

ANALISIS PERKUATAN *SOIL NAILING* PADA LERENG SUNGAI CILIWUNG DI AREA LAPANGAN TEMBAK KOPASSUS CIJANTUNG

Abi Maulana Hakim^{1*}, Muhammad Rifan¹, dan Andhika Sahadewa²

¹ Program Studi Teknik Sipil, Institut Teknologi Indonesia, Jl. Raya Puspitek, Tangerang Selatan, Banten, Indonesia

² Program Studi Teknik Sipil, Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesha No 10, Bandung, West Java, Indonesia

*abimaulanahakim@iti.ac.id

Masuk: 17-10-2024, revisi: 10-04-2025, diterima untuk diterbitkan: 25-04-2025

ABSTRACT

This study analyses the slope stability of Ciliwung Riverside in the Kopassus shooting range area, where signs of landslides occurred i.e. broken fence and road pavement on top of the slope. The purpose of this research is to evaluate the slope's safety factor (SF) before and after reinforcement with soil nailing, as well as to examine the effect of variations in length, spacing, and soil nailing's diameter on the slope's SF. The stability analysis is conducted using the limit equilibrium method through a computer program. The slope's SF before reinforcement was $1.16 \leq 1.5$, indicating the need for additional reinforcement. Out of 125 soil nailing variations tested, 61 variations achieved a static SF ≥ 1.5 (ranging from 1.50 to 1.67) and an earthquake SF ≥ 1.1 (ranging from 1.17 to 1.29). The results showed that increasing the borehole diameter and nail length increases the SF, while increasing the nail spacing decreases the SF. The optimal combination was obtained at spacing of 2 meters, nail length of 11 meters, and diameter of 175 mm, resulting in a total nail length of 39 m/m and grout volume of 0.93 m³/m, with a static SF of 1.54 and an earthquake SF of 1.19.

Keywords: Slope Stability, Safety Factor, Soil Nailing, Soil Nailing, Limit Equilibrium Method

ABSTRAK

Penelitian ini menganalisis stabilitas lereng di area lapangan tembak Kopassus, yang mengalami indikasi kelongsoran berupa kerusakan pagar dan jalan aspal di atas kepala lereng. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengevaluasi *safety factor* (SF) lereng sebelum dan setelah diperkuat dengan soil nailing, dan mengkaji pengaruh variasi panjang, jarak spasi, serta diameter soil nailing terhadap nilai SF lereng. Analisis stabilitas dilakukan dengan menggunakan metode *limit equilibrium* melalui program komputer. Dari analisis didapatkan bahwa SF lereng sebelum perkuatan adalah $1,16 \leq 1,5$. Kondisi ini menunjukkan bahwa lereng memerlukan perkuatan tambahan. Dari 125 variasi soil nailing yang diuji, 61 variasi memiliki SF statik $\geq 1,5$ (antara 1,50 hingga 1,67) dan SF gempa $\geq 1,1$ (antara 1,17 hingga 1,29). Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin besar diameter lubang bor dan semakin panjang nail, maka SF lereng meningkat. Sedangkan semakin besar jarak spasi menyebabkan SF menurun. Kondisi optimal didapatkan pada spasi nail 2 m, panjang nail 11 m, dan diameter nail 175 mm dengan SF statik 1,54 dan SF gempa 1,19. