

## STUDI PENGARUH KEMIRINGAN, JARAK, DAN PANJANG *SOIL NAILING* TERHADAP STABILITAS LERENG

Melin Ester Simorangkir<sup>1</sup> dan Andryan Suhendra<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No.1 Jakarta  
*call.ester@yahoo.com*

<sup>2</sup>Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No.1 Jakarta  
*andryansuhendra@yahoo.com*

Masuk: 07-07-2020, revisi:03-08-2020, diterima untuk diterbitkan: 05-08-2020

### ABSTRACT

*A landslide happened at a slope in South Sulawesi. The slope has 4 soil layers with a height of 15 m and a slope angle of 69,86°. Stability of the slope needs to be analyzed with a program based on limit equilibrium to know the value of its safety factor. After being analyzed, the safety factor of the slope is 0,883, which is less than 1,5. It shows that the slope need a soil reinforcement. For this analysis, soil nailing is being used to be the soil reinforcement. With using soil nailing, the stability of the slope needs to be analyzed again with a program based on limit equilibrium. In each analysis, there are some variations. The first analysis is a variety of nail inclination. The second analysis is a variety of nail spacing. The third analysis is a variety of nail length. The result of the safety factor of all analysis is more than minimal, 1,5.*

*Keywords: stability of slope; safety factor; soil nailing*

### ABSTRAK

Pada suatu lereng di daerah Sulawesi Selatan, terjadi longsor. Lereng yang mengalami longsor tersebut memiliki 4 lapisan tanah dengan ketinggian lerengnya 15 m dan kemiringan lerengnya 69,86°. Stabilitas lereng perlu dianalisis menggunakan sebuah program berbasis metode kesetimbangan batas untuk mengetahui nilai keamanan lereng tersebut. Setelah dianalisis, diketahui nilai keamanan lereng di bawah 1,5, yaitu 0,883. Nilai keamanan lereng tersebut menunjukkan bahwa lereng tersebut membutuhkan sebuah metode perkuatan tanah. Pada analisis ini, metode perkuatan tanah yang digunakan pada lereng adalah *soil nailing*. Dengan menggunakan *soil nailing*, dilakukan analisis stabilitas lereng kembali menggunakan program berbasis metode kesetimbangan batas untuk memperoleh angka faktor keamanan lereng. Di setiap analisis menggunakan *soil nailing*, digunakan beberapa variasi *nail*. Analisis stabilitas lereng pertama menggunakan variasi kemiringan *nail*. Analisis stabilitas lereng kedua menggunakan variasi jarak antar *nail*. Analisis stabilitas lereng ketiga menggunakan variasi panjang *nail*. Hasil akhir faktor keamanan lereng setelah dilakukan semua analisis adalah lebih dari 1,5.

Kata kunci: stabilitas lereng; faktor keamanan; *soil nailing*

## 1. PENDAHULUAN

Indonesia mempunyai wilayah yang luas. Setiap wilayahnya mempunyai keadaan tanah yang berbeda dengan keunikannya masing. Keadaan yang banyak ditemukan di Indonesia adalah tanah berlereng. Kondisi lereng berbeda-beda, tergantung jenis tanah, kemiringan lereng, dan perbedaan elevasinya. Lereng bisa terbentuk secara alamiah yang disebabkan oleh kondisi kontur. Lereng juga bisa terbentuk oleh buatan manusia melalui proses penggalian. Dengan kata lain, lereng adalah kondisi permukaan tanah dengan elevasi berbeda pada sudut kemiringan tertentu yang diukur dari arah horizontal.

Pada keadaan tertentu, lereng bisa menjadi tidak stabil. Ketidakstabilan ini mengakibatkan suatu kegagalan yang biasa disebut kelongsoran. Banyak faktor yang bisa menjadi penyebab dari kegagalan lereng ini. Faktor-faktor tersebut menyebabkan tanah tidak mampu menahan tegangan geser yang terjadi pada lereng. Ini sangat berbahaya. Longsor yang terjadi dapat mengancam keselamatan orang-orang di sekitar lereng dan juga dapat merusak bangunan konstruksi yang dibangun di sekitar longsor. Oleh karena itu, kegagalan lereng harus dicegah. Stabilitas lereng dan parameter tanah perlu dianalisis dengan memperhitungkan faktor keamanannya. Faktor keamanan yang tinggi mengurangi angka potensi kegagalan lereng yang mungkin terjadi. Hasil dari analisis dapat digunakan untuk menentukan metode perkuatan lereng yang dibutuhkan dan paling efisien.

