

Diterima : 13 Februari 2025 | Selesai Direvisi : 19 Maret 2025 | Disetujui : 24 April 2025 | Dipublikasikan : Juli 2025
DOI : <https://doi.org/10.24853/jk.16.2.97-106>
Copyright © 2025 Jurnal Konstruksia
This is an open access article under the CC BY-NC licence (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)

Pengaruh *Soil Nailing* Terhadap Stabilitas Lereng Menggunakan *Software LEM* Dan Perhitungan Manual

Dian Purnawati Solin¹, Ani Sefrina¹ dan Himatul Farichah¹

¹Prodi Teknik Sipil, Universitas Pembangunan Nasional 'Veteran' Jawa Timur, Jl. Raya Rungkut Madya No. 1, Gunung Anyar, Surabaya, 60294

Email korespondensi: diansolin.ts@upnjatim.ac.id

ABSTRAK

Stabilitas lereng merupakan hal yang penting untuk mencegah terjadinya longsor, yang dapat disebabkan oleh berbagai faktor, baik internal (kekuatan tanah) maupun eksternal (aktivitas manusia). Salah satu metode yang sering digunakan untuk memperkuat lereng adalah teknik *soil nailing*, yang memberikan solusi perkuatan lereng yang efektif dan efisien dari segi biaya dan waktu. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh perkuatan *soil nailing* terhadap stabilitas lereng dengan membandingkan nilai faktor keamanan sebelum dan sesudah perkuatan, menggunakan perhitungan manual (metode Fellenius) serta perangkat lunak *LEM*. Hasil perhitungan manual menunjukkan bahwa lereng tanpa perkuatan memiliki faktor keamanan sebesar 1,123, sedangkan analisis dengan *software LEM* menghasilkan nilai 1,352, dimana nilai faktor keamanan dari kedua metode tersebut di bawah batas aman yaitu $SF \geq 1,5$, sehingga lereng dinyatakan kritis dan berpotensi longsor. Setelah penerapan *soil nailing*, faktor keamanan meningkat signifikan: secara manual menjadi 1,792 dan dengan *software LEM* menjadi 1,858. Analisis lebih lanjut menunjukkan bahwa *soil nailing* efektif dalam meningkatkan faktor keamanan terhadap keruntuhan global, penggeseran, serta kestabilan internal terhadap kegagalan tarik dan cabut tulangan. Dengan demikian, penerapan *soil nailing* dapat dianggap sebagai solusi yang aman dan efektif untuk meningkatkan stabilitas lereng sesuai dengan standar yang ditetapkan oleh SNI 8460:2017.

Kata kunci: Stabilitas Lereng, *Soil nailing*, Faktor Keamanan

ABSTRACT

Slope stability is important to prevent landslides, which can be caused by various factors, both internal (soil strength) and external (human activities). One method that is often used to strengthen slopes is soil nailing technique, which provides an effective and efficient solution in terms of cost and time. This research aims to analyze the effect of soil nailing on slope stability by comparing the factor of safety values before and after reinforcement, using manual calculations (Fellenius method) and LEM software. The results of the manual calculation show that the slope without reinforcement has a safety factor of 1.123, while the analysis with LEM software produces a value of 1.352, where the safety factor value of both methods is below the safe limit of $SF \geq 1.5$, so that the slope is declared critical and potentially landslide. After the application of soil nailing, the factor of safety increased significantly: manually to 1.792 and with LEM software to 1.858. Further analysis showed that soil nailing was effective in increasing the factor of safety against global collapse, sliding, and internal stability against tensile failure and reinforcement pullout. Thus, the application of soil nailing can be considered as a safe and effective solution to improve slope stability in accordance with the standards set by SNI 8460:2017.

Keywords: Slope Stability, *Soil nailing*, Safety Factor

1. PENDAHULUAN

Lereng merupakan bagian dari permukaan bumi yang memiliki kemiringan tertentu terhadap bidang horizontal. Kondisi lereng yang memiliki kemiringan menyebabkan adanya potensi ketidakstabilan massa tanah yang dapat memicu terjadinya longsor [1]. Longsor disebabkan oleh dua faktor utama, yaitu faktor internal yang berkaitan dengan kekuatan tanah dan faktor eksternal yang melibatkan aktivitas manusia [8]. Kedua faktor ini memengaruhi kestabilan lereng dengan menimbulkan tegangan geser pada massa tanah.

Terkait dengan kondisi tersebut, pengecekan stabilitas lereng menjadi langkah awal untuk mengidentifikasi tingkat keamanan lereng dan risiko longsor yang mungkin terjadi [9]. Apabila hasil evaluasi menunjukkan bahwa lereng berada dalam kondisi yang kurang stabil, maka diperlukan tindakan perkuatan guna meningkatkan kestabilan lereng dan mencegah terjadinya pergerakan massa tanah yang berbahaya.

