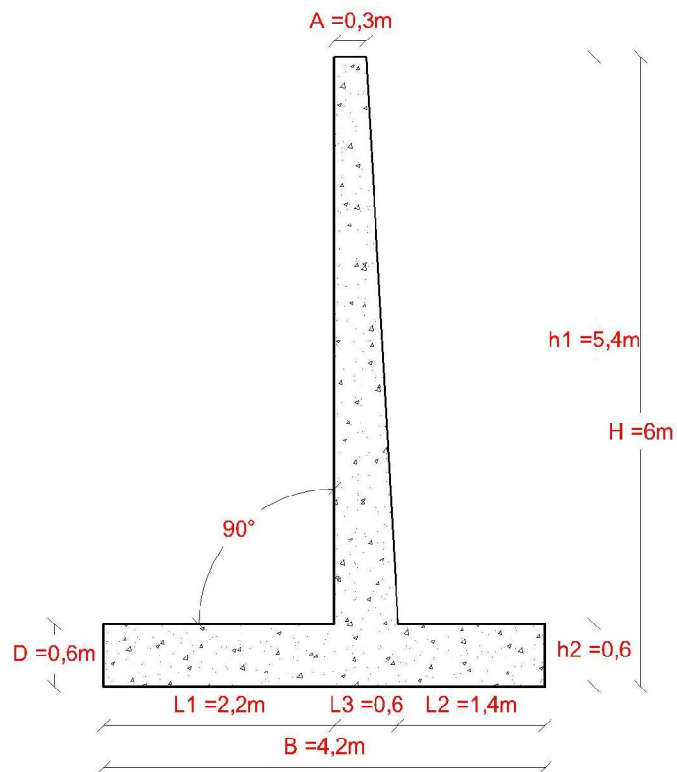
$$\begin{aligned}
 B' &= B - 2e \\
 &= 4,2 - 2 \times 0,153 \\
 &= 3,894 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F_{qd} &= 1 + 2 \tan \varphi' (1 - \sin \varphi')^2 \left(\frac{D'}{B'} \right) \\
 &= 1 + 2 \tan 15,71 (1 - \sin 15,71)^2 \left(\frac{0,6}{3,527} \right)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= 1,213 \\
F_{cd} &= F_{qd} - \left(\frac{1 - F_{qd}}{N_c \tan \varphi} \right) \\
&= 3,26 - \left(\frac{1 - 1,213}{13,582 \tan 15,71} \right) \\
&= 1,269 \\
F_{yd} &= 1 \\
\psi &= \tan^{-1} \left(\frac{P_a \cos \alpha}{\Sigma V} \right) \\
&= \tan^{-1} \left(\frac{114,859}{320,760} \right) \\
&= 2,672 \\
F_{yi} &= \left(1 - \frac{\psi}{\varphi} \right)^2 \\
&= \left(1 - \frac{2,672}{15,71} \right)^2 \\
&= 0,689 \\
F_{ci} = F_{qi} &= \left(1 - \frac{\psi}{90} \right)^2 \\
&= \left(1 - \frac{2,672}{90} \right)^2 \\
&= 0,941 \\
Q_u &= c' \cdot 2 N_c F_{cd} F_{ci} + q N_q F_{qd} F_{qi} + 0,5 Y \cdot B' N_Y F_{Yd} F_{Yi} \\
&= 16,67 \times 13,582 \times 1,269 \times 0,941 + 23,305 \times 4,826 \times 1,213 \times 0,941 + \\
&\quad 0,5 \times 7,060 \times 3,984 \times 2,855 \times 1 \times 0,689 \\
&= 436,921 \text{ kN/m}^2 \\
SF &= \frac{q_u}{q_{\max}} \\
&= \frac{436,921}{93,09} \\
&= 4,694 > 3
\end{aligned}$$

SF terhadap stabilitas daya dukung sebesar 4,694 sehingga dapat dinyatakan bahwa telah memenuhi syarat minimal yaitu, 3. Oleh karena itu *cantilever wall* dapat dinyatakan aman terhadap stabilitas daya dukung.

7. Kebutuhan Tulangan



Gambar 5. 23 Tinjauan Kebutuhan Penulangan

H	= 6 meter
B	= 4,2 meter
D	= 0,6 meter
L_1	= 2,2 meter
L_2	= 1,4 meter
L_3	= 0,6 meter
Mutu Baja (f_y)	= 400 Mpa
Mutu Beton (f'_c)	= 24 Mpa
a. Kapasitas Ijin Tanah (Q_a)	

$$\begin{aligned}
 FS &= 3 \\
 Qa &= \frac{Q_u}{FS} \\
 &= \frac{436,921}{3} \\
 &= 145,640 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

Tegangan tanah di bawah dinding (q_{toe} dan q_{heel})

$$\begin{aligned}
 q_{toe} = q_{\max} &= \left(\frac{R}{B}\right) \times \left(1 + \frac{6e}{B}\right) \\
 &= \left(\frac{320,760}{4,2}\right) \times \left(1 + \frac{6 \times 0,153}{4,2}\right) \\
 &= 93,09 \text{ kN/m}^2 < Qa \text{ (oke)} \\
 q_{heel} = q_{\min} &= \left(\frac{R}{B}\right) \times \left(1 - \frac{6e}{B}\right) \\
 &= \left(\frac{320,760}{4,2}\right) \times \left(1 - \frac{6 \times 0,153}{4,2}\right) \\
 &= 59,66 \text{ kN/m}^2 < Qa \text{ (oke)}
 \end{aligned}$$

b. Perhitungan kebutuhan tulangan lentur

Diameter tulangan ($\emptyset$) = 19 mm

Tebal dinding (L_2) = 0,6 m
= 600 mm

Selimut Beton (T_s) = 75 mm

Tebal efektif (d) = 600-75-(1/2 $\emptyset$)
= 515,5 mm
= 0,515 m

Lebar ditinjau (b) = 1000 mm

Momen ultimit (M_u) = $\frac{Ph \times (H-d)}{3}$
= $\frac{114,859 \times (6-0,515)}{3}$
= 210,01 kNm

Φ = 0,8

M_n = $\frac{M_u}{\Phi}$
= $\frac{210,01}{0,8}$
= 262,548

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

$$= 262548000 \text{ Mpa}$$

Tulangan yang diperlukan (As)

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

$$= \frac{262548000}{1000 \times 515^2}$$

$$= 0,989907 \text{ Mpa}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f'_c}$$

$$= \frac{400}{0,85 \times 24}$$

$$= 19,60$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \times \beta \times f'_c}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y}$$

$$= \frac{0,85 \times 0,85 \times 24}{400} \times \frac{600}{600 + 400}$$

$$= 0,02601$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \times \rho_b$$

$$= 0,75 \times 0,02601$$

$$= 0,01951$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y}$$

$$= \frac{1,4}{400}$$

$$= 0,0035$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{F_y}} \right)$$

$$= \frac{1}{19,6} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 19,6 \times 0,989907}{400}} \right)$$

$$= 0,00253$$

Cek kondisi

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

$$0,0035 < 0,00253 < 0,01951$$

Maka ρ pakai adalah 0,0035

Luas tulangan lentur yang dibutuhkan untuk setiap meter panjang

$$\begin{aligned}
 n &= b/s + 1 \\
 &= 1000/150 + 1 \\
 &= 7 \text{ buah tulangan} \\
 \text{As perlu} &= \rho \text{ pakai} \times b \times d \\
 &= 0,0035 \times 1000 \times 515 \\
 &= 1802,05 \text{ mm}^2 \\
 \text{As terpasang} &= \frac{1}{4} \times \pi \times \phi^2 \times n \\
 &= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 19^2 \times 7 \\
 &= 1984,7 \text{ mm}^2 \\
 \text{Cek} &= \text{As terpasang} > \text{As perlu} \\
 &= 1984,7 \text{ mm}^2 > 1802,05 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}
 \end{aligned}$$

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.

c. 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.

$$\begin{aligned}
 \text{As min} &= 0,0025 \times b \times L_3 \\
 &= 0,0025 \times 1000 \times 600 \\
 &= 1500 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

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

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

Tulangan yang digunakan adalah P13-300 dengan jumlah tulangan susut per meter panjang sebanyak 6 buah tulangan sehingga,

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

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

$$\begin{aligned}
 \text{Cek} &= \text{As terpasang} > \text{As perlu} \\
 &= 796,39 \text{ mm}^2 > 750 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}
 \end{aligned}$$

Tulangan yang digunakan adalah P13-200 dengan jumlah tulangan susut per meter panjang sebanyak 5 buah tulangan.

d. Desain terhadap geser

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

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

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

$$\begin{aligned}
 d_g &= (H - D) - (d/1000) \\
 &= (6 - 0,6) - \left(\frac{518,5}{1000}\right) \\
 &= 5,399 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 v_u &= 1,6 \times p_h \\
 &= 1,6 \times 114,859 \\
 &= 183,774 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 v_c &= \left(\frac{1}{6} \times \sqrt{f_c'}\right) \times b \times d \\
 &= \left(\frac{1}{6} \times \sqrt{24}\right) \times 1000 \times 518,15 \\
 &= 423,353 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \phi v &= \phi \times V_c \\
 &= 0,75 \times 423,353 \\
 &= 317,515 \text{ kN} > V_u, \text{ (aman terhadap geser)}
 \end{aligned}$$

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

minimum

$$\begin{aligned}
 S_{\min} &= \frac{3 \times A_v \times F_y}{b_w} \\
 &= \frac{3 \times 265,57 \times 400}{600} \\
 &= 531,14 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Maka, tulangan geser yang digunakan adalah D13-300

e. Desain tulangan bagian *heel*

Diambil tebal pelat kaki (t) = 600 mm

Selimut beton = 75 mm

Diameter tulangan = 19 mm

$$\begin{aligned}
 q_{\max} &= \frac{\Sigma V}{B} \left(1 + \frac{6e}{B} \right) \\
 &= 93,09 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 q_{\min} &= \frac{\Sigma V}{B} \left(1 - \frac{6e}{B} \right) \\
 &= 59,66 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 q &= q_{\min} + \left(\frac{q_{\max} - q_{\min}}{B} \right) \\
 &= 59,66 + \left(\frac{93,09 - 59,66}{4,2} \right) \\
 &= 67,62 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_u &= 1/8 \times q \times B^2 \\
 &= 1/8 \times 67,62 \times 4,2^2 \\
 &= 149,102 \text{ kNm} \\
 &= 149102000 \text{ Nm}
 \end{aligned}$$

Tulangan yang diperlukan (A_s)

$$\Phi = 0,8$$

$$\begin{aligned}
 M_n &= \frac{M_u}{\Phi} \\
 &= \frac{149,102}{0,8} \\
 &= 186,377 \text{ kNm} \\
 &= 186377000 \text{ Nm}
 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}
 &= \frac{186377000}{1000 \times 515^2} \\
 &= 0,703 \text{ Mpa} \\
 m &= \frac{f_y}{0,85 \times f'_c} \\
 &= \frac{400}{0,85 \times 24} \\
 &= 19,60 \\
 \rho_b &= \frac{0,85 \times \beta \times f'_c}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} \\
 &= \frac{0,85 \times 0,85 \times 24}{400} \times \frac{600}{600 + 400} \\
 &= 0,02601 \\
 \rho_{\max} &= 0,75 \times \rho_b \\
 &= 0,75 \times 0,02601 \\
 &= 0,01951 \\
 \rho_{\min} &= \frac{1,4}{f_y} \\
 &= \frac{1,4}{400} \\
 &= 0,0035 \\
 \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{F_y}} \right) \\
 &= \frac{1}{19,6} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 19,6 \times 0,989907}{400}} \right) \\
 &= 0,00253
 \end{aligned}$$

