

**ANALISIS STABILITAS SOIL NAILING SEBAGAI ALTERNATIF  
PENANGANAN LONGSOR DI JALUR NASIONAL PIKET NOL  
LUMAJANG JAWA TIMUR  
(STABILITY ANALYSIS OF SOIL NAILING AS AN ALTERNATIVE FOR  
LANDSLIDE HANDLING ON THE PIKET NOL NATIONAL ROUTE  
LUMAJANG EAST JAVA)**

**Muhammad Fahmi Ibrahim<sup>1)</sup>, Paksitya Purnama Putra<sup>2)</sup>, Indra Nurtjahjaningtyas<sup>3)</sup>**

<sup>1, 2, 3)</sup>Universitas Jember

<sup>1, 2, 3)</sup>Jl. Kalimantan 37 Kampus Bumi Tegal Boto, Kecamatan Sumbersari, Kabupaten Jember, Jawa Timur

e-mail: <sup>1)</sup>mfahmiibrahim1@gmail.com, <sup>2)</sup>paksitya.putra@unej.ac.id, <sup>3)</sup>indran.teknik@unej.ac.id

Diterima: 4 Februari 2021; direvisi: 21 Mei 2021; disetujui: 23 Juni 2021.

**ABSTRAK**

*Jalur nasional Piket Nol merupakan jalur alternatif lintas Selatan pulau Jawa yang menghubungkan Kabupaten Lumajang dengan Kabupaten Malang. Terdapat kawasan rawan longsor mulai KM Turen 53 sampai dengan KM Turen 59 pada jalur tersebut. Metode Simplified Bishop digunakan dalam melakukan analisis stabilitas lereng dan pemodelan perkuatan soil nailing dengan pemodelan numerik. Kontrol stabilitas lereng dan soil nailing diterapkan sesuai dengan SNI 8460 2017. Nilai faktor keamanan rata-rata untuk stabilitas lereng alami pada bagian atas jalan diperoleh sebesar 0,269 atau kurang dari 1,07 (tidak stabil). Sedangkan stabilitas lereng bawah jalan pada sebagian besar lokasi menunjukkan keadaan stabil ( $SF > 1,25$ ), kecuali pada KM 57+100, KM 58+100, dan KM 58+900 dengan nilai SF rata-rata senilai 1,183 (kritis). Nilai faktor keamanan stabilitas lereng atas rata-rata setelah perkuatan dengan soil nailing menjadi sebesar 1,728, sedangkan untuk stabilitas lereng bawah sebesar 1,853. Soil nailing direncanakan sebagai perbaikan lereng pada KM 57+900, selain itu sebagaiantisipasi potensi longsor pada KM 56+900-KM 57+700 dan KM 58+100-KM 59+100. Hasil analisis semua kontrol stabilitas perkuatan lereng menggunakan soil nailing telah memenuhi kriteria SNI 8460 2017. Oleh karena itu, soil nailing dapat menjadi solusi alternatif baik dalam menangani ataupunantisipasi potensi longsor pada jalur nasional Piket Nol.*

**Kata Kunci:** longsor, stabilitas lereng, faktor keamanan, soil nailing, stabilitas soil nailing.

**ABSTRACT**

*The Piket Nol national route is an alternative route across the southern island of Java that connects the Lumajang Regency with the Malang Regency. Landslide-prone areas are starting from KM Turen 53 to KM Turen 59 on this route. The Simplified Bishop method is used in analyzing slope stability and modeling soil nailing reinforcement with numerical modeling. Slope and soil nailing stability control are applied following SNI 8460 2017. The average value of the safety factor for the natural slope's stability at the top of the road is 0.269 or less than 1.07 (unstable). Whereas the stability of the lower slope of the road in most locations shows a stable condition ( $SF > 1.25$ ), except for KM 57+100, KM 58+100, and KM 58+900 with an average SF value of 1,183 (critical). The average value of the safety factor for the top slope stability after reinforcement using soil nailing is 1,728, whereas for the lower slope stability is 1,853. Soil nailing is designed as slope improvement at KM 57+900, other than that in anticipation of the potential for landslides at KM 56+900-KM 57+700 and KM 58+100-KM 59+100. The results of all stability control of slope reinforcement using soil nailing have met the SNI 8460 2017 criteria. Therefore, soil nailing can be an alternative solution in dealing or anticipating with landslides on The Piket Nol national route.*

**Key words:** landslide, slope stability, safety factor, soil nailing, soil nailing stability.

## PENDAHULUAN

Jalur Piket Nol adalah jalur alternatif lintas selatan yang berstatus jalan nasional berfungsi menghubungkan antara Kabupaten Lumajang dengan Kabupaten Malang. Kondisi morfologi sekitar jalur tersebut merupakan daerah pegunungan dengan kemiringan lereng cenderung terjal. Lereng adalah permukaan tanah/batuan terbuka yang memiliki sudut kemiringan terhadap sumbu bidang horizontal (Riogilang 2014). Menurut Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No.22/Prt/M/2007 (2007) kawasan berpotensi longsor diklasifikasi menjadi 3(tiga) zona yaitu zona A (potensi longsor tinggi), zona B (potensi longsor sedang), zona C (potensi longsor rendah). Pada lokasi penelitian tergolong kawasan zona A yang memiliki ciri-ciri yaitu sudut kemiringan lebih dari  $21^\circ$  (curam/terjal), gerakan longsor yang dapat terjadi meliputi jatuhnya, luncuran, aliran, majemuk), dan kecepatan gerak lebih dari 2m/hari (cepat). Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD) Kabupaten Lumajang menyampaikan bahwa kawasan rawan longsor pada jalur Piket Nol mulai KM Turen 53 sampai KM Turen 59. Sepanjang tahun 2019 sampai tahun 2020 tercatat telah terjadi peristiwa longsor pada KM Turen 55, KM Turen 57, dan KM Turen 59.

Longsor merupakan pergerakan suatu material lereng seperti massa tanah, batuan, maupun campuran yang bergerak keluar menuruni tubuh lereng sebagai akibat dari terganggunya kestabilan lereng (Juhadi, Setyaningsih, dan Kurniasari 2016). Faktor internal penyebab lereng tidak stabil adalah kondisi susunan lapisan tanah, geometris lereng, sedangkan faktor eksternal yaitu distribusi beban eksternal (lalu lintas dan gempa), penambahan kadar air akibat hujan (Pangemanan, Turangan, dan Sompie 2014). Penyebab utama dari beberapa kasus longsor yang pernah terjadi adalah lingkungan sekitar lokasi penelitian mengalami peningkatan intensitas hujan dalam beberapa hari.

Tingkat kestabilan dari lereng dapat diketahui berdasarkan nilai faktor keamanan yang diperoleh dari hasil analisis stabilitas lereng dengan memperhatikan geometri lereng serta lapisan penyusunnya. Pada penelitian ini pemodelan numerik (komputasi) dilakukan dengan menggunakan salah satu metode

kesetimbangan batas yaitu *Simplified Bishop Method*. Menurut Eveny (2014) dalam penelitiannya menyatakan bahwa metode ini lebih umum digunakan karena hanya mempertimbangkan kesetimbangan gaya arah vertikal saja dan nilai faktor keamanan yang diperoleh lebih kritis dibandingkan metode lainnya seperti metode *Janbu* dan *Spencer*.

Wesley (2010) menyatakan bahwa ada dua cara menangani keruntuhan pada lereng yaitu memperkecil gaya pendorong dan memperbesar gaya perlawanan. Usaha yang dilakukan dalam memperkecil gaya pendorong adalah merubah geometris lereng. Sedangkan usaha untuk memperbesar gaya perlawanan dilakukan dengan menambahkan tanah timbunan pada kaki lereng, menambah bahan material pada tubuh lereng atau cara *injeksi*, dan pembangunan dinding penahan tanah (*mekanis*).

