

TESIS

STABILISASI LERENG METODE *SOIL NAILING* DI RUAS JALAN GIRIWOYO-GLONGGONG KM. SKA. 81+200 (KAB. WONOGIRI)

Diajukan dalam Rangka Memenuhi Salah Satu Persyaratan
Guna Mencapai Gelar Magister Teknik (MT)



Disusun Oleh:

AGUNG HARI WIBOWO
NIM: 20202000002

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
2022**

HALAMAN PERSETUJUAN TESIS

**STABILISASI LERENG METODE *SOIL NAILING*
DI RUAS JALAN GIRIWOYO-GLONGGONG
KM. SKA. 81+200 (KAB. WONOGIRI)**

Disusun Oleh:

AGUNG HARI WIBOWO

NIM: 20202000002

Telah diperiksa dan disetujui oleh:

Tanggal,

15/08 2022

Pembimbing I,

Tanggal,

15/08 2022

Pembimbing II,

Prof. Ir. H. Pratikso, MST., Ph.D
NIK. 210 288 012

Dr. Ir. H. Sumirin, MS
NIK. 220 238 009

LEMBAR PENGESAHAN TESIS

**STABILISASI LERENG METODE *SOIL NAILING*
DI RUAS JALAN GIRIWOYO – GLONGGONG
KM. SKA. 81+200 (KAB. WONOGIRI)**

Disusun oleh :

AGUNG HARI WIBOWO

NIM : 20202000002

**Dipertahankan di Depan Tim Penguji Tanggal :
11 Agustus 2022**

Tim Penguji:

1. Ketua

(Prof. Ir. H. Pratikso, MST., Ph.D.)

2. Anggota

(Dr. Ir. H. Sumirin, MS.)

3. Anggota

(Dr. Ir. H. Kartono Wibowo, MM., MT.)

Tesis ini diterima sebagai salah satu persyaratan untuk
memperoleh gelar Magister Teknik (MT)

Semarang, 15 Agustus 2022

Mengetahui,

Ketua Program Studi

Prof. Dr. Ir. H. S. Imam Wahyudi, DEA

NIK. 210291014

Mengesahkan,

Dekan Fakultas Teknik

Ir. H. Rachmat Mudiyo, MT., Ph.D

NIK. 210293018

MOTTO

كُنْتُمْ خَيْرَ أُمَّةٍ أُخْرِجَتْ لِلنَّاسِ تَأْمُرُونَ بِالْمَعْرُوفِ وَتَنْهَوْنَ عَنِ الْمُنْكَرِ وَتُؤْمِنُونَ بِاللَّهِ وَلَوْ ءَامَنَ أَهْلُ الْكِتَابِ لَكَانَ خَيْرًا لَهُمْ مِّنْهُمْ الْمُؤْمِنُونَ وَأَكْثَرُهُمُ الْفَاسِقُونَ

Kamu adalah umat yang terbaik yang dilahirkan untuk manusia, menyuruh kepada yang ma'ruf, dan mencegah dari yang munkar, dan beriman kepada Allah. Sekiranya Ahli Kitab beriman, tentulah itu lebih baik bagi mereka, di antara mereka ada yang beriman, dan kebanyakan mereka adalah orang-orang yang fasik. (Q.S. Ali Imron : 110)

إِنَّمَا أَمْرُهُ إِذَا أَرَادَ شَيْئًا أَنْ يَقُولَ لَهُ كُنْ فَيَكُونُ

Sesungguhnya keadaan-Nya apabila Dia menghendaki sesuatu hanyalah berkata kepadanya: "Jadilah!" maka terjadilah ia. (Q.S. Ya Sin : 82)



HALAMAN PERSEMBAHAN

Dengan mengucapkan syukur atas kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, karya kecil ini saya persembahkan bagi orang-orang yang senantiasa memberikan kesempatan, *support*, dan dorongan bagi terselesaikannya tesis ini.

1. Orang Tua tercinta. Bapak Djoko Lesmono & Ibu Siti Qomariyah. Terimakasih atas segala kesabaran, motivasi, dan dukungan tiada henti.
2. Shafura Febriana, istri yang senantiasa mendampingi dan memberikan dorongan untuk selalu berproses sampai terselesaikannya tesis ini.
3. Diah Ratna Pratiwi, saudara kandung satu-satunya. Terimakasih atas *support* yang diberikan selama menjalani perkuliahan di Magister Teknik ini.
4. Tim Supervisi Pembangunan Jalan Tol Semarang – Demak Seksi II Tahun 2020
5. Core Team Perencanaan dan Pengawasan Teknis Jalan Nasional Provinsi Jawa Tengah Tahun Anggaran 2021 & 2022.



ABSTRAK

Lereng adalah bidang tanah dengan ketinggian dan kemiringan tertentu. Terdapat dua proses terbentuknya lereng: alami dan buatan. Lereng alami terbentuk berkat serangkaian proses alam sehingga relatif lebih stabil. Hal ini dikarenakan kecenderungan alam untuk mencapai kestabilannya sendiri. Lereng buatan adalah kondisi dimana topografi lokasi dibentuk melalui proses galian (*cut*) atau timbunan (*fill*) untuk keperluan tertentu. Tesis ini membahas mengenai angka keamanan (*safety factor*) lereng yang dibentuk untuk menyediakan ruang bagi trase Jalan Jalur Lintas Selatan yang berada di Ruas Jalan Giriwoyo – Glonggong KM. SKA. 81+200. Sudut lereng bentukan $\pm 60^\circ$ dengan ketinggian vertikal 16 m. Analisa dilakukan pada tiga kondisi: lereng dalam keadaan normal (kondisi I), kondisi lereng terpengaruh air hujan (kondisi II), dan kondisi lereng *full saturated* (kondisi III). Perhitungan angka keamanan lereng eksisting dilakukan secara manual maupun dengan bantuan Software Geoslope 2012. Hasil perhitungan lereng eksisting tidak memenuhi nilai rekomendasi angka keamanan lereng permanen yang diberikan SNI 8460:2017, yakni sebesar 1,50. Perkuatan dilakukan dengan metode *soil nailing* dengan tipe *drilled and grouted*. *Nail Bar* yang digunakan adalah Baja Sirip diameter 25 mm (f_y 420 MPa) dengan panjang 9,00 m. Diameter lubang yang di-*grouting* adalah 100 mm. Jarak antarnail secara vertikal dan horizontal adalah 1,50 m. *Final facing* menggunakan beton semprot (*shotcrete*). Hasil perhitungan menyatakan bahwa sudut aman pemasangan nail terhadap bidang horizontal adalah pada *range* 17° s/d 20° . Dari analisa yang dilakukan, sudut pemasangan *nail* memiliki pengaruh terhadap angka keamanan global lereng. SNI 8460:2017 memberikan rekomendasi sudut pemasangan nail 10° s/d 20° namun untuk kasus di lokasi penelitian tesis ini, sudut 10° s/d 16° tidak memenuhi syarat stabilitas internal (*putus nail & cabut nail*). Penulis melakukan simulasi perhitungan angka keamanan dengan variasi sudut pemasangan *nail* 10° s/d 20° dengan kesimpulan yang didapat adalah semakin besar sudut pemasangan *nail* maka semakin kecil nilai angka keamanan global lereng. Dengan model perkuatan yang telah dijelaskan, estimasi kebutuhan biaya yang diperlukan dalam upaya stabilisasi lereng di Ruas Jalan Giriwoyo – Glonggong KM. SKA. 81+200 adalah sebesar Rp. 3.462.199.100,-

Kata Kunci: Stabilitas Lereng, Angka Keamanan, *Soil Nailing*

ABSTRACT

Slope is a plot of land with a certain angle of inclination and elevation. There are two processes of slope formation: natural and man made slope. Natural slopes are formed through a series of natural processes, hence they are relatively more stable due to the tendency of nature to achieve its own stability. While an man made slope is a condition where the topography of the location is formed through a cut or filling process for certain purposes. This thesis discusses the slope safety factor which was formed to provide space for the Southern Cross Road route which is located on the Giriwoyo – Glonggong Road Section KM. SKA. 81+200. Slope angle of formation $> 60^\circ$ with a vertical height of 16 m. Analysis was conducted on three situations: slope in a normal state (situation I), slope was affected by the rain (situation II), and situation where the slope was fully saturated (situation III). Calculation of the safety value of the existing slope was carried out manually or with the help of the 2012 Geoslope Software. While the results of the calculation of the existing slope do not meet the recommended value of the safety number hich was carried out manually resulted in values of 0.928 (Fellenius method) and 1.203 (Bishop's method). Meanwhile, the value of the existing slope safety value for the permanent slope given by SNI 8460:2017, which is 1.50. Reinforcement was carried out using the soil nailing method with drilled and grouted soil nailing types. Nail bar used was steel from the analysis using Geoslope 2012 Software is 0.924 (Fellenius method) and 0.987 (Bishop method). The results of the calculation of the existing safety score do not meet the recommended value of the permanent slope safety score given by SNI 8460:2017, which is 1.50. The reinforcement was carried out using the soil nailing method with drilled and grouted soil nailing types. Nail Bar used is steel with a diameter of 25 mm (fy 420 MPa) with a length of 9.00 m. The diameter of the grouted hole is 100 mm. The distance between the nails vertically and horizontally is 1.50 m. Facing using spray concrete (shotcrete). The calculation results state that the safe angle of nail installation to the horizontal plane is in the range of 17° to 20° . From the analysis carried out, the angle of nail installation has an influence on the global safety of slopes. SNI 8460:2017 recommendations for nail installation angles of 10° to 20° but for the case at the research location of this thesis, the angle of 10° to 16° do not meet the requirements for internal stability (nail break & nail removal). The author performs a simulation of the calculation of the safety number with variations in the angle of nail installation angle of 10° to 20° with the conclusion that the greater the angle of nail installation, the smaller the value of the global slope safety number. With the retrofitting model that has been described, the estimated cost required for slope stabilization efforts in the Giriwoyo – Glonggong KM Road Section. SKA. 81+200 is Rp. 3,462.199,100,-

Keywords: Slope Stability, Safety Score, Soil Nailing

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Agung Hari Wibowo

NIM : 20202000002

Dengan ini saya menyatakan bahwa Tesis yang berjudul:

**Stabilisasi Lereng Metode *Soil Nailing* Di Ruas Jalan Giriwoyo – Glonggong
KM. SKA. 81+200 (Kab. Wonogiri)**

Adalah benar hasil karya saya dan dengan penuh kesadaran bahwa saya tidak melakukan tindakan plagiasi atau mengambil alih seluruh atau sebagian besar karya tulis orang lain tanpa menyebutkan sumbernya. Jika saya terbukti melakukan tindakan plagiasi, saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan aturan yang berlaku.



Semarang, Agustus 2022



Agung Hari Wibowo

KATA PENGANTAR

Puja dan puji syukur senantiasa penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas karunianya sehingga tesis dengan judul **Stabilisasi Lereng Metode Soil Nailing Di Ruas Jalan Giriwoyo – Glonggong KM. SKA. 81+200 (Kab. Wonogiri)** ini dapat terselesaikan. Tesis ini ditulis dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk memperoleh sarjana strata dua (S-2) di Program Magister Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Islam Sultan Agung Semarang.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa penulisan tesis ini dapat berjalan lancar berkat dukungan dan bantuan berbagai pihak. Terimakasih yang sebesar-besarnya penulis sampaikan kepada pihak-pihak yang membantu terselesaikannya tesis ini, baik yang terlibat secara langsung maupun tidak langsung. Pada kesempatan ini, secara khusus penulis sampaikan ucapan terimakasih kepada:

1. Ir. H. Rachmat Mudiyo, MT., Ph.D. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung
2. Prof. Dr. Ir. H. S. Imam Wahyudi, DEA. selaku Ketua Program Magister Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung
3. Prof. Ir. H. Pratikso, MST., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing I
4. Dr. Ir. H. Sumirin, MS. selaku Dosen Pembimbing II
5. Pak Imam Buwono, Bu Inda, dan Bu Tista selaku staff MTS Unissula
6. Seluruh Dosen Pengajar di Program Magister Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Islam Sultan Agung Semarang.

Tesis ini membahas perkuatan lereng kritis. Perkuatan dilakukan dengan metode *soil nailing* untuk meningkatkan angka keamanan lereng. Parameter desain yang digunakan mengacu pada SNI 8460:2017 tentang Persyaratan Perancangan Geoteknik. Penulis melakukan analisa mengenai korelasi sudut pemasangan *nail* terhadap angka keamanan lereng. Kiranya penulis berharap bahwa tesis ini dapat memberikan sumbangsih bagi dunia pendidikan serta manfaat bagi pembaca.

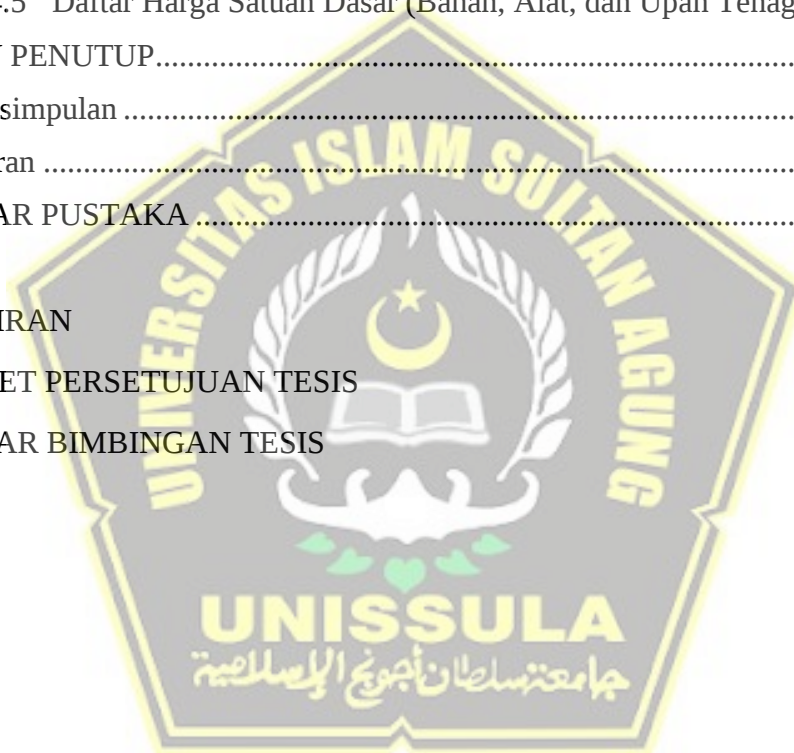
Semarang, Agustus 2022

Penulis.

DAFTAR ISI

HALAMAN PERSETUJUAN TESIS	iii
HALAMAN PENGESAHAN TESIS	iv
MOTTO	v
HALAMAN PERSEMBAHAN	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
PERNYATAAN KEASLIAN	ix
KATA PENGANTAR	x
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan dan Manfaat Penelitian	3
1.4 Batasan Masalah	3
BAB II LANDASAN TEORI	5
2.1 Analisis Stabilitas Lereng	5
2.1.1 Metode Fellenius	7
2.1.2 Metode Bishop	9
2.2 <i>Soil Nailing</i>	10
2.2.1 Aplikasi <i>Soil Nailing</i>	18
2.2.2 <i>Soil Nailing</i> di Indonesia	22
2.3 Geo-Studio	27
2.4 Tinjauan Penelitian Terdahulu	28
BAB III METODE PENELITIAN	34
3.1 Lokasi Penelitian	34
3.2 Sumber Data	34
3.3 Permodelan Desain	35
3.4 Metode Analisis Data	36
3.5 Tahapan Penelitian	43

BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN	46
4.1 <i>Safety Factor</i> Lereng Eksisting.....	46
4.2 Perkuatan Lereng dengan <i>Soil Nailing</i>	60
4.2.1 Analisis Stabilitas Eksternal	60
4.2.2 Analisis Stabilitas Internal	70
4.3 Korelasi Sudut Pemasangan <i>Nail</i> Terhadap Angka Keamanan Lereng.....	76
4.4 Rencana Anggaran Biaya.....	91
4.4.1 Rekapitulasi Akhir	92
4.4.2 Volume Pekerjaan (<i>Bill of Quantity</i>)	93
4.4.3 Lembar Perhitungan (<i>Calculation Sheet</i>)	94
4.4.4 Perhitungan Koefisien dan Analisa Harga Satuan.....	95
4.4.5 Daftar Harga Satuan Dasar (Bahan, Alat, dan Upah Tenaga)	95
BAB V PENUTUP.....	96
5.1 Kesimpulan	96
5.2 Saran	98
DAFTAR PUSTAKA	vii
LAMPIRAN	
ANGKET PERSETUJUAN TESIS	
LEMBAR BIMBINGAN TESIS	



DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Rekomendasi Nilai Faktor Keamanan Untuk Lereng	6
Tabel 2. 2 Sudut - sudut Petunjuk Fellenius	9
Tabel 2. 3 Parameter Desain <i>Soil Nailing</i>	11
Tabel 2. 4 Daya Dukung Geser <i>Soil Nailing</i> pada Tanah Berpasir.....	15
Tabel 2. 5 Contoh Analisa Harga Satuan Pekerjaan <i>Soil Nailing</i>	23
Tabel 2. 6 Contoh Analisa Harga Satuan Pekerjaan <i>Shotcrete</i>	24
Tabel 2. 7 Penelitian Terdahulu	29
Tabel 3. 1 Kebutuhan dan Sumber Data	35
Tabel 3. 2 Beban Lalu-lintas untuk Analisis Stabilitas dan Beban di Luar Jalan .	41
Tabel 4. 1 Propertis Tanah di Lokasi Penelitian	46
Tabel 4. 2 Stratigrafi dan Konsistensi Tanah di Lokasi Penelitian.....	46
Tabel 4. 3 Perhitungan SF Metode Fellenius (1)	49
Tabel 4. 4 Perhitungan SF Metode Fellenius (2)	49
Tabel 4. 5 Curah dan Hari Hujan di Kabupaten Wonogiri	52
Tabel 4. 6 Nilai <i>Runoff Curve Number</i> (CN)	53
Tabel 4. 7 Tebal Lapis Jenuh Akibat Hujan.....	54
Tabel 4. 8 Perhitungan SF Metode Bishop (1).....	56
Tabel 4. 9 Perhitungan SF Metode Bishop (2).....	57
Tabel 4. 10 Angka Keamanan Lereng Eksisting.....	59
Tabel 4. 11 Gaya Tarik dan Gaya Geser Ijin Total <i>Nail Bar</i> untuk $i = 17^\circ$	65
Tabel 4. 12 Angka Keamanan Terhadap Geser	70
Tabel 4. 13 Parameter Perhitungan SF internal <i>Nail</i> ke-6 ($i = 17^\circ$).....	71
Tabel 4. 14 Nilai Tegangan Horizontal Pada <i>Nail</i> ke-6 ($i = 17^\circ$)	72
Tabel 4. 15 Panjang Nail di Belakang Bidang Gelincir (1)	74
Tabel 4. 16 Panjang Nail di Belakang Bidang Gelincir (2)	74
Tabel 4. 17 Tegangan Horizontal Pada <i>Nail</i> ($i = 17^\circ$)	74
Tabel 4. 18 Nilai Keamanan Stabilitas Internal <i>Nail</i> ($i = 17^\circ$).....	75
Tabel 4. 19 Hubungan Sudut Pemasangan <i>Nail</i> Terhadap SF Eksternal Lereng..	76
Tabel 4. 20 Tegangan Horizontal Pada <i>Nail</i> ($i = 10^\circ$)	79
Tabel 4. 21 Nilai Keamanan Stabilitas Internal <i>Nail</i> ($i = 10^\circ$).....	79
Tabel 4. 22 Tegangan Horizontal Pada <i>Nail</i> ($i = 11^\circ$)	80

Tabel 4. 23 Nilai Keamanan Stabilitas Internal <i>Nail</i> ($i = 11^\circ$).....	80
Tabel 4. 24 Tegangan Horizontal Pada <i>Nail</i> ($i = 12^\circ$)	81
Tabel 4. 25 Nilai Keamanan Stabilitas Internal <i>Nail</i> ($i = 12^\circ$).....	82
Tabel 4. 26 Tegangan Horizontal Pada <i>Nail</i> ($i = 13^\circ$)	82
Tabel 4. 27 Nilai Keamanan Stabilitas Internal <i>Nail</i> ($i = 13^\circ$).....	83
Tabel 4. 28 Tegangan Horizontal Pada <i>Nail</i> ($i = 14^\circ$)	83
Tabel 4. 29 Nilai Keamanan Stabilitas Internal <i>Nail</i> ($i = 14^\circ$).....	84
Tabel 4. 30 Tegangan Horizontal Pada <i>Nail</i> ($i = 15^\circ$)	85
Tabel 4. 31 Nilai Keamanan Stabilitas Internal <i>Nail</i> ($i = 15^\circ$).....	85
Tabel 4. 32 Tegangan Horizontal Pada <i>Nail</i> ($i = 16^\circ$)	86
Tabel 4. 33 Nilai Keamanan Stabilitas Internal <i>Nail</i> ($i = 15^\circ$).....	86
Tabel 4. 34 Tegangan Horizontal Pada <i>Nail</i> ($i = 18^\circ$)	87
Tabel 4. 35 Nilai Keamanan Stabilitas Internal <i>Nail</i> ($i = 18^\circ$).....	88
Tabel 4. 36 Tegangan Horizontal Pada <i>Nail</i> ($i = 19^\circ$)	88
Tabel 4. 37 Nilai Keamanan Stabilitas Internal <i>Nail</i> ($i = 19^\circ$).....	89
Tabel 4. 38 Tegangan Horizontal Pada <i>Nail</i> ($i = 20^\circ$)	90
Tabel 4. 39 Nilai Keamanan Stabilitas Internal <i>Nail</i> ($i = 20^\circ$).....	90
Tabel 4. 40 Rekapitulasi Perhitungan Stabilitas Eksternal dan Internal	91
Tabel 4. 31 Rekapitulasi Akhir Rencana Anggaran Biaya	93
Tabel 4. 32 BOQ Rencana Anggaran Biaya	94
Tabel 4. 33 Perhitungan Kuantitas	94



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Lereng Ruas Jalan Giriwoyo-Glonggong KM. SKA. 81+200	2
Gambar 2. 1 Gaya yang bekerja pada irisan	7
Gambar 2. 2 Lokasi Pusat Busur Longsor Kritis Pada Tanah Kohesif.....	9
Gambar 2. 3 Potongan Tipikal Dinding <i>Soil Nailing</i> (SNI 8460:2017).....	11
Gambar 2. 4 Gaya yang Bekerja dalam Metode Baji	12
Gambar 2. 5 Grafik Korelasi Koefisien C1, C2, dan C3.....	14
Gambar 2. 6 Stabilitas Terhadap Penggulingan pada Perkuatan <i>Soil Nailing</i>	15
Gambar 2. 7 Keruntuhan Putus Tulangan	17
Gambar 2. 8 Keruntuhan Cabut Tulangan	18
Gambar 2. 9 Pengeboran dengan Bantuan Crane.....	19
Gambar 2. 10 Proses Pemasukan <i>Nail Bar</i> ke dalam Lubang Bor.....	20
Gambar 2. 11 <i>Soil Nailing & Shotcrete</i> di Town House Pondok Pinang	25
Gambar 2. 12 <i>Soil Nailing</i> dan <i>Ground Anchor</i> di Pangalengan	26
Gambar 2. 13 <i>Soil Nailing</i> di Jembatan Samiran 2 Boyolali	27
Gambar 3. 1 Peta Lokasi Penelitian	34
Gambar 3. 2 Permodelan Awal Desain.....	35
Gambar 3. 3 Jendela Pengaturan Kertas Kerja Geoslope	37
Gambar 3. 4 Jendela Pengaturan Satuan dan Skala Geoslope	37
Gambar 3. 5 Jendela Pengaturan Jarak <i>Grid</i> Geoslope.....	38
Gambar 3. 6 Sketsa Lereng AutoCAD 2015.....	38
Gambar 3. 7 Hasil <i>Import Region</i> Sketsa Lereng GeoStudio	39
Gambar 3. 8 Jendela Properti Material	40
Gambar 3. 9 Hasil <i>Plot</i> Properti Lapisan Tanah	40
Gambar 3. 10 Penggambaran Bidang Longsor dengan Metode <i>Entry and Exit</i> ...	41
Gambar 3. 11 Penggambaran Perkuatan <i>Soil Nailing</i>	42
Gambar 3. 12 Slope/W: SF Lereng Eksisting Tanpa Perkuatan	42
Gambar 3. 13 Slope/W: SF Lereng Dengan Perkuatan <i>Soil Nailing</i> Sudut 20° ...	43
Gambar 3. 14 Slope/W: SF Lereng Dengan Perkuatan <i>Soil Nailing</i> Sudut 15° ...	43
Gambar 3. 15 Bagan Alir Penelitian	44
Gambar 4. 1 Penampang Lereng.....	47
Gambar 4. 2 Gaya pada masing-masing irisan.....	48

Gambar 4. 3 Tebal Lapisan Jenuh Akibat Hujan Harian	54
Gambar 4. 4 Geoslope Fellenius: SF Lereng Eksisting Kondisi Normal	55
Gambar 4. 5 Geoslope Fellenius: SF Lereng Eksisting Akibat Hujan.....	55
Gambar 4. 6 Geoslope Fellenius: SF Lereng Eksisting Kondisi <i>Full Saturated</i> ..	56
Gambar 4. 7 Geoslope Bishop: SF Lereng Eksisting Kondisi Normal.....	58
Gambar 4. 8 Geoslope Bishop: SF Lereng Eksisting Akibat Hujan	58
Gambar 4. 9 Geoslope Bishop: SF Lereng Eksisting Kondisi <i>Full Saturated</i>	59
Gambar 4. 10 Desain Perkuatan Lereng dengan <i>Soil Nailing</i>	60
Gambar 4. 11 Luasan Lapisan Tanah yang Berada Pada Bidang Gelincir	61
Gambar 4. 12 Area Tanah yang Berada Pada Bidang Gelincir (Kondisi II).....	61
Gambar 4. 13 Geoslope: SF <i>Soil Nailing</i> Sudut 17° Kondisi I.....	66
Gambar 4. 14 Geoslope: SF <i>Soil Nailing</i> Sudut 17° Kondisi II.....	66
Gambar 4. 15 Geoslope: SF <i>Soil Nailing</i> Sudut 17° Kondisi III	67
Gambar 4. 16 Bidang Tekanan Tanah Aktif di Belakang Zona Perkuatan.....	68
Gambar 4. 17 Korelasi Sudut <i>Nail</i> Dengan SF (Kondisi I)	77
Gambar 4. 18 Korelasi Sudut <i>Nail</i> Dengan SF (Kondisi II)	77
Gambar 4. 19 Korelasi Sudut <i>Nail</i> Dengan SF (Kondisi III).....	78



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Analisa Harga Satuan Pekerjaan

Lampiran 2 Harga Satuan Dasar (Bahan, Alat, dan Upah Tenaga)

Lampiran 3 Gambar Tipikal Penanganan

Lampiran 4 Data Propertis Tanah

Lampiran 5 Hasil Cek Originalitas (Turnitin)



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Transportasi menjadi aspek penting dalam tingginya tingkat mobilitas manusia maupun barang. Dari tiga moda transportasi yang ada, transportasi darat adalah moda transportasi paling populer di kalangan masyarakat Indonesia.

Jalan merupakan salah satu prasarana transportasi darat. Pada kondisi tertentu, ditemui trase jalan yang melalui perbukitan sehingga mengharuskan pemotongan / *cutting* bukit untuk memenuhi kebutuhan alinyemen vertikal maupun horisontal. Tidak jarang pemotongan bukit dilakukan dengan ketersediaan lahan yang terbatas, sehingga kondisi lereng menjadi terjal dengan sudut kemiringan yang besar. Kondisi demikian menjadikan lereng memiliki *safety factor* (SF) yang kecil dan rawan longsor. SNI 8460:2017 memberikan rekomendasi nilai SF untuk kondisi lereng yang bersifat permanen sebesar adalah sebesar 1,50 dan 1,30 untuk lereng bukan permanen.

Pada lereng kritis, diperlukan rekayasa perkuatan untuk mencapai SF yang rekomendasikan oleh SNI 8640:2017. Salah satu metode yang bisa dilakukan adalah dengan pasak tanah. Pasak tanah (*soil nailing*) merupakan perkuatan lereng dengan cara membenamkan tulangan baja (*nail bar*) ke dalam tanah lereng dengan kemiringan dan panjang tertentu hingga melebihi bidang gelincir pada lereng (Balansi, 2020). Hal ini bertujuan untuk meningkatkan gaya normal dan tahanan geser untuk mengurangi gaya dorong pada bidang gelincir. Bahan-bahan yang digunakan dalam *soil nailing* diantaranya adalah batang baja ulir sebagai tendon, *grout*, dan *centralizer* (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Direktorat Jenderal Bina Marga, 2009) .

Salah satu kelebihan stabilisasi dengan metode *soil nailing* adalah tidak memerlukan area yang luas. Hal ini cocok dilakukan untuk lereng di tepi jalan dengan ketersediaan Ruang Milik Jalan (RMJ) yang terbatas. Pada saat pelaksanaan metode *soil nailing* tidak terlalu memerlukan ruang *shoring* yang

besar. Selain itu, dinding dengan *soil nailing* biasanya relatif tipis, sehingga lebih fleksibel terhadap penurunan. Parameter desain stabilisasi lereng menggunakan *soil nailing* meliputi jarak antar *nail*, panjang *nail*, dan sudut pemasangan *nail*. Dalam perhitungan perencanaan, panjang *nail* dan jarak antarnail ditentukan oleh analisis beban kerja dan kemampuan friksi tanah dengan material paku tanah yang digROUTING. Sedangkan rekomendasi sudut yang biasa digunakan adalah $10^{\circ} - 20^{\circ}$.

Penelitian ini menganalisis stabilisasi lereng di Ruas Giriwoyo – Glonggong KM. SKA. 81+200 (Kabupaten Wonogiri) menggunakan metode *soil nailing* dengan beberapa variasi sudut pemasangan nail dan hubungannya dengan nilai *safety factor*. Ruas Giriwoyo – Glonggong sendiri merupakan bagian dari Jalur Jalan Lintas Selatan (JJLS) yang membentang dari Jawa Barat s/d Jawa Timur.



Gambar 1. 1 Lereng Ruas Jalan Giriwoyo-Glonggong KM. SKA. 81+200
Sumber: PPK 3.5 Satuan Kerja Pelaksanaan Jalan Nasional Wilayah III Provinsi Jawa Tengah

1.2 Rumusan Masalah

Kondisi tebing di KM. SKA. 81+200 Ruas Jalan Giriwoyo – Glonggong memiliki tinggi 16 m dengan sudut kemiringan $> 60^{\circ}$. Hal ini disebabkan oleh kondisi awal yang merupakan perbukitan serta ketersediaan lahan. Dengan

demikian tebing memiliki potensi longsor yang cukup besar. Adapun rumusan masalah dari penelitian ini adalah:

1. Berapa nilai *safety factor* lereng eksisting di Ruas Jalan Giriwoyo – Glonggong KM. SKA. 81+200?
2. Bagaimana desain perkuatan lereng dengan menggunakan metode *soil nailing* untuk memenuhi faktor keamanan sesuai SNI 8460:2017?
3. Bagaimana korelasi sudut pemasangan *nail* terhadap angka keamanan global lereng dalam stabilisasi lereng menggunakan metode *soil nailing*?
4. Berapa kebutuhan biaya yang diperlukan untuk poin 2?

1.3 Tujuan dan Manfaat Penelitian

Tujuan dari tesis ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui nilai *safety factor* lereng eksisting,
2. Mengetahui nilai *safety factor* lereng akibat stabilisasi dengan *soil nailing*.
3. Mengetahui pengaruh sudut pemasangan *nail* terhadap nilai *safety factor* lereng.
4. Mengetahui perkiraan kebutuhan biaya perkuatan lereng dengan metode *soil nailing* di Ruas Giriwoyo – Glonggong KM. SKA. 81+200.

Adapun manfaat dari penulisan tesis ini adalah sebagai berikut:

1. Sebagai bahan bacaan tentang stabilitas lereng
2. Sebagai tambahan informasi tentang alternatif metode perkuatan lereng

1.4 Batasan Masalah

Untuk menjaga fokus penelitian agar tidak melebar, diperlukan batasan masalah penelitian. Adapun batasan masalah dalam penelitian ini diantaranya adalah sebagai berikut:

1. Studi kasus dilakukan di Lereng KM. SKA. 81+200 (Sisi Kanan) Ruas Jalan Giriwoyo – Glonggong yang masuk dalam wilayah administratif Kecamatan Giriwoyo, Kabupaten Wonogiri;
2. Lereng diklasifikasikan sebagai lereng permanen dengan nilai *safety factor* rujukan sebesar 1,50;

3. Perhitungan angka keamanan lereng eksisting menggunakan analisa kesetimbangan batas (*limit equilibrium analysis*). Metode yang digunakan adalah Fellenius dan Bishop.
4. Rujukan untuk perencanaan perkuatan lereng dengan *soil nailing* berdasarkan FHWA-NHI-14-007 (Lazarte et al., 2015) dan SNI 8460:2017 Persyaratan Perancangan Geoteknik;
5. Verifikasi perhitungan dilakukan dengan *software* GeoStudio;
6. *Facing* dari lereng dengan perkuatan *soil nailing* dengan beton semprot (*shotcrete*) yang relatif tipis dan aman terhadap daya dukung tanah sehingga tidak dilakukan kontrol terhadap daya dukung tanah.
7. Lingkup pekerjaan untuk menghitung estimasi kebutuhan biaya didasarkan pada ketentuan sebagai berikut:
 - a. Spesifikasi Khusus Interim Seksi 7.19 untuk Stabilisasi Lereng Menggunakan Metode *Soil Nailing*
 - b. Spesifikasi Khusus Interim Seksi 7.18 untuk Beton Semprot (*Shotcrete*)
 - c. Spesifikasi Umum 2018 Revisi 2 untuk ketentuan lainnya
 - d. Harga Satuan Dasar 2022 yang dikeluarkan oleh Balai Besar Penanganan Jalan Nasional Provinsi Jawa Tengah & Daerah Istimewa Yogyakarta
 - e. Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 28/PRT/M/2016 untuk Analisa Harga Satuan

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Analisis Stabilitas Lereng

Lereng adalah permukaan bumi atau tanah yang membentuk sudut kemiringan tertentu dengan bidang horisontal (Sartiyono, 2017). Terdapat dua jenis lereng ditinjau dari proses terbentuknya. Lereng alam merupakan lereng yang terbentuk akibat kegiatan alam (erosi, gerakan tektonik, perubahan tekanan air pori, pelapukan, dan lain sebagainya). Sedangkan lereng buatan meliputi lereng timbunan dan galian yang dilakukan terhadap lereng alami untuk kegiatan dan tujuan tertentu.

Jenis lereng pada pembahasan penelitian ini merupakan lereng galian. Ruas Jalan Giriwoyo – Glonggong di KM. SKA. 81+200 berada pada area lereng galian yang dibentuk dari lereng eksisting untuk memenuhi persyaratan alinyemen jalan. Beberapa aspek penting dari stabilitas lereng galian adalah kuat geser pada bidang galian, berat isi tanah, tinggi lereng, kemiringan lereng, kohesi, sudut geser, dan tekanan air pori (Badan Standarisasi Nasional, 2017).

Sebuah lereng dikatakan stabil apabila lereng tersebut tidak mengalami pergerakan dan tidak berpotensi mengalami pergerakan, yakni apabila komponen penahannya lebih besar daripada komponen penggeraknya (Kumalasari, 2012). Perbandingan komponen penggerak dengan penahan ini selama ini kita kenal sebagai faktor keamanan atau *safety factor* (SF).

Bowles (1984) memberikan klasifikasi lereng berdasarkan angka keamanan dimana $FS < 1,07$ merupakan lereng labil (longsor biasa terjadi); $1,07 < FS < 1,25$ adalah lereng kritis (longsor pernah terjadi); dan $FS > 1,25$ merupakan lereng dengan kondisi stabil (longsor jarang terjadi) (Andriani et al., 2017). Adapun SNI 8460:2017 memberikan nilai rujukan SF sebagaimana disajikan dalam Tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Rekomendasi Nilai Faktor Keamanan Untuk Lereng
(Badan Standarisasi Nasional, 2017)

Kondisi Lereng	Rekomendasi Nilai SF
Kondisi Permanen	1,50
Kondisi Sementara	1,30

Dalam analisis stabilitas lereng, beberapa anggapan dibuat (Hardiyatmo, 2003):

1. Kelongsoran lereng terjadi di sepanjang permukaan bidang longsor tertentu dan dapat dianggap sebagai masalah bidang 2 dimensi,
2. Massa tanah yang longsor dianggap sebagai benda masif
3. Tahanan geser dari massa tanah pada setiap titik sepanjang bidang longsor tidak tergantung dari orientasi permukaan longsor, atau dengan kata lain kuat geser tanah dianggap isotropis
4. Faktor aman didefinisikan dengan memperhatikan tegangan geser rata-rata sepanjang bidang longsor potensial, dan kuat geser tanah rata-rata sepanjang permukaan longsor. Jadi, kuat geser tanah mungkin terlampaui di titik-titik tertentu pada bidang longsornya,

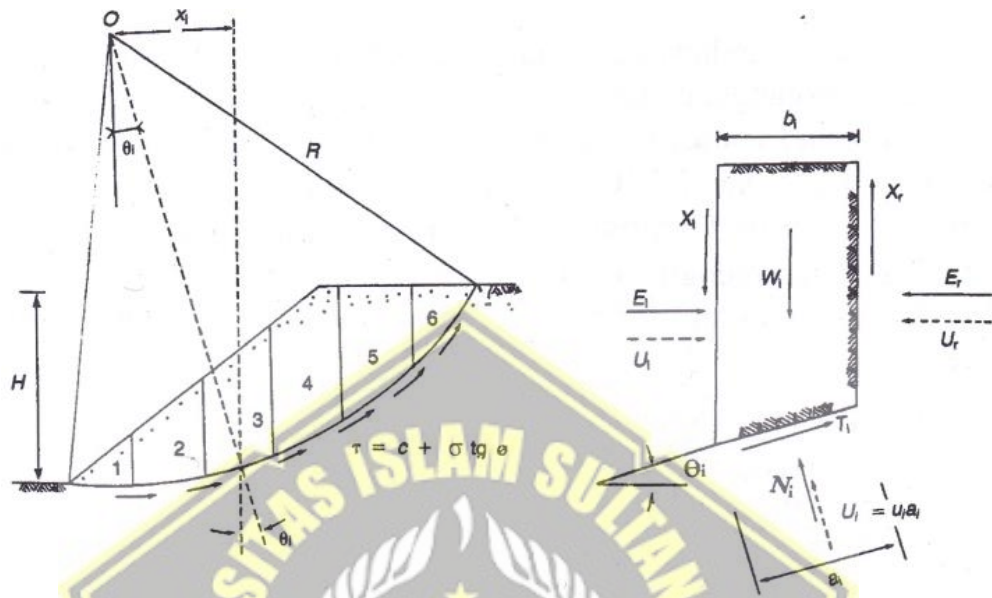
Pengamatan longsor lereng oleh Collin (1846) menunjukkan bahwa longsor tanah terjadi dalam bentuk bidang longsor yang berupa lengkungan (Hardiyatmo, 2003). Penyebab longsor pada bidang lengkung ini adalah tidak tersedianya kuat geser tanah yang cukup untuk menahan gerakan tanah longsor pada bidang gelincirnya.

Perhitungan nilai keamanan (F) lereng adalah nilai banding antara gaya yang menahan yang terdiri dari parameter kuat geser tanah (ϕ & C) dan gaya yang menggerakkan lereng.

$$F = \frac{\text{Gaya Penahan}}{\text{Gaya Penggerak}} \dots\dots\dots (2.1)$$

Penulis memilih metode kesetimbangan batas (*limit equilibrium method*) untuk melakukan analisis stabilitas lereng. Dalam *limit equilibrium method* (LEM)

ditekankan prinsip keseimbangan. Untuk kasus longsor dengan bidang gelincir berbentuk lingkaran (*circular slide*), prinsip yang digunakan adalah $\Sigma M = 0$. Dua pendekatan metode kesetimbangan batas yang bisa digunakan untuk menghitung faktor keamanan lereng adalah Metode Fellenius dan Metode Bishop.



Gambar 2. 1 Gaya yang bekerja pada irisan (Hardiyatmo, 2012)

Dimana:

- X_l, X_r : gaya geser efektif di sepanjang irisan
- E_l, E_r : gaya normal efektif di sepanjang sisi irisan
- T_i : resultan gaya geser efektif yang bekerja sepanjang irisan
- N_i : resultan gaya normal efektif yang bekerja sepanjang dasar irisan
- U_l, U_r : tekanan air pori yang bekerja di kedua sisi irisan
- U_i : tekanan air pori di dasar irisan

2.1.1 Metode Fellenius

Fellenius (1927) mengemukakan bahwa keruntuhan lereng berbentuk lingkaran dengan titik O sebagai pusat rotasi (Wardani et al., 2019). Metode Fellenius menganggap bahwa gaya-gaya yang bekerja pada sisi kanan kiri gaya-gaya yang bekerja pada sisi kanan kiri dari sembarang irisan mempunyai dari sembarang irisan mempunyai resultan nol pada

arah tegak lurus bidang longsor. Dengan demikian keseimbangan arah gaya yang bekerja dan keseimbangan arah vertikal memperhatikan tekanan air pori sebagai berikut (Haryadi et al., 2019):

$$N_i + U_i = W_i \cos \theta_i \dots\dots\dots (2.2)$$

Berikut formula perhitungan faktor keamanan lereng metode fellenius (Hardiyatmo, 2003):

$$F = \frac{\sum_{i=1}^{i:n} (c a_i + N_i \tan \varphi)}{\sum_{i=1}^{i:n} W_i \sin \theta_i} \dots\dots\dots (2.3)$$

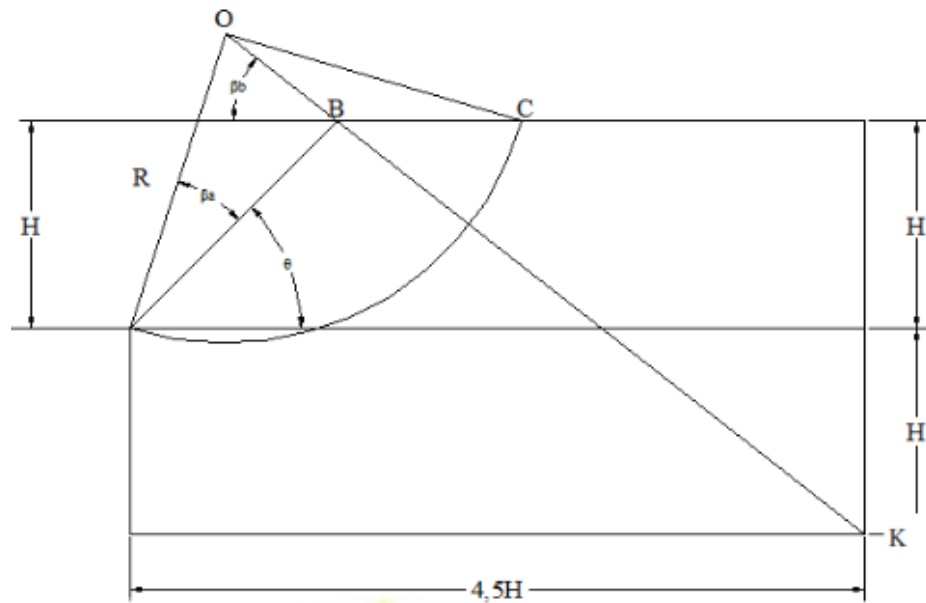
Dan jika terdapat air pada lereng akibat tekanan air pori, maka persamaan menjadi:

$$F = \frac{\sum_{i=1}^{i:n} c a_i + (W_i \cos \theta_i - u_i a_i) \tan \varphi}{\sum_{i=1}^{i:n} W_i \sin \theta_i} \dots\dots\dots (2.4)$$

Dengan:

- F : faktor aman
- C : kohesi tanah (kN/m²)
- φ : sudut geser dalam tanah (°)
- α_i : panjang lengkung lingkaran pada irisan ke-I (m)
- W_i : berat isisan tanah ke-i (kN)
- u_i : tekanan air pori pada irisan ke-i (kN/m²)
- θ_i : sudut yang didefinisikan pada gambar 2.1 (°)

Pusat lingkaran bidang longsor ditentukan dengan metode *trial and errors* sehingga diperlukan pendekatan untuk memudahkan proses ini. Fellenius memberikan petunjuk untuk menentukan pusat busur longsor kritis melalui tumit suatu lereng pada Gambar 2.2 dengan nilai-nilai pada Tabel 2.2 (Horison et al., 2013).



Gambar 2. 2 Lokasi Pusat Busur Longsor Kritis Pada Tanah Kohesif

Tabel 2. 2 Sudut - sudut Petunjuk Fellenius

Lereng (1: n)	Sudut Lereng (°)	Sudut Petunjuk	
		β_a	β_b
$\sqrt{3}: 1$	60	29	40
1: 1	45	28	38
1: 1,5	33,41	26	35
1: 2	25,34	25	35
1: 3	18,26	25	35
1: 5	11,19	25	37

Analisis biasanya dilakukan dengan membagi bidang longsor menjadi pias-pias untuk memudahkan perhitungan. Pias-pias tersebut dibuat setebal 0,1 dari radius yang ditetapkan, analisis untuk faktor keamanan dapat dilakukan dengan metode Fellenius atau Bishop (Liriyanto et al., 2014).

2.1.2 Metode Bishop

Metode Bishop mengasumsikan bahwa gaya-gaya normal total berada/bekerja dipusat alas potongan dan bisa ditentukan dengan menguraikan gaya-gaya pada potongan secara vertikal atau normal. Metode Bishop menganggap bahwa gaya-gaya yang bekerja pada irisan mempunyai resultan nol pada arah vertikal (Simanjutak, 2019). Sama

seperti Metode Fellenius, Bishop juga menggunakan bidang longsoran berupa lingkaran. Penentuan pusat titik lingkaran adalah sama dengan Fellenius, yakni dengan metode *trial and error* dimulai dari sudut-sudut petunjuk yang diberikan oleh Fellenius.

Untuk menilai faktor keamanan lereng dengan Metode Bishop, digunakan formula berikut (Kumalasari, 2012):

$$SF = \frac{\left(\frac{c \Delta x + W \tan \varphi}{m} \right)}{W \sin \varphi} \dots\dots\dots (2.5)$$

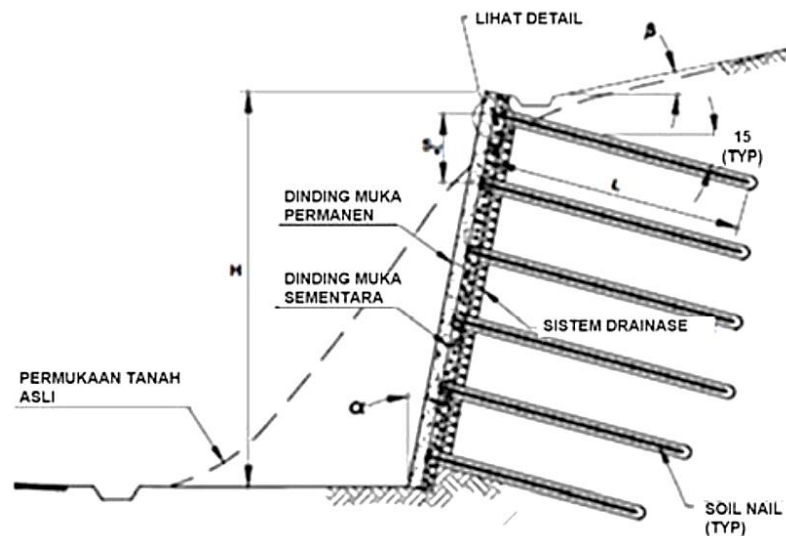
$$m = \cos \alpha \left[1 + \frac{\tan \alpha \tan \varphi}{F} \right] \dots\dots\dots (2.6)$$

Dimana:

- SF : Faktor aman
- C : kohesi tanah (kN/m²)
- φ : sudut geser dalam tanah (°)
- α : sudut irisan dengan bidang longsor (°)
- W : berat irisan tanah
- Δx : panjang irisan sumbu x pada arah horizontal
- F : faktor aman rencana

2.2 Soil Nailing

Han (2015) menjelaskan bahwa *Soil Nailing* adalah teknik menstabilkan tanah eksisting akibat perubahan kondisi geoteknik, baik akibat perubahan alam (erosi, presipitasi, dll.) atau aktivitas manusia (galian, timbunan, atau aktivitas lainnya) dengan cara menanamkan *nail* (biasanya beton bertulang). *Soil nail* dapat dapat dipasang pada keadaan eksisting ataupun pada dinding saat proses galian (Syuhada et al., 2020). Lazarate (2015) menyebutkan bahwa biasanya *soil nail* dipasang pada kemiringan 10 – 20°, umunya 15°.



Gambar 2. 3 Potongan Tipikal Dinding Soil Nailing (SNI 8460:2017)

Berikut kriteria perencanaan *soil nail* yang perlu diperhatikan:

Tabel 2. 3 Parameter Desain Soil Nailing

Parameter	FHWA-NHI-14-007 Geotechnical Engineering Circular No. 7: Soil Nail Walls - Reference Manual	SNI 8460:2017 Persyaratan Perancangan Geoteknik dan SKh-1.7.19 Spesifikasi Khusus Soil Nailing
Jarak Nail	4 – 6 ft $S_H \times S_V = 36 - 42 \text{ ft}^2$	Jarak rujukan 1,5 m untuk <i>drilled and grouted soil</i> <i>nailling</i> . Dan 1 – 1,2 m untuk <i>driven soil nailing</i> .
Kemiringan Nail	10 – 20° (umumnya dipakai 15°)	10 – 20°
Panjang Nail	Direkomendasikan 0,6 – 1,2 H lereng	Direkomendasikan 0,6 – 1,2 H lereng
Diameter lubang bor untuk metode <i>drilled and grouted</i> <i>soil nailing</i>	4 – 8 inch	100 – 200 mm
Mutu Nail Bar	Baja Tulangan kuat tarik 420 atau 520 MPa. Diameter digunakan 19, 22, 25, 32, 36, dan 43 mm	Baja Tulangan kuat tarik minimum 400 MPa dengan diameter minimal 25 mm
Bearing Plate	Baja Grade 50 (ASTM A572 (Kuat Tarik 350 Mpa)	Pelat Baja ukuran 200 x 200 mm s/d 250 x 250 mm, tebal minimal 19 mm
Material Grout	1500 Psi pada umur 3 hari dan 3000 Psi pada umur 28 hari	21 MPa pada umur 28 Hari, dibuat dari semen tipe 1 dengan tipikal w/c 0,4 – 0,5
Shotcrete untuk facing		Tebal 75 – 100 mm, dilengkapi dengan 1 lapis wiremesh M6. Kuat tekan f_c 18 MPa.

Sumber: FHWA-NHI-14-007, SNI 8460:2017, dan SKh 1.7.19

Secara ringkas, berikut adalah tahap pemasangan *soil nailing* (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Direktorat Jenderal Bina Marga, 2009):

1. Pekerjaan perapihan lereng
2. *Marking* / penentuan lubang bor (sesuai desain)
3. Pemboran sesuai desain rencana
4. Pembersihan lubang bor dan pemeriksaan kedalaman
5. Pemasangan *nail* (baja ulir)
6. *Grouting* dengan campuran beton yang memenuhi persyaratan
7. Uji Tarik
8. Pembuatan *facing*

Terdapat parameter uji stabilitas untuk perencanaan perkuatan lereng dengan *soil nailing*, diantaranya adalah:

1. Stabilitas Global
 - a. Faktor aman terhadap keruntuhan lereng global (*global stability failure*)
- Perhitungan nilai aman perkuatan lereng dengan *Soil nailing* menggunakan metode baji dengan bidang longsor planar.



Gambar 2. 4 Gaya yang Bekerja dalam Metode Baji
(Kumalasari, 2012)

$$\sum T_i - P_n \sin \beta + P_t \cos \beta = 0 \dots\dots\dots (2.7)$$

$$W - P_n \cos \alpha - P_t \sin \alpha - \sum V_i = 0 \dots\dots\dots (2.8)$$

Variabel P merupakan gaya dari tanah pada permukaan bidang longsor, maka:

$$FS = \frac{P_n}{P_t} \dots\dots\dots (2.9)$$

Untuk tanah yang memiliki kohesi, perlu diperhatikan kuat geser tanah sepanjang permukaan bidang longsor, berikut persamaan untuk menghitung kuat geser tanah pada permukaan bidang longsor:

$$S = \frac{c L_f}{FS} \dots\dots\dots (2.10)$$

Dari persamaan-persamaan tersebut maka nilai faktor aman dapat dihitung menggunakan rumus berikut:

$$FS = \frac{c L_f + (W+Q) \cos \alpha \tan \varphi + [\sum T_i \sin(\alpha+i) - \sum V_i \cos(\alpha+i)] \tan \varphi}{W \sin \alpha - \sum T_i \cos(\alpha+i) - \sum V_i \sin(\alpha+i)} \dots (2.11)$$

Keterangan:

- FS : faktor aman
- c : kohesi tanah (kN/m²)
- φ : sudut geser dalam tanah (°)
- α : kemiringan bidang longsor terhadap sumbu horizontal (°)
- W : berat irisan tanah ke-n (kN/m)
- Q : beban mati di atas lereng
- L_f : panjang lengkung lingkaran pada irisan ke-n (m)
- L_c : panjang *nail bar* di belakang bidang longsor (m)
- β : kemiringan lereng (°)
- i : kemiringan *nail bar* (°)
- $\sum T_i$: jumlah daya dukung terhadap gaya tarik (kN/m)
- $\sum V_i$: jumlah daya dukung gaya geser (kN/m)
- Gaya geser dan gaya tarik ijin global

$$V = \frac{R_n}{2\sqrt{1+4 \tan^2(90-\alpha)}} \dots\dots\dots (2.12)$$

$$T = 4 V \tan(90 - \alpha) \dots\dots\dots (2.13)$$

Keterangan:

- V : gaya geser ijin *nail bar*
- T : gaya tarik ijin *nail bar*

R_n : daya dukung tarik *nail bar*

Gaya geser ijin tanah dihitung dengan persamaan:

$$V = P_{max} \frac{D}{2} L_0 \dots\dots\dots (2.14)$$

Keterangan:

V : gaya geser ijin pasif tanah

D : diameter *nail bar* + *grouting*

L_0 : panjang penyaluran $\rightarrow \sqrt[4]{\frac{4 EI}{K_s D}}$

EI : kekakuan *nail bar*

K_s : modulus reaksi lateral tanah

P_{max} : tegangan pasif (0,5 tegangan pasif ultimit) $\rightarrow P_u/2$

P_u : diambil dari nilai terkecil persamaan berikut

$$\rightarrow P_u = (C_1 Z + C_2 D) \gamma' Z$$

$$\rightarrow P_u = C_3 D \gamma' Z$$

Sedangkan Z adalah $2/3 H$.

Nilai C_1 , C_2 , dan C_3 ditentukan dalam gambar 2.5.



Gambar 2. 5 Grafik Korelasi Koefisien C_1 , C_2 , dan C_3
(API (1987) dalam Kumalasari, 2012)

Gaya tarik ijin pada *nail bar* dibatasi dalam persamaan berikut:

$$\frac{V_{max}^2}{R_c^2} + \frac{T_{max}^2}{R_n^2} = 1 \dots\dots\dots (2.15)$$

Faktor aman stabilitas geser dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$FS = \frac{cb B_L + (W+Q+PA \sin \delta) \tan \varphi}{PA \cos \delta} \dots\dots\dots (2.17)$$

$$PA = \frac{c H_1^2}{2} K_a \dots\dots\dots (2.18)$$

$$K_a = \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) \dots\dots\dots (2.19)$$

Keterangan:

- FS : faktor aman
 Cb : kohesi tanah (kN/m²)
 B_L : lebar struktur (m)
 γ : berat volume tanah (kN/m³)
 W : berat irisan tanah (kN/m)
 Q : beban mati di atas lereng (kN/m)
 φ : sudut gesek dalam tanah (°)
 H : tinggi dinding tanah (m)
 δ : sudut gesek antara tanah fondasi dan dasar struktur

- c. Faktor aman terhadap kegagalan daya dukung tanah (*bearing failure*)
 Faktor aman terhadap *bearing failure* didefinisikan dalam persamaan berikut:

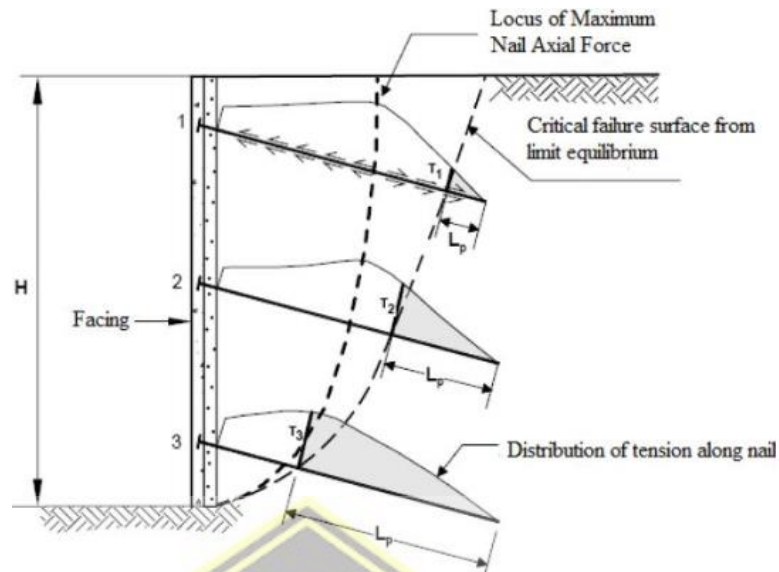
$$SF = \frac{c N_c + 0,5 \gamma B_e N_\gamma}{H_{eq} \gamma} \dots\dots\dots (2.20)$$

Keterangan:

- c : kohesi tanah pondasi (kN/m²)
 γ : berat volume tanah (kN/m³)
 q : tekanan *overburden* pada dasar pondasi (kN/m²)
 N_c, N_γ : koefisien dari sudut geser tanah menurut Terzaghi
 H_{eq} : tinggi dinding tanah (m)
 B_e : lebar *excavation* (m)

2. Stabilitas Internal

a. Faktor aman terhadap putus tulangan



Gambar 2. 7 Keruntuhan Putus Tulangan
(Soil Nail for Stabilization of Steep Slopes Near Railway Tracks dalam Kumalasari, 2012)

Faktor aman terhadap putus tulangan dapat dihitung dengan pendekatan berikut:

$$F = \frac{\left(\frac{0.25 \pi d^2 f_y}{1000} \right)}{\sigma_h S_v S_h} \dots \dots \dots (2.21)$$

$$\sigma_h = K_a \gamma z \dots \dots \dots (2.22)$$

Keterangan:

S_v : jarak *nail* arah vertikal (m)

S_h : jarak *nail* arah horizontal (m)

f_y : daya dukung tarik baja (MPa)

d : diameter tulangan (mm)

σ_h : tekanan horisontal tanah pada *nail* yang ditinjau (kN/m^2)

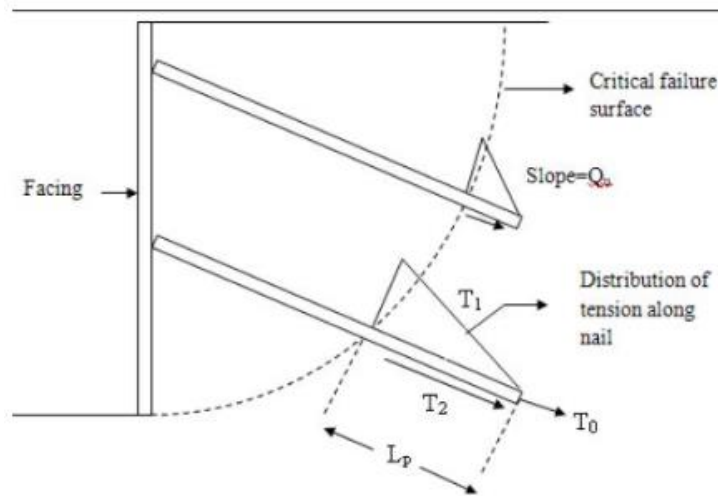
γ : berat isi tanah (kN/m^3)

z : kedalaman yang ditinjau (m)

F : faktor keamanan

K_a : koefisien tekanan aktif lateral tanah

b. Faktor aman terhadap cabut tulangan



Gambar 2. 8 Keruntuhan Cabut Tulangan
(Soil Nail for Stabilization of Step Slopes Near Railway Tracks dalam Kumalasari, 2012)

Faktor aman terhadap cabut tulangan dapat dihitung dengan pendekatan berikut:

$$F = \frac{\pi q_u D_{dh} L_p}{\sigma_h S_v S_h} \dots\dots\dots (2.23)$$

Keterangan:

- S_v : jarak *nail* arah vertikal (m)
- q_u : *ultimate bond strength* (kN/m²)
- σ_h : tekanan horizontal tanah pada *nail* yang ditinjau (kN/m²)
- L_p : panjang *nail* yang berada pada zona pasif (m)
- ϕ : sudut geser dalam tanah (°)
- D_{DH} : diameter lubang bor (m)

2.2.1 Aplikasi Soil Nailing

Soil Nailing dapat diaplikasikan sebagai stabilisasi lereng sementara maupun lereng permanen. Salah satu alasan yang menjadikan *soil nailing* sering kali dipilih sebagai konstruksi perkuatan lereng dikarenakan luas area yang dibutuhkan dalam masa konstruksi lebih kecil. Selain itu dinding *soil nailing* relatif aman terhadap penurunan karena dinding *soil*

nailing (facing) relatif lebih tipis jika dibandingkan dengan dinding gravitasi.

Dalam pelaksanaannya, kontraktor / penyedia jasa akan bekerjasama dengan aplikator khusus pekerjaan lereng. Tahapan pekerjaan *soil nailing* di lapangan adalah sebagai berikut:

1. *Marking*

Proses *marking* adalah penentuan titik *nail*. *Marking* dilakukan secara cermat oleh *surveyor* dengan persetujuan konsultan supervisi. Titik-titik rencana berkaitan dengan jarak vertikal dan horisontal antarnail.

2. Pemboran

Pelaksanaan *boring* dilaksanakan sesuai titik rencana yang telah ditandai sebelumnya. Sudut pemboran disesuaikan dengan sudut rencana, umumnya digunakan 15° - 20° terhadap sumbu horisontal. Diameter dan kedalaman pemboran juga sesuai dengan desain rencana. Metode *boring* dapat dilakukan dengan dua cara: (1) dengan perancah, ataupun (2) dengan bantuan *crane*.



Gambar 2. 9 Pengeboran dengan Bantuan Crane
Sumber: Dokumentasi Penulis

3. *Flushing*

Setelah dilakukan pemboran, lubang bor dibersihkan agar tidak mengganggu pekerjaan berikutnya. Proses pembersihan dilakukan dengan angin tekanan tinggi (*compressor*) maupun dengan air.

4. Pemasukan *Nail / Deform Bar*

Proses berikutnya adalah pemasukan *nail* ke dalam lubang-lubang bor. Pemasukan dilakukan oleh pekerja secara manual. Untuk menjamin posisi *nail* tetap berada pada tengah lubang bor, maka dipasang *centralizer* dengan jarak maksimal 60 cm. (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Direktorat Jenderal Bina Marga, 2021).

Toleransi yang diijinkan saat pemasangan *nail* adalah sebagai berikut: (1) deviasi lokasi kepala pasak tanah yang diizinkan adalah 200 mm ke semua arah; (2) deviasi batang baja dari tengah lubang pemboran maksimal adalah 25 mm; (3) kemiringan *nail* diberi toleransi pemasangan $\pm 3^\circ$ dari desain yang telah ditetapkan (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Direktorat Jenderal Bina Marga, 2009).



Gambar 2. 10 Proses Pemasukan Nail Bar ke dalam Lubang Bor

5. *Grouting*

Semen atau campuran antara semen dan pasir dengan kuat tekan umur 3 hari sebesar 10,5 MPa dan kuat tekan umur 28 hari sebesar 21 MPa dengan faktor air semen 0,4 sampai 0,45. *Grout* ke lubang bor dilakukan setelah batang baja terpasang dengan baik. Material *grout* dimasukkan mulai dari dasar lubang dengan menggunakan selang atau pipa bertekanan. Ujung selang atau pipa harus dipertahankan pada posisinya sambil ditarik perlahan, untuk

mencegah timbulnya pori-pori. Setiap lubang harus dipenuhi material *grout* dalam sekali pelaksanaan. Tidak diijinkan ada sambungan. (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Direktorat Jenderal Bina Marga, 2009)

6. *Facing*

Dalam pekerjaan *soil nailing* sebagai perkuatan lereng untuk mendukung kegiatan jalan di sekitar lereng, di Indonesia umumnya digunakan beton semprot (*shotcrete*) untuk menutup permukaan lereng. Dengan kata lain, *shotcrete* digunakan sebagai *facing*. Lingkup pekerjaan dalam *shotcrete* meliputi beton semprot, sistem drainase, dan penulangan.

Campuran direncanakan dengan material semen yang digunakan tidak kurang dari 390 kg/m³ dan rasio air kurang dari 0,45. Kuat tekan campuran *shotcrete* pada umur 3 hari harus mencapai 14 MPa dan umur 28 hari harus mencapai 28 MPa. (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Direktorat Jenderal Bina Marga, 2016).

Sistem drainase di bawah permukaan *shotcrete* menggunakan *strip drain* yang terbuat dari *geotextile non-woven*. *Strip drain* diletakkan di antara *nail* dan diletakkan sedemikian hingga agar material *shotcrete* tidak masuk ke *strip drain*. Selain itu digunakan lubang suling-suling pula dari pipa PVC diameter minimal 2 inch.

