



PENGARUH SUDUT PEMASANGAN DAN PANJANG *SOIL NAILING*

*Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan memperoleh gelar Sarjana pada
program studi Teknik Sipil*

SKRIPSI

Oleh

Dewi Zahro Wahyuningtyas

201910301061

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET DAN
TEKNOLOGI UNIVERSITAS JEMBER
FAKULTAS TEKNIK
TEKNIK SIPIL
JEMBER
2024**

PERSEMBAHAN

Dengan penuh rasa Syukur kepada Allah SWT, atas Rahmat dan Karunianya, sehingga penulis berhasil menyelesaikan Skripsi ini dengan lancar. Dengan terselesaikannya skripsi ini penulis ingin mengucapkan terimakasih dan mempersembahkan skripsi ini kepada:

1. Kedua orang tua dan kakak perempuan penulis yang selalu memotivasi dan mendukung baik secara materi maupun spiritual sehingga penulis mampu mendapatkan gelar sarjana.
2. Bapak Paksitya Purnama Putra, S.T., M.T. dan Ibu Dr. Ir. Indra Nurtjahjaningtyas, S.T., M.T yang telah banyak membantu dan membimbing dengan penuh kesabaran sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan baik.
3. Bapak/ Ibu Dosen Fakultas Teknik Universitas Jember.
4. Seorang laki-laki, yang tidak dapat penulis sebut namanya, yang selalu menemani dalam keadaan susah maupun senang dengan terus memberi dukungan dan motivasi secara emosional.
5. Teman-teman, rekan, dan juga sahabat yang telah mendukung secara emosional selama proses menyelesaikan skripsi.
6. Almamater Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Jember.

MOTTO

"Sesungguhnya urusan-Nya apabila Dia menghendaki sesuatu Dia hanya berkata
kepadanya "Jadilah!" Maka, jadilah sesuatu itu"

(Al-Quran Surah Yaasin Ayat 82)



PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Dewi Zahro Wahyuningtyas

NIM : 201910301061

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul: *Pengaruh Sudut Pemasangan dan Panjang Soil nailing* 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,
Yang menyatakan,

Materai
10.000

Dewi Zahro Wahyuningtyas
NIM. 201910301061

HALAMAN PERSETUJUAN

Skripsi berjudul *Pengaruh Sudut Pemasangan dan Panjang Soil nailing* telah diuji dan disetujui oleh Fakultas Teknik Universitas Jember pada:

Hari : Selasa

Tanggal : 16 Januari 2024

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Pembimbing

Tanda Tangan

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

(.....)

Penguji

1. Penguji Utama

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

NIP : 198806212023211011

(.....)

2. Penguji Anggota 1

Nama : Tatang Maulana Maliq, S.T., M.T.

NIP : 198603202020121002

(.....)

ABSTRAK

Perkuatan *soil nailing* memerlukan sudut dan panjang *nail* yang sesuai untuk mendapatkan stabilitas yang optimal. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh sudut pemasangan dan panjang *soil nailing* terhadap stabilitas lereng menggunakan dua metode, yaitu metode Fellenius dan *Geoslope*. Selain itu, analisis menggunakan tiga besar sudut yaitu 10° , 15° dan 20° serta tiga panjang nail yaitu 6 meter, 8 meter, dan 10 meter. Nilai angka keamanan stabilitas minimum pada penelitian ini mengacu pada SNI 8460-2017. Galian pertama memiliki angka keamanan sebesar $1,941 > 1,07$, dikategorikan sebagai lereng aman terhadap longsor. Namun, pada galian kedua sebesar $0,973 < 1,07$ dan pada galian ketiga sebesar $0,984 < 1,07$ dikategorikan sebagai lereng sangat kritis terhadap longsor. Dengan menggunakan *Geoslope*, nilai angka keamanan pada panjang nail 6 meter sebesar 1,619 untuk sudut 10° ; 1,719 untuk sudut 15° ; dan 1,723 untuk sudut 20° . Pada panjang nail 8 meter didapatkan 1,729 untuk sudut 10° ; 1,731 untuk sudut 15° ; dan 1,772 untuk sudut 20° . Pada panjang nail 10 meter didapatkan 1,974 pada sudut 10° ; 2,167 untuk sudut 15° ; dan 2,194 untuk sudut 20° . Berdasarkan hal tersebut, panjang nail yang optimal untuk perkuatan lereng pada lokasi penelitian adalah 10 meter pada sudut 20° . Hasil penelitian ini disimpulkan bahwa nilai angka keamanan dipengaruhi oleh besar sudut dan panjang nail yang berkaitan dengan sudut geser, kedalaman peletakan nail, panjang nail, dan sudut pemasangan terkait dengan pendistribusian beban yang tidak merata.

Kata kunci : *Geoslope*, *Soil nailing*, Stabilitas Lereng.

ABSTRACT

Soil nailing reinforcement requires the appropriate nail angle and length to obtain optimal stability. This research aims to analyze the effect of installation angle and length of soil nailing on slope stability using two methods, namely the Fellenius and Geoslope methods. Apart from that, the analysis uses three angle sizes, namely 10° , 15° and 20° and three nail lengths, namely 6 meters, 8 meters and 10 meters. The minimum stability safety value in this study refers to SNI 8460-2017. The first excavation has a safety figure of $1.941 > 1.07$, categorized as a safe slope against landslides. However, in the second excavation it was $0.973 < 1.07$ and in the third excavation it was $0.984 < 1.07$ which was categorized as a very critical slope for landslides. Using Geoslope, the safety value for a nail length of 6 meters is 1.619 for an angle of 10° ; 1.719 for a 15° angle; and 1.723 for a 20° angle. At a nail length of 8 meters we get 1.729 for an angle of 10° ; 1.731 for a 15° angle; and 1.772 for a 20° angle. At a nail length of 10 meters we get 1.974 at an angle of 10° ; 2.167 for a 15° angle; and 2.194 for a 20° angle. Based on this, the optimal nail length for strengthening slopes at the research location is 10 meters at an angle of 20° . The results of this research concluded that the safety value is influenced by the angle

and length of the nail which is related to the shear angle, depth of nail placement, nail length and installation angle which is related to uneven load distribution.

Keywords: Geoslope, Slope Stability, Soil nailing.



RINGKASAN

Pengaruh Sudut Pemasangan dan Panjang Soil Nailing; Dewi Zahro Wahyuningtyas, 201910301061; 2024 : 58 halaman; Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Jember.

Pekerjaan sebuah gedung berupa tower direncanakan dibangun di daerah perbukitan Buleleng, Bali. Dalam pekerjaan tersebut dilakukan penggalian pada bukit guna memenuhi area lahan yang dibutuhkan. Hal tersebut menimbulkan potensi masalah baru terhadap kestabilan lereng. Maka dari itu, untuk mencegah adanya kelongsoran dan melindungi bangunan di bawahnya, perlu adanya penambahan perkuatan. Jenis perkuatan yang digunakan adalah *soil nailing*. *Soil nailing* yaitu metode perbaikan tanah asli (in-situ) dengan cara melakukan pemakuan menggunakan batang-batang baja.

Pada penelitian ini dilakukan analisis stabilitas lereng melalui dua metode: manual dan dengan bantuan program *Geoslope*. Hasilnya menunjukkan keamanan lereng yang menurun pada tahap penggalian kedua dan ketiga tanpa perkuatan, memicu pemasangan *soil nailing* pada tahap pertama. Analisis terhadap stabilitas eksternal dan internal, termasuk stabilitas terhadap gaya geser, gempa, cabut tulangan, dan putus tulangan, dilakukan dengan mempertimbangkan variasi sudut pemasangan dan panjang *nail*. Pemasangan sudut yang digunakan yaitu 10° , 15° , dan 20° dengan panjang *nail* 6 meter, 8 meter, dan 10 meter. Angka keamanan stabilitas minimum pada penelitian ini mengacu pada SNI 8460-2017.

Stabilitas lereng tanpa perkuatan didapatkan angka keamanan pada galian pertama sebesar $1,941 > 1,07$ yang dapat dikategorikan aman terhadap longsor, dilanjutkan dengan galian kedua didapatkan angka keamanan sebesar $0,973 < 1,07$ dikategorikan kritis terhadap longsor, dan galian ketiga didapatkan angka keamanan sebesar $0,984 < 1,07$ dikategorikan kritis terhadap longsor. Maka, pemasangan perkuatan dilakukan pada lereng dengan galian pertama.

Hasil analisis stabilitas lereng dengan perkuatan menunjukkan hasil yang berbeda untuk tiap sudut dan panjang *nail*. Setelah melalui serangkaian analisis didapatkan kesimpulan bahwa nilai angka keamanan tertinggi pada sudut

pemasangan 20° dengan panjang *nail* 10 meter yaitu 2,194 tanpa beban gempa dan 1,15 dengan beban gempa. Angka tersebut menunjukkan bahwa lereng aman terhadap longsor setelah penambahan perkuatan. Hasil kajian menunjukkan bahwa kombinasi panjang dan sudut tersebut secara signifikan meningkatkan daya tahan dan stabilitas struktur. Stabilitas lereng juga dipengaruhi oleh sudut geser tanah dan kedalaman peletakan *nail*.



PRAKATA

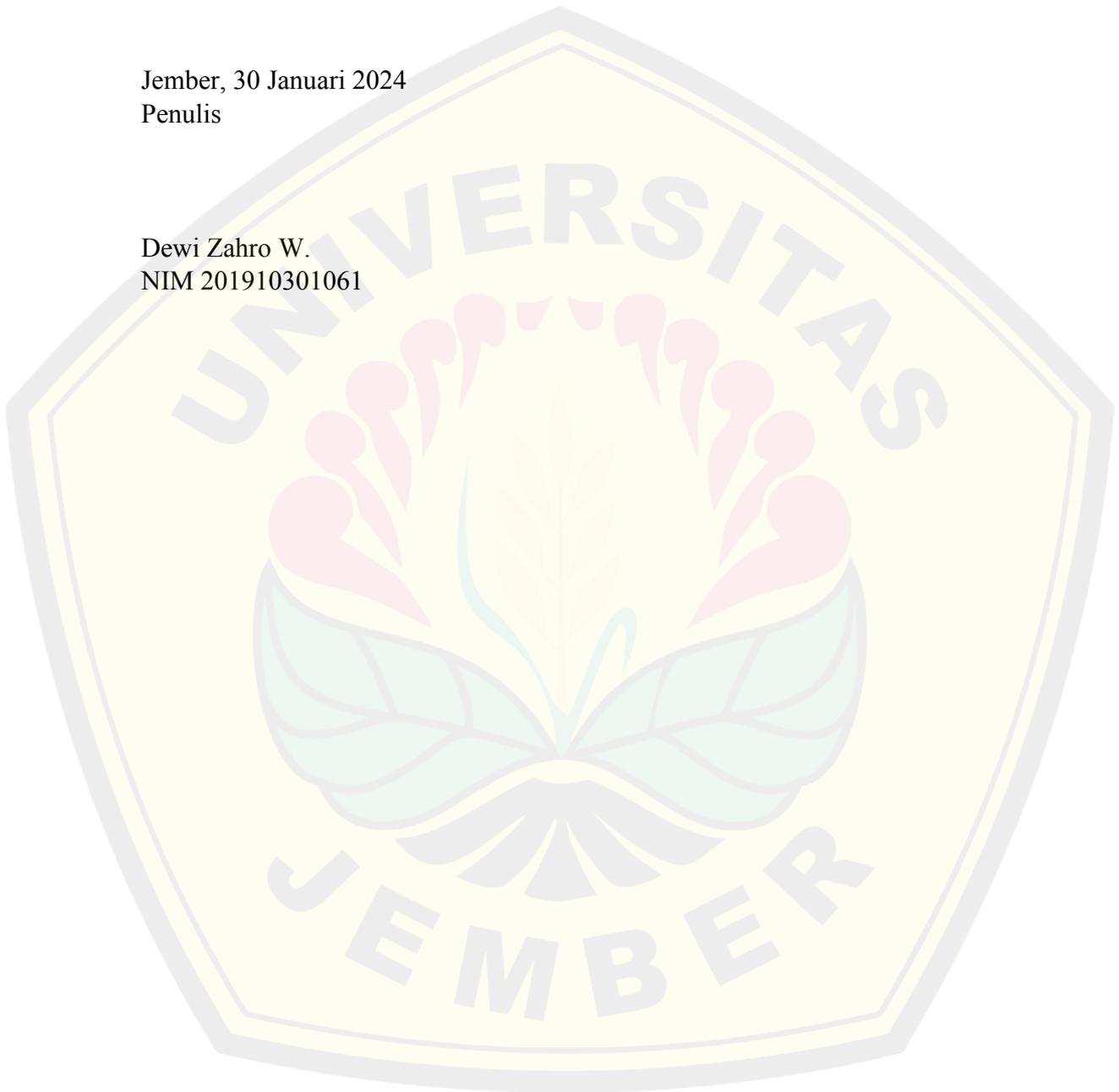
Puji Syukur kehadiran Allah SWT, atas limpahan Rahmat dan Karunianya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Evaluasi Kinerja Struktur Tower Terhadap Beban Gempa Dengan Metode Pushover (Studi Kasus: Proyek Pembangunan Taman Teknologi “Turyapada Tower” Komunikasi Smart 6.0, Bali) sebagai syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil di Universitas Jember.

1. Terima kasih penulis ucapkan kepada para pihak yang telah mendukung dan membantu, memberi ilmu dan motivasi sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu penulis mengucapkan terima kasih kepada:
2. Dr. Ir. Triwahyu Hardianto, S.T., M.T. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember.
3. Dr. Ketut Aswatama, S.T., M.T. selaku ketua jurusan Teknik Sipil Universitas Jember.
4. Saifuridzal, S.T., M.Eng. selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah membimbing selama menjadi mahasiswa.
5. Paksitya Purnama Putra, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Utama dan Dr. Ir. Indra Nurtjahjaningtyas selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah bersedia membimbing penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
6. Luthfi Amri Wicaksono, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji Utama dan Tatang Maulana Maliq, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji Anggota yang telah memberi kritik, saran, dan masukan untuk menyelesaikan skripsi ini.
7. Seluruh dosen program studi Teknik Sipil Universitas Jember atas bimbingan dan segala ilmu yang telah diberikan.
8. Kedua orang tua dan kakak perempuan atas doa, dukungan, motivasi, dan kasih sayang yang tiada henti.
9. Teman-teman yang telah menemani dalam susah maupun senang selama masa perkuliahan.
10. Seluruh pihak yang turut serta membantu menyelesaikan skripsi ini.

Akhir kata penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini masih jauh dari kata sempurna. Namun, besar harapan penulis agar skripsi ini dapat diterima dan bermanfaat bagi penulis pada khususnya dan pembaca pada umumnya.

Jember, 30 Januari 2024
Penulis

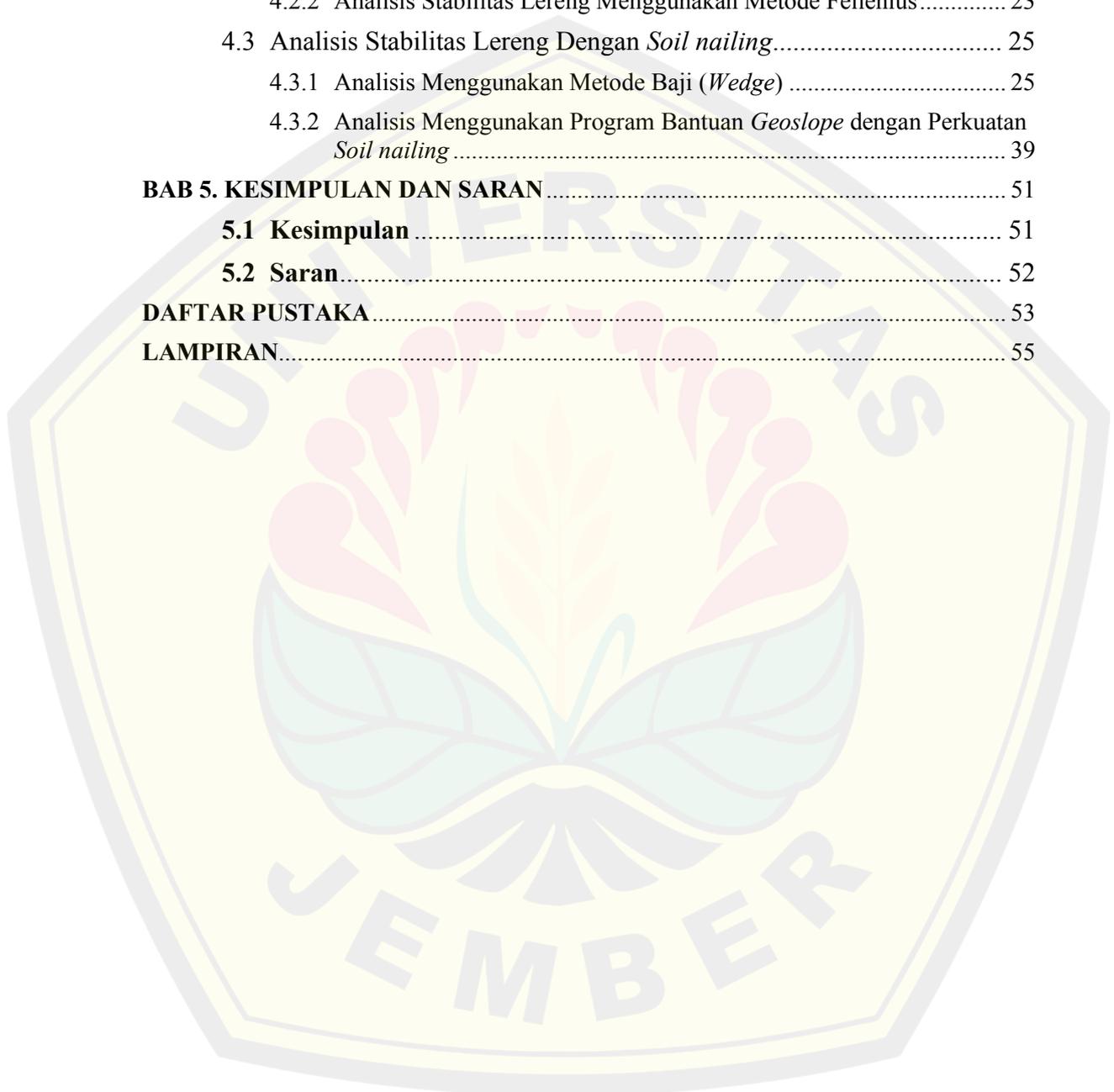
Dewi Zahro W.
NIM 201910301061



DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PERSEMBAHAN	ii
MOTTO	iii
PERNYATAAN ORISINALITAS	iv
HALAMAN PERSETUJUAN	v
ABSTRAK	vi
RINGKASAN	viii
PRAKATA	x
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR	xv
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Jenis Tanah dan Perilakunya	5
2.2 Kelongsoran Pada Tanah	5
2.3 Analisa Parameter Tanah	6
2.3.1 Statigrafi Tanah	6
2.3.2 Daya Dukung dan Stabilitas Lereng	6
2.4 Metode Perkuatan dengan <i>Soil nailing</i>	8
2.4.1 Analisis Stabilitas Lereng Menggunakan <i>Soil nailing</i>	8
2.4.2 Angka keamanan Lereng Menggunakan <i>Soil nailing</i>	12
2.5 Pemodelan <i>Soil nailing</i> Menggunakan <i>Software GeoStudio</i>	12
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN	13
3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian	13
3.2 Bagan Alir Penelitian	14
3.3 Pengumpulan Data Penelitian	15
3.4 Metode Analisis	15
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	17

4.1 Analisis Data	17
4.1.1 Data Tanah	17
4.1.2 Data Geometri Lereng.....	18
4.2 Analisis Stabilitas Lereng Tanpa <i>Soil nailing</i>	23
4.2.1 Analisis Stabilitas Lereng Menggunakan <i>Geoslope</i>	23
4.2.2 Analisis Stabilitas Lereng Menggunakan Metode Fellenius.....	23
4.3 Analisis Stabilitas Lereng Dengan <i>Soil nailing</i>	25
4.3.1 Analisis Menggunakan Metode Baji (<i>Wedge</i>)	25
4.3.2 Analisis Menggunakan Program Bantuan <i>Geoslope</i> dengan Perkuatan <i>Soil nailing</i>	39
BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN	51
5.1 Kesimpulan	51
5.2 Saran	52
DAFTAR PUSTAKA	53
LAMPIRAN	55



DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Nilai angka keamanan lereng (SF) berdasarkan intensitas kelongsoran 7	
Tabel 2. 2 Ultimate bond strength <i>nail</i> bar (FHWA, 2003)	9
Tabel 2. 3 Nilai angka keamanan perkuatan <i>soil nailing</i>	12
Tabel 4. 1 Data parameter tanah	18
Tabel 4. 2 Rekapitulasi perhitungan Metode Fellenius.....	24
Tabel 4. 3 Data <i>nail</i> bar yang digunakan	26
Tabel 4. 4 Rekapitulasi panjang L_p dan H_i untuk sudut 10° , 15° , dan 20°	26
Tabel 4. 5 Rekapitulasi nilai R_p	27
Tabel 4. 6 Rekapitulasi nilai T_{eq}	27
Tabel 4. 7 Rekapitulasi gaya normal (kN) pada sudut pemasangan 10° , 15° , dan 20°	27
Tabel 4. 8 Rekapitulasi gaya geser (kN) pada sudut pemasangan 10° , 15° , dan 20°	28
Tabel 4. 9 Rekapitulasi angka keamanan global pada sudut pemasangan 10° , 15° , dan 20°	28
Tabel 4. 10 Rekapitulasi stabilitas terhadap geser	31
Tabel 4. 11 Rekapitulasi nilai Z tiap panjang <i>nail</i> pada sudut 10°	33
Tabel 4. 12 Rekapitulasi nilai Z tiap panjang <i>nail</i> pada sudut 15°	34
Tabel 4. 13 Rekapitulasi nilai Z tiap panjang <i>nail</i> pada sudut 20°	34
Tabel 4. 14 Rekapitulasi perhitungan tegangan horizontal pada sudut pemasangan 10° , 15° , dan 20°	35
Tabel 4. 15 Rekapitulasi angka keamanan terhadap cabut pada sudut pemasangan 10° , 15° , dan 20°	35
Tabel 4. 16 Tahanan cabut izin (RPa) untuk sudut pemasangan 10° , 15° , dan 20°	37
Tabel 4. 17 Angka keamanan terhadap putus tulangan pada sudut pemasangan 10° , 15° , dan 20°	38
Tabel 4. 18 Data input <i>nail</i>	39
Tabel 4. 19 Rekapitulasi angka keamanan lereng dengan <i>soil nailing</i> pada sudut pemasangan 10°	41
Tabel 4. 20 Rekapitulasi angka keamanan lereng dengan beban bangunan menggunakan <i>Geoslope</i> pada sudut pemasangan 10°	42
Tabel 4. 21 Rekapitulasi angka keamanan lereng dengan <i>soil nailing</i> pada sudut pemasangan 15°	44
Tabel 4. 22 Rekapitulasi angka keamanan lereng dengan beban bangunan menggunakan <i>Geoslope</i> pada sudut pemasangan 15°	45
Tabel 4. 23 Rekapitulasi angka keamanan lereng dengan <i>soil nailing</i> pada sudut pemasangan 20°	46
Tabel 4. 24 Rekapitulasi angka keamanan lereng dengan beban bangunan menggunakan <i>Geoslope</i> pada sudut pemasangan 20°	47
Tabel 4. 25 Rekapitulasi angka keamanan lereng dengan <i>soil nailing</i> menggunakan <i>Geoslope</i>	48

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 CPT properties and strength changes for mechanical cones (Schmertmann, 1978).....	6
Gambar 2. 2 Gaya-gaya yang bekerja pada metode irisan Fellenius	7
Gambar 2. 3 Stabilitas global dinding tanah dipaku menggunakan mekanisme keruntuhan baji (wedge)	8
Gambar 2. 4 Stabilitas terhadap penggeseran dinding tanah dipaku	10
Gambar 3. 1 Lokasi Penelitian	13
Gambar 3. 2 Lokasi pemasangan <i>soil nailing</i>	13
Gambar 3. 3 Diagram alir penelitian.....	14
Gambar 4. 1 Titik pengambilan sampel boring log.....	17
Gambar 4. 2 Data N-SPT BH 01.....	17
Gambar 4. 3 Data N-SPT BH 02.....	18
Gambar 4. 4 Stratigrafi lereng.....	18
Gambar 4. 5 Rencana penggalian pada lereng eksisting.....	19
Gambar 4. 6 Nilai angka keamanan lereng eksisting sebelum penggalian	19
Gambar 4. 7 Nilai angka keamanan untuk galian Pertama	20
Gambar 4. 8 Nilai angka keamanan untuk galian kedua.....	20
Gambar 4. 9 Nilai angka keamanan untuk galian ketiga	21
Gambar 4. 10 Nilai angka keamanan pada lereng galian pertama dengan beban bangunan.....	21
Gambar 4. 11 Nilai angka keamanan pada lereng galian kedua dengan beban bangunan.....	22
Gambar 4. 12 Nilai angka keamanan pada lereng galian ketiga dengan beban bangunan.....	22
Gambar 4. 13 Pembagian pias pada lereng metode Fellenius.....	23
Gambar 4. 14 Panjang L_p pada panjang <i>nail</i> 6 m	26
Gambar 4. 15 Grafik stabilitas global pada sudut pemasangan 10° , 15° , dan 20°	29
Gambar 4. 16 Grafik stabilitas terhadap geser pada sudut pemasangan 10° , 15° , dan 20°	31
Gambar 4. 17 Panjang Z pada panjang <i>nail</i> 6 m dan sudut 10°	33
Gambar 4. 18 Stabilitas terhadap cabut tulangan pada sudut pemasangan 10° , 15° , dan 20°	36
Gambar 4. 19 Stabilitas terhadap putus tulangan pada sudut pemasangan 10° , 15° , dan 20°	39
Gambar 4. 20 Hasil analisis menggunakan program bantuan <i>Geoslope</i> dengan <i>soil nailing</i> pada sudut pemasangan 10° dan panjang 6 meter tanpa beban gempa galian kedua.....	40
Gambar 4. 21 Hasil analisis menggunakan program bantuan <i>Geoslope</i> dengan <i>soil nailing</i> pada sudut pemasangan 10° dan panjang 6 meter tanpa beban gempa galian ketiga	41
Gambar 4. 22 Hasil analisis menggunakan program bantuan <i>Geoslope</i> setelah galian ketiga dan penambahan beban bangunan dengan <i>soil nailing</i>	

pada sudut pemasangan 10° dan panjang 6 meter tanpa beban gempu	42
Gambar 4. 23 Hasil analisis menggunakan program bantuan <i>Geoslope</i> dengan <i>soil nailing</i> pada sudut pemasangan 15° dan panjang 6 meter tanpa beban gempu galian kedua.....	43
Gambar 4. 24 Hasil analisis menggunakan program bantuan <i>Geoslope</i> dengan <i>soil nailing</i> pada sudut pemasangan 15° dan panjang 6 meter tanpa beban gempu galian ketiga	43
Gambar 4. 25 Hasil analisis menggunakan program bantuan <i>Geoslope</i> setelah galian ketiga dan penambahan beban bangunan dengan <i>soil nailing</i> pada sudut pemasangan 15° dan panjang 6 meter	44
Gambar 4. 26 Hasil analisis menggunakan program bantuan <i>Geoslope</i> dengan <i>soil nailing</i> pada sudut pemasangan 20° dan panjang 6 meter tanpa beban gempu galian kedua.....	45
Gambar 4. 27 Hasil analisis menggunakan program bantuan <i>Geoslope</i> dengan <i>soil nailing</i> pada sudut pemasangan 20° dan panjang 6 meter tanpa beban gempu galian ketiga	46
Gambar 4. 28 Hasil analisis menggunakan program bantuan <i>Geoslope</i> setelah galian ketiga dan penambahan beban bangunan dengan <i>soil nailing</i> pada sudut pemasangan 20° dan panjang 6 meter tanpa beban gempu	47
Gambar 4. 29 Grafik angka keamanan menggunakan <i>Geoslope</i> pada sudut pemasangan 10°, 15°, dan 20° tanpa beban gempu.....	48
Gambar 4. 30 Grafik angka keamanan menggunakan <i>Geoslope</i> pada sudut pemasangan 10°, 15°, dan 20° dengan beban gempu	48

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pekerjaan pembangunan sebuah gedung setinggi 153 meter direncanakan dibangun di wilayah perbukitan Buleleng, Bali. Untuk mengatasi keterbatasan lahan, pemotongan bukit dilakukan untuk memperluas area pekerjaan. Dampak dari pemotongan ini tidak hanya terbatas pada perluasan area pekerjaan, melainkan juga menciptakan sebuah lereng yang berpotensi menimbulkan masalah baru terkait stabilitas tanah. Hal ini menunjukkan bahwa perlu dilakukan identifikasi potensi risiko geoteknik yang mungkin muncul sebagai dampak dari perubahan topografi alami di wilayah tersebut. Meskipun demikian, untuk mencegah kemungkinan terjadinya dampak yang tidak diinginkan, maka dianggap perlu untuk dilakukan upaya perkuatan lereng guna meningkatkan stabilitas tanah.

Terdapat beberapa jenis metode perkuatan lereng, yaitu pemasangan dinding penahan tanah (DPT), jangkar (*ground anchor*), dan *soil nailing*. Tentunya jenis-jenis perkuatan lereng tersebut memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing. Dinding penahan tanah (DPT) telah banyak digunakan untuk perkuatan lereng yang terjal maupun landai, keuntungan dari segi ekonomisnya perkuatan lereng dengan menggunakan dinding penahan tanah juga dapat mengurangi volume bahan timbunan, memungkinkan digunakan kualitas timbunan yang lebih rendah (Wihardi dkk., 2018). Namun, proses pembuatan jenis perkuatan ini membutuhkan area yang luas dan waktu yang relatif lama. Jenis perkuatan lereng lainnya yaitu jangkar (*ground anchor*) merupakan elemen struktural yang dipasang pada tanah atau batu yang digunakan untuk mentransmisikan beban tarik yang diterapkan ke dalam tanah. Sistem ini dibagi menjadi dua, yaitu penjangkaran aktif dan pasif. Penjangkaran aktif disebut *prestressed* yaitu gaya awal yang diberikan pada struktur sehingga gaya tersebut menahan interaksi antara tanah dan struktur. Sedangkan penjangkaran pasif disebut *dead* yaitu gaya yang bereaksi terhadap pembebanan ketika struktur yang di dukung mulai aktif (Aldo dkk., 2018). Pemasangan *ground anchor* memiliki keterbatasan terhadap beberapa jenis tanah

seperti tanah lempung dengan tingkat keplastisan yang tinggi. Adapun jenis perkuatan lereng *soil nailing* yaitu metode perbaikan tanah asli (*in-situ*) dengan cara melakukan pemakuan batang-batang seperti cerucuk, baja, bambu, dan *minipile* (Indera dkk., 2015). Berdasarkan SNI 8460:2017, kriteria lereng yang cocok menggunakan jenis perkuatan *soil nailing* yaitu berupa lereng galian, tanah harus dapat berdiri vertikal tanpa penyangga setinggi 1 m – 2 m selama 1 hari – 2 hari, dan kemiringan tipikal dinding berkisar antara 80° – 90° terhadap bidang horizontal. Dibandingkan dengan jenis perkuatan yang lain, *soil nailing* memiliki alternatif yang dapat dilakukan jika dilihat dari segi biaya, waktu pelaksanaan, dan pengerjaannya lebih mudah. Selain itu, pemasangan *soil nailing* tidak membutuhkan ruang yang luas.

Penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Phan dan Gui (2019) tentang perilaku *soil nailing* untuk stabilitas lereng pada studi kasus Jalan Raya La Son-Tuy KM42+861,05 di Vietnam. Hasil penyelidikan tanah pada lokasi ini menunjukkan bahwa lereng ini berjenis tanah lempung berlumpur dan serpihan batu. Lokasi ini dilakukan pemotongan lereng untuk mengurangi efek gelincir pada lereng yang telah rusak. Untuk menambah stabilitas lereng tersebut, dilakukan pemasangan penahan tanah yaitu *soil nailing*. Kondisi jalan yang berliku dan curam menjadi salah satu faktor peneliti untuk memilih jenis perkuatan tersebut.

Penelitian yang dilakukan oleh Wibowo dkk. (2023) mengenai pengaruh sudut pemasangan *soil nailing* di ruas Jalan Giriwoyo – Glonggong. Lokasi ini berada di perbukitan dan mengharuskan pemotongan bukit untuk memenuhi kebutuhan alinyemen jalan. Setelah dilakukan analisis dengan metode Fellenius dan Bishop, kondisi tanah eksisting tanpa perkuatan dinyatakan angka keamanan yang tidak memenuhi SNI 8460:2017. Hal ini menunjukkan bahwa lereng eksisting tanpa perkuatan dinyatakan tidak aman (rawan longsor). Pada ruas jalan ini, dilakukan perkuatan metode *soil nailing* guna memenuhi nilai rekomendasi keamanan pada SNI 8460:2017. Dalam penelitian ini juga disimpulkan bahwa besar sudut pemasangan *nail* bergantung dengan dimensi yang telah didesain.

Penelitian lain oleh Syuhada dkk. (2020) tentang analisis model elemen hingga perkuatan lereng menggunakan *soil nailing*. Studi kasus yang digunakan

adalah sebuah lereng di Lahat, Sumatera Selatan. Dari hasil pemodelan yang telah dilakukan, diperlukan tindakan pemotongan/ galian lereng karena area ini termasuk memiliki riwayat longsor. Jenis perkuatan tanah yang diambil yaitu *soil nailing* dikarenakan kekakuan dari *nail* tersebut dinilai lebih efisien.

Berdasarkan penelitian sebelumnya, maka direncanakan perkuatan lereng jenis *soil nailing*. Penetapan metode ini didasarkan pada kesesuaian yang dianggap optimal untuk mengatasi masalah perkuatan lereng yang muncul akibat proses pemotongan bukit. Dalam hal ini, pemilihan sudut pemasangan dan panjang dari *nail* menjadi aspek yang perlu diperhatikan. Maka dari itu, perencanaan yang tepat terhadap parameter tersebut dianggap penting untuk memastikan bahwa stabilitas yang dihasilkan memenuhi standar yang telah ditetapkan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan di atas, dapat dirumuskan beberapa masalah yaitu:

- a. Bagaimanakah analisa stabilitas lereng setelah dilakukan penggalian tanpa perkuatan?
- b. Berapa nilai angka keamanan lereng dengan perkuatan *soil nailing*?
- c. Bagaimanakah pengaruh sudut pemasangan dan panjang dari *soil nailing* terhadap peningkatan angka keamanan di lereng tersebut?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini yaitu:

- a. Analisa mencakup pengaruh sudut pemasangan dan panjang *soil nailing* terhadap stabilitas.
- b. Penelitian ini menggunakan acuan SNI 8460-2017 untuk besar sudut dan panjang *nail*.
- c. Tidak membahas terkait metode pelaksanaan penggalian.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini yaitu:

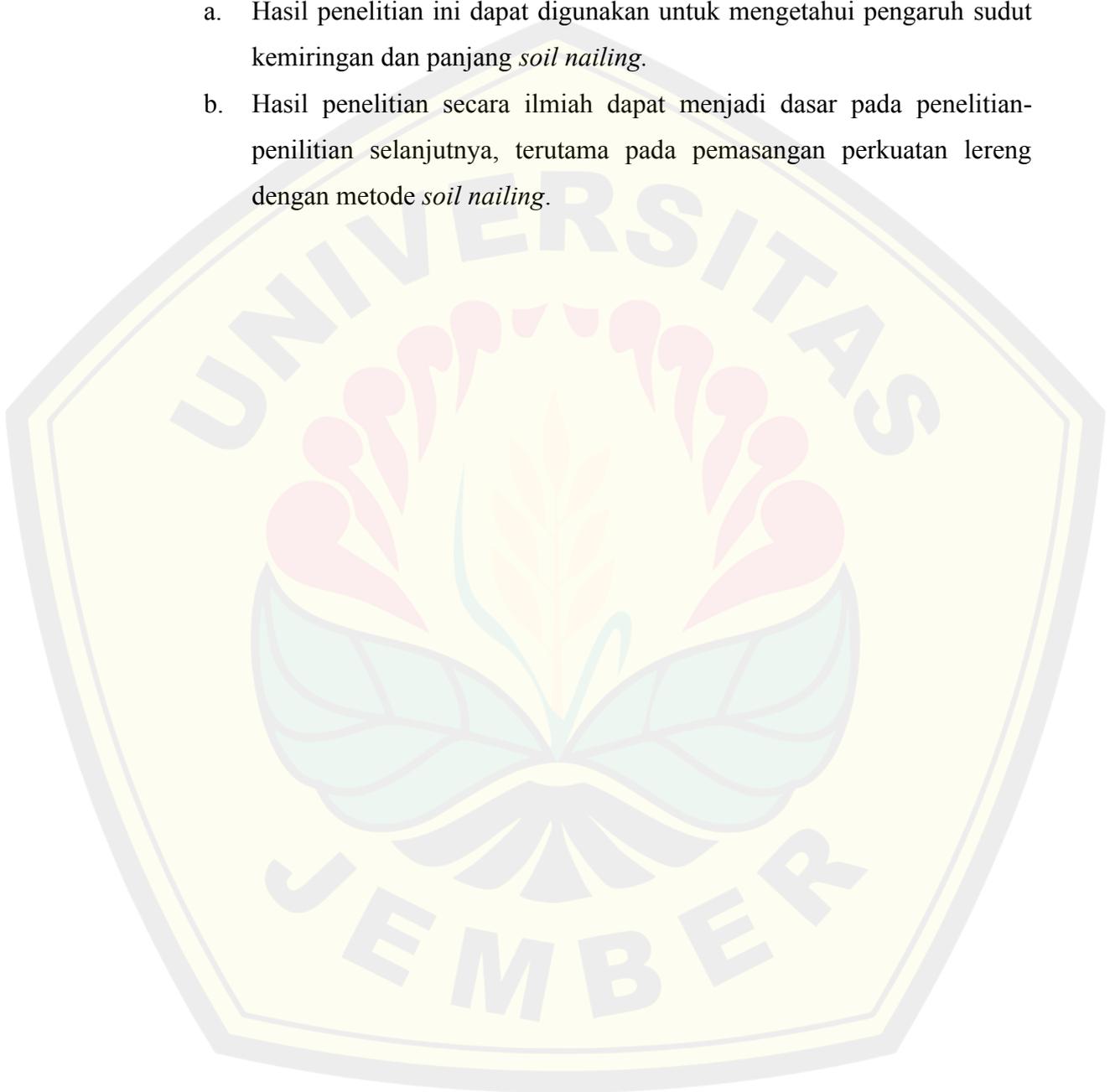
- a. Menganalisa stabilitas lereng setelah dilakukan penggalian tanpa perkuatan.
- b. Mengetahui angka keamanan lereng dengan perkuatan *soil nailing*.

- c. Menganalisa pengaruh sudut kemiringan dan panjang *soil nailing* terhadap stabilitas lereng.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat terkait dengan pelaksanaan penelitian ini adalah:

- a. Hasil penelitian ini dapat digunakan untuk mengetahui pengaruh sudut kemiringan dan panjang *soil nailing*.
- b. Hasil penelitian secara ilmiah dapat menjadi dasar pada penelitian-penelitian selanjutnya, terutama pada pemasangan perkuatan lereng dengan metode *soil nailing*.



BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Jenis Tanah dan Perilakunya

Tanah didefinisikan sebagai material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral-mineral padat yang tidak tersedimentasi (terikat secara kimia) satu sama lain dan dari bahan-bahan organik yang telah melapuk (yang berpartikel padat) disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang-ruang kosong di antara partikel-partikel padat tersebut (Das, 1998).

Secara umum, berdasarkan hasil penelitian lapangan dan uji laboratorium, sifat-sifat tanah dapat diidentifikasi, yaitu: (Das, 1998):

1. Kekuatan tegangan geser tanah
2. Klasifikasi tanah

Adapun pengelompokan jenis tanah yang dibedakan menjadi dua macam berdasarkan sifat lekatnya, yaitu tanah tak berkohesi (*cohesionless soils*) dan tanah kohesif (*cohesive soils*). Tanah tak berkohesi yaitu tanah yang tidak memiliki atau sedikit sekali lekatan antar butirnya seperti pasir. Sedangkan tanah kohesif yaitu tanah yang memiliki sifat lekatan antar butir-butirnya seperti tanah lempung (Septiandri, 2020).

2.2 Kelongsoran Pada Tanah

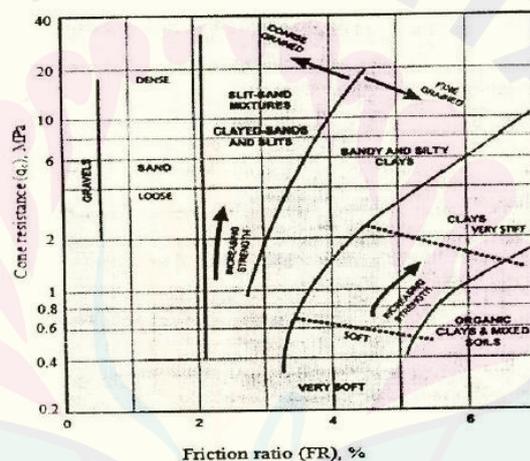
Longsor merupakan suatu peristiwa alam dimana tanah mengalami ketidakseimbangan antara tanah, batu, dan material lainnya yang bergerak secara tiba-tiba menuruni lereng. Hal tersebut disebabkan oleh curah hujan yang tinggi, gempa, atau kegiatan konstruksi. Longsor memiliki beberapa dampak seperti topografi yang berubah, rusaknya bangunan, hingga adanya korban jiwa. Proses terjadinya tanah longsor yaitu dimulai dengan peresapan air ke dalam tanah yang mengakibatkan penambahan bobot tanah. Jika air yang meresap ke dalam tanah tersebut sampai ke tanah yang kedap air (bidang gelincir), maka akan menjadikan kondisi tanah licin (Fatiatun dkk., 2019). Tidak adanya keseimbangan antar penyusun tanah dapat berpengaruh pada nilai angka keamanan lereng. Maka dari

itu, agar suatu lereng tidak mengalami kelongsoran maka diperlukan peningkatan daya dukung dan stabilitasnya.