Berdasarkan penjelasan tersebut, maka untuk mengatasi permasalahan longsor pada lokasi penelitian maka dipilih metode perkuatan lereng menggunakan *soil nailing*. *Soil nailing* merupakan sistem perkuatan *rigid* mengkombinasikan perkuatan secara pasif dari batang baja dengan beton semprot yang diperkuat besi *wiremesh* atau *reinforced shotcrete* (Setiawan, Sentosa, dan Iskandar 2018). Perencanaan *soil nailing* sebagai perbaikan dilakukan pada KM 57+900, karena kilometer tersebut sudah mengalami longsor. Sedangkan pada kilometer lainnya (KM 56+900 – KM 57+700 dan KM 58+100 – KM 59+100), perkuatan *soil nailing* direncanakan sebagai antisipasi lereng yang belum atau berpotensi mengalami longsor.

Makalah ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh perkuatan *soil nailing* terhadap kestabilan lereng pada lokasi penelitian. Disamping itu untuk memeriksa nilai faktor keamanan dari stabilitas perkuatan *soil nailing* terhadap keruntuhan lereng, bahaya pergeseran, bahaya kegagalan kuat tarik, dan bahaya cabut.

## HIPOTESIS

*Soil nailing* dapat meningkatkan nilai faktor keamanan dari stabilitas lereng hingga mencapai keadaan stabil dan desain yang digunakan memenuhi kriteria batas minimum faktor keamanan dari tinjauan stabilitas eksternal maupun internal.

## METODOLOGI

### Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan pada 12 titik sampel yang terdapat pada beberapa kawasan rawan longsor di jalur nasional Picket Nol Kabupaten Lumajang yaitu mulai KM 56+900 sampai dengan KM 59+100.

### Tahapan Penelitian

1. Tahap Pendahuluan
  - a. Mencari informasi peristiwa longsor yang terjadi di jalur Picket Nol sepanjang tahun 2019 dan 2020 dari sumber kanal berita untuk mengidentifikasi masalah.
  - b. Mengidentifikasi kebutuhan data dari jurnal penelitian yang berkaitan.
  - c. Mengumpulkan sumber referensi selain dari jurnal seperti buku teori, Standar Nasional Indonesia (SNI), dan buku petunjuk program bantu (*manual book*).
2. Tahap Pengumpulan Data
  - a. Mengukur geometri lereng.
  - b. Mengambil sampel tanah asli secara tidak terganggu (*undisturbed sample*) pada kedalaman  $\pm 1$  m dari permukaan tanah pada lokasi penelitian.
  - c. Mengumpulkan data *bore log* pada KM 57+900 dari pihak terkait.
3. Tahap Pengujian Laboratorium  
Pengujian 12 titik sampel tanah asli pada kedalaman  $\pm 1$  m dilakukan di Laboratorium Geologi Mekanika Tanah Teknik Sipil Universitas Jember. Prosedur pengujian berdasarkan SNI antara lain:
  - a. Melakukan pengujian sifat fisis tanah meliputi uji kadar air (SNI 1965: 2008), uji berat isi tanah (SNI 03-3637-1994), uji analisa saringan (ASTM C136:2012), uji berat jenis tanah (SNI 1964:2008).
  - b. Melakukan pengujian sifat mekanis tanah seperti uji kuat geser langsung (SNI 03 3420 1994).
4. Tahap Pengolahan Data
  - a. Mencari nilai parameter tanah asli dari hasil pengujian menggunakan persamaan.
  - b. Menggambar geometri lereng serta lapisan penyusun secara dua dimensi dengan bantuan peranti lunak.
5. Tahap Analisis Stabilitas Lereng  
Analisis dilakukan dengan cara pemodelan numerik menggunakan program rekayasa geoteknik. Tiga sub-program yang harus dijalankan secara berurutan yakni *input, solving the problem, viewing the result*. Adapun konsep dari program ini antara lain:
  - a. Memodelkan geometris lereng serta lapisan penyusunnya secara dua dimensi.
  - b. Memodelkan beban eksternal terkonsentrasi atau merata.
  - c. Memodelkan kondisi jenuh penuh dengan menempatkan garis muka air tanah tepat di permukaan lereng.
  - d. Menganalisis stabilitas lereng sebelum direncanakan perkuatan *soil nailing*.
6. Tahap Perencanaan *Soil Nailing*  
Kelebihan yang dimiliki *soil nailing* adalah biaya lebih ekonomis, waktu relatif sederhana, luasan konstruksi lebih kecil daripada teknik perkuatan lainnya, dan cocok digunakan pada lereng yang memiliki karakteristik lapisan penyusun dominasi bebatuan. Sedangkan kekurangannya adalah membutuhkan penyedia jasa konstruksi yang berpengalaman dalam bidang *soil nailing* dan kurang cocok digunakan apabila lapisan tanah keras terlalu dalam (Kusuma dan Mina 2015). Persyaratan teknis komponen menurut SNI 8460 2017:
  - a. Kemiringan atau inklinasi *nail bars*, sudut kemiringan tipikal *nail bars* antara  $10^\circ$  sampai  $20^\circ$  dari bidang horizontal.
  - b. Panjang *nail bars*, panjang tipikal *nail bar* sekitar  $0,6H$  sampai dengan  $1,2H$ , dimana  $H$  adalah tinggi dinding yang direncanakan.
  - c. Jarak *nail bars*, jarak tipikal vertikal dan horizontal sebesar 1,5 m untuk tipe *drilled and grouted*, sedangkan untuk tipe *driven* senilai 1 – 1,2 m. Jarak *nail bars* paling ujung tidak lebih dari 1,1 m.
  - d. Diameter *drill hole*, tipe *drilled and grout* berdiameter antara 100-200 mm.
  - e. Diameter *nail bars*, ukuran diameter *nail bars* sesuai dengan spesifikasi ASTM A615 ( $f_y = 420$  &  $525$  MPa).
  - f. *Bearing plate*, dimensi pelat baja persegi 200 - 250 mm dengan tebal 19 mm.
  - g. *Grout*, material dari semen *portland* dengan persyaratan kuat tekan ( $f_c$ ) sebesar 21 MPa pada umur 28 hari.

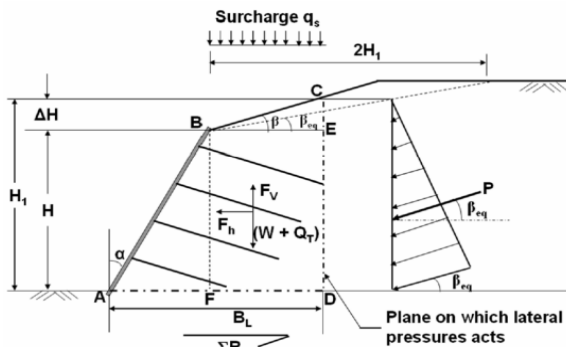
h. Beton semprot dinding muka, kuat tekan beton yang disyaratkan lebih 18 MPa dengan ketebalan tipikal 75 – 100 mm, dilengkapi 1 lapis *wiremesh* M6 (6 mm).

7. Tahap Analisis Stabilitas Lereng Setelah Perkuatan *Soil Nailing*

Pada tahap ini dilakukan *trial and error* jumlah dan sudut kemiringan *nail bars* menggunakan bantuan program rekayasa geoteknik. Nilai SF minimum sebesar 1,5 sebagai acuan tahapan ini. Nilai tersebut berdasarkan batasan nilai faktor keamanan minimum stabilitas terhadap keruntuhan lereng (SFkl) dalam kondisi jangka Panjang.

8. Tahap Perhitungan Stabilitas *Soil Nailing*  
Perhitungan stabilitas berpedoman pada *Soil Nails Reference Manual* (FHWA NHI 14 007) dan SNI 8460 2017 antara lain:

a. Perhitungan stabilitas terhadap bahaya pergeseran dengan memperhitungkan kemampuan *soil nailing* ketika menahan tekanan lateral tanah aktif yang terjadi seperti yang ditampilkan Gambar 1.