Penulangan diperlukan jika *shotcrete* berfungsi sebagai struktur yang terbebani. Tulangan dapat menggunakan anyaman kawat yang dilas atau *wiremesh*. *Wiremesh* dikaitkan dengan *nail* yang telah terpasang pada bidang miring tanah dengan diberi beton *decking* supaya *wiremesh* tidak menempel pada permukaan lereng. Penggunaan tulangan ini dimaksudkan untuk mengurangi bahkan meniadakan kemungkinan terjadinya retakan.

Penyemprotan beton dilakukan dengan *compressor*, dan *nozzle* dijaga pada jarak 60 – 100 cm hingga tercapai ketebalan sesuai rencana. *Nozzle* diusahakan tetap tegak lurus terhadap bidang kerja

sehingga *rebound* dapat diminimalkan dan diperoleh kepadatan maksimum (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Direktorat Jenderal Bina Marga, 2016). *Shotcrete* yang telah terpasang harus dijaga kelembapan paling tidak selama 7 hari.

7. *Finishing*

Tahapan terakhir adalah pemasangan pelat pengunci / *pin* serta pengencangan baut pada ujung *nail*.

2.2.2 Soil Nailing di Indonesia

a. Metode Pembayaran *Soil Nailing*

Tesis ini membahas mengenai *soil nailing* sebagai perkuatan lereng untuk mendukung penyelenggaraan jalan raya sebagai prasarana transportasi. Lereng jalan yang ditinjau adalah Ruas Jalan Giriwoyo – Glonggong yang merupakan bagian dari Jalan Jalur Lintas Selatan. Status jalan merupakan jalan nasional dengan kewenangan berada pada Direktorat Bina Marga, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.

Spesifikasi teknis dan metode pembayaran untuk proyek di bawah Bina Marga Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat telah diatur dalam Spesifikasi Umum 2018 Revisi 2. Sedangkan untuk item pekerjaan khusus yang tidak dibahas pada Spesifikasi Umum mengacu pada Spesifikasi Khusus yang dikeluarkan oleh Dirjen Bina Marga.

Adapun pekerjaan *soil nailing* menggunakan Spesifikasi Khusus Interim I Seksi 7.19 dan Seksi 7.18 untuk pekerjaan *shotcrete*. Selain kedua mata pembayaran tersebut, maka digunakan mata pembayaran yang ada pada Spesifikasi Umum 2018 Revisi 2.

1. Spesifikasi Khusus Interim I Seksi 7.19 *Soil Nailing*

Cara pengukuran dan pembayaran pekerjaan *soil nailing* adalah dengan dengan satuan m¹. Pembayaran yang dilakukan sudah mencakup penyediaan peralatan, material, tenaga kerja, maupun metode kerja.

Harga satuan pekerjaan ditetapkan dengan analisa kebutuhan material, tenaga kerja, metode kerja yang digunakan, dan peralatan yang digunakan. Berikut merupakan contoh hasil analisa harga satuan untuk pekerjaan *soil nailing*.

Tabel 2. 5 Contoh Analisa Harga Satuan Pekerjaan *Soil Nailing*

Nomor Item Pembayaran : SKh-I.7.19
 Jenis Pekerjaan : Soil Nailing
 Satuan Pembayaran : m¹

No	Komponen	Sat.	Perkiraan Kuantitas	Harga Satuan (Rp.)	Jumlah Harga (Rp.)
A. Tenaga					
1.	Pekerja L01	Jam	0,875	10.205,71	8.930,00
2.	Tukang L02	Jam	0,438	12.641,25	5.530,55
3.	Mandor L03	Jam	0,219	14.222,39	3.111,15
<i>Jumlah Harga Tenaga (A)</i>					<i>17.571,70</i>
B. Bahan					
1.	Semen M12	Kg	2,936	1.150,00	3.375,86
2.	Air M170	Liter	1,468	68,00	99,81
3.	BjTS 420 M268	Kg	8,207	12.000,00	98.481,60
4.	Pelat Baja M220	Kg	0,453	10.000,00	4.533,38
5.	Baut M134	Bh	0,125	25.000,00	3.125,00
6.	Pasir M01a	m ³	0,003	180.000,00	595,50
7.	Abu Batu M04	m ³	0,004	220.000,00	858,01
8.	Centralizer M291	Bh	0,250	31.600,96	7.900,24
9.	Additive M67a	Kg	0,352	58.700,00	20.677,85
<i>Jumlah Harga Bahan (B)</i>					<i>17.571,70</i>
C. Peralatan					
1.	Concrete Mixer E06	Jam	0,097	79.293,60	7.687,98
2.	Water Pump E22	Jam	0,250	46.470,47	11.617,62
3.	Drilling Machine E20	Jam	0,394	607.750,00	239.514,28
4.	Compressor E05	Jam	0,394	179.427,29	70.712,30
5.	Generator Set E12	Jam	0,394	348.723,46	137.431,92
6.	Mesin Injeksi E56	Jam	0,394	181.546,29	71.547,40
7.	Scaffolding -	Jam	0,394	66.300,00	26.128,83
8.	Casing -	Jam	0,394	164.092,50	64.668,86
9.	Tremmy Pipe -	Jam	0,394	92.267,50	36.362,62
<i>Jumlah Harga Peralatan (C)</i>					<i>668.171,81</i>
D. Jumlah Harga Tenaga, Bahan, dan Peralatan				(A + B + C)	825.390,75
E. Overhead & Profit				(10 % x D)	82.539,07
F. Harga Satuan Pekerjaan				(D + E)	907.929,82

Kebutuhan material disesuaikan dengan ketentuan teknis yang dipersyaratkan oleh spesifikasi terkait. Sedangkan kebutuhan peralatan disesuaikan dengan metode kerja yang digunakan. Perhitungan kuantitas dilakukan dengan analisa tertentu dan dasar-dasar yang disesuaikan dengan peraturan yang berlaku.

2. Spesifikasi Khusus Interim I Seksi 7.18 *Shotcrete*

Pembayaran pekerjaan beton semprot (*shotcrete*) dilakukan dalam satuan m². Pekerjaan *shotcrete* dalam tesis ini digunakan

sebagai *facing* dari pekerjaan stabilisasi lereng yang dilakukan dengan metode *soil nailing*.

Analisa harga satuan pekerjaan *shotcrete* dilakukan dengan memasukkan kebutuhan material, pekerja, peralatan yang digunakan, serta metode kerja yang digunakan. Contoh analisa harga satuan untuk pekerjaan *shotcrete* ditampilkan pada tabel 2.6.

Tabel 2. 6 Contoh Analisa Harga Satuan Pekerjaan *Shotcrete*

Nomor Item Pembayaran : SKh-I.7.18
Jenis Pekerjaan : Shotcrete
Satuan Pembayaran : m²

No	Komponen	Sat.	Perkiraan Kuantitas	Harga Satuan (Rp.)	Jumlah Harga (Rp.)
A. Tenaga					
1.	Pekerja L01	Jam	1,9277	10.205,71	19.673,67
2.	Tukang L02	Jam	0,4819	12.641,25	6.092,17
3.	Mandor L03	Jam	0,2410	14.222,39	3.427,08
Jumlah Harga Tenaga (A)					29.192,92
B. Bahan					
1.	Semen	Kg	20,1923	1.150,00	23.221,15
2.	Pasir	m ³	0,0363	180.000,00	6.542,31
3.	Agregat	m ³	0,0525	220.000,00	11.550,00
4.	Additive	Liter	0,2835	50.000,00	14.175,00
5.	Wiremesh	m ²	0,0000	95.000,00	0,00
6.	Geotekstile	m ²	0,0000	15.000,00	0,00
7.	Pipa PVC	m ¹	0,2000	75.000,00	15.000,00
Jumlah Harga Bahan (B)					70.488,46
C. Peralatan					
1.	Concrete Mixer E06	Jam	0,0482	0,00	0,00
2.	Water Tanker E23	Jam	1,5174	256.969,65	389.921,52
3.	Genset E12	Jam	0,0482	348.723,46	16.805,95
4.	Compressor E05	Jam	0,0482	179.427,29	8.647,10
5.	Shot Machine E28	Jam	0,1205	306.886,98	36.974,34
6.	Alat Bantu -	Ls	1,000	0,00	0,00
Jumlah Harga Peralatan (C)					452.348,90
D. Jumlah Harga Tenaga, Bahan, dan Peralatan (A + B + C)					552.030,29
E. Overhead & Profit (10 % x D)					55.203,03
F. Harga Satuan Pekerjaan (D + E)					607.233,32

b. Referensi *Soil Nailing* di Indonesia

Perkuatan lereng dengan metode *soil nailing* yang telah diaplikasikan sejak 1961 (Pangestu & Marzuko, 2018). Metode perkuatan lereng terus berkembang dari waktu ke waktu, termasuk penggunaan metode *soil nailing*. Saat ini referensi penggunaan *soil nailing*

sebagai perkuatan lereng di Indonesia menggunakan SNI 8460:2017 tentang Persyaratan Perancangan Geoteknik yang dikeluarkan Badan Standarisasi Nasional. Sedangkan untuk pekerjaan bidang Bina Marga, digunakan Spesifikasi Khusus 1.7.19 Tentang *Soil Nailing* yang dikeluarkan oleh Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. Berikut adalah beberapa referensi penggunaan *soil nailing* sebagai pengamanan lereng di Indonesia:

1. Town House Pondok Pinang, Jakarta Selatan



Gambar 2. 11 *Soil Nailing & Shotcrete* di Town House Pondok Pinang

Sumber: *Soil Nailing & Shotcrete Di Proyek Town House Pondok Pinang*, 2019

Pemotongan lereng dilakukan untuk pelebaran jalan akses menuju kawasan hunian yang dikembangkan oleh PT. Metropolitan Kentjana. Kebutuhan jalan yang lebar dengan ketersediaan lahan yang terbatas mengakibatkan lereng digali dengan sudut kemiringan yang curam.

Perkuatan lereng dengan kombinasi *soil nailing* dan *shotcrete* diaplikasikan pada lereng sepanjang 60 m dengan tinggi 10,50 m. *Nail* yang digunakan adalah Baja Tulangan diameter 25 mm dengan panjang 9 dan 12 m dengan jumlah sebanyak 280 titik. *Shotcrete* 15 cm dengan dua kali proses penyemprotan (7 cm pada awalnya, dan 8 cm setelahnya). Penulangan untuk *shotcrete* menggunakan *wiremesh* ukuran M6. Untuk tata salir

air digunakan sistem *geocomposite drain strip* yang dipasang setiap jarak 1,50 m di sepanjang lereng kemudian dialirkan melalui saluran yang dibuat di kaki lereng. Pekerjaan perkuatan lereng ini dikerjakan oleh Aplikator PT. Freyssinet, dan selesai pada tahun 2018. (-----, 2019).

2. Pangalengan, Kabupaten Bandung



Gambar 2. 12 *Soil Nailing* dan *Ground Anchor* di Pangalengan
Sumber: *Ground Anchor Dan Soil Nailing Pangalengan*, 2020

Upaya perkuatan lereng di Pangalengan Kabupaten Bandung menggunakan *soil nailing* yang dikombinasikan dengan *ground anchor*. Untuk *facing* digunakan material geosintetik yang direncanakan ditumbuhi vegetasi. Pekerjaan pengamanan lereng ini dilakukan oleh PT. Prisma Sarana Jaya Utama (-----, 2020a)

3. Jembatan Samiran 2 Boyolali

Aplikasi *soil nailing* sebagai perkuatan lereng dilakukan di Kecamatan Selo, Kabupaten Boyolali. Luasan lereng yang distabilisasi adalah 2500 m². Ketinggian maksimum lereng adalah 45 m dengan sudut kemiringan 70° - 90°. *Facing* tidak menggunakan *shotcrete* melainkan menggunakan jaring kawat kuat tarik tinggi yang dipadukan dengan selimut pengendali

erosi yang terbuat dari bahan geosintetik (-----, 2020b).
Aplikator oleh Geobrugg bekerjasama dengan PT. Amavi.



Gambar 2. 13 *Soil Nailing* di Jembatan Samiran 2 Boyolali
Sumber: Selo Boyolali 2016 - Geobrugg, 2020

2.3 Geo-Studio

Geo-Studio merupakan sebuah program *platform* permodelan geospasial dan geologi. Geo-Studio dikembangkan oleh Geo-Slope International Ltd, Canada. Salah satu fitur dari Geo-Studio yang digunakan untuk menganalisis lereng adalah Slope/W. Fitur ini menggunakan metode kesetimbangan batas (*Limit Equilibrium*) untuk mencari angka keamanan sebuah lereng.

Permodelan dilakukan dalam bentuk penggambaran pada lereng dibantu koordinat sumbu x dan z. Langkah selanjutnya adalah melakukan *input* properti tanah meliputi kohesi, berat volume, dan sudut geser tanah. Parameter-parameter lain seperti elemen tekanan air pori tanah dan beban di atas lereng ditambahkan untuk dilakukan analisa. Hasil analisa disajikan dalam *slope/w contour* yang berupa garis bidang longsor dalam bentuk *circular* dan nilai keamanan ditunjukkan dalam bentuk angka faktor keamanan (SF).

Analisis dapat dilakukan dengan beberapa metode seperti Fellenius, Bishop, Janbu yang dipilih sesuai kebutuhan. Dalam tesis berjudul Pengaruh Sudut Pemasangan *Nail* Dalam Stabilisasi Lereng Metode *Soil Nailing* di Ruas Jalan Giriwoyo – Glonggong KM. SKA. 81+200 (Kab. Wonogiri) ini, GeoStudio digunakan untuk verifikasi perhitungan sebagai pembanding perhitungan manual.

2.4 Tinjauan Penelitian Terdahulu

Tinjauan pustaka memiliki arti tinjauan kembali literatur atau bahan bacaan mengenai topik yang akan di bahas dalam sebuah tulisan ilmiah. Gandas memberikan definisi tinjauan pustaka sebagai bab khusus yang membahas tentang kajian mengenai suatu teori terhadap judul atau topik penelitian yang dilakukan, dan memiliki fungsi hipotesis atau fungsi menguji kebenaran teori dalam penelitian (Karim, 2021).

Tinjauan pustaka dilakukan oleh peneliti untuk mengetahui penelitian-penelitian terdahulu dengan topik serupa sebagai tambahan informasi dan dengan maksud memperkaya referensi penulis. Secara lengkap studi literatur berupa pengumpulan penelitian terdahulu tentang desain dan aplikasi *soil nailing* sebagai perkuatan lereng disajikan dalam Tabel 7 yang berisi informasi judul, penulis, tahun, tujuan, metode penelitian, dan hasil penelitian.

Beberapa tulisan terdahulu dijadikan asumsi dasar dalam pembuatan tesis ini. Berikut pembahasan penelitian terdahulu mengenai *soil nailing* yang telah dikaji oleh peneliti:

1. Kumalasari (2012) melakukan penelitian “Analisis Stabilitas Lereng dengan Perkuatan Soil Nailing Menggunakan Geoslope” dengan melakukan perhitungan variasi kemiringan lereng, sudut pemasangan nail, dan jarak nail. Semakin tinggi sudut kemiringan lereng maka semakin kecil angka keamanannya. Semakin rapat jarak antar nail maka semakin tinggi angka keamanan.
2. Balansi (2020) melakukan penelitian dengan judul “Evaluasi Kombinasi Penggunaan Soil Nailing dan Ground Anchor” di sebuah proyek perumahan di Bali. Lereng eksisting yang dikaji memiliki angka kewanan kurang dari 1,5. Dengan perkuatan *soil nailing* jarak vertikal dan horizontal 1,5 m angka keamanan menjadi 1,507. Dengan perkuatan *ground anchor* jarak 2,5 m angka keamanan menjadi 2,811. Sedangkan dengan kombinasi *ground anchor* jarak 3 m dengan *soil nailing* jarak 1,5 m menghasilkan angka kewanan sebesar 2,449.

Tabel 2. 7 Penelitian Terdahulu

No.	Judul / Penulis / Tahun	Tujuan Penelitian	Metode Penelitian	Hasil Penelitian
1	<i>Soil Nailing</i> dan <i>Anchor</i> Sebagai Solusi Aplikatif Penahan Tanah Untuk Potensi Longsor Di STA. 7+250 Ruas Jalan Manado – Tomohon (Riogilang et al., 2014)	Memperoleh desain konstruksi yang mampu menahan tanah untuk mengurangi potensi longsor di STA. 7+250 Ruas Jalan Manado – Tomohon.	Mengidentifikasi parameter tanah di lapangan dengan sampel tanah yang diuji di laboratorium. Dilanjutkan analisis dengan program <i>plaxis</i> dengan metode <i>finite element</i> .	Jalan berada antara tebing di sisi kiri dan jurang di sisi kanan. Pada kondisi tidak diperkuat, lereng dan tebing berpotensi mengalami penurunan yang signifikan. Peneliti memasukkan perkuatan <i>soil nailing</i> untuk tebing yang mengakibatkan berkurangnya penurunan pada sisi tebing (lereng atas). Penggunaan <i>soil nailing</i> ini diperkuat oleh sistem <i>ground anchor</i> di sisi jurang (lereng bawah) untuk mengurangi penurunan secara keseluruhan.
2	Evaluasi Kombinasi Penggunaan <i>Soil Nailing</i> dan <i>Ground Anchor</i> (Balansi, 2020)	Evaluasi <i>soil nailing</i> dan <i>ground anchor</i> pada proyek X (proyek kawasan hunian sementara di Pulau Bali).	Penulis melakukan evaluasi data proyek yang didapat dengan SNI 8460:2017, FHWA-IF-99-015 untuk <i>ground anchor</i> dan FHWA-NHI-14-007 untuk <i>soil nailing</i> . Penulis juga memberikan model perkuatan alternatif: kombinasi <i>soil nailing</i> dan <i>ground anchor</i> yang dimodelkan dengan Geostudio 2018.	1. Angka keamanan lereng (tanpa perkuatan) sebesar 0,323 sehingga membutuhkan perkuatan ($< 1,5$). 2. Perkuatan <i>soil nailing</i> pola segitiga dengan jarak vertikal & horizontal 2,5 m tidak memenuhi persyaratan SNI (1 s/d 1,5 m) maupun FHWA ($S_v \times S_h \leq 42 \text{ ft}^2$) 3. Perkuatan <i>ground anchor</i> dengan jarak horizontal 12,5 m tidak memenuhi persyaratan FHWA (1,5 s/d 3 m) 4. Perkuatan <i>soil nailing</i> pola segitiga dengan jarak 1,5 m menghasilkan SF 1,507 (OK) 5. Perkuatan <i>ground anchor</i> dengan jarak vertikal maupun horizontal sebesar 2,5 m menghasilkan SF 2,811 (OK) 6. Perkuatan <i>soil nailing</i> dengan jarak horizontal 1,5 m dikombinasikan dengan <i>ground anchor</i> jarak horizontal 3 m, sedangkan spasi vertikal adalah 1,5 m menghasilkan SF 2,449 (OK)



No.	Judul / Penulis / Tahun	Tujuan Penelitian	Metode Penelitian	Hasil Penelitian
3	Analisis Stabilitas Lereng dan Perencanaan <i>Soil Nailing</i> dengan Software Geostudio 2007 (Studi Kasus Kampus Untirta Sindangsari) (K et al., 2015)	1. Analisis stabilitas lereng tanpa perkuatan 2. Merencanakan perkuatan lereng dengan <i>soil nailing</i>	1. Angka keamanan lereng tanpa perkuatan dihitung secara manual (metode fellenius, bishop, janbu) dan dengan software Geostudio dengan 3 metode yang sama 2. Perhitungan angka keamanan dari perencanaan <i>soil nailing</i> dilakukan dengan bantuan software Geostudio 2007.	1. Perhitungan manual angka keamanan lereng tanpa perkuatan menghasilkan SF 0,772 (Fellenius); 0,736 (Bishop); 0,762 (Janbu) → < 1,5 (Lereng tidak aman) 2. Perhitungan geostudio 2007 untuk angka keamanan lereng tanpa perkuatan menghasilkan SF 0,732 (Fellenius); 0,801 (Bishop); 0,726 (Janbu) → < 1,5 (Tdk Aman) 3. Perkuatan metode <i>soil nailing</i> dengan jarak vertikal dan horizontal 1 m menghasilkan SF 1,915 → > 1,5 (Lereng aman)
4	Analisis Stabilitas Lereng Batuan dengan Metode Perkuatan <i>Ground Anchor & Soil Nailing</i> di Labuan Bajo, NTT (Setiawan et al., 2018)	Melakukan analisis perbedaan <i>safety factor</i> pada kondisi <i>drained & undrained</i> lereng setelah diperkuat dengan <i>soil nailing</i> dan <i>ground anchor</i>	Analisis dilakukan untuk mencari angka kewanan kondisi <i>undrained & drained</i> dengan menggunakan Plaxis 2D dan Slope/W (Geoslope).	1. <i>Soil nailing & permanent ground anchor</i> didesain dengan jarak horizontal maupun vertikal 2 m dengan sudut 30° 2. SF yang dihasilkan Plaxis 2D adalah 2,7 untuk kondisi <i>undrained</i> dan 2,4 untuk kondisi <i>drained</i> 3. SF yang dihasilkan Slope/W (dari Geoslope) adalah 2,5 untuk kondisi <i>undrained</i> dan 2,2 - 2,4 untuk kondisi <i>drained</i> .
5	Analisis Model Elemen Hingga Perkuatan Lereng Menggunakan <i>Soil Nailing</i> (Studi Kasus: Lereng Daerah Lahat, Sumatera Selatan) (Syuhada et al., 2020)	Memodelkan perkuatan <i>soil nailing</i> dalam metode <i>finite element</i> : pengaruh permodelan <i>material set</i> terhadap FS, pengaruh panjang <i>nail</i> dan kemiringan terhadap FS.	Dilakukan analisis dengan program <i>limit equilibrium</i> untuk mengetahui radius bidang gelincir yang kemudian digunakan untuk menentukan panjang nailing. Perhitungan stabilisasi lereng dengan <i>soil nailing</i> pada software FEM dengan model <i>plate</i> , model <i>node to node</i> , dan model <i>geogrid</i> . Dilakukan 4 variasi sudut pemasangan (0, 10, 15, dan 20°) serta 8 variasi panjang nail (3 - 10 m)	1. Kemiringan <i>nails</i> paling ideal adalah 15° (kenaikan FS tidak terlalu signifikan antara 15° dan 20°) 2. Penggunaan material set <i>plate</i> memiliki SF paling kecil dibanding penggunaan material set <i>node to node</i> dan <i>geogrid</i> . 3. Semakin panjang <i>nails</i> , semakin besar SF

No.	Judul / Penulis / Tahun	Tujuan Penelitian	Metode Penelitian	Hasil Penelitian
6	Analisis Stabilitas Lereng dengan Perkuatan <i>Soil Nailing</i> Menggunakan Program Geoslope (Kumalasari, 2012)	Mengetahui seberapa besar pengaruh perubahan kemiringan lereng, jarak antar <i>nail</i> , sudut pemasangan <i>nail</i> .	Dilakukan perhitungan stabilitas lereng secara manual untuk dibandingkan dengan hasil <i>geoslope</i> .	1. Penurunan rata-rata SF dari kemiringan lereng 45° terhadap 60° dengan perhitungan manual adalah $\pm 7\%$ sedangkan dengan <i>geoslope</i> adalah $\pm 6\%$. Sedangkan pada kemiringan lereng 60° terhadap 90° adalah $\pm 47\%$ dengan perhitungan manual dan $\pm 46\%$ dengan <i>geoslope</i>. 2. Penurunan rata-rata SF tiap bertambahnya jarak horisontal antar <i>nail</i> dengan perhitungan manual $\pm 16\%$, sedangkan dengan <i>geoslope</i> adalah $\pm 30\%$. 3. Penurunan rata-rata SF tiap bertambahnya sudut pemasangan <i>nail</i> 10° dengan perhitungan manual adalah $\pm 14\%$ dan dengan <i>geoslope</i> adalah $\pm 16\%$
7	<i>Design and Application of a Filed Sensing System for Ground Anchors in Slopes</i> (Choi et al., 2013)	Mengetahui gaya sisa pada angkur dalam sistem stabilisasi lereng dengan <i>ground anchors</i> .	Penilaian kekuatan angkur dilakukan dengan metode sensor. Monitoring dilakukan pada sample lereng dengan ketinggian 26 m dan panjang 26 meter selama 936 Hari.	1. Stabilitas lereng tergantung pada pemeliharaan tegangan kabel tendon pada sistem perkuatan lereng dengan <i>ground anchor</i> 2. Selama total waktu pemantauan, kekuatan angkur mengalami penurunan. 3. Salah satu upaya untuk mempertahankan stabilitas lereng adalah dengan <i>re-tensioning</i>.
8	<i>Soil Nailing Behaviour for Slope Stabilization: A Case Study</i> (Phan & Gui, 2019)	Mengetahui perbedaan angkur prategang maupun non-prategang dalam sistem <i>slope stabilization</i> dengan <i>soil nail</i> .	Penelitian dilakukan dengan analisa numerik menggunakan program Plaxis 2D	1. Panjang angkur pada zona tahan lereng berpengaruh paling besar dalam menahan keruntuhan lereng. 2. Pada angkur prategang maupun angkur bukan pra tegang menunjukkan bahwa bagian bawah lereng mengalami lebih banyak gerakan daripada lereng bagian atas
9	Analisis Stabilitas <i>Soil Nailing</i> Sebagai Alternatif Penanganan Longsor Di Jalur Nasional Piket	Mengetahui pengaruh perkuatan <i>soil nailing</i> terhadap kestabilan lereng, serta mengetahui nilai	Analisis lereng dibagi menjadi dua, yakni lereng atas dan lereng bawah. Perhitungan dilakukan pada 12 titik	1. Nilai SF lereng eksisting sebelum perkuatan dengan <i>soil nailing</i> berkisar 0,103 s/d 0,463

No.	Judul / Penulis / Tahun	Tujuan Penelitian	Metode Penelitian	Hasil Penelitian
	Nol Lumajang Jawa Timur (Ibrahim et al., 2021)	faktor aman dari bahaya geser, keruntuhan lereng global, kegagalan kuat tarik, dan bahaya cabut.	lereng yang memiliki bentuk geometri berbeda antara satu dengan lainnya. Analisis lereng eksisting dan setelah stabilisasi dengan <i>soil nailing</i> dilakukan dengan batuan program rekayasa geoteknik. Perhitungan stabilitas geser, bahaya cabut <i>nail</i> , dan bahaya putus tulangan dilakukan secara manual.	untuk lereng atas, dan 1,148 s/d 1,542 untuk lereng bawah. 2. Nilai SF terhadap keruntuhan lereng setelah stabilisasi lereng dengan <i>soil nailing</i> mengalami peningkatan. Kisaran nilai SF menjadi 1,546 s/d 1,966 untuk lereng atas. Sedangkan untuk lereng bawah, nilai SF menjadi 1,805 s/d 2,674. 3. Nilai SF terhadap bahaya pergeseran berkisar antara 1,52 s/d 1,88 untuk lereng atas, dan 3,42 s/d 4,14 untuk lereng bawah 4. Nilai SF terhadap kegagalan kuat tarik berkisar antara 2,38 s/d 2,83 untuk lereng atas, dan 3,24 s/d 3,83 untuk lereng bawah 5. Nilai SF terhadap bahaya cabut berkisar antara 2,33 s/d 2,86 untuk lereng atas, dan 2,46 s/d 2,91 untuk lereng bawah 6. Lereng dikategorikan aman setelah dilakukan perkuatan dengan <i>soil nailing</i> . Hal ini dikarenakan SF memenuhi persyaratan untuk SF terhadap keruntuhan lereng $> 1,50$. SF terhadap bahaya pergeseran lereng $> 1,50$. SF terhadap kegagalan kuat tarik <i>nail</i> $> 1,80$. SF terhadap cabut <i>nail</i> $> 2,00$.
10.	Analisis Stabilitas Lereng dengan Perkuatan Soil Nailing dengan Menggunakan Program Geoslope (Studi Kasus: Dusun Gemawang, Desa Sinduadi, Kecamatan Mlati, Kabupaten Sleman, D.I Yogyakarta) (Utomo & Artati, 2019)	Melihat perbandingan perhitungan manual dan hasil analisis geoslope dalam desain stabilisasi lereng dengan <i>soil nailing</i>	Perhitungan dilakukan secara manual untuk dibandingkan dengan hasil analisis geoslope. Baik itu lereng eksisting maupun lereng dengan perkuatan.	1. Dalam perhitungan manual didapatkan SF lereng eksisting sebesar 1,0898 (Fellenius) dan 1,1964 (Bishop). Sedangkan hasil analisis geoslope adalah 1,003 (Fellenius) dan 1,196 (Bishop) 2. Sedangkan lereng dengan perkuatan <i>soil nailing</i> dengan sudut 10° didapat SF 1,5411 pada perhitungan manual. Sedangkan SF hasil analisis geoslope adalah 2,237.

Beberapa penelitian terdahulu tentang perkuatan lereng dengan *soil nailing* di Indonesia belum pernah mengkaji wilayah Kabupaten Wonogiri. Selain itu penulis akan melakukan analisis perhitungan manual dengan berbasis pada SNI 8460:2017 dan FHWA-NHI-14-007 serta melakukan verifikasi hasil perhitungan tersebut dengan *Software* GeoStudio. Penulis bermaksud menyajikan korelasi sudut pemasangan *nail* terhadap faktor keamanan lereng. Selain itu, dilakukan pula perhitungan biaya yang diperlukan untuk perkuatan lereng dengan metode *soil nailing* yang didasarkan pada spesifikasi yang berlaku saat ini untuk proyek-proyek di bawah Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. Harapan penulis adalah menyajikan sebuah desain perkuatan lereng metode *soil nailing* di Ruas Jalan Giriwoyo – Glonggong KM. SKA. 81+200 sisi kanan lengkap dengan analisa struktur dan rencana anggaran biaya.

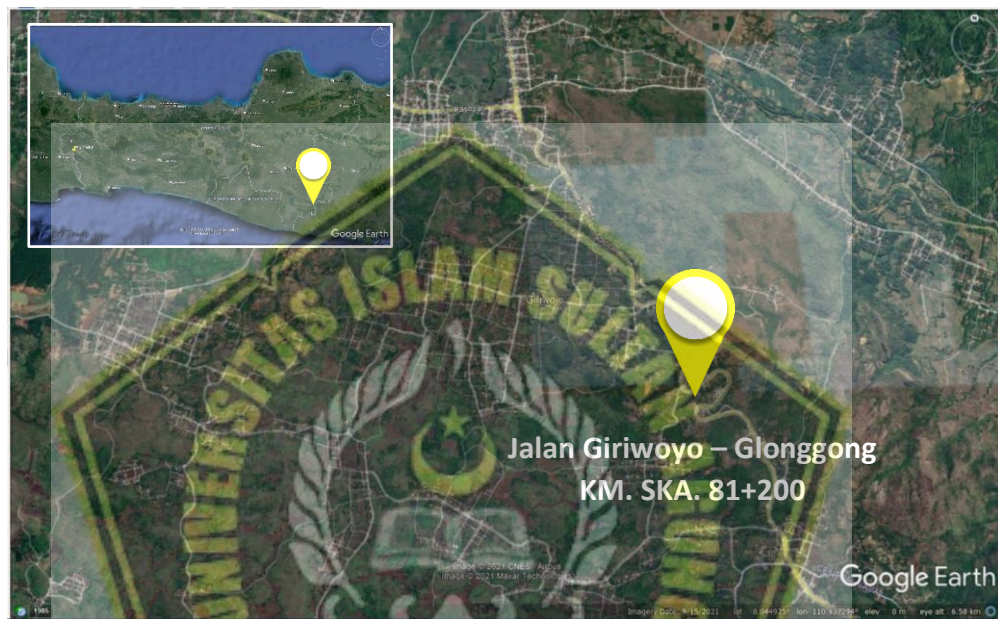


BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Ruas Jalan Giriwoyo – Glonggong yang termasuk dalam wilayah administratif Kabupaten Wonogiri. Titik longsor yang ditinjau berada pada KM. SKA. 81+200 sisi kanan (koordinat -8.050689; 110.949494). Lokasi lereng ditampilkan dalam Gambar 3.1.



Gambar 3. 1 Peta Lokasi Penelitian
Sumber: Google Earth

Berdasarkan peta geologi regional, Ruas Giriwoyo – Glonggong berada pada perbukitan karst yang merupakan dataran tinggi pegunungan selatan. Lereng yang ditinjau termasuk dalam formasi Wonosari – Punung (Lembar Pacitan) dengan susunan batuan berupa batu gamping, batu gamping napalan tufaan, batu gamping konglomerat, batu pasir, batu pasir tufaan, dan batu lanau.

3.2 Sumber Data

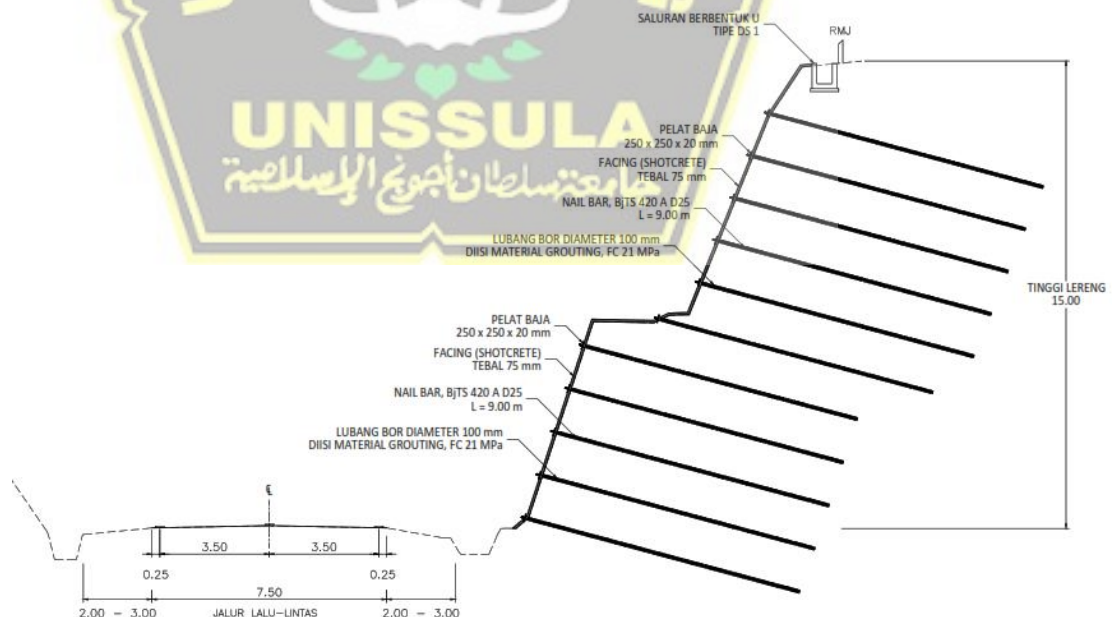
Untuk melakukan analisis stabilitas lereng di Ruas Giriwoyo – Glonggong KM. SKA. 81+200 diperlukan data-data sebagai input analisis. Adapun bentuk data, jenis data, dan sumber data dimuat dalam tabel 3.1.

Tabel 3. 1 Kebutuhan dan Sumber Data

No.	Bentuk Data	Jenis Data	Sumber Data
1.	Pengukuran topografi detail untuk mengetahui kemiringan aktual lereng.	Data Sekunder	P2JN Provinsi Jawa Tengah atau BBPJN Jateng-DIY
2.	Data propertis tanah.	Data Sekunder	P2JN Provinsi Jawa Tengah atau BBPJN Jateng-DIY
3.	Foto / dokumentasi untuk gambaran visual situasi sekitar lereng yang ditinjau.	Data Primer	Observasi / survey peneliti

3.3 Permodelan Desain

1. Tipe Nail : *Drilled and grouted soil nailing*
2. Panjang Nail : 9.00 m (panjang *nail* rekomendasi SNI 8460:2017 dan FHWA-NH1-14-007 adalah $0,6 - 1,2 H_{\text{lereng}}$)
3. Jarak Nail : 1.50 m (rekomendasi SNI 8460:2017 jarak *nail* untuk *drilled and grouted soil nailing* adalah 1.50 m)
4. Sudut Nail : $10 - 30^\circ$ (dihitung dan dibandingkan)
5. Mutu Nail Bar : BjTS 420 A (f_y 420 MPa dan f_u 525 MPa) diameter 25 mm
6. Grouting : Beton mutu 21 MPa pada umur 28 hari, lubang bor yang digrouting 100 mm
7. Facing : Beton Semprot (*Shotcrete*) f_c 18 MPa, tebal 7,5 cm



Gambar 3. 2 Permodelan Awal Desain

3.4 Metode Analisis Data

Analisis data dilakukan dengan cara melakukan perhitungan stabilitas lereng eksisting dengan metode Bishop dan Fellenius. Berikut tahapan analisis data yang hendak dilakukan:

1. Perhitungan manual

Perhitungan manual dilakukan dengan bantuan *software* Microsoft Excel. Perhitungan dilakukan dengan memperhatikan tinjauan terhadap stabilitas global maupun stabilitas internal. Adapun tinjauan stabilitas global meliputi faktor aman terhadap keruntuhan lereng global, faktor aman terhadap pergeseran, maupun faktor aman terhadap kegagalan daya dukung tanah. Sedangkan tinjauan stabilitas internal meliputi faktor aman terhadap putus tulangan dan faktor aman terhadap cabut tulangan. Tinjauan stabilitas eksternal dan stabilitas internal dilakukan dalam tiga kondisi: (1) lereng dalam keadaan normal; (2) lereng terpengaruh hujan; (3) lereng dalam kondisi *full saturated*.

2. Verifikasi perhitungan

Verifikasi perhitungan dilakukan dengan memodelkan dan menganalisis lereng dengan *software* Geostudio.

Parameter desain stabilisasi lereng dengan metode *soil nailing* disesuaikan batasan-batasan yang diberikan oleh FHWA-NHI-14-007, SNI 8460:2017, maupun SKh-1.7.19. Perhitungan panjang *nail*, jarak *nail*, maupun sudut pemasangan dilakukan dengan cara *trial and error* untuk mendapatkan angka keamanan sesuai yang direkomendasikan oleh SNI 8460:2017 Tentang Persyaratan Perencanaan Geoteknik. Pada awalnya, pemasangan sudut dan variabel lainnya ditentukan berdasarkan rekomendasi FHWA-NHI-14-007 dan SKh-1.7.19 dicoba dalam beberapa variasi untuk dilihat pengaruhnya terhadap *safety factor*. Pengaruh sudut pemasangan *nail* terhadap angka keamanan lereng ditampilkan dalam bentuk grafik korelasi.

Hasil desain secara manual kemudian diverifikasi kembali dengan program Geoslope untuk mendapatkan perbandingan nilai SF. Berikut adalah tahapan

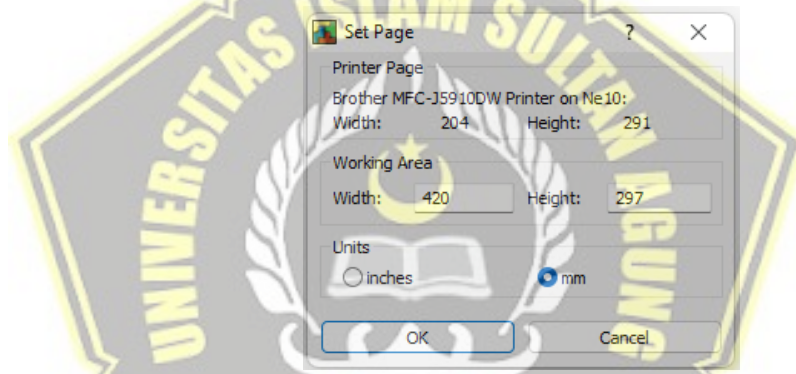
dalam permodelan lereng yang ditinjau dengan menggunakan *software* Geoslope:

1. Pengaturan Awal

Pengaturan dasar dalam menggunakan program Geoslope meliputi beberapa tahapan, yakni pengaturan kertas kerja, satuan & skala gambar, dan jarak grid. Pengaturan kertas kerja digunakan untuk menentukan ukuran ruang yang diperlukan untuk mendefinisikan masalah. Skala gambar adalah perbandingan ukuran lereng keadaan sesungguhnya dengan permodelan di Program Geoslope. Pengaturan *units* adalah penetapan satuan yang digunakan dalam Geoslope. Sedangkan pengaturan jarak grid dilakukan untuk memudahkan penggambaran.

➤ Mengatur Kertas Kerja

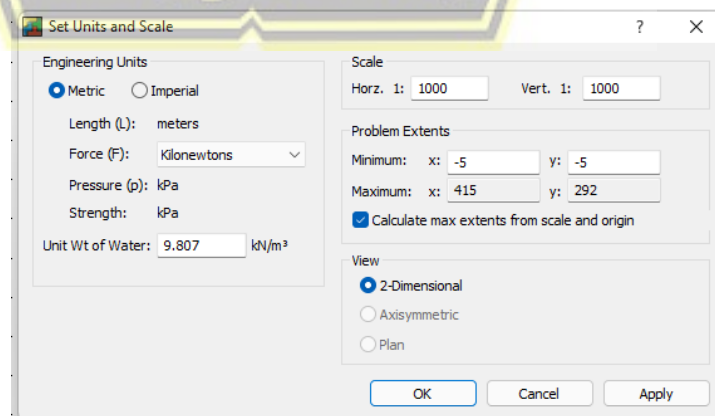
Klik *set* → *page*



Gambar 3. 3 Jendela Pengaturan Kertas Kerja Geoslope

➤ Mengatur Skala Gambar

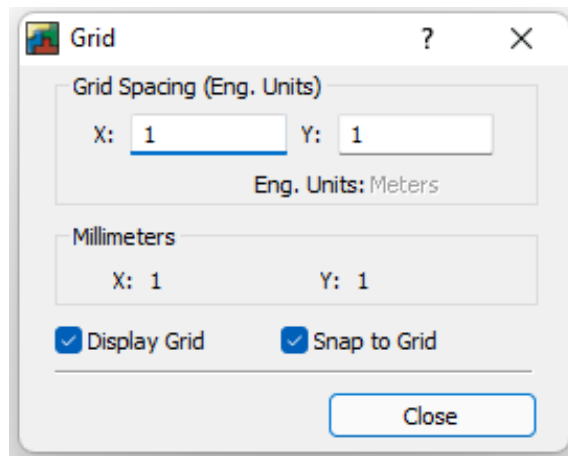
Klik *set* → *units and scale*



Gambar 3. 4 Jendela Pengaturan Satuan dan Skala Geoslope

- Mengatur Jarak Grid

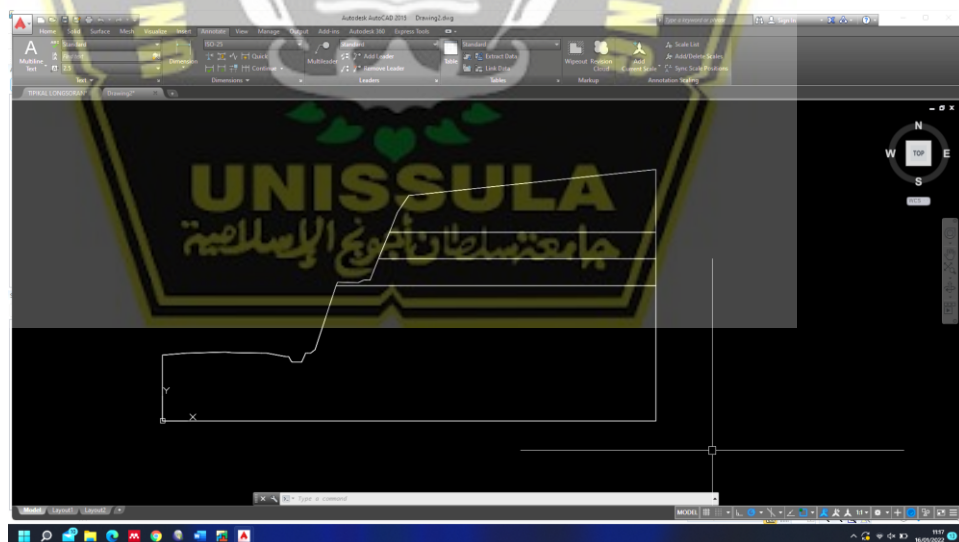
Klik set → *grid*



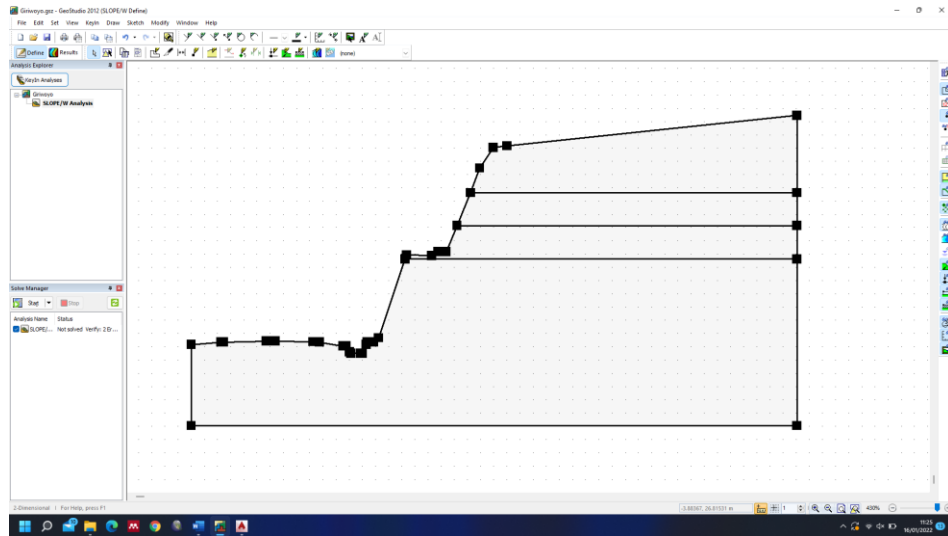
Gambar 3. 5 Jendela Pengaturan Jarak *Grid* Geoslope

2. Sketsa Gambar

Sketsa gambar yang dimasukkan merupakan representasi dari masalah lereng yang akan di analisis. Sketsa gambar merupakan bentuk geometri lereng secara detail. Untuk detail dan kemudahan penggambaran, penulis melakukan penggambaran melalui program *AutoCAD 2015* dengan dimensi sesuai pengukuran lapangan. Gambar yang dibuat kemudian di-export ke dalam *GeoStudio* melalui menu *file* → *import reginos*.



Gambar 3. 6 Sketsa Lereng AutoCAD 2015



Gambar 3. 7 Hasil *Import Region* Sketsa Lereng GeoStudio

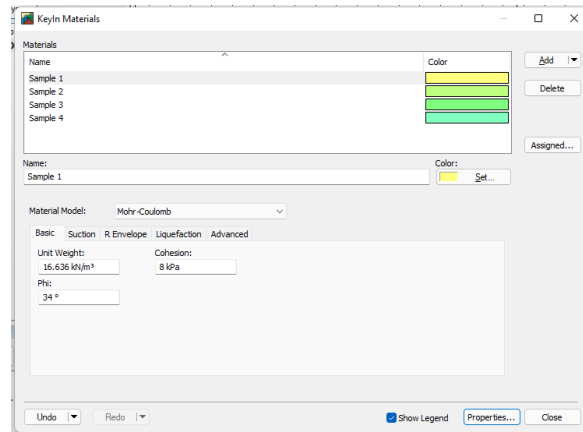
3. Pengaturan Analisis

Pengaturan analisis dalam *GeoStudio* meliputi pemilihan metode analisis, dan arah bidang gelincir. Tersedia beberapa metode analisis (Ordinary, Bishop, Janbu, dll.) yang dapat dipilih sesuai kebutuhan. Arah bidang gelincir untuk kebutuhan analisis juga dapat diatur dan ditentukan sesuai dengan geometri lereng.

- Pemilihan Metode Analisis
Klik *KeyIn* → *Analyses* → *Settings*
- Menentukan Arah Bidang Gelincir
Klik *KeyIn* → *Analyses* → *Slip Surface*

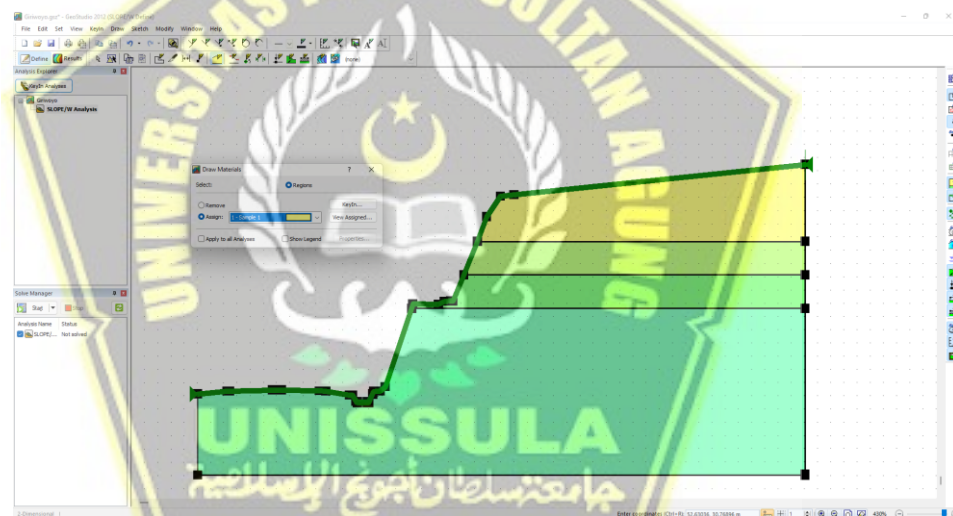
4. Mendefinisikan Parameter Tanah

Parameter tanah yang diperlukan dalam analisis *Slope/W* oleh *GeoStudio* adalah berat isi tanah (γ), sudut geser (ϕ), dan kohesi (c). Untuk mendefinisikan parameter tanah, klik menu *KeyIn* → *Materials* → *Add* → Beri nama sampel material → Pilih *Mohr-Coulumb* pada material model → isikan γ , ϕ , c , serta properti lainnya. Pendefinisian dilakukan pada setiap lapisan tanah. Misal tanah lapisan ke-1, tanah lapisan ke-2, tanah lapisan ke-3, tanah lapisan ke-4, dan seterusnya.



Gambar 3. 8 Jendela Properti Material

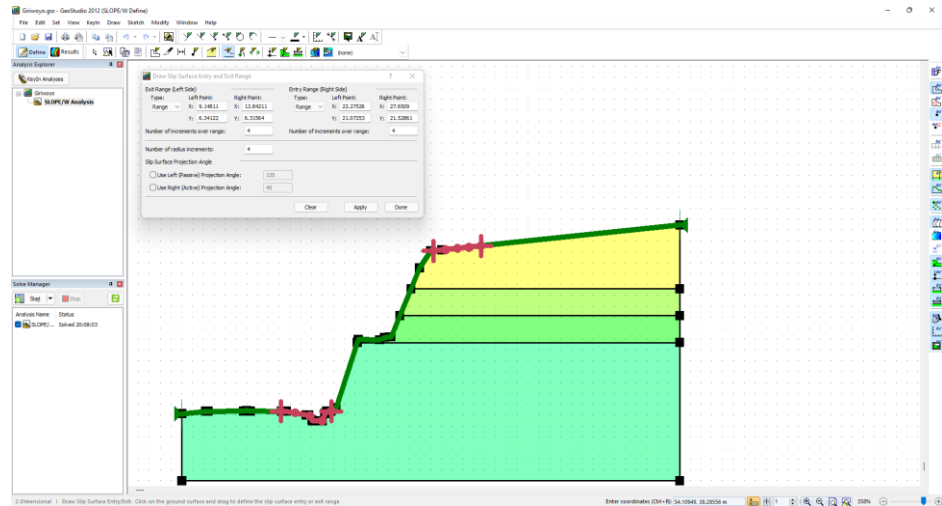
Setelah parameter tanah didefinisikan, langkah berikutnya adalah melakukan sampel-sampel yang telah didefinisikan ke dalam lapisan-lapisan tanah. *Ploting* disesuaikan dengan properti *sample* tanah yang diambil saat proses penyelidikan tanah. Klik menu *Draw* → *Material* → *Assign* → Pilih data tanah terdefinisi → klik pada area lapisan.



Gambar 3. 9 Hasil *Plot* Properti Lapisan Tanah

5. Menggambar *Entry* dan *Exit* Bidang Longsor

Entry and exit adalah penggambaran yang dilakukan untuk melakukan penilaian tentang kemungkinan bidang longsor akan terjadi. *Entry and exit* dilakukan dengan cara klik *Draw* → *Slip Surface* → *Entry and Exit*. Lalu mulai menggambar pada *surface* yang diprediksi merupakan bidang gelincir lereng tinjau.



Gambar 3. 10 Penggambaran Bidang Longsor dengan Metode *Entry and Exit*

6. Menggambar Beban Merata

Dalam menganalisis lereng, beban *external* harus diperhitungkan. Dalam kaitan dengan lereng di tepi jalan, besaran beban *external* ditentukan oleh kelas jalan. Menggambar beban merata dapat dilakukan melalui menu *Draw → Surcharge Loads*

Tabel 3. 2 Beban Lalu-lintas untuk Analisis Stabilitas dan Beban di Luar Jalan

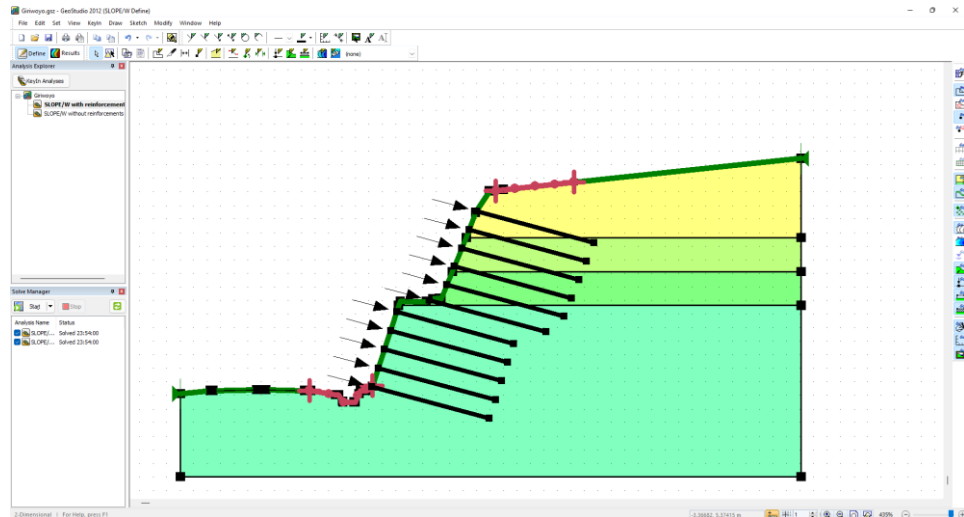
Kelas Jalan	Beban lalu lintas (kPa)	Beban di luar jalan (*) (kPa)
I	15	10
II	12	10
III	12	10

Keterangan: (*) Beban dari bangunan rumah-rumah sekitar lereng

Sumber: (Badan Standarisasi Nasional, 2017)

7. Menggambar Perkuatan *Soil Nailing*

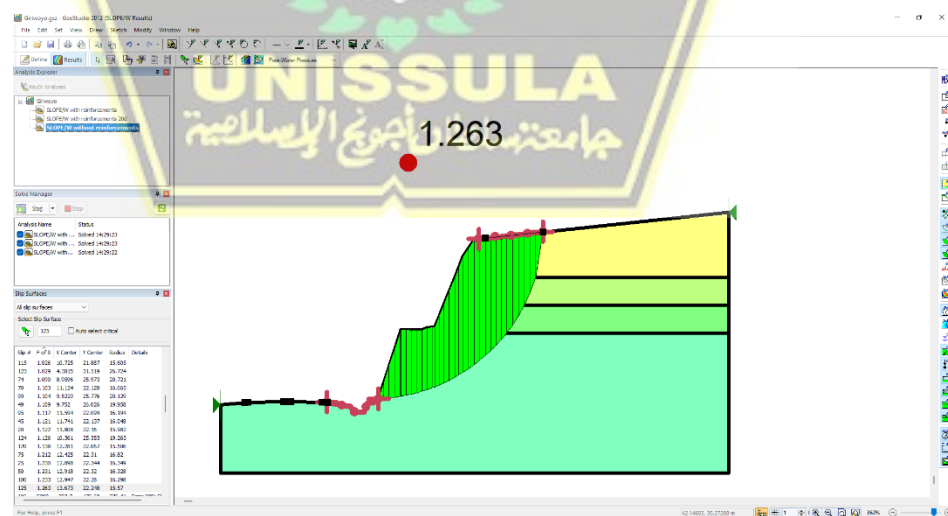
Langkah berikutnya adalah menambahkan perkuatan *nail* dalam lereng yang ditinjau. Properti yang dimasukkan adalah diameter lubang *grout*, kuat geser, spasi *nail*, serta kapasitas ultimit *nail*. Penggambaran dilakukan melalui menu *Draw → Reinforcement Loads*. Masukan properti *nail* dapat dilakukan melalui *KeyIn → Reinforcement Loads*.



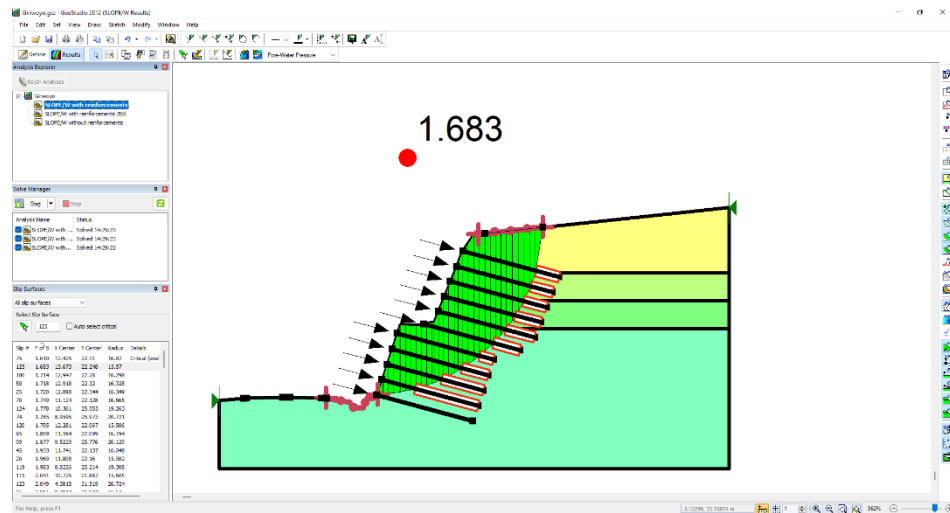
Gambar 3. 11 Penggambaran Perkuatan Soil Nailing

8. Analisis Lereng

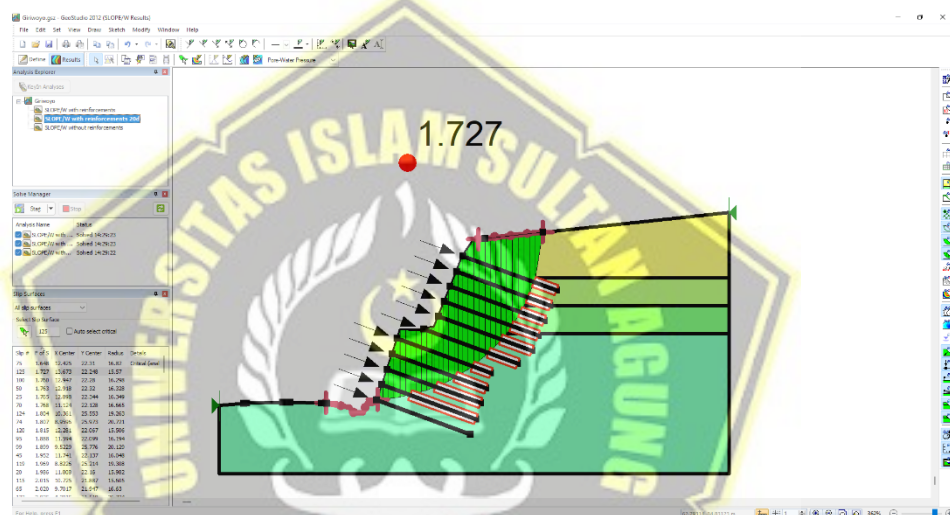
Analisis lereng dilakukan untuk melihat angka keamanan dari lereng. Angka keamanan yang dimaksud adalah angka keamanan lereng tanpa perkuatan dan angka keamanan lereng dengan perkuatan *nail*. Analisis lereng dilakukan dengan klik menu *Windows* → *Solve Manager* → *Starts*. Hasil analisis secara otomatis menampilkan angka keamanan dari bidang gelincir lereng paling kritis. Lereng dengan perkuatan akan mengalami peningkatan angka keamanan jika dibandingkan dengan lereng tanpa perkuatan. Sudut pemasangan *nail* terlihat memiliki pengaruh terhadap besaran nilai keamanan yang dihasilkan.



Gambar 3. 12 Slope/W: SF Lereng Eksisting Tanpa Perkuatan



Gambar 3. 13 Slope/W: SF Lereng Dengan Perkuatan *Soil Nailing* Sudut 20°

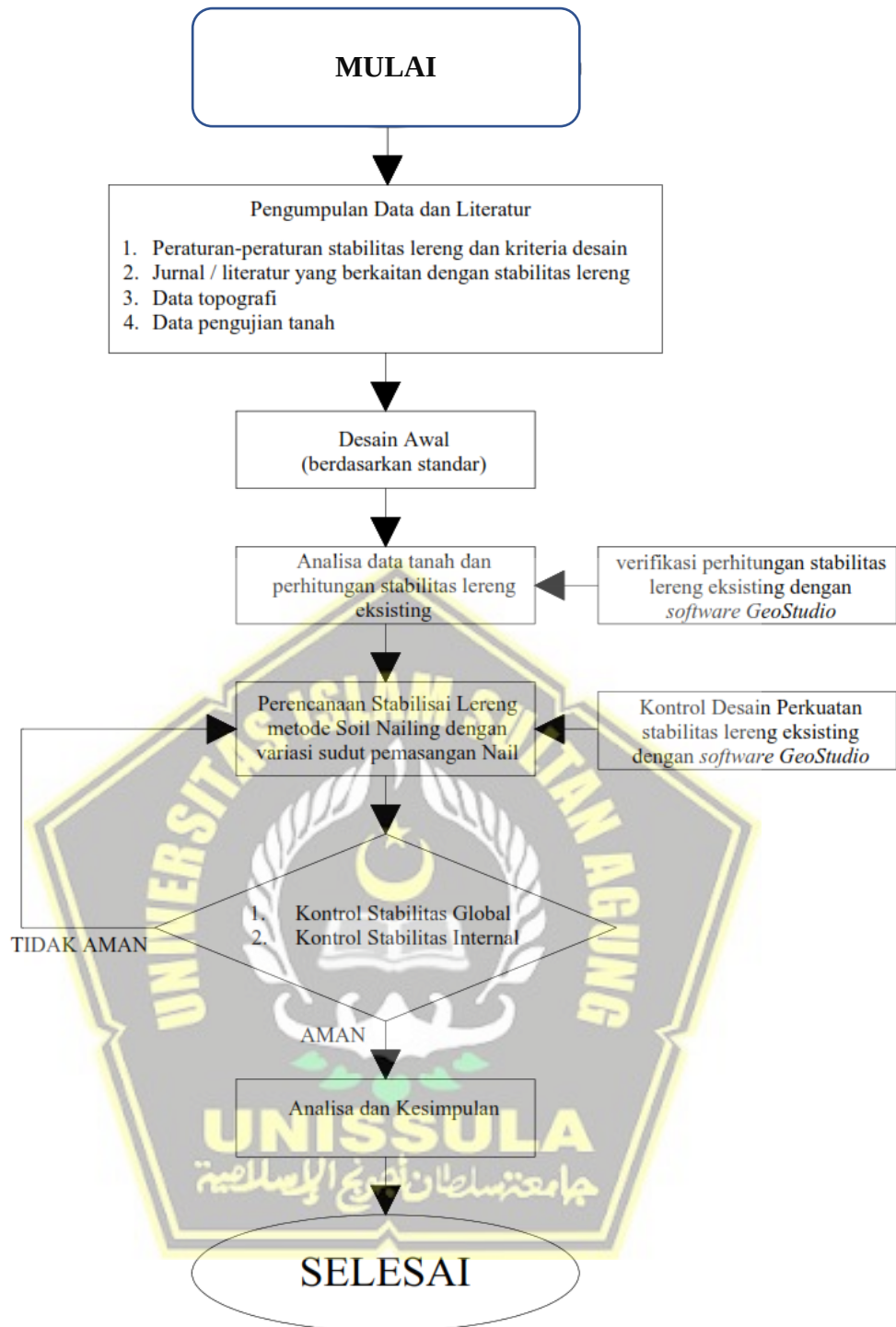


Gambar 3. 14 Slope/W: SF Lereng Dengan Perkuatan *Soil Nailing* Sudut 15°

Setelah terverifikasi, selanjutnya dihitung estimasi kebutuhan biaya untuk melakukan stabilisasi lereng dengan metode *soil nailing* di Ruas Giriwoyo – Glonggong KM. SKA. 81+200 sisi kanan.

3.5 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian dirancang untuk memudahkan peneliti dalam melakukan penelitian. Tahapan penelitian tentang analisis stabilitas lereng di Ruas Giriwoyo – Glonggong ini ditampilkan bagan alir dalam Gambar 3.15.



