



**PENANGANAN PERBAIKAN LERENG PADA AKSES
LOKASI WISATA IJEN DI KABUPATEN BONDOWOSO**

SKRIPSI

Oleh:

Moch Hasan Kandio

NIM 211910301045

KEMENTERIAN PENDIDIKAN TINGGI, SAINS, DAN TEKNOLOGI

PROGRAM STUDI S-1 TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS JEMBER

JEMBER

2025

PERSEMBAHAN

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan limpahan anugerah dan karunia-Nya sehingga dapat selesainya skripsi ini. Skripsi ini dapat terselesaikan berkat bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, ucapan terima kasih disampaikan kepada:

1. Bapak Mudzakir, Ibu Fitriah Sundari dan Mama Linda Sundari yang selalu memberikan dukungan beserta doa dalam pengerjaan tugas akhir serta menemani dalam pengambilan data dan pengerjaan skripsi.
2. Adik Kanzia Azkadina Nadhifa, Adik Faradiba Nur Firdausi, Adik Kalisa Danastri Gemintang dan Mas Moch Kendi Farabi Lasda Putra yang selalu menjadi alasan untuk selalu semangat serta memotivasi dalam pengerjaan skripsi.
3. Saudari Alike Safira Humairoh yang selalu mengapresiasi setiap progress pengerjaan tugas akhir dari awal hingga terselesaikannya skripsi ini.
4. Teman-teman terdekat “Kos Nias Alim” yang selalu menyemangati dan selalu ada dalam suka dan duka.
5. Seluruh Dosen Teknik Sipil Universitas Jember yang telah memberikan ilmu perkuliahan.
6. Teman-teman peminatan geoteknik yang selalu ada satu sama lain dalam suka dan duka sampai terselesaikannya skripsi ini

MOTTO

“Bekerja keras dan bersungguh-sungguhlah dalam memperjuangkan suatu hal. Rejeki semut tidak akan diambil oleh gajah dan rejeki gajah tidak diambil oleh semut, karena semua sudah tertakar dan tidak akan tertukar.”

(Habib Ja'far)

PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Moch Hasan Kandio

NIM : .211910301045

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul: *Penanganan Perbaikan Lereng Pada Akses Lokasi Wisata Ijen Di Kabupaten Bondowoso* adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali jika dalam pengutipan substansi disebutkan sumbernya, dan belum pernah diajukan pada institusi manapun, serta bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa adanya tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 3 Januari 2025

Yang menyatakan,

Moch Hasan Kandio

NIM. 211910301045

HALAMAN PERSETUJUAN

Tugas akhir berjudul "*Penanganan Perbaikan Lereng Pada Akses Lokasi Wisata Ijen Di Kabupaten Bondowoso*" telah diuji dan disetujui oleh Fakultas Teknik Universitas Jember pada:

Hari : Senin

Tanggal : 6 Januari 2025

Tempat : Fakultas Teknik, Universitas Jember

Pembimbing

1. Pembimbing Utama

Nama : Paksitya Purnama Putra, S.T., M.T.

NIP : 199006062019031022

2. Pembimbing Anggota

Nama : Dr. Ir. Indra Nurtjahjaningtyas, S.T., M.T.

NIP : 197010241998032001

Tanda Tangan


(.....)


(.....)

Penguji

1. Penguji Utama

Nama : Luthfi Amri Wicaksono, S.T., M.T.

NIP : 198806212023211011

2. Penguji Anggota

Nama : Ir. Sonya Sulistyono, S.T., M.T.

NIP : 197401111999031001


(.....)


(.....)

ABSTRAK

Kecamatan Ijen merupakan daerah paling timur dari Kabupaten Bondowoso dengan karakteristik daerah terluas sebesar 207 km², dan terletak diketinggian 1.130 mdpl. Daerah ini juga tergolong daerah rawan longsor. Pada ruas jalan akses menuju ijen terdapat longsor yang terjadi di desa Rejo Agung. Longsor ini menyebabkan tertutupnya jalan akses menuju obyek wisata Kawah Ijen dari arah kota Bondowoso. Kejadian kelongsoran dapat diminimalisir dampaknya dengan membangun sebuah perkuatan lereng. Metode yang digunakan adalah *bishop* dengan menggunakan program bantu *SLOPE/W*. Pemodelan lereng eksisting dilakukan pada kondisi jenuh tidak jenuh. Hasil pemodelan lereng eksisting dengan kondisi tidak jenuh dengan hasil nilai SF sebesar 1,546 dan sebesar 0,956 untuk kondisi jenuh yang berarti lereng tersebut mengalami kelongsoran. Alternatif perkuatan yang diberikan adalah berupa *soil nailing* dan DPT Kantilver. *Soil nailing* yang digunakan memiliki panjang 8m dengan jumlah 6 dan lubang bor(Ddh) sebesar 200 mm. Masing-masing *nail bars* dikontrol terhadap faktor keamanan global, geser, putus tulangan, dan cabut tulangan dan dapat dikatakan aman terhadap longsor. SF global(eksternal) hasil perkuatan *soil nailing* adalah sebesar 1,774. Sedangkan untuk DPT kantilver tinggi perencanaan yang digunakan adalah 4m dan panjang *base* sebesar 2,8m. Stabilitas internal DPT kantilever sudah aman terhadap stabilitas global, guling, geser, dan daya dukung, sehingga DPT kantilever aman dari kelongsoran. SF global(eksternal) hasil perkuatan DPT Kantilever adalah sebesar 1,857. Sehingga DPT kantilever dipilih sebagai alternatif yang lebih efektif dalam menangani permasalahan yang ada pada lokasi penelitian

Kata kunci: *Soil Nailing*, DPT Kantilever, SF lereng

ABSTRACT

Ijen Sub-district is the easternmost region of Bondowoso Regency, with the largest area covering 207 km² and located at an altitude of 1,130 meters above sea level. This area is also classified as a landslide-prone zone. On the access road leading to Ijen, a landslide occurred in Rejo Agung Village. The landslide resulted in the blockage of the access road to the Ijen Crater tourist site from Bondowoso city. The impact of landslides can be minimized by constructing slope reinforcements. The method used is the Bishop analysis, supported by the SLOPE/W software. Modeling of the existing slope was conducted under both saturated and unsaturated conditions. The modeling results for the existing slope in unsaturated conditions yielded a safety factor (SF) value of 1.546, while saturated conditions resulted in an SF value of 0.956, indicating that the slope is prone to failure. The proposed reinforcement alternatives include soil nailing and cantilever retaining walls (DPT). The soil nailing used has a length of 8 meters, with 6 nails and borehole diameter (Ddh) of 200 mm. Each nail bar was evaluated for global safety factor, shear, tensile strength, and pull-out resistance, and it was found to be safe against landslides. The global (external) SF of the soil nailing reinforcement was 1.774. For the cantilever retaining wall, the design height used is 4 meters with a base length of 2.8 meters. The internal stability of the cantilever retaining wall was confirmed to be safe regarding global stability, overturning, sliding, and bearing capacity, ensuring the wall's safety against landslides. The global (external) SF for the cantilever retaining wall reinforcement was 1.857. Hence, the cantilever retaining wall was chosen as a more effective alternative for addressing the issues at the research location.

Keywords: Soil Nailing, Cantilever Retaining Wall, Slope Safety Factor (SF)

RINGKASAN

PENANGANAN PERBAIKAN LERENG PADA AKSES LOKASI WISATA IJEN DI KABUPATEN BONDOWOSO;

Moch Hasan Kandio , 211910301045 ; 64 halaman, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Jember.

Kejadian longsor terjadi di Desa Rejo Agung pada ruas jalan menuju Kawah Ijen tepatnya pada STA 33+600, yang menyebabkan tertutupnya akses utama dari Kota Bondowoso ke destinasi wisata tersebut. Kelongsoran terjadi akibat curah hujan yang tinggi yang menyebabkan tanah menjadi jenuh. Upaya mitigasi dampak longsor dilakukan dengan merancang perkuatan lereng menggunakan analisis metode *Bishop* dengan bantuan perangkat lunak *SLOPE/W*. Pemodelan lereng eksisting dilakukan pada dua kondisi: jenuh dan tidak jenuh. Hasil analisis menunjukkan faktor keamanan (SF) sebesar 1,546 untuk kondisi tidak jenuh dan 0,956 untuk kondisi jenuh, mengindikasikan bahwa lereng berpotensi mengalami kelongsoran. Sehingga perlu direncanakan perkuatan lereng untuk kawasan tersebut.

Alternatif perkuatan yang diberikan meliputi *soil nailing* dan DPT kantilever. Pada perencanaan *soil nailing* direncanakan sesuai dengan kriteria perencanaan yang ada . Setiap batang *nail* diperiksa terhadap keamanan global, geser, potensi putus tulangan, serta cabut tulangan, dan hasilnya menunjukkan kondisi aman. *Soil nailing* menghasilkan SF global (eksternal) sebesar 1,774. Perencanaan DPT kantilever juga direncanakan dengan menggunakan kriteria desain yang ada yaitu SNI 8460-2017 yang kemudian di analisis stabilitas internal dan menunjukkan bahwa DPT kantilever aman terhadap stabilitas global, guling, geser, dan daya dukung tanah, dengan SF global (eksternal) sebesar 1,857. Berdasarkan hasil analisis, DPT kantilever dipilih sebagai solusi yang lebih efektif untuk menangani masalah longsor di lokasi penelitian.

PRAKATA

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga dapat terselesaikannya skripsi yang berjudul “Penanganan Perbaikan Lereng Pada Akses Lokasi Wisata Ijen Di Kabupaten Bondowoso”. Skripsi ini disusun bertujuan untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Jember. Selama penyusunan skripsi ini, tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, ucapan terima kasih disampaikan kepada:

1. Dr. Ir. Triwahju Hardianto, S.T., M.T., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember.
2. Dr. Ketut Aswatama Wiswamitra, S.T., M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil dan Ketua Program Studi S1 Teknik Sipil Universitas Jember.
3. Paksitya Purnama Putra, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Utama dan Dr. Ir. Indra Nurtjahjaningtyas, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah meluangkan waktu, pikiran, dan perhatian dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
4. Luthfi Amri Wicaksono, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji Utama, dan Ir. Sonya Sulistyono, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji Anggota yang telah memberikan saran dan pembelajaran untuk perbaikan tugas akhir ini.
5. Ir. Nanin Meyfa Utami, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah membimbing selama menjadi mahasiswa.

Segala kritik dan saran yang membangun dibutuhkan agar skripsi ini dapat lebih baik. Akhir kata, semoga skripsi ini dapat bermanfaat dan menambah pengetahuan bagi pembaca.

Jember,2024

Penulis

DAFTAR ISI

COVER.....	i
PERSEMBAHAN.....	ii
MOTTO.....	iii
PERNYATAAN ORISINALITAS.....	iv
HALAMAN PERSETUJUAN.....	v
ABSTRAK.....	vi
RINGKASAN.....	viii
PRAKATA.....	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
1.5 Batasan Penelitian.....	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Stabilitas Lereng.....	4
2.2 Perkuatan Lereng Menggunakan <i>Soil Nailing</i>	5
2.3 Perkuatan Lereng dengan (DPT) Kantilever.....	8
BAB 3 METODE PENELITIAN.....	11
3.1. Lokasi Penelitian.....	11
3.2. Data Penelitian.....	11
3.3. Prosedur Penelitian.....	11

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....	17
4.1 Lokasi Pengambilan Sampel Tanah.....	17
4.2 Hasil Pengujian Laboratorium.....	18
4.3 Analisa Stabilitas Kondisi Eksisting (Sebelum Longsor)	21
4.4 Perencanaan Perkuatan Lereng Menggunakan <i>Soil Nailing</i>	23
4.4.1 Data Tanah dan Spesifikasi <i>Soil Nailing</i>	23
4.4.2 <i>Preliminary Design Soil Nailing</i>	24
4.4.3 Perhitungan Stabilitas Internal <i>Soil Nailing</i>	26
4.4.4 Analisa Stabilitas Global (Eksternal) <i>Soil Nailing</i>	30
4.4.5 Perencanaan Sistem Drainase <i>Soil Nailing</i>	31
4.5 Perencanaan Perkuatan Lereng Menggunakan DPT Kantilever ...	32
4.5.1 <i>Preliminary Design</i> DPT Kantilever.....	32
4.5.2 Analisa Gaya dan Momen yang Bekerja pada DPT	34
4.5.3 Perhitungan Stabilitas Internal DPT Kantilever.....	37
4.5.4 Analisa Stabilitas Lereng Ketika Galian DPT Kantilever ...	40
4.5.5 Analisa Stabilitas Global (Eksternal) DPT Kantilever	41
4.5.6 Perencanaan Penulangan DPT Kantilever	42
4.5.7 Perencanaan Sistem Drainase DPT Kantilever	46
4.6 Pemilihan Alternatif Penanganan Lereng Terbaik.....	47
BAB 5 PENUTUP	49
5.1 Kesimpulan.....	49
5.2 Saran	49
DAFTAR PUSTAKA	50

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Nilai SF Lereng	5
Tabel 2. 2 Nilai N_c , N_q , dan N_γ	9
Tabel 4. 1 Rekapitulasi Hasil Pengujian Laboratorium Tanah	18
Tabel 4. 2 Berat Tanah yang tertahan pada Nail Bar	27
Tabel 4. 3 Faktor Keamanan Terhadap Tarik Setiap Nail Bar	28
Tabel 4. 4 Faktor Keamanan Terhadap Cabut Setiap Nail Bar	30
Tabel 4. 5 Total Gaya Vertikal dan Momen Yang Bekerja Pada Dinding Penahan	37
Tabel 4. 6 Rekapitulasi tulangan yang digunakan DPT Kantilever	46

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Longsoran di jalan akses wisata Kawah Ijen	2
Gambar 2. 1 Kelongsoran Lereng	4
Gambar 2. 2 Kriteria Perencanaan DPT Kantilever	8
Gambar 2. 3 Potongan Soil Nailing	6
Gambar 2. 4 Detail Soil Nailing	6
Gambar 3. 1 Lokasi Penelitian	11
Gambar 3. 2 Titik Pengambilan Sampel Tanah	12
Gambar 3. 3 Digital Angle Ruler	13
Gambar 3. 4 Flow Chart	15
Gambar 3. 5 Flow Chart Perencanaan Desain Perkuatan	16
Gambar 4. 1 Geometri Lereng	17
Gambar 4. 2 Bagan untuk pengklasifikasian lolos ayakan No.200 diatas 50%....	19
Gambar 4. 3 Grafik LL dan PI	20
Gambar 4. 4 Pemodelan longsor eksisiting dalam kondisi tidak jenuh	22
Gambar 4. 5 Pemodelan longsor eksisiting dalam kondisi jenuh	22
Gambar 4. 6 Titik Pemasangan Nail Bar	28
Gambar 4. 7 Panjang Lp untuk setiap Nail Bar	29
Gambar 4. 8 Hasil Pemodelan SF Global Setelah Pekuatan Soil Nailing	31
Gambar 4. 9 Sistem Drainase Soil Nailing	32
Gambar 4. 10 Perletakan DPT Kantilever pada Lereng	33
Gambar 4. 11 Bagian-Bagian DPT Kantilever	33
Gambar 4. 12 Diagram Gaya yang bekerja Pada Dinding Kantilever	35
Gambar 4. 13 Pembagian Segmen Gaya Berat Dinding Penahan	36
Gambar 4. 14 Stabilitas Lereng Ketika Proses Galian	41
Gambar 4. 15 Hasil Pemodelan SF Global Setelah Pekuatan DPT Kantilever....	42
Gambar 4. 16 Diameter Pipa Drainase	46
Gambar 4. 17 Sistem Drainase DPT Kantilever	47

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada suatu proses pembangunan sarana maupun prasarana transportasi seringkali ditemui rute jalan yang melintasi daerah perbukitan dan berlereng dengan kondisi tanah yang kurang baik. Lereng-lereng tersebut harus mampu menahan beban yang besar akibat kendaraan yang melintas di jalan raya. Kondisi ini dapat memicu berkurangnya tingkat keamanan lereng yang berdampak pada munculnya potensi kelongsoran yang membahayakan fasilitas jalan raya di sekitarnya.(Annisa *et al.*, 2023).

Salah satu rute jalan yang melewati daerah berbukit adalah jalan akses menuju wisata Kawah Ijen tepatnya pada Kecamatan Ijen. Kecamatan Ijen merupakan daerah paling timur dari Kabupaten Bondowoso dengan karakteristik daerah terluas sebesar 207 km², dan terletak diketinggian 1.130 mdpl. Daerah ini juga tergolong daerah rawan longsor. Pada ruas jalan akses menuju ijen terdapat longsoran yang terjadi di desa Rejo Agung. Longsoran ini menyebabkan tertutupnya jalan akses menuju obyek wisata Kawah Ijen dari arah kota Bondowoso.(Firdausah *et al.*,2022)

Curah hujan yang tinggi merupakan salah satu faktor eksternal penyebab terjadinya lereng rawan longsor. Hal tersebut secara tidak langsung berdampak pada perhitungan stabilitas lereng yang terdapat pada lokasi proyek, sehingga diperlukan analisis stabilitas lereng agar diperoleh angka keamanan lereng yang aman dari terjadinya kelongsoran. (Yonas, 2023). Selain intensitas curah hujan yang tinggi dalam kurun waktu yang relatif lama, kondisi lahan yang gundul di kawasan lereng Gunung Raung akibat kebakaran hutan serta perubahan penggunaan lahan dari hutan menjadi perkebunan kentang dan kubis menjadi pemicu terjadinya bencana banjir bandang di Kecamatan Ijen (Badan Pusat Statistika Kabupaten Bondowoso, 2024; Rustinsyah & Prasetya, 2023).