Sumber: FHWA (2015)  
**Gambar 1.** Stabilitas *soil nailing* terhadap bahaya pergeseran

Pada Gambar 1 menunjukkan tekanan lateral aktif yang timbul akibat dari beban tanah, perkerasan, dan lalu lintas. Persamaan yang digunakan:

$$SF_{gs} = \frac{(c \times Bl) + (W + Q_T + Pa \times \sin \alpha \sin \beta) \times \tan \phi}{Pa \times \cos \alpha \cos \beta} \quad (1)$$

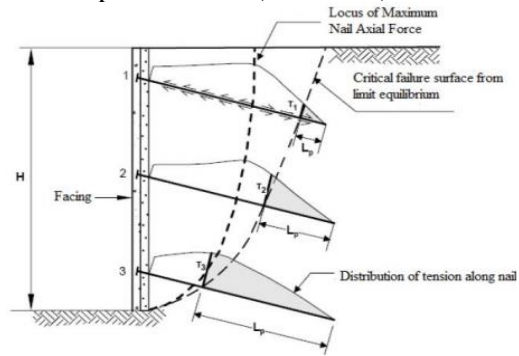
Keterangan:

- SF<sub>gs</sub>: nilai SF stabilitas terhadap bahaya pergeseran
- c : kohesi tanah (kN/m<sup>2</sup>)
- Bl : lebar bidang perkuatan (m)
- W : berat tanah tertahan (kN)
- Q<sub>T</sub> : beban di atas lereng (kN)
- Pa : tekanan lateral tanah aktif (kN/m)

$\beta$  : sudut geser antara tanah pondasi dengan dasar struktur (°) (nilai  $\phi = \beta$ )

Dengan ketentuan nilai SF<sub>gs</sub> ≥ 1,5

b. Perhitungan stabilitas terhadap kegagalan kuat tarik bertujuan memastikan kapasitas tarik *nail bars* dapat menahan gaya tarik maksimum pada sepanjang *soil nailing* di setiap kedalaman (Gambar 2).



Sumber: FHWA (2015)

**Gambar 2.** Stabilitas *soil nailing* terhadap kegagalan kuat tarik

Kegagalan kuat tarik akan terjadi ketika kapasitas tarik *nail bars* tidak mampu menahan gaya tarik maksimum sepanjang *soil nailing* seperti Gambar 2. Perhitungan menggunakan persamaan berikut:

$$(SF_{kt})_z = \frac{(R_T)_z}{T_{max}} \quad (2)$$

Dengan,

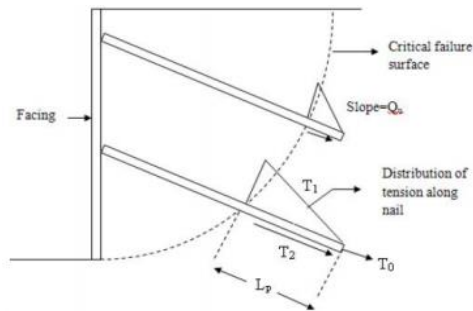
$$(R_T)_z = A_{nail} \times f \quad (3)$$

$$(T_{max})_z = K_a \times (Q_T + \gamma z) \times S_h \times S_v \quad (4)$$

Keterangan:

- (SF<sub>kt</sub>)<sub>z</sub> : nilai SF stabilitas terhadap kegagalan kuat tarik / kedalaman
  - (R<sub>T</sub>)<sub>z</sub> : kapasitas tarik *nail bars* (kN)
  - (T<sub>max</sub>)<sub>z</sub>: gaya tarik maksimum *nail bars* / kedalaman (kN)
  - A<sub>nail</sub> : luas penampang *nail bars* (m<sup>2</sup>)
  - f<sub>y</sub> : kuat leleh baja (Mpa)
  - K<sub>a</sub> : koefisien tekanan tanah aktif
  - γ : berat isi tanah (kN/m<sup>3</sup>)
  - z : kedalaman *nail bars* (m)
  - S<sub>h</sub> : jarak antar *nail bars* horizontal (m)
  - S<sub>v</sub> : jarak antar *nail bars* vertikal (m)
- Dengan ketentuan nilai SF<sub>kt</sub> ≥ 1,8

c. Analisis stabilitas terhadap bahaya cabut dengan memeriksa bagian *nail bars* tertanam pada lereng aman terhadap ikatan permukaan tanah/batuan saat mengalami keruntuhan (Gambar 3). Apabila mengalami kegagalan, maka perkuatan akan tercabut dari lereng.



Sumber: FHWA (2015)

**Gambar 3.** Stabilitas *soil nailing* terhadap bahaya cabut

Panjang *nail bars* yang tertanam pada zona pasif serta kapasitas tahanan cabut antar *soil nailing* dan tanah mempengaruhi stabilitas perkuatan terhadap bahaya cabut. Nilai SF stabilitas ini dihitung dengan persamaan:

$$(SF_{tc})_z = \frac{(R_p)z}{(T_{max})z} \dots\dots\dots (5)$$

Dengan,

$$(R_p)z = \pi \cdot D_{dh} \cdot (L_p)z \cdot q_u \dots\dots\dots (6)$$

$$(L_p)z = L \cdot \frac{(H-z) \cos \psi}{\sin(\psi+i)} \dots\dots\dots (7)$$

Keterangan:

- (SF<sub>tc</sub>)<sub>z</sub> : nilai SF stabilitas terhadap bahaya cabut / kedalaman
  - (R<sub>p</sub>)<sub>z</sub> : tahanan cabut nail bars (kN)
  - D<sub>dh</sub> : diameter *drill hole* (m)
  - (L<sub>p</sub>)<sub>z</sub> : panjang *nail bars* pada zona pasif (m)
  - L : panjang *nail bars* (m)
  - q<sub>u</sub> : *ultimate bond strength* (kN/m<sup>2</sup>)
- Dengan ketentuan nilai SF<sub>tc</sub> ≥ 2,0

9. Uji Pemilihan Tipe dan Jenis *Nail Bars*

- a. Melakukan uji tarik ultimit pada baja secara acak minimal 5% dari baja yang digunakan. Pengujian dilakukan sebelum konstruksi.
- b. Melakukan uji tarik baja setelah beton (f<sub>c</sub> = 21 MPa) setelah berumur 28 hari, dengan menarik batang baja tendon menggunakan hidrolis kapasitas 50 ton. Pengujian dilakukan setelah konstruksi.

**HASIL DAN ANALISIS**

**Hasil Pengujian Lapangan**

Jenis pengujian lapangan yang digunakan pada salah satu lokasi penelitian (KM 57+900) adalah *Standard Penetration Test* (SPT). Konsep uji penetrasi standar yaitu menumbuk *split spoon sampler* ukuran diameter 50 mm dan panjang

500 mm menggunakan *drop hammer* seberat 63,5 kg dari ketinggian ± 760 mm secara bertahap. Pada tahap pertama yaitu melakukan pengeboran sampai rencana kedalaman uji. Selanjutnya melakukan perhitungan jumlah pukulan penetrasi (N1) sedalam 150 mm (0-15). Kemudian menghitung jumlah pukulan penetrasi (N2) pada kedalaman 150 – 300 mm (15-30), dilanjutkan pada kedalaman 300-450 untuk perhitungan jumlah pukulan penetrasi (N3). Jumlah pukulan penetrasi yang digunakan sebagai penentuan N-SPT adalah kedalaman 300 mm terakhir (N2+N3).

Hasil pengujian lapangan menggunakan metode *standard penetration test* (SPT) memperoleh data berupa *bore log* seperti yang ditampilkan pada Gambar 4.

DEPTH (m)	BORE LOG	G W L	Standard Penetration Test (SPT) N / 30 cm	VISUAL DESCRIPTION	COLOUR
0				Lempung	Coklat
1				Batu	Hitam
2			60	Padas bebatuan	Coklat
3					
4			60		
5					
6			60		
7					
8			60		
9					
10			60		

**Gambar 4.** Hasil uji penetrasi standar (*bored log*)

Pada Gambar 4 menampilkan hasil pembacaan jumlah pukulan untuk penetrasi *sampler* 30 cm terakhir yang dinyatakan dalam pukulan / 0,3m. Nilai N-SPT yang diperoleh setiap kedalaman 2 m sebesar 60. Nilai tersebut menjelaskan bahwa lapisan padas batuan terdapat pada kedalaman 2 m ke bawah.