Cek kondisi

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

$$0,0035 < 0,00253 < 0,01951$$

Maka ρ pakai adalah 0,0035

Luas tulangan lentur yang dibutuhkan untuk setiap meter panjang

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

$$\text{As perlu} = \rho_{\text{pakai}} \times b \times d$$

$$\begin{aligned}
 &= 0,0035 \times 1000 \times 515 \\
 &= 1802,05 \text{ m}^2 \\
 \text{As terpasang} &= \frac{1}{4} \times \pi \times \emptyset^2 \times n \\
 &= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 19^2 \times 4 \\
 &= 1984,7 \text{ mm}^2 \\
 \text{Cek} &= \text{As terpasang} > \text{As perlu} \\
 &= 1984,7 \text{ mm}^2 > 1802,05 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}
 \end{aligned}$$

f. Perhitungan kebutuhan tulangan geser pada pelat kaki atau telapak

$$\begin{aligned}
 \text{Diameter tulangan} &= 13 \text{ mm} \\
 A_v &= 2 \times \frac{1}{4} \times \pi \times r^2 \\
 &= 2 \times \frac{1}{4} \times 3,14 \times 13^2 \\
 &= 265,5714 \text{ mm}^2 \\
 &= 2,66 \text{ m} \\
 d &= D - T_s - 0,5 \times \emptyset \\
 &= 600 \text{ mm} - 75 - 0,5 \times 13 \\
 &= 518,5 \text{ mm} \\
 d_g &= (H - D) - (d/1000) \\
 &= (6 - 0,6) - \left(\frac{518,5}{1000}\right) \\
 &= 5,399 \text{ m} \\
 v_u &= 1,6 \times p_h \\
 &= 1,6 \times 114,859 \\
 &= 183,774 \text{ kN} \\
 v_c &= \left(\frac{1}{6} \times \sqrt{f_c'}\right) \times b \times d \\
 &= \left(\frac{1}{6} \times \sqrt{24}\right) \times 1000 \times 518,15 \\
 &= 423,353 \text{ kN} \\
 \phi_v &= \phi \times V_c \\
 &= 0,75 \times 423,353 \\
 &= 317,515 \text{ kN} > V_u, \text{ (aman terhadap geser)}
 \end{aligned}$$

Karena $\phi_v = V_c > V_u$, maka dinding vertikal memakai tulangan geser

minimum

$$\begin{aligned}
 S_{\min} &= \frac{3 \times A_v \times F_y}{b_w} \\
 &= \frac{3 \times 265,57 \times 400}{600} \\
 &= 531,14 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Maka, tulangan geser yang digunakan adalah D13-300

g. Desain tulangan horizontal telapak

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

h. Rekapitulasi kebutuhan tulangan

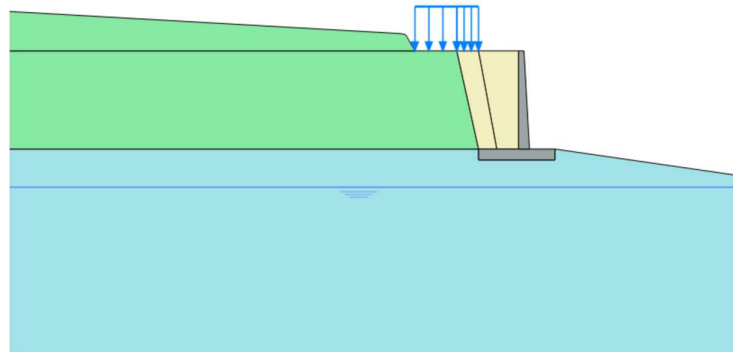
Didapatkan hasil rekapitulasi perhitungan kebutuhan tulangan seperti pada Tabel 5.15 berikut.

Tabel 5. 15 Rekapitulasi Kebutuhan Tulangan

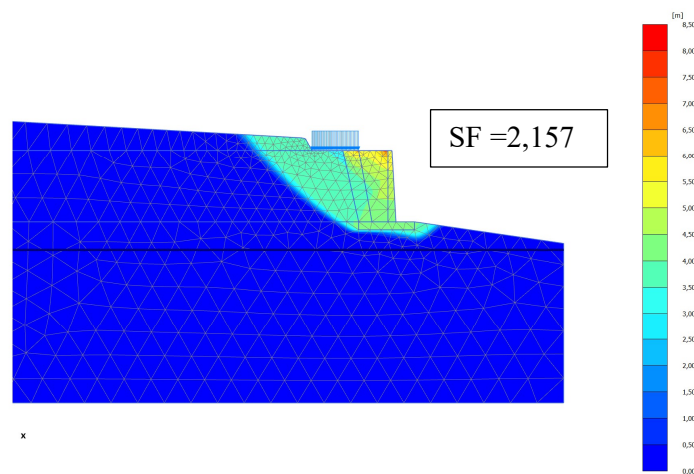
Tulangan Pokok Dinding Vertikal	Tulangan Horizontal/Bagi Dinding Vertikal	Tulangan Geser Dinding Vertikal	Tulangan Pokok Telapak	Tulangan Geser Telapak	Tulangan Horizontal/Bagi Telapak
D19-150	D13-300	D13-300	D19-150	D13-300	D13-300

5.6.3 Analisis Stabilitas Global

Nilai stabilitas global ditentukan melalui pemodelan menggunakan perangkat lunak PLAXIS 2D V21. Gambar 5.23 menampilkan penampang lereng pada pemodelan tersebut dengan konfigurasi lapisan tanah yang mengacu pada Tabel 5.10. Bidang longsor hasil analisis SF global ditunjukkan pada Gambar 5.24. Berdasarkan hasil analisis, diperoleh SF terhadap stabilitas global sebesar 2,157 seperti pada Gambar 5.25, yang lebih besar dari nilai persyaratan yaitu 1,5.



Gambar 5.24 Penampang lereng *Cantilever Wall*

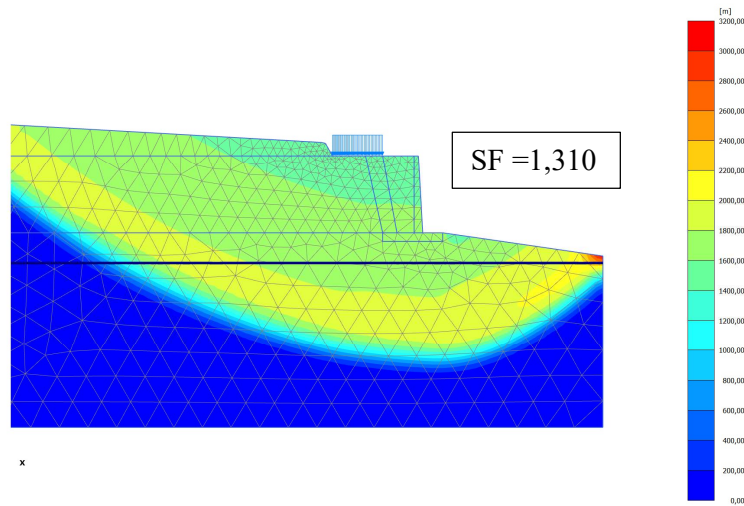


Gambar 5.25 Analisis Stabilitas Global *Cantilever Wall*

Reached total time	4,000 day
CSP - Relative stiffness	0,1418E-6
ForceX - Reached total force	0,000 kN
ForceY - Reached total force	0,000 kN
Pmax - Reached max pp	243,9 kN/m ²
ΣM_{stage} - Reached phase p	0,000
ΣM_{weight} - Reached weight	1,000
ΣM_{sf} - Reached safety fact	2,157

Gambar 5.26 Nilai SF Stabilitas Global *Cantilever Wall*

Selanjutnya dilakukan analisis yang sama tetapi ditambahkan beban gempa sesuai pada sub bab 5.2 dan diperoleh hasil analisis seperti pada Gambar 5.27 dan 5.28 berikut.



Gambar 5.27 Analisis Stabilitas Global *Cantilever Wall* Dengan Beban Gempa

Reached total time	6,000 day
CSP - Relative stiffness	0,01171E-9
ForceX - Reached total force	0,000 kN
ForceY - Reached total force	0,000 kN
Pmax - Reached max pp	276,4 kN/m ²
ΣM_{stage} - Reached phase p	0,000
ΣM_{weight} - Reached weight	1,000
ΣM_{sf} - Reached safety fact	1,310

Gambar 5.28 Nilai SF Stabilitas Global Dengan Beban Gempa

Gambar 5.27 menunjukkan hasil analisis lereng dengan perkuatan *cantilever wall* dengan mempertimbangkan beban gempa dan diperoleh nilai SF sebesar 1,310 seperti pada Gambar 5.28. Dengan nilai yang lebih besar dari nilai syarat sebesar 1,1 sehingga dapat dikatakan telah memenuhi persyaratan.

5.6.4 Rekapitulasi Analisis *Cantilever Wall*

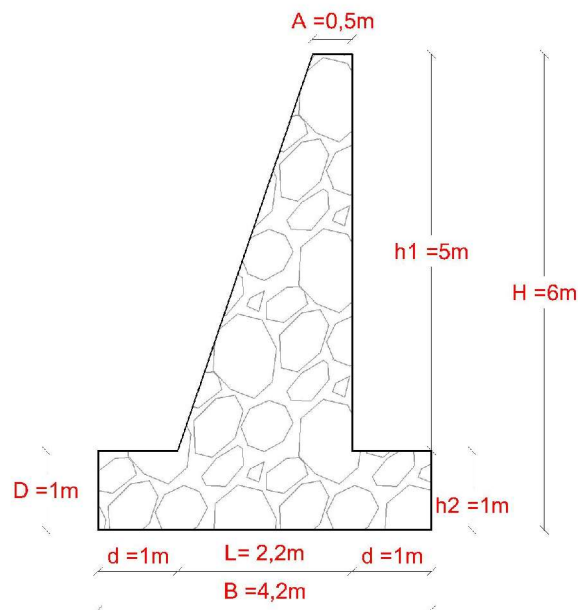
Hasil analisis yang sudah dilakukan didapatkan nilai seperti pada Tabel 5.15 berikut.

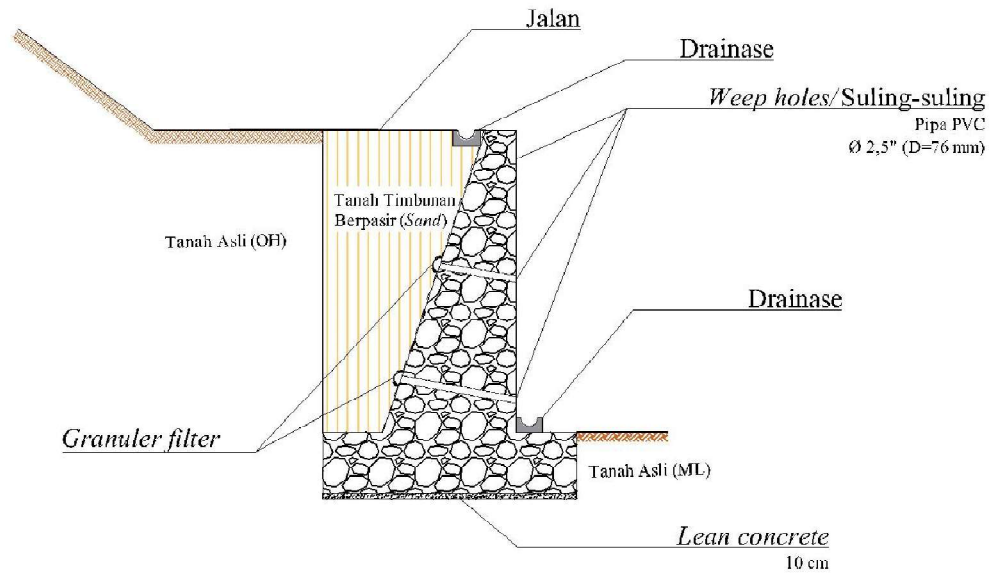
Tabel 5.16 Rekapitulasi Hasil Analisis *Cantilever Wall*

Stabilitas	<i>Safety Factor</i> (SF)	Syarat <i>Safety Factor</i> (SF)	Keterangan
Geser	1,570	1,5	Aman
Guling	3,718	2,0	Aman
Daya dukung tanah	4.694	3,0	Aman
Global	2,157	1,5	Aman
Global dengan beban gempa	1,283	1,1	Aman

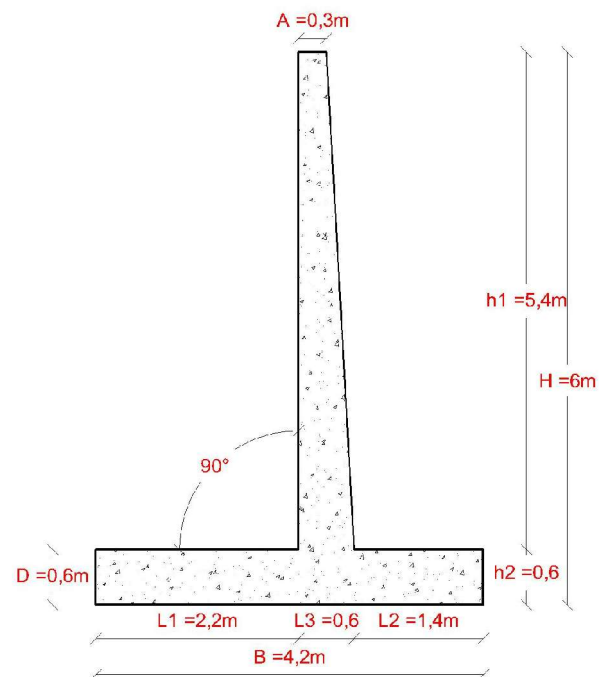
5.7 Gambar Kerja *Gravity Wall* Dan *Cantilever Wall*

Gambar kerja dari hasil analisis menggunakan perkuatan *gravity wall* dan *cantilever wall* yang tersaji pada Gambar 5.29, 5.30, 5.31, 5.32, dan 5.33 berikut.