2.3 Analisa Parameter Tanah

2.3.1 Statigrafi Tanah

Statigrafi tanah pada konstruksi digunakan untuk mengetahui sifat dan komposisi lapisan-lapisan tanah dasar (*subgrade*), termasuk daya dukung, permeabilitas, konsolidasi dan stabilitas. Selain itu, pembuatan statigrafi tanah juga berfungsi untuk mengevaluasi risiko geoteknik yang memungkinkan akan terjadi. Pembagian lapisan tanah berdasarkan korelasi N-SPT berdasarkan klasifikasi jenis tanahnya dapat ditentukan dengan menggunakan grafik oleh Schmertmann (1978) pada Gambar 2.1.



Gambar 2. 1 CPT properties and strength changes for mechanical cones (Schmertmann, 1978)

(Sumber : Septiandri, 2020)

2.3.2 Daya Dukung dan Stabilitas Lereng

Sebelum melakukan pembangunan konstruksi, perlu adanya analisis terhadap daya dukung dan stabilitas dari lereng. Daya dukung lereng (*slope bearing capacity*) mengacu pada kemampuan untuk menahan beban tanah dan struktur di atasnya tanpa mengalami kerusakan. Selain itu, juga berpengaruh untuk bangunan di bawahnya jika terjadi suatu longsoran. Daya dukung ini bergantung pada karakteristik tanah tersebut dengan memperhatikan faktor-faktor yang mempengaruhi yaitu kepadatan, kelembaban, kuat geser tanah, dan sudut geser tanah.

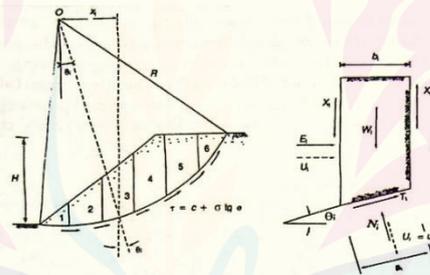
Adapun analisis geoteknik lain yaitu menghitung stabilitas lereng (*slope stability*) yang mengacu pada keadaan tanah mempertahankan keseimbangan dan tidak mengalami longsor. Syarat faktor keamanan (SF) lereng untuk menganalisis kestabilannya berdasarkan intensitas kelongsoran ditunjukkan pada Tabel 2.2.

Tabel 2. 1 Nilai angka keamanan lereng (SF) berdasarkan intensitas kelongsoran

Nilai Angka keamanan (SF)	Intensitas Kelongsoran
SF < 1,07	Longsoran terjadi biasa/sering (kelas labil)
1,07 < SF < 1,25	Longsoran pernah terjadi (kelas kritis)
SF > 1,25	Longsoran jarang terjadi (kelas stabil)

(Sumber: Bowles, 1989 dalam Canima, 2019)

Untuk mendapatkan nilai angka keamanan (SF) dapat dilakukan dengan cara perhitungan manual metode fellenius. Perhitungan stabilitas dengan menggunakan metode fellenius dilakukan dengan memotong bidang longsor menjadi beberapa bagian garis keruntuhan.



Gambar 2. 2 Gaya-gaya yang bekerja pada metode irisan Fellenius

(Sumber: Hary Hardiyatmo Hardiatmo, 2002; 360)

$$SF = \frac{\sum(c.\Delta L_n + W.\cos \alpha.\tan \varphi)}{\sum(W.\sin \alpha)} \tag{2.1}$$

dimana :

W = berat tanah pada potongan yang ditinjau = luas irisan . γ

γ = berat volume

φ = sudut geser tanah

c = kohesi

L_n = panjang busur garis kelongsoran

α = besar sudut antar gaya normal (N) dengan berat tanah (W)

2.4 Metode Perkuatan dengan *Soil nailing*

Soil nailing adalah metode perbaikan tanah asli (*in-situ*) dengan cara melakukan pemakuan batang-batang seperti cerucuk, baja, bambu, dan *minipile* (Indera dkk., 2015). Berdasarkan SNI 8460-2017, syarat teknis penggunaan perkuatan *soil nailing* yaitu memiliki sudut kemiringan antara $10^\circ - 20^\circ$ dengan jarak antar *nail* sebesar 1 meter untuk tipe *driven soil nailing* dan 1,5 meter untuk tipe *drilled and grout soil nailing*. Selain itu, juga terdapat syarat lubang bor dengan diameter 100 mm sampai 200 mm untuk tipe *drilled and grout soil nailing*. Syarat penggunaan bahan material yang digunakan terdapat dalam ASTM A615 yaitu baja ulir dengan daya dukung tarik 420 MPa dan berdiameter 19, 22, 25, 29, 32, 36, dan 43 mm serta ukuran panjang 18 meter.

2.4.1 Analisis Stabilitas Lereng Menggunakan *Soil nailing*

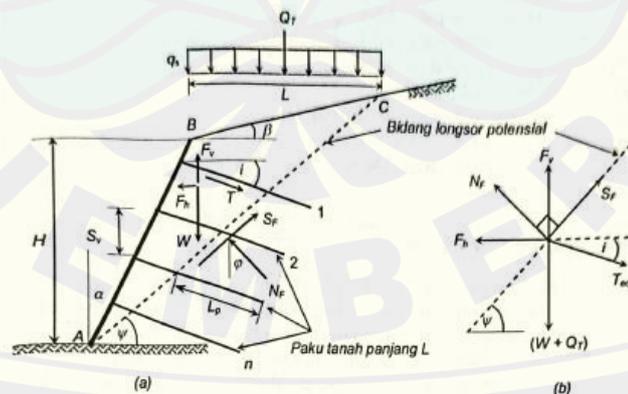
Analisis stabilitas penggunaan perkuatan lereng *soil nailing* terdiri dari dua macam yaitu stabilitas eksternal dan stabilitas internal.

a. Stabilitas Eksternal

Stabilitas eksternal *soil nailing* berkaitan dengan kemampuan perkuatan tersebut untuk menahan tekanan tanah dan beban tambahan yang bekerja.

1) Keruntuhan Lereng Global

Dalam perhitungan ini, digunakan metode pendekatan baji (*wedge*) dengan mempertimbangkan bidang longsor planar.



Gambar 2. 3 Stabilitas global dinding tanah dipaku menggunakan mekanisme keruntuhan baji (*wedge*)

(Sumber: Hardiyatmo, 2022)

$$F_{SL} = \frac{cL_f + T_{eq} \cos(\alpha - i) + (W \cos \alpha + T_{eq} \sin(\alpha - i)) \tan \varphi}{W \sin \alpha} \quad (2.2)$$

$$T_{eq} = \frac{1}{S_h} \sum_{j=1}^n (T_a) \quad (2.3)$$

T_a diambil nilai terkecil dari R_T dan R_P

$$R_P = \pi d L_P q_u \quad (2.4)$$

$$R_T = \frac{1}{4} \pi d_s^2 f_y \quad (2.5)$$

$$\sum \text{Gaya normal} = W \cos \alpha + T_{eq} \cos(\alpha - i) - N_F = 0 \quad (2.6)$$

$$\sum \text{Gaya geser} = W \sin \alpha + T_{eq} \sin(\alpha - i) - S_F = 0 \quad (2.7)$$

dimana:

φ = sudut geser dalam tanah

L_F = panjang bidang longsor (m)

α = sudut kemiringan longsor terhadap garis horizontal

c = kohesi tanah (kN/m²)

W = berat irisan tanah (kN/m)

i = kemiringan pemasangan *nail*

S_h = jarak horizontal paku (m)

S_v = jarak vertical paku (m)

T_{eq} = gaya ekuivalen paku (kN)

N_F = gaya normal pada bidang longsor (kN)

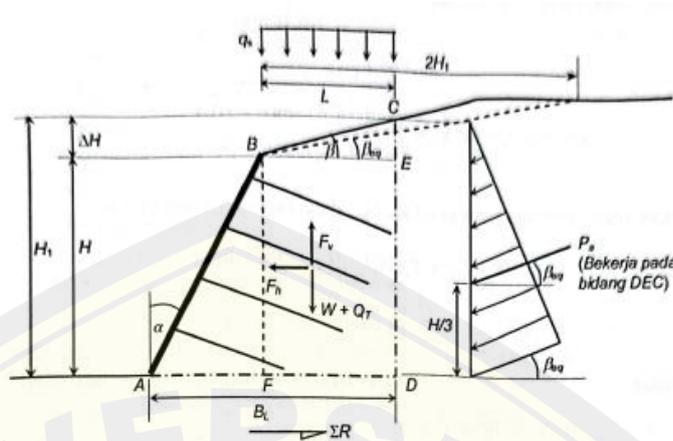
S_F = gaya geser pada bidang longsor

Tabel 2. 2 Ultimate bond strength *nail bar* (FHWA, 2003)

Jenis Tanah/ Batuan	Ultimate Bond Strength, q_u (kN/m ²)
Pasir/ kerikil	100 – 180
Pasir berlanau	100 – 150
Lanau	60 – 75
<i>Residual Piedmont</i>	40 – 120
<i>Colluvium Halus</i>	75 - 150

(Sumber: Hardiyatmo, 2020; 273)

2) Kegagalan Akibat Penggeseran



Gambar 2. 4 Stabilitas terhadap penggeseran dinding tanah dipaku (Sumber: Hardiyatmo, 2022)

Faktor aman terhadap gaya geser dinyatakan oleh persamaan 8.

$$F_{SL} = \frac{\sum R}{\sum D} \quad (2.8)$$

$$\sum R = cB_L + (W + P_a \sin \beta) \tan \varphi \quad (2.9)$$

$$\sum D = P_a \cos \beta \quad (2.10)$$

$$P_a = \frac{1}{2} H_1^2 \gamma K_a \quad (2.11)$$

Nilai K_a diperoleh dari teori Rankine yaitu dengan persamaan 2.12.

$$K_a = \cos \beta \frac{\cos \beta - \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \varphi}}{\cos \beta + \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \varphi}} \quad (2.12)$$

3) Kegagalan Kapasitas dukung Tanah

Ketidakseimbangan yang terjadi pada tanah disebabkan oleh penggalian lereng. Hal ini dapat memicu kegagalan kapasitas daya dukung tanah. Untuk perhitungan stnilitasnya dapat menggunakan persamaan 2.13.

$$F_{SH} = \frac{(c \times N_c) + (0,5 \times \gamma \times B \times N_\gamma)}{H \times \gamma} \quad (2.13)$$

dimana:

H = tinggi dinding (m)

c = kohesi tanah (kN/m²)

β = suddut kemiringan permukaan tanah (derajat)

N_c, N_γ = faktor kapasitas dukung dari Terzaghi (Lampiran)

B_e = lebar efektif tanah yang ditinjau (m)

γ = berat volume tanah (kN/m^3)

4) Kegagalan Akibat Pengaruh Gempa

Dalam analisis stabilitas *nail* terhadap gempa digunakan gaya vertikal dan horizontal. Nilai koefisien gempa vertikal dianggap nol karena perkuatan jenis *soil nailing* merupakan struktur kaku yang lebih reaktif terhadap getaran gempa horizontal. Untuk mendapatkan nilai koefisien horizontal dan vertikal digunakan persamaan 2.14.

$$K_h = 0,5 \frac{a_d}{gal} \quad (2.14)$$

Dengan a_d (F_a) merupakan percepatan gempa maksimum yang didapatkan dari tabel pada Lampiran 2. Parameter yang digunakan dalam analisis gempa diakses melalui rsa.ciptakarya.pu.go.id/2021/ untuk mendapatkan spektrum respon desain

b. Stabilitas Internal

1) Analisis Stabilitas Internal Terhadap Cabut Tulangan

$$FS_P = \frac{R_P}{\sigma_{hi} \cdot S_v \cdot S_h} \quad (2.15)$$

$$R_P = Q_u L_P \quad (2.16)$$

$$Q_u = \pi d q_u \quad (2.17)$$

$$\sigma_h = K_a \gamma z \cos i \quad (2.18)$$

Dimana:

q_u = *ultimate bond strength* (kN/m^2)

σ_h = tekanan horizontal tanah pada kedalaman (kN/m^2)

L_p = panjang tulangan yang berada di zona pasif (m)

d = diameter ubang bor (m)

z = kedalaman *nail* (m)

i = sudut pemasangan *nail* (derajat)

2) Analisis Stabilitas Internal Terhadap Putus Tulangan

$$FS_T = \frac{R_T}{\sigma_{hi} \cdot S_v \cdot S_h} \quad (2.19)$$

$$R_T = A_t f_y \quad (2.20)$$

Dimana:

S_v = jarak tulangan arah vertikal (m),

S_h = jarak tulangan arah horizontal (m),

σ_h = tekanan horizontal tanah kedalaman yang ditinjau (kN/m^2)

L_p = panjang tulangan zona pasif (m),

γ = berat isi tanah (kN/m^3)

A_T = luas tulangan baja (m^2)

2.4.2 Angka keamanan Lereng Menggunakan *Soil nailing*

Lereng dengan perkuatan dapat dikategorikan aman apabila nilai angka keamanan sama dengan atau lebih dari nilai angka keamanan minimum yang telah ditentukan oleh SNI 8460-2017 pada Tabel 2.3.

Tabel 2. 3 Nilai angka keamanan perkuatan *soil nailing*

Stabilitas	Nilai FS
Terhadap Keruntuhan Global (FS_G)	1,5
Terhadap Keruntuhan Global (FS_G) Kondisi Gempa	1,1
Terhadap Gaya Geser (FS_{SL})	1,5
Terhadap Daya Dukung Tanah (FS_H)	3
Terhadap Cabut Tulangan (FS_P)	1,8
Terhadap Putus Tulangan (FS_T)	2

(Sumber: SNI 8460-2017 dalam Abdullah dkk., 2021)

2.5 Pemodelan *Soil nailing* Menggunakan *Software GeoStudio*

GeoStudio adalah perangkat lunak yang digunakan untuk menganalisis geoteknik. Adapun beberapa program yang ada di aplikasi ini, salah satunya yaitu *Geoslope*. Instrumen ini merupakan program untuk menganalisis stabilitas lereng dan perencanaan sistem perkuatannya, termasuk *soil nailing*. Input yang dibutuhkan *Geoslope* untuk analisis dengan model kuat geser Mohr-Coloumb adalah kohesi (Kn/m^3), Φ , dan berat isi tanah (Kn/m^3). Output yang dihasilkan oleh *Geoslope* yaitu angka keamanan (*safety factor*) sebelum dan sesudah perkuatan, grafik angka keamanan, distribusi gaya geser, distribusi tegangan, arah dan posisi garis slip, dan grafik perubahan angka keamanan. Penggunaan program *Geoslope* dapat membantu untuk membandingkan angka keamanan terhadap hitungan manual.

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan di lokasi pekerjaan pembangunan tower di Buleleng, Bali. Waktu penelitian dimulai pada bulan Juni 2023. Untuk memberikan gambaran visual yang jelas, lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.1 dan Gambar 3.2.



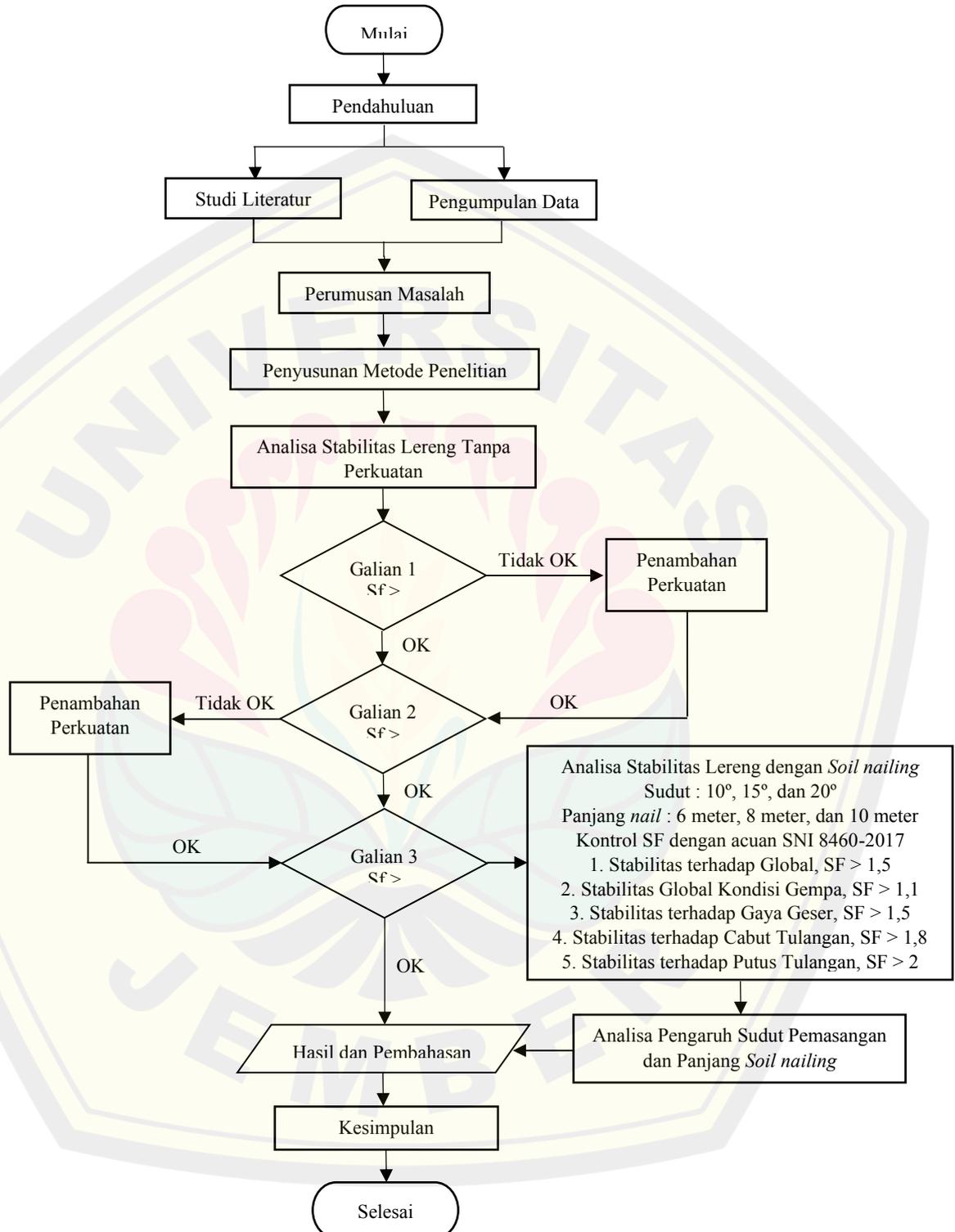
Gambar 3. 1 Lokasi Penelitian
(Sumber: *google earth*)



Gambar 3. 2 Lokasi pemasangan *soil nailing*
(Sumber: Kontraktor pekerjaan pembangunan tower)

3.2 Bagan Alir Penelitian

Prosedur penelitian digambarkan menggunakan flowchart di bawah ini.



Gambar 3. 3 Diagram alir penelitian

Langkah-langkah penelitian dimulai dari pendahuluan yang dapat digunakan untuk memahami masalah pada lokasi penelitian. Kemudian dilanjutkan dengan studi literatur dan pengumpulan data yang digunakan dalam perencanaan untuk keperluan analisis. Sebelum penambahan perkuatan, dilakukan pengecekan lereng terhadap stabilitas untuk tiap penggalian. Apabila terdapat lereng dengan kondisi kritis, maka dilakukan penambahan perkuatan pada lereng tersebut. Setelah itu, dilakukan analisa stabilitas lereng dengan perkuatan *soil nailing* terhadap stabilitas eksternal dan stabilitas internal. Pada tahap ini, digunakan tiga sudut pemasangan yaitu 10°, 15°, dan 20° serta tiga panjang *nail* yaitu 6 meter, 8 meter, dan 10 meter. Kemudian dilakukan analisa pengaruh sudut pemasangan dan panjang *soil nailing* pada tiap perhitungan stabilitas. Langkah yang terakhir yaitu mengambil kesimpulan berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan.