**Hasil Pengujian Sifat Fisis Tanah**

Dari pengujian laboratorium kadar air, berat isi tanah normal, berat isi tanah kering *oven*, dan berat jenis diperoleh nilai parameter tanah asli pada kedalaman ± 1 m yang ditunjukkan pada Tabel 1, dimana dapat diketahui nilai kadar air yang didapatkan sekitar 17% - 26%. Nilai berat isi tanah asli antara 17,0 - 19,3 kN/m<sup>3</sup>. Nilai berat isi tanah kering *oven* selama ± 24 jam berkisar 13,5 - 16,3 kN/m<sup>3</sup>. Apabila nilai derajat kejenuhan (Sr) untuk tanah

jenuh sebesar 1, maka nilai kadar air optimum yang didapatkan sebesar 23,2 - 35,2%. Berat isi tanah jenuh dihitung secara empiris, maka diperoleh nilai antara 18,3-20,1 kN/m<sup>3</sup>. Interval berat jenis yang diperoleh senilai 2,60 - 2,70.

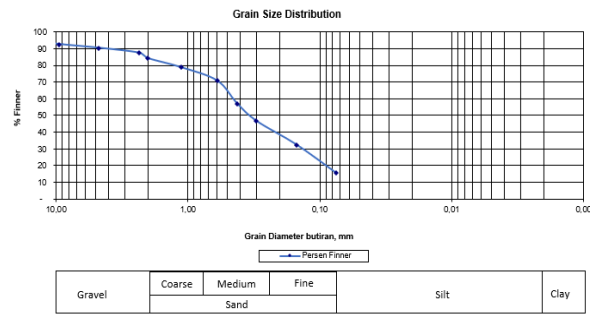
**Tabel 1.** Nilai parameter tanah asli (Wc, γ, γd, γsat, dan Gs)

KM	Wc	γ	γ d	Wc'	γ sat	Gs
56+900	21,3	18,2	15,0	28,0	19,2	2,679
57+100	19,4	18,7	15,6	25,3	19,6	2,677
57+300	25,8	17,0	13,5	35,1	18,3	2,676
57+500	22,4	18,1	14,8	29,1	19,1	2,682
57+700	21,7	17,9	14,7	29,5	19,0	2,675
57+900	21,2	17,2	14,2	31,6	18,7	2,678
58+100	20,5	18,2	15,1	27,8	19,3	2,685
58+300	17,4	19,1	16,3	23,2	20,0	2,688
58+500	24,9	17,2	13,8	33,9	18,5	2,690
58+700	19,1	18,1	15,2	27,4	19,4	2,692
58+900	18,4	18,6	15,7	25,3	19,6	2,679
59+100	17,9	19,2	16,3	23,2	20,1	2,696

Keterangan:

- Wc : kadar air (%)
- γ : berat isi tanah normal (kN/m<sup>3</sup>)
- γd : berat isi tanah kering (kN/m<sup>3</sup>)
- Wc' : kadar air optimum (%)
- γsat : berat isi tanah jenuh (kN/m<sup>3</sup>)
- Gs : berat jenis tanah

Nilai persentase tanah yang lolos setiap saringan dapat disajikan dalam bentuk grafik seperti yang dicontohkan pada Gambar 5.



**Gambar 5.** Grafik hasil analisa saringan pada KM 56+900

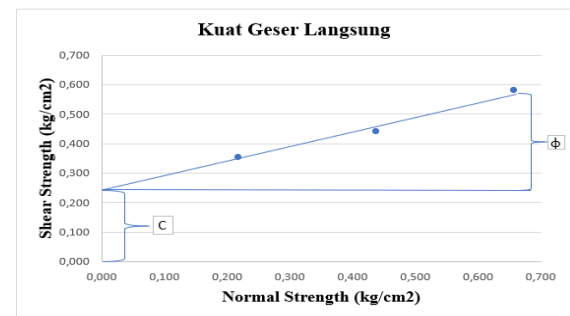
Sedangkan rekapitulasi hasil pengujian analisa saringan ditunjukkan oleh Tabel 2. Dimana nilai persentase kumulatif butiran tertahan setiap lapisan saringan yang dikelompokkan berdasarkan interval ukuran butiran menurut *British Standard* yaitu nilai prosentase rata-rata pasir > 50%, lanau antara 13,1-27,7%, kerikil < 20%, dan lempung 0%.

**Tabel 2.** Nilai persentase butiran tanah asli

KM	Analisa Saringan (%)			
	Gravel	Sand	Silt	Clay
56+900	15,9	68,5	15,6	0,0
57+100	13,7	65,9	20,4	0,0
57+300	19,1	63,2	17,7	0,0
57+500	17,8	57,0	25,3	0,0
57+700	7,9	64,8	27,3	0,0
57+900	9,8	67,8	22,4	0,0
58+100	18,5	58,2	23,3	0,0
58+300	13,7	68,8	17,5	0,0
58+500	8,8	72,4	18,8	0,0
58+700	3,3	69,0	27,7	0,0
58+900	7,8	66,1	26,1	0,0
59+100	10,7	76,2	13,1	0,0

### Hasil Pengujian Sifat Mekanis Tanah

Dalam memperoleh parameter tanah dari uji kuat geser langsung, yaitu pertama menghitung tegangan normal dan tegangan geser untuk pembebanan 8 kg, 16 kg, dan 24 kg (Modul Praktikum Mekanika Tanah Universitas Jember). Kemudian membuat grafik hubungan antara tegangan normal dengan tegangan geser maksimum setiap pembebanan seperti Gambar 6.



Sumber: Hasil Analisis

**Gambar 6.** Grafik hubungan tegangan normal vs tegangan geser pada KM 56+900

Nilai kohesi (c) = 0,2 kg/cm<sup>2</sup>

$$\text{Sudut geser dalam } (\phi) = \arctan \left( \frac{0,580 - 0,240}{0,658} \right) = 27,3^\circ$$

Rekapitulasi nilai parameter kohesi tanah (c) dalam satuan kN/m<sup>2</sup> dan sudut geser dalam (φ) tanah asli dapat ditunjukkan Tabel 3.

**Tabel 3.** Nilai parameter kohesi tanah (c) dan sudut geser dalam ( $\phi$ ) tanah asli

KM	c (kN/m <sup>2</sup> )	$\phi$ (°)
56+900	23,5	27,3
57+100	25,5	26,9
57+300	24,5	26,6
57+500	27,5	25,5
57+700	28,4	26,8
57+900	26,5	27,2
58+100	27,0	25,8
58+300	24,0	27,9
58+500	25,0	29,2
58+700	29,4	28,0
58+900	28,0	27,1
59+100	22,6	29,9

Interval nilai kohesi tanah (c) senilai 22,5-29,5 kN/m<sup>2</sup>, sedangkan interval nilai sudut geser dalam ( $\phi$ ) sebesar 25,5°–29,9° seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.

### Analisis Stabilitas Lereng Sebelum Perkuatan

Analisis stabilitas dilakukan dengan memodelkan lereng pada program sesuai pendekatan keadaan sekitar lokasi penelitian. Adapun dimensi dari geometri lereng seperti yang ditunjukkan Tabel 4.

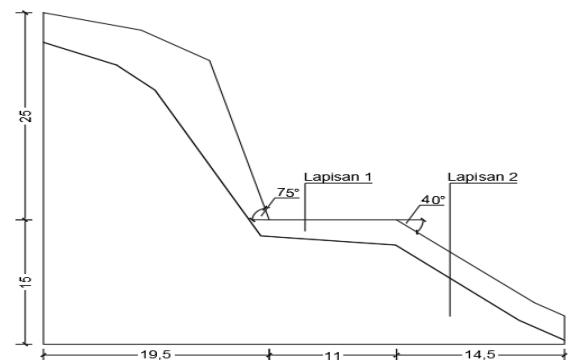
**Tabel 4.** Hasil pengukuran geometri lereng

KM	$\alpha$ (°)		H (m)		LP (m)	TB (m)
	LA	LB	LA	LB		
56+900	75	40				
57+100	70	45				
57+300	60	45				
57+500	65	40				
57+700	65	50				
57+900	70	40				
58+100	75	45	25	15	6	5
58+300	65	40				
58+500	75	40				
58+700	65	45				
58+900	60	50				
59+100	70	40				

Keterangan:

- $\alpha$  : sudut kemiringan lereng (°)
- H : ketinggian lereng (m)
- LP : lebar perkerasan jalan (m)
- TB : lebar total bahu jalan (m)
- LA : lereng atas, LB : lereng bawah

Contoh gambar potongan melintang geometri lereng pada KM 56+900 (Gambar 7).