Kejadian kelongsoran dapat diminimalisir dampaknya dengan membangun sebuah perkuatan lereng. Perkuatan lereng yang sering digunakan adalah *soil nailing* dan dinding penahan tanah (DPT) kantilever. Perkuatan tanah ini dianggap

efektif untuk mengurangi dampak kelongsoran yang terjadi karena dapat menahan pergerakan tanah. (Ruwaida et al., 2023)



Gambar 1. 1 Longsoran di jalan akses wisata Kawah Ijen

Analisis stabilitas lereng tersebut bisa dilakukan dengan menggunakan program bantu *GeoStudio Slope*. Analisis stabilitas lereng dengan *GeoStudio Slope* dapat menghemat waktu dan efektif dalam proses analisis. Metode *Bishop* dalam *GeoStudio Slope* digunakan karena perhitungannya yang sederhana, cepat dan memberikan hasil perhitungan faktor keamanan yang cukup teliti. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kestabilan lereng berdasarkan perhitungan faktor keamanan dan mengetahui lereng akan berpotensi longsor dan memberikan gambaran tentang alternatif penanganan untuk kelongsoran tersebut. Alternatif penanganan yang dipilih adalah yang memiliki metode pelaksanaan yang lebih sederhana dan memungkinkan untuk diterapkan di lokasi kejadian longsor.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, permasalahan yang teridentifikasi adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana karakteristik tanah pada lokasi penelitian?
2. Bagaimana stabilitas lereng pada kondisi eksisting sebelum dilakukan perencanaan perbaikan tanah melalui program bantu *GeoStudio Slope*?
3. Bagaimana perencanaan perkuatan yang tepat untuk menangani kelongsoran tersebut?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian untuk menjawab rumusan masalah sebagai berikut:

1. Mengetahui karakteristik tanah pada lokasi penelitian.
2. Mendapatkan nilai faktor keamanan stabilitas lereng pada kondisi eksisting sebelum dilakukan perkuatan lereng.
3. Merencanakan alternatif desain perkuatan lereng untuk mengatasi permasalahan longsor di lokasi penelitian

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dalam penelitian ini, sebagai berikut:

1. Sebagai bahan pertimbangan dan rekomendasi mengenai solusi penanganan bencana longsor yang sering terjadi pada daerah tersebut khususnya pada akses menuju wisata Ijen Geopark Bondowoso.
2. Sebagai informasi dasar yang dapat digunakan dalam menyusun perencanaan perbaikan lereng di Kabupaten Bondowoso

1.5 Batasan Penelitian

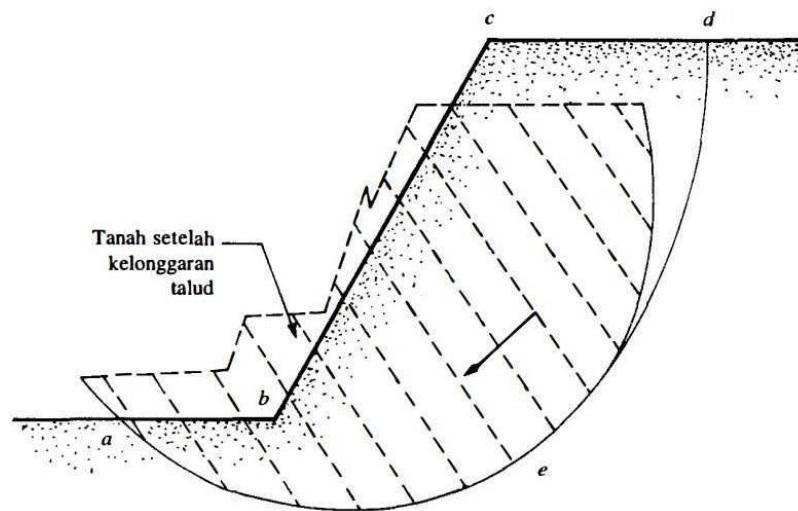
Adapun batasan masalah yang digunakan dalam penelitian ini, sebagai berikut:

1. Perencanaan ini didasarkan pada kasus longsor di Desa Rejo Agung, Kecamatan Ijen, Kabupaten Bondowoso.
2. Penelitian ini tidak menghitung biaya konstruksi dan estimasi pelaksanaan konstruksi perbaikan di lokasi penelitian.
3. Perhitungan yang dilakukan pada penelitian ini didasarkan pada aturan-aturan berikut:
 - SNI 8460-2017 tentang Persyaratan Perancangan Geoteknik (2017)
 - SNI 03-1968-1990 tentang Analisis saringan
 - SNI 03-3637-1994 tentang Berat isi
 - SNI 1965:2008 tentang Kadar air
 - SNI 2813:2008 tentang Kuat geser
 - SNI 1964:2008 tentang Berat jenis
 - SNI 1966:2008 tentang Indeks Plastisitas Tanah

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Stabilitas Lereng

Analisis stabilitas lereng dilakukan untuk mengetahui kestabilan suatu lereng pada kondisi tertentu, evaluasi terhadap kemungkinan terjadinya keruntuhan atau kegagalan, merencanakan perbaikan maupun pencegahan untuk lereng dan lain sebagainya. Dalam menganalisis stabilitas lereng, umumnya identik dengan nilai faktor keamanan atau lebih dikenal dengan *safety factor (SF)*. SF merupakan perbandingan gaya yang menahan dan gaya yang mendorong. Jika gaya yang mendorong lebih kecil dari gaya yang menahan atau gaya tahannya lebih besar, maka lereng dapat dikatakan berada pada kondisi relatif stabil (Endah, Putra, & Indra, 2022).



Gambar 2. 1 Kelongsoran Lereng

Sumber: (Das, Mekanika Tanah Jilid 2, 1985)

Umumnya, nilai faktor keamanan dinyatakan sebagai berikut:

$$SF = \frac{\tau_f}{\tau_d} \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana :

SF = faktor keamanan

τ_f = kuat geser tanah

τ_d = tegangan geser sepanjang bidang longsor

Kuat geser tanah terdiri dari dua komponen yaitu kohesi dan geseran, dapat dituliskan sebagai berikut.

$$r_f = c + \sigma \tan \varphi \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana :

c = Kohesi

φ = sudut geser

σ = Tegangan normal rata-rata pada permukaan bidang longsor

$$r_d = c_d + \sigma_d \tan \varphi_d \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana :

c_d = Kohesi

φ_d = sudut geser

Nilai faktor keamanan berdasarkan intensitas longsornya dapat dilihat pada Tabel 2.1.

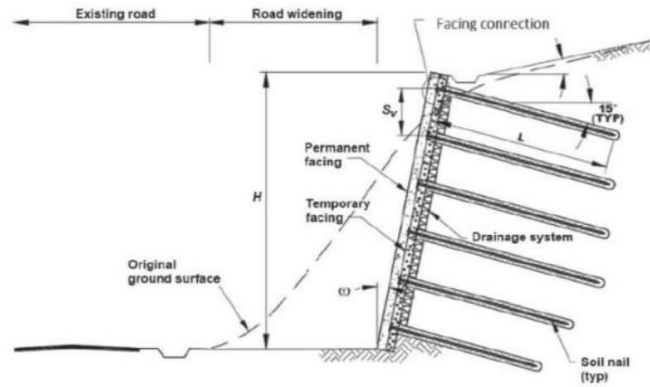
Tabel 2. 1 Nilai SF Lereng

Faktor Keamanan	Kondisi Lereng
SF < 1,07	Tidak aman (longsor)
1,07 < SF < 1,25	Kritis
SF > 1,25	Aman

(Sumber : Bowles,1977)

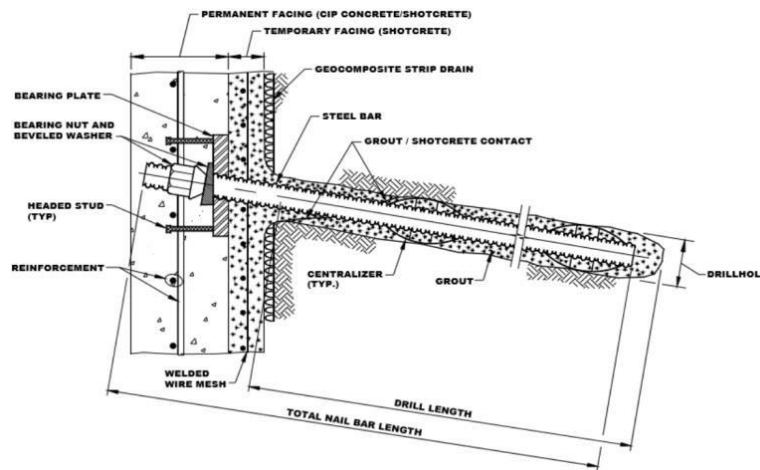
2.2 Perkuatan Lereng Menggunakan *Soil Nailing*

Soil nailing merupakan suatu sistem perkuatan kaku (*rigid*) lereng yang mengkombinasikan perkuatan secara pasif dari tulangan baja dengan beton semprot yang diperkuat sebagai material dasar dinding muka. *Nail bar* dipasang dengan sudut kemiringan mendekati horizontal (SNI 8460-2017 Persyaratan Perancangan Geoteknik, 2017). Potongan dan detail dari *soil nailing* terdapat pada Gambar 2.2 dan Gambar 2.3.



Gambar 2. 2 Potongan Soil Nailing

(Sumber : SNI 8460:2017)



Gambar 2. 3 Detail Soil Nailing

(Sumber : SNI 8460:2017)

Soil nailing dapat digunakan untuk stabilisasi lereng galian ataupun timbunan, baik untuk badan jalan raya, rel, dam perkutan dinding penahan tanah eksisting. Persyaratan teknis soil nailing adalah sebagai berikut.

- Kemiringan *nail* : $10^\circ - 20^\circ$ di bawah bidang horizontal
- Panjang *nail bar* : $0,6H - 1,2H$
- Spasi *nail* : 1,5 m
- Diameter lubang bor : 10 – 20 cm

Setelah dilakukan penentuan spesifikasi nail bars, tahap yang selanjutnya adalah pemeriksaan stabilitas terhadap faktor keamanan. Berikut merupakan kontrol stabilitas yang harus memenuhi dari setiap nail bars:

a. Stabilitas Terhadap Bahaya Geser (SFgs)

Nilai faktor keamanan terhadap gaya geser dapat dihitung dengan rumus pada persamaan berikut.

$$FK_{gs} = \frac{c BL (W+Q+P \sin \beta) + \tan \varphi}{Pa \cos \beta} \dots \dots \dots (2.4)$$

b. Stabilitas Terhadap Bahaya Tarik (SFkt)

Pemeriksaan terhadap bahaya tarik dilakukan dengan cara membandingkan gaya tarik nail, Tmax, dan nilai fy dari *nail bar*. *Nail bar* dinyatakan aman dari bahaya tarik apabila nilai faktor keamanan lebih besar atau sama dengan 1,8.

$$FK_{ts} = \frac{T_{max}}{An \cdot fy} \dots \dots \dots (2.5)$$

c. Stabilitas Terhadap Bahaya Cabut (SFtc)

Tahanan cabut terjadi pada bagian *nail* di belakang bidang longsor. Nilai dari tahanan cabut dan perhitungan faktor keamanan dapat dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$R_{po} = \pi Ca D L_p \dots \dots \dots (2.6)$$

$$FK_{po} = \frac{R_{po}}{T_{max}} \dots \dots \dots (2.7)$$

Keterangan:

- R_{po} : Tahanan cabut
- Ca : Tahanan friksi
- Cu : Kohesi tak terdrainase
- $\sigma'v$: Tekanan overburden efektif
- Ks : Koefisien tekanan tanah
- $\varnothing a$: Sudut geser tanah grout
- \varnothing' : Sudut geser dalam tanah efektif
- D : Diameter lubang bor
- L_p : Panjang nail di belakang bidang gelincir

Nail bar dinyatakan aman apabila nilai faktor keamanan terhadap cabut lebih besar atau sama dengan 2.

d. Analisis Stabilitas Global

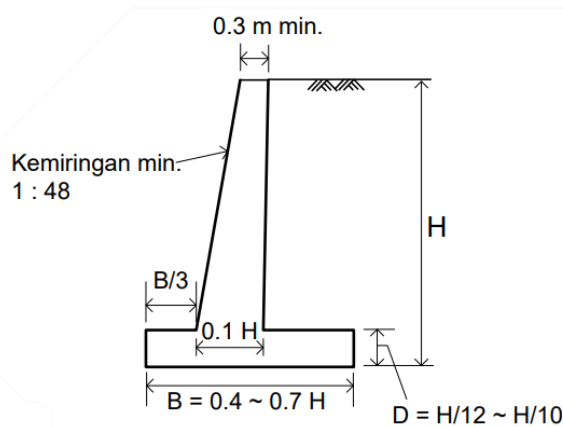
Berdasarkan SNI 8460-2017 Persyaratan Perancangan Geoteknik (2017), soil nailing tergolong aman jika faktor keamanan lebih besar atau sama dengan 1,5. Jika nilai dari faktor keamanan kurang dari minimal, maka *soil nailing* berkemungkinan untuk mengalami longsor. Perkuatan yang direncanakan pada lereng harus aman terhadap keruntuhan global yang dapat di hitung dengan rumus pada persamaan berikut.

$$FK = \frac{c Lf + (W+Q) \cos \alpha + \sum T \sin (a+i) - \sum V \cos (a+i) \tan \phi}{(W+Q) \sin \alpha - \sum V \sin (a+i)} \dots \dots \dots (2.8)$$

2.3 Perkuatan Lereng dengan Dinding Penahan Tanah (DPT) Kantilever

Perencanaan DPT kantilever berpedoman pada SNI 8460-2017 Persyaratan Perancangan Geoteknik (2017). Dinding penahan tanah tipe kantilever terbuat dari beton bertulang sehingga dimensi stem dan base slab relatif tipis. Dinding ini mengandalkan bobotnya sendiri serta bobot massa tanah yang berada di atas *base slab* untuk menjaga stabilitasnya. Dinding ini dipilih karena cocok untuk menahan tanah sampai ketinggian 8 meter.

Penentuan dimensi dari dinding penahan tanah merupakan tahapan awal dalam perancangan, yang kemudian dilanjutkan dengan analisis kestabilan. Pada Gambar 2.4 disajikan persyaratan dimensi dari dinding penahan tanah kantilever.



Gambar 2. 4 Kriteria Perencanaan DPT Kantilever (Sumber: SNI 8460:2017)

Setelah dilakukan penentuan dimensi, tahap yang selanjutnya adalah pemeriksaan stabilitas terhadap faktor keamanan. Apabila DPT memenuhi semua faktor keamanan yang diisyaratkan, maka DPT tersebut dapat dibangun. Sedangkan jika DPT tidak memenuhi faktor keamanan, maka diperlukan penyesuaian dimensi DPT atau penambahan tipe perkuatan yang lainnya.

Pada SNI 8460-2017 Persyaratan Perancangan Geoteknik (2017) dijelaskan bahwa DPT harus memenuhi faktor keamanan sebagai berikut.

- a. Faktor keamanan terhadap guling ≥ 2

Persamaan yang digunakan dalam perhitungan faktor keamanan terhadap guling adalah sebagai berikut.

$$SF_{gl} = \frac{\Sigma MR}{Mo} \dots\dots\dots(2.9)$$

- b. Faktor keamanan terhadap geser lateral $\geq 1,5$

Persamaan yang digunakan dalam perhitungan faktor keamanan terhadap geser lateral adalah sebagai berikut

$$SF_{gs} = \frac{\Sigma RH}{\Sigma PH} = \frac{\Sigma V \times \tan(\frac{2}{3}\phi) + (B \times \frac{2}{3} \times c) + Pp}{Pa} \dots\dots\dots(2.10)$$

- c. Faktor keamanan terhadap daya dukung ≥ 3

Persamaan yang digunakan dalam perhitungan faktor keamanan terhadap daya dukung adalah sebagai berikut.

$$SF_{bc} = \frac{qu}{q_{max}} \dots\dots\dots(2.11)$$

Perhitungan qu memerlukan nilai *bearing capacity factor* (Nilai N_c , N_q , dan N_γ) yang bergantung pada nilai sudut geser tanah. Nilai *bearing capacity factor* dapat dilihat pada

Tabel 2. 2 Nilai N_c , N_q , dan N_γ

ϕ	N_c	N_q	N_γ	ϕ	N_c	N_q	N_γ
0	5.14	1.00	0.00	26	22.25	11.85	12.54
1	5.38	1.09	0.07	27	23.94	13.20	14.47
2	5.63	1.20	0.15	28	25.80	14.72	16.72
3	5.90	1.31	0.24	29	27.86	16.44	19.34
4	6.19	1.43	0.34	30	30.14	18.40	22.40
5	6.49	1.57	0.45	31	32.67	20.63	25.99
6	6.81	1.72	0.57	32	35.49	23.18	30.22

ϕ	Nc	Nq	Ny	ϕ	Nc	Nq	Ny
7	7.16	1.88	0.71	33	38.64	26.09	35.19
8	7.53	2.06	0.86	34	42.16	29.44	41.06
9	7.92	2.25	1.03	35	46.12	33.30	48.03
10	8.35	2.47	1.22	36	50.59	37.75	56.31
11	8.80	2.71	1.44	37	55.63	42.92	66.19
12	9.28	2.97	1.69	38	61.35	48.93	78.03
13	9.81	3.26	1.97	39	67.87	55.96	92.25
14	10.37	3.59	2.29	40	75.31	64.20	109.41
15	10.98	3.94	2.65	41	83.86	73.90	130.22
16	11.63	4.34	3.06	42	93.71	85.38	155.55
17	12.34	4.77	3.53	43	105.11	99.02	186.54
18	13.10	5.26	4.07	44	118.37	115.31	224.64
19	13.93	5.80	4.68	45	133.88	134.88	271.76
20	14.83	6.40	5.39	46	152.10	158.51	330.35
21	15.82	7.07	6.20	47	173.64	187.21	403.67
22	16.88	7.82	7.13	48	199.26	222.31	496.01
23	18.05	8.66	8.20	49	229.93	265.51	613.16
24	19.32	9.60	9.44	50	266.89	319.07	762.89
25	20.72	10.66	10.88				

(Sumber: Das. 2011)

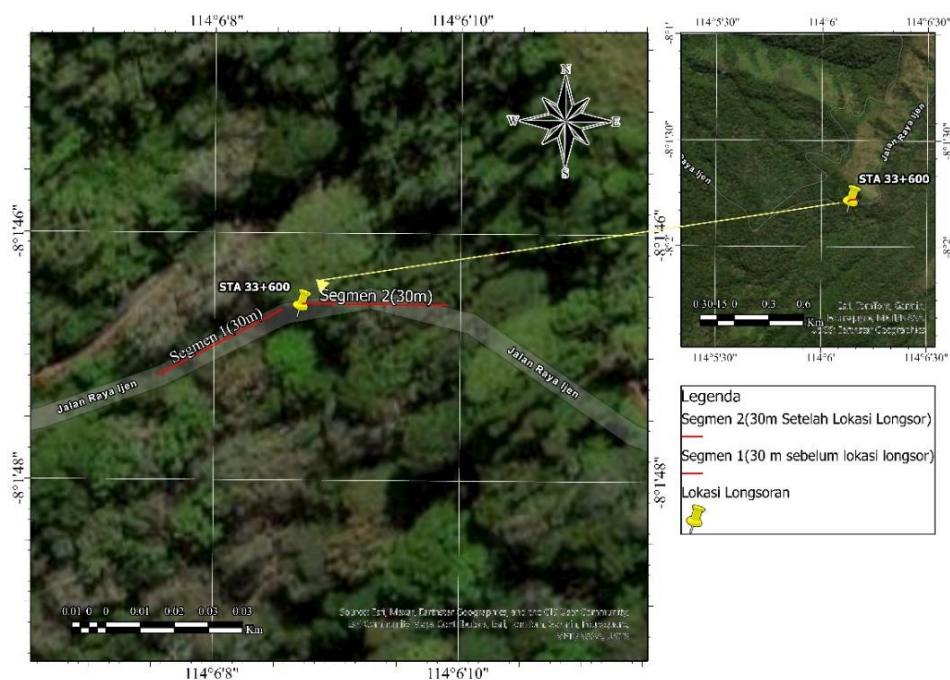
d. Faktor keamanan terhadap stabilitas global $\geq 1,5$

Dalam perhitungan faktor keamanan terhadap stabilitas global digunakan software pendukung berupa *SLOPE/W*. Perhitungan ini dilakukan untuk mengetahui *Safety Factor* (SF) dari setiap garis kelongsoran yang ada pada lereng lokasi penelitian.