3.3 Pengumpulan Data Penelitian

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data sekunder yang didapat dari kontraktor pekerjaan pembangunan tower, yaitu:

a. Data penyelidikan tanah

Data yang didapat berupa N-SPT dari hasil uji borlog dan uji laboratorium yang terdiri dari sudut geser tanah, kohesi, dan berat jenis tanah.

b. Data *site plan*

Data *site plan* berupa *shopdrawing* yang akan digunakan untuk menentukan galian dari lereng eksisting sehingga mengetahui kondisi tanah dan lokasi pembangunan.

3.4 Metode Analisis

Metode analisis yang digunakan untuk analisis pada penelitian ini yaitu:

a. Pengumpulan dan Pengolahan Data

Data yang telah dikumpulkan akan diolah sehingga didapatkan parameter tanah untuk menentukan statigrafi lereng pada lokasi pemasangan *soil nailing*. Data tanah yang diperlukan yaitu berat jenis tanah, sudut geser, dan kohesi. Pengerjaan pada tahap ini menggunakan bantuan Ms. Excel.

b. Analisis Stabilitas Lereng Tanpa Perkuatan

Untuk mengetahui kapan pemasangan *soil nailing*, analisis stabilitas lereng dilakukan per tahapan galian dengan bantuan *software Geoslope*. Analisis ini dilakukan untuk mengetahui kapan pemasangan *soil nailing* dilakukan dengan mengacu pada J.E. Bowles (1984) untuk nilai angka keamanan kritis pada lereng tanpa perkuatan yaitu 1,07.

c. Analisis Pengaruh *Soil nailing* Terhadap Stabilitas Lereng

Analisis dilakukan dengan menggunakan tiga besar sudut pemasangan yaitu 10°, 15°, dan 20°. Selain itu, juga digunakan tiga panjang *nail* yaitu 6 meter, 8 meter, dan 10 meter untuk tiap sudut pemasangan. Pada tahap ini dilakukan analisis pengaruh besar sudut pemasangan dan panjang *soil nailing* terhadap stabilitas. Perhitungan ini meliputi stabilitas eksternal dan stabilitas internal. Stabilitas eksternal terdiri dari stabilitas global, stabilitas akibat gaya geser, kapasitas dukung tanah, dan akibat pengaruh gempa. Sedangkan stabilitas internal terdiri dari stabilitas terhadap cabut tulangan dan putus tulangan. Acuan yang digunakan untuk kontrol nilai angka keamanan adalah SNI 8460-2017.

d. Hasil dan Pembahasan

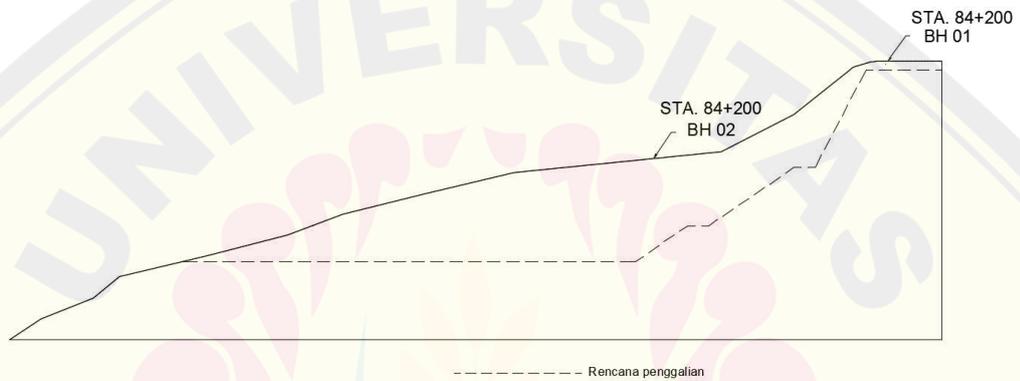
Pembahasan dari penelitian ini mencakup perhitungan stabilitas secara manual dan analisis stabilitas dengan bantuan *Geoslope*. Keduanya digunakan untuk memvalidasi dan membandingkan hasil perhitungan. Hasil analisis ini mencakup identifikasi parameter dari perencanaan yang memiliki dampak terhadap stabilitas lereng. Selain itu, hasil penelitian ini juga berupa pemilihan sudut pemasangan dan panjang *nail* yang sesuai dengan kriteria perencanaan yang telah ditetapkan.

BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

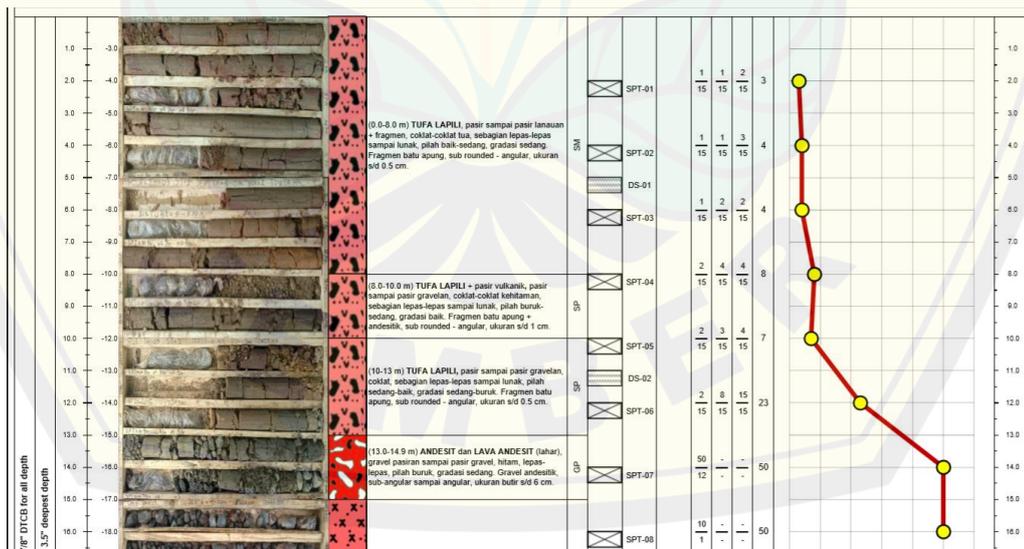
4.1 Analisis Data

4.1.1 Data Tanah

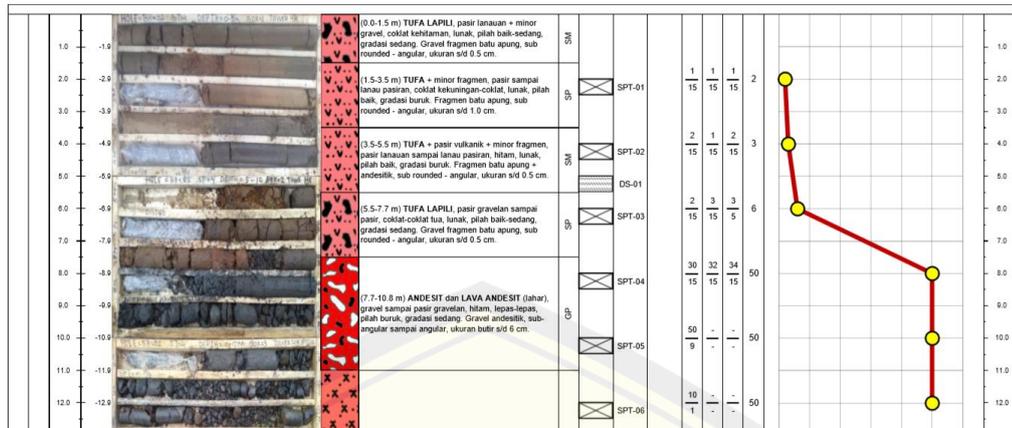
Dikarenakan lereng memiliki ketinggian yang tidak merata dan cenderung menurun, maka digunakan dua data pengujian boring log dengan kedalaman masing-masing 16 meter. Letak pengambilan sampel dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4. 1 Titik pengambilan sampel boring log



Gambar 4. 2 Data N-SPT BH 01



Gambar 4. 3 Data N-SPT BH 02

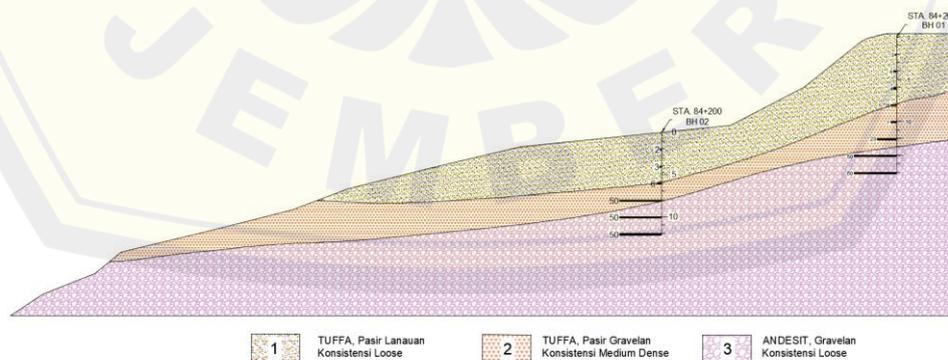
Dalam melakukan analisis, parameter tanah yang diperlukan yaitu berat jenis tanah (γ), sudut geser (ϕ), dan kohesi (c). Hasil analisis dengan tabel korelasi menurut J.E. Bowles (1984), dapat dilihat di Lampiran 1, didapatkan parameter tanah pada Tabel 4.1.

Tabel 4. 1 Data parameter tanah

Jenis Tanah	γ kN/m ³		ϕ		c kN/m ²	
	BH 1	BH 2	BH 1	BH 2	BH 1	BH 2
Pasir lanauan	12,89	13,33	26,56	27,33	5	5
Pasir Gravelan	13,51	15,37	27,18	28,42	15	15
Andesit	15	20	30,00	40,00	45	45

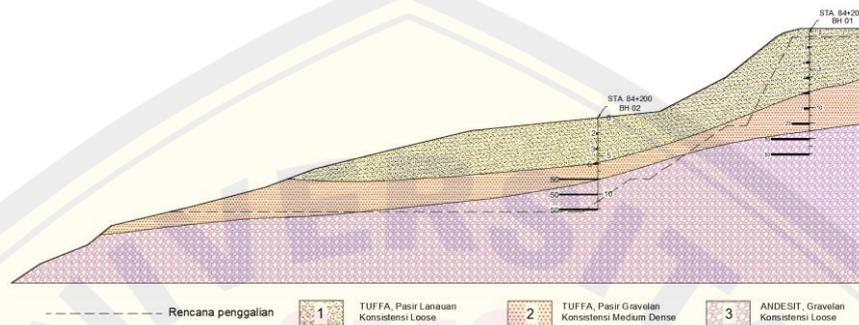
4.1.2 Data Geometri Lereng

Berdasarkan data parameter tanah pada Tabel 4.1, didapatkan stratigrafi lereng yang dapat dilihat pada Gambar 4.4.



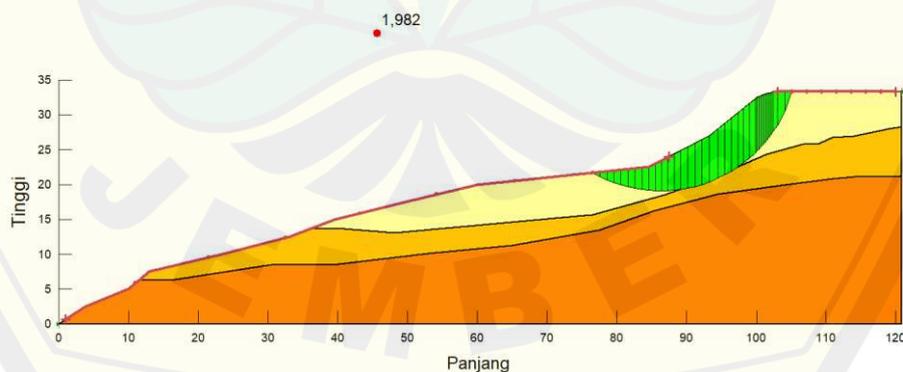
Gambar 4. 4 Stratigrafi lereng

Dari hasil observasi di lapangan, diperlukan penggalian untuk memenuhi luas area yang dibutuhkan. Proses ini akan melibatkan tiga tahap penggalian, sesuai dengan rencana yang tertera pada Gambar 4.5. Pada setiap penggalian akan dilakukan pengecekan terhadap stabilitas lereng. Apabila masih dikategorikan aman terhadap longsor, maka tahap penggalian dapat dilanjutkan.



Gambar 4. 5 Rencana penggalian pada lereng eksisting

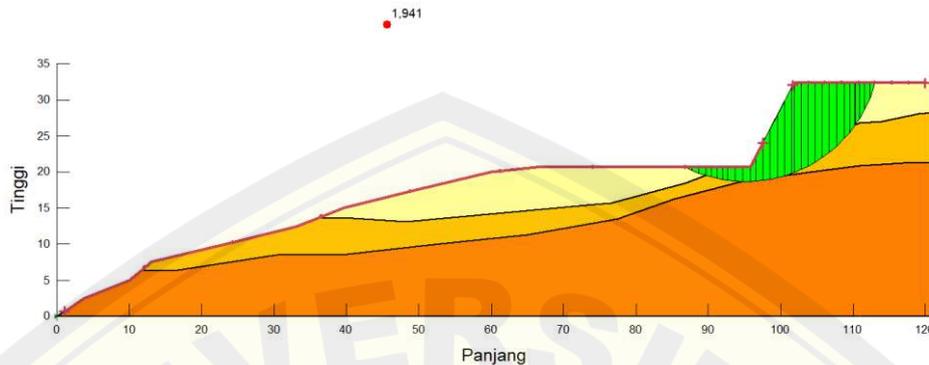
Sebelum dilakukan penggalian, diperlukan pengecekan angka keamanan untuk mengetahui potensi longsor yang akan terjadi. Lereng dapat dikatakan kritis terhadap longsor apabila memiliki nilai angka keamanan kurang dari atau sama dengan 1,07 jika tanpa perkuatan. Hasil analisis dengan bantuan *Geoslope*, dapat dilihat pada Gambar 4.6, didapatkan angka keamanan sebesar $1,982 > 1,25$ yang berarti aman terhadap longsor. Maka dari itu, penggalian tahap pertama dapat dilakukan.



Gambar 4. 6 Nilai angka keamanan lereng eksisting sebelum penggalian

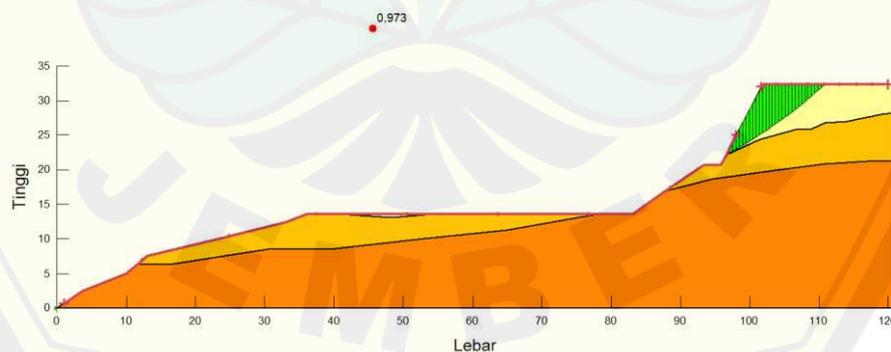
Penggalian pertama, dapat dilihat pada Gambar 4.7, digunakan data tanah pada *borehole* 1 untuk meninjau stabilitas lereng. Hasil analisis didapatkan nilai

angka keamanan sebesar $1,941 > 1,07$ yang berarti masih dalam kategori aman terhadap longsor sehingga tidak memerlukan perkuatan untuk dapat melanjutkan pada galian tahap kedua.

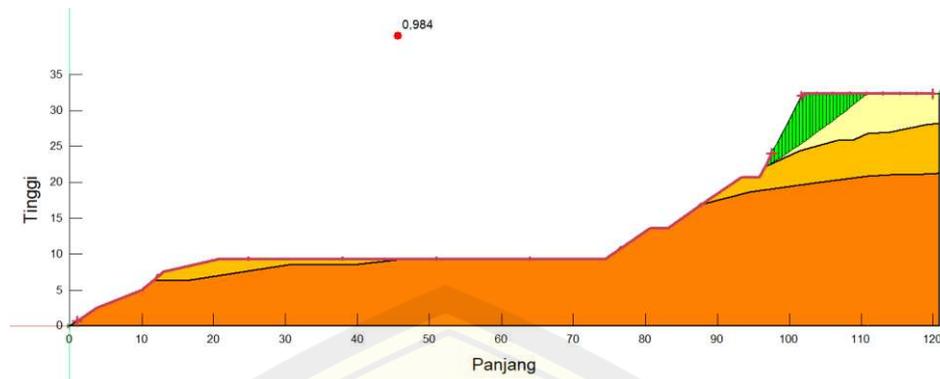


Gambar 4. 7 Nilai angka keamanan untuk galian Pertama

Penggalian kedua, dapat dilihat pada Gambar 4.8, digunakan data tanah pada digunakan data tanah dari *borehole 1* dan *borehole 2*. Hasil analisis didapatkan angka keamanan $0,973 < 1,07$ yang berarti tidak aman terhadap longsor sehingga diperlukan perkuatan agar dapat dilanjutkan penggalian tahap ketiga. Untuk mengetahui nilai angka keamanan lebih lanjut, maka dilakukan pengecekan pada tahap penggalian ketiga dengan menggunakan data *borehole 2* yang dapat dilihat pada Gambar 4.8. Pada penggalian ini didapatkan nilai angka keamanan sebesar $0,984 < 1,07$ yang berarti tidak aman terhadap longsor.



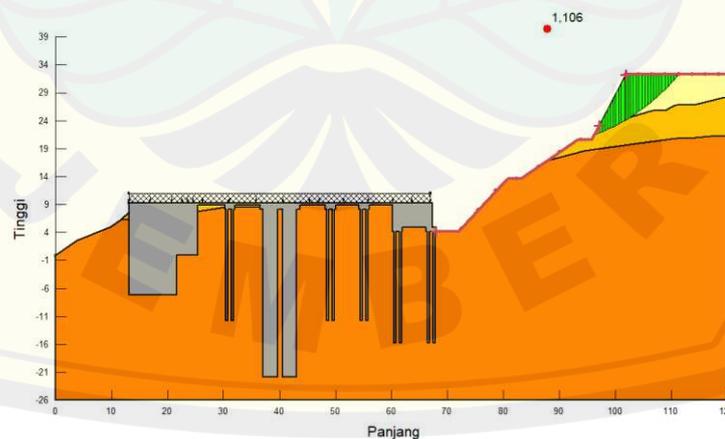
Gambar 4. 8 Nilai angka keamanan untuk galian kedua



Gambar 4. 9 Nilai angka keamanan untuk galian ketiga

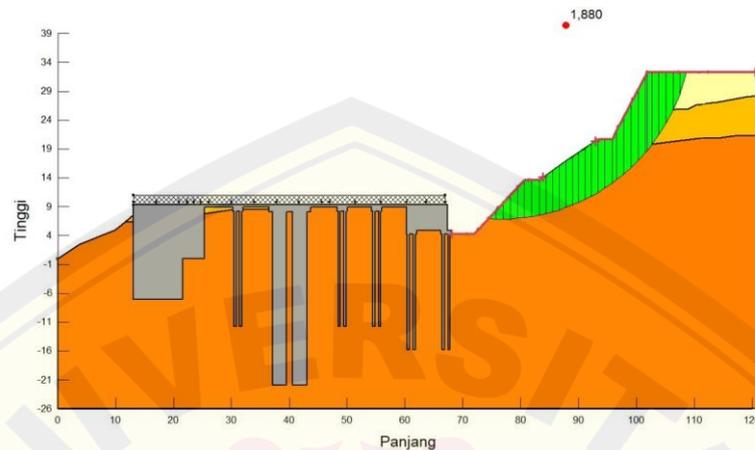
Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan seperti pada Gambar 4.7, 4.8, dan 4.9, didapatkan kesimpulan bahwa penggalian tahap kedua memiliki angka keamanan yang kritis terhadap longsor. Maka, perlu adanya tambahan perkuatan pada lereng galian pertama untuk dapat melanjutkan galian tahap kedua.

Guna keperluan pembangunan gedung, maka dilakukan pengecekan angka keamanan pada saat gedung tersebut telah dibangun. Berdasarkan data dari pekerjaan, beban total gedung diasumsikan sebesar 350 kN/m^2 . Kedalaman *boredpile* dengan diameter 400 mm diasumsikan 20 meter dan untuk *boredpile* dengan diameter 2500 mm diasumsikan memiliki kedalaman 35 meter. Angka keamanan yang terjadi pada saat *entry-exit* berada di lereng galian pertama, dapat dilihat pada Gambar 4.10, yaitu sebesar $1,106 > 1,07$ yang berarti aman terhadap longsor.