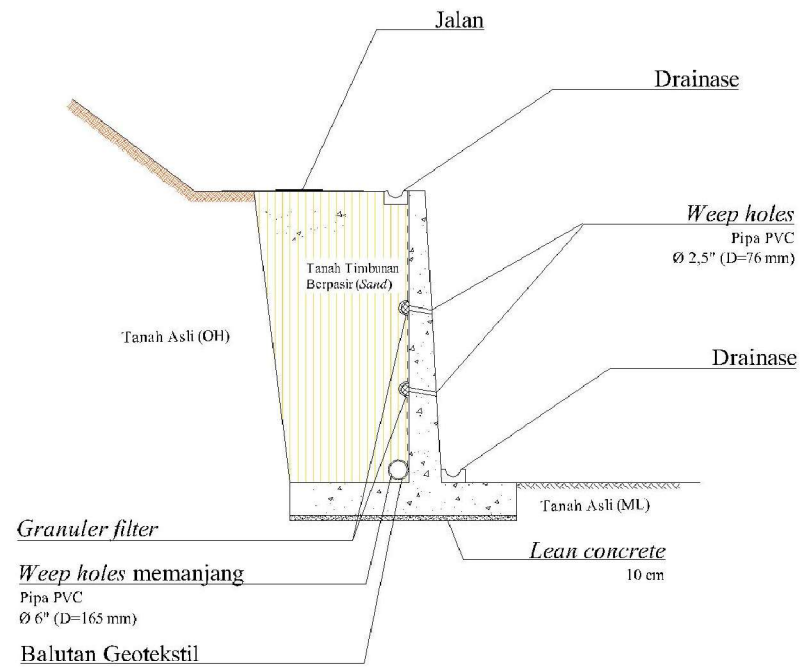
Gambar 5.29 Dimensi Tipikal *Gravity Wall*



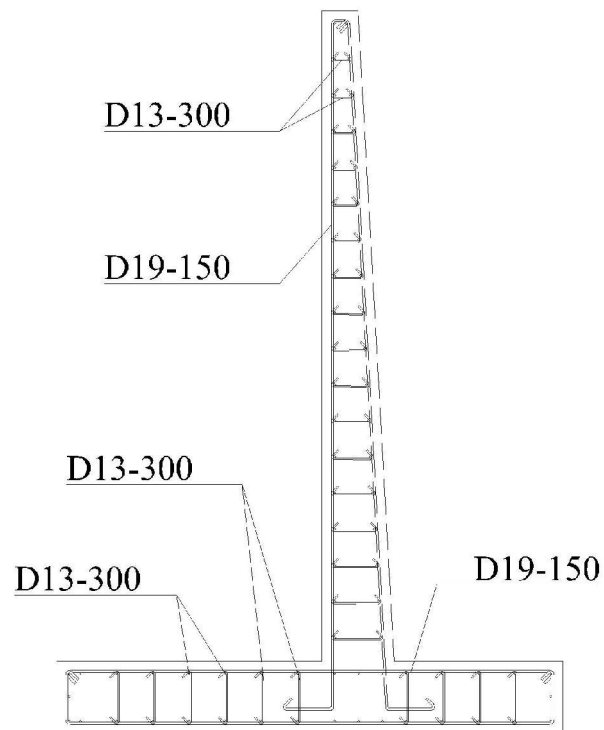
Gambar 5.30 Gambar Kerja Gravity Wall



Gambar 5.31 Dimensi Tipikal Cantilever Wall



Gambar 5.32 Gambar Kerja Cantilever Wall

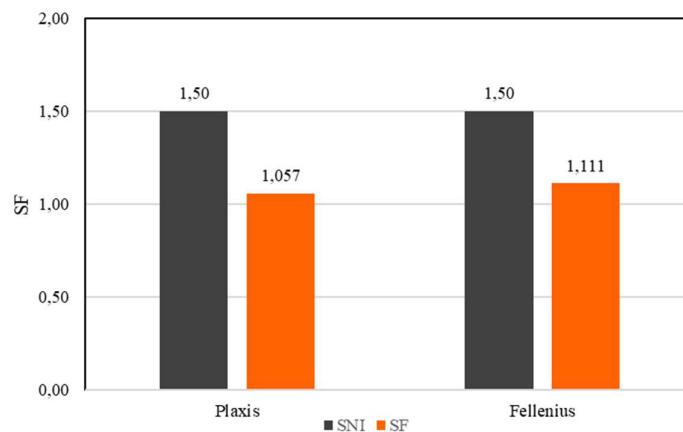


Gambar 5.33 Gambar Detail Penulangan Cantilever Wall

5.8 Pembahasan Hasil Analisis

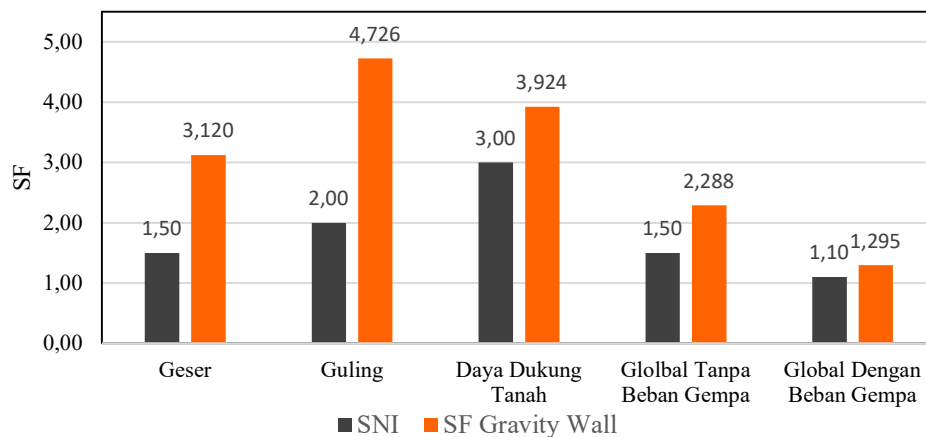
Pada kondisi eksisting lereng yang mengalami kelongsoran dengan tinggi kurang lebih 5 meter dan komposisi tanah dominan berupa tanah kohesif berplastisitas tinggi. Tanah tersebut berkategori OH untuk UDS 2 dan ML untuk UDS 3 yang diperoleh menggunakan metode *Unified Soil Classification System* (USCS). Tanah tersebut juga dilakukan pengklasifikasian menggunakan metode *American Association of State Highway and Transportation Official* (AASHTO) dan berkategori A-7-5 dengan material pokok berupa tanah lempung dan penilaian umum sebagai tanah dasar bersifat sedang sampai buruk.

Dengan menggunakan klasifikasi tanah tersebut dilakukan analisis stabilitas lereng eksisting dan menunjukkan nilai SF sebesar 1,057 yang diperoleh dengan PLAXIS 2D V21 dan 1,111 dengan metode Fellenius. Nilai tersebut berada di bawah syarat minimal yang direkomendasikan oleh Badan Standarisasi Nasional pada SNI 8460:2017 sebesar 1,5 pada kondisi eksisting. Oleh karena itu, lereng dikategorikan belum aman terhadap kelongsoran. Kondisi tanah yang plastis, sensitif terhadap perubahan kadar air, serta curah hujan tinggi di lokasi mengakibatkan penurunan kuat geser tanah sehingga lereng mengalami kelongsoran. Hasil analisis menggunakan metode PLAXIS 2D V21 dan metode Fellenius dapat dilihat pada Gambar 5.34 berikut.



Gambar 5.34 Perbandingan Nilai SF Lereng Eksisting Dengan SNI 8460:2017

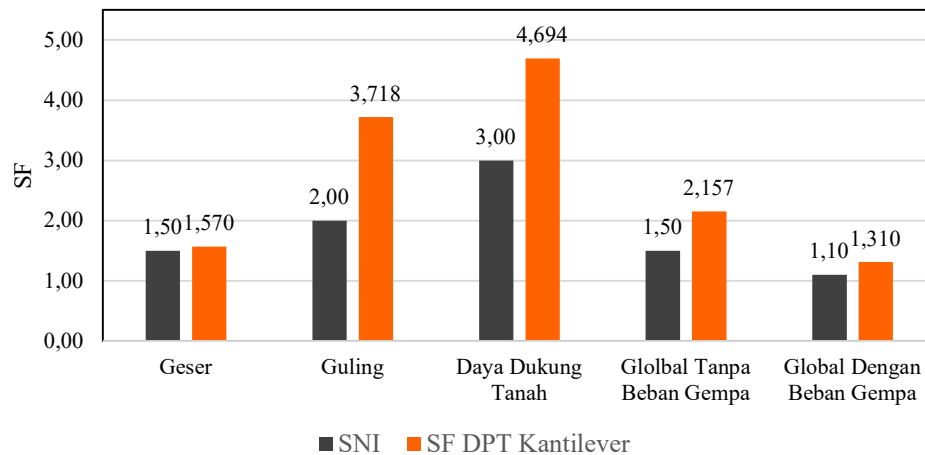
Setelah dilakukan perkuatan menggunakan *gravity wall*, hasil analisis menunjukkan peningkatan signifikan pada stabilitas lereng. Pada kondisi tanpa gempa, SF lereng dengan perkuatan *gravity wall* meningkat menjadi sekitar 2,288 yang berarti lereng telah melampaui batas aman yang disyaratkan dan masuk kategori stabil. Namun, ketika beban gempa dengan nilai percepatan puncak (PGA) 0,25 dimasukkan dalam permodelan, SF menurun menjadi sekitar 1,295 yang secara umum masih berada di bawah kriteria aman untuk kondisi gempa rencana. Hal ini menunjukkan bahwa pengaruh beban gempa cukup besar terhadap kestabilan sistem, terutama pada tanah jenis ML dan OH. Hasil analisis stabilitas pada *gravity wall* dapat dilihat pada Gambar 5.35 berikut.