Saat ini terdapat berbagai metode yang umum digunakan untuk meningkatkan stabilitas lereng, salah satunya adalah *soil nailing*. *Soil nailing* adalah teknik perkuatan lereng dengan memasukkan batang tulangan pada sudut dan kedalaman tertentu ke dalam lereng galian [10]. Perkuatan *soil nailing* juga memberikan solusi alternatif yang lebih efisien dari segi biaya, waktu pelaksanaan, kemudahan pengerjaan, serta tidak memerlukan ruang kerja yang luas [13]. Selain itu, *soil nailing* sering dipilih sebagai perkuatan lereng karena dianggap sebagai metode perkuatan lereng yang paling efektif untuk meningkatkan stabilitasi lereng galian [3].

Penelitian oleh Joshua et al. (2023) mengkaji stabilitas lereng yang berpotensi longsor dengan menggunakan perkuatan *soil nailing* sebagai solusi. Studi ini membandingkan faktor keamanan lereng sebelum dan sesudah penerapan *soil nailing*, dan hasilnya menunjukkan

peningkatan signifikan pada nilai faktor keamanan setelah perkuatan. Dengan demikian, *soil nailing* terbukti efektif dalam meningkatkan kestabilan lereng dan mencegah longsor [7].

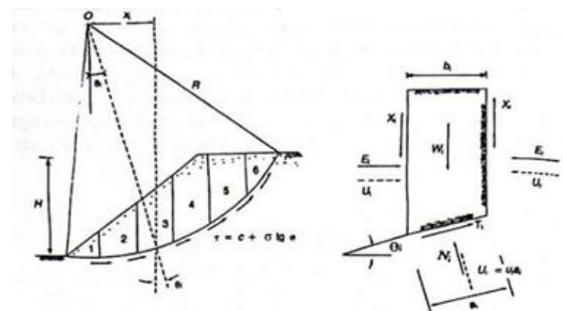
Berdasarkan latar belakang dan hasil studi terdahulu, penulis tertarik melakukan perhitungan analisis stabilitas lereng sebelum dan sesudah penerapan perkuatan *soil nailing*. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis pengaruh penerapan perkuatan *soil nailing* terhadap kestabilan lereng. Perhitungan stabilitas lereng dalam penelitian ini dilakukan dengan metode manual dan menggunakan *software LEM (Limit Equilibrium Method)*.

2. STABILITAS LERENG

Analisis stabilitas lereng

Analisis lereng dilakukan dengan tujuan untuk mengevaluasi kondisi lereng alami maupun buatan, memprediksi pola keruntuhan, menilai tingkat kerawanan longsor, serta merancang lereng timbunan agar memenuhi standar keamanan [4].

Untuk menganalisis stabilitas lereng, salah satu metode yang sering dipakai adalah metode Fellenius yang membagi bidang longsor berbentuk lingkaran menjadi irisan-irisan vertikal [15]. Prinsip dasar metode ini adalah membandingkan gaya-gaya yang menahan lereng dengan gaya-gaya yang mendorong lereng untuk menentukan faktor keamanan lereng [2].



Gambar 1. Gaya-Gaya Yang Bekerja Pada Metode Irisan Fellenius [5]

Nilai faktor keamanan dari Metode Fellenius dapat menggunakan persamaan berikut:

$$SF = \frac{\sum(c \cdot \Delta L_n + W \cdot \cos \alpha \cdot \tan \varphi)}{\sum(W \sin \alpha)} \quad (1)$$

Dengan W = berat tanah pada potongan yang ditinjau (kN), c = kohesi tanah (kN/m²); φ = sudut geser dalam tanah (°); L_n = panjang busur garis kelongsoran (m); α = besar sudut antar gaya normal (N) dengan berat tanah (W).

Soil nailing

Pada metode *soil nailing*, perkuatan lereng dirancang untuk menjaga kestabilan lereng sehingga terhindar dari bahaya longsor [12]. Analisis kestabilan lereng dengan menggunakan *soil nailing* dilakukan dalam dua tahap, yaitu tahap desain eksternal dan tahap desain internal. Faktor keamanan yang memadai harus terpenuhi pada kedua tahap tersebut agar lereng dapat dianggap stabil.

Faktor keamanan dapat dihitung dengan rumus seperti persamaan dibawah ini:

$$SF = \frac{c L_f + W \cos \alpha \tan \alpha + (\sum T_i \sin (\alpha + i) - \sum V_i \cos (\alpha + i) \tan \varphi)}{W \sin \alpha - \sum T_i \cos (\alpha + i) - \sum V_i \cos (\alpha + i)} \quad (2)$$

Dengan, SF = faktor aman, c = kohesi tanah (kN/m²), φ = sudut geser dalam tanah (°), α = sudut kemiringan antara bidang potensial longsor dan permukaan horizontal (°), W = total berat dari setiap irisan tanah dalam analisis metode irisan (kN/m), L_f = panjang lengkung lingkaran pada irisan ke- n (m), i = kemiringan *nail* terhadap bidang horizontal (°), $\sum T_i$ = Akumulasi kekuatan dari elemen penguat dalam menahan gaya tarik (kN/m), $\sum V_i$ = total kemampuan elemen penguat melawan gaya geser sepanjang bidang longsor (kN/m).