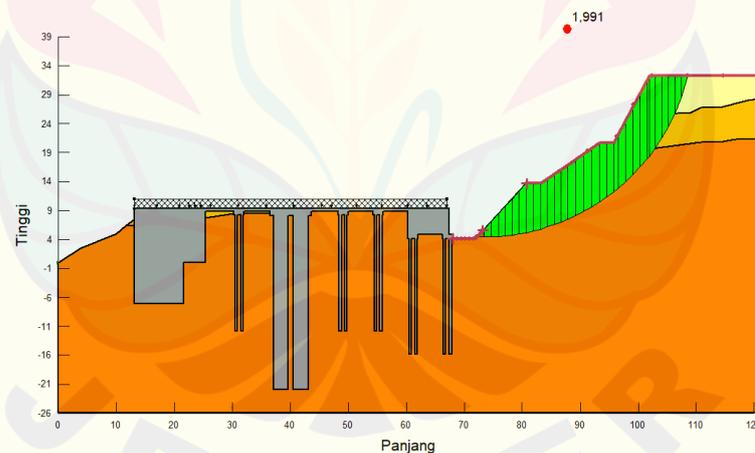
Gambar 4. 10 Nilai angka keamanan pada lereng galian pertama dengan beban bangunan

Angka keamanan yang terjadi pada saat *entry-exit* berada di lereng galian kedua, dapat dilihat pada Gambar 4.11, yaitu sebesar $1,880 > 1,25$ yang berarti aman terhadap longsor.



Gambar 4. 11 Nilai angka keamanan pada lereng galian kedua dengan beban bangunan

Sedangkan angka keamanan pada saat *entry-exit* berada pada galian ketiga, dapat dilihat pada Gambar 4.12, sebesar $1,991 > 1,07$ yang berarti aman terhadap longsor.



Gambar 4. 12 Nilai angka keamanan pada lereng galian ketiga dengan beban bangunan

Secara prinsip, pembangunan dilakukan setelah seluruh proses penggalian dilakukan. Berdasarkan Gambar 4.7, 4.8, dan 4.9, dapat diambil kesimpulan bahwa saat penggalian lereng tahap kedua memiliki nilai angka keamanan kurang dari 1,07 yang berarti lereng tersebut tergolong tidak aman terhadap longsor. Maka dari itu, pemasangan perkuatan *soil nailing* dilakukan pada saat setelah penggalian pertama.

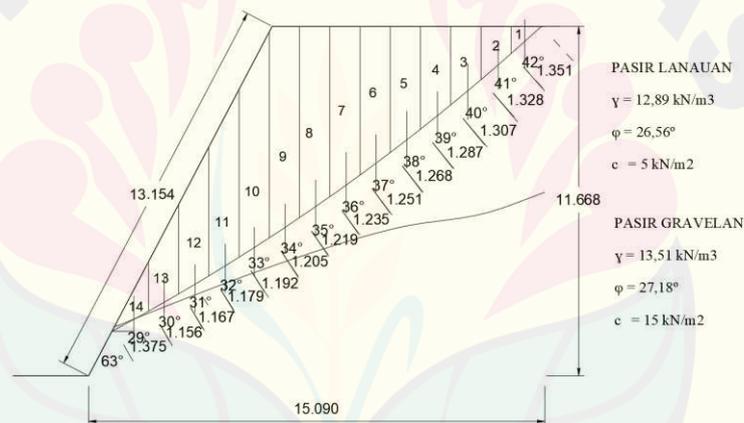
4.2 Analisis Stabilitas Lereng Tanpa *Soil nailing*

4.2.1 Analisis Stabilitas Lereng Menggunakan *Geoslope*

Hasil analisis menggunakan *Geoslope* didapatkan angka keamanan lereng tanpa perkuatan sebesar 0,975, dapat dilihat pada Gambar 4.9, yang memiliki bidang kelongsoran linear. Dari hasil analisis tersebut, dapat digunakan sebagai acuan dalam perhitungan secara manual metode Fellenius.

4.2.2 Analisis Stabilitas Lereng Menggunakan Metode Fellenius

Setelah penggalian tahap pertama didapatkan sudut kemiringan lereng sebesar 63° dengan ketinggian lereng yang akan ditambah perkuatan adalah 11,668 m. Analisis stabilitas dengan metode Fellenius dibagi menjadi 14 pias yang dapat dilihat pada Gambar 4.13. Perkuatan akan dipasang pada lereng galian pertama sehingga menggunakan data tanah pada *borehole* 1.



Gambar 4. 13 Pembagian pias pada lereng metode Fellenius

Berdasarkan pembagian pias dan bidang longsor didapatkan sudut bidang sebesar 35° secara linear.

- a. Berat Irisan Tanah

$$W_i = \gamma \times A_i$$

Dikarenakan tidak terdapat beban di atas lereng, maka perhitungan W menggunakan berat tanah itu sendiri. Dikarenakan menggunakan cara yang sama, maka digunakan nilai W_1 dan W_{14} sebagai contoh perhitungan sedangkan untuk hasil perhitungan lainnya direkapitulasi dalam tabel.

$$W_1 = \gamma \times A_1 = 12,89 \times 0,456 = 5,877 \text{ kN}$$

$$W_{14} = (\gamma \times A_{14a}) + (\gamma \times A_{14b}) = (12,89 \times 0,950) + (13,51 \times 0,039) = 12,779 \text{ kN}$$

b. Pehitungan Parameter Sudut

Sudut kemiringan bidang longsor (α) = 35°

$$\text{Sin } 35^\circ = 0,574$$

$$\text{Cos } 35^\circ = 0,819$$

c. Pehitungan $W_t \times \text{Sin } \alpha$

$$W_{t1} = W_t \times \text{Sin } \alpha = 5,877 \times 0,574 = 3,933$$

d. Pehitungan $W_t \times \text{Cos } \alpha$

$$W_{t1} = W_t \times \text{Cos } \alpha = 5,877 \times 0,819 = 4,368$$

Rekapitulasi perhitungan pada irisan lainnya untuk metode manual Fellenius dapat dilihat dalam Tabel 4.2.

Tabel 4. 2 Rekapitulasi perhitungan Metode Fellenius

No.	Luas Irisan (m2) (AUTOCAD)		Panjang Irisan (L)	Sudut Irisan (α)	Berat Irisan (w)	Wt sin α	Wt cos α	Wt cos α tan ϕ	c x L + (Wt cos α tan ϕ)
	Lapis 1	Lapis 2							
1	0,456	0	1,351	42	5,877	3,933	4,368	2,183	8,938
2	1,345	0	1,328	41	17,329	11,369	13,078	6,537	13,177
3	2,204	0	1,307	40	28,403	18,257	21,758	10,875	17,410
4	3,027	0	1,287	39	39,016	24,554	30,321	15,154	21,589
5	3,824	0	1,286	38	49,286	30,343	38,838	19,411	25,841
6	4,590	0	1,251	37	59,156	35,601	47,244	23,612	29,867
7	5,328	0	1,235	36	68,667	40,361	55,553	27,765	33,940
8	6,039	0	1,219	35	77,832	44,643	63,756	31,865	37,960
9	6,715	0	1,205	34	86,549	48,398	71,752	35,861	41,886
10	6,202	0	1,192	33	79,933	43,535	67,037	33,505	39,465
11	4,953	0	1,179	32	63,844	33,832	54,143	27,060	32,955
12	3,645	0	1,167	31	46,983	24,198	40,272	20,128	25,963
13	2,314	0	1,156	30	29,829	14,914	25,832	12,911	18,691
14	0,950	0,039	1,375	39	12,779	8,042	9,931	5,101	11,976
	TOTAL		17,538		665,483	381,979	543,884	271,966	359,656

Dari perhitungan manual metode Fellenius, nilai angka keamanan (FS) adalah:

$$FS = \frac{\sum(c \times L + \tan \phi \times \text{cos } \alpha)}{\sum W \text{sin } \alpha} = \frac{359,656}{381,979} = 0,942 < 1,07 \text{ maka lereng termasuk tidak aman}$$

Nilai angka keamanan dengan perhitungan manual metode Fellenius tanpa perkuatan yaitu 0,942. Sedangkan perhitungan dengan menggunakan *Geostudio* menunjukkan nilai angka keamanan sebesar 0,973. Keduanya menunjukkan hasil

yang tidak berbeda jauh, yaitu 0,031, dan termasuk memiliki kelongsoran yang kritis.

4.3 Analisis Stabilitas Lereng Dengan *Soil nailing*

Analisis dilakukan dengan perhitungan manual dan dengan program *Geoslope*. Analisis manual digunakan untuk memberikan pemahaman terkait dasar teori dan konsep *soil nailing*. Penggunaan program bantu *Geoslope* digunakan untuk validasi hasil perhitungan manual. Dengan membandingkan hasil analisis manual dengan hasil dari *Geoslope* dapat digunakan untuk keandalan analisis. Digunakan tiga besar sudut yaitu 10° , 15° , dan 20° dan tiga panjang *nail* yaitu 6 meter, 8 meter, dan 10 meter. Dalam perhitungan ini digunakan perwakilan satu sudut yaitu 10° karena memiliki proses perhitungan yang sama. Maka dari itu, hasil perhitungan pada sudut pemasangan yang lain, akan direkapitulasi dalam bentuk tabel dan grafik di akhir perhitungan. Data yang digunakan yaitu:

Tinggi tanah (H)	= 11,668 m
Sudut kemiringan lereng (β)	= 63°
Sudut kemiringan bidang runtuh (α)	= 35°
Panjang bidang longsor (Lf)	= 19,279 m
Jarak <i>nail</i> horizontal (Sh)	= 2 m
Jarak <i>nail vertical</i> (Sv)	= 2 m

4.3.1 Analisis Menggunakan Metode Baji (*Wedge*)

Analisis kestabilan lereng yang melibatkan perkuatan dilakukan untuk mengevaluasi stabilitas terhadap potensi keruntuhan global lereng. Penetapan sudut keruntuhan menggunakan garis keruntuhan planar, dengan menggunakan titik koordinat dari bidang longsor tersebut sebagai dasar untuk menentukan bidang kelongsoran yang mungkin terjadi dalam analisis stabilitas lereng yang telah diperkuat. Sudut keruntuhan yang didapat dengan menggunakan Autocad sebesar 35° terhadap horizontal. Besarnya sudut keruntuhan (α) menjadi parameter yang digunakan dalam setiap analisis potensi keruntuhan pada lereng yang telah mengalami perkuatan.

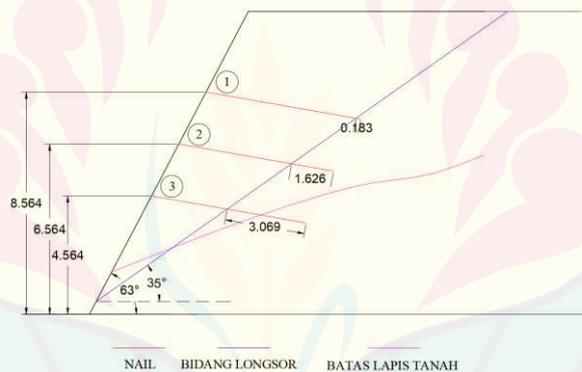
Perhitungan analisis ini menggunakan data *nail bar* pada Tabel 4.3.

Tabel 4. 3 Data *nail* bar yang digunakan

Parameter	Nilai	Satuan
Diameter (D)	32	mm
As	819	mm ²
Fy	517	Mpa
E	2,1 x 10 ⁹	
Bond diameter (d)	0,1	m
Kuat ikatan ultimit	100	Kpa

a. Menghitung Panjang *Nail* di Belakang Bidang Longsor (Lp)

Panjang Lp dihitung menggunakan Autocad dengan menyusun *nail* secara vertikal dan horizontal dengan jarak 2 meter untuk setiap panjang dan sudut *nail*. Gambar 4.14 menyajikan contoh penomoran pemasangan *nail* beserta panjang Lp yang dapat diidentifikasi. Informasi lebih lanjut mengenai panjang Lp untuk setiap panjang *nail* pada berbagai sudut dapat dilihat dalam Tabel 4.4 yang merinci hasil rekapitulasi.



Gambar 4. 14 Panjang Lp pada panjang *nail* 6 m

Tabel 4. 4 Rekapitulasi panjang Lp dan Hi untuk sudut 10°, 15°, dan 20°

No <i>Nail</i>	hi (m)	Sudut (i) = 10°			Sudut (i) = 15°			Sudut (i) = 20°		
		Panjang <i>Nail</i> (m)			Panjang <i>Nail</i> (m)			Panjang <i>Nail</i> (m)		
		6	8	10	6	8	10	6	8	10
1	8,564	0,183	2,183	4,183	0,625	2,625	4,625	0,969	2,969	4,969
2	6,564	1,626	3,626	5,626	1,958	3,958	5,958	2,217	4,217	6,217
3	4,564	3,069	5,069	7,069	3,292	5,292	7,292	3,465	5,465	7,465

b. Stabilitas Eksternal

1) Stabilitas Global

$$R_T = A_t f_y$$

$$= (819 \times 10^{-6}) \times (517 \times 10^3)$$

$$= 423,423 \text{ kN}$$

$$R_p = \pi d L p q_u$$

$$= \pi \times 0,1 \times 0,183 \times 100$$

$$= 5,749 \text{ kN} < R_T, \text{ maka gunakan nilai } R_p \text{ untuk nilai } T_a$$

Perhitungan nilai R_p untuk panjang *nail* dan sudut lainnya direkapitulasi dalam Tabel 4.5.

Tabel 4. 5 Rekapitulasi nilai R_p

No <i>Nail</i>	Nilai R_p								
	Sudut (i) = 10			Sudut (i) = 15			Sudut (i) = 20		
	6m	8m	10m	6m	8m	10m	6m	8m	10m
1	5,749	68,581	131,413	19,635	82,467	145,299	30,442	93,274	156,106
2	51,082	113,914	176,746	61,512	124,344	187,176	69,649	132,481	195,313
3	96,415	159,247	222,079	103,421	166,253	229,085	108,856	171,688	234,520

Dari hasil perhitungan nilai R_p , kemudian diperhitungkan gaya ekivalen *nail* (T_{eq}) yang dinyatakan oleh:

$$T_{eq} = \frac{1}{sh} \sum_{j=1}^n (T_a)_j$$

$$= \frac{1}{2} 4,749 = 2,875 \text{ m}$$

Dikarenakan menggunakan metode perhitungan yang serupa, hasil perhitungan T_{eq} untuk panjang *nail* dan sudut lainnya dapat dilihat dalam Tabel 4.6.

Tabel 4. 6 Rekapitulasi nilai T_{eq}

No <i>Nail</i>	Nilai T_{eq}								
	Sudut (i) = 10			Sudut (i) = 15			Sudut (i) = 20		
	6m	8m	10m	6m	8m	10m	6m	8m	10m
1	2,875	34,290	65,706	9,817	41,233	72,649	15,221	46,637	78,053
2	25,541	56,957	88,373	30,756	62,172	93,588	34,825	66,240	97,656
3	48,208	79,624	111,040	51,711	83,127	114,542	54,428	85,844	117,260

Pada bidang longsor, diperhitungkan keseimbangan gaya normal yang dinyatakan oleh:

$$\sum \text{Gaya normal} = W \cos \alpha + T_{eq} \cos (\alpha - i) - N_F = 0$$

$$N_F = 665,483 \cos 35^\circ + 2,875 \cos (35^\circ - 10^\circ) = 547,737 \text{ kN}$$

Untuk perhitungan panjang *nail* dan sudut yang lain direkapitulasi dalam Tabel 4.7.

Tabel 4. 7 Rekapitulasi gaya normal (kN) pada sudut pemasangan 10°, 15°, dan 20°

No <i>Nail</i>	Sudut (i) = 10°			Sudut (i) = 15°			Sudut (i) = 20°		
	6 m	8 m	10 m	6 m	8 m	10 m	6 m	8 m	10 m

1	547,737	576,209	604,682	554,357	583,878	613,400	559,834	590,179	620,525
2	568,280	596,752	625,225	574,033	603,554	633,076	578,770	609,115	639,460
3	588,823	617,295	645,768	593,724	623,245	652,766	597,705	628,051	658,396

Selain mempertimbangkan gaya normal, diperhitungkan juga keseimbangan gaya geser yang dinyakan oleh:

$$\sum \text{Gaya geser} = W \sin \alpha + T_{eq} \sin (\alpha - i) - S_F = 0$$

$$S_F = 665,483 \sin 35^\circ + 2,875 \sin (35^\circ - 10^\circ) = 613,189 \text{ kN}$$

Dikarenakan menggunakan metode perhitungan yang serupa, informasi terkait perhitungan panjang *nail* dan sudut lainnya telah direkapitulasi dalam Tabel 4.8.

Tabel 4. 8 Rekapitulasi gaya geser (kN) pada sudut pemasangan 10°, 15°, dan 20°

No <i>Nail</i>	Sudut (i) = 10°			Sudut (i) = 15°			Sudut (i) = 20°		
	6 m	8 m	10 m	6 m	8m	10m	6m	8m	10m
1	613,189	625,222	637,255	571,307	581,403	591,500	526,601	534,455	542,309
2	621,871	633,904	645,937	578,036	588,133	598,230	531,502	539,356	547,210
3	630,552	642,585	654,618	584,771	594,868	604,964	536,403	544,257	552,111

$$F_{SL} = \frac{cL_f + T_{eq} \cos(\alpha - i) + (W \cos \alpha + T_{eq} \sin(\alpha - i)) \tan \phi}{W \sin \alpha}$$

$$= \frac{192,79 + 2,875 \cos(35^\circ - 10^\circ) + (665,483 \cos 35^\circ + 2,875 \sin 35^\circ \tan 26,56^\circ)}{665,483 \sin 35^\circ}$$

$$= 0,975 < 1,5$$

Perhitungan stabilitas terhadap global pada panjang *nail* dan sudut sudut lainnya direkapitulasi dalam Tabel 4.9.

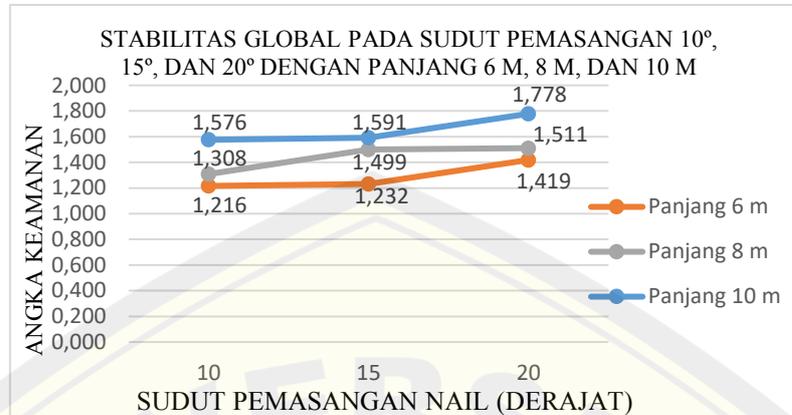
Tabel 4. 9 Rekapitulasi angka keamanan global pada sudut pemasangan 10°, 15°, dan 20°

No <i>Nail</i>	Sudut (i) = 10°			Sudut (i) = 15°			Sudut (i) = 20°		
	6 m	8 m	10 m	6 m	8 m	10 m	6 m	8 m	10 m
1	0,975	1,067	1,159	0,995	1,087	1,179	1,011	1,103	1,221
2	1,041	1,133	1,225	1,056	1,148	1,240	1,594	1,686	1,778
3	1,633	1,725	1,818	1,643	1,736	1,828	1,651	1,744	1,836
Rata-rata	1,216	1,308	1,376	1,232	1,299	1,391	1,419	1,511	1,778

Berdasarkan Tabel 4.9, didapatkan bahwa nilai angka keamanan meningkat seiring dengan peningkatan kedalaman peletakan *nail*. Sehingga dapat disimpulkan bahwa peningkatan kedalaman peletakan *nail* yang semakin jauh dari permukaan lereng berkontribusi pada peningkatan nilai angka keamanan. Hal tersebut karena peletakan *nail* yang lebih dalam dapat memberikan efek penahanan yang lebih baik terhadap tekanan lateral dan potensi geser tanah di sekitarnya.

Dalam menilai pengaruh sudut pemasangan dan panjang *soil nailing* terhadap stabilitas global, digunakan rata-rata angka keamanan yang dihasilkan oleh ketiga

nail pada setiap panjangnya. Hasil analisis ini dapat dilihat dalam grafik pada Gambar 4.15.