Gambar 5.35 Perbandingan Nilai SF *Gravity Wall* Dengan SNI 8460:2017

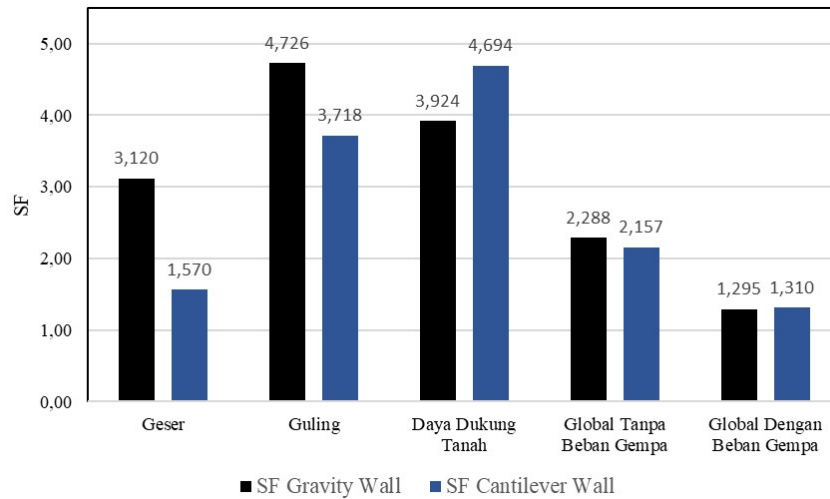
Sebagai alternatif, digunakan juga perkuatan *cantilever wall* yang dimodelkan pada geometri lereng dan kondisi tanah yang sama. Hasil analisis memperlihatkan bahwa SF dengan dinding kantilever tanpa gempa mencapai nilai 2,157, sedikit lebih rendah dibanding *gravity wall*. Pada kondisi gempa dengan PGA 0,25, nilai SF dinding kantilever menurun menjadi sekitar 1,310, yang masih lebih tinggi dibanding konfigurasi *gravity wall* pada kondisi gempa yang sama. Perbedaan ini mengindikasikan bahwa sistem kantilever, dengan kerja struktur yang lebih kaku dan kapasitas menahan momen yang lebih besar, lebih efektif

mempertahankan kestabilan lereng di bawah kombinasi beban statis dan dinamis. Hasil analisis yang diperoleh disajikan pada Gambar 5.36 berikut.



Gambar 5.36 Perbandingan Nilai SF *Cantilever Wall* Dengan SNI 8460:2017

Secara keseluruhan, pembahasan tersebut menunjukkan bahwa lereng eksisting memiliki jenis tanah ML dan OH menurut USCS dan A-5-7 menurut AASHTO yang sangat dipengaruhi oleh kondisi hidrologi dan beban dinamis berupa gempa, sehingga perkuatan menjadi kebutuhan mutlak. Perkuatan *gravity wall* terbukti mampu meningkatkan nilai SF secara signifikan pada kondisi statis. Perkuatan menggunakan *cantilever wall* memberikan kinerja stabilitas yang lebih baik pada kondisi dengan gempa seperti pada Gambar 5.37 berikut.



Gambar 5.37 Grafik Perbandingan SF *Gravity Wall* dan *Cantilever Wall*

Selanjutnya merupakan rekapitulasi hasil analisis keseluruhan dari lereng eksisting, perkuatan dengan *gravity wall* dan *cantilever wall* yang dilakukan dan tersaji pada table 5.17 berikut.

Tabel 5.17 Rekapitulasi Nilai SF Keseluruhan Analisis

Rincian	Kondisi	Stabilitas	Metode	SF
Eksisting	Tanpa Gempa	Global	PLAXIS	1,057
	Tanpa Gempa	Global	Fellenius	1,111
<i>Gravity Wall</i>	Tanpa Beban Gempa	Geser	PLAXIS	3,120
		Guling		4,726
		Daya Dukung Tanah		3,924
	Tanpa Beban Gempa	Global	PLAXIS	2,288
	Dengan Beban Gempa	Global	PLAXIS	1,295
<i>Cantilever wall</i>	Tanpa Beban Gempa	Geser	PLAXIS	1,570
		Guling		3,718
		Daya Dukung Tanah		4,694
		Global		2,157
	Dengan Beban Gempa	Global	PLAXIS	1,310

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisis dan pembahasan pada studi kasus yang sudah disajikan pada bab sebelumnya, kesimpulan yang diperoleh sebagai berikut.

1. Tanah pada lereng tinjauan di Desa Sukaraharja, Cianjur, Jawa Barat berjenis ML dengan keterangan lanau tak organik dan pasir sangat halus, serbuk batuan atau pasir halus berlanau atau berlempung dan OH dengan keterangan lempung organik dengan plastisitas sedang sampai tinggi (USCS) atau berkategori A-7-5 dengan material pokok berupa tanah lempung dan penilaian umum sebagai tanah dasar bersifat sedang sampai buruk (AASHTO).
2. Nilai SF lereng eksisting dengan program PLAXIS 2D V21 menghasilkan nilai 1,057 dan menggunakan metode Fellenius sebesar 1,111 yang dapat diartikan lereng mengalami kondisi kritis dan sesuai pada kondisi di lapangan yang mengalami *run off* pada kondisi hujan tinggi.
3. Analisis lereng yang dilakukan menggunakan perkuatan *gravity wall* dengan PLAXIS 2D V21 tanpa beban gempa didapat nilai *safety factor* (SF) sebesar 2,288 dan apabila mempertimbangkan beban gempa didapatkan nilai *safety factor* (SF) sebesar 1,295.
4. Analisis lereng yang dilakukan menggunakan perkuatan Dinding Penahan Tanah (DPT) tipe kantilever dengan PLAXIS 2D V21 tanpa memperhitungkan beban gempa diperoleh nilai *safety factor* (SF) sebesar 2,157 dan nilai *safety factor* (SF) sebesar 1,310 dengan memperhatikan beban gempa.

6.2 Saran

Guna mengoptimalkan implementasi hasil penelitian ini dan mengisi celah studi yang ada, berikut merupakan beberapa saran yang penulis dapat berikan

1. Evaluasi Stabilitas Seismik Lebih Lanjut

Mengingat nilai *safety factor* (SF) pada kondisi pembebanan gempa menunjukkan kondisi yang sangat mendekati batas kritis, disarankan untuk melakukan evaluasi desain perkuatan dengan mempertimbangkan dimensi yang lebih optimal atau mengintegrasikan metode perkuatan tambahan tanah dasar untuk memastikan stabilitas yang memadai terhadap gempa sesuai standar geoteknik terbaru.

2. Peningkatan Akurasi Data Lapangan

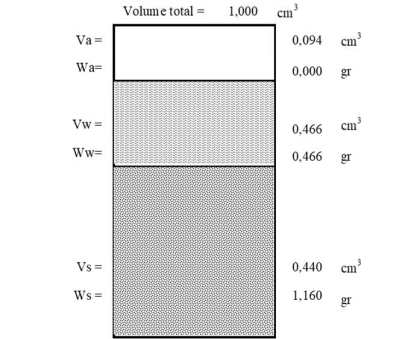
Dalam penelitian di masa mendatang, disarankan untuk melakukan survei dan investigasi tanah yang lebih rinci, seperti pengambilan sampel dan pengujian di lebih banyak titik, serta pengukuran muka air tanah (MAT) aktual di lapangan untuk mengurangi asumsi dalam pemodelan. Pengambilan data topografi (kontur) sebaiknya dilakukan dengan pengukuran langsung di lokasi studi untuk mendapatkan geometri lereng yang lebih akurat, dibandingkan hanya menggunakan data dari Google Earth dan DEMNAS.

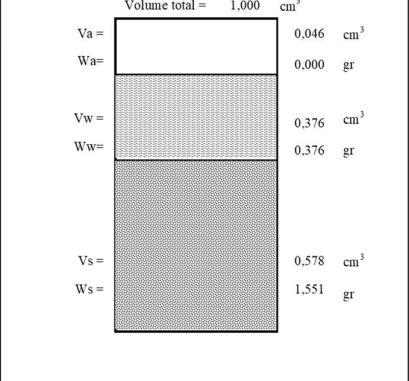
DAFTAR PUSTAKA

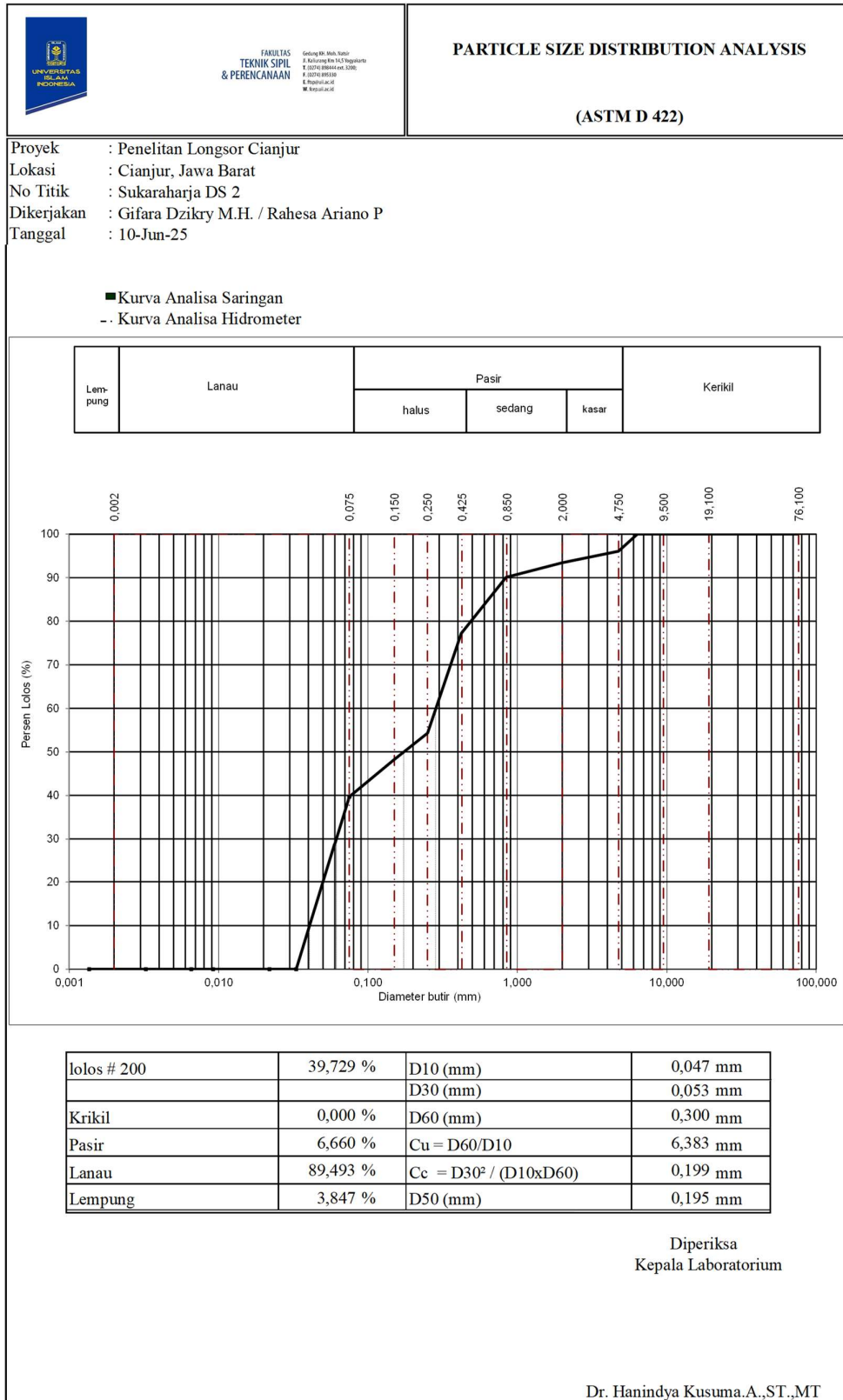
- Artati, H.K., Amalina, A.N., Abma, V., Nafi', Z. and Gundawastratmaja, G. 2025 'Percepatan gempa maksimum berdasarkan probabilistic seismic hazard analysis', *Jurnal Teknik*, 19(2), pp. 13–20. doi:10.31849/pp0mes25.
- Bari, F., Repadi, J.A., Ismail, F.A., Andriani and Hakam, A., 2021. Optimum height of the retaining gravity wall. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 708, p.012020. doi:10.1088/1755-1315/708/1/012020.
- Braja, M.D. & Sobhan, K., 2018. *Principles of Geotechnical Engineering*. 9th ed. Boston: Cengage Learning.
- BSN. 2017. *SNI 8460:2017 tentang Perancangan Geoteknik*. Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.
- Bowles, J.E. 1977. *Foundation Analysis and Design*. McGraw-Hill. New York.
- 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.
- Darwis, D.I.H., 2018. *Dasar-Dasar Mekanika Tanah*. Yogyakarta: Pena Indis.
- 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. 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.
- Isdianto and Agustina, D.H., 2023. Analisis stabilitas lereng dengan perkuatan dinding penahan tanah menggunakan program PLAXIS (Studi kasus: Ruas