BAB 3 METODE PENELITIAN

3.1. Lokasi Penelitian

Lokasi dari tugas akhir ini adalah pada ruas Jalan Kawah Ijen yang terletak di Desa Rejo Agung, Kecamatan Ijen, Kabupaten Bondowoso tepatnya pada koordinat $8^{\circ} 1' 45,6''$ S dan $114^{\circ} 6' 8,41''$ L. Daerah tersebut merupakan jalur menuju destinasi wisata Kawah Ijen yang berada pada STA 33+600 dari arah kabupaten Bondowoso. Lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.1



Gambar 3. 1 Lokasi Penelitian

3.2. Data Penelitian

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah yang didapatkan dari hasil pengukuran geometri lereng, pengambilan sampel tanah di lokasi penelitian, dan pengujian tanah di Laboratorium Mekanika Tanah Fakultas Teknik Universitas Jember.

3.3. Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian ini terdiri dari tiga tahapan, yaitu:

3.3.1. Tahapan Persiapan

Pada tahap persiapan penelitian terdiri atas beberapa proses, yaitu:

a. Identifikasi dan perumusan masalah

Setelah menemukan suatu gap dalam suatu fenomena, dilanjutkan identifikasi terkait fenomena yang terjadi tersebut. Setelah diidentifikasi, dilanjutkan dengan penyusunan rumusan masalah dari fenomena yang ada.

b. Studi Literatur

Setelah mengidentifikasi permasalahan yang ada dilanjutkan dengan membaca beberapa literatur yang berkaitan dengan permasalahan yang akan diteliti.

3.3.2. Tahapan Pengumpulan dan Pengolahan Data

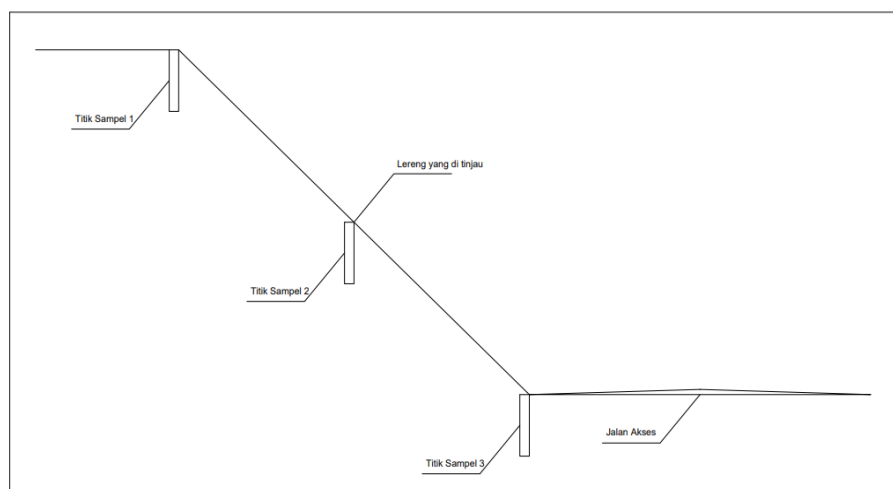
Pada tahap ini terdiri atas beberapa proses, yaitu:

a. Pengumpulan data

Data diperoleh dengan cara pengambilan langsung di lapangan, seperti dokumentasi lokasi penelitian, pengukuran geometri lereng, dan pengambilan sampel tanah yang kemudian akan dilakukan uji laboratorium.

b. Pengambilan Sampel Tanah

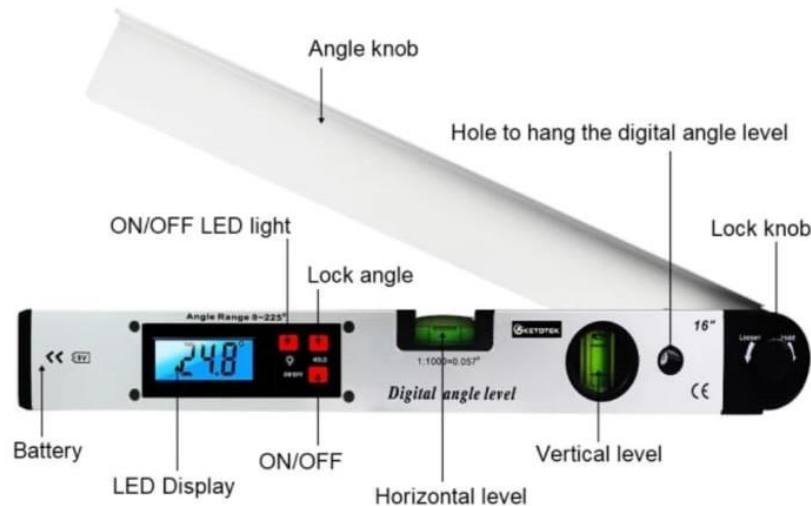
Pengambilan sampel tanah dilapangan dilakukan untuk memberikan gambaran tentang tanah yang ada di lokasi penelitian. Pengambilan sampel tanah dilakukan di tiga titik pengambilan sampel tanah seperti pada Gambar 3.2. Pengambilan sampel di titik tersebut dapat mewakili data tanah yang ada disekitarnya dengan panjang segmen 60 m dari titik pengambilan sampel.(FHWA GEC-007,2003)



Gambar 3. 2 Titik Pengambilan Sampel Tanah

c. Pengukuran Geometri Lereng

Pengukuran geometri lereng dilakukan dengan metode perhitungan manual dengan alat bantu tali, meteran, tongkat dan *digital angle ruler*. Alat bantu tali dan meteran digunakan untuk mengukur panjang sisi miring lereng. Untuk pengukuran geometri sudut lereng digunakan alat bantu tongkat dan *digital angle ruler*.



Gambar 3. 3 Digital Angle Ruler

d. Pengujian Laboratorium

Sampel tanah yang telah diambil kemudian diuji beberapa sifat fisik dan mekaniknya sesuai dengan Standar Nasional Indonesia (SNI) yang berlaku sebagai berikut.

- 1) Analisis saringan.....(SNI 03-1968-1990)
- 2) Berat isi(SNI 03-3637-1994)
- 3) Kadar air.....(SNI 1965:2008)
- 4) Kuat geser.....(SNI 2813:2008)
- 5) Berat jenis.....(SNI 1964:2008)
- 6) Indeks Plastisitas Tanah.....(SNI 1966:2008)

e. Pengolahan data

Data berupa sampel tanah yang kemudian diuji di laboratorium kemudian diolah untuk memperoleh nilai parameter tanah menggunakan persamaan empiris dan grafik. Sedangkan data berupa sketsa geometri lereng disalin menggunakan

program *AUTOCAD* untuk mendapatkan nilai dimensi yang lebih akurat dan mempermudah untuk proses analisis selanjutnya.

3.3.3. Analisis Stabilitas Sebelum Diberikan Perkuatan

Setelah didapatkan data parameter tanah dan geometri lereng, dilanjutkan dengan analisis kondisi lereng eksisting setelah terjadi longsor. Analisa ini menggunakan program bantu *SLOPE/W* dengan metode *Bishop*. Dengan menggunakan software *Slope/W* parameter kekuatan c dan ϕ tidak dibedakan dalam kondisi tegangan total dan tegangan efektif, karena semua tegangan diasumsikan efektif (Salween *et al.*, 2016). Di antara metode irisan lainnya, metode *bishop* yang disederhanakan merupakan metode yang paling populer dalam analisis kestabilan lereng (Hasibuan & Heriyadi, 2020). Gaya antar irisan vertikal pada sisi setiap irisan diperhitungkan sedangkan gaya horizontal antar irisan diabaikan (Arukonda *et al.*, 2015).

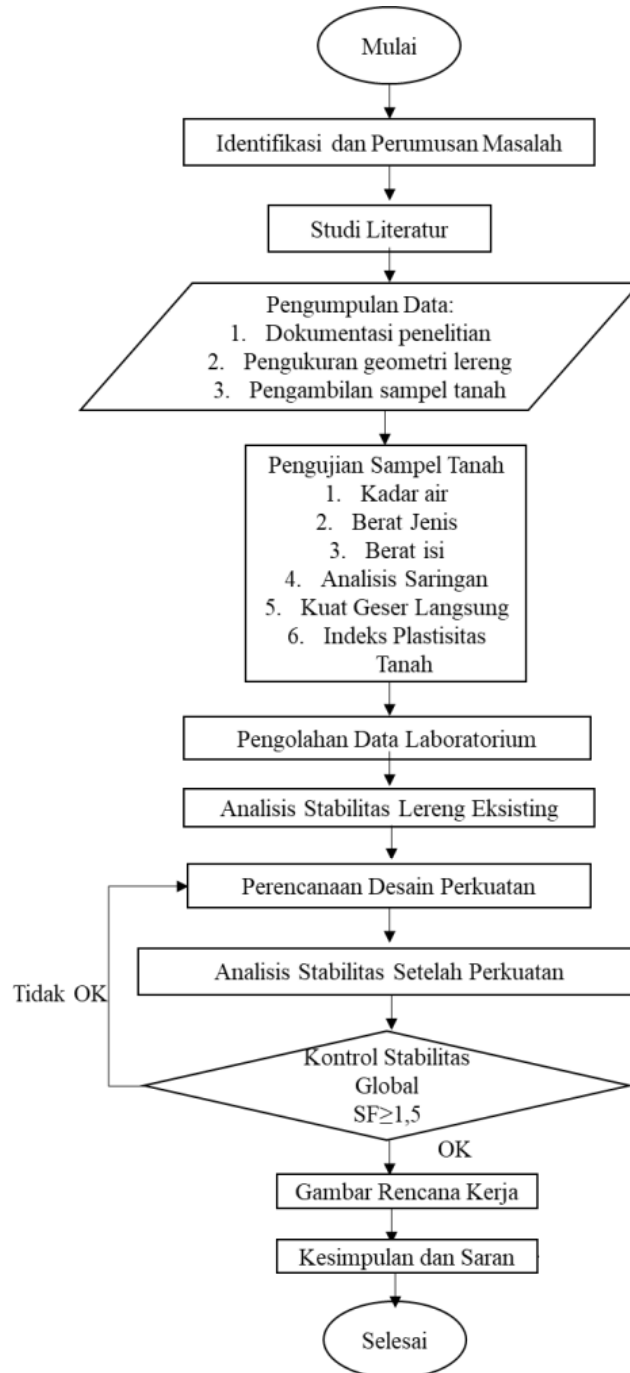
3.3.4. Perencanaan Desain Perkuatan Yang Stabil

Setelah diketahui bahwa lereng berpotensi untuk mengalami kelongsoran, maka direncanakan perbaikan yang sesuai di lokasi tersebut. Tahapan ini meliputi perencanaan jenis perkuatan yang dipilih, dimensi, jarak, lokasi peletakan, serta material penyusun dari perkuatan tersebut. Perencanaan ini mengacu pada SNI 8460:2017 tentang Persyaratan Perancangan Geoteknik.

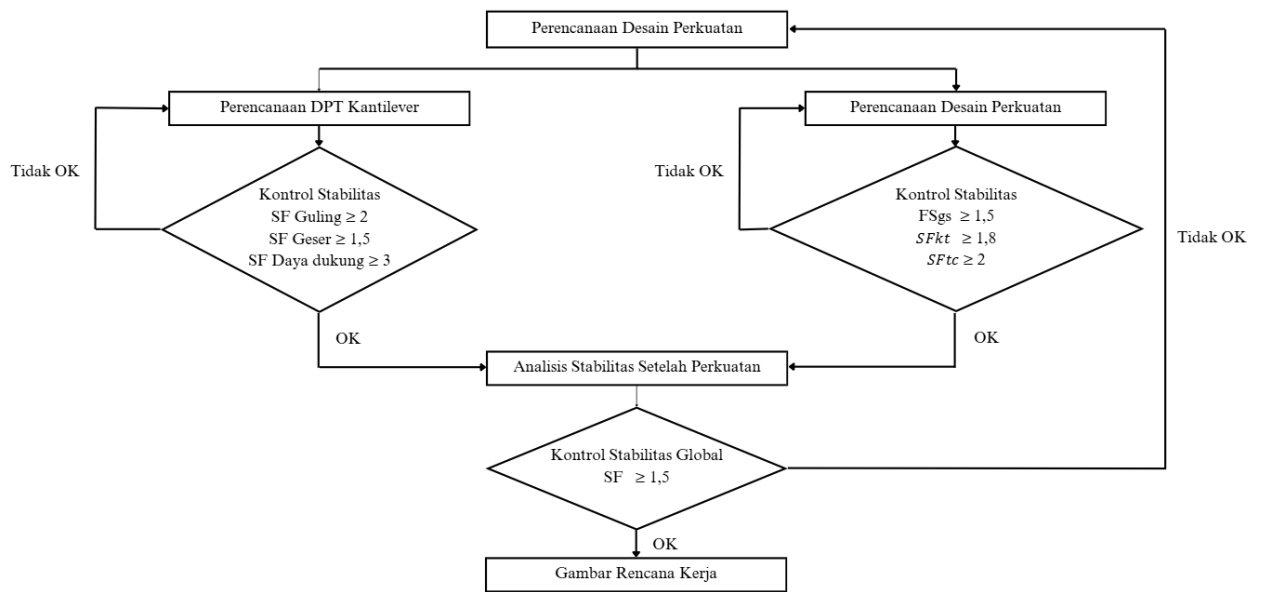
3.3.5. Analisis Stabilitas Setelah Diberikan Perkuatan

Setelah diperbaiki, jalan perlu dianalisis kembali untuk memastikan bahwa nilai faktor keamanan sudah memenuhi. Perbaikan direncanakan diharapkan mampu menahan gaya yang bekerja juga stabil terhadap stabilitas internal maupun stabilitas eksternal.

Berikut disajikan tahap prosedur penelitian yang disajikan dalam diagram alir penelitian pada gambar Gambar 3.4 dan Gambar 3.5 yang memberikan penjelasan mengenai alur perencanaan perkuatan.



Gambar 3. 4 Diagram Alir Penelitian

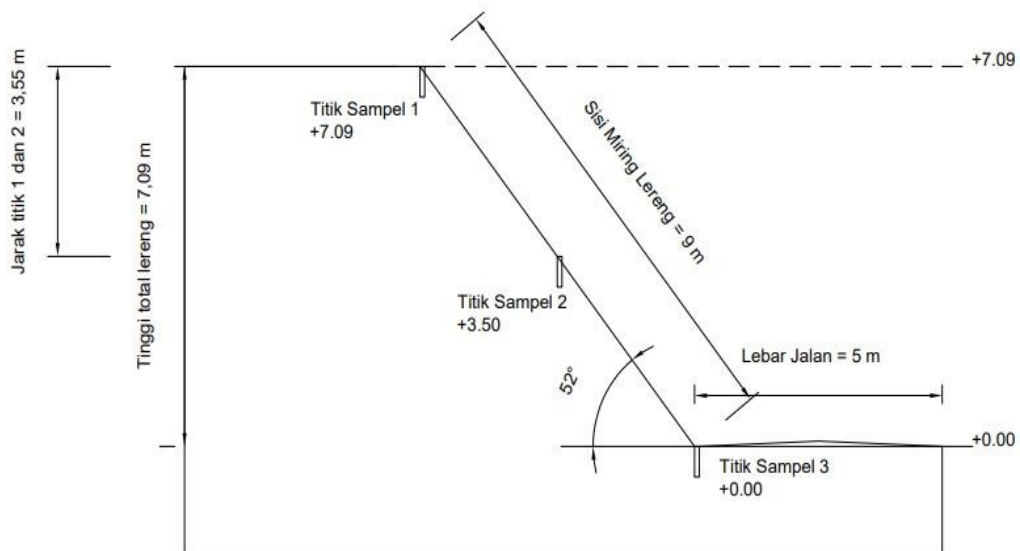


Gambar 3. 5 *Flow Chart* Perencanaan Desain Perkuatan

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Lokasi Pengambilan Sampel Tanah

Pengambilan sampel Tanah dilakukan pada titik STA 33 + 600 Jalan Kawah Ijen. Sampel tanah diambil secara melintang untuk mengetahui karakteristik tanah pada lokasi kejadian longsoran. Titik pengambilan sampel dapat dilihat pada gambar 4.1. Pada Gambar 4.1 elevasi 0,00 m diukur dari bahu jalan dan ketinggian puncak lereng pada elevasi +7,09 m.



Gambar 4. 1 Geometri Lereng

Pengukuran geometri lereng dimulai dengan bantuan tali yang di hamparkan dari titik sampel 1 dan sampel 3 untuk mengetahui panjang sisi miring lereng. Kemudian bentangkan tali dari titik sampel 3 ke ujung jalan untuk mengetahui lebar jalan di depan lereng tersebut. Pengukuran dilanjutkan dengan mengukur sudut lereng menggunakan alat seperti pada Gambar 3. 3 Digital Angle Ruler yang diletakkan pada titik sampel 3. Adapun ketinggian lereng vertikal di hitung menggunakan rumus *sinus* dari sudut lereng yang sudah didapatkan dari pengukuran. Setelah itu, pengambilan sampel dimasing-masing titik dilakukan untuk kedalam 0,8 m menggunakan pipa untuk di uji laboratorium.