Gambar 4. 15 Grafik stabilitas global pada sudut pemasangan 10°, 15°, dan 20°

Berdasarkan grafik pada Gambar 4.15, terdapat variabilitas dalam kenaikan nilai angka keamanan *soil nailing*. Pada panjang *nail* 6 meter dan sudut 10° serta 15°, terjadi sedikit kenaikan, sedangkan pada sudut 20°, terjadi kenaikan yang lebih signifikan. Panjang *nail* 8 meter menunjukkan kenaikan yang tidak konsisten, dengan perubahan peningkatan angka keamanan yang lebih besar pada sudut 15° dibandingkan dengan sudut 20°. Sementara itu, panjang *nail* 10 meter menunjukkan kenaikan yang stabil pada sudut 15°, sementara pada sudut 20° terjadi kenaikan yang cukup drastis. Hal tersebut dapat dijelaskan melalui perhitungan stabilitas global yang dipengaruhi oleh besarnya gaya ekuivalen pada paku. Gaya ekuivalen pada paku berkaitan erat dengan nilai kapasitas cabut untuk setiap *nail* yang digunakan. Perubahan pada sudut pemasangan dan panjang *nail* memengaruhi distribusi beban lateral dan karakteristik gaya geser pada *nail* dalam tanah. Sudut pemasangan yang optimal dapat menghasilkan distribusi beban yang merata, meningkatkan efisiensi *nail* dalam menahan gaya geser, dan tercermin dalam peningkatan angka keamanan. Sudut dan panjang *nail* yang lebih besar cenderung memberikan resistansi yang lebih baik terhadap gaya lateral dan gaya geser yang bekerja pada lereng. Oleh karena itu, peningkatan besar sudut dan panjang *nail* secara langsung berkontribusi pada peningkatan kemampuan sistem untuk menjaga stabilitas lereng, yang tercermin dalam peningkatan nilai angka keamanan. Dengan kata lain, semakin besar sudut dan panjang *nail*, semakin kuat dan efektif sistem

dalam mencegah potensi kegagalan atau keruntuhan lereng. Dari tiga kombinasi sudut dan panjang yang dianalisis, ditemukan bahwa nilai angka keamanan yang dianggap aman terhadap stabilitas global terjadi pada panjang 8 meter dengan sudut 20° dan panjang 10 meter untuk semua sudut yang digunakan dalam analisis.

2) Kegagalan Akibat Penggeseran

Perhitungan stabilitas terhadap geser melibatkan perbandingan kemampuan struktur untuk menahan tekanan lateral dari tanah aktif yang telah termobilisasi. Nilai koefisien tekanan tanah aktif (K_a) menggunakan teori Rankine dengan persamaan 2.12 yang dalam perhitungannya dinyatakan oleh:

$$K_{a1} = \cos 0^\circ \frac{\cos 0^\circ - \sqrt{\cos^2 0^\circ - \cos^2 26,56^\circ}}{\cos 0^\circ + \sqrt{\cos^2 0^\circ - \cos^2 26,56^\circ}} = 0,3821$$

$$K_{a2} = \cos 0^\circ \frac{\cos 0^\circ - \sqrt{\cos^2 0^\circ - \cos^2 27,18^\circ}}{\cos 0^\circ + \sqrt{\cos^2 0^\circ - \cos^2 27,18^\circ}} = 0,3728$$

$$H_1 = 5,537 \text{ m}$$

$$H_2 = 6,131 \text{ m}$$

Selain itu, juga diperhitungkan tekanan tanah pasif (P_a) menggunakan persamaan 2.11 yang dinyatakan oleh:

$$\begin{aligned} P_{a1} &= \frac{1}{2} H_1^2 \gamma K_a \\ &= \frac{1}{2} \times 5,537^2 \times 12,89 \times 0,3821 = 29,287 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{a2} &= \frac{1}{2} \times 6,131^2 \times 13,51 \times 0,3728 \\ &= 105,106 \end{aligned}$$

$$P_{a\text{total}} = 29,287 + 105,106 = 134,393$$

$$L_x = L_{\text{nail}} \times \cos i - t \tan \alpha$$

$$L_1 = 6 \times \cos 10^\circ - 0,5 \tan 35^\circ = 5,559 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} X_i &= \cos \beta \times \text{panjang kemiringan lereng} \\ &= \cos 63^\circ \times 13,154 = 5,972 \text{ m} \end{aligned}$$

$$B_L = X_i + L_x$$

$$B_{L1} = 5,972 + 5,559 = 11,531$$

Perhitungan stabilitas angka keamanan terhadap penggeseran menggunakan persamaan 2.8.

$$F_{SL} = \frac{\sum R}{\sum D} = \frac{cB_L + (W + Pa \sin \beta) \tan \phi}{Pa \cos \beta}$$

$$F_{SL1} = \frac{5 \times 11,531 + (665,483 + 134,393 \sin 0^\circ) \tan 26,56^\circ}{134,393 \cos 0^\circ}$$

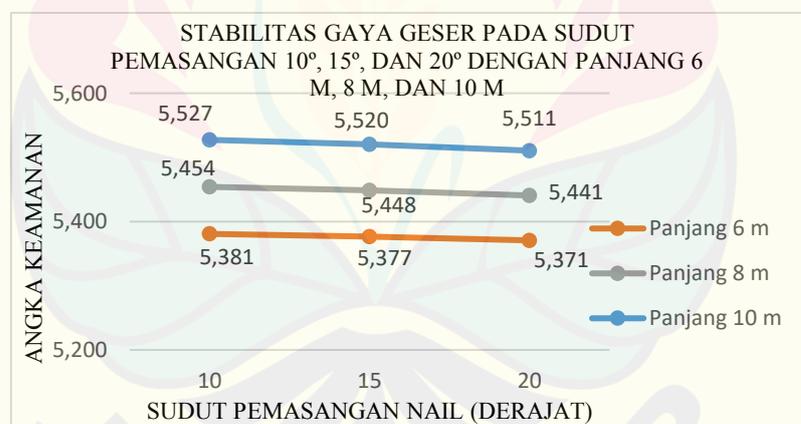
$$= 5,381 > 1,5 \text{ maka aman terhadap penggeseran}$$

Dikarenakan menggunakan metode perhitungan yang serupa, informasi terkait perhitungan stabilitas terhadap geser pada panjang *nail* dan sudut lainnya telah direkapitulasi dalam Tabel 4.10.

Tabel 4. 10 Rekapitulasi stabilitas terhadap geser

Sudut (i)	Panjang Nail (m)	Lx	BL	$\sum R$	FS _{SL}	Keterangan
10	6	5,559	11,531	723,135	5,381	Aman
	8	7,528	13,500	732,984	5,454	Aman
	10	9,498	15,470	742,832	5,527	Aman
15	6	5,445	11,417	722,569	5,377	Aman
	8	7,377	13,349	732,228	5,448	Aman
	10	9,309	15,281	741,888	5,520	Aman
20	6	5,288	11,260	721,782	5,371	Aman
	8	7,167	13,139	731,179	5,441	Aman
	10	9,047	15,019	740,576	5,511	Aman

Hasil rekapitulasi pada Tabel 4.10 kemudian ditampilkan dalam bentuk grafik pada Gambar 4.16 untuk keperluan analisis.



Gambar 4. 16 Grafik stabilitas terhadap geser pada sudut pemasangan 10°, 15°, dan 20°

Berdasarkan grafik pada Gambar 4.16, terlihat adanya kecenderungan penurunan nilai angka keamanan terhadap gaya geser seiring dengan peningkatan besar sudut pemasangan *nail*. Artinya, semakin besar sudut pemasangan *nail*, semakin rendah nilai angka keamanan terhadap gaya geser yang diperoleh. Hasil ini mengindikasikan bahwa sudut pemasangan *nail* memiliki pengaruh terhadap kemampuan sistem dalam menahan gaya geser. Selain itu, juga mempengaruhi

distribusi beban dan interaksi antara *nail* dengan tanah sekitarnya. Oleh karena itu, hasil penurunan nilai angka keamanan terhadap gaya geser dengan peningkatan sudut pemasangan *nail* menunjukkan bahwa sudut tersebut memiliki dampak signifikan terhadap kemampuan sistem dalam menahan gaya geser. Semakin besar sudut pemasangan *nail*, semakin kurang efektif *nail* dalam menyediakan penahanan terhadap gaya geser lateral.

3) Kegagalan Kapasitas Dukung Tanah

Lereng yang ditinjau memiliki dua jenis tanah yang berbeda dengan kontur non linear. Maka dari itu, parameter tanah yang digunakan untuk perhitungan kapasitas dukung tanah menggunakan rata-rata dari keduanya.

$$\gamma = 13,199 \text{ kN/m}^2$$

$$\varphi = 26,87^\circ$$

$$c = 10$$

$$B_e = 15,09 \text{ m}$$

$$H = 11,668 \text{ m}$$

$$N_c = 28,96$$

$$N_\gamma = 11,37$$

Perhitungan nilai N_c dan N_γ didapatkan dari hasil interpolasi tabel dari Terzaghi pada Lampiran 1

$$\begin{aligned} F_{SH} &= \frac{(c \times N_c) + (0,5 \times \gamma \times B_e \times N_\gamma)}{H \times \gamma} \\ &= \frac{(10 \times 28,96) + (0,5 \times 13,199 \times 15,09 \times 11,37)}{11,668 \times 13,199} \\ &= 9,233 > 3, \text{ maka aman terhadap kegagalan kapasitas dukung tanah} \end{aligned}$$

4) Kegagalan Akibat Pengaruh Gempa

Berdasarkan data gempa yang diakses melalui rsa.ciptakarya.pu.go.id/2021/ didapatkan parameter:

$$\text{Kelas situs} = \text{SBC (Batuan)}$$

$$\text{PGA} = 0,4368 \text{ g}$$

$$\text{Ss} = 1,0238 \text{ g}$$

$S1 = 0,4172 \text{ g}$

$TL = 12 \text{ detik}$

$Fa = a_d = 0,9$

Besar nilai koefisien horizontal adalah:

$Kh = 0,5 \frac{0,9}{gal} = 0,45$

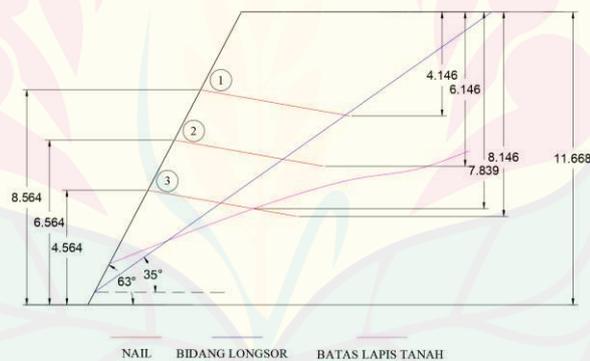
c. Stabilitas Internal

1) Gaya Tarik maksimum Pada *Nail* (R_T)

$R_T = A_t f_y$
 $= (819 \times 10^{-6}) \times (517 \times 10^3)$
 $= 423,423 \text{ kN}$

2) Kegagalan Cabut *Nail* (F_p)

Kegagalan cabut dapat terjadi jika panjang *nail* tidak memenuhi syarat yang dibutuhkan. Oleh karena itu, perhitungan ini mempertimbangkan kedalaman ujung *nail* dalam tanah, yang dapat diidentifikasi melalui referensi pada Gambar 4.17.



Gambar 4. 17 Panjang Z pada panjang *nail* 6 m dan sudut 10°

Nilai kedalaman *nail* yang lainnya direkapitulasi dalam Tabel 4.11 untuk sudut 10°, Tabel 4.12 untuk sudut 15°, dan Tabel 4.12 untuk sudut 20°.

Tabel 4. 11 Rekapitulasi nilai Z tiap panjang *nail* pada sudut 10°

No <i>Nail</i>	Sudut (i) = 10°					
	6 m		8 m		10 m	
	Z ₁	Z ₂	Z ₁	Z ₂	Z ₁	Z ₂
1	4,146	-	4,494	-	4,841	-
2	6,146	-	6,494	-	6,518	6,841
3	7,839	8,146	7,839	8,494	7,839	8,841

Pada sudut 10° , kedalaman ujung *nail* bervariasi tergantung pada panjang *nail* yang digunakan dan jenis tanah yang dilewati.

Tabel 4. 12 Rekapitulasi nilai *Z* tiap panjang *nail* pada sudut 15°

No <i>Nail</i>	Sudut (i) = 15°					
	6 m		8 m		10 m	
	Z_1	Z_2	Z_1	Z_2	Z_1	Z_2
1	4,667	-	5,175	-	5,693	-
2	6,667	-	6,821	7,175	6,821	7,693
3	8,057	8,667	8,057	9,175	8,057	9,693

Pada sudut 15° , kedalaman ujung *nail* bervariasi untuk setiap panjang dan peletakan *nail*. Kedalaman ini berbeda dengan *nail* yang ditempatkan pada sudut pemasangan 10° .

Tabel 4. 13 Rekapitulasi nilai *Z* tiap panjang *nail* pada sudut 20°

No <i>Nail</i>	Sudut (i) = 20°					
	6 m		8 m		10 m	
	Z_1	Z_2	Z_1	Z_2	Z_1	Z_2
1	4,667	-	5,175	-	5,693	-
2	6,667	-	6,821	7,175	6,821	7,693
3	8,057	8,667	8,057	9,175	8,057	9,693

Sama seperti sebelumnya, pada sudut 20° juga memiliki kedalaman ujung *nail* yang berbeda untuk tiap panjang dan peletakan *nail*. Kedalaman ini juga berbeda dengan *nail* pada sudut pemasangan 10° dan 15° . Berdasarkan hal tersebut, panjang kedalaman ujung *nail* (*Z*) dipengaruhi oleh besarnya sudut pemasangan.

a) Menghitung Tegangan Horizontal Tiap *Nail* Terhadap Tanah

Perhitungan ini dilakukan untuk memastikan bahwa setiap *nail* memberikan penahanan yang memadai terhadap gaya geser lateral dan memberikan kontribusi yang positif terhadap stabilitas keseluruhan struktur tanah yang diperkuat.

$$\begin{aligned}\sigma_{h1} &= K a_1 \gamma z \cos i \\ &= 0,3821 \times 12,89 \times 4,146 \times \cos 10^\circ \\ &= 20,109 \text{ kN/m}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sigma_{h2} &= K a_1 \gamma z \cos i \\ &= 0,3821 \times 12,89 \times 6,146 \times \cos 10^\circ \\ &= 29,809 \text{ kN/m}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sigma_{h3} &= K a_2 [(\gamma_1 \times z_1) + (\gamma_2 \times z_2)] \cos i \\ &= 0,3728 [(12,89 \times 7,839) + (13,51 \times 8,146)] \cos 10^\circ\end{aligned}$$

$$= 77,499 \text{ kN/m}^3$$

Dengan menggunakan analisis yang sama, maka untuk perhitungan pada panjang dan sudut lainnya direkapitulasi dalam Tabel 4.14.

Tabel 4. 14 Rekapitulasi perhitungan tegangan horizontal pada sudut pemasangan 10°, 15°, dan 20°

No Nail	σ_{hi} (kN/m ³) u/ Sudut (i) = 10°			σ_{hi} (kN/m ³) u/ Sudut (i) = 15°			σ_{hi} (kN/m ³) u/ Sudut (i) = 20°		
	Panjang Nail			Panjang Nail			Panjang Nail		
	6 m	8 m	10 m	6 m	8 m	10 m	6 m	8 m	10 m
1	20,109	21,796	23,842	22,202	24,618	27,082	23,866	26,388	59,080
2	29,809	31,497	64,775	31,716	66,565	69,084	65,873	69,124	72,347
3	77,499	79,225	80,946	79,560	82,031	84,551	80,486	83,723	86,960

b) Menghitung Angka keamanan Terhadap Cabut

Perhitungan angka keamanan terhadap cabut pada soil nailing dilakukan untuk mengevaluasi stabilitas dan keandalan struktur perkuatan tanah tersebut. Angka keamanan dalam konteks ini mengukur sejauh mana kapasitas cabut nail mampu mengatasi beban lateral dan geseran tanah. Perhitungan stabilitas terhadap cabut nail dilakukan dengan persamaan:

$$FS_p = \frac{R_p}{\sigma_{hi}}$$

$$FS_{p1} = \frac{5,749}{20,109}$$

$$= 0,286 < 1,8, \text{ maka tidak aman terhadap cabut.}$$

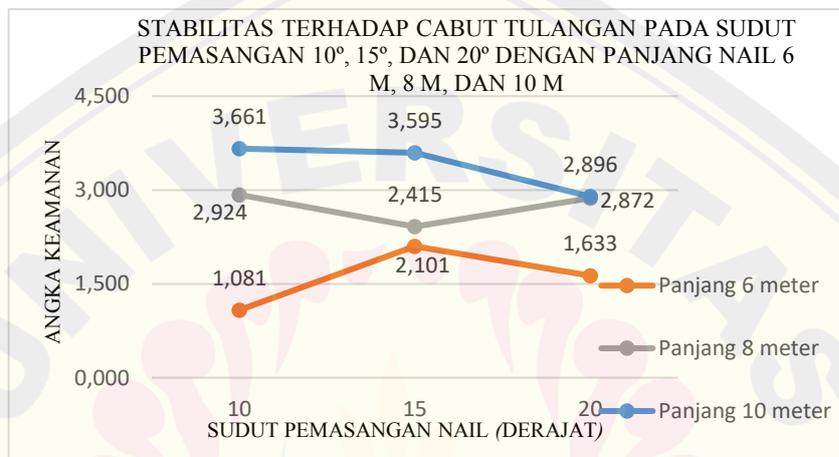
Hasil perhitungan yang lain dapat dilihat pada Tabel 4.15 pada halaman berikutnya.

Tabel 4. 15 Rekapitulasi angka keamanan terhadap cabut pada sudut pemasangan 10°, 15°, dan 20°

No Nail	Sudut (i) = 10°			Sudut (i) = 15°			Sudut (i) = 20°		
	Panjang Nail			Panjang Nail			Panjang Nail		
	6 m	8 m	10 m	6 m	8 m	10 m	6 m	8 m	10 m
1	0,286	3,146	5,512	0,884	3,350	5,365	2,180	4,353	3,008
2	1,714	3,617	2,729	1,939	1,868	2,709	1,277	2,126	2,899
3	1,244	2,010	2,744	3,480	2,027	2,709	1,443	2,138	2,781
Rata-rata	1,081	2,924	3,661	2,101	2,415	3,595	1,633	2,872	2,896

Hasil dari Tabel 4.15 menunjukkan bahwa terdapat ketidakstabilan pada nilai angka keamanan untuk ketiga nomor *nail*. Ketidakstabilan tersebut tidak hanya dipengaruhi oleh kedalaman peletakan *nail*, melainkan juga oleh jenis tanah yang dapat memengaruhi kekuatan tarik untuk setiap *nail*. Hal ini berkaitan dengan cara

distribusi beban pada tulangan yang digunakan. Nilai angka keamanan yang tidak stabil dapat disebabkan oleh variasi sifat dan karakteristik tanah pada lokasi penanaman *nail*. Selain itu, jenis tanah yang berbeda memiliki tingkat kekuatan dan interaksi yang beragam terhadap *nail*, yang dapat mempengaruhi sejauh mana *nail* mampu memberikan penahanan terhadap gaya tarik atau cabut. Jika beban tidak terdistribusi secara merata pada masing-masing *nail*, hal ini dapat menyebabkan ketidakstabilan nilai angka keamanan.



Gambar 4. 18 Stabilitas terhadap cabut tulangan pada sudut pemasangan 10°, 15°, dan 20°

Berdasarkan analisis grafik pada Gambar 4.18, terlihat bahwa nilai angka keamanan *soil nailing* tidak menunjukkan stabilitas yang konsisten seiring dengan peningkatan sudut pemasangan. Pada panjang *nail* 6 meter, terjadi peningkatan angka keamanan pada sudut 15° namun mengalami penurunan pada sudut 20°. Panjang *nail* 8 meter mengalami penurunan angka keamanan pada sudut 15° dan peningkatan pada sudut 20°. Sementara panjang *nail* 10 meter menunjukkan kecenderungan penurunan angka keamanan seiring dengan peningkatan sudut.

Perhitungan angka keamanan terhadap cabut melibatkan dua faktor utama: kuat cabut paku untuk tulangan dan tegangan horizontal. Dalam perhitungan untuk kedua faktor tersebut memerlukan panjang *nail* di belakang bidang longsor (L_p) dimana hal tersebut dapat memengaruhi adanya variasi jenis tanah yang dilalui oleh *nail*. Variasi jenis tanah memiliki kekuatan yang berbeda-beda. Kekuatan tanah dapat memengaruhi kuat cabut paku untuk tulangan (adhesi antara tanah dan *nail*) dan tegangan horizontal yang dialami oleh *nail*. Perubahan jenis tanah pada sudut

tertentu memengaruhi distribusi beban lateral dan gaya geser pada *nail* dalam tanah. Sudut pemasangan *nail* memiliki peran penting dalam mengatur distribusi beban dan mengoptimalkan gaya geser lateral yang dihasilkan. Sudut optimal dapat menciptakan distribusi beban yang merata dan meningkatkan efisiensi *nail* dalam menahan gaya geser. Sebaliknya, sudut yang tidak sesuai dapat mengurangi efisiensi *nail* dalam memberikan penahanan terhadap gaya geser dan cabut, yang pada akhirnya dapat mengakibatkan penurunan nilai angka keamanan. Dari grafik, didapatkan angka keamanan tertinggi terdapat pada panjang 10 meter dengan sudut pemasangan 10° yaitu 3,661 yang dinilai aman terhadap cabut.

c) Tahanan Cabut Izin Tiap *Nail* (R_{Pa})

Perhitungan cabut izin tiap *nail* pada soil nailing dilakukan untuk mengevaluasi kapasitas cabut masing-masing *nail* dalam struktur perkuatan tanah tersebut. Dalam proses perhitungannya menggunakan persamaan:

$$R_{Pa} = \frac{R_p}{F_p}$$

$$R_{Pa1} = \frac{33,898}{1,686} = 20,109 \text{ kN}$$

Nilai tahanan cabut izin untuk tiap *nail* dapat dilihat pada Tabel 4.16 pada halaman berikutnya.