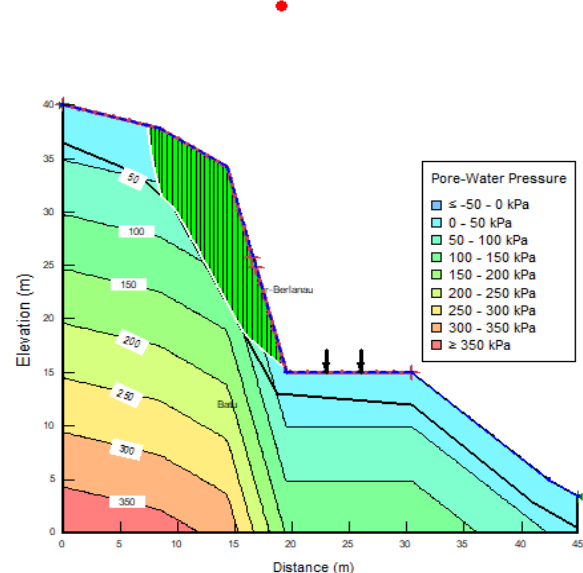


**Gambar 7.** Potongan geometri lereng KM 56+900

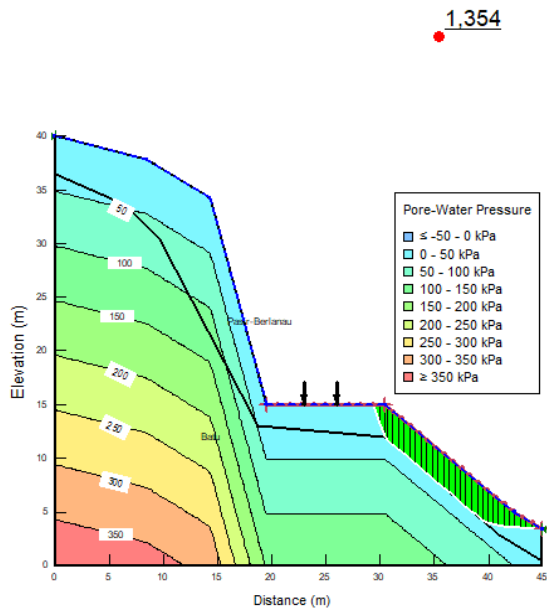
Pada Gambar 7 menggambarkan contoh hasil pengukuran geometri lereng. Parameter tanah lapisan pertama menggunakan hasil pengujian laboratorium pada kedalaman  $\pm 1$  m dari permukaan. Sedangkan pada lapisan kedua menggunakan informasi terdapat lapisan padas batuan pada kedalaman 2 m ke bawah (Gambar 4). Adapun parameter hasil pengujian yang digunakan dalam pemodelan numerik untuk analisis stabilitas lereng yaitu nilai berat isi tanah jenuh, kohesi tanah, dan sudut geser dalam.

Hasil analisis stabilitas lereng sebelum perkuatan (eksisting) pada KM 56+900 seperti yang ditampilkan oleh Gambar 8.

0,103



(a) Lereng Atas (LA)

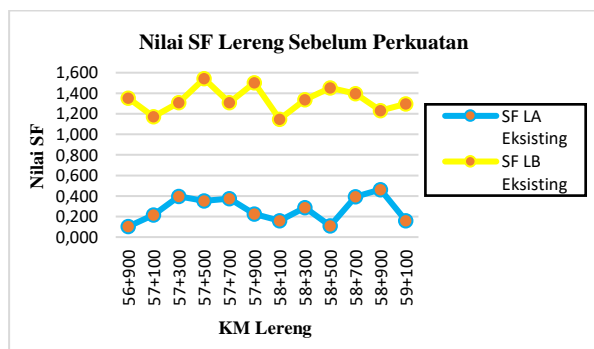


(b) Lereng Bawah (LB)

**Gambar 8.** Hasil analisis stabilitas lereng eksisting pada KM 56+900

Gambar 8 (a) dan (b) menampilkan garis putus-putus berwarna biru pada permukaan lereng merupakan garis muka air tanah. Tekanan air pori paling besar ditunjukkan daerah berwarna merah muda, sedangkan warna biru mengartikan tekanan paling kecil. Tanda panah hitam merupakan beban kendaraan melintas terberat (truk pasir) yang ditransformasikan menjadi beban garis sebesar 18,3 kN/m. Daerah arsiran warna hijau adalah bidang longsor terdiri dari beberapa potongan (*slice*).

Nilai faktor keamanan lereng sebelum perkuatan disajikan dalam grafik Gambar 9.



Sumber: Hasil Analisis

**Gambar 9.** Grafik nilai SF lereng eksisting

Pada Gambar 9 diketahui nilai faktor keamanan (SF) lereng sebelum perkuatan pada lereng atas (LA) memiliki nilai SF bekisar 0,103 sampai 0,463. Sedangkan untuk lereng bawah (LB) antara 1,148 hingga 1,542.

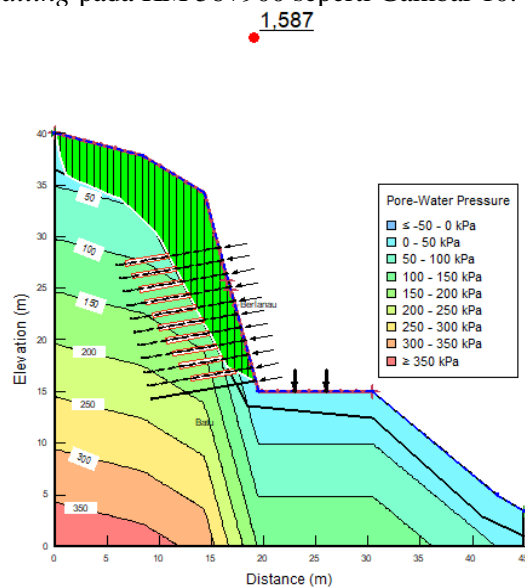
### Analisis Stabilitas Soil Nailing Terhadap Keruntuhan Lereng

Ketinggian dinding perkuatan (H) lereng atas dan bawah secara berurutan sebesar 15 m dan 7,5 m. Mutu baja *nail bars* sebesar 420 MPa. Mutu beton ( $f_c$ ) semprot dinding muka senilai 21 MPa. Jarak tipikal antar *nail bars* arah horizontal (Sh) dan vertikal (Sv) sejarak 1,3 m. Panjang *nail bars* (L) pada lereng atas senilai 10 m, dan lereng bawah 8 m. *Nail bars* pada lereng atas dan bawah masing-masing berdiameter 36 mm dan 32 mm. Diameter *drill hole* (Ddh) senilai 0,15 m. Hasil *trial and error* jumlah *nail bars* ( $\Sigma$ ) dan sudut kemiringan pemasangan (i) ditunjukkan Tabel 5.

**Tabel 5.** Jumlah *nail bars* ( $\Sigma$ ) dan sudut kemiringan pemasangan (i)

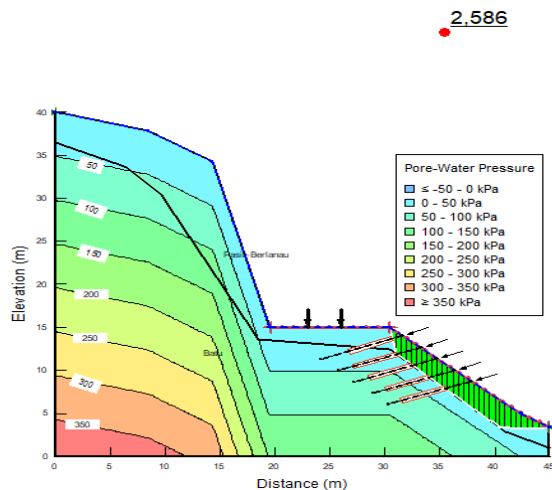
KM	$\Sigma$ (buah)		i (°)	
	LA	LB	LA	LB
56+900			10	
57+100			15	
57+300			20	
57+500			20	
57+700			15	
57+900	11	5	15	20
58+100			10	
58+300			20	
58+500			10	
58+700			20	
58+900			20	
59+100			20	

Berikut contoh hasil analisis stabilitas lereng setelah dilakukan perkuatan dengan *soil nailing* pada KM 56+900 seperti Gambar 10.



(a) Lereng Atas (LA)

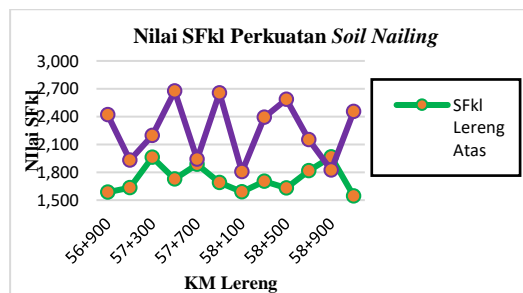




(b) Lereng Bawah (LB)

**Gambar 10.** Hasil analisis stabilitas lereng setelah perkuatan *soil nailing* pada KM 56+900

Gambar 10 (a) dan (b) menggambarkan analisis stabilitas *soil nailing* terhadap keruntuhan lereng pada KM 56+900. Adapun rekapitulasi nilai faktor keamanan dari stabilitas terhadap keruntuhan lereng (SFkl) disajikan Gambar 11.



**Gambar 11.** Grafik nilai faktor keamanan lereng setelah perkuatan *soil nailing* (SFkl)

Nilai faktor keamanan dari hasil analisis stabilitas *soil nailing* terhadap keruntuhan lereng (SFkl) yang didapatkan untuk lereng atas antara 1,546 sampai dengan 1,966, sedangkan untuk lereng bawah berkisar 1,805 hingga 2,674 yang ditunjukkan Gambar 11. Nilai tersebut juga menunjukkan bahwa perkuatan *soil nailing* dapat meningkatkan nilai faktor keamanan dari stabilitas lereng.

### Analisis Stabilitas *Soil Nailing* Terhadap Bahaya Pergeseran

Contoh perhitungan stabilitas *soil nailing* terhadap bahaya pergeseran pada KM 56+900:

- Lereng Atas

Sudut pemasangan atau inklinasi ( $i$ ) =  $10^\circ$

Berat tanah tertahan ( $W$ ) = 2376,2 kN

Lebar bidang perkuatan ( $Bl$ ) = 13,4 m

Tekanan lateral tanah aktif:

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

$$= \frac{1}{2} \times (19,2-9,8) \times 15^2 \times 0,37 + \frac{1}{2} \times 9,8 \times 15^2 - 23,5 \times 15 \times \sqrt{0,37}$$

$$= 1281,3 \text{ kN}$$

Nilai SF terhadap bahaya pergeseran:

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

$$= \frac{(23,5 \times 13,4) + (2376,2 + 0 + 1281,3 \times \sin 27,3) \times \tan 27,3}{1281,3 \times \cos 27,3}$$

$$= 1,6 > 1,5$$

- Lereng Bawah

Sudut pemasangan atau inklinasi ( $i$ ) =  $20^\circ$

Berat tanah tertahan ( $W$ ) = 730,3 kN

Lebar bidang perkuatan ( $Bl$ ) = 15 m

Beban di atas lereng ( $Q_T$ ) = 36,6 kN

Tekanan lateral tanah aktif:

$$Pa = \frac{1}{2} \times (19,2-9,8) \times 7,5^2 \times 0,37 + \frac{1}{2} \times 9,8 \times 7,5^2 - 23,5 \times 7,5 \times \sqrt{0,37}$$

$$= 266,6 \text{ kN}$$

Nilai SF terhadap bahaya pergeseran:

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

$$= \frac{(23,5 \times 13,4) + (730,3 + 36,6 + 266,6 \times \sin 27,3) \times \tan 27,3}{266,6 \times \cos 27,3}$$

$$= 3,4 > 1,5$$

Rekapitulasi hasil perhitungan stabilitas perkuatan *soil nailing* terhadap bahaya pergeseran pada lereng atas dan lereng bawah yang ditunjukkan pada Tabel 6 dan Tabel 7.

**Tabel 6.** Hasil perhitungan stabilitas *soil nailing* terhadap bahaya pergeseran lereng atas

KM	Bl (m)	W (kN)	Pa (kN)	SFgs
56+900	13,4	2376,2	1281,2	1,6
57+100	14,6	2204,6	1284,4	1,6
57+300	14,7	2097,1	1239,9	1,5
57+500	15,5	2188,3	1258,4	1,5
57+700	15,6	2018,2	1232,4	1,6
57+900	14,5	2121,1	1234,8	1,6
58+100	13,4	2419,9	1268,5	1,6
58+300	16,2	2198,4	1302,3	1,6
58+500	13,4	2319,9	1219,6	1,8
58+700	15,5	2090,1	1225,9	1,7
58+900	17,4	1995,0	1260,0	1,6
59+100	16,9	2365,3	1293,7	1,9

Pada Tabel 6 menunjukkan hasil dari perhitungan stabilitas *soil nailing* terhadap bahaya pergeseran lereng atas memperoleh nilai SFgs antara 1,52 sampai dengan 1,88.

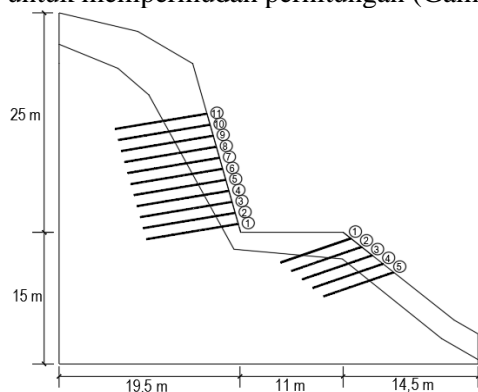
Sedangkan untuk lereng bawah sekitar 3,42 sampai 4,14 (Tabel 7).

**Tabel 7.** Hasil perhitungan stabilitas *soil nailing* terhadap bahaya pergeseran lereng bawah

KM	Bl (m)	W (kN)	Pa (kN)	SFgs
56+900	15,0	730,3	266,6	3,4
57+100	13,7	779,4	262,4	3,5
57+300	15,0	662,2	253,2	3,4
57+500	14,3	681,1	249,6	3,5
57+700	12,4	733,7	242,4	3,7
57+900	14,5	695,0	248,1	3,7
58+100	14,3	828,5	253,7	3,8
58+300	15,4	764,6	271,4	3,6
58+500	15,1	699,3	249,8	3,9
58+700	13,5	750,2	240,2	4,1
58+900	12,5	781,4	250,9	3,7
59+100	14,0	735,6	274,5	3,5

### Analisis Stabilitas Soil Nailing Terhadap Kegagalan Kuat Tarik

Perhitungan stabilitas terhadap kegagalan kuat tarik lebih menekankan kepada kemampuan dari luas penampang *nail bars* dan mutu baja dalam menahan gaya tarik maksimum per kedalaman. Penomoran pada *nail bars* bertujuan untuk mempermudah perhitungan (Gambar 12).



**Gambar 12.** Potongan melintang penomoran *nail bars*

Contoh perhitungan stabilitas *nail bars* terhadap kegagalan tarik pada KM 56+900:

- Lereng Atas (*nail bars* No. 1)

Kedalaman *nail bars* ( $z$ ) = 14 m

Kapasitas tarik *nail bars*  $(R_T)_z = 427,3$  kN

Gaya aksial maksimum:

$$(T_{max})_z = K_a \times (Q_T + \gamma_{sat} \times z) \times S_h \times S_v \\ = 0,37 \times (0 + 19,2 \times 14) \times 1,3 \times 1,3 \\ = 168,7 \text{ kN}$$

Nilai SF terhadap bahaya kegagalan tarik:

$$(SFkt)_z = \frac{(R_T)_z}{(T_{max})_z} \\ = \frac{427,3}{168,7} = 2,5 > 1,8$$

Rekapitulasi nilai faktor keamanan terendah dari hasil perhitungan stabilitas *nail bars* terhadap kegagalan kuat tarik lereng atas (Tabel 8).