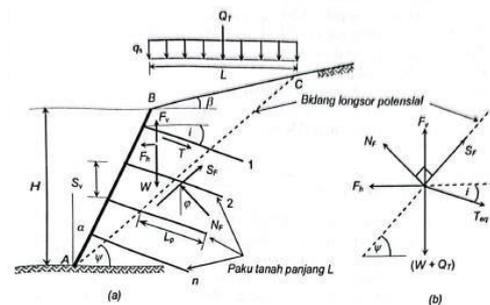
b) Analisis Terhadap Penggeseran

Analisis ini dilakukan untuk menghitung faktor keamanan perkuatan lereng terhadap potensi kegagalan akibat pergeseran tanah. Proses analisis mempertimbangkan gaya atau beban struktur perkuatan sebagai elemen penahan. Nilai faktor keamanan yang diperoleh dari analisis pergeseran dapat dihitung menggunakan rumus berikut:

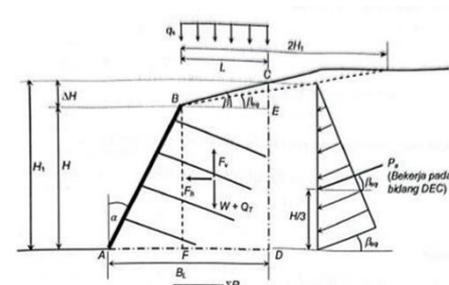
1. Analisis Stabilitas Eksternal

a) Analisis Keruntuhan Lereng Global (*Global Stability Failure*)

Analisis kegagalan lereng secara global dilakukan guna menentukan tingkat keamanan lereng. Dalam penelitian ini, digunakan metode *wedge*, dengan gaya-gaya yang bekerja pada metode tersebut diperlihatkan pada Gambar 2 berikut.



Gambar 2. Stabilitas Global *Soil Nailing* Menggunakan Mekanisme Keruntuhan Baji (Wedge) [6]



Gambar 3. Stabilitas Terhadap Penggeseran [6]

$$SF = \frac{c_b \times BL + (W + Q + PA \times \sin \delta) \tan \varphi}{PA \cos \delta} \quad (3)$$

dengan, SF = nilai faktor aman, C_b = kohesi tanah (kN/m), BL = lebar

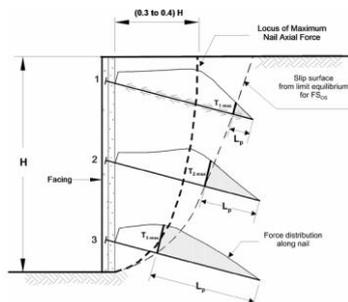
struktur (m), W = berat irisan tanah (kN/m), Q = beban mati di atas lereng (kN/m), ϕ = sudut gesek dalam tanah ($^\circ$), H = tinggi tanah (m), δ = sudut gesek.

2. Analisis Stabilitas Internal

Analisis ini bertujuan mengidentifikasi faktor keamanan perkuatan lereng dengan metode *soil nailing* terhadap aspek internal, termasuk kekuatan tulangan dan risiko *pull-out* (lepasnya tulangan dari tanah).

a) Analisis Terhadap Putus Tulangan

Evaluasi dilakukan dengan mempertimbangkan jarak antar tulangan dan tekanan tanah yang mampu ditahan oleh tulangan. Gaya serta parameter yang memengaruhi perhitungan dapat dilihat dalam gambar berikut dan dapat dianalisis menggunakan persamaan sebagai berikut:



Gambar 4. Keruntuhan Putus Tulangan [6]

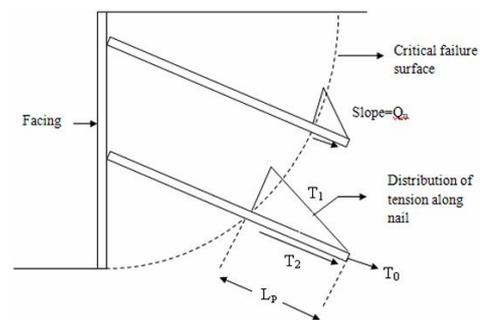
$$Fr = \frac{(0.25 \times \pi \times d^2 \times fy)}{1000 \times \sigma_h \times Sv \times Sh} \quad (4)$$

$$\sigma_h = Ka \gamma z \quad (5)$$

Dengan, Sv = jarak antar *nail* pada arah vertikal (m), Sh = jarak antar *nail* pada arah horizontal (m), fy = kekuatan tarik baja (MPa), d = diameter *nail* (mm), σ_h = tekanan horizontal tanah pada kedalaman yang ditinjau (kN/m²), γ = berat jenis tanah (kN/m³), z = kedalaman yang dianalisis (m), Ka = koefisien tekanan lateral tanah.