4.2 Hasil Pengujian Laboratorium

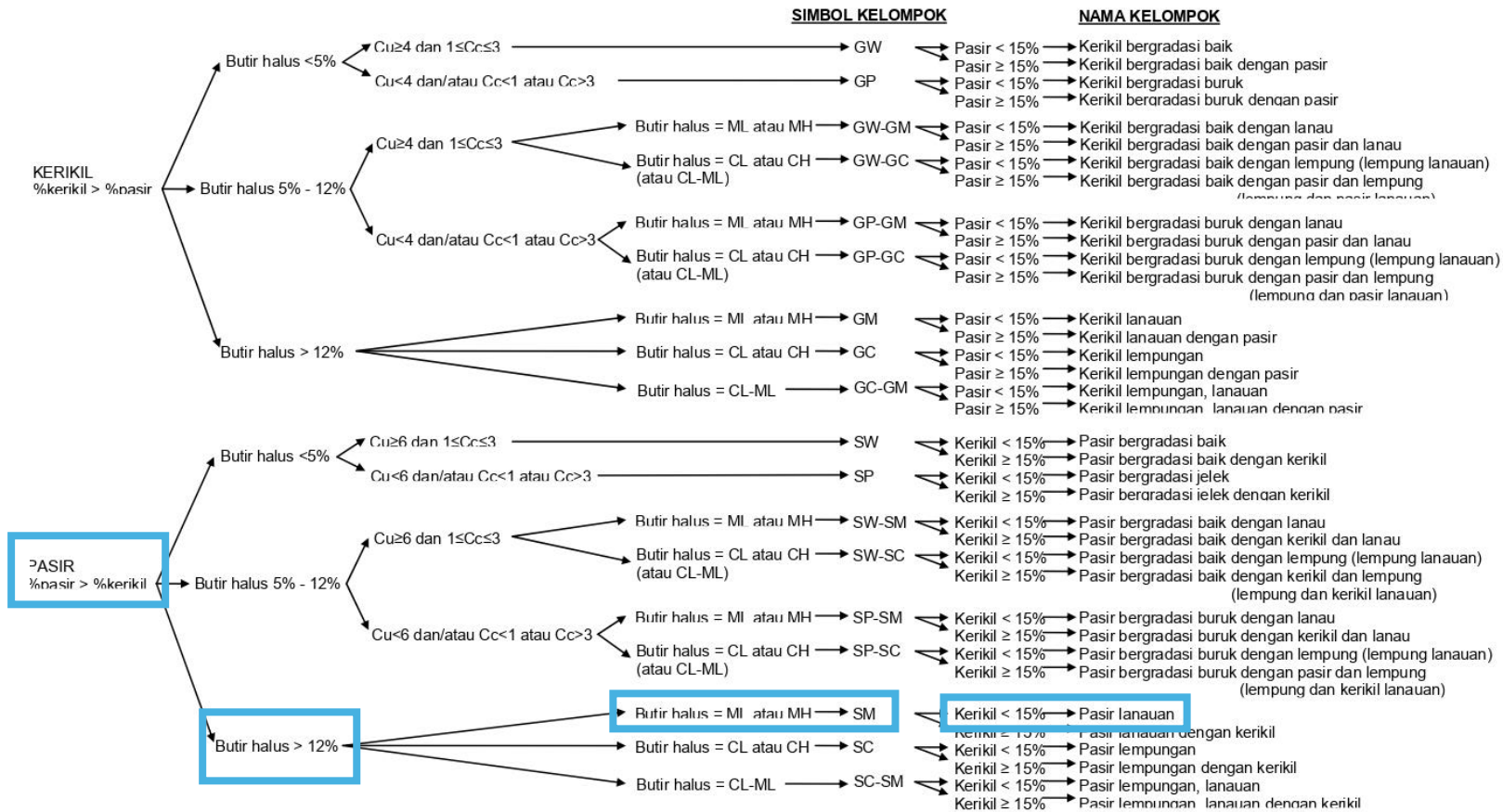
Pengujian laboratorium dilakukan untuk memperoleh data fisik dan mekanik tanah, yang akan menjadi dasar dalam analisis dan perencanaan perbaikan lereng. Pengujian sifat fisik tanah bertujuan untuk memperoleh parameter terkait ukuran, bentuk, dan warna tanah. Sementara itu, pengujian sifat mekanik bertujuan untuk mendapatkan parameter tanah setelah menerima gaya atau tekanan tertentu. Pengujian sifat fisik tanah meliputi analisis saringan, pengukuran berat isi, kadar air, berat jenis, dan indeks plastisitas tanah. Untuk sifat mekanik tanah, parameter yang diuji adalah kuat geser tanah. Detail perhitungan untuk masing-masing pengujian dapat dilihat di Lampiran 1. Rekapitulasi hasil pengujian dari ketiga titik pengambilan sampel tanah dirangkum dalam Tabel 4. 1 Rekapitulasi Hasil Pengujian Laboratorium Tanah dan selanjutnya akan diinput ke dalam perangkat lunak *SLOPE/W*.

Tabel 4. 1 Rekapitulasi Hasil Pengujian Laboratorium Tanah

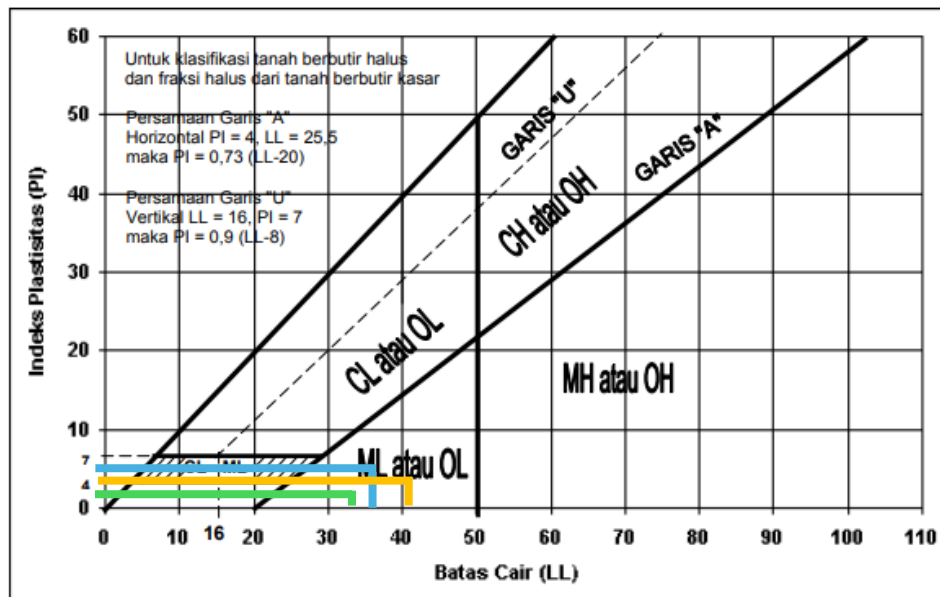
No Sampel	Jenis Tanah	Wc (%)	γ (kN/m ³)	c (kN/m ²)	ϕ (°)	Gs	Batas Atterberg			Distribusi Ukuran Butiran (%)	
							LL	PL	PI	Sand	Silt and Clay
1	SM (Pasir Lanauan)	19.72	17.72	15.24	47.88	2.60	34.23%	32.14%	2.09%	69.80	30.20
2	SM (Pasir Lanauan)	22.89	18.17	13.23	38.53	2.65	39.04%	33.00%	6.04%	66.20	33.80
3	SM (Pasir Lanauan)	21.00	17.85	14.08	36.13	2.61	42.54%	38.48%	4.05%	67.40	32.60
Rerata		21.20	17.91	14.18	40.85	2.62	39%	35%	4%	67.8	32.2

(Sumber : Hasil Uji Laboratorium(2024))

Seluruh data parameter tanah yang diperoleh digunakan untuk mengidentifikasi jenis tanah sesuai klasifikasi yang ditetapkan. Proses klasifikasi ini dilakukan berdasarkan standar SNI 6371-2015 tentang Tata Cara Pengklasifikasian Tanah untuk Keperluan Teknik menggunakan Sistem Klasifikasi Unifikasi Tanah. Berdasarkan hasil analisis saringan untuk sampel tanah 1, 2, dan 3, diperoleh hasil bahwa persentase tanah yang lolos saringan No. 200 lebih dari 50%. Oleh karena itu, panduan untuk menentukan jenis tanah tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.2 dan 4.3.



Gambar 4. 2 Bagan untuk pengklasifikasian tanah lolos ayakan No.200 diatas 50%



Gambar 4. 3 Grafik LL dan PI

(Sumber : SNI 6371-2015 tentang Tata Cara Pengklasifikasian Tanah untuk Keperluan Teknik menggunakan Sistem Klasifikasi Unifikasi Tanah)

Keterangan :

Garis berwarna hijau : Sampel tanah pertama

Garis berwarna biru : Sampel tanah kedua

Garis berwarna orange : Sampel tanah kedua

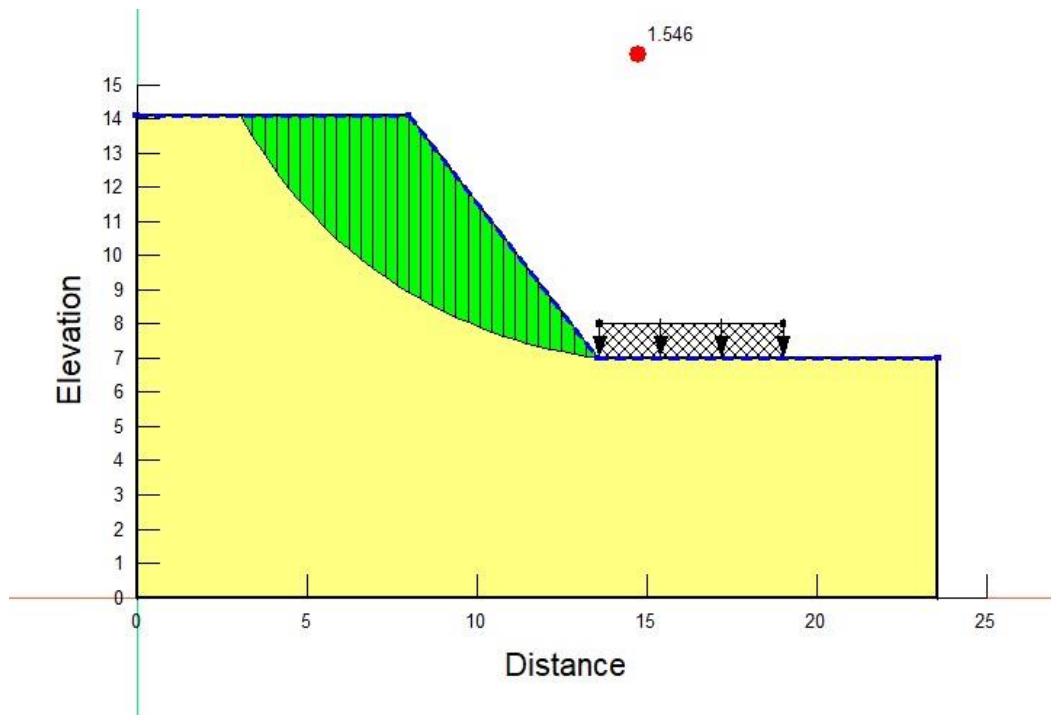
Berdasarkan hasil pengujian laboratorium data tanah 1,2, dan 3 memiliki parameter tanah memiliki standar deviasi yang kecil. Standar deviasi (SD) yang rendah mengindikasikan bahwa nilai-nilai parameter tersebut tersebar dekat dengan nilai rata-rata, sehingga penggunaan nilai rata-rata dapat mewakili kondisi tanah secara keseluruhan dengan akurat. Berdasarkan perhitungan, nilai rata-rata dan standar deviasi dari data tanah adalah sebagai berikut: sudut geser dalam (ϕ): $40,85^\circ$ (SD = 6,33), kohesi (c): $14,18 \text{ kN/m}^2$ (SD = 1,01), dan berat isi (γ): $17,91 \text{ kN/m}^3$ (SD = 0,23). Sebagai contoh, dalam penelitian yang dilakukan oleh Sylvina Permatasari (2018), nilai rata-rata dan standar deviasi dari parameter tanah digunakan untuk menentukan nilai standar atau acuan dalam analisis geoteknik. Selain itu, Panduan Geoteknik 4 dari Ditjen Bina Marga menyebutkan bahwa analisis data untuk masing-

masing nilai indeks dan parameter tanah untuk desain harus dilakukan dengan mempertimbangkan sebaran nilai-nilai yang didapat, yang berkisar $\pm 25\%$ dari harga rata-rata. Oleh karena itu, jika standar deviasi dari parameter tanah yang diukur kecil, penggunaan nilai rata-rata dalam perancangan geoteknik dapat diterima dan dianggap representatif untuk kondisi lapangan. Sehingga pemodelan nantinya dilakukan dengan mengasumsikan tanah memiliki lapisan homogen.

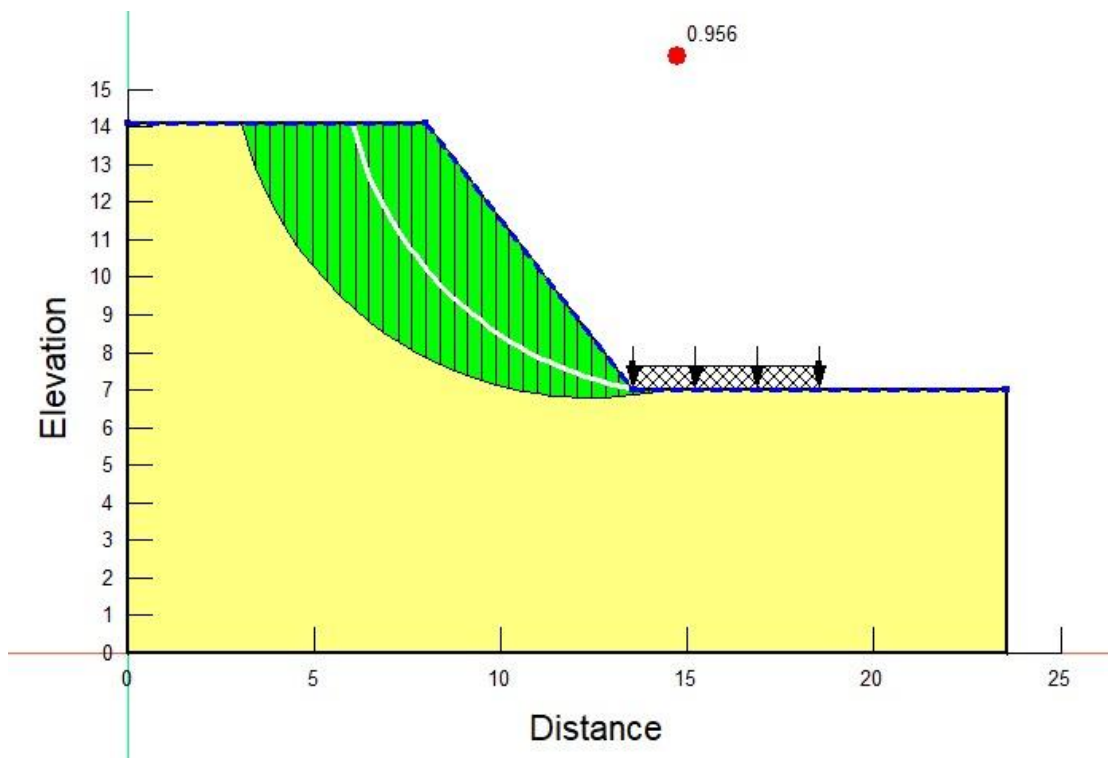
4.3 Analisa Stabilitas Kondisi Eksisting (Sebelum Longsor)

Proses pemodelan lereng dimulai dengan mengimpor data geometri lereng dari AutoCAD untuk memastikan kesesuaian bentuk dan ukuran lereng eksisting dalam model. Setelah itu, parameter-parameter penting tanah diinput ke dalam perangkat lunak analisis stabilitas lereng, yaitu *SLOPE/W*, yang meliputi sudut geser dalam tanah (ϕ), berat isi tanah (γ), dan kohesi tanah (c). Pemodelan lereng eksisting dilakukan pada dua kondisi, yaitu kondisi tanah jenuh (*saturated*) dan kondisi tanah tidak jenuh (*unsaturated*), untuk melihat perbedaan stabilitas lereng dalam setiap kondisi tersebut.

Pemodelan lereng pada kondisi jenuh dilakukan untuk memodelkan tanah eksisting ketika kondisi jenuh karena hujan pada saat kejadian longsor berlangsung. Sedangkan pemodelan tidak jenuh dilakukan karena pada saat pengambilan sampel di lapangan tidak di temukan muka air tanah pada kedalaman sampel yang di ambil. Simulasi ini bertujuan untuk mengidentifikasi garis kelongsoran yang berpotensi terjadi pada lereng dengan mempertimbangkan variabel-variabel tersebut. Pada akhir pemodelan, analisis dilakukan untuk menentukan nilai. Gambar 4.4 menunjukkan hasil pemodelan lereng eksisting dengan kondisi tidak jenuh dengan hasil nilai SF sebesar 1,546 yang menandakan lereng tidak mengalami kelongsoran pada kondisi tidak jenuh. Gambar 4.5 menunjukkan hasil pemodelan lereng eksisting dengan kondisi jenuh dengan hasil nilai SF sebesar 0,956 yang berarti lereng tersebut mengalami kelongsoran. Sehingga garis kelongsoran dari kondisi jenuh ini yang digunakan untuk dasar perencanaan.