Salah satu metode perkuatan lereng yaitu *soil nailing*. *Soil nailing* adalah metode perkuatan tanah untuk stabilisasi lereng dengan cara melakukan pemakuan batang-batang, seperti baja dan mini pile (Lazarte, 2003). *Soil nailing* memanfaatkan tekanan pasif yang akan bekerja saat terjadi gerakan. Oleh karena itu, metode ini mampu mempertahankan galian, menstabilkan lereng, dan membentuk perkuatan penahan tanah. Dalam studi ini, akan dibahas pengaruh kemiringan dan kedalaman *soil nailing* yang dipasang pada stabilitas lereng. Melalui analisis yang dilakukan, akan diperoleh kemiringan dan kedalaman optimal dari *soil nailing* yang dibutuhkan.

Identifikasi masalah dalam penelitian ini adalah kemiringan, jarak, dan panjang *soil nailing* yang paling optimal berdasarkan kondisi lereng dan parameter tanah yang ada.

Berikut batasan masalah dalam penelitian ini.

1. Lokasi lereng  
Lereng yang mengalami kelongsoran berada di daerah Sulawesi Barat
2. Ketinggian lereng adalah 15 meter.
3. *Soil nailing* untuk perkuatan stabilitas lereng dengan kemiringan *nail* tertentu
4. *Soil nailing* untuk perkuatan stabilitas lereng dengan jarak antar *nail* tertentu
5. *Soil nailing* untuk perkuatan stabilitas lereng dengan panjang *nail* tertentu

Berikut rumusan masalah dalam penelitian ini.

1. Pengaruh kemiringan *nail* pada *soil nailing* untuk perkuatan stabilitas lereng
2. Pengaruh jarak antar *nail* pada *soil nailing* untuk perkuatan stabilitas lereng
3. Pengaruh panjang *nail* pada *soil nailing* untuk perkuatan stabilitas lereng
4. Besar kemiringan, panjang, dan jarak antar *soil nailing* yang maksimal untuk perkuatan stabilitas lereng

Berikut tujuan dari penelitian ini.

1. Mengetahui pengaruh kemiringan *nail* pada *soil nailing* untuk perkuatan stabilitas lereng.
2. Mengetahui pengaruh jarak antar *nail* pada *soil nailing* untuk perkuatan stabilitas lereng.
3. Mengetahui pengaruh panjang *nail* pada *soil nailing* untuk perkuatan stabilitas lereng.
4. Mengetahui besar kemiringan, panjang, dan jarak antar *soil nailing* yang maksimal untuk perkuatan stabilitas lereng.

## Lereng

Lereng merupakan permukaan tanah tidak merata dengan sudut kemiringan tertentu yang diukur dari bidang horizontal. Keadaan lereng harus stabil. Pada keadaan tertentu, lereng bisa menjadi tidak stabil. Ketidakstabilan ini mengakibatkan suatu kegagalan yang biasa disebut kelongsoran. Longsor yang terjadi dapat mengancam keselamatan orang-orang di sekitar lereng dan juga dapat merusak bangunan konstruksi yang dibangun di sekitar longsor. Untuk mampu mengatasinya, dibutuhkan analisis stabilitas lereng untuk mengetahui faktor keamanan yang tepat.

## Stabilitas lereng

Stabilitas lereng dipengaruhi oleh nilai kuat geser yang seharusnya lebih besar daripada tegangan geser.

Berikut ini penyebab terjadi kegagalan stabilitas lereng.

1. Tegangan air pori mengalami peningkatan  
Saat terjadi hujan dalam waktu yang lama pada daerah tertentu, akan terjadi kenaikan muka air dan juga rembesan pada lereng. Hal ini menyebabkan berkurangnya tegangan efektif dan kuat geser lereng. Beban pada lereng juga menjadi bertambah dan menyebabkan lereng tidak stabil dan terjadi peningkatan tegangan geser lereng.
2. Keretakan pada puncak lereng  
Hal ini dikarenakan gaya tarik pada permukaan lebih besar daripada kuat tarik dalam tanah. Keadaan ini dinamakan tension crack.
3. Pelapukan pada batuan  
Saat batuan mengalami pelapukan, kuat geser pada lereng akan hilang sehingga tidak ada ikatan dengan batuan induk.
4. Penggalan pada kaki lereng  
Hal ini menjadikan lereng curam dan terjadi peningkatan tegangan geser.

Berikut ini faktor yang mempengaruhi kestabilan lereng.

1. Struktur batuan

Untuk menganalisis stabilitas lereng, penting menyelidiki struktur batuan yang terdapat pada lereng agar dapat diketahui bidang-bidang sesar, rekahan, dan lipatan yang bisa menjadi penyebab terjadinya longsor batuan.

2. Geometri lereng  
Geometri lereng yang dimaksud adalah kemiringan dan ketinggian lereng. Jika lereng semakin curam, semakin besar potensi terjadi ketidakstabilan lereng.
3. Sifat fisik dan mekanik batuan  
Batuan memiliki sifat fisik porositas, density, dan moisture content. Mekanik batuan meliputi sudut geser, kuat tarik, kuat geser, dan kohesi.
4. Topografi  
Berdasarkan topografinya, bisa diperoleh laju erosi dan pengendapan yang terjadi pada lereng.