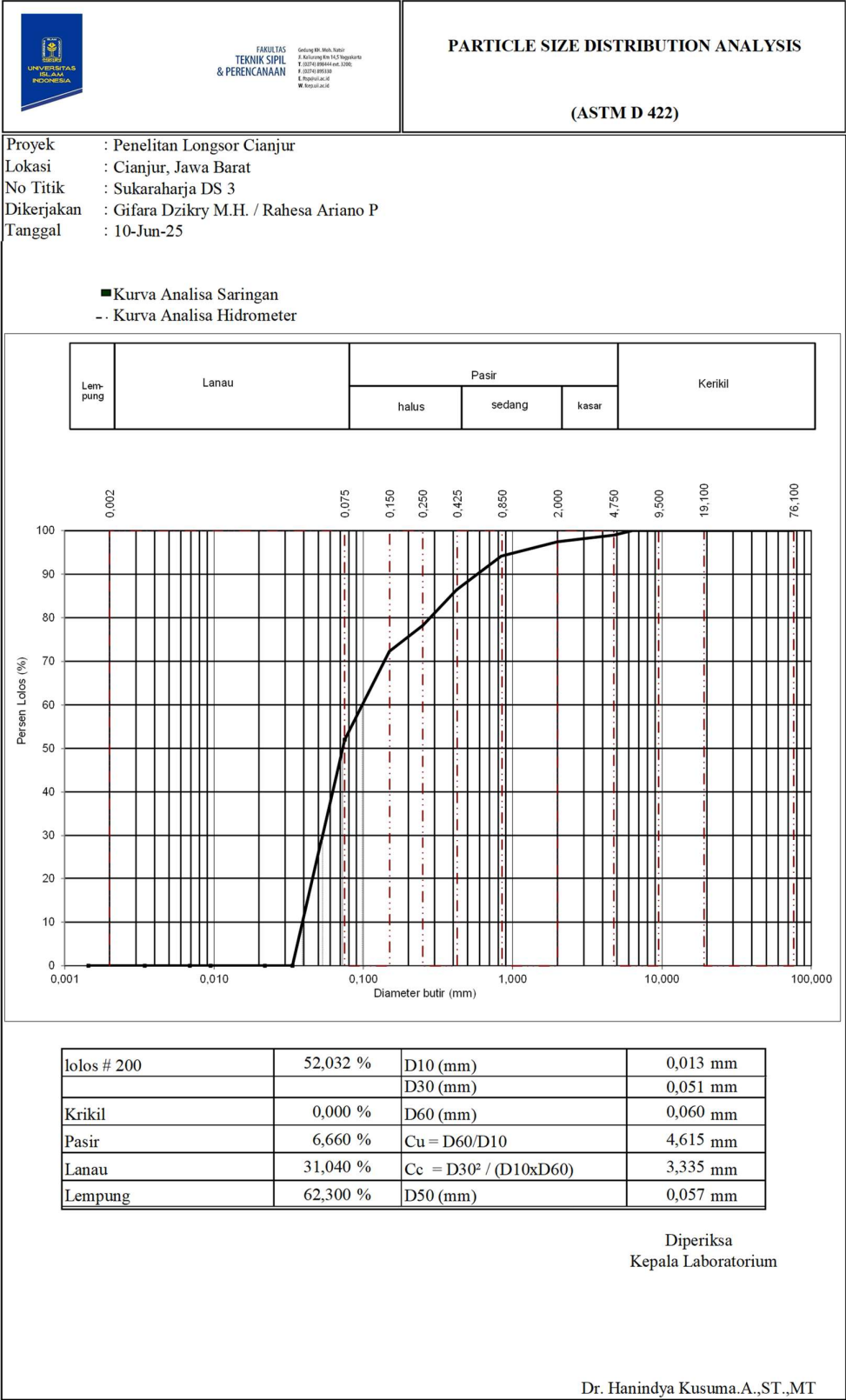
- Jalan Gesek–Simpang Busung, Kabupaten Bintan). *Sigma Teknika*, 6(2), pp.493–502.
- Islamey, M.R., 2022. *Analisis dinding penahan tanah dan fondasi tiang pancang untuk mendukung bangunan bertingkat*. Skripsi. Universitas Negeri Semarang.
- Ramadhan, A.G., Sefrina, A. and Farichah, H., 2025. Stabilitas lereng perkuatan dinding penahan tanah menggunakan software GEO5 dan perhitungan empiris pada proyek Jalan Lintas Selatan Lot 1A STA 4+600. *Talenta Sipil*, 8(1), pp.205–213. doi:10.33087/talentasipilv8i1.814.
- Ridwan, F. dan Yusa, M. 2019. *Penerapan Metode Elemen Hingga pada Konstruksi Geoteknik*. Penerbit Geoteknik Indonesia. Jakarta.
- Rizki, A., Syah Alam, B.Y.C.S., Khoirullah, N., Sophian, R.I. and Firmansyah, Y., 2023. Soil slope reinforcement using cantilever retaining wall on the West Ring Road of Sadawarna Dam, Subang District. *Journal of Geological Sciences and Applied Geology*, 7(3), pp.7–8. E-ISSN: 2579–3136.
- Standar Nasional Indonesia, 2017. *SNI 8460:2017 - Persyaratan Perancangan Geoteknik*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Sari, U.C., Sholeh, M.N. and Hermanto, I., 2020. The stability analysis study of conventional retaining walls variation design in vertical slope. *Journal of Physics: Conference Series*, 1444, p.012053. doi:10.1088/1742-6596/1444/1/012053.
- Souhoka, V.J.F., Hamkah and Istia, P.T., 2024. Stability analysis of cantilever-type soil retaining wall using PLAXIS method on Waipia-Saleman road section of Seram Island. *International Journal of Engineering and Science Applications*, 11(2), pp.68–74. <https://doi.org/10.18280/ijesca.123456>.
- Skempton AW (1953) The colloidal activities of clays. In: Proceedings of the 3rd ICSMFE, I, Zurich, pp 57–61.
- Terzaghi, K. 1948. *Theoretical Soil Mechanics*. John Wiley & Sons. New York.
- 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