b) Analisis Terhadap Cabut Tulangan

Analisis ini difokuskan untuk mengevaluasi kekuatan tulangan pada perkuatan lereng *soil nailing* dalam menahan gaya cabut. Perhitungan dilakukan guna mencegah kegagalan struktural akibat kesalahan desain, seperti panjang tulangan yang tidak memadai. Gaya yang bekerja ditunjukkan dalam Gambar 5. dan analisis dapat dilakukan dengan persamaan sebagai berikut:



Gambar 5. Keruntuhan Cabut Tulangan [6]

$$Fr = \frac{\pi \times qu \times Ddh \times Lp}{\sigma_h \times Sv \times Sh} \quad (6)$$

Dengan, qu = *ultimate bond strength* (kN/m²), Lp = panjang *nail* yang berada di zona pasif (m), Ddh = diameter lubang bor (m).

Faktor keamanan lereng

Faktor Keamanan (FK) yang diperbolehkan merujuk pada SNI 8460:2017, nilai acuan faktor keamanan untuk analisis stabilitas lereng perkuatan *soil nailing* sebagai berikut.

Tabel 1. Syarat Faktor Keamanan Lereng [14]

Stabilitas	Syarat Faktor Keamanan
Stabilitas Eksternal	
Global	≥ 1,5
Penggeseran	≥ 1,5

Stabilitas Internal	
Putus Tulangan	$\geq 2,0$
Cabut Tulangan	$\geq 1,8$

3. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini melakukan analisis stabilitas lereng dengan perhitungan manual yang kemudian diverifikasi menggunakan *Software LEM (Limit Equilibrium Method)*. Dalam penelitian ini dilakukan perbandingan faktor keamanan lereng antara kondisi tanpa perkuatan dan dengan penerapan *soil nailing* sebagai opsi perkuatan.

Analisis stabilitas lereng tanpa perkuatan

Menghitung faktor keamanan lereng eksisting menggunakan perhitungan manual dan kemudian diverifikasi dengan *Software LEM*.

Analisis kestabilan lereng dengan penerapan *soil nailing*

Melakukan evaluasi ulang faktor keamanan dengan mempertimbangkan efek *soil nailing*, baik melalui perhitungan manual maupun menggunakan *Software LEM*.

Analisis perkuatan *soil nailing*

Analisis ini fokus pada efektivitas *soil nailing* sebagai metode perkuatan dengan menghitung kontribusi *nail* dalam meningkatkan kekuatan lereng, sekaligus mengevaluasi nilai faktor keamanan terhadap stabilitas perkuatan *soil nailing* terkait potensi keruntuhan lereng, risiko penggeseran, kegagalan tarik, serta kemungkinan terjadinya pencabutan tulangan.

Rekapitulasi hasil faktor keamanan

Membandingkan faktor keamanan lereng sebelum dan sesudah penerapan perkuatan *soil nailing* untuk memastikan bahwa metode ini secara signifikan

meningkatkan stabilitas lereng sesuai dengan standar minimal yang ditetapkan.

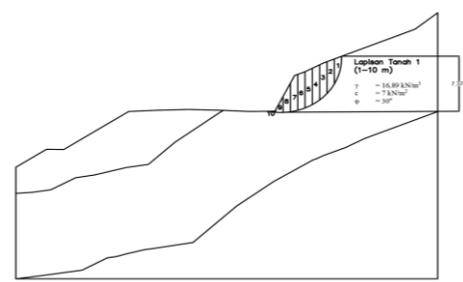
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data parameter tanah dan geometri lereng

Data penelitian yang akan digunakan dalam studi ini adalah sebagai berikut:

- Berat isi tanah (γ) = 16,89 kN/m³
- Kohesi (c') = 7,00 kN/m²
- Sudut geser (ϕ') = 30,11°
- Tinggi lereng = 7,374 m
- Kemiringan lereng = 64°

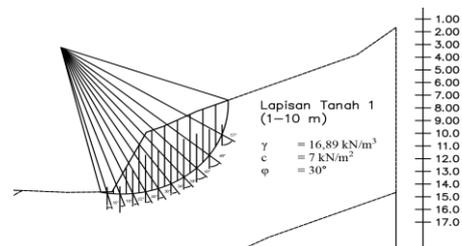
Data tersebut akan digunakan untuk menganalisis stabilitas lereng secara manual dan kemudian akan dianalisis menggunakan *Software LEM*. Dengan pemodelan lereng eksisting seperti Gambar 6. dibawah ini:



Gambar 6. Pemodelan Lereng

Analisis stabilitas lereng tanpa perkuatan secara manual

Metode yang digunakan dalam perhitungan manual ialah metode *Fellenius*. Analisis stabilitas ini dibagi menjadi 10 pias yang dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Pemodelan Lereng Menggunakan Metode Fellenius