### Faktor keamanan stabilitas lereng

Faktor keamanan adalah hal penting dalam analisis stabilitas lereng. Dengan mengetahui faktor keamanan, dapat diketahui terjadi atau tidaknya keruntuhan pada lereng. Ketentuan untuk faktor keamanan berdasarkan pertimbangan biaya dan konsekuensi kegagalan lereng terhadap ketidakpastian kondisi analisis lereng dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Nilai faktor keamanan untuk lereng tanah

Biaya dan Konsekuensi Kegagalan Lereng	Tingkat Ketidakpastian Kondisi Analisis	
	Rendah <sup>a</sup>	Tinggi <sup>b</sup>
Biaya perbaikan sebanding dengan biaya tambahan untuk merancang lereng yang lebih konservatif	1,25	1,5
Biaya perbaikan lebih besar dari biaya tambahan untuk merancang lereng yang lebih konservatif	1,5	2,0 atau lebih

<sup>a</sup> Tingkat ketidakpastian kondisi analisis dikategorikan rendah jika kondisi geologi dapat dipahami, kondisi tanah seragam, penyelidikan tanah konsisten, lengkap, dan logis terhadap kondisi di lapangan.  
<sup>b</sup> Tingkat ketidakpastian kondisi analisis dikategorikan tinggi jika kondisi geologis sangat kompleks, kondisi tanah bervariasi, dan penyelidikan tanah tidak konsisten dan tidak dapat diandalkan.

(Sumber: SNI Persyaratan Perancangan Geoteknik, 2017)

Ketentuan untuk lereng batuan berdasarkan kondisi permanen maupun sementara dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Rekomendasi nilai faktor keamanan untuk kereng batuan

Kondisi Lereng Batuan	Rekomendasi Nilai Faktor Keamanan
Kondisi permanen	1,5
Kondisi sementara	1,3

(Sumber : SNI Persyaratan Perancangan Geoteknik, 2017)

### Analisis stabilitas lereng

Dalam analisis stabilitas lereng, terdapat 2 prosedur yang bisadigunakan, yaitu sebagai berikut.

1. Prosedur massa (*mass procedure*)  
Prosedur ini digunakan untuk lereng yang tanahnya homogen. Pada prosedur massa, analisis menggunakan metode perhitungan stabilitas lereng dengan kondisi  $\emptyset = 0$ .
2. Metode irisan (*method of slices*)  
Pada metode irisan, bidang gelincir terbagi menjadi beberapa irisan vertikal dan akan dianalisis stabilitas dari masing-masing irisan. Dengan menggunakan metode ini, perhitungan stabilitas teliti karena tanahnya tidak homogen dan perbedaan tekanan pori dapat dimasukkan ke dalam perhitungan. Berikut metode yang bisa digunakan, yaitu metode *Fellenius* dan metode *Bishop*. Faktor keamanan dihitung berdasarkan keseimbangan momen. Diasumsikan kelongsoran terjadi melalui rotasi dari suatu irisan tanah pada permukaan bidang

longsor. Metode ini efektif jika kondisi lereng adalah isotropis, non-isotropis, dan berlapis-lapis. Pada metode ini, terdapat beberapa massa tanah yang bergerak menjadi irisan vertikal. Antar irisan belum tentu sama lebarnya sehingga bisa membentuk dasar lengkung busur yang dianggap garis lurus. Pada metode *Bishop*, semua gaya yang bekerja pada setiap sisi dari masing-masing irisan diperhitungkan.

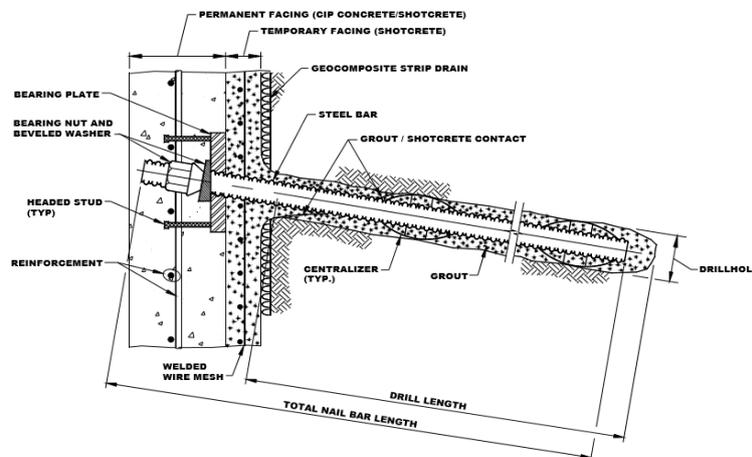
### **Soil nailing**

Salah satu metode perkuatan lereng adalah penggunaan *soil nailing*. *Soil nailing* adalah perkuatan lereng menggunakan batang baja yang dipasang dengan jarak dekat ke dalam lereng untuk memindahkan beban ke tanah sekitar *soil nailing*. *Soil nailing* dapat meningkatkan gaya normal dan gaya perlawanan geser tanah selama terjadi potensial bidang geser tanah dan juga mengurangi daya dorong yang terjadi antara gesekan pada tanah kohesif bidang gelincir.