**Tabel 8.** Rekapitulasi hasil perhitungan stabilitas *nail bars* terhadap kegagalan kuat tarik lereng atas

KM	$(R_T)_z$ (kN)	No. <i>Nail Bars</i> 1 (SFkt Minimum)		
		$z$ (m)	$(T_{max})_z$ (kN)	
56+900			168,7	2,5
57+100			175,0	2,4
57+300			165,0	2,6
57+500			179,7	2,4
57+700			170,3	2,5
57+900	427,3	14	165,2	2,6
58+100			179,2	2,4
58+300			171,5	2,5
58+500			150,8	2,8
58+700			165,2	2,6
58+900			173,6	2,5
59+100			159,0	2,7

- Lereng Bawah (*nail bars* No. 5)

Kedalaman *nail bars* ( $z$ ) = 6,2 m

Kapasitas tarik *nail bars*  $(R_T)_z = 337,6$  kN

Gaya aksial maksimum:

$$(T_{max})_z = 0,37 \times (36,6 + 19,2 \times 6,2) \times 1,3 \times 1,3 \\ = 97,7 \text{ kN}$$

Nilai SF terhadap bahaya kegagalan tarik:

$$(SFkt)_z = \frac{337,6}{97,7} = 3,5 > 1,8$$

Rekapitulasi nilai SFkt minimum pada lereng bawah ditunjukkan oleh Tabel 9.

**Tabel 9.** Rekapitulasi hasil perhitungan stabilitas *nail bars* terhadap kegagalan kuat tarik lereng bawah

KM	$(R_T)_z$ (kN)	No. <i>Nail Bars</i> 5 (SFkt Minimum)		
		$z$ (m)	$(T_{max})_z$ (kN)	
56+900			97,7	3,5
57+100			100,8	3,4
57+300			96,7	3,5
57+500			104,2	3,2
57+700			98,9	3,4
57+900	337,6	6,2	96,2	3,5
58+100			103,7	3,3
58+300			98,4	3,4
58+500			88,1	3,8
58+700			95,5	3,5
58+900			100,0	3,4
59+100			91,1	3,7

Pada Tabel 8 nilai faktor keamanan stabilitas *nail bars* terhadap kuat tarik paling rendah berkisar antara 2,38 sampai dengan 2,83. Sedangkan pada lereng bawah yang disajikan oleh Tabel 9 diperoleh nilai SF<sub>kt</sub> minimum antara 3,24 sampai 3,83.

### Analisis Stabilitas Soil Nailing Terhadap Bahaya Cabut

Stabilitas *soil nailing* lebih mengandalkan kekuatan tahanan cabut yang diperoleh dari panjang *nail bars* pada daerah dibelakang bidang longsor, diameter *drill hole*, dan kekuatan ikatan tanah/batuan. Contoh perhitungan stabilitas terhadap bahaya cabut pada KM 56+900:

- Lereng Atas (*nail bars* No. 3)

Kedalaman *nail bars* ( $z$ ) = 11,4 m

Panjang *nail bars* pada zona pasif ( $(Lp)_z$ ) = 7,7 m

Ultimate bond strength ( $q_u$ ) = 100 kN/m<sup>2</sup>

Gaya tarik maksimum ( $(Tmax)_z$ ) = 137,4 kN

Tahanan cabut *nail bars*:

$$(Rp)_z = (Lp)_z \times \pi \times D_{dh} \times q_u \\ = 7,7 \times \pi \times 0,15 \times 100 \\ = 362,0 \text{ kN}$$

Nilai SF terhadap bahaya kegagalan tarik:

$$(SFtc)_z = \frac{(Rp)_z}{(Tmax)_z} \\ = \frac{362,0}{137,4} = 2,6 > 2$$

Hasil perhitungan stabilitas terhadap bahaya cabut yakni SF<sub>tc</sub> minimum lereng atas disajikan pada Tabel 10.

**Tabel 10.** Rekapitulasi hasil perhitungan stabilitas *soil nailing* terhadap bahaya cabut lereng atas

Kd	SFtc Minimum					
	z	N	(Lp) <sub>z</sub>	(Rp) <sub>z</sub>	(Tmax)	(SFtc)
		o	(m)	(kN)	(kN)	)
L1	11,4	3	7,7	362,4	137,4	2,6
L2	12,7	2	8,2	387,4	158,7	2,4
L3	14,0	1	10	471,0	165,0	2,9
L4	11,4	3	7,2	340,2	146,3	2,3
L5	14,0	1	10,0	471,0	170,1	2,8
L6	11,4	4	7,4	347,7	119,2	2,9
L7	11,4	3	7,7	362,4	145,9	2,5
L8	10,0	1	10,0	471,0	171,5	2,8
L9	12,7	2	8,3	388,6	136,8	2,8
L10	14,0	1	10,0	471,0	165,2	2,9
L11	14,0	1	10,0	471,0	173,6	2,7
L12	11,4	3	7,3	345,4	129,5	2,7

Keterangan:

Kd : kode lereng (L1 untuk KM 56+900, dst...)

- Lereng Bawah (*nail bars* No. 5)

Kedalaman *nail bars* ( $z$ ) = 6,2 m

Panjang *nail bars* pada zona pasif ( $(Lp)_z$ ) = 5,3 m

Gaya tarik maksimum ( $(Tmax)_z$ ) = 97,71 kN

Tahanan cabut *nail bars*:

$$(Rp)_z = 5,3 \times \pi \times 0,15 \times 100 \\ = 249,5 \text{ kN}$$

Nilai SF terhadap bahaya kegagalan tarik:

$$(SFtc)_z = \frac{249,5}{97,7} = 2,6 > 2$$

Adapun rekapitulasi nilai SF<sub>tc</sub> paling rendah pada lereng bawah dapat dilihat pada Tabel 11.

**Tabel 11.** Rekapitulasi hasil perhitungan stabilitas *soil nailing* terhadap bahaya cabut lereng bawah

Kd	SFtc Minimum					
	z	N	(Lp) <sub>z</sub>	(Rp) <sub>z</sub>	(Tmax)	(SFtc)
		o	(m)	(kN)	(kN)	)
L1			5,3	249,5	97,7	2,6
L2			5,4	255,4	100,8	2,5
L3			5,9	276,7	96,7	2,9
L4			5,7	267,5	104,2	2,6
L5			5,8	274,4	98,9	2,8
L6	6,2	5	5,5	259,9	96,2	2,7
L7			5,4	254,8	103,7	2,5
L8			5,5	260,4	98,4	2,7
L9			5,4	256,1	88,1	2,9
L10			5,8	271,4	90,7	3,0
L11			5,6	263,3	100,0	2,6
L12			5,5	256,5	91,1	2,8

Berdasarkan Tabel 10 nilai faktor keamanan minimum dari stabilitas *nail bars* terhadap bahaya cabut lereng atas antara 2,33 sampai 2,86. Sedangkan pada lereng bawah diperoleh nilai SF<sub>tc</sub> terendah sekitar 2,46 hingga 2,91 seperti Tabel 11.

### PEMBAHASAN

Hasil pengujian sifat fisis tanah yang disajikan Tabel 1 memperlihatkan bahwa semakin tinggi kadar air ( $W_c$ ) yang terkandung dalam tanah maka nilai berat isi tanah kering ( $\gamma_d$ ) akan semakin berkurang. Menurut Das (1995) hal demikian disebabkan oleh kenaikan air pada tanah dapat menurunkan konsentrasi partikel-partikel padat dalam tanah. Karakteristik tanah dasar berdasarkan *British Standard* dengan cara mengelompokkan jenis tanah sesuai rentang ukuran butiran yakni untuk kerikil (60–2 mm), pasir (2–0,06 mm), dan lanau (0,06–0,002 mm), maka diperoleh hasil yang

ditunjukkan oleh Tabel 2. Sehingga jenis tanah pada lokasi dideskripsikan sebagai pasir lanau kerikilan. Selain itu berdasarkan nilai berat jenis tanah yang diperoleh berkisar antara 2,60 – 2,70 yang ditunjukkan oleh Tabel 1 dapat dikelompokkan jenis tanah pasir berlanau (Wesley 1977 dalam Darwis 2018).

Berdasarkan hasil analisis diketahui bidang longsor yang terbentuk merupakan gabungan antara melingkar dan datar seperti Gambar 8. Bentuk datar disebabkan oleh terdapatnya lapisan batuan padas di bawah permukaan tanah residual yang tidak stabil, sehingga memiliki kekuatan geser yang berbeda. Berdasarkan klasifikasi longsor menurut Varnes (1978) yang dikutip oleh Zakaria (2009) jenis gerakan longsor di lokasi penelitian adalah *translation slide*, sedangkan material yang terbawa longsor berupa bongkah batu, bahan rombakan, dan bongkah tanah.