Tabel 4. 16 Tahanan cabut izin (R_{Pa}) untuk sudut pemasangan 10° , 15° , dan 20°

No <i>Nail</i>	Sudut (i) = 10° Panjang <i>Nail</i>			Sudut (i) = 15° Panjang <i>Nail</i>			Sudut (i) = 20° Panjang <i>Nail</i>		
	6 m	8 m	10 m	6 m	8 m	10 m	6 m	8 m	10 m
1	20,109	21,796	23,842	22,202	24,618	27,082	23,866	26,388	59,080
2	29,809	31,497	64,775	31,716	66,565	69,084	65,873	69,124	72,347
3	77,499	79,225	80,946	29,721	82,031	84,551	80,486	83,723	86,960
Rata-rata	42,472	44,173	56,521	27,879	57,738	60,239	56,741	59,745	72,795

Berdasarkan Tabel 4.16, dapat disimpulkan bahwa tahanan cabut tertinggi terjadi pada *nail* dengan sudut pemasangan 20° dan panjang 10 meter. Keadaan ini dipengaruhi oleh tegangan horizontal yang diberikan pada masing-masing *nail*. Tegangan horizontal yang dihasilkan oleh *nail* pada tanah, khususnya pada sudut dan panjang tersebut, memberikan kontribusi terbesar terhadap kemampuan *nail* untuk menahan gaya tarik atau cabut. Oleh karena itu, hasil ini menunjukkan bahwa

kombinasi sudut pemasangan dan panjang *nail* tersebut dapat dianggap sebagai kondisi yang optimal untuk mencapai tahanan cabut maksimum.

3) Kegagalan Terhadap Putus Tiap *Nail* (FS_T)

Analisis kegagalan terhadap putus *nail* pada soil nailing diperlukan untuk mengidentifikasi potensi kelemahan dan mengevaluasi kekuatan serta stabilitas struktur tersebut. Perhitungan angka keamanan pada tiap *nail* untuk kegagalan terhadap putus dilakukan dengan menggunakan persamaan:

$$FS_T = \frac{R_T}{\sigma_{hi}}$$

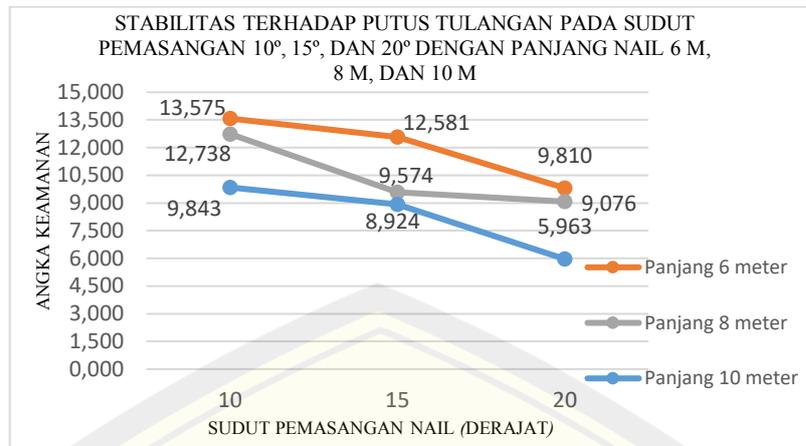
$$FS_{T1} = \frac{423,423}{20,109} = 21,057 > 2 \text{ (Aman terhadap putus tulangan)}$$

Nilai stabilitas untuk panjang *nail* lainnya dapat dilihat pada Tabel 4.18.

Tabel 4. 17 Angka keamanan terhadap putus tulangan pada sudut pemasangan 10°, 15°, dan 20°

No <i>Nail</i>	Sudut (i) = 10°			Sudut (i) = 15°			Sudut (i) = 20°		
	Panjang <i>Nail</i>			Panjang <i>Nail</i>			Panjang <i>Nail</i>		
	6 m	8 m	10 m	6 m	8 m	10 m	6 m	8 m	10 m
1	21,057	19,426	17,760	19,072	17,200	15,635	17,742	16,046	7,167
2	14,205	13,443	6,537	13,351	6,361	6,129	6,428	6,126	5,853
3	5,464	5,345	5,231	5,322	5,162	5,008	5,261	5,057	4,869
Rata-rata	13,575	12,738	9,843	12,581	9,574	8,924	9,810	9,076	5,963

Berdasarkan Tabel 4.17, dapat dilihat bahwa semakin dalam *nail* ditanam, semakin rendah nilai angka keamanan terhadap potensi putus tulangan. Faktor ini dapat disebabkan oleh distribusi tegangan horizontal yang meningkat dengan kedalaman, yang dapat mempengaruhi stabilitas dan daya dukung tulangan. Selain itu, stabilitas terhadap putus tulangan, yang merupakan kondisi di mana tulangan terlepas dari tanah, dipengaruhi oleh dua faktor utama: dimensi tulangan yang digunakan dan tegangan horizontal yang terjadi pada masing-masing *nail*. Sudut pemasangan dan panjang *nail* menjadi faktor yang memengaruhi distribusi tegangan horizontal, di mana kombinasi sudut 10° dan panjang 6 meter memberikan kondisi yang optimal untuk mencapai nilai angka keamanan terbesar terhadap potensi putus tulangan yaitu $5,963 > 2$ yang dikategorikan aman.



Gambar 4. 19 Stabilitas terhadap putus tulangan pada sudut pemasangan 10°, 15°, dan 20°

Berdasarkan grafik pada Gambar 4.19, terlihat bahwa dari ketiga panjang *nail* yang berbeda, nilai rata-rata angka keamanan terhadap potensi putus tulangan Hasil dalam grafik menunjukkan bahwa panjang *nail* 6 meter pada sudut 10° memberikan angka keamanan terhadap putus tulangan yang konsisten tinggi jika dibandingkan dengan panjang *nail* lainnya, yakni sebesar 13,575. Angka keamanan tersebut telah memenuhi persyaratan minimal dari SNI 8460-1027, yaitu 2. Kemampuan *nail* untuk menahan geseran tanah dipengaruhi oleh sudut pemasangan. Sudut yang lebih besar dapat meningkatkan kekuatan geser tanah yang bekerja pada *nail*. Meskipun peningkatan ini dapat mengurangi kestabilan *nail* dan meningkatkan risiko putus tulangan, pemilihan sudut yang tepat dapat membantu meningkatkan angka keamanan terhadap potensi putus tulangan.

4.3.2 Analisis Menggunakan Program Bantuan *Geoslope* dengan Perkuatan *Soil nailing*

Pemodelan lereng untuk analisis menggunakan data *nail* yang dapat dilihat pada Tabel 4.18.

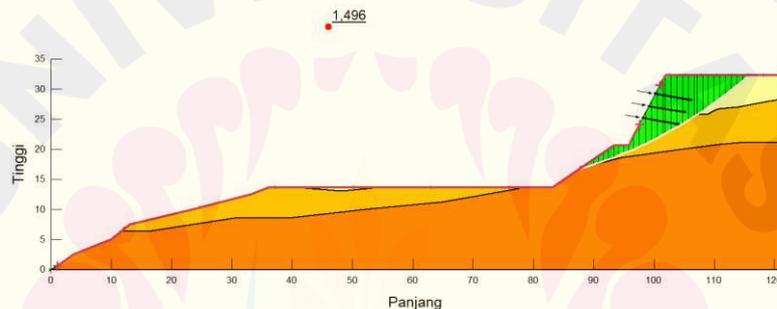
Tabel 4. 18 Data *input nail*

Panjang Nail (m)	Fy baja (MPa)	E baja (MPa)	Diameter lubang bor (m)	t nail (m)	Jarak antar nail (m)	Ultimate bond strength (qu) (kN/m ³)
6	517	2,1 x 10 ⁹	0,032	0,5	2	100
8	517	2,1 x 10 ⁹	0,032	0,5	2	100
10	517	2,1 x 10 ⁹	0,032	0,5	2	100

Pemodelan menggunakan *Geoslope* juga dilakukan untuk pengecekan nilai angka keamanan terhadap gempa. Koefisien gempa dihitung menggunakan koefisien horizontal yaitu 0,45.

a. Analisis Menggunakan Program Bantuan *Geoslope* dengan *Soil nailing* Pada Sudut Pemasangan 10°

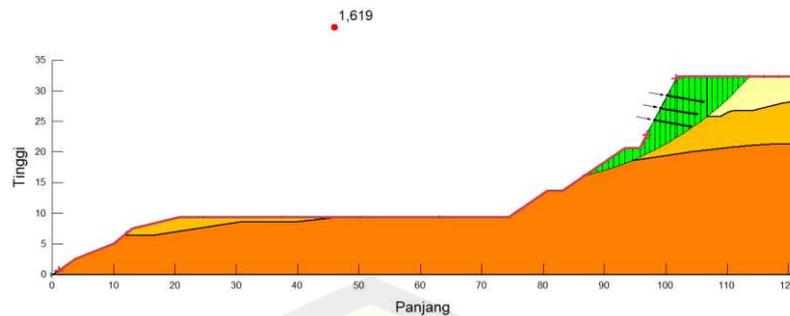
Analisis pada sudut pemasangan 10° menggunakan tiga panjang yang berbeda yaitu 6 meter, 8 meter, dan 10 meter dengan memperhitungkan beban berat tanah sendiri dan diperkuat dengan *soil nailing*. Hasil analisis untuk *nail* dengan panjang 6 meter dapat dilihat pada gambar 4.20. Sedangkan untuk panjang *nail* 8 meter dan 10 meter direkapitulasi dalam Tabel 4.19.



Gambar 4. 20 Hasil analisis menggunakan program bantuan *Geoslope* dengan *soil nailing* pada sudut pemasangan 10° dan panjang *nail* 6 meter tanpa beban gempa galian kedua

Setelah dilakukan perkuatan menggunakan garis kelongsoran, hasil analisis lereng menunjukkan ketidakamanan pada panjang *nail* 6 meter. Penilaian ini didasarkan pada kriteria angka keamanan kurang dari 1,5, yang merupakan nilai minimum menurut SNI 8460-2017.

Analisis ini terkait dengan penggalian lereng yang dilakukan untuk pembangunan sebuah tower. Maka dari itu, analisis angka keamanan juga dilakukan pada saat galian ketiga, serta analisis dilakukan dengan mempertimbangkan pengaruh gempa. Hasil analisis untuk galian ketiga dengan panjang *nail* 6 meter dapat dilihat dalam Gambar 4.21.



Gambar 4. 21 Hasil analisis menggunakan program bantuan *Geoslope* dengan *soil nailing* pada sudut pemasangan 10° dan panjang 6 meter tanpa beban gempa galian ketiga

Tabel 4. 19 Rekapitulasi angka keamanan lereng dengan *soil nailing* pada sudut pemasangan 10°

Sudut (i)	Panjang <i>Nail</i> (m)	Tanpa Beban Gempa		Dengan Beban Gempa	
		Galian kedua	Galian Ketiga	Galian kedua	Galian Ketiga
10°	6	1,496	1,619	0,877	0,885
	8	1,727	1,729	0,911	1,005
	10	1,946	1,974	1,101	1,103

Berdasarkan Tabel 4.19, terdapat hubungan positif antara panjang *nail* dan nilai angka keamanan pada *soil nailing*. Semakin panjang *nail* yang digunakan, cenderung nilai angka keamanan meningkat. Kenaikan panjang *nail* berkontribusi pada peningkatan distribusi beban lateral dan kemampuan *nail* dalam menahan geseran tanah. Sebagai hasilnya, nilai angka keamanan yang dihasilkan juga meningkat. *Nail* dengan panjang 10 meter menunjukkan nilai angka keamanan tertinggi, yakni 1,974, dan dikategorikan aman terhadap longsor. Analisis stabilitas terhadap gempa juga diperhitungkan karena melibatkan penggunaan koefisien gempa yang mencerminkan karakteristik gempa di wilayah tertentu. Koefisien gempa ini digunakan untuk menghitung beban lateral yang diharapkan pada sistem *soil nailing* selama gempa. Dalam hal ini, koefisien yang digunakan sebesar 0,45. Hasil analisis menunjukkan bahwa *nail* dengan panjang 10 meter pada sudut 10° memiliki angka keamanan sebesar 1,103, yang lebih besar dari nilai minimum 1,1, menunjukkan keamanan terhadap kelongsoran. Oleh karena itu, panjang dan sudut tersebut dapat dianggap efektif untuk perkuatan lereng yang ditinjau. Pengecekan angka keamanan juga dilakukan dengan penambahan beban bangunan untuk mengevaluasi pengaruh peletakan bangunan terhadap angka keamanan pada lereng

yang telah diperkuat. Hasil pengecekan ini dapat dilihat dalam Gambar 4.22, dan untuk *nail* dengan panjang dan sudut lainnya, hasilnya direkapitulasi dalam Tabel 4.20.



Gambar 4. 22 Hasil analisis menggunakan program bantuan *Geoslope* setelah galian ketiga dan penambahan beban bangunan dengan *soil nailing* pada sudut pemasangan 10° dan panjang 6 meter tanpa beban gempa

Berdasarkan Gambar 4.22, penambahan beban bangunan tidak berpengaruh secara signifikan dengan angka keamanan pada panjang 6 meter kurang dari 1,5 yang dikategorikan tidak aman terhadap keruntuhan. Hasil analisis pada panjang dan sudut lainnya direkapitulasi dalam Tabel 4.20.

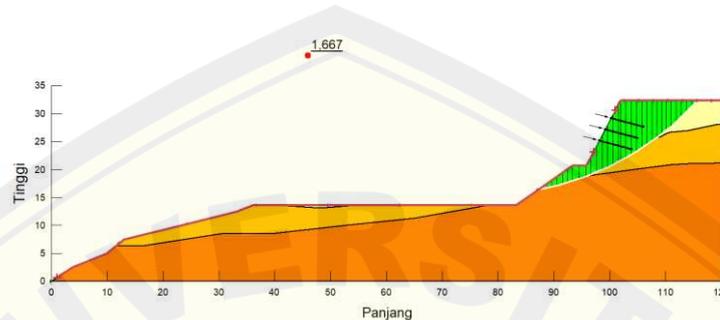
Tabel 4. 20 Rekapitulasi angka keamanan lereng dengan beban bangunan menggunakan *Geoslope* pada sudut pemasangan 10°

Sudut (i)	Panjang <i>Nail</i> (m)	Tanpa Beban Gempa	Dengan Beban Gempa
10°	6	1,217	0,631
	8	1,395	0,708
	10	1,664	0,862

Dari Tabel 4.20, menunjukkan bahwa *nail* dengan panjang 10 meter dikategorikan aman terhadap longsor ($>1,5$). Namun, apabila terdapat pengaruh gempa, nilai angka keamanan tersebut menurun dan menunjukkan angka 0,862 dimana dikategorikan tidak aman terhadap longsor ($<1,1$). Maka dari itu, *nail* dengan sudut pemasangan 10° untuk panjang 6 meter, 8 meter, dan 10 meter tidak dapat digunakan sebagai perkuatan pada lereng yang ditinjau.

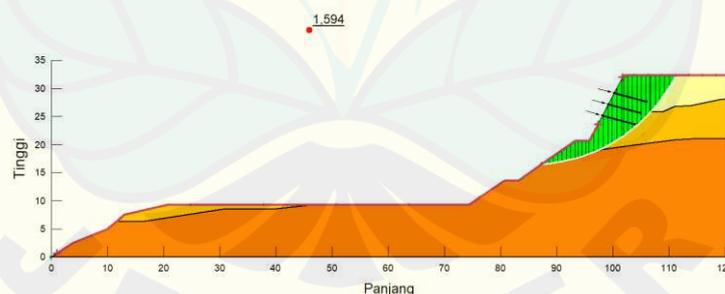
b. Analisis Menggunakan Program Bantuan *Geoslope* dengan *Soil nailing* Pada Sudut Pemasangan 15°

Hasil analisis yang dilakukan pada sudut 15° menggunakan contoh pemasangan dengan panjang 6 meter yang dapat dilihat pada Gambar 4.23. Untuk hasil analisis pada panjang *nail* lainnya direkapitulasi dalam Tabel 4.21.



Gambar 4. 23 Hasil analisis menggunakan program bantuan *Geoslope* dengan *soil nailing* pada sudut pemasangan 15° dan panjang 6 meter tanpa beban gempa galian kedua

Dari hasil analisis, ditemukan bahwa angka keamanan pada panjang *nail* 6 meter sebesar 1,667, yang melebihi nilai ambang batas keamanan sebesar 1,5. Nilai ini menunjukkan bahwa sistem *soil nailing* dengan panjang *nail* 6 meter dianggap aman terhadap keruntuhan. Untuk memperoleh pemahaman yang lebih komprehensif, dilakukan pengecekan tambahan pada saat galian ketiga, dan hasilnya dapat ditemukan pada Gambar 4.24.



Gambar 4. 24 Hasil analisis menggunakan program bantuan *Geoslope* dengan *soil nailing* pada sudut pemasangan 15° dan panjang 6 meter tanpa beban gempa galian ketiga

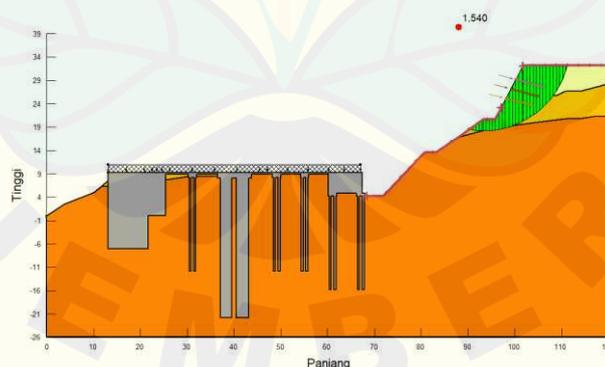
Berdasarkan data yang tergambar pada Gambar 4.24, angka keamanan untuk panjang *nail* 6 meter tercatat sebesar 1,594. Pemahaman terhadap nilai ini mengindikasikan bahwa sistem *soil nailing* pada panjang *nail* 6 meter dikategorikan sebagai aman terhadap potensi longsor, karena nilai tersebut berada di atas ambang

batas keamanan yang ditetapkan, yaitu 1,5. Untuk memperoleh informasi lebih lanjut dan konsisten, analisis dilakukan dengan menggunakan metode yang sama pada panjang *nail* 8 meter dan 10 meter. Hasil dari analisis dengan kedua panjang *nail* tersebut direkapitulasi dan dapat dilihat dalam Tabel 4.21.

Tabel 4. 21 Rekapitulasi angka keamanan lereng dengan *soil nailing* pada sudut pemasangan 15°

Sudut (i)	Panjang <i>Nail</i> (m)	Tanpa Beban Gempa		Dengan Beban Gempa	
		Galian kedua	Galian Ketiga	Galian kedua	Galian Ketiga
15°	6	1,667	1,719	0,875	0,906
	8	1,731	1,731	0,964	1,01
	10	2,043	2,167	1,138	1,144

Berdasarkan Tabel 4.21 didapatkan bahwa semakin panjang *nail* yang digunakan, maka nilai angka keamanan juga semakin meningkat. Hasil analisis menunjukkan bahwa *nail* dengan panjang 10 meter memiliki nilai angka keamanan tertinggi yaitu 2,167 yang dikategorikan aman terhadap longsor. Namun, untuk evaluasi lebih lanjut, pengaruh gempa juga diperhitungkan dengan menggunakan koefisien sebesar 0,45. Hasilnya menunjukkan bahwa *nail* dengan panjang 10 meter memiliki nilai angka keamanan yang aman terhadap gempa dan longsor yaitu sebesar 1,144. Dilakukan juga pengecekan angka keamanan dengan penambahan beban bangunan yang dapat dilihat pada Gambar 4.25. Hasil analisis untuk panjang *nail* dan sudut pemasangan lainnya direkapitulasi dalam tabel.