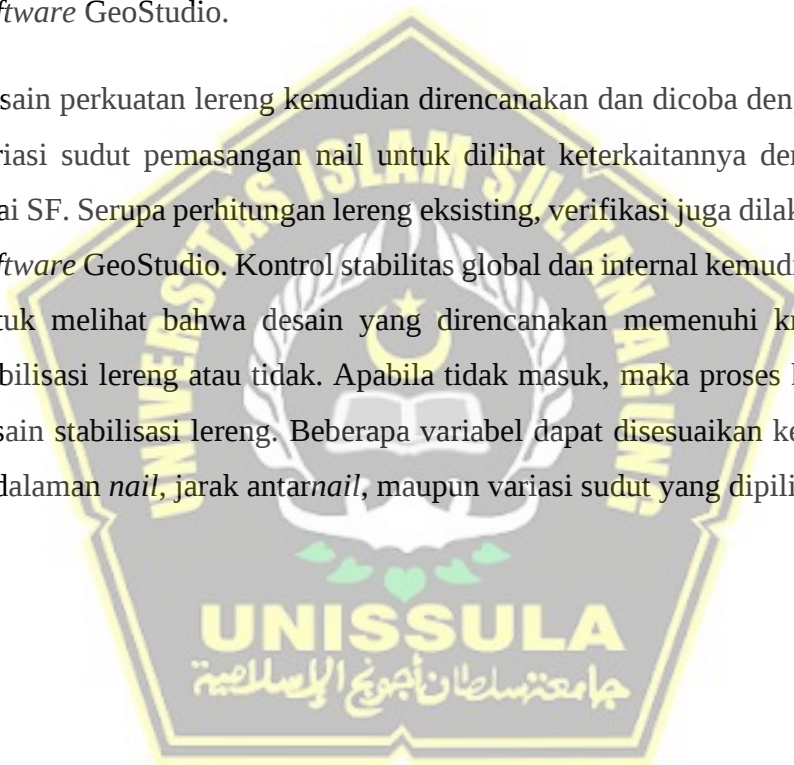
Gambar 3. 15 Bagan Alir Penelitian

Penelitian tentang analisis stabilitas lereng di Ruas Giriwoyo – Glonggong ini dimulai dari pengumpulan data dan literatur. Data yang dikumpulkan berupa data topografi lereng yang ditinjau dan data pengujian tanah. Studi literatur dilakukan terhadap penelitian-penelitian terdahulu melalui jurnal-jurnal yang didapat lewat internet sebagai referensi dan pembentukan asumsi awal

penelitian. *Update* peraturan-peraturan tentang stabilisasi lereng yang berlaku di Indonesia serta kriteria desain mengenai perkuatan lereng dilakukan untuk menjaga keterbaruan penelitian.

Desain awal dilakukan dengan mengacu parameter rekomendasi SNI 8460:2017 tentang Persyaratan Perancangan Geoteknik. Desain awal kemudian direncanakan untuk diterapkan di lereng eksisting yang memiliki nilai SF kurang dari persyaratan aman. Lereng eksisting dianalisa dengan berdasarkan data topografi dan data tanah yang diperoleh untuk diketahui nilai SF. Analisis dilakukan melalui pendekatan kesetimbangan batas menggunakan metode Fellenius dan Bishop. Verifikasi perhitungan dilakukan dengan *Software* GeoStudio.

Desain perkuatan lereng kemudian direncanakan dan dicoba dengan beberapa variasi sudut pemasangan nail untuk dilihat keterkaitannya dengan besaran nilai SF. Serupa perhitungan lereng eksisting, verifikasi juga dilakukan dengan *Software* GeoStudio. Kontrol stabilitas global dan internal kemudian dilakukan untuk melihat bahwa desain yang direncanakan memenuhi kriteria desain stabilisasi lereng atau tidak. Apabila tidak masuk, maka proses kembali pada desain stabilisasi lereng. Beberapa variabel dapat disesuaikan kembali, misal kedalaman *nail*, jarak antarnail, maupun variasi sudut yang dipilih.



BAB IV

ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Safety Factor Lereng Eksisting

Analisa dilakukan terhadap lereng tinjau untuk mendapatkan angka faktor keamanan lereng. Analisa dilakukan dengan masukan data berupa propertis tanah maupun bentuk geometri lereng di lapangan. Pengukuran geometri lereng dilakukan dengan kegiatan survey topografi. Sedangkan untuk propertis tanah diperoleh dari laporan hasil penyelidikan tanah yang dilakukan oleh Laboratorium Mekanika Tanah, Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Semarang. Secara garis lapisan tanah pada lokasi yang ditinjau dibagi menjadi empat lapisan dengan propertis sebagai berikut:

Tabel 4. 1 Propertis Tanah di Lokasi Penelitian

Lapisan	Kadar air	Berat Volume	<i>Specific of Gravity</i>	Berat Volume Kering	Porositas	<i>Void Ratio</i>	Sudut Geser	Kohesi
	(w)	(γ)	(Gs)	(γ_d)	(n)	(e)	(ϕ)	(c)
	%	kN/m ³	kN/m ³	kN/m ³	%		°	kPa
Tanah I	48,78	16,64	2,664	11,18	58,03	1,382	34	8
Tanah II	28,21	17,01	2,690	13,27	50,67	1,027	36	5
Tanah III	24,08	16,97	2,698	13,68	49,30	0,972	38	5
Tanah IV	18,75	17,07	2,701	14,44	46,78	0,879	40	3

Sumber: Laporan Hasil Penyelidikan Tanah Pada Longsoran Giriwoyo –
Glonngong, 2021

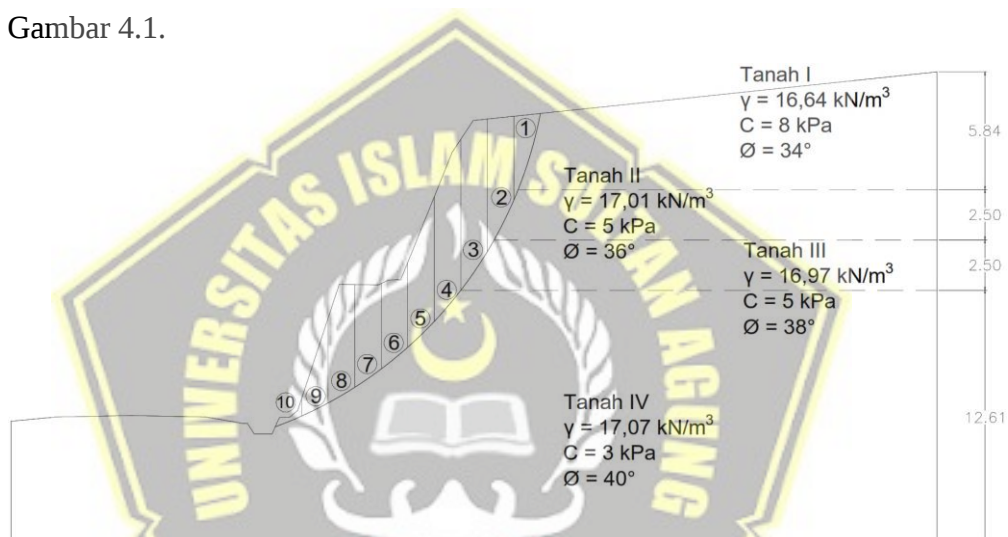
Tabel 4. 2 Stratigrafi dan Konsistensi Tanah di Lokasi Penelitian

Lapisan	Tipe Lapisan	Deskripsi	NSPT	Konsistensi
Tanah I	Pasir Kelempungan	Campur humus, warna coklat kehitaman	0 - 40	<i>Soft - Very Stiff</i>
Tanah II	Pasir Kelanauan	Padat, warna abu-abu kehujauan	>60	<i>Hard</i>
Tanah III	Lempung Kelanauan	Keras, warna abu-abu	>60	<i>Hard</i>

Lapisan	Tipe Lapisan	Deskripsi	NSPT	Konsistensi
Tanah IV	Pasir Kelanauan	Padat, warna abu-abu kehujauan	>60	<i>Hard</i>

Sumber: Laporan Hasil Penyelidikan Tanah Pada Longsorani Giriwoyo - Glonggong, 2021

Tanah di lokasi penelitian memiliki kecenderungan berpasir dengan konsistensi *very stiff* hingga *hard*. Hal ini didapat dari angka NSPT yang berkisar 41 s/d >60. Sudut geser dalam yang dimiliki oleh tanah di lokasi penelitian berkisar di antara 34° hingga 40°. Sedangkan angka kohesi berada pada rentang 3 kPa hingga 8 kPa. Gambar lapisan tanah ditampilkan dalam Gambar 4.1.



Gambar 4. 1 Penampang Lereng dan Stratigrafi Tanah

Perhitungan *safety factor* lereng eksisting dilakukan secara manual maupun dengan bantuan program Geoslope 2012. Metode yang digunakan adalah kesetimbangan batas dengan pendekatan Fellenius dan Bishop.

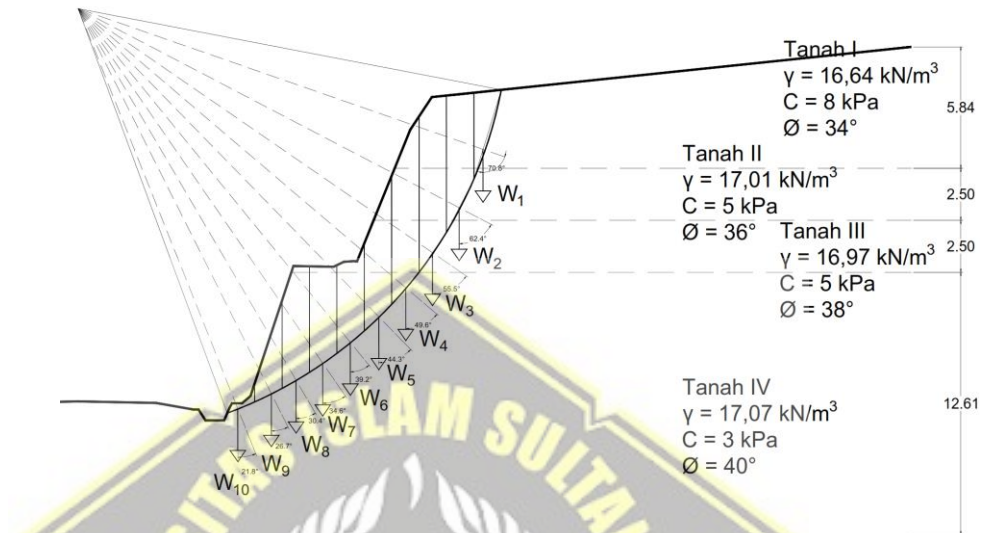
Analisa dimulai dengan menentukan bidang gelincir dengan petunjuk sudut pada Tabel 2.20. Penentuan bidang gelincir dilakukan dengan bantuan program Geoslope 2012. Gambar 4.1 merupakan lokasi bidang gelincir yang dibuat dengan sistim koordinat dengan titik 0;0 berada pada bagian kiri bawah gambar. Titik rotasi bidang gelincir terletak pada koordinat 5,9603;25.2930 dengan jari-jari lingkaran sebesar 20,7330 m. Panjang bidang gelincir diketahui dengan bantuan program AutoCAD 2015 adalah 21,3152 m.

1. Metode Fellenius

a. Perhitungan Manual

Angka Keamanan Lereng Kondisi Normal (Kondisi I)

Persamaan 3 digunakan untuk menghitung faktor keamanan lereng metode Fellenius. Gambar 4.2 adalah bidang longsor disertai titik berat masing-masing irisan yang akan ditinjau.



Gambar 4. 2 Gaya pada masing-masing irisan

Pengambilan nilai untuk perhitungan gaya pada bidang gelincir diperoleh dengan langkah sebagai berikut:

- Perhitungan berat irisan tanah (W_i) dilakukan pada masing-masing irisan. Berat irisan tanah adalah hasil kali antara berat volume lapisan tanah dengan area irisan. Sebagai contoh, luasan pada irisan 4 terdiri dari 1,6212 m² pada lapisan tanah I; 3,2719 m² pada lapisan tanah II; 3,2971 m² pada lapisan tanah III; dan 1,0165 m² pada lapisan tanah IV. Sehingga berat irisan ke 4 adalah:

$$W_4 = (A_1 \gamma_1) + (A_2 \gamma_2) + (A_3 \gamma_3) + (A_4 \gamma_4)$$

$$W_4 = (1,62 \times 16,64) + (3,27 \times 17,01) + (3,29 \times 16,97) + (1,02 \times 17,07)$$

$$W_4 = 155,9352 \text{ kN}$$

Perhitungan dengan metode yang sama juga digunakan untuk irisan lainnya. Tabel perhitungan terlampir pada bagian akhir tesis ini.

- Nilai α adalah panjang lengkung tiap irisan pada bidang gelincir. Terdapat kondisi dimana α melewati beberapa lapisan tanah yang

memiliki propertis tidak seragam. Kondisi demikian berpengaruh pada sudut geser dan kohesi sebagai faktor untuk menghitung stabilitas lereng. Sebagai contoh, besaran α pada irisan ke 1 adalah 4,4854 m dengan 3,9420 melintasi lapisan tanah I dan 0,5434 sisanya melintasi lapisan tanah II. Maka perhitungan kohesi dan sudut geser yang dipakai untuk analisa irisan ke-1 adalah:

$$C_1 = ((\alpha_1 \times C_I) + (\alpha_2 \times C_{II})) / \alpha$$

$$C_1 = (3,94 \times 8) + (0,54 \times 5) / 4,49$$

$$C_1 = 7,64 \text{ kPa}$$

$$\phi_1 = ((\alpha_1 \times \phi_I) + (\alpha_2 \times \phi_{II})) / \alpha$$

$$\phi_1 = (3,94 \times 8) + (0,54 \times 5) / 4,49$$

$$\phi_1 = 36,45^\circ$$

- Nilai θ_i adalah sudut garis berat terhadap jari-jari tegak lurus bidang gelincir pada masing-masing irisan.

Nilai hasil perhitungan ditampilkan dalam Tabel 4.2 dan Tabel 4.3.

Tabel 4. 3 Perhitungan SF Metode Fellenius (1)

I_i	W_i (kN)	θ_i (°)	α (m)	C (kPa)	ϕ (°)	C x α
1	45.63	70.8	4.49	7.64	34.2	34.25
2	118.66	62.4	2.88	5.00	36.5	14.39
3	161.40	55.5	2.33	5.00	38.0	11.65
4	155.94	49.6	2.03	3.00	40.0	6.09
5	116.75	44.3	1.84	3.00	40.0	5.51
6	89.38	39.2	1.70	3.00	40.0	5.11
7	104.34	34.6	1.60	3.00	40.0	4.81
8	115.95	30.4	1.53	3.00	40.0	4.59
9	57.54	26.7	1.47	3.00	40.0	4.41
10	7.17	21.8	1.42	3.00	40.00	4.27
Σ						95,09

Tabel 4. 4 Perhitungan SF Metode Fellenius (2)

I_i	N_i = W_i Cosθ_i	N_i Tan ϕ_i	W_i Sinθ_i
1	15.00	10.21	43.09
2	54.97	40.61	105.15
3	91.42	71.42	133.02
4	101.06	84.80	118.75
5	83.56	70.11	81.54
6	69.26	58.12	56.49

I_i	$N_i = W_i \cos \theta_i$	$N_i \tan \phi_i$	$W_i \sin \theta_i$
7	85.89	72.07	59.25
8	100.01	83.92	58.68
9	51.41	43.14	25.86
10	6.66	5.58	2.66
Σ		539,99	684,48

$$SF = (95,09 + 539,99) / 684,48$$

$$SF = 635,08 / 684,48$$

$$SF = \mathbf{0,928}$$

Jadi dalam kondisi normal, diperoleh angka keamanan lereng Metode Fellenius sebesar 0,928.

Angka Keamanan Lereng Akibat Pengaruh Curah Hujan (Kondisi II)

Stabilitas lereng juga dipengaruhi oleh faktor cuaca. Salah satu faktor cuaca yang berpengaruh adalah curah hujan di lokasi sekitar lereng (Arrozi et al., 2015). Hujan dengan intensitas dan waktu tertentu berpotensi menambah masa tanah akibat terjadinya infiltrasi air hujan. Analisis angka keamanan lereng perlu dilakukan pada kondisi ini dengan tahapan: (1) menghitung nilai infiltrasi, (2) menghitung kedalaman tanah jenuh akibat infiltrasi, dan (3) menghitung angka keamanan lereng.

Hujan total yang jatuh ke tanah akan terbagi menjadi tiga komponen: air larian, infiltrasi, dan abstraksi awal yang dinyatakan dalam persamaan 4.1 (Manurung et al., 2016).

$$Q = \frac{(P - I_a)^2}{(P - I_a) + S} \dots\dots\dots (4.1)$$

$$I_a = 0,2 S \dots\dots\dots (4.2)$$

Dari persamaan 4.1 dan 4.2 didapatkan persamaan sebagai berikut:

$$Q = \frac{(P - 0,2S)^2}{(P - 0,8 S)} \dots\dots\dots (4.3)$$

Nilai S diperoleh dari *runoff curve number* (CN) dengan persamaan:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \dots\dots\dots (4.4)$$

Setelah nilai P dan Q diketahui, besaran infiltrasi dapat dihitung melalui persamaan 4.5.

$$F = (P - I_a) - Q \dots\dots\dots (4.5)$$

Dengan A sebagai luas lereng, maka volume infiltrasi dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$V_F = F \times A \dots\dots\dots (4.6)$$

Keterangan:

- P : Curah Hujan Total (mm/hari)
- Q : Air Larian (mm/hari)
- S : Potensi maksimal tanah untuk menahan air (mm/hari)
- I_a : Abstraksi Awal (mm/hari)
- CN : *runoff curve number*
- F : Infiltrasi
- V_F : Volume infiltrasi
- A : Area Longsoran

Infiltrasi akan menjadikan lapisan *topsoil* pada lereng jenuh. Ketebalan lapisan yang menjadi jenuh karena adanya infiltrasi dipengaruhi oleh intensitas hujan, durasi hujan, dan proerti tanah. Pada kondisi jenuh air, nilai berat isi tanah yang digunakan adalah γ_{sat} , dimana γ_{sat} dinyatakan dalam persamaan sebagai berikut (Hardiyatmo, 2003):

$$\gamma_{sat} = \frac{(G_s + e)\gamma_w}{1 + e} \dots\dots\dots (4.7)$$

Keterangan:

- γ_{sat} : berat volume dalam kondisi jenuh (kN/m³)
- G_s : *Specific Gravity of Solid* (kN/m³), dari Tabel 4.1
- e : *Void Ratio*, dari Tabel 4.1
- γ_w : berat volume air, diambil 9,81 kN/m³

Ketebalan tanah yang jenuh oleh infiltrasi air hujan dihitung dengan formula 4.8.

$$h_{sat} = \frac{\frac{F}{\gamma_{sat} - \gamma_b} \times 1 \text{ m}^3}{\frac{\gamma_w}{Area \text{ Lereng}}} \dots\dots\dots (4.8)$$

Perhitungan nilai angka keamanan lereng karena pengaruh curah hujan dengan Metode Fellenius dilakukan dengan tahapan berikut:

- Menentukan curah hujan total

Angka curah hujan diambil dari tabel 4.5

Tabel 4. 5 Curah dan Hari Hujan di Kabupaten Wonogiri

Bulan	Curah Hujan			Hari Hujan		
	2019	2020	2021	2019	2020	2021
Januari	389	377	354	19	18	17
Februari	158	437	267	15	20	19
Maret	238	342	810	18	20	23
April	90	271	248	10	11	9
Mei	4	97	96	2	12	4
Juni	-	-	323	-	-	11
Juli	-	-	-	-	-	-
Agustus	-	87	-	-	2	-
September	-	20	99	-	2	8
Oktober	-	106	61	-	8	5
November	55	282	609	3	12	27
Desember	174	286	177	10	15	18

Sumber: BPS Kab. Wonogiri (Badan Pusat Statistik Kabupaten Wonogiri, 2022)

Dengan cara melakukan rata-rata curah hujan 2019 s/d 2021 dibandingkan dengan rata-rata hari hujan, maka diperoleh hujan maksimum (*P*) sebesar 29,36 mm/hari.

- Menghitung air larian

Berdasarkan deskripsi jenis tanah di Tabel 4.2, tanah di lokasi penelitian dikategorikan dalam kelompok B. Kondisi eksisting atas lereng merupakan belukar. Dengan dua kondisi tersebut, nilai *Runoff Curve Number (CN)* diambil sebesar 66. Penentuan nilai *CN* didasarkan pada Tabel 4.6.

Tabel 4. 6 Nilai *Runoff Curve Number* (CN)

Penggunaan Lahan	Kelompok Hidrologi Tanah	CN
Belukar (BK)	B	66
	C	77
Hutan Lahan Kering Primer (HLKP)	B	55
	C	70
Hutan Lahan Kering Sekunder (HLKS)	B	60
	C	73
Pemukiman (PMK)	B	72
	C	81
Pertanian Lahan Kering Campuran (PLKC)	B	61
	C	74
Tanah Kosong	B	69
	C	79

Keterangan: Kelompok B adalah bahan lepas (*loss*) dangkal, lempung berpasir; Kelompok C adalah lempung berliat, lempung berpasir dangkal, tanah berkadar liat tinggi.

Sumber: Arsyad (2010) dalam Laturua et al., 2018

Setelah nilai CN ditentukan, maka dilakukan perhitungan Potensi maksimal tanah untuk menahan air (S) dengan persamaan 4.4.

$$S = \frac{25400}{66} - 254$$

$$= 130,85 \text{ mm}$$

Dengan diketahuinya nilai S, maka dapat dihitung nilai besaran air larian (Q) dengan persamaan 4.3.

$$Q = \frac{(29,36 - 0,2 \times 130,85)^2}{(29,36 - 0,8 \times 130,85)}$$

$$= 0,14 \text{ mm}$$

- Menghitung infiltrasi

Infiltrasi dihitung dengan persamaan 4.5.

$$F = (29,36 - 26,17) - 0,14$$

$$= 3,06 \text{ mm}$$

Dengan area lereng / m' adalah 27 m, maka Volume infiltrasi yang terjadi dapat dihitung dengan persamaan 4.6.

$$V_F = (3,06 \times 10^{-3}) \times 27$$

$$= 82,58 \text{ mm}$$

- Menghitung tebal lapisan jenuh

Tebal lapisan jenuh dihitung dengan persamaan 4.8. Berikut adalah contoh perhitungan dari lapisan I:

$$h_{sat} = \frac{\frac{3,06}{16,663 - 16,64} \times 1 \text{ m}^3}{9,81} = \frac{18,39}{27}$$

$$h_{sat} = 1,30 \text{ m}$$

Hasil perhitungan tebal lapisan II, III, dan IV ditampilkan dalam Tabel 4.7.

Tabel 4. 7 Tebal Lapis Jenuh Akibat Hujan

Lapisan Tanah	Tebal Lapisan Jenuh (m)
Lapisan I	1,30
Lapisan II	0,30
Lapisan III	0,20
Lapisan IV	0,20



Gambar 4. 3 Tebal Lapisan Jenuh Akibat Hujan Harian

- Menghitung berat masing-masing irisan tanah

Perhitungan berat masing-masing tanah dilakukan seperti pada perhitungan kondisi normal pada Halaman 48 dengan mempertimbangkan area irisan tanah dengan kondisi jenuh.

- Menghitung angka Keamanan Lereng

Perhitungan angka keamanan lereng akibat hujan dengan Metode Fellenius dilakukan dengan cara yang sama pada perhitungan angka keamanan lereng kondisi normal. Pada kondisi hujan 1 hari, didapatkan angka keamanan lereng sebesar 0,891.

Angka Keamanan Lereng Pada Kondisi *Full Saturated* (Kondisi III)

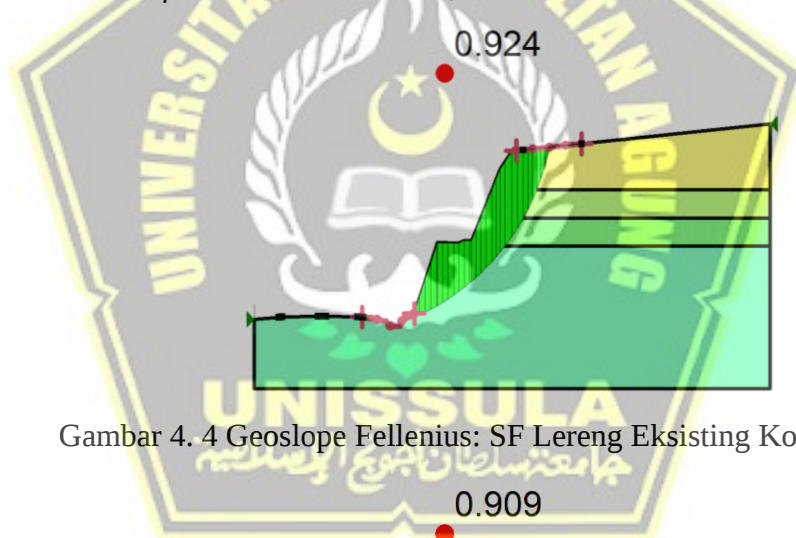
Dengan persamaan 4.7, didapatkan nilai γ_{sat} untuk lapisan I sebesar 16,663 kN/m³; lapisan II sebesar 17,989 kN/m³; lapisan III sebesar

18,257 kN/m³; dan lapisan IV sebesar 18,691 kN/m³. Pada kondisi jenuh air (*full saturated*) nilai kohesi dianggap tidak bekerja, sehingga $c = 0$ kPa.

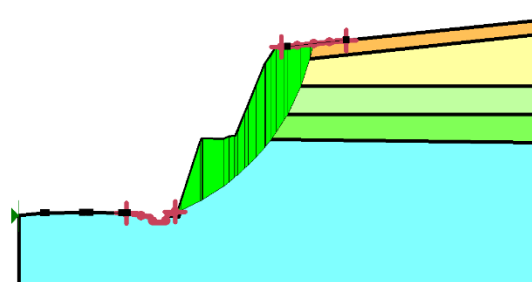
Angka keamanan pada kondisi jenuh air dihitung dengan cara yang sama dengan perhitungan yang dilakukan pada kondisi normal. Parameter yang diubah adalah penggunaan nilai γ_{sat} dan c . SF untuk kondisi *full saturated* metode Fellenius diperoleh **0,799**.

b. Perhitungan Geoslope 2012

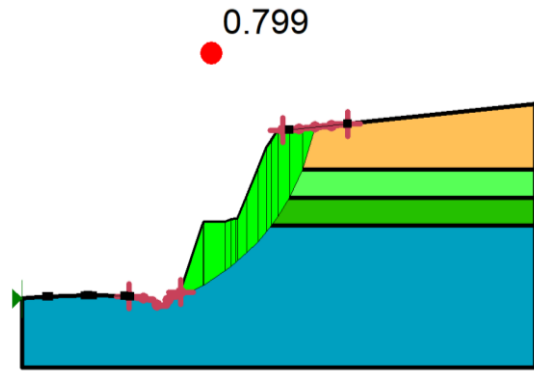
Jari-jari dan lokasi titik pusat busur longsoran berada sama persis dengan analisa manual. Angka keamanan yang diperoleh dengan program Geoslope 2012 adalah 0,924 pada kondisi normal. Pada kondisi lereng terpengaruh air hujan, didapatkan angka keamanan lereng eksisting sebesar 0,909. Sedangkan angka keamanan untuk kondisi *full saturated* adalah 0,799.



Gambar 4. 4 Geoslope Fellenius: SF Lereng Eksisting Kondisi Normal



Gambar 4. 5 Geoslope Fellenius: SF Lereng Eksisting Akibat Hujan



Gambar 4. 6 Geoslope Fellenius: SF Lereng Eksisting Kondisi *Full Saturated*

2. Metode Bishop

a. Perhitungan Manual

Angka Keamanan Lereng Kondisi Normal (Kondisi I)

Perhitungan angka faktor keamanan lereng dengan metode Bishop menggunakan Persamaan 2.5. Nilai-nilai untuk perhitungan diperoleh dengan Langkah sebagai berikut:

- Perhitungan berat irisan (W_i), nilai kohesi dan sudut geser tanah yang dipakai pada masing-masing irisan sama seperti yang telah diuraikan dalam Metode Fellenius.
- Nilai m diuraikan pada Persamaan 2.6.
- Nilai α_i adalah sudut garis berat terhadap jari-jari tegak lurus bidang gelincir pada masing-masing irisan.
- Nilai F merupakan asumsi awal nilai keamanan yang akan terjadi. Nilai F berpengaruh terhadap nilai m dan nilai SF . Nilai F kemudian dilakukan *trial and error* untuk mendekati nilai SF dengan bantuan program Microsoft Excel.

Nilai-nilai untuk perhitungan angka keamanan lereng dengan Metode Bishop disajikan dalam Tabel 4.4 dan Tabel 4.5.

Tabel 4. 8 Perhitungan SF Metode Bishop (1)

I_i	W_i (kN)	α_i (°)	Δ_x (m)	C (kPa)	ϕ (°)	$C \Delta_x$
1	45.63	70.8	1.32	7.64	34.2	10.07
2	118.66	62.4	1.32	5.00	36.5	6.59
3	161.40	55.5	1.32	5.00	38.0	6.59

I _i	W _i (kN)	α _i (°)	Δ _x (m)	C (kPa)	Ø (°)	C Δ _x
4	155.94	49.6	1.32	3.00	40.0	3.96
5	116.75	44.3	1.32	3.00	40.0	3.96
6	89.38	39.2	1.32	3.00	40.0	3.96
7	104.34	34.6	1.32	3.00	40.0	3.96
8	115.95	30.4	1.32	3.00	40.0	3.96
9	57.54	26.7	1.32	3.00	40.0	3.96
10	7.17	21.8	1.32	3.00	40.0	3.96

Tabel 4. 9 Perhitungan SF Metode Bishop (2)

I _i	F _{trial}	m	$\frac{C \Delta_x + W \tan \phi}{m}$	W _i Sin Ø _i
1	1.203	0.9	47.64	25.67
2	1.203	1.0	93.55	70.50
3	1.203	1.1	120.45	99.37
4	1.203	1.2	114.31	100.23
5	1.203	1.2	84.73	75.05
6	1.203	1.2	64.94	57.45
7	1.203	1.2	75.06	67.07
8	1.203	1.2	83.30	74.53
9	1.203	1.2	43.29	36.99
10	1.203	1.2	8.40	4.61
		Σ	735.67	611.47

$$SF = 735,67 / 611,47$$

$$SF = 1,203$$

Angka Keamanan Lereng Akibat Pengaruh Curah Hujan (Kondisi II)

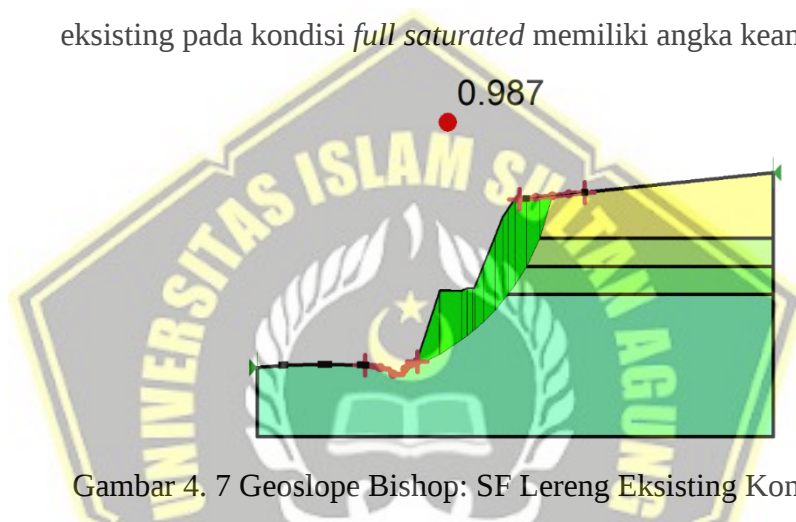
Parameter yang digunakan untuk menghitung angka keamanan lereng akibat pengaruh hujan dilakukan dengan tahapan yang sama persis dengan yang telah ditulis pada sub-bab pembahasan angka keamanan lereng eksisting akibat hujan Metode Fellenius. Tahapan perhitungan adalah menentukan angka hujan, perhitungan volume infiltrasi dan tebal topsoil yang jenuh oleh hujan, dilanjutkan dengan analisa angka keamanan lereng. Perhitungan *SF* dilakukan dengan metode Bishop seperti yang telah ditampilkan pada proses perhitungan angka keamanan lereng kondisi normal (lihat tabel 4.8 dan 4.9). Dengan memasukkan nilai γ_{sat} pada masing-masing lapisan tanah setebal h_{sat} (Tabel 4.7), angka keamanan lereng eksisting akibat hujan dengan durasi satu hari adalah **1,106**.

Angka Keamanan Lereng Pada Kondisi *Full Saturated* (Kondisi III)

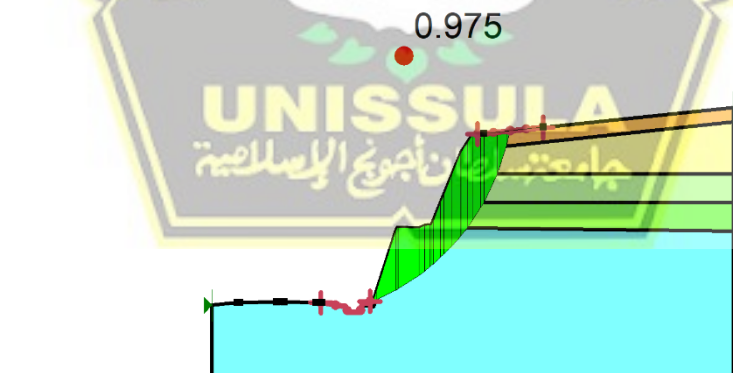
Perhitungan angka keamanan lereng Metode Bishop juga dilakukan untuk kondisi *full saturated*. Dengan menggunakan parameter yang sama pada perhitungan Metode Fellenius, angka keamanan lereng Metode Bishop dalam kondisi *full saturated* diperoleh nilai **1,068**.

b. Perhitungan Geoslope 2012

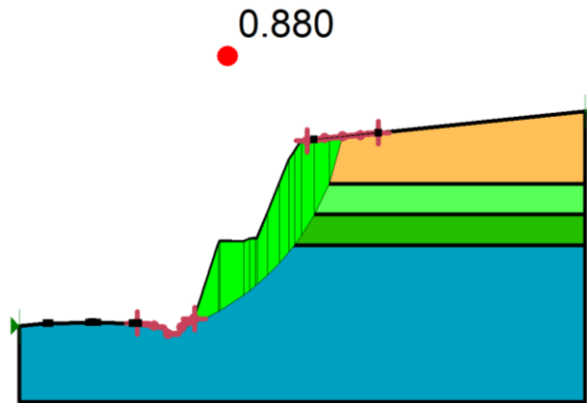
Hasil analisis Metode Bishop dengan software Geoslope 2012 menunjukkan bahwa angka keamanan lereng eksisting pada kondisi normal adalah 0,987. Pada kondisi lereng terpengaruh oleh hujan didapatkan angka keamanan sebesar 0,973. Sedangkan saat lereng eksisting pada kondisi *full saturated* memiliki angka keamanan 0,880.



Gambar 4. 7 Geoslope Bishop: SF Lereng Eksisting Kondisi Normal



Gambar 4. 8 Geoslope Bishop: SF Lereng Eksisting Akibat Hujan



Gambar 4. 9 Geoslope Bishop: SF Lereng Eksisting Kondisi *Full Saturated*

Rekapitulasi nilai keamanan lereng yang diperoleh dengan Metode Fellenius dan Metode Bishop di Jalan Nasional Ruas Giriwoyo – Glonggong KM. SKA. 81+200 Sisi Kanan ditampilkan dalam Tabel 4.10.

Tabel 4. 10 Angka Keamanan Lereng Eksisting

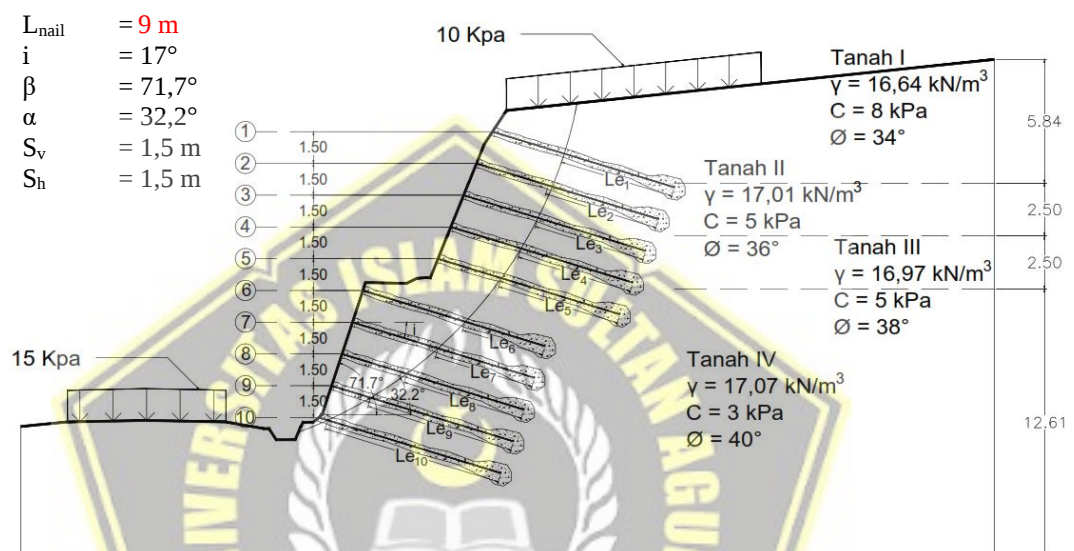
Metode	Angka Keamanan Lereng Eksisting					
	Perhitungan Manual			Hasil Analisis Geoslope 2012		
	Normal	Pengaruh Hujan	Full Saturated	Normal	Pengaruh Hujan	Full Saturated
Fellenius	0,928	0,891	0,799	0,924	0,909	0,799
Bishop	1,203	1,106	1,068	0,987	0,975	0,880

Angka keamanan lereng eksisting di Jalan Nasional Ruas Giriwoyo – Glonggong KM. SKA. 81+200 Sisi Kanan sebagai lereng permanen memiliki nilai *safety factor* kurang dari 1,50 (rekomendasi SF dari SNI 8460:2017) sehingga dikategorikan sebagai **lereng tidak aman**.

Dalam klasifikasi lereng yang dikemukakan oleh Bowles (1984), lereng eksisting di Jalan Nasional Ruas Giriwoyo – Glonggong KM. SKA. 81+200 Sisi Kanan merupakan **lereng labil dan atau lereng kritis** ($SF < 1,07$ dikategorikan sebagai lereng labil dan $1,07 < SF < 1,25$ dikategorikan sebagai lereng kritis). Dengan demikian, lereng eksisting di Jalan Nasional Ruas Giriwoyo – Glonggong KM. SKA. 81+200 Sisi Kanan perlu diadakannya stabilisasi lereng.

4.2 Perkuatan Lereng dengan Soil Nailing

Perkuatan lereng galian di Ruas Jalan Giriwoyo – Glonggong KM. SKA. 81+200 dilakukan dengan metode *soil nailing*. Analisa dilakukan terhadap bidang gelincir kritis yang diperoleh dengan bantuan Program Geoslope. Perhitungan desain dilakukan mengacu pada kriteria-kriteria yang diberikan oleh SNI 8460:2017 tentang Persyaratan Perancangan Geoteknik. Parameter desain yang dipakai telah dijelaskan pada Sub-bab 3.3. Desain stabilisasi lereng ditampilkan pada Gambar 4.5.



Gambar 4. 10 Desain Perkuatan Lereng dengan Soil Nailing

4.2.1 Analisis Stabilitas Eksternal

4.2.1.1 Stabilitas Terhadap Keruntuhan Global

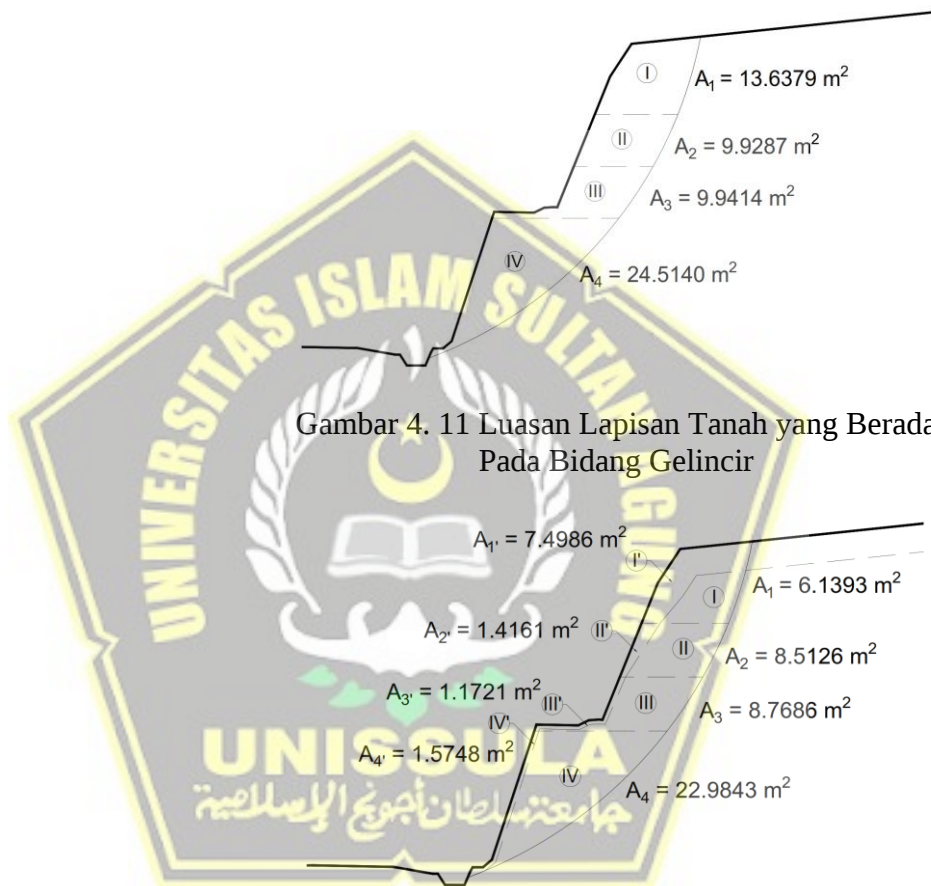
1. Perhitungan Manual Metode Baji

Diketahui sudut kemiringan lereng (β) dari hasil ukur lapangan sebesar $71,7^\circ$. Sudut bidang gelincir kritis (α) yang diperoleh dengan bantuan Program Geoslope 2012 adalah $32,2^\circ$. Perhitungan awal dilakukan dengan asumsi sudut pemasangan *nail* (i) terhadap bidang horizontal sebesar 17° . Perhitungan dilakukan terhadap tiga kondisi: lereng dalam kondisi normal (kondisi I), lereng dengan

pengaruh angka hujan (kondisi II), dan lereng pada keadaan *full saturated* (kondisi III).

- a) Berat masa tanah yang berada pada bidang gelincir dan panjang bidang gelincir

Terdapat empat lapis tanah dalam penampang lereng. Berat isi tanah pada masing-masing lapisan dikalikan dengan luasan masing-masing lapisan tanah yang berada pada bidang gelincir.



Gambar 4. 11 Luasan Lapisan Tanah yang Berada Pada Bidang Gelincir

Gambar 4. 12 Area Tanah yang Berada Pada Bidang Gelincir (Kondisi II)

Kondisi I

$$\begin{aligned}
 W &= (A_1 \times \gamma_1) + (A_2 \times \gamma_2) + (A_3 \times \gamma_3) + (A_4 \times \gamma_4) \\
 &= (13,6379 \times 16,64) + (9,9287 \times 17,01) + (9,9414 \\
 &\quad \times 16,97) + (24,5140 \times 17,07) \\
 &= 982,9814 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Nilai Kohesi yang digunakan juga merupakan nilai kohesi rata-rata dari 4 lapis tanah, yakni 4,466 kPa

Kondisi II

$$\begin{aligned}
 W &= (A_1 \times \gamma_1) + (A_1' \times \gamma_{Sat-1}) + (A_2 \times \gamma_2) + (A_2' \times \gamma_{Sat-2}) + (A_3 \times \gamma_3) + (A_3' \times \gamma_{Sat-3}) + (A_4 \times \gamma_4) + (A_4' \times \gamma_{Sat-4}) \\
 &= (6,1393 \times 16,63) + (7,4986 \times 16,663) + (8,5126 \times 17,01) + (1,4161 \times 17,989) + (8,7686 \times 16,97) \\
 &\quad + (1,1721 \times 18,257) + (22,9843 \times 17,07) + (1,5748 \times 18,691) \\
 &= 989,3594 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Nilai Kohesi yang digunakan adalah hasil rerata pada luasan tanah yang bersinggungan dengan bidang gelincir yakni 3,951 kPa.

Kondisi III

$$\begin{aligned}
 W &= (A_1 \times \gamma_{Sat-1}) + (A_2 \times \gamma_{Sat-2}) + (A_3 \times \gamma_{Sat-3}) + (A_4 \times \gamma_{Sat-4}) \\
 &= (13,6379 \times 16,663) + (9,9287 \times 17,989) + (9,9414 \times 18,257) + (24,5140 \times 18,691) \\
 &= 1045,547 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Pada kondisi III, tanah dianggap dalam *full saturated* sehingga nilai kohesi adalah 0 kPa.

Panjang bidang gelincir diukur (L_f) adalah 21,3152 m

b) Cek gaya tarik dan gaya geser

- Daya dukung tarik tulangan

$$\begin{aligned}
 R_n &= f_y \times A_s \\
 &= 420 \times 0,25 \times \pi \times 25^2 \\
 &= 206,25 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_c &= 0,5 \times R_n \\
 &= 0,5 \times 206250 \\
 &= 103,13 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

- Gaya geser ijin tulangan

$$\begin{aligned}
 V_n &= \frac{R_n}{2 \sqrt{1+4 \tan^2(90-(a+i))}} \\
 V_n &= \frac{206,250}{2 \sqrt{1+4 \tan^2(90-(32,2+17))}} \\
 V_n &= 51,82 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

- Gaya tarik ijin tulangan

$$\begin{aligned}
 T &= 4 \times V \times \tan(90 - (a + i)) \\
 &= 4 \times 51,82 \times \tan(90 - (32,2 + 17)) \\
 &= 178,91 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

- Gaya geser ijin tanah

Terdapat 4 lapisan tanah dengan sudut geser dalam (ϕ) dan berat isi (γ) yang beragam. Untuk itu dilakukan perhitungan nilai rata-rata sehingga didapatkan $\phi = 37,56^\circ$ dan $\gamma = 16,94 \text{ kN/m}^3$.

$$\begin{aligned}
 \rightarrow P_u &= (C_1 \times \frac{2}{3} H + C_2 \times d) \times \gamma \times \frac{2}{3} H \\
 &= (3,7 \times \frac{2}{3} (15,55) + 3,9 \times 0,025) \times (16,94 \times \frac{2}{3} (15,55)) \\
 &= 6753,5969 \text{ kN} \\
 \rightarrow P_u &= C_3 \times D \times \gamma \times Z \\
 &= 75 \times 0,025 \times 16,94 \times 15,55 \\
 &= 730,1223 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

(nilai C_1 , C_2 , dan C_3 diambil dari Gambar 2.5)

Nilai P_u diambil yang terkecil, $P_u = 730,1223 \text{ kN}$

$$\begin{aligned}
 P_{max} &= 0,5 P_u \\
 &= 365,0612 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 L_0 &= \sqrt[4]{\frac{4EI}{K_s D}} \\
 &= \sqrt[4]{\frac{4 \times (2,0 \times 10^3) \times (1,9 \times 10^{-8})}{32000 \times 0,025}}
 \end{aligned}$$

Parameter untuk perhitungan L_0 adalah sebagai berikut:

E = modulus elastisitas baja $2,0 \times 10^8 \text{ kN/m}^2$

d = diameter tulangan = 25 mm

I = inersia penampang *nail* (dihitung tanpa memperhitungkan *grouting*)

$$= \frac{\pi d^4}{64} = \frac{\pi 0.025^4}{64} = 1,917 \times 10^{-8}$$

K_s = 32000 kN/m³ (dari tabel modulus reaksi tanah)

L_0 = 0,3722 m

$V_s = P_{max} \times 0,5 \times d \times L_0$

$$= 365,0612 \times 0,5 \times 0,025 \times 0,3722$$

$$= 1,6983 \text{ kN}$$

$V_s < V_n$, maka gaya geser ijin global (V_{max}) yang digunakan adalah nilai terkecil, yakni 1,6983 kN. Dengan adanya nilai V_{max} , gaya tarik ijin *nail bar* dikoreksi menjadi:

$$\frac{V_{max}^2}{R_c^2} + \frac{T_{max}^2}{R_n^2} = 1$$

$$\frac{1,6983^2}{103,13^2} + \frac{T_{max}^2}{206,25^2} = 1$$

$$T_{max} = 206,2220 \text{ kN}$$

c) Perhitungan panjang efektif *nail*

Panjang L_e diukur dengan bantuan Program AutoCAD 2015. Perhitungan dilakukan untuk menghitung gaya tarik ijin dan gaya geser total dari *nail bar*.

Berikut adalah perhitungan untuk *nail* ke-1

$D_{nail} = 0,025 \text{ m}$

$L_e = 5,4482 \text{ m}$

$F = 2,238$ (Nilai F adalah nilai prakiraan awal dari angka keamanan akhir (FS), harus dilakukan

trial and eror sehingga didapatkan nilai F dan SF yang sama.

$$f_{max} = 115 \text{ kN/m}^2 \text{ (dari Tabel 2.4)}$$

$$\begin{aligned} T_1 &= \frac{\pi D_{nail} L_e f_{max}}{F} \\ &= \frac{\pi \times 0,025 \times 5,4482 \times 115}{2,238} \\ &= 19,319 \text{ kN } (< T_{max}) \end{aligned}$$

Untuk hasil perhitungan *nail bar* ke 2 s/d 10 dapat dilihat pada Tabel 4.11.

Tabel 4. 11 Gaya Tarik dan Gaya Geser Ijin
Total *Nail Bar* untuk $i \ 17^\circ$

<i>Nail ke-</i>	h_i (m)	L_e (m)	T_i (kN)	V_i (kN)
1.	1,00	5.4482	19.319	1.698
2.	2,50	5.2509	18.619	1.698
3.	4,00	5.3203	18.865	1.698
4.	5,50	5.5209	19.577	1.698
5.	7,00	5.8596	20.778	1.698
6.	8,50	3.9362	13.957	1.698
7.	10,00	4.7708	16.917	1.698
8.	11,50	5.7994	20.564	1.698
9.	13,00	7.0625	25.043	1.698
10.	14,50	8.562	30.360	1.698
Σ			203,998	16,983

d) Menghitung angka keamanan

$$FS = \frac{C L_f + (W + Q) \cos \alpha \tan \emptyset + [\Sigma T_i \sin(\alpha + i)] \tan \emptyset}{W \sin \alpha - \Sigma T_i \cos(\alpha + i) - \Sigma V_i \sin(\alpha + i)}$$

Kondisi I

$$\begin{aligned} FS &= \frac{4,466 \times 21,3152 + 989,3594 \cos 32,2 \tan 37,56 + 203,998 \sin(32,10 + 17) \tan 37,56}{989,3594 \sin 32,2 - 203,998 \cos(32,2 + 17) - 16,983 \sin(32,2 + 17)} \\ &= 2,238 \end{aligned}$$

Kondisi II

$$FS = \frac{3,951 \times 21,3152 + \cos 32,2 \tan 37,56 + 203,998 \sin(32,10+17) \tan 37,56}{982,9814 \sin 32,2 - 203,998 \cos(32,2+17) - 16,983 \sin(32,2+17)}$$

$$= 2,211$$

Kondisi III

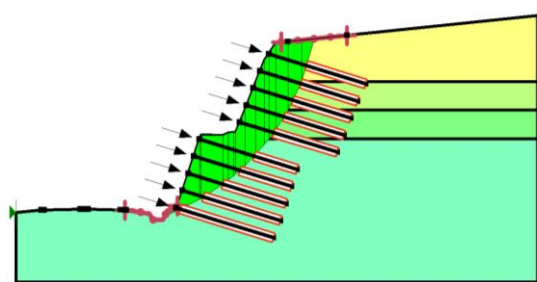
$$FS = \frac{0,000 \times 21,3152 + 1045,547 \cos 32,2 \tan 37,56 + 203,998 \sin(32,10+17) \tan 37,56}{1045,547 \sin 32,2 - 203,998 \cos(32,2+17) - 16,983 \sin(32,2+17)}$$

$$= 2,035$$

2. Perhitungan dengan Geoslope 2012

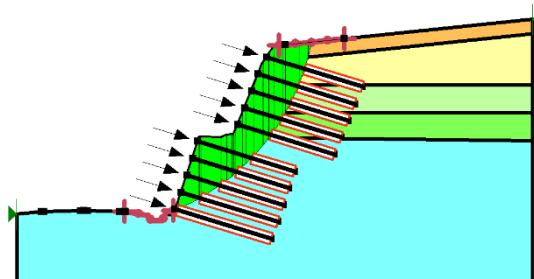
Angka keamanan terhadap kelongsoran global dari Program Geoslope 2012 untuk sudut pemasangan nail 17° pada kondisi normal adalah sebesar **2,542**. Pada kondisi terpengaruh hujan, safety factor lereng dengan perkuatan *soil nailing* adalah **2,643**. Sedangkan pada kondisi *full saturated*, angka keamanan yang diperoleh sebesar **2,495**.

2.542

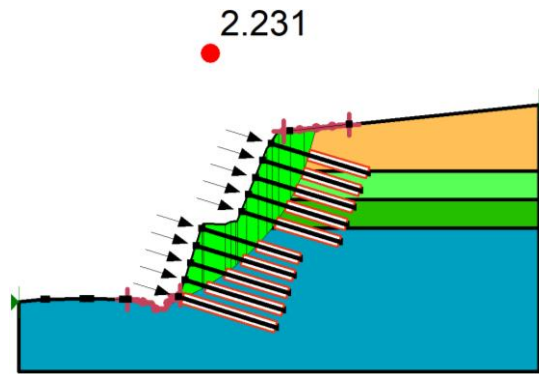


Gambar 4. 13 Geoslope: SF Soil Nailing Sudut 17° Kondisi I

2.495



Gambar 4. 14 Geoslope: SF Soil Nailing Sudut 17°
Kondisi II



Gambar 4. 15 Geoslope: SF *Soil Nailing* Sudut 17°
Kondisi III

Hasil perhitungan manual menunjukkan angka keamanan lereng di Ruas Giriwoyo – Glonggong KM. SKA. 81+200 sisi Kanan setelah perkuatan dengan menggunakan *soil nailing* dengan panjang *nail bar* diameter 25 mm (mutu baja f_y 420 MPa) panjang 9 m, jarak antarnail vertikal dan horizontal 1,50 m, sudut pemasangan *nail* 17° terhadap bidang horizontal adalah 2,238 pada kondisi normal. Pada kondisi lereng terpengaruh hujan, angka keamanan lereng 2,160. Sedangkan pada kondisi *full saturated* angka keamanan lereng menjadi 2,035. Hasil analisis Geoslope 2012 menunjukkan angka keamanan lereng dengan perkuatan *soil nailing* di lokasi penelitian adalah 2,542 pada kondisi normal, 2,643 pada kondisi lereng terpengaruh air hujan, dan 2,231 untuk lereng pada keadaan *full saturated*.

Perhitungan manual dan hasil analisis Software Geoslope 2012 untuk angka keamanan lereng di tiga kondisi di atas ditampilkan dalam Tabel 4.19.

4.2.1.2 Stabilitas Terhadap Pergeseran

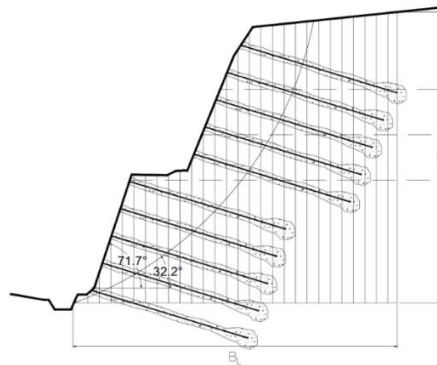
Dalam melakukan tinjauan stabilitas terhadap pergeseran, diperlukan data propertis tanah meliputi kohesi (c), sudut geser dalam tanah (ϕ), dan berat isi tanah (γ). Dengan adanya lapisan tanah yang berbeda, beda maka dicari nilai wakil dari masing-masing parameter dimana nilai wakil dicari dengan melakukan

perhitungan rata-rata. Sehingga diperoleh c sebesar 4,42 kPa; ϕ dengan nilai 38,14°; dan γ sebesar 16,97 kN/m³ untuk kondisi I (lereng dalam keadaan normal). Penentuan parameter-parameter untuk menghitung angka stabilitas geser pada kondisi II dan III adalah sama dengan kondisi I. Sudut pemasangan *nail* (i) terhadap bidang horizontal adalah 17°.

a) Koefisien tekanan tanah lateral aktif

$$\begin{aligned} K_a &= \tan^2 (45 - \phi/2) \\ &= \tan^2 (45 - 38,14/2) \\ &= 0,2364 \end{aligned}$$

b) Tekanan tanah aktif total di belakang zona perkuatan



Gambar 4. 16 Bidang Tekanan Tanah Aktif di Belakang Zona Perkuatan

Luasan bidang arsiran dihitung dengan bantuan Program AutoCAD 2015 sebesar 196,38 m².

Kondisi I

$$\begin{aligned} P_{a1} &= \gamma \times \text{Luasan} \times K_a \\ &= 16,97 \times 196,38 \times 0,2364 \\ &= 787,8524 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

Kondisi II

$$\begin{aligned} P_{a2} &= \gamma \times \text{Luasan} \times K_a \\ &= 17,17 \times 196,38 \times 0,2364 \\ &= 808,56 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

Kondisi III

$$P_{a3} = \gamma \times \text{Luasan} \times K_a$$

$$= 18,18 \times 196,38 \times 0,2364$$

$$= 844,08 \text{ kN/m}$$

c) Faktor aman terhadap pergeseran

Kondisi I

$$W = \gamma \times \text{Luasan}$$

$$= 16,97 \times 196,38$$

$$= 3333,10 \text{ kN}$$

$$Q = 10 \text{ kN/m} \times (2 \text{ H})$$

$$= 10 \times (2 \times 15,55)$$

$$= 311 \text{ kN}$$

$$SF = \frac{C_{BL} + (W + Q + P_a \sin \alpha) \tan \phi}{P_a \cos \alpha}$$

$$= \frac{4,42 \times 16,76 + (3333,10 + 311 + 787,85 \sin 32,2) \tan 38,14}{787,85 \cos 32,2}$$

$$= \mathbf{4,898}$$

Kondisi II

$$W = \gamma \times \text{Luasan}$$

$$= 17,17 \times 196,38$$

$$= 3372,44 \text{ kN}$$

$$Q = 10 \text{ kN/m} \times (2 \text{ H})$$

$$= 10 \times (2 \times 15,55)$$

$$= 311 \text{ kN}$$

$$SF = \frac{C_{BL} + (W + Q + P_a \sin \alpha) \tan \phi}{P_a \cos \alpha}$$

$$= \frac{3,77 \times 16,76 + (3372,44 + 311 + 808,56 \sin 32,2) \tan 38,14}{808,56 \cos 32,2}$$

$$= \mathbf{4,761}$$

Kondisi II

$$W = \gamma \times \text{Luasan}$$

$$= 18,18 \times 196,38$$

$$= 3570,97 \text{ kN}$$

$$Q = 10 \text{ kN/m} \times (2 \text{ H})$$

$$= 10 \times (2 \times 15,55)$$

$$\begin{aligned}
&= 311 \text{ kN} \\
SF &= \frac{C B_L + (W + Q + P_a \sin \alpha) \tan \phi}{P_a \cos \alpha} \\
&= \frac{0,00 \times 16,76 + (3570,97 + 311 + 844,08 \sin 32,2) \tan 38,14}{844,08 \cos 32,2} \\
&= \mathbf{4,761}
\end{aligned}$$

Pada sudut pemasangan nail (i) 17° angka stabilitas geser diperoleh sebesar 4,898 untuk kondisi lereng dalam keadaan normal. Pada kondisi lereng terpengaruh air diperoleh angka stabilitas geser sebesar 4,761. Sedangkan saat kondisi lereng *full saturated* didapatkan angka stabilitas geser sebesar 4,763. Perhitungan angka keamanan terhadap pergeseran untuk sudut 10° s/d 20° ditampilkan dalam Tabel 4.12.

Tabel 4. 12 Angka Keamanan Terhadap Geser

Sudut Nail	Angka Keamanan Terhadap Geser		
	Kondisi I	Kondisi II	Kondisi III
10°	4.897	4.751	4.752
11°	4.888	4.742	4.744
12°	4.900	4.754	4.755
13°	4.890	4.754	4.755
14°	4.892	4.756	4.757
15°	4.894	4.757	4.759
16°	4.896	4.759	4.761
17°	4.898	4.761	4.763
18°	4.901	4.762	4.765
19°	4.903	4.764	4.767
20°	4.906	4.766	4.770

Angka keamanan terhadap geser seluruhnya telah memenuhi rekomendasi SNI 8460:2017 ($SF > 1,50$).

4.2.2 Analisis Stabilitas Internal

4.2.2.1 Stabilitas Terhadap Putus Tulangan

Perhitungan dilakukan pada *nail* nomor 6 dengan panjang *nail* (L) adalah 9 m dan jarak vertikal (S_v) maupun horizontal (S_h) adalah 1,50 m. Sama dengan Sub-bab 4.2.1.1 tentang stabilitas global dan Sub-bab 4.2.1.2 tentang stabilitas pergeseran,

perhitungan stabilitas terhadap putus tulangan juga menggunakan sudut pemasangan *nail* terhadap bidang horizontal (i) sebesar 17° . Analisa dilakukan pada 3 kondisi lereng dimana kondisi I merupakan lereng dengan kondisi normal, kondisi II merupakan lereng dengan pengaruh hujan, kondisi III merupakan keadaan dimana lereng *full saturated*.

- a) Panjang *nail* yang berada di belakang garis bidang gelincir
 Panjang *nail* yang berada di belakang garis bidang gelincir (L_{eff}) diketahui dari gambar AutoCAD 2015.

$$L_{eff} \text{ untuk } \textit{nail} \text{ ke-6} = 3,9362 \text{ m.}$$

Panjang *nail* di belakang bidang gelincir (L_{eff}) untuk seluruh sudut pemasangan *nail* ditampilkan dalam Tabel 4.15 dan 4.16.

- b) Koefisien tekanan tanah lateral aktif

Terdapat 4 lapisan tanah dengan sudut geser dalam (ϕ) dan berat isi (γ) yang beragam. Untuk itu dilakukan perhitungan nilai rata-rata sudut geser (ϕ) dan berat isi tanah (γ). Rata-rata dilakukan terhadap bidang tanah yang bersinggungan dengan permukaan *nail* ke-6. Hasil nilai ϕ yang mewakili ditampilkan dalam tabel 4.13.

Nilai koefisien tekanan tanah lateral aktif dihitung menggunakan formula 2.19.

Tabel 4. 13 Parameter Perhitungan SF internal
Nail ke-6 ($i = 17^\circ$)

Kondisi	ϕ ($^\circ$)	K_a
Kondisi I	38,14	0,2174
Kondisi II	38,14	0,2174
Kondisi III	38,14	0,2174

- c) Tegangan horizontal

Nail ke-6 berada pada ketinggian (z) 8,50 m. Tegangan horizontal (σ) dihitung menggunakan persamaan 2.22. Nilai

σ yang diterima Nail ke-6 pada sudut pemasangan nail 17° ditampilkan dalam Tabel 4.14.

Tabel 4. 14 Nilai Tegangan Horizontal
Pada Nail ke-6 ($i = 17^\circ$)

Kondisi	Ka	γ (kN/m ³)	Z (m)	σ_h (kN/m ²)
Kondisi I	0,2174	17,070	8,50	31.5499
Kondisi II	0,2174	17,106	8,50	31.6164
Kondisi III	0,2174	18,691	8,50	34.5459

Perhitungan untuk nail ke- 1 s/d 5 dan 7 s/d 10 disajikan dalam tabel 4.16

d) Angka keamanan terhadap putus tulangan

Perhitungan angka keamanan terhadap putus tulangan dilakukan dengan persamaan 2.21.

Kondisi I

$$SF_r = \frac{\left(\frac{0,25 \times \pi \times 25^2 \times 420}{1000} \right)}{31,5499 \times 1,5 \times 1,5}$$

$$= 2,905 \text{ (OK > 1,50)}$$

Kondisi II

$$SF_r = \frac{\left(\frac{0,25 \times \pi \times 25^2 \times 420}{1000} \right)}{31.6164 \times 1,5 \times 1,5}$$

$$= 2,899$$

Kondisi III

$$SF_r = \frac{\left(\frac{0,25 \times \pi \times 25^2 \times 420}{1000} \right)}{34.5459 \times 1,5 \times 1,5}$$

$$= 2,654$$

4.2.2.2 Stabilitas Terhadap Cabut Tulangan

Perhitungan stabilitas terhadap cabut tulangan (*pull out*) dilakukan dengan menggunakan parameter yang sama dengan Sub-bab 4.2.2.1 tentang perhitungan stabilitas terhadap putus tulangan. Adapun dalam perhitungan stabilitas terhadap cabut tulangan dilakukan dengan persamaan 2.23.

Kondisi I

$$SF_p = \frac{\pi \times 125 \times 0,10 \times 3,9362}{31,5499 \times 1,50 \times 1,50}$$
$$= 2,004$$

Kondisi II

$$SF_p = \frac{\pi \times 125 \times 0,10 \times 3,9362}{31,6164 \times 1,50 \times 1,50}$$
$$= 2,001$$

Kondisi III

$$SF_p = \frac{\pi \times 125 \times 0,10 \times 3,9362}{34,5459 \times 1,50 \times 1,50}$$
$$= 2,000$$

Pada perhitungan stabilitas internal untuk *nail* ke-6 perkuatan lereng dengan *soil nailing* dengan sudut pemasangan *nail* terhadap bidang horizontal sebesar 17° didapatkan angka keamanan terhadap stabilitas putus tulangan sebesar 2,905 pada kondisi lereng normal. Pada kondisi lereng terpengaruh hujan, angka keamanan terhadap putus tulangan didapat sebesar 2,899. Sedangkan pada kondisi lereng *full saturated* angka keamanan terhadap putus tulangan diperoleh sebesar 2,654. Angka keamanan terhadap putus tulangan pada tiga kondisi yang ditinjau telah memenuhi angka keamanan yang direkomendasikan SNI 8460:2017 ($F_r > 1,50$).