 FAKULTAS TEKNIK SIPIL & PERENCANAAN Gedung ME, Blok A-100 Jl. Sekeloa Utara No. 133, Bandung T. 022-2534311 E. sipil@fkip.unpad.ac.id W. sipil@fkip.unpad.ac.id	RESUME PROPERTIES TANAH																																																																																																																																																																				
Proyek : Penelitian Longsor Cianjur Lokasi : Cianjur, Jawa Barat No Titik : Sukaraharja DS 2 Dikerjakan : Gifara Dziky M.H. / Rahesa Ariano P Tanggal : 10/06/2025																																																																																																																																																																					
B. Uji Berat Volume (ASTM D7263) <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; font-size: small;"> <thead> <tr> <th>No Ring</th> <th>Satuan</th> <th>a</th> <th>b</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Berat Ring</td> <td>gram</td> <td>5,05</td> <td>5,09</td> </tr> <tr> <td>Diameter Ring</td> <td>cm</td> <td>2,03</td> <td>2,11</td> </tr> <tr> <td>Tinggi Ring</td> <td>cm</td> <td>40,66</td> <td>42,93</td> </tr> <tr> <td>Volume Ring</td> <td>cm³</td> <td>34,15</td> <td>42,44</td> </tr> <tr> <td>Berat ring + Tanah Basah</td> <td>gram</td> <td>102,27</td> <td>110,15</td> </tr> <tr> <td>Berat Tanah Basah</td> <td>gram</td> <td>68,12</td> <td>67,71</td> </tr> <tr> <td>Berat Volume tanah basah</td> <td>gr/cm³</td> <td>1,68</td> <td>1,58</td> </tr> <tr> <td>Berat Volume tanah basah rata-rata</td> <td>gr/cm³</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">1,626</td> </tr> </tbody> </table> A. Uji Kadar air (ASTM D2216) <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; font-size: small;"> <thead> <tr> <th>No Cawan</th> <th>Satuan</th> <th>a</th> <th>b</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Berat Cawan</td> <td>gram</td> <td>12,69</td> <td>13,03</td> </tr> <tr> <td>Berat Cawan + Tanah Basah</td> <td>gram</td> <td>37,12</td> <td>30,59</td> </tr> <tr> <td>Berat Cawan + Tanah Kering</td> <td>gram</td> <td>30,04</td> <td>25,62</td> </tr> <tr> <td>Berat air</td> <td>gram</td> <td>7,08</td> <td>4,97</td> </tr> <tr> <td>Berat tanah kering</td> <td>gram</td> <td>17,35</td> <td>12,59</td> </tr> <tr> <td>Kadar air</td> <td>%</td> <td>40,81</td> <td>39,48</td> </tr> <tr> <td>Kadar air rata-rata</td> <td>%</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">40,141</td> </tr> </tbody> </table> C. Uji Berat Jenis (ASTM D854-72) <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; font-size: small;"> <thead> <tr> <th>No Pengujian</th> <th>Satuan</th> <th>1</th> <th>2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Berat piknometer (W1)</td> <td>gr</td> <td>26,76</td> <td>31,54</td> </tr> <tr> <td>Berat piknometer + Tanah kering. (W2)</td> <td>gr</td> <td>50,28</td> <td>55,66</td> </tr> <tr> <td>Berat piknometer + Tanah + air, (W3)</td> <td>gr</td> <td>90,35</td> <td>94,53</td> </tr> <tr> <td>Berat piknometer + air, (W4)</td> <td>gr</td> <td>76,75</td> <td>78,75</td> </tr> <tr> <td>Suhu air (t°)</td> <td>gr</td> <td>27,00</td> <td>27,00</td> </tr> <tr> <td>g air pada suhu (t°)</td> <td></td> <td>0,99650</td> <td>0,99650</td> </tr> <tr> <td>g air pada suhu (20° C)</td> <td></td> <td>0,99640</td> <td>0,99640</td> </tr> <tr> <td>Berat Tanah kering (Ws)</td> <td>gr</td> <td>23,52</td> <td>24,12</td> </tr> <tr> <td>A = Ws + W4</td> <td>gr</td> <td>100,27</td> <td>102,87</td> </tr> <tr> <td>I = A - W3</td> <td>gr</td> <td>9,920</td> <td>8,340</td> </tr> <tr> <td>Berat Jenis tanah pada suhu (t°), Gs = Ws / I</td> <td></td> <td>2,371</td> <td>2,892</td> </tr> <tr> <td>Berat Jenis tanah pada suhu (20°)= Gs. (gw t° / gw t 20° C)</td> <td></td> <td>2,371</td> <td>2,892</td> </tr> <tr> <td>Berat jenis rata-rata pada suhu (20°)</td> <td></td> <td colspan="2" style="text-align: center;">2,632</td> </tr> </tbody> </table>  <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; font-size: small;"> <thead> <tr> <th>No Sampel</th> <th>Satuan</th> <th>1</th> <th>2</th> <th>rerata</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Kadar air (w)</td> <td>%</td> <td>40,81</td> <td>39,48</td> <td>40,141</td> </tr> <tr> <td>Berat volume tanah basah (γ)</td> <td>gr/cm³</td> <td>1,675</td> <td>1,577</td> <td>1,626</td> </tr> <tr> <td>Berat volume tanah kering (γd)</td> <td>gr/cm³</td> <td>1,190</td> <td>1,131</td> <td>1,160</td> </tr> <tr> <td>Berat Jenis Tanah (Gs)</td> <td></td> <td>2,371</td> <td>2,892</td> <td>2,632</td> </tr> <tr> <td>Angka pori, e</td> <td></td> <td>0,993</td> <td>1,558</td> <td>1,275</td> </tr> <tr> <td>Porositas, n</td> <td>%</td> <td>49,82</td> <td>60,91</td> <td>55,365</td> </tr> <tr> <td>Derajat kejenuhan</td> <td></td> <td>0,93</td> <td>0,73</td> <td>0,83</td> </tr> </tbody> </table> Diperiksa Kepala Laboratorium Dr. Hanindya Kusuma A.,ST.,MT		No Ring	Satuan	a	b	Berat Ring	gram	5,05	5,09	Diameter Ring	cm	2,03	2,11	Tinggi Ring	cm	40,66	42,93	Volume Ring	cm ³	34,15	42,44	Berat ring + Tanah Basah	gram	102,27	110,15	Berat Tanah Basah	gram	68,12	67,71	Berat Volume tanah basah	gr/cm ³	1,68	1,58	Berat Volume tanah basah rata-rata	gr/cm ³	1,626		No Cawan	Satuan	a	b	Berat Cawan	gram	12,69	13,03	Berat Cawan + Tanah Basah	gram	37,12	30,59	Berat Cawan + Tanah Kering	gram	30,04	25,62	Berat air	gram	7,08	4,97	Berat tanah kering	gram	17,35	12,59	Kadar air	%	40,81	39,48	Kadar air rata-rata	%	40,141		No Pengujian	Satuan	1	2	Berat piknometer (W1)	gr	26,76	31,54	Berat piknometer + Tanah kering. (W2)	gr	50,28	55,66	Berat piknometer + Tanah + air, (W3)	gr	90,35	94,53	Berat piknometer + air, (W4)	gr	76,75	78,75	Suhu air (t°)	gr	27,00	27,00	g air pada suhu (t°)		0,99650	0,99650	g air pada suhu (20° C)		0,99640	0,99640	Berat Tanah kering (Ws)	gr	23,52	24,12	A = Ws + W4	gr	100,27	102,87	I = A - W3	gr	9,920	8,340	Berat Jenis tanah pada suhu (t°), Gs = Ws / I		2,371	2,892	Berat Jenis tanah pada suhu (20°)= Gs. (gw t° / gw t 20° C)		2,371	2,892	Berat jenis rata-rata pada suhu (20°)		2,632		No Sampel	Satuan	1	2	rerata	Kadar air (w)	%	40,81	39,48	40,141	Berat volume tanah basah (γ)	gr/cm ³	1,675	1,577	1,626	Berat volume tanah kering (γd)	gr/cm ³	1,190	1,131	1,160	Berat Jenis Tanah (Gs)		2,371	2,892	2,632	Angka pori, e		0,993	1,558	1,275	Porositas, n	%	49,82	60,91	55,365	Derajat kejenuhan		0,93	0,73	0,83
No Ring	Satuan	a	b																																																																																																																																																																		
Berat Ring	gram	5,05	5,09																																																																																																																																																																		
Diameter Ring	cm	2,03	2,11																																																																																																																																																																		
Tinggi Ring	cm	40,66	42,93																																																																																																																																																																		
Volume Ring	cm ³	34,15	42,44																																																																																																																																																																		
Berat ring + Tanah Basah	gram	102,27	110,15																																																																																																																																																																		
Berat Tanah Basah	gram	68,12	67,71																																																																																																																																																																		
Berat Volume tanah basah	gr/cm ³	1,68	1,58																																																																																																																																																																		
Berat Volume tanah basah rata-rata	gr/cm ³	1,626																																																																																																																																																																			
No Cawan	Satuan	a	b																																																																																																																																																																		
Berat Cawan	gram	12,69	13,03																																																																																																																																																																		
Berat Cawan + Tanah Basah	gram	37,12	30,59																																																																																																																																																																		
Berat Cawan + Tanah Kering	gram	30,04	25,62																																																																																																																																																																		
Berat air	gram	7,08	4,97																																																																																																																																																																		
Berat tanah kering	gram	17,35	12,59																																																																																																																																																																		
Kadar air	%	40,81	39,48																																																																																																																																																																		
Kadar air rata-rata	%	40,141																																																																																																																																																																			
No Pengujian	Satuan	1	2																																																																																																																																																																		
Berat piknometer (W1)	gr	26,76	31,54																																																																																																																																																																		
Berat piknometer + Tanah kering. (W2)	gr	50,28	55,66																																																																																																																																																																		
Berat piknometer + Tanah + air, (W3)	gr	90,35	94,53																																																																																																																																																																		
Berat piknometer + air, (W4)	gr	76,75	78,75																																																																																																																																																																		
Suhu air (t°)	gr	27,00	27,00																																																																																																																																																																		
g air pada suhu (t°)		0,99650	0,99650																																																																																																																																																																		
g air pada suhu (20° C)		0,99640	0,99640																																																																																																																																																																		
Berat Tanah kering (Ws)	gr	23,52	24,12																																																																																																																																																																		
A = Ws + W4	gr	100,27	102,87																																																																																																																																																																		
I = A - W3	gr	9,920	8,340																																																																																																																																																																		
Berat Jenis tanah pada suhu (t°), Gs = Ws / I		2,371	2,892																																																																																																																																																																		
Berat Jenis tanah pada suhu (20°)= Gs. (gw t° / gw t 20° C)		2,371	2,892																																																																																																																																																																		
Berat jenis rata-rata pada suhu (20°)		2,632																																																																																																																																																																			
No Sampel	Satuan	1	2	rerata																																																																																																																																																																	
Kadar air (w)	%	40,81	39,48	40,141																																																																																																																																																																	
Berat volume tanah basah (γ)	gr/cm ³	1,675	1,577	1,626																																																																																																																																																																	
Berat volume tanah kering (γd)	gr/cm ³	1,190	1,131	1,160																																																																																																																																																																	
Berat Jenis Tanah (Gs)		2,371	2,892	2,632																																																																																																																																																																	
Angka pori, e		0,993	1,558	1,275																																																																																																																																																																	
Porositas, n	%	49,82	60,91	55,365																																																																																																																																																																	
Derajat kejenuhan		0,93	0,73	0,83																																																																																																																																																																	

 FABULUS TEKNIK SIPIL & PERENCANAAN Gedung M. Hoesni J. Rahesha Ariano P J. 20151100110 J. 20151100110 J. 20151100110	RESUME PROPERTIES TANAH																																																																				
Proyek : Penelitian Longsor Cianjur Lokasi : Cianjur, Jawa Barat No Titik : Sukaraharja DS 3 Dikerjakan : Gifara Dziky M.H. / Rahesa Ariano P Tanggal : 10/06/2025																																																																					
B. Uji Berat Volume (ASTM D7263) <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; font-size: x-small;"> <thead> <tr> <th>No Ring</th> <th>Satuan</th> <th>a</th> <th>b</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Berat Ring</td><td>gram</td><td>5,07</td><td>6,43</td></tr> <tr><td>Diameter Ring</td><td>cm</td><td>1,84</td><td>2,42</td></tr> <tr><td>Tinggi Ring</td><td>cm</td><td>37,15</td><td>78,46</td></tr> <tr><td>Volume Ring</td><td>cm³</td><td>38,37</td><td>80,08</td></tr> <tr><td>Berat ring + Tanah Basah</td><td>gram</td><td>108,19</td><td>231,86</td></tr> <tr><td>Berat Tanah Basah</td><td>gram</td><td>69,82</td><td>151,78</td></tr> <tr><td>Berat Volume tanah basah</td><td>gr/cm³</td><td>1,88</td><td>1,93</td></tr> <tr><td>Berat Volume tanah basah rata-rata</td><td>gr/cm³</td><td colspan="2" style="text-align: center;">1,907</td></tr> </tbody> </table>	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) <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; font-size: x-small;"> <thead> <tr> <th>No Cawan</th> <th>Satuan</th> <th>a</th> <th>b</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Berat Cawan</td><td>gram</td><td>6,43</td><td>5,90</td></tr> <tr><td>Berat Cawan + Tanah Basah</td><td>gram</td><td>29,06</td><td>32,27</td></tr> <tr><td>Berat Cawan + Tanah Kering</td><td>gram</td><td>23,08</td><td>29,33</td></tr> <tr><td>Berat air</td><td>gram</td><td>5,98</td><td>2,94</td></tr> <tr><td>Berat tanah kering</td><td>gram</td><td>16,65</td><td>23,43</td></tr> <tr><td>Kadar air</td><td>%</td><td>35,92</td><td>12,55</td></tr> <tr><td>Kadar air rata-rata</td><td>%</td><td colspan="2" style="text-align: center;">24,232</td></tr> </tbody> </table>	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	
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																																																																			
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) <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; font-size: x-small;"> <thead> <tr> <th>No Pengujian</th> <th>Satuan</th> <th>1</th> <th>2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Berat piknometer (W1)</td><td>gr</td><td>31,16</td><td>30,75</td></tr> <tr><td>Berat piknometer + Tanah kering, (W2)</td><td>gr</td><td>55,77</td><td>63,97</td></tr> <tr><td>Berat piknometer + Tanah + air, (W3)</td><td>gr</td><td>97,02</td><td>98,67</td></tr> <tr><td>Berat piknometer + air, (W4)</td><td>gr</td><td>80,21</td><td>81,17</td></tr> <tr><td>Suhu air (t°)</td><td>gr</td><td>27,00</td><td>27,00</td></tr> <tr><td>g air pada suhu (t°)</td><td></td><td>0,99650</td><td>0,99650</td></tr> <tr><td>g air pada suhu (20° C)</td><td></td><td>0,99640</td><td>0,99640</td></tr> <tr><td>Berat Tanah kering (Ws)</td><td>gr</td><td>24,61</td><td>33,22</td></tr> <tr><td>A = Ws + W4</td><td>gr</td><td>104,82</td><td>114,39</td></tr> <tr><td>I = A - W3</td><td>gr</td><td>7,800</td><td>15,720</td></tr> <tr><td>Berat Jenis tanah pada suhu (t°), Gs = Ws / I</td><td></td><td>3,155</td><td>2,113</td></tr> <tr><td>Berat Jenis tanah pada suhu (20°)= Gs. (gw t° / gw t 20° C)</td><td></td><td>3,155</td><td>2,113</td></tr> <tr><td>Berat jenis rata-rata pada suhu (20°)</td><td></td><td colspan="2" style="text-align: center;">2,634</td></tr> </tbody> </table>	No Pengujian	Satuan	1	2	Berat piknometer (W1)	gr	31,16	30,75	Berat piknometer + Tanah kering, (W2)	gr	55,77	63,97	Berat piknometer + Tanah + air, (W3)	gr	97,02	98,67	Berat piknometer + air, (W4)	gr	80,21	81,17	Suhu air (t°)	gr	27,00	27,00	g air pada suhu (t°)		0,99650	0,99650	g air pada suhu (20° C)		0,99640	0,99640	Berat Tanah kering (Ws)	gr	24,61	33,22	A = Ws + W4	gr	104,82	114,39	I = A - W3	gr	7,800	15,720	Berat Jenis tanah pada suhu (t°), Gs = Ws / I		3,155	2,113	Berat Jenis tanah pada suhu (20°)= Gs. (gw t° / gw t 20° C)		3,155	2,113	Berat jenis rata-rata pada suhu (20°)		2,634		Volume total = 1,000 cm³ 												
No Pengujian	Satuan	1	2																																																																		
Berat piknometer (W1)	gr	31,16	30,75																																																																		
Berat piknometer + Tanah kering, (W2)	gr	55,77	63,97																																																																		
Berat piknometer + Tanah + air, (W3)	gr	97,02	98,67																																																																		
Berat piknometer + air, (W4)	gr	80,21	81,17																																																																		
Suhu air (t°)	gr	27,00	27,00																																																																		
g air pada suhu (t°)		0,99650	0,99650																																																																		
g air pada suhu (20° C)		0,99640	0,99640																																																																		
Berat Tanah kering (Ws)	gr	24,61	33,22																																																																		
A = Ws + W4	gr	104,82	114,39																																																																		
I = A - W3	gr	7,800	15,720																																																																		
Berat Jenis tanah pada suhu (t°), Gs = Ws / I		3,155	2,113																																																																		
Berat Jenis tanah pada suhu (20°)= Gs. (gw t° / gw t 20° C)		3,155	2,113																																																																		
Berat jenis rata-rata pada suhu (20°)		2,634																																																																			
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; font-size: x-small;"> <thead> <tr> <th>No Sampel</th> <th>Satuan</th> <th>1</th> <th>2</th> <th>rerata</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Kadar air (w)</td><td>%</td><td>35,92</td><td>12,55</td><td>24,232</td></tr> <tr><td>Berat volume tanah basah (γ)</td><td>gr/cm³</td><td>1,880</td><td>1,934</td><td>1,907</td></tr> <tr><td>Berat volume tanah kering (γ_d)</td><td>gr/cm³</td><td>1,383</td><td>1,719</td><td>1,551</td></tr> <tr><td>Berat Jenis Tanah (Gs)</td><td></td><td>3,155</td><td>2,113</td><td>2,634</td></tr> <tr><td>Angka pori, e</td><td></td><td>1,282</td><td>0,230</td><td>0,756</td></tr> <tr><td>Porositas, n</td><td>%</td><td>56,17</td><td>18,67</td><td>37,424</td></tr> <tr><td>Derajat kejenuhan</td><td></td><td>0,88</td><td>0,83</td><td>0,89</td></tr> </tbody> </table>	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)		3,155	2,113	2,634	Angka pori, e		1,282	0,230	0,756	Porositas, n	%	56,17	18,67	37,424	Derajat kejenuhan		0,88	0,83	0,89	Diperiksa Kepala Laboratorium Dr. Hanindya Kusuma.A.,ST.,MT																												
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)		3,155	2,113	2,634																																																																	
Angka pori, e		1,282	0,230	0,756																																																																	
Porositas, n	%	56,17	18,67	37,424																																																																	
Derajat kejenuhan		0,88	0,83	0,89																																																																	