Gambar 4. 25 Hasil analisis menggunakan program bantuan *Geoslope* setelah galian ketiga dan penambahan beban bangunan dengan *soil nailing* pada sudut pemasangan 15° dan panjang 6 meter

Proses pembangunan umumnya dilakukan setelah galian ketiga. Berdasarkan Tabel 4.21 didapatkan bahwa *nail* yang dapat dikategorikan aman terhadap

keruntuhan yaitu pada panjang 10 meter dengan nilai angka keamanan sebesar 2,167 dan 1,144 akibat pengaruh gempa. Kemudian dilakukan pengecekan angka keamanan apabila terdapat bangunan gedung untuk mengetahui perubahan nilai angka keamanan yang akan terjadi. Hasil analisis tersebut terdapat pada Gambar 4.25 dan untuk panjang *nail* lainnya direkapitulasi dalam Tabel 4.22.

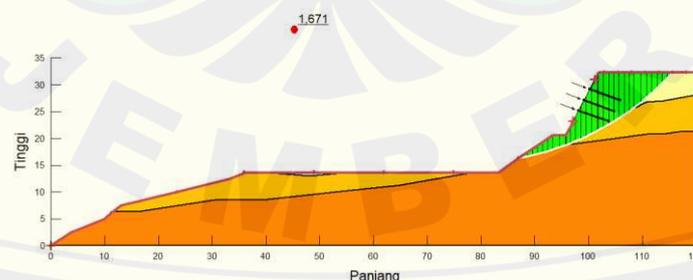
Tabel 4. 22 Rekapitulasi angka keamanan lereng dengan beban bangunan menggunakan *Geoslope* pada sudut pemasangan 15°

Sudut (i)	Panjang <i>Nail</i> (m)	Tanpa Beban Gempa	Dengan Beban Gempa
15°	6	1,54	0,844
	8	1,669	0,889
	10	1,889	1,01

Berdasarkan Tabel 4.22, didapatkan bahwa angka keamanan untuk ketiga panjang *nail* yang digunakan dikategorikan aman terhadap keruntuhan karena telah memenuhi persyaratan minimum berdasarkan SNI 8460-2017 yaitu 1,5. Namun, apabila dipengaruhi oleh gempa, *nail* dengan panjang 6, 8, dan 10 meter tidak dapat digunakan sebagai perkuatan pada lereng ini karena memiliki angka keamanan kurang dari 1,1. Sehingga dapat disimpulkan bahwa, *nail* pada sudut pemasangan 15° tidak aman digunakan.

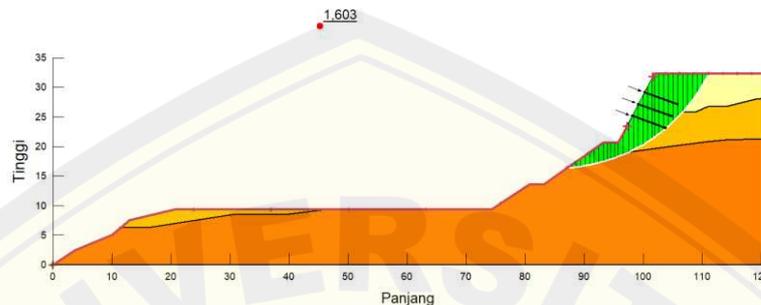
c. Analisis Menggunakan Program Bantuan *Geoslope* dengan *Soil nailing* Pada Sudut Pemasangan 20°

Hasil analisis untuk *nail* dengan panjang 6 meter dapat dilihat pada gambar 4.26. Sedangkan untuk panjang *nail* 8 meter dan 10 meter direkapitulasi dalam Tabel 4.23.



Gambar 4. 26 Hasil analisis menggunakan program bantuan *Geoslope* dengan *soil nailing* pada sudut pemasangan 20° dan panjang 6 meter tanpa beban gempa galian kedua

Pemasangan *nail* dengan panjang 6 meter pada sudut 20° didapatkan angka keamanan sebesar 1,671 yang dikategorikan aman terhadap keruntuhan pada galian kedua. Kemudian dilakukan pengecekan apabila terdapat galian ketiga untuk mengetahui keamanan dari penggunaan *nail* tersebut. Hasil analisis pada panjang *nail* lainnya direkapitulasi dalam Tabel 4.23.



Gambar 4. 27 Hasil analisis menggunakan program bantuan *Geoslope* dengan *soil nailing* pada sudut pemasangan 20° dan panjang 6 meter tanpa beban gempa galian ketiga

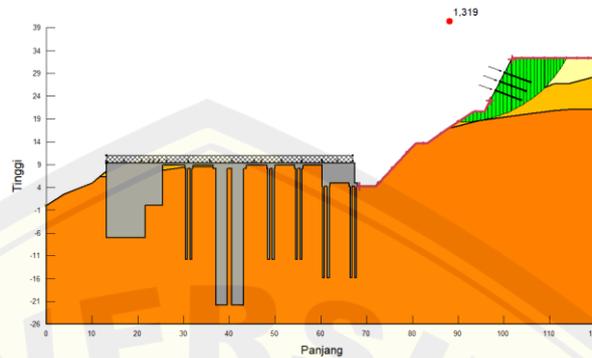
Berdasarkan Gambar 4.27, didapatkan bahwa angka keamanan pada panjang *nail* 6 meter sebesar 1,603 yang dikategorikan aman terhadap keruntuhan. Namun, apabila terdapat pengaruh gempa panjang tersebut tidak aman terhadap keruntuhan, yaitu didapatkan angka keamanan sebesar 0,909. Untuk panjang *nail* lainnya dapat dilihat dalam Tabel 4.23.

Tabel 4. 23 Rekapitulasi angka keamanan lereng dengan *soil nailing* pada sudut pemasangan 20°

Sudut (i)	Panjang <i>Nail</i> (m)	Tanpa Beban Gempa		Dengan Beban Gempa	
		Galian kedua	Galian Ketiga	Galian kedua	Galian Ketiga
20°	6	1,671	1,723	0,903	0,909
	8	1,772	1,772	0,982	1,028
	10	2,102	2,194	1,142	1,15

Hasil rekapitulasi pada Tabel 4.23 menunjukkan adanya peningkatan angka keamanan seiring dengan peningkatan panjang *nail* yang digunakan. Pada kondisi tanpa pengaruh gempa, didapatkan angka keamanan tertinggi sebesar 2,194 pada panjang *nail* 10 meter, yang dapat dikategorikan sebagai kondisi aman terhadap potensi kelongsoran. Namun, untuk memastikan stabilitas dalam situasi gempa, perhitungan menggunakan koefisien horizontal sebesar 0,45. Hasil analisis akibat pengaruh gempa menunjukkan bahwa *nail* dengan panjang 10 meter memiliki angka keamanan sebesar 1,15, yang juga memenuhi kriteria keamanan dengan nilai

lebih besar dari 1,1. Dilakukan juga pengecekan angka keamanan dengan penambahan beban bangunan yang dapat dilihat pada Gambar 4.28. Hasil analisis untuk panjang *nail* dan sudut pemasangan lainnya direkapitulasi dalam tabel.



Gambar 4. 28 Hasil analisis menggunakan program bantuan *Geoslope* setelah galian ketiga dan penambahan beban bangunan dengan *soil nailing* pada sudut pemasangan 20° dan panjang 6 meter tanpa beban gempa

Tabel 4. 24 Rekapitulasi angka keamanan lereng dengan beban bangunan menggunakan *Geoslope* pada sudut pemasangan 20°

Sudut (i)	Panjang Nail (m)	Tanpa Beban Gempa	Dengan Beban Gempa
20°	6	1,319	0,661
	8	1,679	0,913
	10	2,307	1,113

Dari Tabel 4.23 didapatkan bahwa semakin panjang *nail* yang digunakan pada sudut 20° maka nilai angka keamanan juga semakin meningkat. Hal ini dipengaruhi oleh adanya perubahan distribusi beban lateral dan kapasitas *nail* dalam menahan geseran tanah.

Analisis stabilitas menggunakan *Geoslope* telah menunjukkan nilai stabilitas untuk berbagai sudut dan panjang *soil nailing*. Dalam analisis ini terkait dengan fungsi lahan untuk pembangunan gedung, sehingga rekapitulasi nilai angka keamanan difokuskan pada kondisi galian ketiga tanpa adanya beban bangunan tambahan. Penambahan beban bangunan dianggap tidak memberikan pengaruh signifikan karena beban tersebut tetap dan terletak di kaki lereng. Hasil analisis telah direkapitulasi dalam Tabel 4.25 dan visualisasinya dapat ditemukan dalam grafik pada Gambar 4.29 dan 4.30. Tabel tersebut mencantumkan nilai angka keamanan yang dihasilkan dari analisis stabilitas, sedangkan grafik memberikan

representasi visual terhadap variabilitas nilai angka keamanan pada kondisi-kondisi tertentu.

Tabel 4. 25 Rekapitulasi angka keamanan lereng dengan *soil nailing* menggunakan *Geoslope*

Panjang Nail	Tanpa Beban Gempa			Dengan Beban Gempa		
	10°	15°	20°	10°	15°	20°
6 m	1,619	1,719	1,723	0,885	0,906	0,909
8 m	1,729	1,731	1,772	1,005	1,01	1,028
10 m	1,974	2,167	2,194	1,103	1,144	1,15



Gambar 4. 29 Grafik angka keamanan menggunakan *Geoslope* pada sudut pemasangan 10°, 15°, dan 20° tanpa beban gempa



Gambar 4. 30 Grafik angka keamanan menggunakan *Geoslope* pada sudut pemasangan 10°, 15°, dan 20° dengan beban gempa

Analisis pada Gambar 4.29 dan Gambar 4.30 menunjukkan peningkatan nilai angka keamanan seiring dengan bertambahnya panjang *nail* yang digunakan. Selain itu, hasil analisis juga menunjukkan bahwa semakin besar sudut pemasangan, semakin tinggi pula nilai angka keamanan yang dihasilkan. Peningkatan angka

keamanan terutama terlihat pada panjang *nail* 6 meter dan 10 meter, sedangkan pada *nail* dengan panjang 8 meter terdapat peningkatan yang lebih lambat dan kurva cenderung datar. Hal ini dapat dipengaruhi oleh sejumlah faktor, termasuk karakteristik lereng, jenis tanah yang berbeda, panjang *nail*, dan sudut pemasangan yang bervariasi. Grafik pada Gambar 4.38 dan 4.39 menunjukkan bahwa nilai angka keamanan semakin meningkat seiring dengan peningkatan besar sudut pemasangan. Pada ketiga panjang *nail* yang berbeda, nilai angka keamanan juga meningkat.

Mengacu pada Standar Nasional Indonesia (SNI) 8460-2017, nilai angka keamanan minimum setelah diberikan perkuatan adalah 1,5. Dapat disimpulkan bahwa *nail* dengan panjang 6 meter, 8 meter, dan 10 meter pada ketiga sudut tersebut aman terhadap longsor karena memiliki nilai angka keamanan lebih dari 1,5. Namun, keamanan ini dapat berbeda ketika dipertimbangkan pengaruh beban gempa. Standar keamanan minimum terhadap gempa adalah 1,1.

Grafik pada Gambar 4.39 menunjukkan bahwa *nail* dengan panjang 6 meter dan 8 meter pada sudut pemasangan 10° , 15° , dan 20° tidak aman terhadap longsor ketika dipertimbangkan beban gempa. Sementara itu, *nail* dengan panjang 10 meter memenuhi persyaratan keamanan, dengan nilai angka keamanan tertinggi terjadi pada sudut pemasangan 20° . Berdasarkan analisis tersebut, dapat disimpulkan bahwa penggunaan *nail* dengan panjang 10 meter dan sudut pemasangan 20° efektif dalam mencegah kelongsoran. Hal ini karena *nail* tersebut memiliki nilai angka keamanan tertinggi dan memenuhi standar minimum untuk stabilitas tanpa dan dengan adanya beban gempa.

Selain itu, juga didapatkan hasil analisis mengenai pemilihan antara memperbesar sudut atau memperpanjang *nail* yang digunakan dalam perkuatan. Berdasarkan analisis yang telah dilakukan dan sesuai dengan nilai angka keamanan yang telah didapatkan, pemilihan antara memperbesar sudut atau memperpanjang *nail*, keputusan tersebut bergantung pada kondisi tanah yang bersangkutan. Memperbesar sudut dapat meningkatkan efisiensi penahanan tanah, khususnya pada tanah yang memiliki sifat kohesif yang memungkinkan pembentukan sudut yang lebih besar menjadi lebih efektif. Di sisi lain, memperpanjang *nail* dapat

meningkatkan kedalaman efektif penahanan tanah, memberikan stabilitas tambahan pada lapisan tanah yang lebih dalam. Pilihan untuk memperpanjang nail dapat lebih efektif pada tanah yang tidak kohesif atau dalam situasi di mana penahanan tambahan diperlukan pada kedalaman yang lebih besar. Secara keseluruhan, penentuan antara memperbesar sudut atau memperpanjang nail perlu didasarkan pada analisis geoteknik yang menyeluruh dan evaluasi karakteristik tanah serta beban bekerja yang ada pada lokasi pekerjaan tersebut.



BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pembahasan dan rumusan masalah, didapatkan kesimpulan yaitu:

- a. Pada penggalian pertama, ditemukan bahwa nilai keamanan lereng sebesar 1,941, yang melebihi batas keamanan sebesar 1,07, sehingga lereng dikategorikan sebagai aman terhadap risiko longsor. Namun, saat penggalian kedua, terlihat bahwa lereng mengalami kelongsoran kritis dengan nilai keamanan sebesar 0,942 (dengan perhitungan manual) dan 0,973 (menggunakan *Geoslope*), keduanya lebih rendah dari batas keamanan 1,07. Penggalian ketiga juga menunjukkan angka kelongsoran kritis, yaitu 0,948, yang tetap berada di bawah batas keamanan 1,07.
- b. Angka keamanan pada perhitungan manual terhadap stabilitas global pada panjang *nail* 6 meter adalah 1,216 untuk sudut 10°; 1,232 untuk sudut 15°; dan 1,419 untuk sudut 20°. Pada panjang 8 meter didapatkan 1,308 untuk sudut 10°; 1,499 untuk sudut 15°; dan 1,511 untuk sudut 20°. Pada panjang 10 meter didapatkan 1,576 untuk sudut 10°; 1,591 untuk sudut 15°; dan 1,778 untuk sudut 20°. Sedangkan dengan menggunakan bantuan *Geoslope* didapatkan nilai angka keamanan pada panjang *nail* 6 meter sebesar 1,619 untuk sudut 10°; 1,719 untuk sudut 15°; dan 1,723 untuk sudut 20°. Pada panjang *nail* 8 meter didapatkan 1,729 untuk sudut 10°; 1,731 untuk sudut 15°; dan 1,772 untuk sudut 20°. Pada panjang *nail* 10 meter didapatkan 1,974 pada sudut 10°; 2,167 untuk sudut 15°; dan 2,194 untuk sudut 20°. Perhitungan analisis stabilitas akibat gempa dengan koefisien horizontal 0,45 dengan angka keamanan minimum 1,1. Angka keamanan akibat gempa pada panjang *nail* 10 meter yaitu 1,103 pada sudut 10°; 1,144 untuk sudut 15°; dan 1,15 untuk sudut 20°.
- c. Nilai angka keamanan dipengaruhi oleh sudut geser, kedalaman peletakan *nail*, panjang *nail*, dan sudut *nail*. Hal ini berkaitan dengan pendistribusian beban yang tidak merata. Perubahan kedalaman dapat mempengaruhi interaksi *nail* dengan lapisan tanah yang berbeda, sehingga memengaruhi stabilitas dan nilai

angka keamanan. Sudut yang besar dapat meningkatkan gaya geser tanah yang bekerja pada *nail*. Sudut dan panjang *nail* dapat meningkatkan tegangan horizontal serta kestabilan terhadap cabut tulangan. Semakin besar sudut pemasangan dan panjang *nail* yang digunakan, maka nilai angka keamanan semakin meningkat. Berdasarkan hasil analisis secara keseluruhan, didapatkan kesimpulan bahwa panjang *nail* 10 meter dengan sudut pemasangan 20° dapat dianggap sebagai pilihan optimal untuk meminimalkan risiko kelongsoran pada lereng.

5.2 Saran

Berdasarkan pada analisis yang telah dilakukan, maka penulis memberikan saran yaitu:

- a. Untuk mendapatkan hasil yang lebih tepat, penelitian selanjutnya sebaiknya menggunakan variasi yang lebih banyak, termasuk jumlah *nail*, jarak antar *nail*, dan mempertimbangkan perkuatan lereng terhadap kondisi muka air.
- b. Untuk pemahaman yang lebih mendalam, disarankan untuk melakukan analisis per segmen lereng agar perkuatan yang diberikan lebih optimal sesuai dengan sifat material tanah.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, Hadi Hamid, dkk. 2021. Analisis Perkuatan *Soil nailing* pada Lereng Bawah Jembatan Gantung Alas Bayur Kecamatan Mlandingan Kabupaten Situbondo. *Jurnal Teknik Sipil Vol 13(1)*.
- Aldo, Albert dan Alfred Jonathan, S. 2018. Stabilitas Dinding Penahan Tanah dengan *Ground Anchor* dan Metode Pelaksanaannya Pada Kondisi *In-Situ* dan Jenuh. *Jurnal Mitra Teknik Sipil Vol 1(2)*.
- Badan Standardisasi Nasional. 1995. Tata Cara Pembuatan Peta Kemiringan Lereng Menggunakan Rumus Horton, SNI 03-3997-1995. Badan Standardisasi Nasional: Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. 2017. Persyaratan Perancangan Geoteknik, SNI 8460:2017. Halaman 215 – 220. Badan Standardisasi Nasional: Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. 2019. Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Gedung dan Nongedung, SNI 1726:2019. Halaman 34 – 35. Badan Standardisasi Nasional: Jakarta.
- Budiharjo, Liong A.S., dkk. 2020. Pengaruh Jumlah Pemasangan *Soil nailing* Terhadap Peningkatan Angka keamanan Lereng. *Jurnal Teknik Sipil Unika Soegijapranata Semarang Vol 4(2)*.
- Canima, Diky, Bambang Heriyadi. 2019. Analisis Penentuan Batas Aman *Ground Vibration* Akibat Kegiatan Peledakan Terhadap Kestabilan Lereng *Highwall* Penambangan Pit 13 West PT. Multi Harapan Utama, Samarinda, Kalimantan Timur. *Jurnal Bina Tambang, Vol 4(4)*.
- Das, Braja M. 1988. Mekanika Tanah : Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknik Jilid 1. Diterjemahkan oleh Noor Endah dan Indrasurya B.M. Surabaya: Erlangga.
- Das, Braja M. 2011. *Principle of Foundation Engineering*, SI Seventh Edition. Global Engineering, USA.
- Fatiatun, Firdaus, Sri Jumini, dan Nugroho P. A. 2019. Analisis Bencana Tanah Longsor Serta Mitigasinya. *Jurnal Kajian Pendidikan Sains Vol 5(2) 134 – 139*.
- Hardiyatmo, H.C. 2012. Mekanika Tanah 2. UGM press: Yogyakarta.

- Hardiyatmo, H.C. 2022. Perbaikan Tanah 2. UGM press: Yogyakarta.
- Indera, Rama, Enden Mina, Sevensary B. 2015. Analisis Stabilitas Lereng dan Perencanaan *Soil nailing* dengan *Software* Geostudio 2007. *Jurnal Fondasi Vol 4(1)*.
- Phan, Truc T.T. dan M.W. Gui. 2019. *Soil nailing* Behavior for Slope Stabilization. *Jurnal Materials Science and Engineeing*.
- Prashant A, dan Mukherjee M., 2010. *Soil nailing* for Stabilization of Steep Slopes Near Railway Tracks, Research Design and Standard Organization (RDSO), Lucknow, Indian Institute of Technology Kanpur.
- Septiandri, Rohmahillah Aviskanasya. 2020. Analisa Penyebab Kelongsoran Timbunan dan Perencanaan Perkuatan Pada Jalan Tol Surabaya – Mojokerto STA 14+500 s.d. 15+350. *Skripsi*. Institut Teknologi Surabaya: Jawa Timur.
- Wibowo, Heri Agung, Pratikso, dan Sumirin. 2022. Pengaruh Sudut Pemasangan *Nail* Terhadap Stabilitas Lereng Metode *Soil nailing* di Ruas Jalan Giriwoyo – Glonggong. *Jurnal Teknik* Vol 18(1) Hal 1-11.
- Wihardi, Munirwansyah, Sofyan M. Saleh. 2018. Analisis Stabilitas Lereng Menggunakan Software PLAXIS 8.6 Dengan Dinding Penahan Tanah (*Retaining Wall*) (Studi Kasus Ruas Jalan Nasional Banda Aceh – Medan Sta 83+135 Gunung Seulawah). *Jurnal Arsip Rekayasa Sipil dan Perencanaan Vol 1(3)* 76 – 82.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Tabel Korelasi Berdasarkan Nilai N-SPT (J.E. Bowles, 1984)

Lampiran 2. Nilai Kapasitas Daya Dukung Menurut Terzaghi

Lampiran 3. Parameter Respon Spektral Percepatan Gempa Maksimum (SNI 8460-2017)