Berikut jenis tanah yang tepat untuk penggunaan *soil nailing*.

1. *Stiff to hard fine - grained soil*  
Tanah berbutir halus atau tanah kohesif yang termasuk dari *stiff to hard clays*, *clayey silts*, *silty clays*, dan *sandy silts* yang memiliki nilai N-SPT > 9
2. *Dense to very dense granular soils*  
Tanah yang terdiri dari pasir dan batuan (non-kohesif) yang memiliki nilai N-SPT > 30
3. Batuan lapuk yang tidak mempunyai bidang diskontinu  
Batuan lapuk mampu menjadi pendukung dalam penggunaan *soil nailing*. Pelapukan yang terjadi harus seragam. Jika tidak, akan mempersulit proses pengeboran dan pemasangannya.

### **Komponen soil nailing**



Gambar 1. Komponen *soil nailing* (Sumber : *Geotechnical Engineering Circular No. 7 Soil Nail Walls*, 2003)

Berikut ini komponen-komponen utama pada *soil nailing* berdasarkan Gambar 1.

1. Batang baja (*nail bars*)  
Batang baja yang digunakan sebaiknya mempunyai kuat tarik 420 MPa atau 520 MPa. Diameter yang optimal adalah 19 mm, 22 mm, 25 mm, 29 mm, 32 mm, 36 mm, dan 43. Berikut pola *nail bars* yang bisa digunakan.
2. *Nail head*  
*Nail head* terdiri dari *bearing plate*, *hex nut*, *washers*, dan *headed stud*. *Bearing plate* berfungsi untuk mendistribusikan gaya pada ujung batang baja ke *shotcrete*. *Bearing plate* yang digunakan adalah baja dengan  $F_y$  250 Mpa berbentuk persegi ukuran 200-250 mm dengan tebal 19 mm. *Washers* dan *hex nut* dipasang untuk mengikat *nail bars* yang keluar.
3. *Grout*  
Untuk *grout*, berdasarkan ASTM C 150, tipe semen yang digunakan adalah tipe I, II, III, dan V. Rasio air semen yang digunakan sekitar 0,4 – 0,5. Kuat tekan *grout* harus mencapai 21 MPa dalam 28 hari.
4. *Centralizer*  
Komponen ini terdiri dari polivinil clorida (PVC) atau bahan sintesis lain. Ini dipasang di sepanjang *nail bars* agar tebal selimut beton sesuai dengan rencana dengan jarak  $\leq 2,5$  m dan 0,5 m.
5. Proteksi korosi

- Proteksi korosi berupa *corrugated sheath* dari material sintetis dengan tebal minimal 1 mm.
6. Wall facing  
Tampilan dinding terdiri dari 2 tahap. Untuk tahap pertama, tampilan dinding sementara dibuat dari *shotcrete* selama pekerjaan konstruksi berlangsung. Ini bertujuan untuk melindungi permukaan galian dari erosi. Untuk tahap kedua, tampilan dinding permanen dibuat dari beton pracetak. Ini membuat permukaan galian terlihat lebih rapi.
  7. Sistem drainase  
Sistem drainase berfungsi untuk mencegah peningkatan tekanan air di belakang dinding galian. Saluran drainase dibuat dari geokomposit dan dipasang di antara tampilan dinding sementara.

### Syarat komponen dinding *soil nailing*

Berikut syarat penting dalam membentuk dinding *soil nailing* menurut SNI Persyaratan Perencanaan Geoteknik (2017:217).