Nusandari (2017) menyatakan Bowles (1989) mengategorikan nilai faktor keamanan lereng (SF) berdasarkan intensitas kejadian longsor yaitu longsor sering terjadi atau tidak stabil ( $SF < 1,07$ ), longsor pernah terjadi atau kritis ( $1,07 < SF < 1,25$ ), dan longsor jarang terjadi atau stabil ( $SF > 1,25$ ). Grafik yang ditampilkan oleh Gambar 9 menggambarkan hasil analisis stabilitas lereng sebelum dilakukan perkuatan memperoleh nilai faktor keamanan lereng (SF) rata-rata sebesar 0,269 yang menunjukkan keadaan tidak stabil pada lereng di atas jalan. Sedangkan untuk lereng bawah terdapat 3 (tiga) titik yang mengindikasikan lereng dalam keadaan kritis dengan nilai faktor keamanan rata-rata senilai 1,183 yaitu KM 57+100, KM 58+100, dan KM 58+900. Berdasarkan nilai SF yang menandakan keadaan tidak stabil dan kritis, maka upaya penanganan dengan cara *injeksi* menggunakan perkuatan *soil nailing* dengan mempertahankan geometri lereng.

Hasil analisis pada Gambar 11 menjelaskan peningkatan nilai faktor keamanan lereng rata-rata 1,459 % untuk lereng atas, dan pada lereng bawah sebesar 0,916 %. Selain itu pada gambar tersebut juga menunjukkan nilai SFkl lebih dari 1,5 yang berarti konsep penanganan dengan *soil nailing* aman terhadap potensi keruntuhan lereng. Nilai faktor keamanan dari hasil perhitungan stabilitas terhadap pergeseran (SFgs) seperti yang ditunjukkan oleh Tabel 6 dan Tabel 7 telah memenuhi persyaratan minimum yang

ditentukan yaitu lebih dari 1,5, sehingga desain mampu menahan gaya geser yang terjadi. Berdasarkan Tabel 8 dan Tabel 9 dapat dilihat bahwa nilai SFkt minimum yang diperoleh lebih dari 1,8, memastikan dimensi dan mutu baja *nail bars* aman terhadap kegagalan kuat tarik akibat dari gaya tarik maksimum. Sedangkan nilai faktor keamanan terendah dari hasil perhitungan stabilitas terhadap bahaya cabut (SFtc) yang disajikan pada Tabel 10 dan Tabel 11 lebih dari 2, membuktikan bahwa panjang *nail bars*, diameter *drill hole* mengalami ikatan yang baik dengan permukaan tanah atau batuan sehingga aman terhadap potensi cabut.

## KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan yang telah dijelaskan di atas dapat disimpulkan bahwa sistem perkuatan *soil nailing* memiliki pengaruh terhadap kestabilan lereng. Hal demikian dibuktikan oleh kenaikan nilai faktor keamanan lereng rata-rata pada lereng atas sebesar 1,459, sedangkan pada lereng bawah senilai 0,916. Nilai faktor keamanan lereng rata-rata menjadi sebesar 1,728 untuk lereng atas, dan lereng bawah senilai 2,253. Mengartikan lereng lebih stabil  $SF > 1,25$ .

Nilai SFkl minimum lereng atas sebesar 1,546 dan lereng bawah senilai 1,805, menandakan aman terhadap keruntuhan lereng ( $SFkl > 1,5$ ). Nilai SFgs terendah pada lereng atas senilai 1,52 dan lereng bawah sebesar 3,42, menerangkan aman terhadap bahaya pergeseran ( $SFgs \geq 1,5$ ). Sehingga desain perkuatan telah memenuhi persyaratan nilai SF minimum kontrol stabilitas eksternal *soil nailing*.

Selain itu nilai batas yang disyaratkan dari stabilitas internal perkuatan dapat terpenuhi. Hal tersebut ditunjukkan oleh nilai SFkt terendah lereng atas senilai 2,38 dan lereng atas sebesar 3,24, membuktikan aman terhadap kegagalan kuat tarik ( $SFkt > 1,8$ ). Nilai SFtc paling rendah pada lereng atas sebesar 2,33 dan lereng bawah senilai 2,46, memastikan aman terhadap bahaya cabut ( $SFtc > 2,0$ ).

### Saran

Kajian perlu dilakukan untuk memastikan pelaksanaan konstruksi penanganan sesuai dengan perencanaan, disarankan untuk melakukan proof test, yaitu uji pullout *soil*

nailing untuk memastikan kriteria kuat Tarik lapangan sesuai dengan perencanaan.

### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada seluruh pihak dari Program Studi Strata 1(satu) Teknik Sipil Universitas Jember yang telah membantu selama proses studi.

### DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standardisasi Nasional (BSN). 1994a. *SNI 03 3420 1994: Metode Pengujian Geser Langsung Tanah Tidak Terkonsolidasi Tanpa Drainase*. Jakarta: BSN.
- Badan Standardisasi Nasional (BSN). 1994b. *SNI 03 3637 1994: Metode Pengujian Berat Isi Tanah Berbutir Halus Dengan Cetakan Benda Uji*. Jakarta: BSN.
- Badan Standardisasi Nasional (BSN). 2008a. *SNI 1964 2008: Cara Uji Berat Jenis Tanah*. Jakarta: BSN.
- Badan Standardisasi Nasional (BSN). 2008b. *SNI 1965 2008: Cara Uji Penentuan Kadar Air Untuk Tanah Dan Batuan Di Laboratorium*. Jakarta: BSN.
- Badan Standardisasi Nasional (BSN). 2012. *SNI ASTM C136 2012: Metode Uji Untuk Analisis Saringan Agregat Halus Dan Agregat Kasar (ASTM C 136-06, IDT)*. Jakarta: BSN.
- Darwis. 2018. *Dasar - Dasar Mekanika Tanah*. Yogyakarta: Pena Indis.
- Das, B.M. 1995. *Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis)*. Jakarta: Erlangga.
- Eveny, O.N. 2014. Perbandingan Metode Bishop, Janbu Dan Spencer Dalam Perhitungan Stabilitas Lereng Pada Batuan Tuff. Yogyakarta: Universitas Pembangunan Nasional "Veteran".
- Federal Highway Administration (FHWA). 2015.

*Geotechnical Engineering Circular No.7 Soil Nail Walls-Reference Manual. Soil Nail Walls Reference Manual*. Washington: National Highway Institute.

- Kusuma, R.I, E. Mina. 2015. Analisis Stabilitas Lereng Dan Perencanaan Soil Nailing Dengan Software Geostudio 2007 (Studi Kasus Kampus Untirta Sindangsari). *Jurnal Fondasi* 4 (1): 1–12.
- Juhadi, W. Setyaningsih, N. Kurniasari. 2016. Pola Perilaku Masyarakat Dalam Pengurangan Resiko Bencana Tanah Longsor Di Kecamatan Banjarwangu Kabupaten Banjarnegara Jawa Tengah. *Jurnal Geografi*, 13(2):216-224.
- Nusandari, P. 2017. Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Soil Nailing Di Kecamatan Nanggung Kabupaten Bogor. Institut Pertanian Bogor.
- Pangemanan, V.G.M, A.E. Turangan, O.B.A Sompie. 2014. Analisis Kestabilan Lereng Dengan Metode Fellenius (Studi Kasus: Kawasan Citraland). *Jurnal Sipil Statik* 2 (1): 37–46.
- Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No.22/Prt/M/2007. 2007. Pedoman Penataan Ruang Kawasan Rawan Bencana Longsor. Jakarta.
- Riogilang, H. 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): 119–26.
- Setiawan, L.C, G.S. Sentosa, A. Iskandar. 2018. Analisis Stabilitas Lereng Batuan Dengan Metode Perkuatan Ground Anchor & Soil Nailing di Labuan Bajo, NTT. *JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil* 1 (1): 102.
- Wesley, L.D. 2010. *Mekanika Tanah (Untuk Tanah Endapan Dan Residu)*. Yogyakarta: ANDI.
- Zakaria, Z. 2009. *Analisis Kestabilan Lereng Tanah*. Bandung: Universitas Padjadjaran.