Gambar 4. 4 Pemodelan longsor eksisiting dalam kondisi tidak jenuh



Gambar 4. 5 Pemodelan longsor eksisiting dalam kondisi jenuh

4.4 Perencanaan Perkuatan Lereng Menggunakan *Soil Nailing*

4.4.1 Data Tanah dan Spesifikasi *Soil Nailing*

a. Spesifikasi *Soil Nailing*

Perencanaan Perkuatan *soil nailing* direncanakan dengan mengacu pada keadaan jenuh dengan mempertahankan bentuk geometri lereng aslinya. Perencanaan *soil nailing* mengacu pada SNI 8460:2017. Berikut spesifikasi *Soil Nailing* yang digunakan:

- Tipe pemasangan *soilnailing* = *Drilled and Grouted*
- Ketinggian perkuatan rencana (H) = 7,09 m
- Jarak horizontal *nail bars* (Sh) = 1,5 m
- Jarak vertikal *nails bars* (Sv) = 1,5 m
- Material *nail bars* (Fy) = 420 Mpa
- Material beton *grouting* (fc) = 20
- Beban di atas lereng (Qt) = 0 kN

b. Data Tanah di yang diperkuat dengan *Soil Nailing*

Tanah yang digunakan dalam metode *soil nailing* adalah jenis pasir berlanau yang diperkuat. Berdasarkan standar SNI 8460:2017, tanah tersebut harus mampu mempertahankan posisi tegak tanpa dukungan tambahan hingga ketinggian 1–2 meter dalam rentang waktu 1–2 hari. Kemampuan ini penting untuk memastikan proses pemasangan soil nails dan penerapan beton semprot dapat dilakukan dengan lancar dan tanpa risiko runtuhnya struktur sementara tanah selama pekerjaan berlangsung. Data tanah yang digunakan untuk perencanaan ini adalah sebagai berikut :

- Sudut geser (ϕ) = 40,85 °
- $\mu = (2/3\phi)$ = 0,515
- Berat isi tanah jenuh (γ_{sat}) = 20,071 kN/m³
- Tekanan tanah lateral(Ka) = 0,457
- Kohesi (c) = 14,185 kN/m²

- Berat isi air (γ_{air}) = 9,81 kN/m³

4.4.2 Preliminary Design Soil Nailing

Preliminary design atau desain awal merupakan tahapan penting dalam perencanaan soil nailing untuk memastikan stabilitas lereng sebelum implementasi dilakukan. Tahapan ini mencakup estimasi awal parameter desain seperti dimensi paku tanah (*nail*), jarak antar *nail*, sudut pemasangan, dan parameter kekuatan tanah. Perhitungan preliminary design bertujuan untuk memberikan gambaran awal terhadap kebutuhan struktur perkuatan lereng serta memenuhi kriteria keamanan lereng. Berikut merupakan perhitungan *preliminary design soil nailing* :

- a. Gaya aksial maksimum (T_{max})

Pada tahap *preliminary design soil nailing*, salah satu parameter utama yang perlu diperhitungkan adalah gaya aksial maksimum (T_{max}), yang merupakan gaya terbesar yang bekerja pada paku tanah (*soil nail*) akibat beban tanah, tekanan lateral, dan faktor lingkungan lainnya. Gaya ini dihitung menggunakan rumus berikut:

$$T_{\text{max}} = K_a \times (Q_T + \gamma_{\text{sat}} \times H) \times S_h \times S_v$$

$$T_{\text{max}} = 0,457 \times (0 + 20,07 \times 7,09) \times 1,5 \times 1,5$$

$$T_{\text{max}} = 146,414 \text{ kN}$$

- b. Kebutuhan diameter *nail bars* (d_{nb})

Diameter ini merupakan ukuran penting yang harus memenuhi kekuatan tarik maksimum yang terjadi pada paku tanah. Pemilihan diameter *nail bars* didasarkan pada nilai T_{max} , sifat material nail bars, dan faktor keamanan yang diterapkan. Berikut perhitungan untuk pemilihan diameter *nail bars*:

$$A_{t \text{ butuh}} = \frac{T_{\text{max}} \times FST}{F_y}$$

$$A_{t \text{ butuh}} = \frac{146.414 \times 1,8}{420}$$

$$A_{t \text{ butuh}} = 627,489 \text{ mm}^2$$

Ketersediaan diameter pada tabel baja ulir yang tersedia, dipilih diameter *nail bars* (dnb) sebesar 32 mm dengan luas penampang nail bars (A_t pakai) :

$$A_{t_{pakai}} = 1/4 \times \pi \times (dnb)^2$$

$$A_{t_{pakai}} = 1/4 \times \pi \times (32)^2$$

$$A_{t_{pakai}} = 804,25 \text{ mm}^2$$

$$A_{t_{pakai}} \geq A_{t_{butuh}}$$

$$804,25 \text{ mm}^2 \geq 627,489 \text{ mm}^2 (\text{Aman})$$

c. Menentukan Panjang *Nail Bar* (L) dan Diameter Lubang Bor (Ddh)

Panjang *nail bar* ditentukan berdasarkan nilai ketinggian lereng yang dipersyaratkan untuk memastikan stabilitas lereng. Panjang tersebut harus dirancang sedemikian rupa sehingga dapat memotong garis kelongsoran secara efektif, memastikan kontribusi nail bar terhadap kekuatan geser tanah. Selain itu, panjang yang digunakan harus berada dalam rentang L.min dan L.max sehingga memenuhi kriteria desain teknis dan keamanan struktur. Berikut merupakan perhitungan untuk mencari nilai L.min dan L.max:

$$L_{min} \text{ nail bars} = 0,6 \times H = 0,6 \times 7,09 = 4,254 \text{ m}$$

$$L_{max} \text{ nail bars} = 1,2 \times H = 1,2 \times 7,09 = 8,508 \text{ m}$$

$$L_{pakai} = 8 \text{ m}$$

Diameter Lubang Bor Sesuai dengan SNI 8460:2017 untuk *drilled and grouted soil nailing*, tipikal diameter lubang bor bervariasi dari 100 mm – 200 mm, maka perencanaan menggunakan diameter lubang bor (Ddh) sebesar 200 mm.

d. Menghitung *Tensile Capacity*(R_n) dan *Pull-Out Resistance*(R_c)

Tensile capacity dihitung dengan mengalikan luas penampang nail bar dengan mutu baja atau tegangan lelehnya. Sementara itu, *pull-out capacity* dihitung untuk mengevaluasi kemampuan nail bar dalam menahan gaya tarik yang terjadi melalui interaksi antara permukaan *nail bar* dengan tanah atau material sekitarnya. Kedua kapasitas ini dianalisis secara menyeluruh untuk memastikan nail bar mampu

mendukung stabilitas struktur secara optimal. Berikut perhitungan untuk *Tensile Capacity*(R_n) dan *Pull-Out Resistance*(R_c) dari nail bar yang digunakan:

$$R_n = A_t \text{ pakai } \times f_y = 804,25 \times 0,4 = 337,784 \text{ kN}$$

$$R_c = \frac{1}{2} \times R_n = \frac{1}{2} \times 337,784 = 168,892 \text{ kN}$$

4.4.3 Perhitungan Stabilitas Internal *Soil Nailing*

Perhitungan stabilitas internal dilakukan dengan meninjau kekuatan internal nail bar yang digunakan, yaitu dengan mengevaluasi tiga potensi kegagalan utama yaitu kegagalan geser, kegagalan tarik, dan kegagalan cabut (*pull-out*). Kegagalan geser dianalisis berdasarkan kemampuan nail bar menahan gaya geser yang bekerja, kegagalan tarik ditinjau melalui kapasitas tarik maksimal nail bar yang dihitung menggunakan luas penampang dan mutu baja, sedangkan kegagalan cabut dievaluasi dari interaksi antara permukaan nail bar dengan tanah untuk memastikan daya lekatnya mencukupi. Analisis ini memastikan *nail bar* mampu mendukung stabilitas lereng secara optimal.

a. Faktor keamanan bahaya pergeseran (*SF_{gs}*)

Analisis stabilitas terhadap bahaya geser dilakukan dengan mengevaluasi kemampuan sistem *soil nailing* dalam menahan tekanan lateral aktif yang terjadi pada lereng. Faktor keamanan bahaya pergeseran dihitung sebagai perbandingan antara kapasitas geser total sistem dengan gaya geser maksimum yang bekerja. Sesuai dengan SNI 8460:2017, nilai faktor keamanan minimum yang harus dipenuhi untuk bahaya pergeseran adalah 1,5 sebagai syarat untuk menjamin keamanan dan stabilitas struktur. Berikut perhitungan untuk mengetahui Faktor keamanan bahaya pergeseran:

$$P_a = \left(\frac{1}{2} \times \gamma' \times H^2 \times K_a \right) + \left(\frac{1}{2} \times \gamma_w \times H^2 \right) - (c \times H \times \sqrt{K})$$

$$P_a = \left(\frac{1}{2} \times (20,07 - 9,81) \times 7,09^2 \times 0,457 \right) + \left(\frac{1}{2} \times 9,81 \times 7,09 \right) - (14,19 \times 7,09 \times 0,457)$$

$$P_a = 409,238 \text{ kN}$$

Panjang Bidang Gelincir (BL) = 14,57 m (dari AutoCAD)

Perhitungan dilanjutkan dengan menghitung berat dari tanah yang tertahan di atas *nail bars* seperti pada Tabel 4. 2 Berat Tanah yang tertahan pada Nail Bar

Tabel 4. 2 Berat Tanah yang tertahan pada *Nail Bar*

Depth (m)	L pakai (m)	Sv (m)	W = $\gamma_{\text{sat}} \times L_{\text{Pakai}} \times Sv$ (kN)
1,5	8,000	1,5 m	240,85
3,0	8,000	1,5 m	240,85
4,5	8,000	1,5 m	240,85
6,0	8,000	1,5 m	240,85
7,5	8,000	1,5 m	240,85
9,0	8,000	1,5 m	240,85
W.total =			1445,09

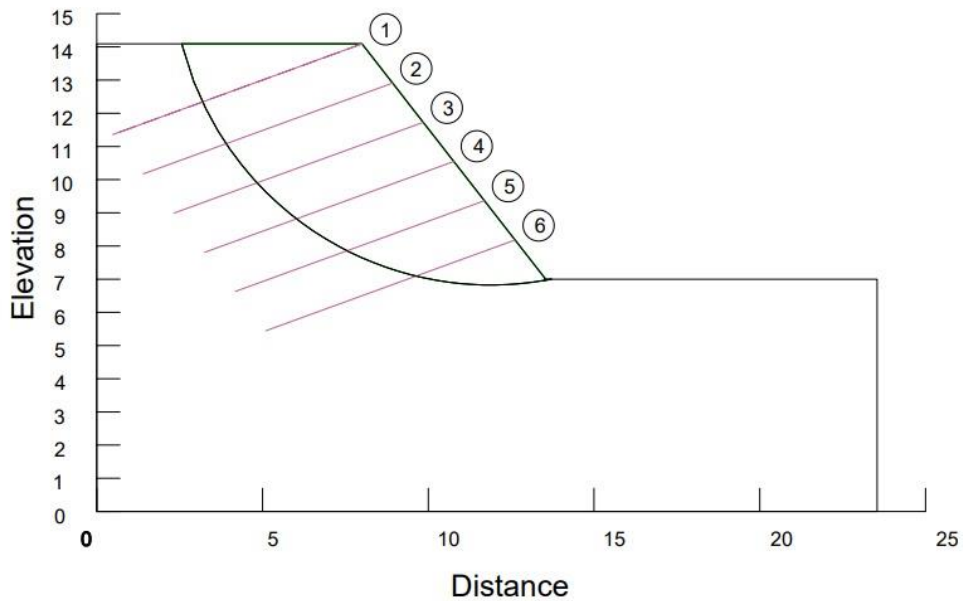
$$SF_{gs} = \frac{(c \times BL) + (W + Pa \times \sin \phi) \times \tan \phi}{Pa \times \cos \phi}$$

$$SF_{gs} = \frac{(14,19 \times 14,57) + (1445,09 + Pa \times \sin 40,85) \times \tan 40,85}{409,238 \times \cos 40,85}$$

$$SF_{gs} = 6,084 > 1,5 \text{ (Aman)}$$

b. Faktor keamanan kegagalan kuat tarik (SF_{kt})

Analisis ini bertujuan untuk memastikan bahwa nail bar memiliki kapasitas tarik yang mencukupi untuk menahan gaya yang terjadi tanpa mengalami kegagalan, seperti patah pada area bidang longsor. Apabila kapasitas tarik tidak memadai, risiko kegagalan struktural meningkat, khususnya pada bidang longsor. Sesuai dengan SNI 8460:2017, faktor keamanan minimum yang harus dipenuhi untuk mencegah kegagalan kuat tarik adalah 1,8. Jumlah *nail bars* yang digunakan adalah sebanyak 6 yang di peroleh dari proses *trial and eror* dan letak *nail bars* untuk perkuatan lereng dapat dilihat pada Gambar 4. 6 Titik Pemasangan *Nail Bar*



Gambar 4. 6 Titik Pemasangan *Nail Bar*

Contoh perhitungan nail bars No. = 6

Kedalaman nails bars (Z) = 8,83 m

$$T_{max} = K_a \times (\gamma_{sat} \times z) \times S_h \times S_v$$

$$T_{max} = 0,457 \times (20,07 \times 8,33) \times 1,5 \times 1,5$$

$$T_{max} = 172,02 \text{ kN}$$

$$SF_{kt} = \frac{R_n}{T_{max}}$$

$$SF_{kt} = \frac{337,784}{172,02}$$

$$SF_{kt} = 2,0 \geq 1,8 \text{ (Aman)}$$

Tabel 4. 3 Faktor Keamanan Terhadap Tarik Setiap Nail Bar merupakan rekapitulasi hasil stabilitas *nail bars* terhadap kegagalan kuat tarik pada lereng penelitian.

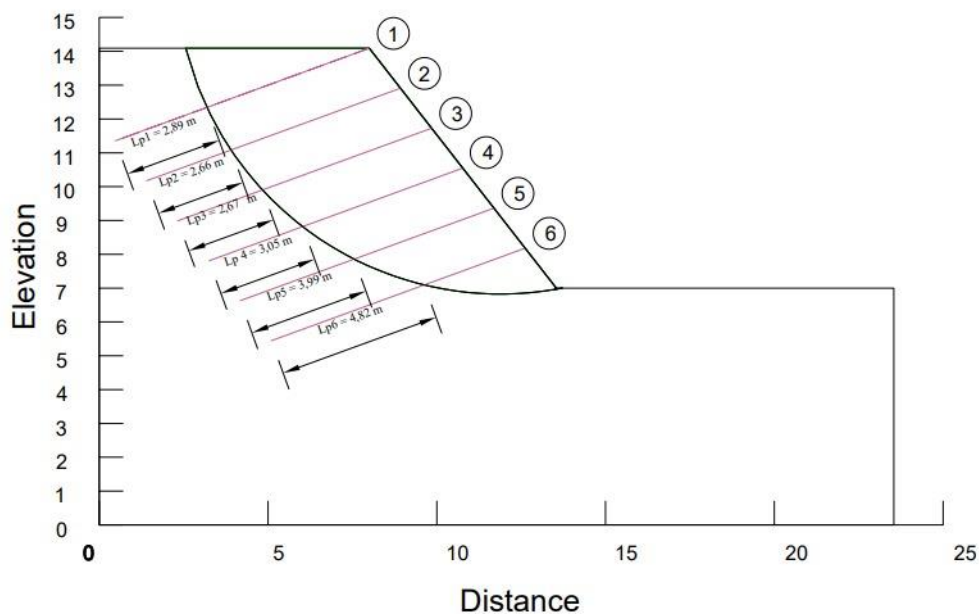
Tabel 4. 3 Faktor Keamanan Terhadap Tarik Setiap Nail Bar

No. Nail	z (m)	R _n (kN)	Kondisi Jenuh		SF _{kt}
			γ_{sat} (kN/m ³)	T _{max} (kN)	
6	8,33	337,78	20,07	172,02	2,0

No. Nail	z (m)	Rn (kN)	Kondisi Jenuh		SFkt
			γ_{sat} (kN/m ³)	Tmax (kN)	
5	6,83	337,78	20,07	141,05	2,4
4	5,33	337,78	20,07	110,07	3,1
3	3,83	337,78	20,07	79,09	4,3
2	2,33	337,78	20,07	48,12	7,0
1	0,83	337,78	20,07	17,14	19,7

c. Faktor keamanan terhadap bahaya cabut (*SF_{tc}*)

Analisis faktor keamanan terhadap bahaya cabut dilakukan untuk memastikan bahwa nail bar memiliki daya tahan lekat (pull-out resistance) yang cukup untuk menahan gaya tarik yang bekerja pada zona longsor. Sesuai dengan SNI 8460:2017, faktor keamanan minimum yang harus dipenuhi untuk bahaya cabut adalah 2. Analisis ini sangat bergantung pada panjang *nail bar* yang berada di belakang garis kelongsoran (L_p). Panjang nail bar yang berada di belakang garis kelongsoran dapat dilihat pada Gambar 4. 7 Panjang L_p untuk setiap Nail Bar



Gambar 4. 7 Panjang L_p untuk setiap Nail Bar

Contoh perhitungan nail bars No. = 6

Panjang nails bars pada zona longsor (L_p) = 4,82 m (dari AutoCAD)

$$\text{Nilai } q_u = c + \frac{2}{\pi} \sigma_v \tan \phi = 123 \text{ kN/m}^2$$

Menghitung tahanan cabut nails bars (R_p)

$$R_{po} = (L_p) \times \pi \times D \times h \times q_u$$

$$R_{po} = (4,82) \times \pi \times 0,2 \times 123$$

$$R_{po} = 371,90 \text{ kN}$$

$$SF_{tc} = \frac{R_{po}}{T_{max}}$$

$$SF_{tc} = \frac{371,90}{172,02}$$

$$SF_{tc} = 2,16 \geq 2 (\text{Aman})$$

Tabel 4. 4 Faktor Keamanan Terhadap Cabut Setiap Nail Bar merupakan rekapitulasi hasil stabilitas *nail bars* terhadap kegagalan cabut pada lereng penelitian.