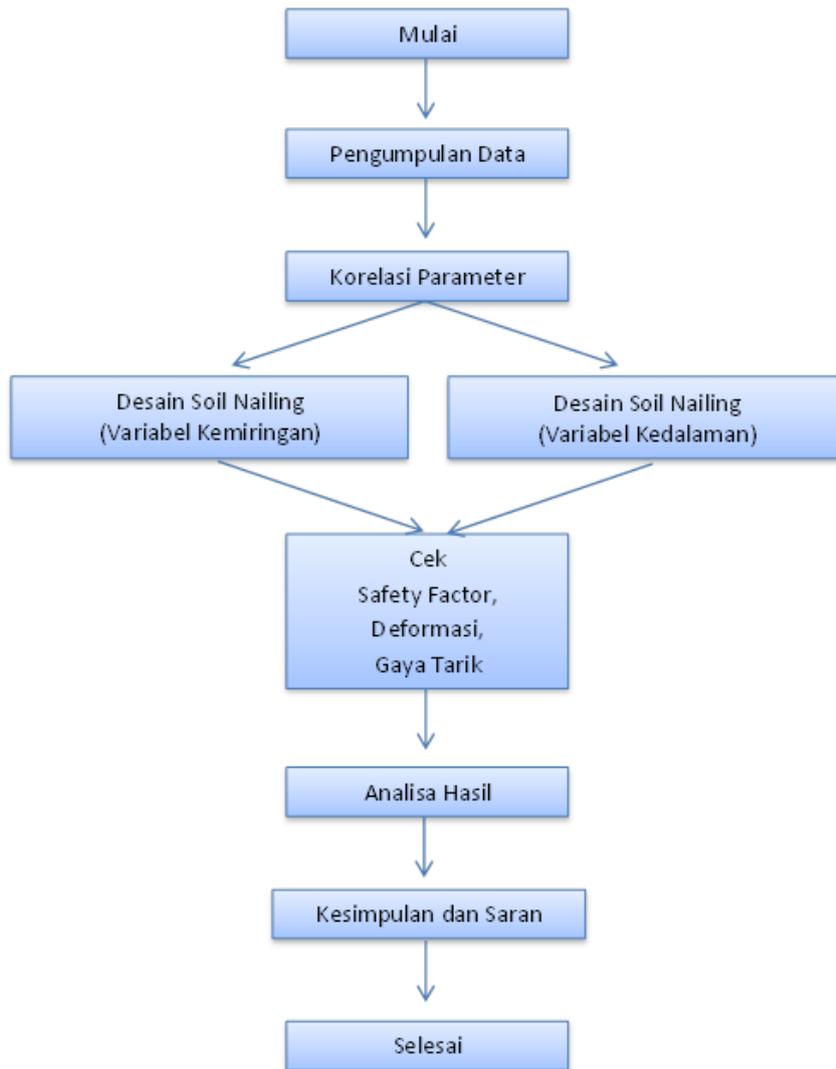
1. Kemiringan dinding  
Kemiringan dinding mampu mengurangi kebutuhan panjang *nail bar*. Kemiringan 10% dari vertikal bisa mengurangi kebutuhan panjang *nail bar* 10% - 15% dibanding dinding tegak. Pada umumnya, kemiringan dinding *soil nailing* sekitar 80° - 90° terhadap bidang horizontal.
2. Kemiringan *nail*  
Syarat kemiringannya adalah 10° - 20° di bawah bidang horizontal.
3. Panjang *nail bar*  
Syarat panjangnya adalah 0,6H – 1,2 H, di mana H adalah kedalaman dari galian.
4. Jarak antar *nail*  
Syarat jarak untuk metode pemasangan untuk metode *drilled and grouting soil nailing* adalah 1,5 m. Syarat jarak untuk metode *driven soil dan nailing* adalah 1 m – 1,2 m. Pada baris pertama, *nail bar* harus dipasang ≤ 1,1 m di bawah puncak dinding agar terhindar dari longsor pada awal tahap galian.
5. Diameter lubang bor  
Syarat diameternya adalah sekitar 100 mm – 200 mm.

## 2. METODE PENELITIAN

### Metodologi penelitian

Tahapan penelitian dapat dilihat pada Gambar 2:

1. Pengumpulan data  
Data tanah diambil dari hasil *bore log* Universitas Hasanuddin.
2. Studi literature  
Untuk melakukan analisis ini, perlu mempunyai pengetahuan dan informasi mengenai stabilitas lereng, masalah kelongsoran, kekuatan tanah, dan juga cara kerja dari *soil nailing*. Teori-teori tersebut diperoleh dari literatur yang terkait.
3. Analisis data  
Data yang diperoleh dikorelasikan untuk mendapatkan parameter-parameter tanah yang dibutuhkan.
4. Hasil perhitungan  
Dari analisis dan perhitungan yang dilakukan, akan diperoleh nilai faktor keamanan dari masing-masing variabel (kemiringan dan kedalaman *soil nailing*).
5. Analisis hasil  
Nilai faktor keamanan yang diperoleh dibandingkan dan harus sesuai dengan persyaratan.



Gambar 2. Diagram alir penelitian

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis stabilitas terhadap salahsatu lereng di daerah Sulawesi Barat dilakukan untuk memperoleh faktor keamanan yang paling optimal dengan menggunakan *soil nailing* sebagai metode perkuatan lereng. Dalam analisis ini, terdapat 3 hal yang divariasikan, yaitu kemiringan *nail*, jarak antar *nail*, dan panjang *nail* yang digunakan. Berdasarkan variabel tersebut, faktor keamanan lereng akan dianalisis menggunakan program berbasis metode kesetimbangan batas. Hasil faktor keamanan lereng dari masing-masing variabel akan dibandingkan sehingga dapat diperoleh faktor keamanan yang dibutuhkan. Melalui analisis ini juga, akan diketahui pengaruh kemiringan *nail*, jarak antar *nail*, dan panjang *nail* pada penggunaan *soil nailing* terhadap faktor keamanan lereng.