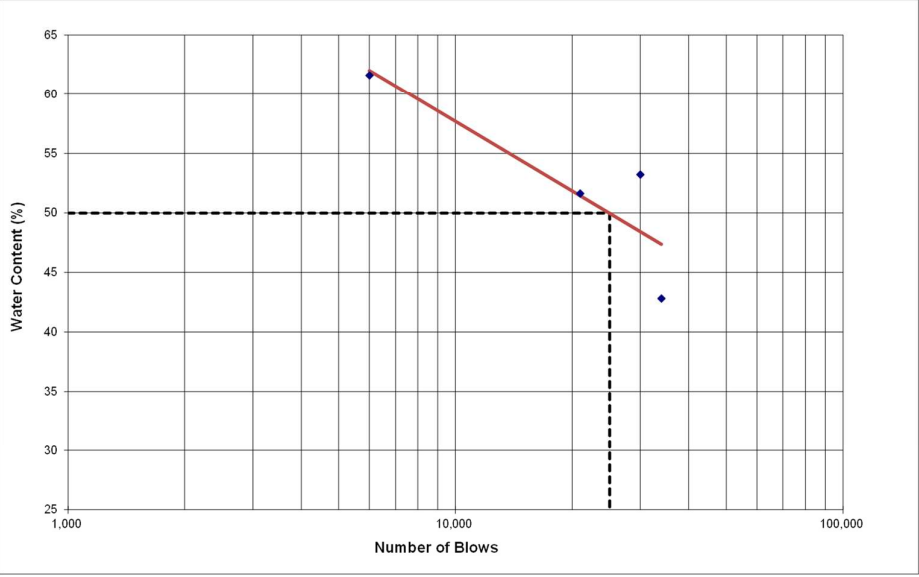
	FAKULTAS TEKNIK SIPIL & PERENCANAAN	Gedung KH. Moh. Natsir Jl. Kalurang Km 14,5 Yogyakarta T. (0274) 898444 ext. 3200; F. (0274) 895130 E. teknip@uii.ac.id W. teknip.uii.ac.id	<u>ATTERBERG LIMITS</u>
---	--	--	--------------------------------

Project : Penelitian Longsor Cianjur
 Location : Cianjur, Jawa Barat
 Hole No. : Sukaraharja DS 2
 Tested By : Gifara Dzikry M.H. / Rahesa Ariano P
 Date : 10/06/2025

LIQUID LIMIT (ASTM D4318)

No. of Blows	30		21		34		6		PLASTIC LIMIT	
Container No.	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Wt. Container	g 12,83	12,75	12,85	12,92	13,67	13,09	13,07	12,73	12,83	13,20
Wt. Container + Wet Soil	g 34,55	29,08	30,30	27,46	27,47	24,40	35,36	31,85	17,17	16,64
Wt. Container + Dry Soil	g 26,85	23,53	24,31	22,55	23,32	21,02	26,91	24,52	15,81	15,69
Wt. Water	g 7,70	5,55	5,99	4,91	4,15	3,38	8,45	7,33	1,36	0,95
Wt. Dry Soil (Ws)	g 14,02	10,78	11,46	9,63	9,65	7,93	13,84	11,79	2,98	2,49
Water Content (w)	% 54,92	51,48	52,27	50,99	43,01	42,62	61,05	62,17	45,64	38,15
Average Water Content (w)	% 53,20		51,63		42,81		61,61		41,90	

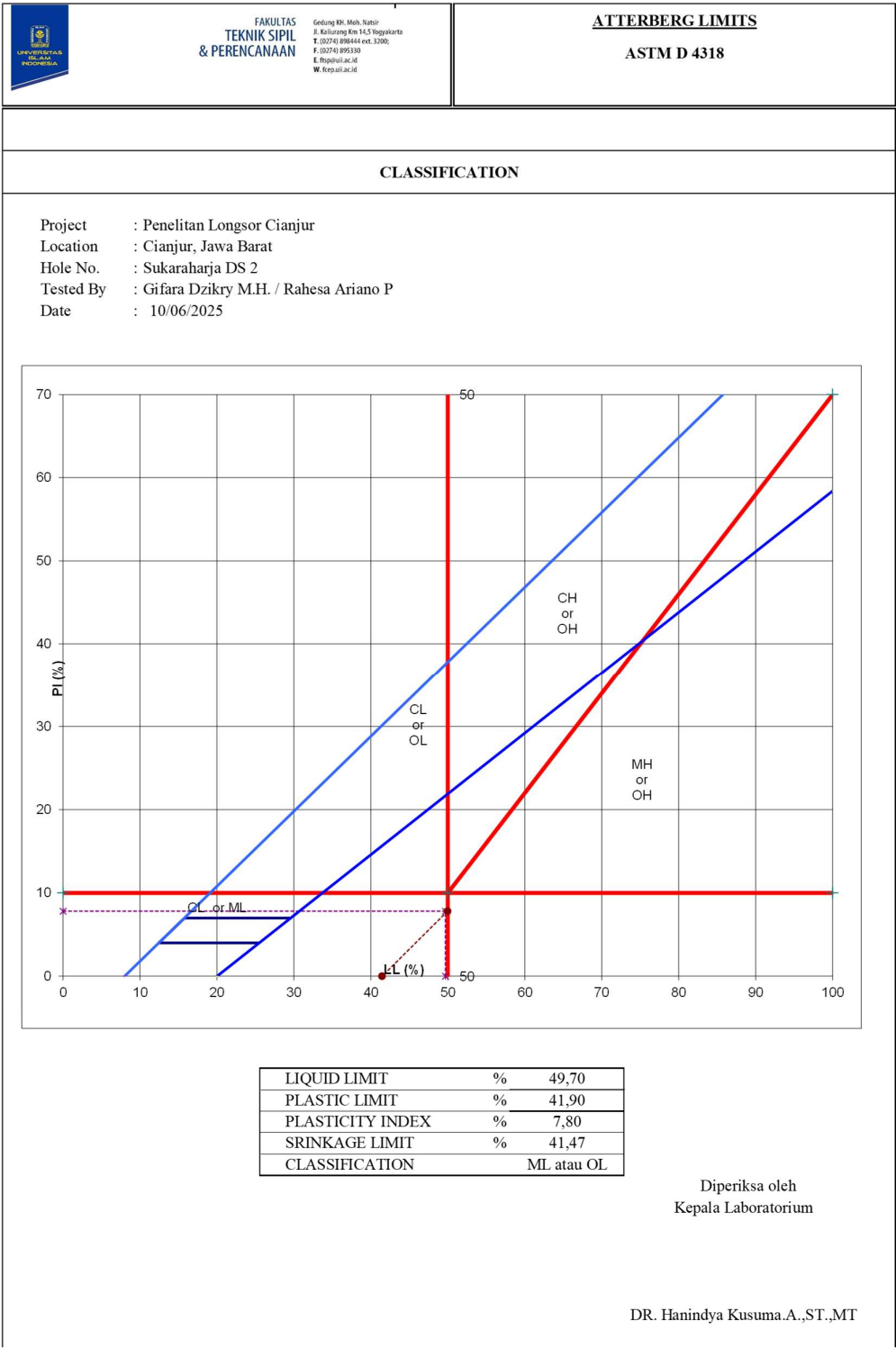
FLOW CURVE



RESULT SUMMARY		
LIQUID LIMIT	%	49,70
PLASTIC LIMIT	%	41,90
PLASTICITY INDEX	%	7,80

Kepala Laboratorium

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



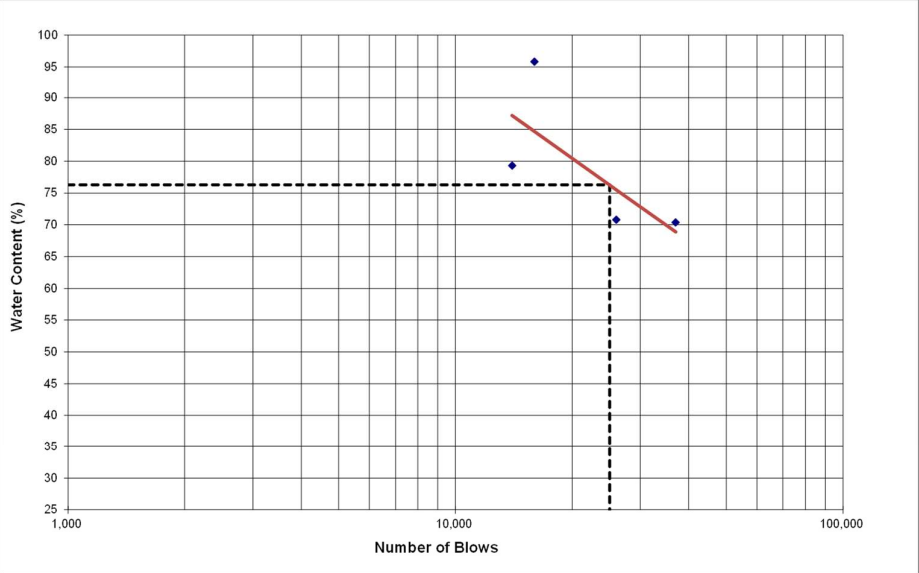
	FAKULTAS TEKNIK SIPIL & PERENCANAAN	Gedung KH. Moh. Natsir Jl. Kalirang Km 14,5 Yogyakarta T. (0274) 898444 ext. 3200; F. (0274) 895130 E. teknip@uii.ac.id W. teknip.uii.ac.id	ATTERBERG LIMITS									

Project : Penelitian Longsor Cianjur
Location : Cianjur, Jawa Barat
Hole No. : Sukaraharja DS 3
Tested By : Gifara Dzikry M.H. / Rahesa Ariano P
Date : 10/06/2025

LIQUID LIMIT (ASTM D4318)

No. of Blows	37		26		14		16		PLASTIC LIMIT	
Container No.	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Wt. Container	g 13,16	12,90	12,85	12,75	22,05	21,82	22,18	21,75	22,22	21,77
Wt. Container + Wet Soil	g 34,00	29,59	29,90	31,85	48,87	48,16	46,54	41,20	23,86	22,33
Wt. Container + Dry Soil	g 25,76	22,42	22,66	24,13	37,03	36,49	35,26	31,22	23,46	22,11
Wt. Water	g 8,24	7,17	7,24	7,72	11,84	11,67	11,28	9,98	0,40	0,22
Wt. Dry Soil (Ws)	g 12,60	9,52	9,81	11,38	14,98	14,67	13,08	9,47	1,24	0,34
Water Content (w)	% 65,40	75,32	73,80	67,80	79,04	79,55	86,24	105,39	32,26	64,71
Average Water Content (w)	% 70,36		70,80		79,29		95,81		48,48	