Tabel 4. 4 Faktor Keamanan Terhadap Cabut Setiap Nail Bar

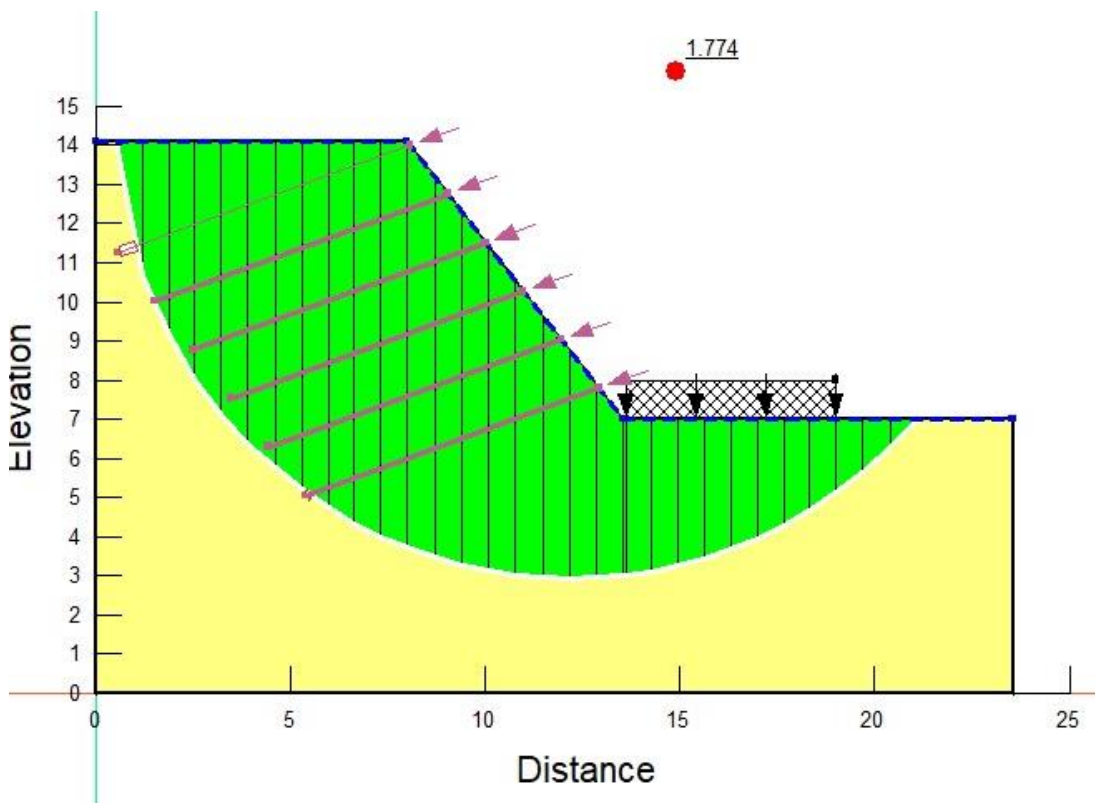
No. Nail	z (m)	q_u (kN/m ²)	L_p (m)	R_{po} (kN)	Kondisi Jenuh		SF _{tc}
					γ_{sat} (kN/m ³)	T_{max} (kN)	
6	8,33	123	4,82	371,90	20,07	172,02	2,16
5	6,83	123	3,99	307,86	20,07	141,05	2,18
4	5,33	123	3,05	235,33	20,07	110,07	2,14
3	3,83	123	2,67	206,01	20,07	79,09	2,60
2	2,33	123	2,66	205,24	20,07	48,12	4,27
1	0,83	123	2,89	222,98	20,07	17,14	13,01

4.4.4 Analisa Stabilitas Global (Eksternal) *Soil Nailing*

Pemodelan stabilitas global menggunakan perangkat lunak *Geoslope* bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh variasi jumlah dan sudut kemiringan batang soil nailing terhadap faktor keamanan lereng (*safety factor*, SF). Dalam analisis ini, konfigurasi soil nailing yang direncanakan dievaluasi untuk mengetahui seberapa besar kontribusinya dalam meningkatkan kestabilan lereng.

Berdasarkan hasil pemodelan yang ditunjukkan pada Gambar 4. 8 Hasil Pemodelan SF Global Setelah Penguatan Soil Nailing, stabilitas global lereng mengalami peningkatan signifikan setelah penguatan dengan soil nailing. Sebelum dilakukan

perkuatan, faktor keamanan lereng adalah 0,956 yang menunjukkan kondisi lereng berada dalam keadaan kritis dan berpotensi mengalami kelongsoran. Setelah diterapkan perkuatan soil nailing sesuai desain, faktor keamanan meningkat menjadi 1,774 yang menunjukkan bahwa lereng telah berada dalam kondisi stabil dan memenuhi standar keamanan yang dipersyaratkan. Peningkatan stabilitas ini menunjukkan bahwa soil nailing memiliki efektivitas tinggi dalam menambah daya tahan lereng terhadap gaya-gaya yang menyebabkan longsor.

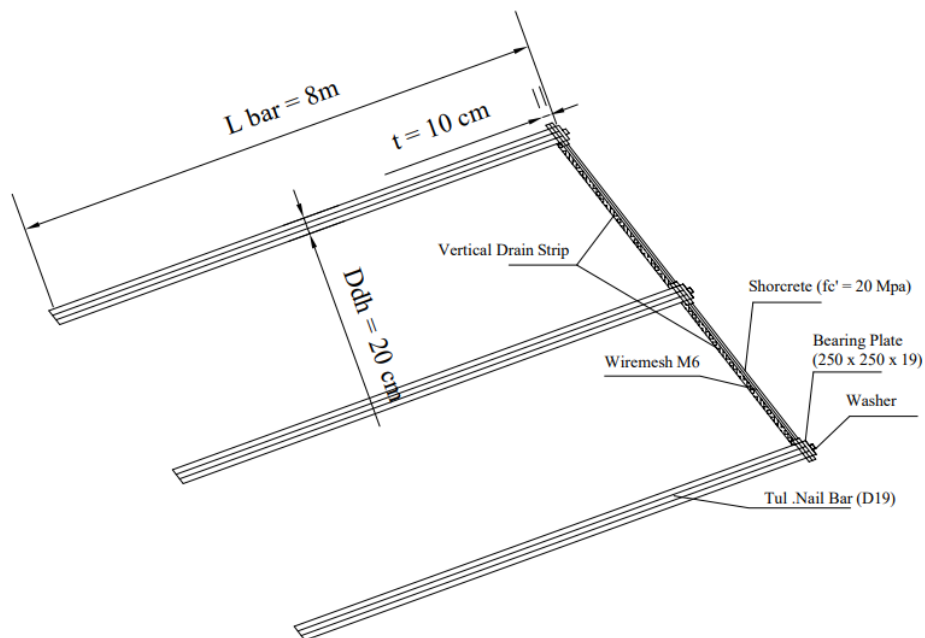


Gambar 4. 8 Hasil Pemodelan SF Global Setelah Penguatan *Soil Nailing*

4.4.5 Perencanaan Sistem Drainase Soil Nailing

Pada penelitian ini, perencanaan sistem drainase didasarkan pada pedoman SNI 8460 tahun 2017, yang menjadi acuan utama dalam perancangan teknis. Sistem drainase yang diterapkan menggunakan *vertical drain strip* berukuran lebar 400 mm, yang dipasang di belakang dinding muka konstruksi pada permukaan tanah. *Vertical drain strip* ini memiliki desain khusus dengan salah satu sisinya terbuka untuk

menangkap air tanah, sementara sisi lainnya dilapisi plastik untuk melindungi dinding beton semprot dari rembesan. Pemasangannya dilakukan sejajar dengan spasi horizontal nail, mulai dari level muka air tanah hingga ke dasar dinding seperti pada Gambar 4. 9 *Sistem Drainase Soil Nailing*. Sistem ini dirancang untuk mengalirkan air tanah ke saluran drainase di tepi dasar galian, sehingga tekanan hidrostatik pada dinding dapat diminimalkan. Dengan penerapan yang sesuai standar, sistem ini tidak hanya meningkatkan efisiensi pengelolaan air tanah, tetapi juga mendukung kestabilan dan keberlanjutan fungsi dinding dalam berbagai kondisi lingkungan.



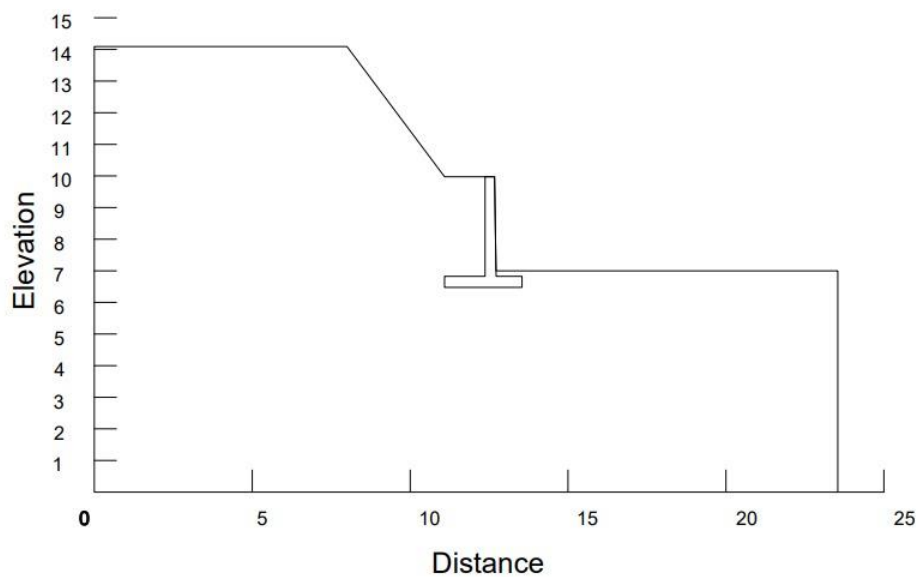
Gambar 4. 9 Sistem Drainase *Soil Nailing*

4.5 Perencanaan Perkuatan Lereng Menggunakan DPT Kantilever

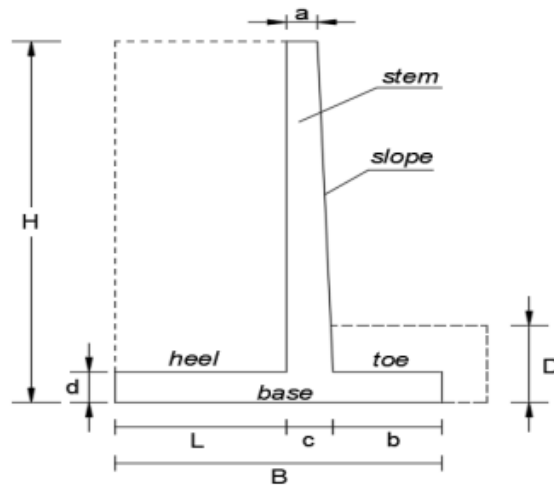
4.5.1 Preliminary Design DPT Kantilever

Dimensi awal pada berbagai elemen dinding penahan tanah tipe kantilever, seperti *slope*, *heel*, *toe*, *base*, diatur sesuai dengan ketentuan SNI 8460:2017. Tinggi dinding kantilever ditandai sebagai H , yang merupakan ketinggian rencana dinding tersebut. Lebar alas atau *base* dinding kantilever (B) direkomendasikan sebesar $0,4H$ hingga $0,7H$. Lebar bagian *stem* dinding (a) minimal adalah 30 cm atau 0,3 m. *Slope* atau kemiringan dinding kantilever minimum disarankan sebesar 1:48. Lebar *toe* (b) di bagian depan dinding harus sebanding dengan $B/3$, sedangkan lebar *heel* (c) di

bagian belakang alas dinding juga disarankan sebesar $0,1H$. Tinggi elemen toe dan heel (d) pada dinding kantilever diusulkan memiliki ukuran $H/12$ hingga $H/10$. Untuk tinggi tanah di depan dinding kantilever (D), nilai yang dianjurkan adalah $0,15H$ atau minimal $0,5$ m. Gambar 4. 10 Perletakan DPT Kantilever pada Lereng menunjukkan posisi dari DPT yang akan direncanakan pada lereng yang akan diperbaiki. Pembagian elemen dinding penahan tanah kantilever dapat dilihat pada Gambar 4. 11.



Gambar 4. 10 Perletakan DPT Kantilever pada Lereng



Gambar 4. 11 Bagian-Bagian DPT Kantilever

Dalam penelitian ini, ketinggian dinding penahan tanah (H) dijadikan sebagai dasar untuk melakukan perhitungan menggunakan metode *trial and error* dengan bantuan *Microsoft Excel*. Dimensi akhir dinding kantilever ditentukan melalui proses tersebut dengan mempertimbangkan nilai faktor keamanan minimum (SFmin) terhadap potensi kegagalan, seperti bahaya penggulingan, pergeseran, dan daya dukung tanah. Setelah melakukan *trial and error* maka didapatkan dimensi DPT kantilever sebagai berikut:

Tinggi dinding kantilever (H)	= 4 m
Lebar <i>stem</i> atas dinding kantilever (a)	= 0,3 m (persyaratan minimum)
Lebar <i>base</i> dinding kantilever (B)	= 0,7 H = 0,7 x 4 = 2,8 m
Lebar <i>toe</i> dinding kantilever (b)	= B / 3 = 2,8 / 3 = 0,93 m
Lebar <i>stem</i> bawah dinding kantilever (c)	= 0,1 H = 0,1 x 4 = 0,4 m
Kemiringan dinding kantiver (slope)	= 1:48 (persyaratan minimum)
Lebar <i>heel</i> dinding kantilever (L)	= B – (b+c) = 2,8 – (0,93+0,4) = 1,47 m
Tinggi toe dan heel dinding kantilever (d)	= H / 10 = 4 / 10 = 0,4 m
Kedalaman DPT yang tertanam (Df)	= 0,15 H = 0,15 x 4 = 0,6 m

4.5.2 Analisa Gaya dan Momen yang Bekerja pada DPT

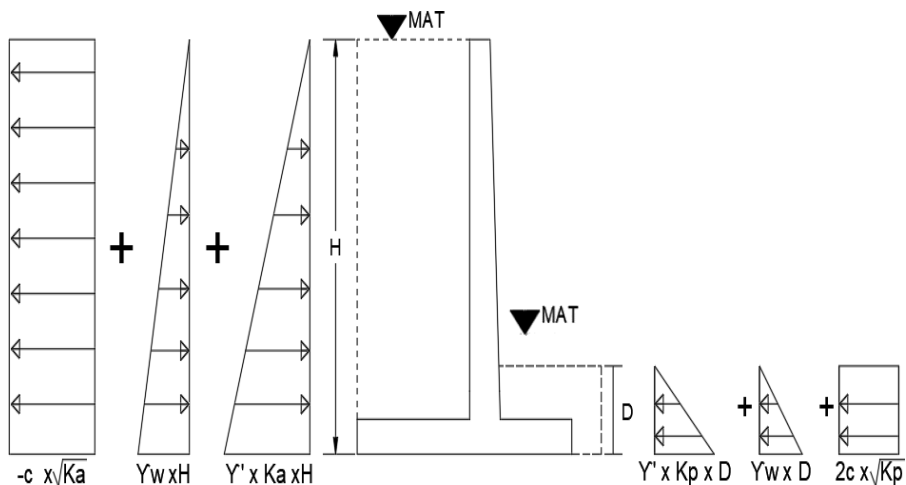
Proses analisis gaya dan momen yang bekerja pada dinding penahan tanah (DPT) memiliki peranan penting dalam perancangan, karena memungkinkan perhitungan yang akurat terhadap stabilitas dan kekuatan struktur. Analisis ini memastikan DPT mampu menahan gaya-gaya lateral akibat tekanan tanah aktif, beban tambahan, serta momen yang terjadi, sehingga risiko kegagalan seperti geser, penggulingan, atau keruntuhan dapat diminimalkan. Dengan memahami distribusi gaya dan momen secara menyeluruh, desain DPT dapat disesuaikan untuk memenuhi standar keamanan. Berikut merupakan langkah perhitungan untuk mengetahui gaya dan momen yang bekerja pada dinding kantilever:

a. Menghitung Tekanan Tanah Aktif (Pa) dan Pasif (Pp)

Data Perencanaan :

Berat isi tanah (γ)	= 17,91 kN/ m ³
Berat isi tanah jenuh (γ_{sat})	= 20,07 kN/ m ³
Sudut geser (ϕ)	= 40,85 °
Kohesi (c)	= 14,19 kN/ m ²
Berat isi air (γ_w)	= 9,81 kN/ m ³
Berati Isi Beton (γ_c)	= 24 kN/m ³

Perhitungan tekanan aktif tanah asktif dan pasif harus diperhitungkan agar mengetahui digram gaya yang bekerja seperti pada Gambar 4. 12 Diagram Gaya yang bekerja Pada Dinding Kantilever.



Gambar 4. 12 Diagram Gaya yang bekerja Pada Dinding Kantilever

$$\begin{aligned} \text{Koefisien tekanan tanah aktif (Ka)} &= \tan^2\left(45 - \frac{\phi}{2}\right) \\ &= \tan^2\left(45 - \frac{40,85}{2}\right) \\ &= 0,457 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Koefisien tekanan tanah pasif (Kp)} &= \tan^2\left(45 + \frac{\phi}{2}\right) \\ &= \tan^2\left(45 + \frac{40,85}{2}\right) \\ &= 4,78 \end{aligned}$$

$$Pa = \left(\frac{1}{2} \times \gamma_{sat} \times H^2 \times Ka\right) + \left(\frac{1}{2} \times \gamma_w \times H^2\right) - (c \times H \times \sqrt{Ka})$$

$$Pa = \left(\frac{1}{2} \times (20,07 - 9,81) \times 4^2 \times 0,457\right) + \left(\frac{1}{2} \times 9,81 \times 4^2\right) - (14,19 \times 4 \times 0,457)$$

$$Pa = 117,400 \text{ kN/m}$$

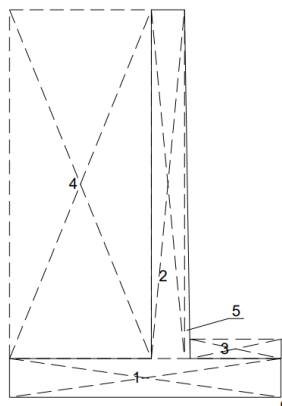
$$Pp = \left(\frac{1}{2} \times \gamma' \times D^2 \times Kp\right) + \left(\frac{1}{2} \times \gamma_w \times D^2\right) + (2 \times c \times D \times \sqrt{Kp})$$

$$Pp = \left(\frac{1}{2} \times (20,07 - 9,81) \times 0,6^2 \times 4,78\right) + \left(\frac{1}{2} \times 9,81 \times 0,6^2\right) + (2 \times 14,19 \times 0,6 \times \sqrt{4,78})$$

$$Pp = 40,837 \text{ kN/m}$$

b. Menghitung gaya vertikal dan momen yang bekerja

Perhitungan gaya vertikal dan momen yang bekerja pada dinding penahan tanah (DPT) dilakukan untuk mengevaluasi kestabilan terhadap berbagai risiko seperti geser, guling, dan keruntuhan. Proses ini mencakup penghitungan gaya berat dari setiap segmen DPT, tekanan tanah aktif yang bekerja, serta kontribusi beban tambahan di atas dinding. Pada tahap ini, berat dinding dibagi menjadi beberapa segmen sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.13. Setiap segmen memiliki luas tertentu, yang kemudian digunakan untuk menghitung gaya vertikal (V) berdasarkan berat jenis material dinding (γ). Selain itu, setiap gaya vertikal dikalikan dengan panjang lengan momennya untuk menghitung kontribusi momen (M) terhadap titik tumpu.