Tabel 2. Hasil Perhitungan Metode Fellenius

Irisan No.	γ	Panjang Irisan	Luas Irisan	Sudut Irisan	Radians	Sin	Cos	Berat Irisan (Wt)	Wt x Sin	Wt x Cos
		(L)	(m ²)	(°)						
1	16,89	3,81	2,05	57	0,99	0,84	0,54	34,53	28,96	18,81
2	16,89	1,50	3,21	49	0,86	0,75	0,66	54,25	40,94	35,59
3	16,89	1,19	3,75	43	0,75	0,68	0,73	63,23	43,13	46,25
4	16,89	1,04	3,98	39	0,68	0,63	0,78	67,22	42,30	52,24
5	16,89	0,95	4,04	34	0,59	0,56	0,83	68,13	38,10	56,48
6	16,89	0,90	4,01	30	0,52	0,50	0,87	67,62	33,81	58,56
7	16,89	0,87	3,73	26	0,45	0,44	0,90	62,90	27,57	56,53
8	16,89	0,85	2,47	22	0,38	0,37	0,93	41,76	15,64	38,72
9	16,89	0,85	1,03	19	0,33	0,33	0,95	17,32	5,64	16,38
10	16,89	0,85	0,07	15	0,26	0,26	0,97	1,20	0,31	1,16
		12,81	28,32					478,17	276,41	380,72

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

$$SF = \frac{310,498}{276,41}$$

SF = 1,123 ≤ 1,5 (TIDAK AMAN)

Berdasarkan SNI 8460:2017 (Persyaratan Perancangan Geoteknik), suatu lereng dapat dinyatakan aman dari risiko longsor jika memiliki nilai faktor keamanan (SF) ≥ 1,5 [14]. Hasil simulasi stabilitas lereng menggunakan metode Fellenius dalam studi ini menunjukkan nilai SF sebesar 1,123, yang masih di bawah batas minimum standar nasional tersebut.

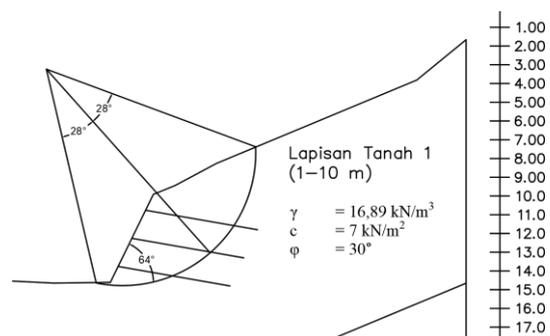
Analisis stabilitas lereng dengan perkuatan secara manual

Berdasarkan analisis stabilitas lereng tanpa perkuatan yang dilakukan secara manual dengan menggunakan metode Fellenius, diperoleh hasil faktor keamanan yang menunjukkan kondisi kritis. Untuk mengurangi resiko longsor yang kemungkinan akan terjadi pada lereng tersebut, diperlukan tindakan perkuatan. Dalam penelitian ini metode perkuatan yang diterapkan adalah *soil nailing*. Untuk melakukan perhitungan manual pada perkuatan *soil nailing*, diperlukan

penentuan faktor keamanan terhadap keruntuhan global dan penggeseran.

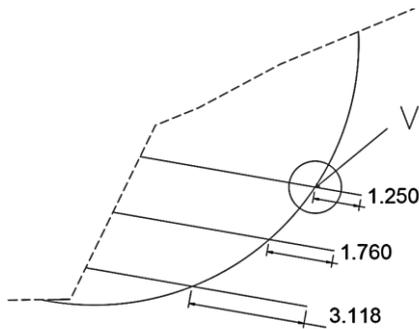
1. Analisis Stabilitas Eksternal *Soil nailing*

- a) Analisis stabilitas lereng terhadap keruntuhan global lereng
Perhitungan dilakukan menggunakan metode baji (*wedge*) dengan asumsi bidang longsor planar. Pemodelan lereng yang dilengkapi dengan perkuatan *soil nailing* ditampilkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Pemodelan Lereng Dengan Perkuatan *Soil nailing* Menggunakan Metode *Wedge*

Bidang longsor kritis pada kasus ini menghasilkan sudut kemiringan (α) sebesar 28°, dengan sudut kemiringan lereng (β) sebesar 64°.



Gambar 9. Panjang Le Pada Lereng

Contoh perhitungan untuk *nail* ke-1

SF = asumsi SF awal sebesar 1,8 yang selanjutnya dilakukan percobaan secara *trial and error* hingga nilai faktor keamanan yang diasumsikan sesuai dengan hasil perhitungan.

W = berat bidang longsor planar

$$W = 478,18 \text{ kN}$$

$$F_{max} = 100 \text{ kN/m}^2$$

$$T1 = \frac{\pi D Le f_{max}}{SF} = 6,984 \text{ kN}$$

Untuk perhitungan *nail* bair ke-2 dan 3 dapat dilihat dalam Tabel dibawah ini:

Tabel 2. Perhitungan Panjang Le

No.	Le (m)	T (kN)	V (kN)
1	1,250	6,984	1,252
2	1,760	8,933	1,252
3	3,118	17,421	1,252
Σ		34,239	3,758

Hasil perhitungan yang diperoleh adalah sebagai berikut:

$$SF = \frac{c Lf + W \cos \alpha \tan \alpha + (\Sigma Ti \sin (\alpha + i) - \Sigma Vi \cos (\alpha + i) \tan \phi}{W \sin \alpha - \Sigma Ti \cos (\alpha + i) - \Sigma Vi \cos (\alpha + i)}$$

$$SF = \frac{366,593}{204,525}$$

$$SF = 1,792 \geq 1,5 \text{ (AMAN)}$$

Pada perhitungan ini, proses *trial* dilakukan menggunakan perangkat lunak *Excel*, menghasilkan faktor keamanan sebesar 1,792. Nilai ini memenuhi syarat minimal sebesar 1,50 yang ditetapkan oleh standar SNI 8460:2017, sehingga menunjukkan bahwa lereng memiliki kemampuan yang cukup untuk menahan gaya-gaya penggerak longsor. Hasil tersebut mengindikasikan bahwa kestabilan lereng terhadap keruntuhan global berada dalam kondisi aman.

b) Analisis stabilitas terhadap penggeseran

Untuk nilai faktor keamanan terhadap penggeseran dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan berikut ini:

$$SF = \frac{cb \times BL + (W + Q + PA \times \sin \delta) \tan \phi}{PA \cos \delta}$$

$$SF = \frac{430,650}{131,767}$$

$$SF = 3,268$$

Berdasarkan hasil perhitungan, nilai faktor keamanan terhadap penggeseran adalah 3,268, yang lebih besar dari batas minimum 1,50. Hal ini menunjukkan bahwa stabilitas lereng terhadap pergeseran berada dalam kondisi aman. Hal ini menunjukkan bahwa gaya tahan lereng terhadap potensi pergeseran sangat memadai untuk menahan beban-beban yang bekerja pada lereng tersebut. Faktor keamanan yang tinggi ini mencerminkan bahwa lereng memiliki stabilitas yang kuat terhadap mekanisme penggeseran, baik akibat tekanan tanah dan gaya geser pada bidang lereng.

2. Analisis Stabilitas Internal *Soil nailing*

Contoh perhitungan analisis kestabilan internal *soil nailing* terhadap kegagalan tarik dan cabut pada nail nomor 1 adalah sebagai berikut:

Panjang *nail* = 6,00 m

Diameter bor (Ddh) = 0,20 m

Jarak vertikal *nail* (S_v) = 1,50 m
 Jarak horizontal *nail* (S_h) = 1,50 m
 Koefisien tekanan tanah lateral aktif
 $K_a = 0,331$

Menghitung tegangan horizontal
 $\sigma_{h_{tanah}} = -2 c \sqrt{K_a} + \gamma L_i K_a$
 $= 16,851$

Menghitung nilai faktor keamanan terhadap putus tulangan:

$$F_r = \frac{(0.25 \times \pi \times d^2 \times f_y)}{1000 \times \sigma_h \times S_v \times S_h}$$

$$F_r = \frac{337,92}{37,914}$$

$$F_r = 8,912 \geq 1,8 \text{ (AMAN)}$$

Menghitung nilai faktor keamanan terhadap cabut tulangan:

$$F_p = \frac{\pi \times q_u \times D_{dh} \times L_p}{\sigma_h \times S_v \times S_h}$$

$$F_p = \frac{78,571}{37,914}$$

$$F_r = 2,07 \geq 2,00 \text{ (AMAN)}$$

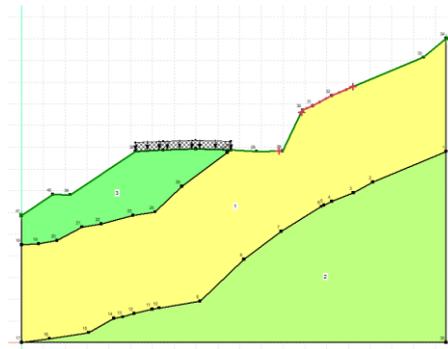
Perhitungan stabilitas internal *soil nailing* untuk *nail bar* ke- 2 dan 3 dapat dilihat pada Tabel dibawah ini :

Tabel 3. Rekapitulasi Faktor Keamanan Terhadap Putus dan Cabut Tulangan

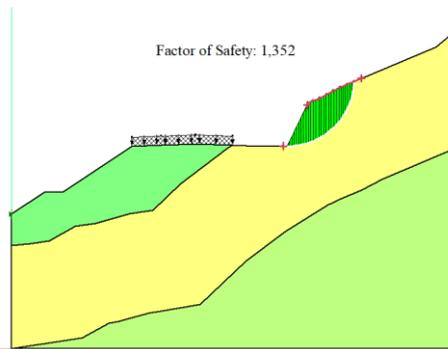
No	σ_h	F_r	F_p	Keterangan
1	16,851	8,913	2,072	AMAN
2	23,546	6,378	2,088	AMAN
3	30,241	4,966	2,880	AMAN

Analisis stabilitas lereng tanpa perkuatan dengan *software LEM*

Pemodelan lereng alami selanjutnya dianalisis menggunakan *Software LEM* dengan metode *Morgenstern-Price*, seperti yang ditampilkan pada Gambar 9. Pada Gambar 10. yaitu merupakan kondisi lereng asli, nilai faktor keamanan yang diperoleh adalah 1,352. Nilai ini menunjukkan bahwa lereng tersebut berpotensi mengalami longsor, karena faktor keamanan berada dibawah batas aman yaitu 1,5.



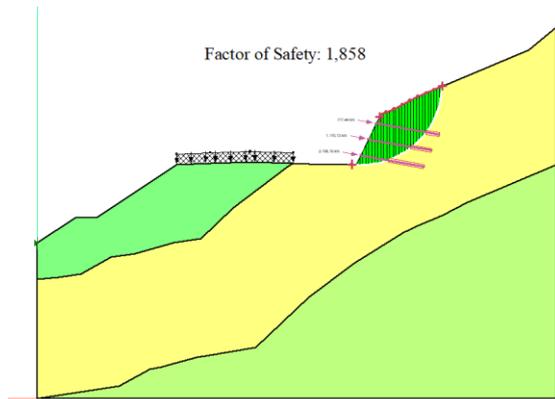
Gambar 9. Pemodelan Lereng Asli Tanpa Perkuatan Dengan *Software LEM*



Gambar 10. Hasil Analisis pada Lereng Asli Tanpa Perkuatan Dengan *Software LEM*

Analisis stabilitas lereng dengan perkuatan dengan *software LEM*

Berdasarkan analisis stabilitas lereng secara manual dan menggunakan program *Software LEM* dengan metode *Morgenstern-Price*, diperoleh nilai faktor keamanan pada kondisi kritis. Dengan demikian, untuk mengurangi risiko longsor pada lereng tersebut, diperlukan perencanaan perkuatan. Pada studi ini, perkuatan yang digunakan adalah *soil nailing*. Hasil analisis dengan perkuatan *soil nailing* menggunakan program *Software LEM* dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11. Hasil Analisis pada Lereng Asli Dengan Perkuatan Dengan *Software LEM*

Hasil analisis menunjukkan bahwa nilai faktor keamanan yang diperoleh sebesar 1,858, dimana hal tersebut menunjukkan bahwa nilai faktor keamanan mengalami peningkatan dibandingkan dengan analisis sebelumnya tanpa perkuatan, yaitu 1,352. Nilai tersebut mengindikasikan bahwa lereng sudah dalam kondisi stabil ($SF = 1,858 \geq 1,5$).

Rekapitulasi hasil penelitian untuk faktor keamanan

Rekapitulasi nilai faktor keamanan lereng yang telah dianalisis menggunakan perhitungan manual maupun *Software LEM* dapat dilihat pada Tabel 4. Dari kedua metode tersebut, dapat disimpulkan bahwa penerapan *soil nailing* memberikan pengaruh signifikan terhadap peningkatan nilai keamanan stabilitas lereng. Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Ramadhan et al. (2023), yang menyatakan bahwa perkuatan *soil nailing* mampu meningkatkan stabilitas lereng hingga 70% dibandingkan dengan kondisi tanpa perkuatan [11].

Tabel 4. Rekapitulasi Faktor Keamanan Lereng Sebelum dan Sesudah Perkuatan

	Manual	<i>Software LEM</i>
Tanpa Perkuatan	1,123	1,352
Dengan Perkuatan	1,792	1,858

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pembahasan di atas, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Hasil analisis stabilitas lereng tanpa perkuatan menggunakan perhitungan manual dengan metode *Fellenius* faktor keamanan yang diperoleh adalah $SF = 1,123$, dan menggunakan *Software LEM* diperoleh $SF = 1,352$. Nilai-nilai tersebut mengindikasikan bahwa lereng berpotensi mengalami longsor jika tidak dilakukan perkuatan.
2. Hasil analisis manual terhadap lereng setelah penerapan perkuatan *soil nailing* menggunakan baja ulir dengan diameter 0,032 m, lubang bor berdiameter 0,2 m, panjang *nail* 6m, dan kemiringan *nail* 10° didapatkan nilai faktor keamanan naik 37,32% menjadi 1,792 pada perhitungan manual, sedangkan pada *Software LEM* nilai keamanan lereng naik 27,23% menjadi 1,858. Hasil analisis dari perhitungan manual dan *Software LEM* hampir serupa yaitu menunjukkan bahwa lereng sudah dalam kondisi stabil.
3. Dari hasil analisis kestabilan *soil nailing*, faktor keamanan untuk stabilitas eksternal terhadap keruntuhan global lereng dan pergeseran berturut-turut adalah 1,858 dan 3,268. Sementara itu, untuk kestabilan internal yang berkaitan dengan kegagalan tarik dan cabut tulangan, faktor keamanan yang didapatkan masing-masing sebesar 8,913 dan 2,072. Nilai-nilai faktor keamanan untuk perkuatan *soil nailing*, baik pada stabilitas eksternal maupun stabilitas internal, mendekati atau melebihi standar yang ditetapkan dalam SNI 8460:2017. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa desain *soil nailing* yang direncanakan aman terhadap risiko longsor.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Amir and M. Abduh, "PENINGKATAN STABILITAS