Hasil perhitungan angka keamanan terhadap cabut pada kondisi lereng normal adalah sebesar 2,004. Pada kondisi lereng terpengaruh air hujan, angka keamanan terhadap cabut tulangan adalah 2,001. Sedangkan saat lereng kondisi *full saturated*, angka keamanan terhadap cabut tulangan didapatkan sebesar 2,000.

Hasil perhitungan stabilitas internail *nail* ke 1 s/d 5 dan 7 s/d 10 pada perkuatan lereng dengan *soil nailing* di Ruas Giriwoyo – Glonggong KM. SKA. 81+200 sisi Kanan ditampilkan dalam Tabel 4.18.

Tabel 4. 15 Panjang *Nail* di Belakang Bidang Gelincir (1)

Nail ke-	Z (m)	L_{eff} (m)					
		10°	11°	12°	13°	14°	15°
1.	1,00	5.4211	5.4277	5.4334	5.4382	5.4420	5.4450
2.	2,50	5.1851	5.1975	5.2088	5.2192	5.1657	5.2370
3.	4,00	5.2184	5.2361	5.2527	5.2683	5.2828	5.2963
4.	5,50	5.3870	5.4094	5.4307	5.4509	5.4700	5.4880
5.	7,00	5.7016	5.7276	5.7524	5.7760	5.7985	5.8199
6.	8,50	3.5832	3.6397	3.6941	3.7464	3.7967	3.8450
7.	10,00	4.4077	4.4660	4.5220	4.5758	4.6275	4.6772
8.	11,50	5.4614	5.5160	5.5684	5.6186	5.6668	5.7129
9.	13,00	6.8077	6.8496	6.8894	6.9274	6.9636	6.9982
10.	14,50	8.4878	8.5003	8.5121	8.5232	8.5338	8.5347

Tabel 4. 16 Panjang *Nail* di Belakang Bidang Gelincir (2)

Nail ke-	Z (m)	L_{eff} (m)				
		16°	17°	18°	19°	20°
1.	1,00	5.4471	5.4482	5.4485	5.4478	5.4463
2.	2,50	5.2444	5.2509	5.2564	5.2610	5.2646
3.	4,00	5.3088	5.3203	5.3309	5.3404	5.3490
4.	5,50	5.5050	5.5209	5.5359	5.5499	5.5629
5.	7,00	5.8403	5.8596	5.8779	5.8952	5.9116
6.	8,50	3.8915	3.9362	3.9791	4.0202	4.0597
7.	10,00	4.7249	4.7708	4.8148	4.8571	4.8976
8.	11,50	5.7571	5.7994	5.8400	5.8790	5.9163
9.	13,00	7.0311	7.0625	7.0926	7.1212	7.1486
10.	14,50	8.5531	8.5620	8.5705	8.5785	8.5860

Tabel 4. 17 Tegangan Horizontal Pada *Nail* ($i = 17^\circ$)

Nail	Ka	σ_h (kN/m ²)		
		Kondisi I	Kondisi II	Kondisi III
1.	0.2788	4.6827	4.6783	4.7099

Nail	Ka	σ_h (kN/m ²)		
		Kondisi I	Kondisi II	Kondisi III
2.	0.2669	11.2991	11.2173	11.7289
3.	0.2522	17.2579	17.4799	18.3355
4.	0.2410	22.5411	22.5242	24.1835
5.	0.2274	27.2205	27.2429	29.5238
6.	0.2174	31.5499	31.6164	34.5459
7.	0.2174	37.1175	37.1958	40.6422
8.	0.2174	42.6851	42.7752	46.7386
9.	0.2174	48.2527	48.3546	52.8349
10.	0.2174	53.8204	53.9339	58.9312

Tabel 4. 18 Nilai Keamanan Stabilitas Internal Nail ($i = 17^\circ$)

Nail	Putus Nail (F_r)			Cabut Nail (F_p)		
	Kondisi	Kondisi	Kondisi	Kondisi	Kondisi	Kondisi
	I	II	III	I	II	III
1.	19.576	19.594	19.462	18.690	18.707	18.581
2.	8.113	8.172	7.815	7.465	7.520	7.191
3.	5.312	5.244	4.999	4.952	4.889	4.661
4.	4.067	4.070	3.790	3.934	3.937	3.667
5.	3.367	3.365	3.105	3.458	3.455	3.188
6.	2.905	2.899	2.653	2.004	2.001	2.000
7.	2.470	2.464	2.256	2.065	2.060	2.030
8.	2.147	2.143	1.961	2.182	2.178	2.117
9.	1.900	1.896	1.735	2.351	2.346	2.147
10.	1.703	1.700	1.555	2.555	2.550	2.334

Pada pemasangan nail sudut 17° dan lereng dalam kondisi normal, semua baris nail aman terhadap tinjauan stabilitas internal. Angka stabilitas terhadap putus tulangan ($F_r > 1,50$ dan angka stabilitas terhadap tarik nail ($F_p > 2,00$) telah memenuhi syarat SNI 8460:2017. Kondisi kritis terdapat pada nail ke-6 dan ke-7. Hal ini disebabkan oleh kondisi pada

nail ke-6 dan ke-7 terlalu pendek di bagian belakang bidang gelincir. Namun demikian, hasil perhitungan telah menunjukkan kondisi aman.

4.3 Korelasi Sudut Pemasangan *Nail* Terhadap Angka Keamanan Lereng

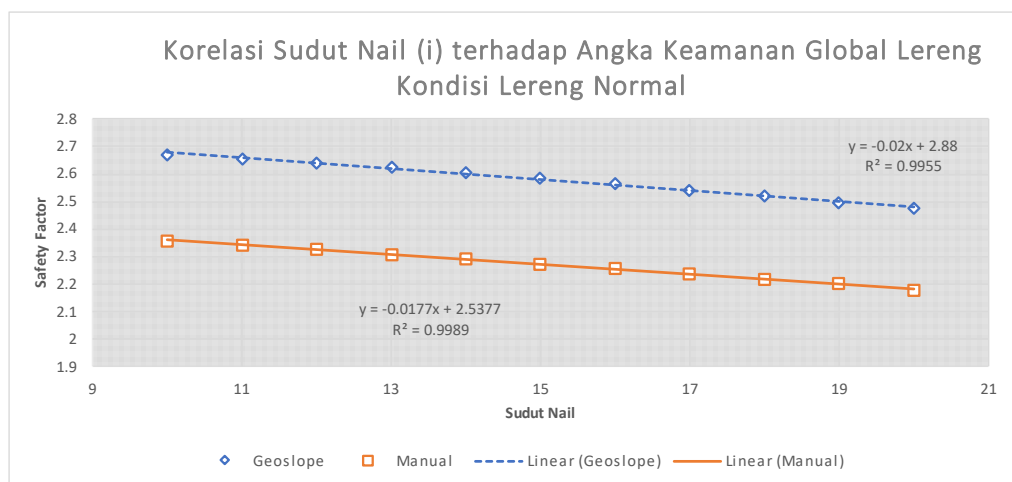
Hubungan antara sudut pemasangan *nail* terhadap angka keamanan lereng dapat diketahui melalui perhitungan angka keamanan lereng dari tiap variasi sudut pemasangan *nail*. Perhitungan angka keamanan pada masing-masing sudut dilakukan secara manual maupun dengan Software Geoslope 2012. Perhitungan manual dilakukan dengan langkah-langkah Sub-bab 4.2.1.1 tentang perhitungan stabilitas global. Perhitungan terhadap stabilitas geser (sesuai dengan langkah-langkah pada Sub-bab 4.2.1.2) juga dilakukan pada tiap sudut pemasangan *nail* untuk keperluan kontrol.

Pada tesis mengenai Pengaruh Sudut Pemasangan *Nail* Dalam Stabilisasi Lereng Metode *Soil Nailing* di Ruas Jalan Giriwoyo-Glonggong KM. SKA. 81+200 (Kab. Wonogiri) ini, penulis melakukan perhitungan angka keamanan lereng dengan variasi sudut pemasangan *nail* 10° s/d 20° terhadap bidang horizontal. Hubungan sudut pemasangan *nail* dalam stabilitas lereng dengan *soil nailing* di Ruas Giriwoyo – Glonggong KM. SKA. 81+200 ditampilkan dalam Tabel 4.19; Gambar 4.17; 4.18; dan 4.19.

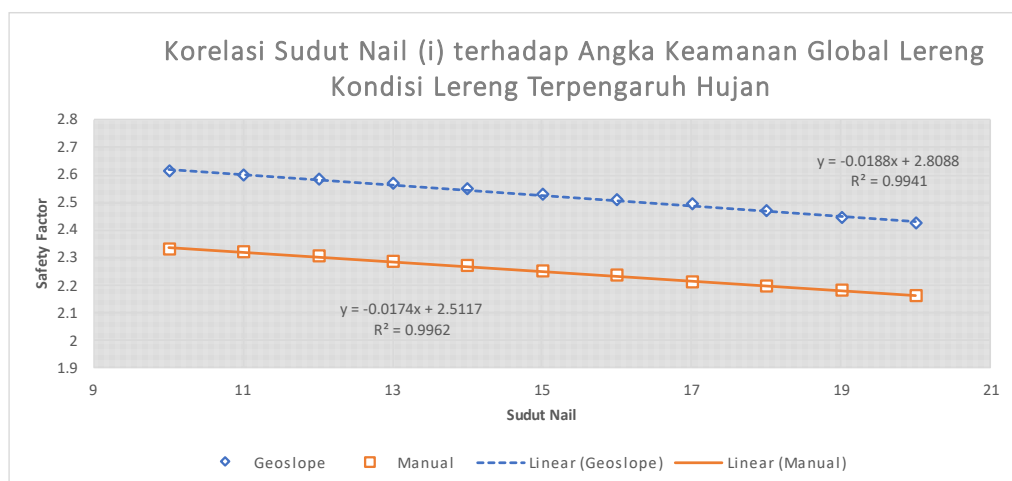
Tabel 4. 19 Hubungan Sudut Pemasangan *Nail* Terhadap SF Eksternal Lereng

Sudut <i>Nail</i> (°)	Angka Keamanan Global Lereng					
	Kondisi I		Kondisi II		Kondisi III	
	Geoslope	Manual	Geoslope	Manual	Geoslope	Manual
10	2.672	2.358	2.613	2.331	2.319	2.151
11	2.657	2.342	2.599	2.322	2.309	2.136
12	2.641	2.325	2.584	2.306	2.299	2.120
13	2.624	2.308	2.568	2.289	2.288	2.104
14	2.606	2.290	2.551	2.271	2.276	2.087
15	2.584	2.274	2.531	2.254	2.26	2.071
16	2.563	2.256	2.511	2.236	2.246	2.055

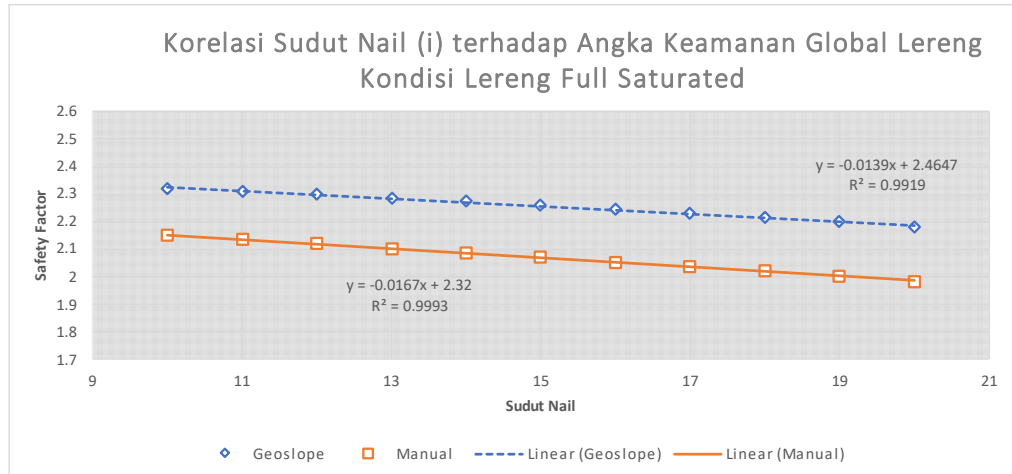
Sudut <i>Nail</i> (°)	Angka Keamanan Global Lereng					
	Kondisi I		Kondisi II		Kondisi III	
	Geoslope	Manual	Geoslope	Manual	Geoslope	Manual
17	2.542	2.238	2.495	2.211	2.231	2.037
18	2.520	2.219	2.470	2.200	2.215	2.020
19	2.497	2.201	2.448	2.181	2.199	2.002
20	2.474	2.179	2.426	2.163	2.181	1.984



Gambar 4. 17 Korelasi Sudut *Nail* Dengan SF (Kondisi I)



Gambar 4. 18 Korelasi Sudut *Nail* Dengan SF (Kondisi II)



Gambar 4. 19 Korelasi Sudut *Nail* Dengan SF (Kondisi III)

Hasil analisis Geoslope 2012 tentang pengaruh sudut pemasangan *nail* terhadap stabilitas global lereng adalah semakin besar sudut *nail* maka semakin kecil angka kewanan lereng. Hubungan ini berlaku pada tiga kondisi yakni lereng dalam keadaan normal (kondisi I), lereng dengan pengaruh air hujan (kondisi II), dan lereng dengan kondisi *full saturated* (kondisi III). Pengaruh sudut *nail* (x) terhadap angka keamanan lereng (y) dalam kondisi I dinyatakan dalam persamaan $y = -0,02x + 2,88$. Hubungan sudut *nail* dengan angka keamanan global lereng pada kondisi II dinyatakan dalam persamaan $y = 0,0188x + 2,8088$. Sedangkan pada kondisi III, hubungan pemasangan *nail* terhadap angka keamanan lereng dinyatakan dalam persamaan $y = -0,0139x + 2,4647$.

Tren yang sama juga didapatkan melalui perhitungan manual, dimana terjadi penurunan angka keamanan global lereng dengan meningkatnya besaran sudut pemasangan *nail*. Sudut *nail* sebagai variabel bebas (x) memiliki pengaruh terhadap angka keamanan global lereng sebagai variabel terikat (y). Hubungan x dan y pada kondisi I dinyatakan dalam persamaan $y = -0,0177x + 2,5377$. Pada kondisi II dinyatakan dalam persamaan $y = -0,0174x + 2,5117$. Sedangkan pengaruh sudut pemasangan *nail* terhadap angka keamanan global lereng pada kondisi III dinyatakan dalam persamaan $y = -0,0167x + 2,32$.

Tinjauan angka keamanan stabilitas eksternal (global dan geser) pada setiap sudut pemasangan *nail* 10° s/d 20° telah memenuhi syarat angka keamanan

yang diberikan oleh SNI 8460:2017, namun perlu dilakukan perhitungan angka keamanan untuk stabilitas internal (putus tulangan dan cabut tulangan).

Kontrol untuk stabilitas internal tiap masing-masing sudut pemasangan *nail*:

a) Sudut pemasangan *nail* (i) = 10°

Tabel 4. 20 Tegangan Horizontal Pada *Nail* ($i = 10^\circ$)

Nail	Ka	σ_h (kN/m ²)		
		Kondisi I	Kondisi II	Kondisi III
1.	0.2827	4.7044	4.7054	4.7109
2.	0.2733	11.4710	11.4191	11.7541
3.	0.2596	17.6643	17.7392	18.6809
4.	0.2438	22.7725	22.7641	24.3854
5.	0.2361	28.0623	28.1111	30.2372
6.	0.2174	31.5499	31.6171	34.5459
7.	0.2174	37.1175	37.1966	40.6422
8.	0.2174	42.6851	42.7761	46.7386
9.	0.2174	48.2527	48.3556	52.8349
10.	0.2174	53.8204	53.9669	58.9312

Tabel 4. 21 Nilai Keamanan Stabilitas Internal *Nail* ($i = 10^\circ$)

Nail	Putus Nail (F_r) $\rightarrow$ ($SF > 1,50$)			Cabut Nail (F_p) $\rightarrow$ ($SF > 2,00$)		
	Kondisi I	Kondisi II	Kondisi III	Kondisi I	Kondisi II	Kondisi III
1.	19.4854	19.4812	19.4585	18.5108	18.5068	18.4853
2.	7.9912	8.0275	7.7987	7.2610	7.2940	7.0861
3.	5.1894	5.1675	4.9070	4.7455	4.7254	4.4872
4.	4.0253	4.0268	3.7591	3.7999	3.8013	3.54860
5.	3.2665	3.2609	3.0316	3.2637	3.2581	3.0290
6.	2.9054	2.8993	2.6535	1.8244	1.8205	1.8359
7.	2.4696	2.4644	2.2554	1.9075	1.9035	1.8864
8.	2.1475	2.1429	1.9613	2.0553	2.0509	2.0007

Nail	Putus Nail (F_r) $\rightarrow$ ($SF > 1,50$)			Cabut Nail (F_p) $\rightarrow$ ($SF > 2,00$)		
	Kondisi I	Kondisi II	Kondisi III	Kondisi I	Kondisi II	Kondisi III
9.	1.8997	1.8957	1.7350	2.2663	2.2615	2.0698
10.	1.7032	1.6986	1.5555	2.5333	2.5264	2.3136

Tabel 4.21 menampilkan nilai yang tidak memenuhi angka keamanan rekomendasi SNI 8460:2017 pada perkuaatan *soil nailing* dengan sudut pemasangan *nail* sebesar 10° yakni stabilitas terhadap cabut tulangan pada *nail* ke-6 dan ke-7 ($F_p < 2,00$)

b) Sudut pemasangan *nail* (i) = 11°

Tabel 4. 22 Tegangan Horizontal Pada *Nail* ($i = 11^\circ$)

Nail	Ka	σ_h (kN/m ²)		
		Kondisi I	Kondisi II	Kondisi III
1.	0.2827	4.7044	4.7054	4.7109
2.	0.2721	11.4348	11.3741	11.7495
3.	0.2596	17.6643	17.7387	18.6809
4.	0.2433	22.7212	22.7109	24.3407
5.	0.2344	27.8762	27.9192	30.0807
6.	0.2174	31.5499	31.6170	34.5459
7.	0.2174	37.1175	37.1964	40.6422
8.	0.2174	42.6851	42.7759	46.7386
9.	0.2174	48.2527	48.3554	52.8349
10.	0.2174	53.8204	53.9647	58.9312

Tabel 4. 23 Nilai Keamanan Stabilitas Internal *Nail* ($i = 11^\circ$)

Nail	Putus Nail (F_r) $\rightarrow$ ($SF > 1,50$)			Cabut Nail (F_p) $\rightarrow$ ($SF > 2,00$)		
	Kondisi I	Kondisi II	Kondisi III	Kondisi I	Kondisi II	Kondisi III
1.	19.4854	19.4812	19.4585	18.5333	18.5294	18.5078
2.	8.0165	8.0593	7.8018	7.3014	7.3404	7.1058

Nail	Putus Nail (F_r) $\rightarrow$ ($SF > 1,50$)			Cabut Nail (F_p) $\rightarrow$ ($SF > 2,00$)		
	Kondisi I	Kondisi II	Kondisi III	Kondisi I	Kondisi II	Kondisi III
3.	5.1894	5.1676	4.9070	4.7616	4.7416	4.5025
4.	4.0344	4.0362	3.7660	3.8244	3.8261	3.5699
5.	3.2883	3.2833	3.0474	3.3005	3.2954	3.0586
6.	2.9055	2.8993	2.6535	1.8531	1.8492	1.8621
7.	2.4696	2.4644	2.2555	1.9328	1.9287	1.9094
8.	2.1475	2.1430	1.9613	2.0758	2.0714	2.0195
9.	1.8997	1.8957	1.7350	2.2803	2.2754	2.0825
10.	1.7032	1.6986	1.5555	2.5370	2.5303	2.3170

Tabel 4.23 menampilkan nilai yang tidak memenuhi angka keamanan rekomendasi SNI 8460:2017 pada perkuaatan *soil nailing* dengan sudut pemasangan *nail* sebesar 11° yakni stabilitas terhadap cabut tulangan pada *nail* ke-6 dan ke-7 ($F_p < 2,00$)

c) Sudut pemasangan *nail* (i) = 12°

Tabel 4. 24 Tegangan Horizontal Pada *Nail* ($i = 12^\circ$)

Nail	Ka	σ_h (kN/m ²)		
		Kondisi I	Kondisi II	Kondisi III
1.	0.2827	4.7044	4.7054	4.7109
2.	0.2711	11.4028	11.3367	11.7451
3.	0.2596	17.6643	17.7382	18.6809
4.	0.2428	22.6786	22.6666	24.3036
5.	0.2330	27.7212	27.7593	29.9498
6.	0.2174	31.5499	31.6168	34.5459
7.	0.2174	37.1175	37.1963	40.6422
8.	0.2174	42.6851	42.7757	46.7386
9.	0.2174	48.2527	48.3552	52.8349
10.	0.2174	53.8204	53.9626	58.9312

Tabel 4. 25 Nilai Keamanan Stabilitas Internal Nail ($i = 12^\circ$)

Nail	Putus Nail (F_r) $\rightarrow$ ($SF > 1,50$)			Cabut Nail (F_p) $\rightarrow$ ($SF > 2,00$)		
	Kondisi I	Kondisi II	Kondisi III	Kondisi I	Kondisi II	Kondisi III
1.	19.4854	19.4812	19.4585	18.5528	18.5488	18.5272
2.	8.0389	8.0859	7.8047	7.3378	7.3806	7.1240
3.	5.1894	5.1678	4.9070	4.7767	4.7568	4.5167
4.	4.0420	4.0441	3.7717	3.8466	3.8487	3.5894
5.	3.3067	3.3022	3.0607	3.3333	3.3287	3.0853
6.	2.9055	2.8993	2.6535	1.8808	1.8769	1.8874
7.	2.4696	2.4644	2.2555	1.9570	1.9529	1.9315
8.	2.1475	2.1430	1.9613	2.0955	2.0911	2.0375
9.	1.8997	1.8957	1.7350	2.2935	2.2886	2.0946
10.	1.7032	1.6987	1.5555	2.5406	2.5339	2.3202

Tabel 4.25 menampilkan nilai yang tidak memenuhi angka keamanan rekomendasi SNI 8460:2017 pada perkuaatan *soil nailing* dengan sudut pemasangan *nail* sebesar 12° yakni stabilitas terhadap cabut tulangan pada *nail* ke-6 dan ke-7 ($F_p < 2,00$)

d) Sudut pemasangan *nail* (i) = 13°

Tabel 4. 26 Tegangan Horizontal Pada Nail ($i = 13^\circ$)

Nail	Ka	σ_h (kN/m ²)		
		Kondisi I	Kondisi II	Kondisi III
1.	0.2827	4.7044	4.7054	4.7109
2.	0.2702	11.3757	11.3051	11.7412
3.	0.2586	17.5915	17.6591	18.6193
4.	0.2425	22.6425	22.6292	24.2721
5.	0.2319	27.5900	27.6241	29.8387
6.	0.2174	31.5499	31.6167	34.5459
7.	0.2174	37.1175	37.1961	40.6422

Nail	Ka	σ_h (kN/m ²)		
		Kondisi I	Kondisi II	Kondisi III
8.	0.2174	42.6851	42.7756	46.7386
9.	0.2174	48.2527	48.3550	52.8349
10.	0.2174	53.8204	53.9606	58.9312

Tabel 4. 27 Nilai Keamanan Stabilitas Internal *Nail* ($i = 13^\circ$)

Nail	Putus Nail (F_r) $\rightarrow$ ($SF > 1,50$)			Cabut Nail (F_p) $\rightarrow$ ($SF > 2,00$)		
	Kondisi I	Kondisi II	Kondisi III	Kondisi I	Kondisi II	Kondisi III
1.	19.4854	19.4813	19.4585	18.5692	18.5652	18.5436
2.	8.0581	8.1084	7.8073	7.3700	7.4160	7.1406
3.	5.2109	5.1909	4.9232	4.8107	4.7923	4.5451
4.	4.0484	4.0508	3.7766	3.8671	3.8694	3.6075
5.	3.3225	3.3184	3.0721	3.3629	3.3588	3.1095
6.	2.9055	2.8993	2.6535	1.9075	1.9034	1.9118
7.	2.4696	2.4644	2.2555	1.9803	1.9761	1.9528
8.	2.1475	2.1430	1.9613	2.1144	2.1100	2.0548
9.	1.8997	1.8957	1.7350	2.3062	2.3013	2.1061
10.	1.7032	1.6988	1.5555	2.5439	2.5373	2.3233

Tabel 4.27 menampilkan nilai yang tidak memenuhi angka keamanan rekomendasi SNI 8460:2017 pada perkuaatan *soil nailing* dengan sudut pemasangan *nail* sebesar 13° yakni stabilitas terhadap cabut tulangan pada *nail* ke-6 dan ke-7 ($F_p < 2,00$)

e) Sudut pemasangan *nail* (i) = 14°

Tabel 4. 28 Tegangan Horizontal Pada *Nail* ($i = 14^\circ$)

Nail	Ka	σ_h (kN/m ²)		
		Kondisi I	Kondisi II	Kondisi III
1.	0.2827	4.7044	4.7054	4.7109
2.	0.2693	11.3474	11.2783	11.7368

Nail	Ka	σ_h (kN/m ²)		
		Kondisi I	Kondisi II	Kondisi III
3.	0.2571	17.4900	17.5491	18.5332
4.	0.2422	22.6116	22.5973	24.2452
5.	0.2308	27.4777	27.5084	29.7432
6.	0.2174	31.5499	31.6166	34.5459
7.	0.2174	37.1175	37.1961	40.6422
8.	0.2174	42.6851	42.7755	46.7386
9.	0.2174	48.2527	48.3549	52.8349
10.	0.2174	53.8204	53.9586	58.9312

Tabel 4. 29 Nilai Keamanan Stabilitas Internal *Nail* ($i = 14^\circ$)

Nail	Putus Nail (F_r) $\rightarrow$ ($SF > 1,50$)			Cabut Nail (F_p) $\rightarrow$ ($SF > 2,00$)		
	Kondisi I	Kondisi II	Kondisi III	Kondisi I	Kondisi II	Kondisi III
1.	19.4854	19.4813	19.4585	18.5822	18.5782	18.5565
2.	8.0782	8.1277	7.8102	7.3126	7.3574	7.0700
3.	5.2411	5.2234	4.9461	4.8519	4.8356	4.5788
4.	4.0540	4.0565	3.7808	3.8859	3.8884	3.6241
5.	3.3360	3.3323	3.0819	3.3898	3.3860	3.1316
6.	2.9055	2.8993	2.6535	1.9331	1.9290	1.9351
7.	2.4696	2.4644	2.2555	2.0027	1.9984	1.9732
8.	2.1475	2.1430	1.9613	2.1326	2.1281	2.0713
9.	1.8997	1.8957	1.7350	2.3182	2.3133	2.1172
10.	1.7032	1.6988	1.5555	2.5470	2.5405	2.3261

Tabel 4.29 menampilkan nilai yang tidak memenuhi angka keamanan rekomendasi SNI 8460:2017 pada perkuaatan *soil nailing* dengan sudut pemasangan *nail* sebesar 14° yakni stabilitas terhadap cabut tulangan pada *nail* ke-6 dan ke-7 ($F_p < 2,00$)

f) Sudut pemasangan *nail* (i) = 15°

Tabel 4. 30 Tegangan Horizontal Pada *Nail* ($i = 15^\circ$)

Nail	Ka	σ_h (kN/m ²)		
		Kondisi I	Kondisi II	Kondisi III
1.	0.2827	4.7044	4.7054	4.7109
2.	0.2693	11.3467	11.2551	11.7367
3.	0.2559	17.4022	17.4540	18.4585
4.	0.2419	22.5849	22.5696	24.2218
5.	0.2300	27.3805	27.4082	29.6604
6.	0.2174	31.5499	31.6165	34.5459
7.	0.2174	37.1175	37.1959	40.6422
8.	0.2174	42.6851	42.7753	46.7386
9.	0.2174	48.2527	48.3547	52.8349
10.	0.2174	53.8204	53.9568	58.9312

Tabel 4. 31 Nilai Keamanan Stabilitas Internal *Nail* ($i = 15^\circ$)

Nail	Putus Nail (F_r) $\rightarrow$ ($SF > 1,50$)			Cabut Nail (F_p) $\rightarrow$ ($SF > 2,00$)		
	Kondisi	Kondisi	Kondisi	Kondisi	Kondisi	Kondisi
	I	II	III	I	II	III
1.	19.4854	19.4813	19.4585	18.5924	18.5885	18.5668
2.	8.0787	8.1444	7.8103	7.4140	7.4743	7.1676
3.	5.2675	5.2519	4.9661	4.8889	4.8744	4.6091
4.	4.0588	4.0615	3.7845	3.9033	3.9060	3.6395
5.	3.3479	3.3445	3.0905	3.4144	3.4110	3.1519
6.	2.9055	2.8993	2.6535	1.9577	1.9535	1.9576
7.	2.4696	2.4644	2.2555	2.0242	2.0199	1.9929
8.	2.1475	2.1430	1.9613	2.1499	2.1454	2.0872
9.	1.8997	1.8957	1.7350	2.3297	2.3248	2.1277
10.	1.7032	1.6989	1.5555	2.5473	2.5409	2.3264

Tabel 4.31 menampilkan nilai yang tidak memenuhi angka keamanan rekomendasi SNI 8460:2017 pada perkuaatan *soil nailing* dengan sudut

pemasangan *nail* sebesar 15° yakni stabilitas terhadap cabut tulangan pada *nail* ke-6 dan ke-7. Pada *nail* ke-6 angka keamanan terhadap cabut tulangan berada di bawah persyaratan SNI 8460:2017 pada semua kondisi yang ditinjau. Sedangkan pada *nail* ke-7, angka keamanan terhadap cabut tulangan tidak memenuhi SNI 8460:2017 pada kondisi III.

g) Sudut pemasangan *nail* (i) = 16°

Tabel 4. 32 Tegangan Horizontal Pada *Nail* ($i = 16^\circ$)

Nail	Ka	σ_h (kN/m ²)		
		Kondisi I	Kondisi II	Kondisi III
1.	0.2822	4.6984	4.6979	4.7107
2.	0.2683	11.3147	11.2350	11.7315
3.	0.2548	17.3255	17.3710	18.3931
4.	0.2416	22.5616	22.5455	24.2014
5.	0.2292	27.2954	27.3206	29.5878
6.	0.2174	31.5499	31.6165	34.5459
7.	0.2174	37.1175	37.1959	40.6422
8.	0.2174	42.6851	42.7753	46.7386
9.	0.2174	48.2527	48.3547	52.8349
10.	0.2174	53.8204	53.9551	58.9312

Tabel 4. 33 Nilai Keamanan Stabilitas Internal *Nail* ($i = 15^\circ$)

Nail	Putus Nail (F_r) $\rightarrow$ ($SF > 1,50$)			Cabut Nail (F_p) $\rightarrow$ ($SF > 2,00$)		
	Kondisi	Kondisi	Kondisi	Kondisi	Kondisi	Kondisi
	I	II	III	I	II	III
1.	19.5103	19.5123	19.4595	18.6233	18.6253	18.5748
2.	8.1016	8.1590	7.8137	7.4455	7.4983	7.1810
3.	5.2909	5.2770	4.9837	4.9221	4.9092	4.6364
4.	4.0629	4.0659	3.7877	3.9195	3.9223	3.6539
5.	3.3583	3.3552	3.0981	3.4370	3.4339	3.1707
6.	2.9055	2.8993	2.6535	1.9813	1.9772	1.9792

Nail	Putus Nail (F_r) $\rightarrow$ ($SF > 1,50$)			Cabut Nail (F_p) $\rightarrow$ ($SF > 2,00$)		
	Kondisi I	Kondisi II	Kondisi III	Kondisi I	Kondisi II	Kondisi III
7.	2.4696	2.4644	2.2555	2.0448	2.0405	2.0117
8.	2.1475	2.1430	1.9613	2.1665	2.1620	2.1024
9.	1.8997	1.8957	1.7350	2.3407	2.3357	2.1377
10.	1.7032	1.6989	1.5555	2.5528	2.5464	2.3314

Tabel 4.33 menampilkan nilai yang tidak memenuhi angka keamanan rekomendasi SNI 8460:2017 pada perkuaatan *soil nailing* dengan sudut pemasangan *nail* sebesar 16° yakni stabilitas terhadap cabut tulangan pada *nail* ke-6. Pada *nail* ke-6 angka keamanan terhadap cabut tulangan berada di bawah persyaratan SNI 8460:2017 pada semua kondisi yang ditinjau ($F_p < 2,00$).

h) Sudut pemasangan *nail* (i) = 17°

Stabilisasi lereng *soil nailing* dengan sudut pemasangan *nail* sebesar 17° telah memenuhi persyaratan angka keamanan yang diberikan oleh SNI 8460:2017 yakni $F_r > 1,50$ dan $F_p > 2,00$. Kontrol tinjauan stabilitas internal untuk sudut pemasangan *nail* sebesar 17° terhadap bidang horizontal disajikan dalam Tabel 4.18.

i) Sudut pemasangan *nail* (i) = 18°

Tabel 4. 34 Tegangan Horizontal Pada *Nail* ($i = 18^\circ$)