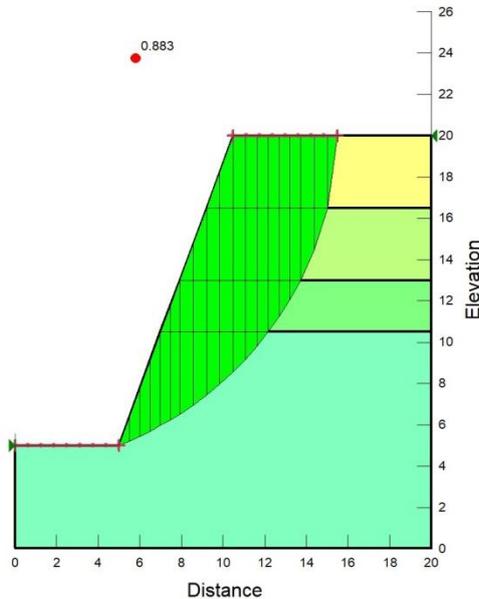
Berikut *summary* parameter tanah dari lereng tersebut yang diperoleh berdasarkan nilai N-SPT lereng.

Tabel 3. *Summary* parameter tanah

No.	Parameter Tanah	Lapisan 1 (0-3.5 m)	Lapisan 2 (3.5-7 m)	Lapisan 3 (7-9.5 m)	Lapisan 4 (9.5-20 m)
1.	Berat volume $\gamma$ ( $\text{kN/m}^3$ )	19,1	22	22	22
2.	Kohesi $c$ ( $\text{kN/m}^2$ )	20	60	60	60
3.	Sudut geser $\phi$ ( $^\circ$ )	32	40	40	40

### Permodelan lereng tanpa perkuatan dengan program berbasis metode kesetimbangan batas

Pada program berbasis metode kesetimbangan batas, dibuat model lereng dengan kemiringan  $69,86^\circ$  yang terdiri dari 4 lapisan tanah. Parameter tanah yang sudah diperoleh juga dimasukkan ke dalam program. Berikut permodelan lereng tanpa perkuatan yang didapat.



Gambar 3. Permodelan lereng tanpa perkuatan

Pada SNI Persyaratan Perancangan Geoteknik (2017), faktor keamanan untuk lereng dengan kondisi permanen seharusnya adalah 1,5. Dari hasil analisis stabilitas yang dilakukan terhadap lereng tanpa perkuatan melalui program, faktor keamanan dari lereng tersebut adalah 0,883. Hal ini menunjukkan lereng membutuhkan perkuatan tanah agar faktor keamanannya mampu mencapai nilai minimal 1,5. Perkuatan tanah yang digunakan adalah *soil nailing*.

### Permodelan lereng menggunakan *soil nailing* dengan program berbasis metode kesetimbangan batas

*Soil Nailing* digunakan sebagai metode perkuatan dari lereng. Penggunaan *soil nailing* pada analisis menggunakan program berbasis metode kesetimbangan batas akan divariasikan kemiringan *nail*, jarak antar *nail*, dan panjang *nail*-nya. Dari semua hasil yang diperoleh, akan didapatkan faktor keamanan yang optimal.

1. *Soil Nailing* dengan Kemiringan *Nail* Tertentu

Pada analisis stabilitas lereng ini, kemiringan *nail* pada *soil nailing* akan divariasikan menjadi  $0^\circ$ ,  $10^\circ$ ,  $20^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $40^\circ$ ,  $50^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $70^\circ$ ,  $80^\circ$ , dan  $90^\circ$ . Berikut faktor keamanan yang diperoleh.

Tabel 4. Faktor keamanan lereng dengan kemiringan *nail* tertentu

No.	Kemiringan <i>Nail</i>	Faktor Keamanan
1.	$0^\circ$	2,041
2.	$10^\circ$	2,032
3.	$20^\circ$	2,023
4.	$30^\circ$	2,002
5.	$40^\circ$	1,980
6.	$50^\circ$	1,951
7.	$60^\circ$	1,909
8.	$70^\circ$	1,881
9.	$80^\circ$	1,832
10.	$90^\circ$	1,810

2. *Soil Nailing* dengan Jarak antar *Nail* Tertentu

Pada analisis stabilitas lereng ini, jarak antar *nail* pada *soil nailing* akan divariasikan menjadi 3,8 m, 4 m, 4,2 m, 4,4 m, dan 4,6 m. Berikut faktor keamanan yang diperoleh.

Tabel 5. Faktor keamanan lereng dengan jarak antar *nail* tertentu

No.	Jarak antar <i>Nail</i>	Faktor Keamanan
1.	3,8 m	2,042
2.	4 m	2,041
3.	4,2 m	2,038
4.	4,4 m	2,035

### 3. *Soil Nailing* dengan Panjang *Nail* Tertentu

Pada analisis stabilitas lereng ini, panjang *nail* pada *soil nailing* akan divariasikan menjadi 5,5 m, 6 m, 6,5 m, 7 m, dan 7,5 m. . Berikut faktor keamanan yang diperoleh.