Gambar 4. 13 Pembagian Segmen Gaya Berat Dinding Penahan

Pada Tabel 4. 5 Total Gaya Vertikal dan Momen Yang Bekerja Pada Dinding Penahan disajikan hasil perhitungan total gaya vertikal (ΣV) dan total momen (ΣM) untuk DPT. Dari tabel tersebut, dapat dilihat bahwa total gaya vertikal yang bekerja adalah sebesar 162.520 kN, sementara total momen yang dihasilkan mencapai 295.077 kNm.

Tabel 4. 5 Total Gaya Vertikal dan Momen Yang Bekerja Pada Dinding Penahan

Bagian	Luas(m ²)	Gaya Vertikal	Panjang Lengan Momen	Momen
(1)	(2)	(3) = (2 x γ)	(4)	(3) x (4)
1	1,12	26,880	1,4	37,632
2	1,08	25,920	1,3	33,696
3	0,187	3,747	0,45	1,686
4	5,28	105,973	2,06	218,305
5	0,18	4,320	0,87	3,758
ΣV		162,520	Σ Momen	295,077

4.5.3 Perhitungan Stabilitas Internal DPT Kantilever

Perhitungan stabilitas internal DPT kantilever dilakukan untuk memastikan struktur dinding penahan tanah mampu menahan berbagai potensi kegagalan yang dapat terjadi selama penggunaannya. Analisis ini mencakup tiga aspek utama, yaitu stabilitas terhadap bahaya guling (FSgl), yang bertujuan untuk mengevaluasi kemampuan dinding dalam menahan gaya momen yang bisa menyebabkan dinding terguling; stabilitas terhadap bahaya geser (FSgs), yang menghitung kemampuan dinding untuk menahan gaya horizontal yang dapat menyebabkan pergeseran pada struktur; dan stabilitas terhadap daya dukung (SFbc), yang memastikan kapasitas tanah pondasi mencukupi untuk menahan beban dinding tanpa menyebabkan penurunan atau kegagalan. Ketiga perhitungan ini saling berkaitan untuk memberikan gambaran menyeluruh tentang keamanan dan kestabilan struktur DPT kantilever.

a. Menghitung stabilitas terhadap bahaya guling (FSgl)

Dalam perhitungan ini, faktor keamanan terhadap guling dihitung dengan membandingkan momen yang menyebabkan guling dengan momen penahan yang ada pada DPT Kantilever.

- Tekanan tanah horizontal (P_h) untuk timbunan datar ($\alpha=0$)

$$P_h = P_a = 117,400 \text{ kN/m}$$

- Momen tekanan tanah aktif (M_o) = $P_h \times (H/3)$
 $= 117,400 \times (4/3)$
 $= 120,753 \text{ kNm}$

- Menghitung FS_{gl}

$$FS_{gl} = \frac{\sum \text{Momen} + M. \text{Pasif Tanah}}{M_o}$$

$$FS_{gl} = \frac{295,077 + 7,35}{120,753}$$

$$FS_{gl} = 2,5 > 2 \text{ (Aman)}$$

- b. Menghitung stabilitas terhadap bahaya geser (FS_{gs})

Gaya geser disebabkan oleh tekanan tanah aktif yang bekerja pada dinding atau beban lain yang diterapkan di atasnya. Faktor keamanan terhadap geser dihitung dengan membandingkan gaya geser yang diterima oleh DPT dengan kekuatan tanah pondasi yang dapat menahan gaya tersebut.

$$FS_{gs} = \frac{\sum V \times \tan\left(\frac{2}{3}\phi\right) + \left(B \times \frac{2}{3} \times c\right) + P_p}{P_a}$$

$$FS_{gs} = \frac{162,520 \times \tan\left(\frac{2}{3} \times 40,85\right) + \left(2,8 \times \frac{2}{3} \times 14,19\right) + 40,837}{117,400}$$

$$FS_{gs} = 1,96 > 1,5 \text{ (Aman)}$$

- c. Menghitung stabilitas terhadap daya dukung (SF_{bc})

Perhitungan ini bertujuan untuk menilai kapasitas tanah pondasi dalam menahan beban yang diberikan oleh dinding penahan tanah (DPT) tanpa menyebabkan kegagalan atau penurunan struktur. Faktor keamanan ini dihitung dengan membandingkan daya dukung tanah terhadap beban yang bekerja pada DPT. Berikut langkah yang diperlukan untuk perhitungan stabilitas daya dukung (SF_{bc}):

- Menghitung eksentrisitas(e)

$$e = \frac{B}{2} - \frac{\sum Mr - Mo}{\sum V} = \frac{2,8}{2} - \frac{295,077 - 120,753}{162,520}$$

$$e = 0,2 < 0,47 (B/6) \text{ (Aman)}$$

- Menghitung beban pada kaki(q_{max}) dan beban pada tumit (q_{min})

$$q_{kaki} = q_{max} = \left(\frac{\sum V}{B}\right) \left(1 + \frac{6xe}{B}\right) = \left(\frac{162,520}{2,8}\right) \left(1 + \frac{6 \times 0,2}{2,8}\right)$$

$$q_{kaki} = 82,92 \text{ kN/m}$$

$$q_{tumit} = q_{min} = \left(\frac{\sum V}{B}\right) \left(1 - \frac{6xe}{B}\right) = \left(\frac{162,520}{2,8}\right) \left(1 - \frac{6 \times 0,2}{2,8}\right)$$

$$q_{kaki} = 33,2 \text{ kN/m}$$

- Menghitung beban tanah pasif (q)

$$q = \gamma_{\text{sat}} \times D = 20,07 \times 0,6 = 12,042 \text{ kN/m}$$

- Menghitung lebar efektif dinding kantilever (B')

$$B' = B - 2e = 2,8 - (2 \times 0,2) = 2,4 \text{ m}$$

- Menghitung faktor kedalaman (F_{cd} , F_{qd} , dan $F_{\gamma d}$)

$$F_{cd} = 1 + \left(0,4 \times \frac{D}{B'}\right) = 1 + \left(0,4 \times \frac{0,6}{2,4}\right) = 1,1$$

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

$$F_{qd} = 1 + 2 \tan 40,85 (1 - \sin 40,85)^2 \times \frac{0,6}{2,4}$$

$$F_{qd} = 1,052$$

$$F_{\gamma d} = 1$$

- Menghitung faktor inklinasi (F_{ci} , F_{qi} , dan $F_{\gamma i}$)

$$\psi^\circ = \tan^{-1} \left(\frac{Pa}{\sum V}\right) = \tan^{-1} \left(\frac{117,400}{162,520}\right) = 35,84^\circ$$

$$F_{ci} = F_{qi} = \left(1 - \frac{\psi^\circ}{90^\circ}\right)^2 = \left(1 - \frac{35,84^\circ}{90^\circ}\right)^2 = 0,362$$

$$F_{\gamma i} = \left(1 - \frac{\psi^\circ}{\phi^\circ}\right)^2 = \left(1 - \frac{35,84^\circ}{40,85^\circ}\right)^2 = 0,015$$

- Menghitung faktor bentuk (F_{cs} , F_{qs} , dan $F_{\gamma s}$)
Dinding penahan tanah termasuk kedalam pondasi dangkal menerus sehingga nilai $F_{cs} = F_{qs} = F_{\gamma s} = 1$

- Menghitung *bearing capacity factor* (N_c , N_q , dan N_γ)
Penentuan nilai *bearing capacity factor* bergantung pada nilai sudut geser tanah seperti pada Tabel 2. 2 Nilai N_c , N_q , dan N_γ . Berdasarkan Tabel 2. 2 Nilai N_c , N_q , dan N_γ untuk nilai sudut geser = $40,85^\circ$ maka diperoleh nilai :

$$N_c = 83.86$$

$$N_q = 73.90$$

$$N_\gamma = 130.22$$

- Menghitung q_u dan SF_{bc}

$$q_u = (0,5 \times \gamma' \times B' \times N_\gamma \times F_{\gamma s} \times F_{\gamma d} \times F_{\gamma i}) + (c \times N_c \times F_{cs} \times F_{cd} \times F_{ci})$$

$$+ (q \times N_q \times F_{qs} \times F_{qd} \times F_{qi})$$

$$q_u = (0,5 \times (20,07 - 9,81) \times 2,8 \times 130,22 \times 1 \times 1 \times 0,015)$$

$$+ (14,19 \times 83,86 \times 1 \times 1,1 \times - 0,362)$$

$$+ (12,042 \times 73,9 \times 1 \times 1,052 \times 0,362)$$

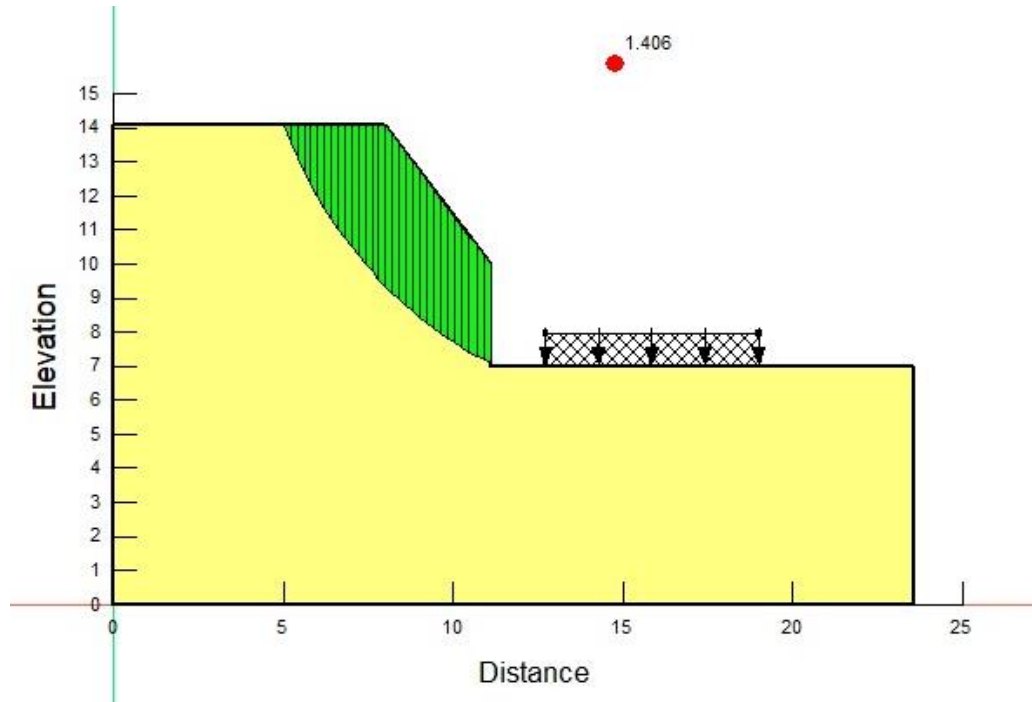
$$q_u = 836,8189 \frac{kN}{m^2}$$

$$SF_{bc} = \frac{q_u}{q_{max}} = \frac{836,8189}{82,92} = 10.09 > 3 \text{ (Aman)}$$

4.5.4 Analisa Stabilitas Lereng Ketika Galian DPT Kantilever

Analisa Analisis stabilitas lereng dilakukan untuk mengevaluasi kondisi keamanan lereng dan memastikan bahwa lereng tidak mengalami kelongsoran selama proses konstruksi berlangsung. Pada analisis ini, digunakan model tanah tidak jenuh karena proses konstruksi dilakukan pada musim kemarau, sehingga tanah memiliki kekuatan yang lebih tinggi dibandingkan dengan kondisi jenuh. Analisis ini dilakukan dengan menggunakan pemodelan pada *GeoSlope*, dan hasil pemodelan disajikan pada Gambar 4. 14 Stabilitas Lereng Ketika Proses Galian. Gambar tersebut

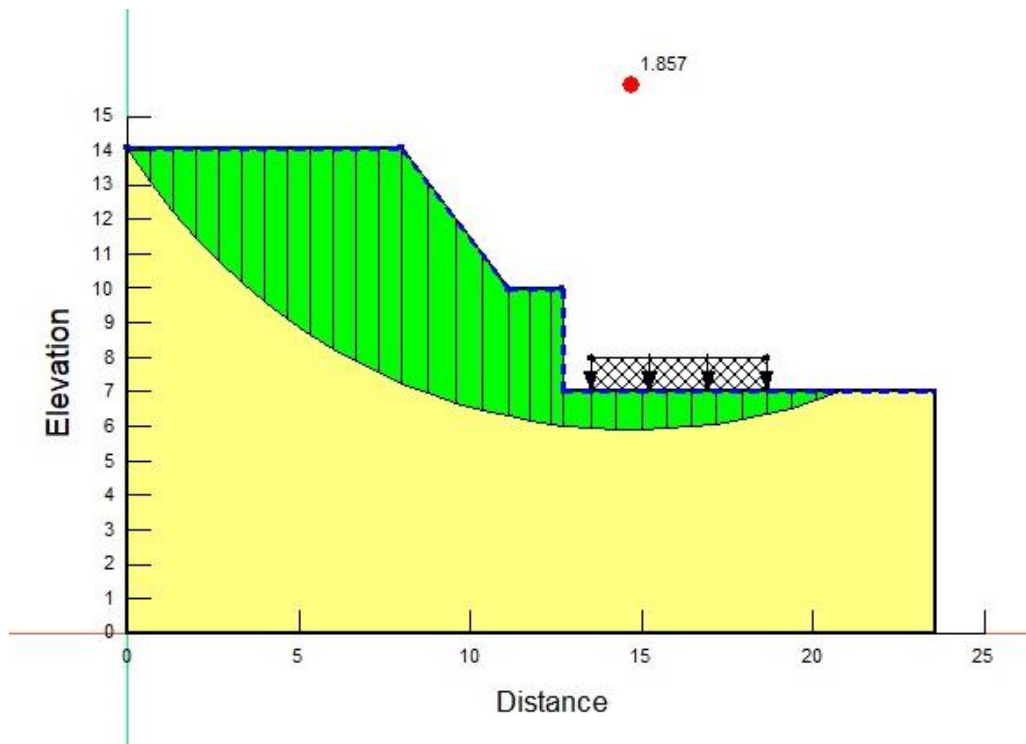
menunjukkan bahwa nilai SF (*Safety Factor*) saat pekerjaan galian dilakukan adalah sebesar 1,406 yang mengindikasikan bahwa lereng masih dalam kondisi aman dan tidak mengalami kelongsoran selama proses galian berlangsung.



Gambar 4. 14 Stabilitas Lereng Ketika Proses Galian

4.5.5 Analisa Stabilitas Global (Eksternal) DPT Kantilever

Analisis stabilitas global dilakukan untuk mengevaluasi dampak perkuatan dinding penahan tanah (DPT) kantilever terhadap kestabilan keseluruhan lereng atau struktur yang ditahan. Berdasarkan hasil pemodelan yang ditunjukkan pada Gambar 4. 15 Hasil Pemodelan SF Global Setelah Pekuatan DPT Kantilever, terjadi peningkatan nilai faktor keamanan (SF) secara signifikan. Sebelum dilakukan perkuatan, nilai SF global berada pada angka 0,956 yang menunjukkan kondisi lereng tidak stabil. Namun, setelah dilakukan perkuatan menggunakan DPT kantilever, nilai SF meningkat menjadi 1,857 yang memenuhi persyaratan stabilitas minimum. Peningkatan nilai SF ini mencerminkan keberhasilan perkuatan dalam meningkatkan stabilitas global, sehingga dinding mampu menahan gaya-gaya eksternal yang bekerja dan memastikan keamanan struktur secara keseluruhan.



Gambar 4. 15 Hasil Pemodelan SF Global Setelah Penguatan DPT Kantilever

4.5.6 Perencanaan Penulangan DPT Kantilever

Perencanaan penulangan DPT Kantilever ini di dasarkan pada SNI 2847 2019 tentang persyaratan beton struktural untuk bangunan. Berikut merupakan tahapan untuk menghitung tulangan DPT Kantilever:

- a. Menghitung *momen ultimate* setiap bagian DPT Kantilever

Untuk menghitung momen ultimate di setiap bagian diperlukan data-data perencanaan sebagai berikut :

Mutu beton (f_c)	=	25 Mpa(K-300)
mutu Baja(f_y)	=	420 Mpa
Selimut Beton (s_b)	=	50 mm
Koefisien tekanan tanah aktif (K_a)	=	0.46
γ .sat	=	20.07 kN/m ³
c	=	14.19 kN/m ²
Tinggi badan DPT	=	4 M
<i>Load Factor</i> Tanah Aktif(LFta)	=	1,2

<i>Load factor</i> beban tanah (LFbt)	=	1,6
<i>Load factor</i> beban beton(LFbb)	=	1,2
Diameter Tulangan(d.tl)	=	22 mm
Lebar badan (c)	=	350 mm
Lebar efektif (c.eff)	=	289 mm
Lebar yang ditinjau(lt)	=	1 m
Faktor reduksi (ϕ)	=	0.9

- Menghitung *momen ultimate* bagian *stem*(badan)

$$Pa = \left(\frac{1}{2} \times \gamma' \times (H - d)^2 \times Ka\right) + \left(\frac{1}{2} \times \gamma_w \times (H - d)^2\right) - (c \times (H - d) \times \sqrt{Ka})$$

$$Pa = \left(\frac{1}{2} \times 10,26 \times (3,6)^2 \times 0,46\right) + \left(\frac{1}{2} \times 9,81 \times (3,6)^2\right) - (14,19 \times (3,6) \times \sqrt{0,46})$$

$$Pa = 90,468 \text{ kN/m}$$

$$Mu = Lfta \times Pa \times \frac{(H - d)}{3}$$

$$Mu = 1,2 \times 90,468 \times \frac{(4 - 0,4)}{3}$$

$$Mu = 130,2741 \text{ kN m}$$

$$Mu = 130274158.6 \text{ N mm}$$

- Menghitung *momen ultimate* bagian *heel*

$$Vu = (LFbt \times L \times (H - d) \times \gamma_{sat}) + (LFbb \times L \times d \times \gamma_c)$$

$$Vu = (1,6 \times 1,47 \times (4 - 0,4) \times 20,07) + (1,2 \times 1,47 \times 0,4 \times 24)$$

$$Vu = 186,4533 \text{ kN}$$

$$Mu = \frac{1}{12} \times Vu \times L^2$$

$$Mu = \frac{1}{12} \times 186,4533 \times 1,47^2$$

$$Mu = 33,423494 \text{ kN m} = 33423494,43 \text{ N mm}$$

- Menghitung *momen ultimate* bagian *toe*

$$Vu = (LFbt \times (b - d_{eff}) \times (q_{toe}/2)) + (LFbb \times d \times (b - d_{eff}) \times \gamma_c)$$

$$Vu = (1,6 \times (0,93 - 0,3405) \times (82,92/2)) + (1,2 \times 0,4 \times (0,93 - 0,3405) \times 24)$$

$$Vu = 46,1548 \text{ kN}$$

$$Mu = 1,6 \left\{ (0,5 \times q_{heel} \times b^2) + \left(0,5 \times b \times (q_{toe} - q_{heel}) \times \frac{2}{3} \times b \right) \right\} \\ + 1,2 (0,5 \times \gamma_c \times b^2 \times d)$$

$$Mu = 1,6 \left\{ (0,5 \times 33,2 \times 0,93^2) + \left(0,5 \times 0,93 \times (82,92 - 33,2) \times \frac{2}{3} \times 0,93 \right) \right\} \\ + 1,2 (0,5 \times 24 \times 0,93^2 \times 0,4)$$

$$Mu = 51,24548 \text{ kN m} = 51245481,02 \text{ N mm}$$

- Menghitung *momen ultimate* bagian *base*

$$Mu = \{1,2 \times (M_{slope} \times M_{steam} \times M_{base})\} + (LFbt \times M_{timbunan})$$

$$Mu = \{1,2 \times (3,7584) \times 33,696 \times 37,632\} + (LFbt \times 218,3051)$$

$$Mu = 439,3918 \text{ kN m} = 439391878,7 \text{ N mm}$$

- b. Menghitung luas tulangan perlu dan luas tulangan pakai

Perhitungan luas tulangan perlu (As perlu) dan tulangan pakai (As pakai) untuk setiap bagian menggunakan rumus yang sama, sehingga sebagai contoh, perhitungan akan ditunjukkan pada bagian *steam* saja.