Nail	Ka	σ_h (kN/m ²)		
		Kondisi I	Kondisi II	Kondisi III
1.	0.2798	4.6687	4.6610	4.7091
2.	0.2673	11.2853	11.2017	11.7265
3.	0.2529	17.1980	17.2332	18.2842
4.	0.2412	22.5228	22.5054	24.1675
5.	0.2279	27.1541	27.1749	29.4669
6.	0.2174	31.5499	31.6164	34.5459
7.	0.2174	37.1175	37.1958	40.6422

Nail	Ka	σ_h (kN/m ²)		
		Kondisi I	Kondisi II	Kondisi III
8.	0.2174	42.6851	42.7752	46.7386
9.	0.2174	48.2527	48.3546	52.8349
10.	0.2174	53.8204	53.9519	58.9312

Tabel 4. 35 Nilai Keamanan Stabilitas Internal *Nail* ($i = 18^\circ$)

Nail	Putus Nail (F_r) $\rightarrow$ ($SF > 1,50$)			Cabut Nail (F_p) $\rightarrow$ ($SF > 2,00$)		
	Kondisi I	Kondisi II	Kondisi III	Kondisi I	Kondisi II	Kondisi III
1.	19.6344	19.6667	19.4658	18.7466	18.7775	18.5857
2.	8.1226	8.1833	7.8171	7.4819	7.5378	7.2005
3.	5.3301	5.3192	5.0134	4.9792	4.9691	4.6834
4.	4.0699	4.0731	3.7930	3.9483	3.9513	3.6796
5.	3.3758	3.3732	3.1108	3.4772	3.4745	3.2043
6.	2.9055	2.8993	2.6535	2.0259	2.0217	2.0200
7.	2.4696	2.4644	2.2555	2.0837	2.0793	2.0473
8.	2.1475	2.1430	1.9613	2.1977	2.1931	2.1309
9.	1.8997	1.8957	1.7350	2.3611	2.3562	2.1564
10.	1.7032	1.6990	1.5555	2.5580	2.5518	2.3361

Tabel 4.35 menampilkan angka kermanan terhadap putus *nail* dan cabut *nail* yang telah memenuhi angka keamanan rekomendasi SNI 8460:2017 pada perkuaatan *soil nailing* dengan sudut pemasangan *nail* sebesar 18° ($F_r > 1,50$ & $F_p > 2,00$).

j) Sudut pemasangan *nail* (i) = 19°

Tabel 4. 36 Tegangan Horizontal Pada *Nail* ($i = 19^\circ$)

Nail	Ka	σ_h (kN/m ²)		
		Kondisi I	Kondisi II	Kondisi III
1.	0.2788	4.6561	4.6455	4.7083
2.	0.2669	11.2730	11.1878	11.7243

Nail	Ka	σ_h (kN/m ²)		
		Kondisi I	Kondisi II	Kondisi III
3.	0.2522	17.1445	17.1754	18.2384
4.	0.2410	22.5051	22.4886	24.1520
5.	0.2274	27.0947	27.1137	29.4159
6.	0.2174	31.5499	31.6164	34.5459
7.	0.2174	37.1175	37.1958	40.6422
8.	0.2174	42.6851	42.7752	46.7386
9.	0.2174	48.2527	48.3546	52.8349
10.	0.2174	53.8204	53.9504	58.9312

Tabel 4. 37 Nilai Keamanan Stabilitas Internal *Nail* ($i = 19^\circ$)

Nail	Putus Nail (F_r) $\rightarrow$ ($SF > 1,50$)			Cabut Nail (F_p) $\rightarrow$ ($SF > 2,00$)		
	Kondisi I	Kondisi II	Kondisi III	Kondisi I	Kondisi II	Kondisi III
1.	19.6872	19.7324	19.4693	18.7947	18.8377	18.5866
2.	8.1315	8.1934	7.8185	7.4967	7.5538	7.2081
3.	5.3467	5.3371	5.0260	5.0037	4.9947	4.7036
4.	4.0732	4.0761	3.7954	3.9614	3.9643	3.6912
5.	3.3832	3.3808	3.1162	3.4951	3.4926	3.2193
6.	2.9055	2.8993	2.6535	2.0469	2.0426	2.0391
7.	2.4696	2.4644	2.2555	2.1020	2.0976	2.0640
8.	2.1475	2.1430	1.9613	2.2124	2.2078	2.1443
9.	1.8997	1.8957	1.7350	2.3707	2.3657	2.1651
10.	1.7032	1.6991	1.5555	2.5604	2.5542	2.3383

Tabel 4.37 menampilkan angka kermanan terhadap putus *nail* dan cabut *nail* yang telah memenuhi angka keamanan rekomendasi SNI 8460:2017 pada perkuaatan *soil nailing* dengan sudut pemasangan *nail* sebesar 19° ($F_r > 1,50$ & $F_p > 2,00$).

k) Sudut pemasangan *nail* (i) = 20°

Tabel 4. 38 Tegangan Horizontal Pada *Nail* ($i = 20^\circ$)

Nail	Ka	σ_h (kN/m ²)		
		Kondisi I	Kondisi II	Kondisi III
1.	0.2778	4.6449	4.6316	4.7074
2.	0.2666	11.2619	11.1754	11.7223
3.	0.2515	17.0965	17.1236	18.1972
4.	0.2399	22.4050	22.5684	24.0683
5.	0.2269	27.0413	27.0588	29.3701
6.	0.2174	31.5499	31.6165	34.5459
7.	0.2174	37.1175	37.1959	40.6422
8.	0.2174	42.6851	42.7752	46.7386
9.	0.2174	48.2527	48.3546	52.8349
10.	0.2174	53.8204	53.9490	58.9312

Tabel 4. 39 Nilai Keamanan Stabilitas Internal *Nail* ($i = 20^\circ$)

Nail	Putus Nail (F_r) $\rightarrow$ ($SF > 1,50$)			Cabut Nail (F_p) $\rightarrow$ ($SF > 2,00$)		
	Kondisi	Kondisi	Kondisi	Kondisi	Kondisi	Kondisi
	I	II	III	I	II	III
1.	19.7351	19.7917	19.4729	18.8351	18.8892	18.5849
2.	8.1396	8.2026	7.8198	7.5092	7.5673	7.2143
3.	5.3617	5.3532	5.0374	5.0258	5.0178	4.7218
4.	4.0913	4.0617	3.8086	3.9884	3.9595	3.7128
5.	3.3899	3.3877	3.1211	3.5117	3.5094	3.2332
6.	2.9055	2.8993	2.6535	2.0670	2.0626	2.0574
7.	2.4696	2.4644	2.2555	2.1196	2.1151	2.0800
8.	2.1475	2.1430	1.9613	2.2265	2.2218	2.1571
9.	1.8997	1.8957	1.7350	2.3798	2.3748	2.1734
10.	1.7032	1.6991	1.5555	2.5626	2.5565	2.3404

Tabel 4.39 menampilkan angka kewanan terhadap putus *nail* dan cabut *nail* yang telah memenuhi angka keamanan rekomendasi SNI 8460:2017 pada

perkuatan *soil nailing* dengan sudut pemasangan *nail* sebesar 20° ($F_r > 1,50$ & $F_p > 2,00$).

Rekapitulasi perhitungan stabilitas eksternal (keruntuhan global & keruntuhan geser) dan stabilitas internal (putus & cabut tulangan) serta desain yang dapat diterima ditampilkan dalam Tabel 4.40.

Tabel 4. 40 Rekapitulasi Perhitungan Stabilitas Eksternal dan Internal

Sudut Nail (°)	Stabilitas Eksternal		Stabilitas Internal		Keterangan	
	SF _{global} (> 1,50)		SF _{geser} (>1,50)	SF _{putus} (>1,50)		SF _{cabut} (>2,00)
	Geoslope	Manual				
10	√	√	√	√	X	Nail ke 6 & 7 tdk memenuhi SF _{cabut}
11	√	√	√	√	X	Nail ke 6 & 7 tdk memenuhi SF _{cabut}
12	√	√	√	√	X	Nail ke 6 & 7 tdk memenuhi SF _{cabut}
13	√	√	√	√	X	Nail ke 6 & 7 tdk memenuhi SF _{cabut}
14	√	√	√	√	X	Nail ke 6 & 7 tdk memenuhi SF _{cabut}
15	√	√	√	√	X	Nail ke 6 & 7 tdk memenuhi SF _{cabut}
16	√	√	√	√	X	Nail ke 6 tidak memenuhi SF _{cabut}
17	√	√	√	√	√	Ok.
18	√	√	√	√	√	Ok.
19	√	√	√	√	√	Ok.
20	√	√	√	√	√	Ok.

Sudut pemasangan *nail* dalam stabilisasi lereng dengan menggunakan metode *soil nailing* di Ruas Jalan Giriwoyo – Glonggong yang dapat diterima (aman terhadap tinjauan stabilitas eksternal dan stabilitas internal), serta masuk dalam rentang sudut rekomendasi SNI 8460:2017 adalah 17° s/d 20° .

4.4 Rencana Anggaran Biaya

Rencana Anggaran Biaya (RAB) adalah perhitungan banyaknya biaya yang diperlukan dari beberapa jenis pekerjaan konstruksi yang ada, dengan memperhitungkan keseluruhan komponen yang terlibat dalam pekerjaan tersebut. Yaitu mengenai tenaga kerja, bahan / material, peralatan yang diperlukan, serta biaya – biaya lain yang berhubungan dengan pelaksanaan bangunan atau proyek. Maka dapat diperhitungkan berapa kebutuhan anggaran

yang paling efektif dan efisien. Sehingga pada akhirnya akan diperoleh Rencana Anggaran Biaya (RAB) yang memenuhi kualitas dan spesifikasi yang telah ditentukan.

Perhitungan Rencana Anggaran Biaya (RAB) ini meliputi:

- a) Rekapitulasi Akhir
- b) Volume Pekerjaan (*Bill of Quantity*)
- c) Lembar Perhitungan (*Calculation Sheet*)
- d) Perhitungan Koefisien dan Analisa Harga Satuan Pekerjaan
- e) Harga Satuan Dasar (Bahan, Alat, dan Upah Tenaga)

Pada tahap penyusunan RAB untuk tesis mengenai stabilisasi lereng di Ruas Jalan Giriwoyo – Glonggong KM. SKA. 81+200 ini, penulis menggunakan referensi sebagai berikut:

- a) Spesifikasi Umum 2018 Revisi 2 (Direktorat Jenderal Bina Marga)
- b) Spesifikasi Khusus Interim Seksi 7.19 untuk Stabilisasi Lereng Menggunakan Metode *Soil Nailing* (Direktorat Jenderal Bina Marga)
- c) Spesifikasi Khusus Interim Seksi 7.18 untuk Beton Semprot (*Shotcrete*) (Direktorat Jenderal Bina Marga)
- d) Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 28/PRT/M/2016 untuk Analisa Harga Satuan
- e) Harga Satuan Dasar 2022 (Balai Besar Penanganan Jalan Nasional Jateng-DIY)

4.4.1 Rekapitulasi Akhir

Bagian rekapitulasi akhir merupakan perhitungan akhir dalam Rencana Anggaran Biaya (RAB). Pada bagian ini disajikan nilai total pekerjaan serta rinciannya dari masing-masing pokok pekerjaan.

Tabel 4. 41 Rekapitulasi Akhir Rencana Anggaran Biaya

No. Divisi	Uraian Pekerjaan	Jumlah Harga Pekerjaan (Rupiah) Stabilisasi Lereng Ruas Jalan Giriwoyo - Glonggong KM. SKA.
1	Umum	131,717,605.73
2	Drainase	-
3	Pekerjaan Tanah Dan Geosintetik	-
4	Pekerjaan Preventif	-
5	Perkerasan Berbutir Dan Perkerasan Beton Semen	-
6	Perkerasan Aspal	-
7	Struktur	2,987,380,706.47
8	Rehabilitasi Jembatan	-
9	Pekerjaan Harian Dan Pekerjaan Lain-Lain	-
10	Pekerjaan Pemeliharaan Kinerja	-
(A) Jumlah Harga Pekerjaan (termasuk Biaya Umum dan Keuntungan)		3,119,098,312.20
(B) Pajak Pertambahan Nilai (PPN) = 11% x (A)		343,100,814.34
(C) JUMLAH TOTAL HARGA PEKERJAAN = (A) + (B)		3,462,199,126.54
(D) DIBULATKAN		3,462,199,100.00
Terbilang :		<i>Tiga Milyar Empat Ratus Enam Puluh Dua Juta Seratus Sembilan Puluh Sembilan Ribu Seratus Rupiah</i>

Total nilai pekerjaan adalah Rp. 3.462.199.100,- dengan rincian Rp. 2.987.380.706,74 pekerjaan struktur dan sisanya merupakan biaya-biaya umum. *Breakdown* nilai pekerjaan dari masing-masing divisi ditampilkan dalam *Bill of Quantity*.

4.4.2 Volume Pekerjaan (*Bill of Quantity*)

Bill of Quantity (BOQ) menampilkan rincian volume beserta perkiraan harga dari masing-masing item pekerjaan. Perhitungan kuantitas diperoleh dari *calculation sheet* sedangkan harga satuan pekerjaan diperoleh dari analisa harga satuan pekerjaan.

Tabel 4. 42 BOQ Rencana Anggaran Biaya

No. Mata Pembayaran	Uraian	Satuan	Harga Satuan (Rupiah)	Stabilisasi Lereng Ruas Jalan Giriwoyo - Glonggong KM. SKA. 81+200 (Ka)	
				Perkiraan Kuantitas	Jumlah Harga-Harga (Rupiah)
a	b	c	e	g	h = (g x e)
	DIVISI 1. UMUM				
1.2	Mobilisasi	LS	64,950,000.00	1.00	64,950,000.00
1.8.(1)	Manajemen dan Keselamatan Lalu Lintas	LS	20,592,200.33	1.00	20,592,200.33
1.19	Keselamatan dan Kesehatan Kerja	LS	46,175,405.40	1.00	46,175,405.40
Jumlah Harga Pekerjaan DIVISI 1 (masuk pada Rekapitulasi Perkiraan Harga Pekerjaan)					131,717,605.73
	DIVISI 7. STRUKTUR				
SKh-I.7.18 (1)	Shotcrete (t = 7 cm)	m ²	510,543.74	1,280.00	653,495,984.20
SKh-I.7.19 (1)	Soil Nailing	m ¹	480,223.19	4,860.00	2,333,884,722.27
Jumlah Harga Pekerjaan DIVISI 7 (masuk pada Rekapitulasi Perkiraan Harga Pekerjaan)					2,987,380,706.47

4.4.3 Lembar Perhitungan (*Calculation Sheet*)

Calculation sheet adalah perhitungan volume dimana perencana melakukan perhitungan estimasi kebutuhan kuantitas dari masing-masing item pekerjaan. Hasil dari *calculation sheet* adalah perkiraan kuantitas yang kemudian menjadi masukan di *bill of quantity*.

Tabel 4. 43 Perhitungan Kuantitas

PERHITUNGAN VOLUME									
Nama Paket Pekerjaan		: Stabilisasi Lereng Ruas Jalan Giriwoyo - Glonggong KM . SKA. 81+200 (Ka)							
Kabupaten / Kota		: Wonogiri							
Provinsi		: Jawa Tengah							
NO	URAIAN	DIMENSI (m)			AREA (m ²)	JUMLAH	VOLUME	SAT	TOTAL
		x	y	z					
	DIVISI 7. STRUKTUR								
SKh-I.7.18 (1)	Shotcrete (t = 7 cm)								
	Facing Lereng Perkuatan	0.00	80.00	16.00	1280.00	100	1280.00	m2	1,280.00
SKh-I.7.19 (1)	Soil Nailing								
	Perkuatan Lereng dengan Nail		Jml Kolom	Jml Baris	L Desain	Jml titik			
			54	10	9	540.00	4,860.00	m1	4,860.00

4.4.4 Perhitungan Koefisien dan Analisa Harga Satuan

Perhitungan koefisien dan analisa harga satuan dari masing-masing item pekerjaan disajikan dalam Lampiran 1.

4.4.5 Daftar Harga Satuan Dasar (Bahan, Alat, dan Upah Tenaga)

Perhitungan koefisien dan analisa harga satuan dari masing-masing item pekerjaan disajikan dalam Lampiran 2.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang diperoleh dari penulisan tesis mengenai upaya perkuatan lereng dengan metode *soil nailing* di Ruas Jalan Giriwoyo – Glonggong KM. 81+200 ini adalah:

1. Hasil perhitungan dalam tesis ini menyatakan bahwa lereng eksisting di lokasi penelitian dalam kondisi tidak aman. Angka keamanan hasil perhitungan manual dengan Metode Fellenius didapatkan sebesar 0,928 pada keadaan lereng normal (kondisi I). Pada kondisi lereng terpengaruh air hujan (kondisi II) maka angka keamanan yang diperoleh dengan metode Fellenius adalah 0,891. Sedangkan pada keadaan lereng *full saturated* (kondisi III) didapatkan angka keamanan lereng sebesar 0,799. Sama halnya dengan Metode Fellenius, angka keamanan yang diperoleh lewat perhitungan manual Metode Bishop untuk kondisi I; II; dan III, berturut-turut adalah 1,203; 1,106; dan 1,068.

Hasil analisis Software Geoslope 2012 untuk lereng eksisting dengan Metode Fellenius untuk kondisi I adalah sebesar 0,924. Safety factor pada lereng eksisting dengan kondisi II adalah 0,909. Sedangkan pada kondisi III didapatkan angka keamanan sebesar 0,791. Angka keamanan hasil analisis Software Geoslope 2012 dengan Metode Bishop untuk kondisi I; II; dan III, berturut-turut adalah 0,987; 0,975; dan 0,880.

Angka keamanan yang diperoleh dengan Metode Fellenius dan Metode Bishop tidak memenuhi SNI 8460:2017 yang mempersyaratkan bahwa lereng permanen harus memiliki angka keamanan lebih dari 1,50 ($SF > 1,50$). Kondisi ini mengakibatkan lereng eksisting tanpa perkuatan dinyatakan tidak aman (rawan longsor).

2. Perkuatan lereng untuk memenuhi nilai rekomendasi angka keamanan lereng yang diberikan oleh SNI 8460:2017 ($SF > 1,50$) dilakukan dengan metode *soil nailing*. Tipe *Nail* yang digunakan adalah *Drilled and Grouted Soil Nailing*. Material *Nail Bar* adalah Baja Tulangan Sirip (BjTS 420) dengan diameter 25 mm. Panjang *Nail* (L) 9,00 m dengan jarak antarnail secara vertikal maupun horizontal adalah 1,50 m. Diameter lubang grouting adalah 100 mm. Pekerjaan *facing* dilakukan dengan beton semprot (*shotcrete*) setebal 7,50 cm dengan *wiremesh* ukuran M6.

SNI 8460:2017 memberikan rekomendasi sudut pemasangan *nail* 10° s/d 20° terhadap sumbu horizontal. Hasil kontrol perhitungan menunjukkan bahwa sudut pemasangan *nail* yang dapat digunakan dengan parameter desain yang telah disebutkan adalah 17° s/d 20° . Pada 3 (tiga) kondisi yang ditinjau, nilai angka keamanan lebih dari 1,50 (baik perhitungan secara manual dengan metode baji, maupun hasil analisis geoslope 2012) sehingga lereng dapat dikatakan aman.

Kontrol yang dilakukan adalah perhitungan kuat putus *nail* ($Fr > 1,50$) dan stabilitas terhadap cabut *nail* ($Fp > 2,0$). Pemasangan *nail* sudut 10° s/d 16° tidak memenuhi syarat SF terhadap cabut *nail*.

3. Hasil penelitian ini menunjukkan adanya korelasi perubahan sudut pemasangan *nail* (i) terhadap angka keamanan global lereng (SF). Pada perhitungan yang dilakukan secara manual (metode baji), pola hubungan dinyatakan dalam persamaan $y = -0,0177x + 2,5377$ untuk kondisi I. Pada kondisi II korelasi dinyatakan dalam $y = -0,0174x + 2,5117$. Sedangkan pada kondisi III hubungan sudut pemasangan *nail* terhadap *safety factor* lereng adalah $y = -0,0167x + 2,32$.

Hasil analisa Geoslope 2012 tentang hubungan sudut pemasangan *nail* terhadap angka keamanan global lereng pada $y = -0,02x + 2,88$ untuk kondisi I. Pada kondisi II, pola hubungan dinyatakan dalam persamaan

$y = -0,0188 x + 2,8088$. Sedangkan untuk kondisi III didapatkan formula $y = -0,0139 x + 2,4647$.

Enam persamaan dari dua metode perhitungan tersebut memiliki nilai R^2 mendekati 1 yang dapat diartikan bahwa x sangat berpengaruh terhadap y . Dimana y sebagai variabel terikat adalah angka keamanan terhadap stabilitas global lereng dan x sebagai variabel bebas adalah sudut pemasangan *nail* terhadap bidang horizontal. Baik hasil perhitungan manual maupun hasil analisis Software Geoslope 2012 menunjukkan bahwa semakin besar sudut pemasangan *nail* terhadap bidang horizontal maka angka keamanan terhadap stabilitas global semakin kecil.

4. Estimasi kebutuhan biaya untuk stabilisasi lereng di Ruas Jalan Giriwoyo – Glonggong KM. SKA. 81+200 dengan metode *soil nailing* adalah sebesar Rp. 3.462.199.100,-

5.2 Saran

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa tulisan ini masih terdapat banyak kekurangan., terkait dengan pembahasan yang kurang mendalam. Kekurangan-kekurangan ini kemudian dapat dijadikan ide untuk penelitian selanjutnya. Berdasarkan hasil penelitian, penulis memberikan saran dan rekomendasi terkait penelitian ini. Berikut merupakan saran yang peneliti dapat sampaikan, dengan harapan memperkaya dunia studi khususnya terkait perkuatan lereng:

1. Perlu dilakukan analisis dengan menggunakan metode elemen hingga (*Finite Element Method*) dimana terdapat beberapa software berbasis *FEM* untuk melakukan bantuan analisis. Sebagai contoh software yang berbasis *FEM* adalah Plaxis.
2. Perkuatan lereng dengan *soil nailing* perlu dibandingkan dengan metode lain demi mencari model perkuatan paling efisien. Misalnya dengan metode *ground anchor* ataupun sebagainya.

3. Penanganan lereng kritis di beberapa tahun terakhir mulai menggunakan teknologi matras pengendali erosi yang terbuat dari bahan polimer yang dikombinasikan dengan vegetasi. Hal ini menarik untuk diangkat menjadi topik penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- , (2019). *Soil Nailing & Shotcrete di Proyek Town House Pondok Pinang*. Freyssinet Indonesia. <http://freyssinet.co.id/2019/04/17/soil-nailing-shotcrete-di-proyek-town-house-pondok-pinang/>
- , (2020a). *Ground Anchor dan Soil Nailing Pangalengan*. Prismasarana. https://prismasarana.id/featured_item/ground-anchor-dan-soil-nailing-pangalengan/
- , (2020b). *Selo Boyolali 2016 - Geobrugg*. Geobrugg. <https://www.geobrugg.com/de/Selo-Boyolali-37135.html>
- Andriani, T., Zakaria, Z., Muslim, D., & Oscar, A. W. (2017). Analisis Stabilitas Lereng Area Timbunan Menggunakan Metoda Kesetimbangan Batas Pada Tambang Terbuka Batubara Daerah Purwajaya, Kecamatan Loa Janan, Kabupaten Kutai Kertanegara. *Buletin Sumber Daya Geologi*, 12(3), 154–164. <https://doi.org/https://doi.org/10.47599/bsdg.v12i3>
- Arrozi, M. M. F., Surjandari, N. S., & Djarwanti, N. (2015). Analisis Stabilitas Lereng Berdasarkan Pengaruh Hujan Bulanan Maksimum di DAS Tirtomoyo Wonogiri Menggunakan Metode Bishop Disederhanakan (Studi Kasus di Dusun Pagah, Hargantoro, Tirtomoyo, Wonogiri). *E-Jurnal Matriks Teknik Sipil*, 542–547. <https://jurnal.uns.ac.id/matriks/article/download/37211/24438>
- Badan Pusat Statistik Kabupaten Wonogiri. (2022). *Curah dan Hari Hujan 2019-2021*. <https://wonogirikab.bps.go.id/indicator/151/164/1/curah-dan-hari-hujan.html>
- Badan Standarisasi Nasional. (2017). *SNI 8460:2017 Persyaratan Perancangan Geoteknik*. Badan Standarisasi Nasional. <https://binamarga.pu.go.id/uploads/files/546/sni-84602017-persyaratan-perancangan-geoteknik.pdf>
- Balansi, M. A. (2020). Evaluasi Kombinasi Penggunaan Soil Nailing dan Ground Anchor. *Prosiding Seminar Intelektual Muda #4: Upaya Peningkatan Kualitas Hidup Berbasis Riset Dan Karya Desain*, 2(1), 44–49. <https://trijurnal.lemlit.trisakti.ac.id/sim/article/view/8947/6269>
- Choi, S. W., Lee, J., Kim, J. M., & Park, H. S. (2013). Design and application of a field sensing system for ground anchors in slopes. *Sensors (Switzerland)*, 13(3), 3739–3752. <https://doi.org/10.3390/s130303739>
- Hardiyatmo, H. C. (2003). *Mekanika Tanah II* (3 th). Gadjah Mada University Press.
- Haryadi, D., Mawardi, M., & Razali, M. R. (2019). Analisis Lereng Terasering Dalam Upaya Penanggulangan Longsor Metode Fellenius Dengan Program Geostudio Slope. *Inersia, Jurnal Teknik Sipil*, 10(2), 53–60. <https://doi.org/10.33369/ijts.10.2.53-60>
- Horison, M., Saputro, S., Wardani, R., & Hardiyati, S. (2013). Analisa Geoteknik Dan Penanggulangan Kelongsoran Tanggul Sungai Banjir Kanal Barat Semarang. *Jurnal Karya Teknik Sipil*, 2(1), 334–358. <https://media.neliti.com/media/publications/110172-ID-analisa-geoteknik-dan-penanggulangan-kel.pdf>
- Ibrahim, M. F., Putra, P. P., & Nurtjahjaningtyas, I. (2021). Analisis Stabilitas Soil Nailing Sebagai Alternatif Penanganan Longsor di Jalur Nasional Piket Nol Lumajang Jawa Timur. *Jurnal Jalan-Jembatan*, 38(1), 34–47.

<http://jurnal.pusjatan.pu.go.id/index.php/jurnaljalanjembatan/article/view/977>

- K, R. I., Mina, E., & B, S. (2015). Analisis Stabilitas Lereng dan Perencanaan Soil Nailing dengan Software Geostudio 2007 (Studi Kasus Kampus Untirta Sindangsari). *Jurnal Fondasi*, 4(1), 1–12. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.36055/jft.v4i1.1219>
- Karim, R. (2021). *Tinjauan Pustaka: Pengertian dan Langkah Penulisan*. Deepublish. <https://penerbitbukudeepublish.com/tinjauan-pustaka/>
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Direktorat Jenderal Bina Marga. (2009). *Spesifikasi Khusus Interim Soil Nailing SKh - I.7.19*. Direktorat Jenderal Bina Marga, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. <https://binamarga.pu.go.id/uploads/files/436/spesifikasi-khusus-seksi-719-soil-nailing.pdf>
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Direktorat Jenderal Bina Marga. (2016). *Spesifikasi Khusus Interim Beton Semprot (Shotcrete) SKh - I.7.18*. Direktorat Jenderal Bina Marga, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. https://binamarga.pu.go.id/index.php/konten/ebook_show/?files=uploads/files/497/spesifikasi-khusus-interim-2-seksi-718-beton-semprot-shortcrete-skh-2718.pdf
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Direktorat Jenderal Bina Marga. (2021). *Gambar Standar Pekerjaan Jalan dan Jembatan*. Direktorat Jenderal Bina Marga, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. <https://binamarga.pu.go.id/index.php/nspk/detail/surat-edaran-direktur-jenderal-bina-marga-nomor-15sedb2021-tentang-pedoman-gambar-standar-pekerjaan-jalan-dan-jembatan-tahun-2021>
- Kumalasari, V. (2012). Analisis Stabilitas Lereng dengan Perkuatan Soil Nailing Menggunakan Program Geoslope [Universitas Sebelas Maret Surakarta]. In *digilib.uns.ac.id*. <https://digilib.uns.ac.id/dokumen/detail/26055/Analisis-Stabilitas-Lereng-Dengan-Perkuatan-Soil-Nailing-Menggunakan-Program-Geoslope>
- Laturua, A., Hendrayanto, & Puspaningsih, N. (2018). Penggunaan Lahan Optimal Dalam Transformasi Hujan Limpasan di DAS Wae Ruhi. *Media Konservasi*, 23(1), 52–64. <https://journal.ipb.ac.id/index.php/konservasi/article/download/22048/14748/>
- Lazarte, C. A., Robinson, H., Gomez, J. E., Baxter, A., Cadden, A., & Berg, R. (2015). *Geotechnical Engineering Circular No. 7: Soil Nail Walls - Reference Manual*. US Department of Transportation. <https://www.fhwa.dot.gov/engineering/geotech/pubs/nhi14007.pdf>
- Liriyanto, A., Maulana, I., Prabandiyani, S., & Atmanto, I. D. (2014). Analisis Stabilitas Lereng dan Alternatif Penanganannya: Studi Kasus Longsoran Pada Ruas Jalan Pringsurat KM. MGL. 22+631 - 22+655 Kabupaten Temanggung. *Jurnal Karya Teknik Sipil*, 3(4), 861–889. <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/jkts/article/view/6656/6422>
- Manurung, R., Silmi, N., & Djarwati, N. (2016). Analisis Stabilitas Lereng Berdasarkan Hujan 3 Hari Berurutan di DAS Tirtomoyo (Studi Kasus Desa Damon, Hargorejo, Wonogiri). *E-Jurnal Matriks Teknik Sipil*, 97–105. <https://jurnal.uns.ac.id/matriks/article/view/37115>

- Pangestu, E. C., & Marzuko, A. (2018). *Perencanaan Perkuatan Lereng Dengan Metode Soil Nailing di Daerah Bantul Yogyakarta* [Universitas Islam Indonesia]. <https://dspace.uui.ac.id/bitstream/handle/123456789/11977/08.naskah publikasi.pdf?sequence=17&isAllowed=y>
- Phan, T. T. T., & Gui, M. W. (2019). Soil nailing behaviour for slope stabilization: A case study. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 527(1), 1–9. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/527/1/012037>
- Priastiwi, Y. A. (2021). *Laporan Hasil Penyelidikan Tanah Pada Longsoran Giriwoyo - Glonggong*.
- Riogilang, H., Pontororing, C., & Mekel, A. (2014). Soil Nailing Dan Anchor Sebagai Solusi Aplikatif Penahan Tanah Untuk Potensi Longsor di STA. 7+250 Ruas Jalan Manado - Tomohon. *Jurnal Ilmiah Media Engineering*, 4(2), 119–126. <https://ejournal.unsrat.ac.id/index.php/jime/article/view/6079>
- Sartiyono, T. (2017). *Pengertian Lereng dan Longsoran dalam “Diklat Penanganan Longsoran Pada Struktur Jalan.”* https://bpsdm.pu.go.id/center/pelatihan/uploads/edok/2018/02/60b17_Modul_1_-_PENGERTIAN_LERENG-LONGSORAN.pptx#:~:text=LERENG adalah permukaan bumi%2Ftanah,kemiringan tertentu dengan bidang horisontal.
- Setiawan, L. C., Sentosa, G. S., & Iskandar, A. (2018). Analisis Stabilitas Lereng Batuan dengan Metode Perkuatan Ground Anchor & Soil Nailing di Labuan Bajo, NTT. *Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 1(1), 102–110. <https://doi.org/10.24912/jmts.v1i1.2247>
- Simanjutak, A. (2019). *Analisis Stabilitas Lereng Menggunakan Metode Bishop (Studi Kasus: Bukit Lereng Bandar Baru, Kabupaten Deli Serdang)* [Universitas HKBP Nommensen]. <http://repository.uhn.ac.id/handle/123456789/2389>
- Syuhada, S., Zakaria, Kurniawan, R., & Utami, E. T. (2020). Analisis Model Elemen Hingga Perkuatan Lereng Menggunakan Soil Nailing (Studi Kasus: Lereng Daerah Lahat, Sumatera Selatan). *FROPIL (Forum Profesional Teknik Sipil)*, 8(1), 36–45. <https://doi.org/10.33019/fropil.v8i1.1721>
- Utomo, B. P., & Artati, H. K. (2019). *Analisis Stabilitas Lereng dengan Perkuatan Soil Nailing dengan Menggunakan Program Geoslope (Studi Kasus: Dusun Gemawang, Desa Sinduadi, Kecamatan Mlati, Kabupaten Sleman, D.I Yogyakarta)* [Universitas Islam Indonesia]. https://dspace.uui.ac.id/bitstream/handle/123456789/15325/08_naskah publikasi.pdf?sequence=16&isAllowed=y
- Wardani, M. K., Nuciterani, F. T., & Aulady, M. F. N. (2019). Evaluasi Potensi Kelongsoran Pada Lereng Alam Akibat Perubahan Sudut Kemiringan Menggunakan Metode Fellenius. *Jurnal Manajemen Aset Infrastruktur & Fasilitas*, 3(2), 23–32. <https://doi.org/10.12962/j26151847.v3i0.5731>