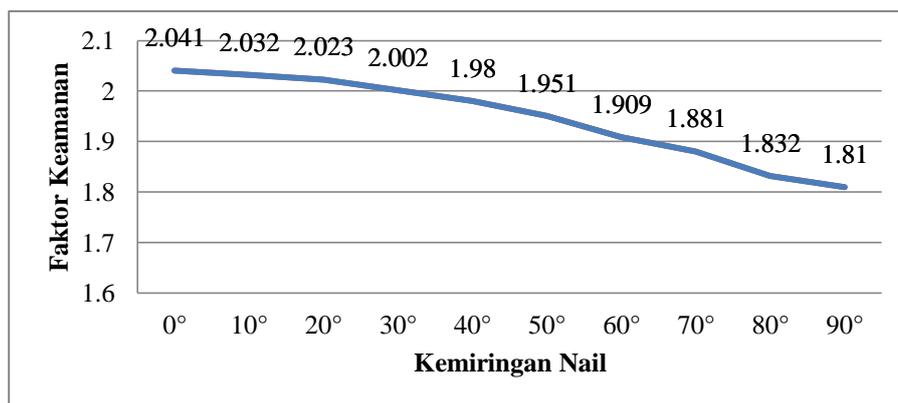
Tabel 6. Faktor keamanan lereng dengan panjang *nail* tertentu

No.	Panjang <i>Nail</i>	Faktor Keamanan
1.	5,9 m	1,978
2.	6,1 m	2,042
3.	6,3 m	2,042
4.	6,5 m	2,042

Terlihat dari Gambar 6, *nail* tidak mampu menembus seluruh bidang longsor sehingga panjang *nail* 5,9 m tidak bisa digunakan pada perkuatan lereng ini.

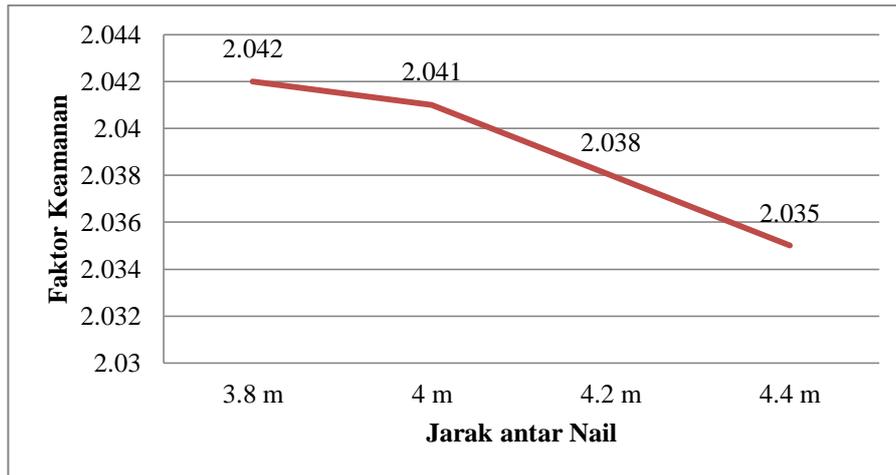
### Perbandingan faktor keamanan lereng dengan *soil nailing*

Analisis lereng dengan perkuatan *soil nailing* menggunakan program berbasis metode kesetimbangan batas telah dilakukan dengan semua variasi *nail* yang direncanakan. Berikut *summary* dari hasil faktor keamanan yang diperoleh.



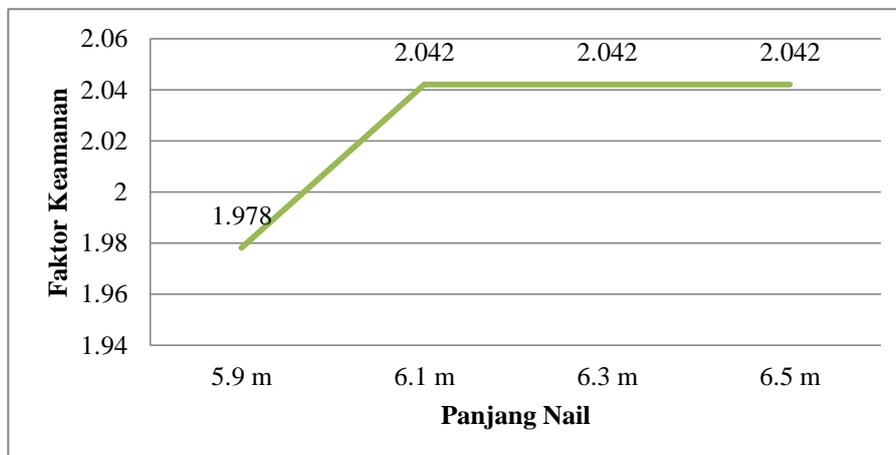
Gambar 4. Perbandingan faktor keamanan dengan kemiringan *nail* tertentu