- LERENG DENGAN *SOIL NAILING* DAN SHOTCRETE (Studi Pada Ruas Jalan Ponorogo-Pacitan),” *Seminar Keinsinyuran*, 2021.
- [2] A. D. Rahmawati *et al.*, “ANALISIS PERBAIKAN STABILITAS LERENG DENGAN METODE KOMBINASI VEGETASI DAN *SOIL NAILING* DI AREA PROYEK SPILLWAY BENDUNGAN TUGU KABUPATEN TRENGGALEK,” 2024. [Online]. Available: <http://jos-mrk.polinema.ac.id/>
- [3] A. T. Mandagi, A. N. Sarajar, and B. B. A Soebarkah, “Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan *Soil nailing* Terhadap Lokasi Pembangunan RSUD Manado,” 2023.
- [4] Bq. M. H. I. A. P. dan A. H. Sukandi, “Simulasi Deformasi Timbunan Jembatan Underpass Jalan Bil – Mandalika KM. 41 Dengan Plaxis,” *Konstruksia*, vol. 16, no. 1, 2024.
- [5] H. C. Hardiyatmo, *Mekanika Tanah I*. Gadjah Mada University Press, 2002.
- [6] H. C. Hardiyatmo, *Perbaikan Tanah*. Gadjah Mada University Press, 2020.
- [7] J. T. Sihotang a, S. G. Rondonuwu b, and A. N. Sarajar, “Pengaruh Beban Gempa terhadap Kestabilan Lereng Menggunakan Perkuatan *Soil nailing* (Studi Kasus: Ruas Jalan Manado Outer Ring Road III),” *TEKNO*, vol. 21, no. 84, 2023.
- [8] L. Penelitian dan Penerbitan Hasil Penelitian Ensiklopedia *et al.*, “Edisi 1 Januari 2025 Ensiklopedia of Journal,” vol. 7, no. 2, 2025, [Online]. Available: <http://jurnal.ensiklopediaku.org>
- [9] M. Fahmi Ibrahim *et al.*, “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),” *Jurnal Jalan-Jembatan*, vol. 38, no. 1, pp. 34–46, 2021.
- [10] R. Hidayatulloh, L. E. Fatmawati, and H. Widhiarto, “De’Teksi: Jurnal teknik sipil PERENCANAAN PERKUATAN *SOIL NAILING* SEBAGAI ALTERNATIF STABILITAS LERENG PADA JALAN LINTAS SELATAN LOT 6 TULUNGAGUNG MENGGUNAKAN METODE MANUAL BISHOP DAN BAJI *SOIL NAILING* REINFORCEMENT PLANNING AS AN ALTERNATIVE SLOPE STABILITY ON THE LOT 6 TULUNGAGUNG SOUTH CROSSROAD USING THE MANUAL BISHOP AND BAJI METHOD,” vol. 8, no. 2, 2023.
- [11] R. I. Ramadhan, P. Agung, and M. Agung, “PERANCANGAN *SOIL NAILING* PADA DINDING LAPISAN TANAH LUNAK,” *Construction and Material Journal*, 2023, [Online]. Available: <http://jurnal.pnj.ac.id/index.php/cmj>
- [12] R. Maulana and D. H. Agustina, “Analisis Stabilitas Lereng dan Alternatif Perkuatan *Soil nailing* pada Ruas Jalan Lingkar Serasan Kabupaten Natuna,” *Sigma Teknika*, vol. 7, no. 1, pp. 222–232, 2024.
- [13] S. Nasional, I. Persyaratan, and P. Geoteknik, “Persyaratan Perancangan Geoteknik,” 2017 [Online]. Available: www.bsn.go.id
- [14] SNI 8460, “Badan Standardisasi Nasional Standar Nasional Indonesia Persyaratan perancangan geoteknik,” 2017 [Online]. Available: www.bsn.go.id
- [15] Y. Ega, B. #1, A. T. Mandagi, and H. Riogilang, “Studi Literatur Tentang Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan *Soil nailing* Menggunakan Program GEO5,” *TEKNO*, 2021, [Online]. Available: <https://ejournal.unsrat.ac.id/>