- Menghitung rasio penulangan

$$Rn = \frac{Mu/0,9}{Lt \times (C_{eff})^2} = \frac{130274158,6/0,9}{1000 \times (289)^2} = 1,733 \text{ N/m}$$

$$w = 0,85 \times \left(1 - \left(1 - \sqrt{\frac{2,353 \times Rn}{fc'}} \right) \right) = 0,85 \times \left(1 - \left(1 - \sqrt{\frac{2,353 \times 1,73}{fc'}} \right) \right)$$

$$w = 0,3432$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{fy} = \frac{1,4}{420} = 0,003333$$

$$\beta = 0,85 \text{ (karena } fc' < 28 \text{ Mpa)}$$

$$\rho_{balance} = \frac{0,85 \times \beta \times f_c'}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} = \frac{0,85 \times 0,85 \times 25}{420} \times \frac{600}{600 + 420}$$

$$\rho_{balance} = 0,02529$$

$$\rho_{max} = 0,75(\rho_{balance}) = 0,75(0,02529) = 0,01897$$

$$\rho_{hitung} = \frac{w \times f_c'}{f_y} = \frac{0,3432 \times 25}{420} = 0,020434$$

$$\rho_{pakai} = 0,01897 \text{ (karena } \rho_{hitung} > \rho_{max} \text{)}$$

- Menghitung luas penampang tulangan perlu (As perlu)

$$As \text{ perlu} = \rho_{pakai} \times Lt \times c_{eff}$$

$$As \text{ perlu} = 0,01897 \times 1000 \times 289$$

$$As \text{ perlu} = 5483,2589 \text{ mm}^2$$

- Menghitung luas penampang tulangan perlu (As perlu)

$$\text{Tulangan yang dipakai} = \text{D-22}$$

$$As \text{ tulangan} = \frac{1}{4} \times \pi \times (d)^2$$

$$As \text{ tulangan} = \frac{1}{4} \times \pi \times (22)^2$$

$$As \text{ tulangan} = 380,1327 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jarak tulangan (min.)} = \frac{As_{tulangan} \times Lt}{As_{perlu}} = \frac{380,1327 \times 1000}{5483,2589}$$

$$\text{Jarak tulangan (min.)} = 69,32605 \text{ mm}$$

$$\text{Jarak tulangan (max)} = \frac{C_{eff}}{2} = \frac{289}{2} = 144,5 \text{ mm}$$

$$\text{Jarak tulangan pakai (S)} = 110 \text{ mm}$$

$$As \text{ pakai} = 2 \times As \text{ tul} \times \frac{Lt}{S} = 2 \times 380,1327 \times \frac{1000}{110} = 6335,5451 \text{ mm}^2$$

Kontrol:

$$As \text{ pakai} > As \text{ perlu}$$

$$6335,5451 \text{ mm}^2 > 5483,2589 \text{ mm}^2 \text{ (Aman)}$$

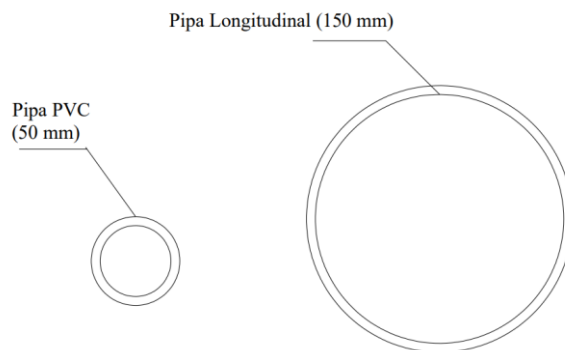
Perhitungan diameter tulangan untuk setiap bagian DPT kantilever dilakukan dengan metode yang sama seperti yang telah dijelaskan sebelumnya. Hasil rekapitulasi diameter tulangan untuk setiap bagian disajikan dalam Tabel 4. 6 Rekapitulasi tulangan yang digunakan DPT Kantilever.

Tabel 4. 6 Rekapitulasi tulangan yang digunakan DPT Kantilever

Bagian	Mu (N.mm)	Diameter tulangan (mm)	Jarak Tulangan (mm)
<i>Steam</i>	130274158.6	D22	110
<i>heel</i>	33423494.43	D19	140
<i>toe</i>	51245481.02	D19	140
<i>base</i>	439391878.7	D22	110

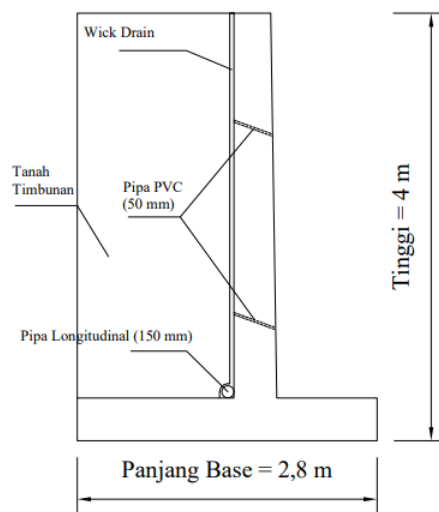
4.5.7 Perencanaan Sistem Drainase DPT Kantilever

Dalam penelitian ini, sistem drainase dirancang berdasarkan pedoman SNI 8460-2017, yang menjamin standar efektivitas dalam pengendalian air tanah. Drainase menggunakan pipa PVC seperti pada Gambar 4. 16 *Diameter Pipa Drainase* dengan diameter 50 mm, dipilih karena materialnya ringan, tahan terhadap korosi, ekonomis, dan memiliki kapasitas aliran yang cukup untuk menangani volume air tanah di lokasi. Pipa ini dipasang pada dinding vertikal DPT dengan pola distribusi yang dirancang seragam, yaitu satu weep hole untuk setiap 3 m² luas dinding. Pola ini bertujuan memastikan bahwa aliran air tanah terkendali secara merata di sepanjang struktur dinding, sehingga tidak terjadi konsentrasi tekanan air di area tertentu.



Gambar 4. 16 Diameter Pipa Drainase

Selain fungsi utama untuk mengurangi tekanan hidrostatik, penerapan pipa PVC ini juga dirancang untuk mempermudah pemeliharaan dan memperpanjang usia layanan struktur. Letak pipa drainase yang terintegrasi dalam desain dinding memastikan air tanah yang tertangkap dapat langsung dialirkan ke saluran pembuangan yang direncanakan pada dasar struktur. Proses ini membantu menjaga kestabilan tanah di belakang dinding, terutama pada kondisi hujan lebat atau fluktuasi muka air tanah. Gambar 4.17 dalam penelitian ini menunjukkan tata letak perencanaan pipa PVC pada dinding DPT kantilever. Tata letak ini disesuaikan dengan kebutuhan spesifik lokasi dan konfigurasi struktur untuk memaksimalkan kinerja drainase. Dengan pendekatan ini, sistem drainase tidak hanya mendukung stabilitas struktur, tetapi juga memitigasi potensi risiko kegagalan akibat tekanan air tanah yang berlebihan.



Gambar 4. 17 Sistem Drainase DPT Kantilever

4.6 Pemilihan Alternatif Penanganan Lereng Terbaik

Pemilihan alternatif penanganan lereng dilakukan dengan meninjau efektivitas dari masing-masing perkuatan. Efektivitas tersebut diukur berdasarkan peningkatan SF global yang dihasilkan dengan desain sesuai ketentuan maksimum untuk masing-masing perkuatan. Ketentuan maksimum dari perkuatan lereng Soil Nailing adalah panjang nailbar yang dipilih menggunakan nilai yang paling maksimum yaitu 8 m dan kemiringan sudut nailbar sebesar 20°. Sedangkan untuk DPT kantilver digunakan nilai maksimum untuk setiap bagiannya yaitu lebar *stem*

atas dinding kantilever (a) = 0,3 m ; lebar *base* dinding kantilever (B) = 2,8 m ; lebar *toe* dinding kantilever (b) = 0,93 m; lebar *stem* bawah dinding kantilever (c) = 0,4 m; Kemiringan dinding kantiver (*slope*) = 1:48 ; lebar heel dinding kantilever (L) = 1,47 m; tinggi *toe* dan *heel* dinding kantilever (d) = 0,4 m; dan kedalaman DPT yang tertanam (D_f) = 0,6 m

Kedua desain perkuatan yang direncanakan telah menggunakan desain dengan dimensi maksimum sehingga efektivitas akan dilihat dari nilai SF yang global yang lebih besar dari program bantu *GEO Slope*. Dalam penelitian ini, diperoleh SF global perkuatan *soil nailing* sebesar 1,774 dan SF global perkuatan DPT kantilever sebesar 1,857. Berdasarkan hasil tersebut, alternatif yang dipilih untuk penanganan longsor di daerah penelitian adalah DPT Kantilever.

BAB 5 PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisa yang telah dilakukan maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Tanah pada lokasi penelitian yang didapat dari 3 sampel tanah diklasifikasikan sebagai pasir lanauan (SM) dengan rata-rata nilai W_c sebesar 21,2%; γ sebesar 17,91 kN/m³; c sebesar 14,18 kN/m²; ϕ sebesar 40,85°; dan G_s sebesar 2,62.
2. Nilai SF eksisting lereng dari perhitungan program bantu *GeoSlope* pada saat kondisi jenuh diperoleh sebesar 0,956 dan pada kondisi tidak jenuh diperoleh sebesar 1,546.
3. Hasil perhitungan SF global setelah perkuatan *Soil Nailing* adalah sebesar 1,774 dan nilai SF global setelah perkuatan global perkuatan DPT kantilever adalah sebesar 1,857. Alternatif penanganan yang dipilih pada penelitian ini adalah DPT Kantilever karena memiliki nilai SF global lebih besar daripada *Soil nailing*.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan berikut adalah rekomendasi saran untuk penelitian berikutnya:

1. Penambahan kedalaman untuk pengambilan sampel tanah pada lereng atas dan bawah untuk lebih memaksimalkan hasil pada tanah yang diuji.
2. Penggunaan *software* analisa geoteknik lainnya seperti *Plaxis 3D* dan *Geo5* agar mengetahui kelebihan dan kekurangan masing-masing program .
3. Perencanaan perkuatan dengan memperhitungkan rancangan anggaran biaya dan metode pelaksanaan setiap perkuatan lereng yang direncanakan.

DAFTAR PUSTAKA

- Meviana, I., & Susanti, N. E. (2019). Pengembangan buku teks mitigasi bencana pada materi erupsi gunung api di SDN penataran 01 kabupaten blitar. *Jurnal Pendidikan Ilmu Pengetahuan Sosial*, 114–126.
<https://ejournal.uinmalang.ac.id/index.php/jpips/article/view/7537>
- Anom, T. N., Rahmadanti, T., Pratiwi, D., Yudha, B. A. S dan Kristanto, W. A. D. (2021). Analisis Potensi Jenis Longsor Berdasarkan Karakteristik Geomekanika Batuan di Kecamatan Patuk, Kabupaten Gunung Kidul, Daerah Istimewa Yogyakarta. *Jurnal Ilmiah Lingkungan Kebumihan (JILK)*, 3(1), 1.
<https://doi.org/10.31315/jilk.v3i1.3511>
- Sambolangi, Leprina., Usman Arsyad, BudirmanBachtiar. (2019). Identifikasi jenis dan Karakteristik Longsor di Daerah Aliran Sungai (DAS) Lisu, Kabupaten Barru. *LaboratoriumPengelolaan Daerah Aliran Sungai, FakultasKehutanan Universitas Hasanuddin*. (Online).
- Annisa V. F., Heri S., Ery B. (2022). Analisis Dan Perbaikan Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan (Studi Kasus : Ruas Jalan Poros Sangatta – Rantau Pulung, Kab. Kutai Timur)
- Nain D.R. (2022). Evaluasi Desain Lengkung Horizontal Jalan Raya Pada Kawasan Wisata Alam Arak-Arak Kabupaten Bondowoso Jawa Timur.
- Yonas P. A. R., Gali P. (2023). Analisis Stabilitas Lereng dengan Metode Bishop pada Proyek Geotechnical Investigation Jalur Transportasi Pelabuhan Batubara Marangkayu Kabupaten Kutai Kartanegara
- Ruwaida Z. (2023). Pemanfaatan Tanaman Bambu dan Kaliandra untuk Perkuatan Lereng sebagai Upaya Mitigasi terhadap Longsor di Desa Sinarresmi Sukabumi.
- Lestari, A. D., Putra, P. P., & Nurtjahjaningtyas, I. (2022). Evaluasi Kegagalan Dinding Penahan Tanah Pada Lereng Jalan Raya Rembangan Kabupaten Jember. *Bentang : Jurnal Teoritis Dan Terapan Bidang Rekayasa Sipil*, 10(2), 159–168. <https://doi.org/10.33558/bentang.v10i2.4414>
- Hasibuan, S., & Heriyadi, B. (2020). Analisis Balik Kestabilan Lereng Bekas Disposal Area Dengan Menggunakan Metode Bishop di Tambang PT Nusa Alam Lestari di Desa Salak, Kecamatan Talawi, KotaSawahlunto, Provinsi Sumatera Barat. *Jurnal Bina Tambang*, 5(4), 1–11.
- Salween, S., Anuar Mohd Nayan, K., & Omar Faruk Murad, M. (2016). Evaluation on the Stability of Slope at Faculty of Engineering and Built Environment (FKAB) using Slope/w (Penilaian Kestabilan Cerun di Fakulti Kejuruteraan

- dan Alam Bina (FKAB) Menggunakan Slope/w). *Jurnal Kejuruteraan*, 28, 79–86.
- Nurhidayah, E., Putra, P. P., & Nurtjahjaningtyas, I. (2022). Analisis Perkuatan Lereng Akibat Longsor di Desa Desa Dompyong. *Rekayasa Sipil*, 16(1), 9–14.
- Permatasari, S. (2018). Analisis Parameter Nilai Tanah Lunak Berdasarkan Nilai Uji Sondir. Politeknik KTB.
- Aswanto, M. 2020. Perencanaan Penahan Tanah 15 M dengan Dinding Kantilever di Perimeter Swichyard Skyland Jayapura. *Jurnal Konstruksia*, 11(1), 63–72.
- Badan Standardisasi Nasional. 2017. SNI 8460 2017: Persyaratan Perancangan Geoteknik. Jakarta: BSN.
- Bowles, J.E. 1974. *Analytical and Computer Methods in Foundation Engineering Fifth Edition*. New York: McGRAW-HILL BOOK COMPANY.
- Bowles, J.E. 1977. *Analisis dan Desain Pondasi Jilid 2 Edisi Keempat*. Jakarta: Erlangga.
- Bowles, J.E. 2001. *Design Applications of Raft Foundation Fifth Edition*. New York: McGRAW-HILL BOOK COMPANY.
- Computer & Structures, I. 2016. *SAP 2000 Reference Manual*. London: Computer and Structures Inc.
- Darwis. 2018. *Dasar-Dasar Mekanika Tanah*. Yogyakarta: Pena Indis.
- Das, B.M. 1995. *Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis) Jilid 1*. Jakarta: Erlangga.
- Das, B.M. 2011. *Principles of Foundation Engineering Seventh Edition*. Washington: Global Engineering.
- Eveny, O.N. 2014. *Perbandingan Metode Bishop, Janbu dan Spencer dalam Perhitungan Stabilitas Lereng pada Batuan Tuff*. Yogyakarta: Universitas Pembangunan Nasional “Veteran”.
- FHWA. 2015. *Geotechnical Engineering Circular No.7 Soil Nail Walls-Reference Manual*. Washington: National Highway Institute.
- GEO-SLOPE International Ltd. 2012. *Stability Modeling with SLOPE/W*. Calgary: GEO-SLOPE International Ltd.

Hardiyatmo, H.C. 2014. Mekanika Tanah II Edisi-3. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.

Hardiyatmo, H.C. 2002. Mekanika Tanah I Edisi Ketiga. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.

LAMPIRAN

- Lampiran 1 : Dokumentasi dan Data Lab
(<https://unej.id/DokumentasidanDataLab>)
- Lampiran 2 : Gambar Kerja
(<https://unej.id/GambarKerja>)