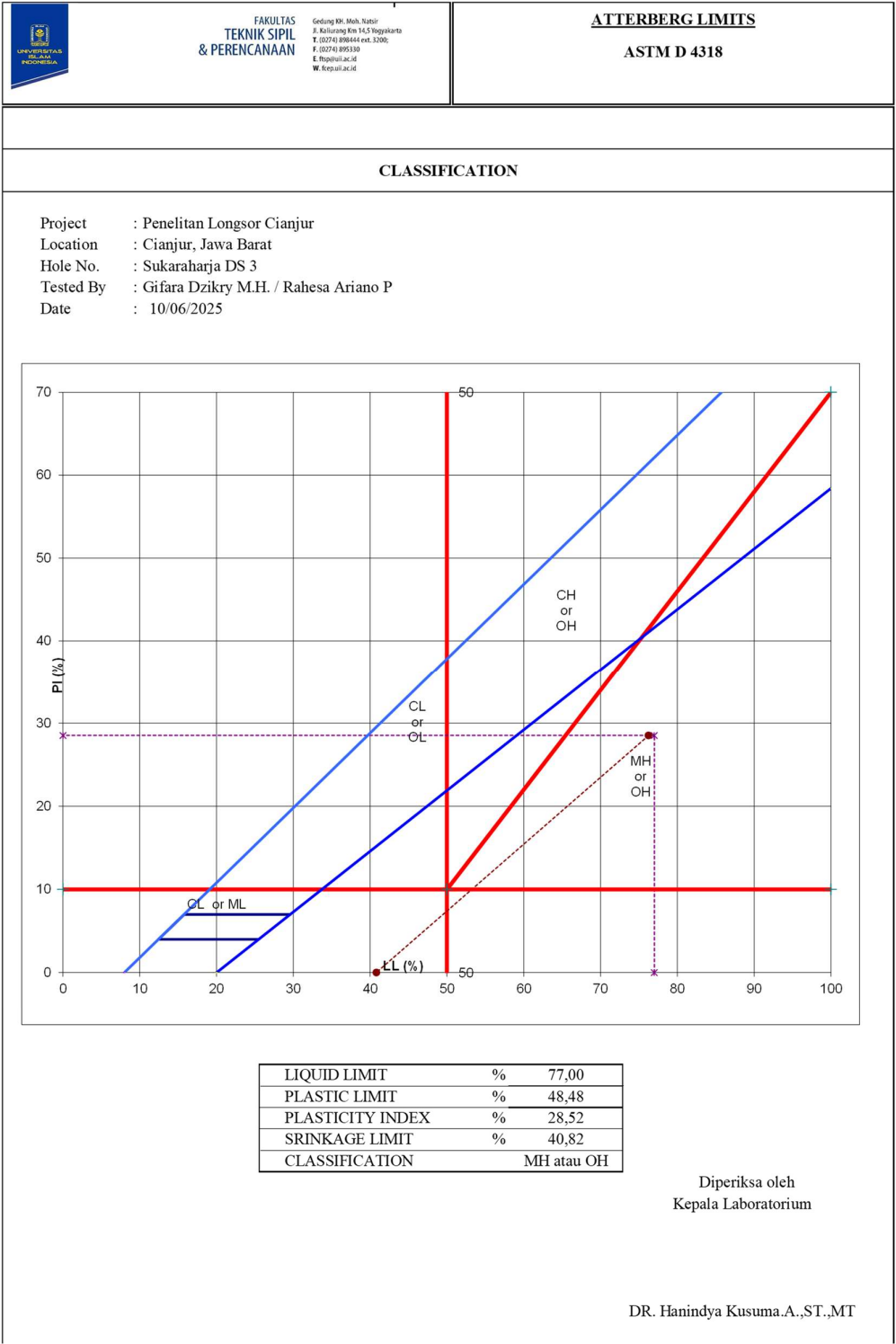
FLOW CURVE

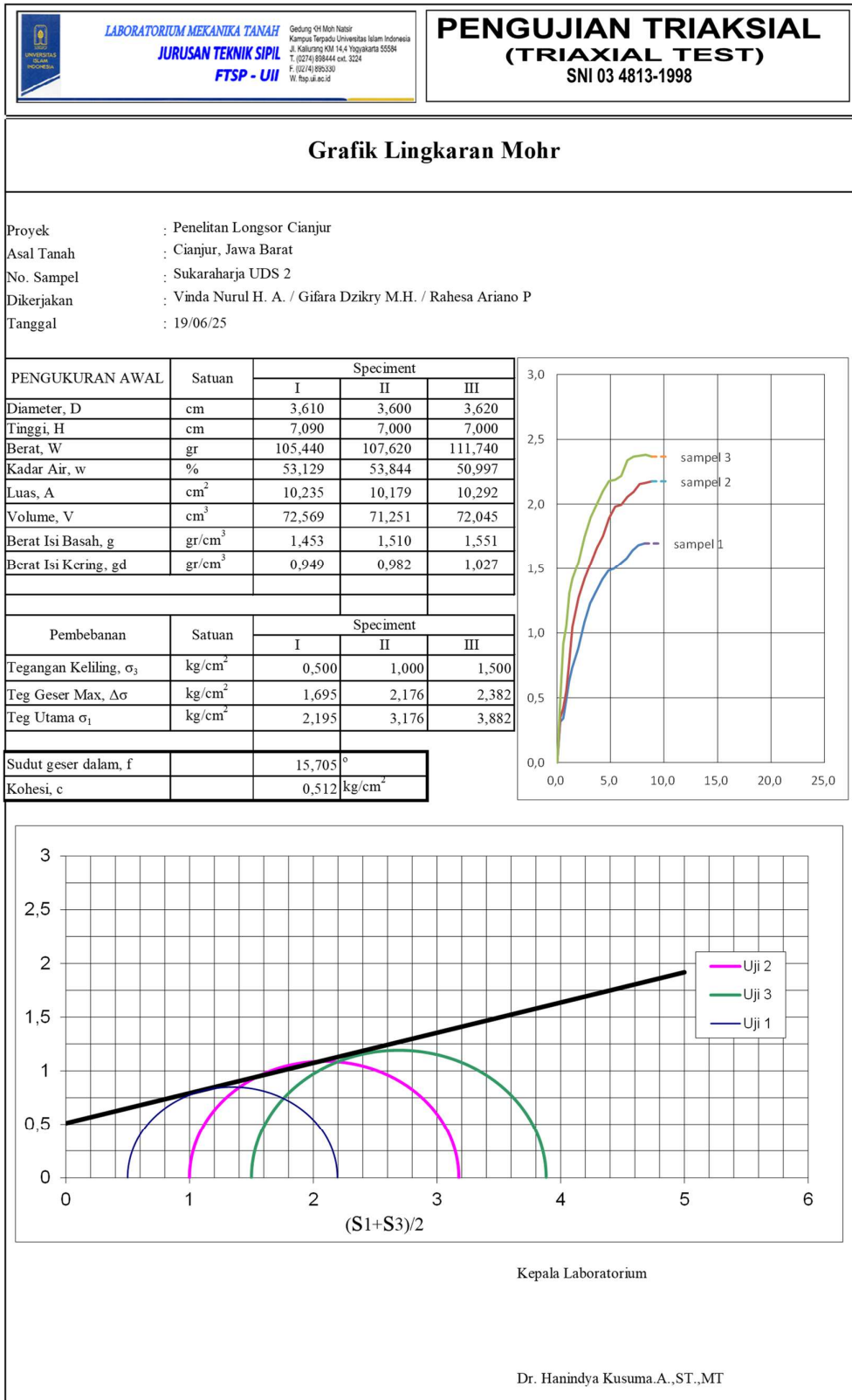


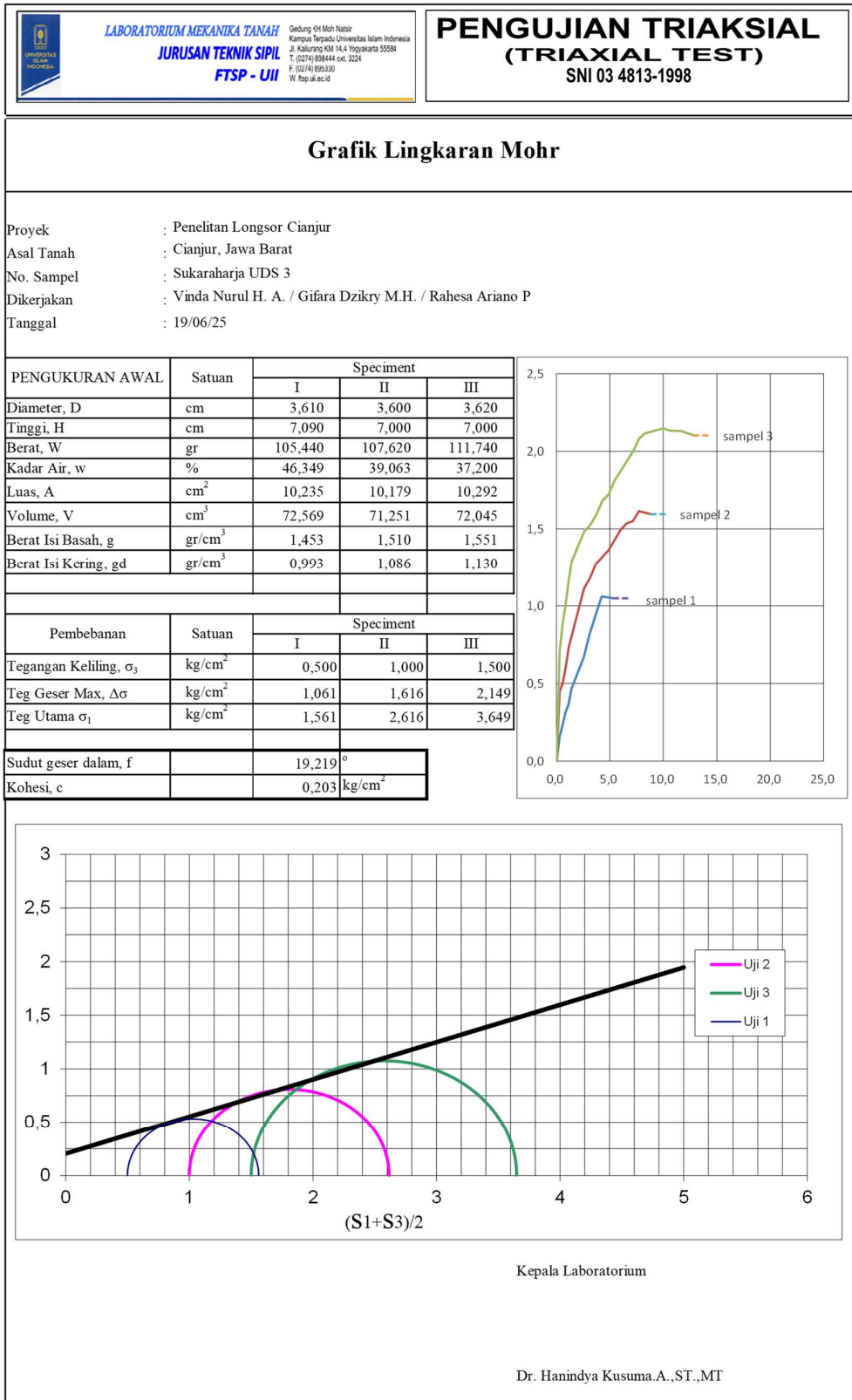
RESULT SUMMARY	
LIQUID LIMIT	% 77,00
PLASTIC LIMIT	% 48,48
PLASTICITY INDEX	% 28,52

Kepala Laboratorium

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







Kepala Laboratorium

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