Berdasarkan Gambar 4, didapatkan angka faktor keamanan tertinggi untuk stabilitas lereng adalah 2,041 pada kemiringan *nail* 0°. Namun, berdasarkan SNI Persyaratan Perencanaan Geoteknik (2017), kemiringan *nail* seharusnya 10° - 20° di bawah bidang horisontal. Oleh karena itu, diambil *nail* dengan kemiringan 10° sebagai faktor keamanan tertinggi, yaitu sebesar 2,032. Dari grafik tersebut, juga terlihat bahwa semakin besar kemiringan *nail*, angka faktor keamanannya menjadi menurun.



Gambar 5. Perbandingan faktor keamanan dengan jarak antar *nail* tertentu

Berdasarkan Gambar 5, didapatkan angka faktor keamanan tertinggi untuk stabilitas lereng adalah 2,042 pada jarak antar *nail* 3,8 m. Dari hasil tersebut, terlihat bahwa semakin besar jarak antar *nail*-nya, angka faktor keamanannya menjadi menurun.



Gambar 6. Perbandingan faktor keamanan dengan panjang *nail* tertentu

Berdasarkan Gambar 6, terlihat bahwa angka faktor keamanan pada panjang *nail* 6,1 m, 6,3 m, dan 6,5 m adalah sama sehingga bisa disimpulkan bahwa angka faktor keamanan maksimal sebesar 2,042 bisa diperoleh pada panjang *nail* minimum, yaitu 6,1 m.

#### 4. KESIMPULAN DAN SARAN

##### Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis stabilitas lereng yang dilakukan terhadap salahsatu lereng di daerah Sulawesi Barat dengan perkuatan *soil nailing* menggunakan program berbasis metode kesetimbangan batas, dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut.

1. Lereng yang dianalisis mempunyai faktor keamanan sebesar 0,883. Hal ini menunjukkan lereng belum mencapai angka stabilitas lereng minimal, yaitu 1,5 berdasarkan SNI Persyaratan Perancangan Geoteknik (2017).
2. Pada lereng yang dianalisis menggunakan *soil nailing* dengan variasi kemiringan *nail*, diperoleh angka faktor keamanan maksimal adalah 2,041 pada kemiringan *nail* 0°. Namun, berdasarkan SNI Persyaratan Perencanaan Geoteknik (2017), kemiringan *nail* seharusnya 10° - 20° di bawah bidang horisontal. Oleh

karena itu, diambil *nail* dengan kemiringan  $10^\circ$  sebagai faktor keamanan maksimal, yaitu sebesar 2,032. Ini sudah memenuhi syarat angka stabilitas lereng minimal sebesar 1,5.

3. Pada lereng yang dianalisis menggunakan *soil nailing* dengan variasi jarak antar *nail*, diperoleh angka faktor keamanan maksimal adalah 2,042 pada jarak antar *nail* 3.8 m. Ini sudah memenuhi syarat angka stabilitas lereng minimal sebesar 1,5.
4. Pada lereng yang dianalisis menggunakan *soil nailing* dengan variasi panjang *nail*, diperoleh angka faktor keamanan maksimal adalah 2.042 pada panjang *nail* 6.1 m. Ini sudah memenuhi syarat angka stabilitas lereng minimal sebesar 1,5.
5. Untuk mencapai angka minimal stabilitas lereng sebesar 1.5, lereng yang dianalisis membutuhkan perkuatan *soil nailing* dengan *nail* sepanjang 6.1 m dengan kemiringan  $0^\circ$  dan jarak antar *nail* 3.8 m.

### Saran

Berdasarkan analisis yang dilakukan, berikut ini saran untuk melengkapi kekurangan dari analisis ini.

1. Mengambil data lereng dari hasil uji laboratorium dan hasil *bore log* di lapangan.
2. Menambah titik di area lereng longsor yang dianalisis.
3. Melakukan analisis stabilitas lereng dengan mengganti metode perkuatan tanah.
4. Melakukan analisis stabilitas lereng dengan mengganti model parameter tanah.

### DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standarisasi Nasional. *SNI 8460:2017. Persyaratan Perancangan Geoteknik*. 2017. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Makarim, Chaidir A., Yudhistira Y. Raynaldo, Alvin Tehmono. *Pengantar Geologi & Mekanika Tanah*. 2017. Jakarta: Chaidir Anwar Makarim.
- Lazarte, Carlos A., Victor Elias, David Espinoza, Paul J. Sabatini. *Geotechnical Engineering Circular No.7 Soil Nail Walls. Publikasi FHWA0-IF-03-017*. 2003. Washington, D.C: Federal Highway Administration.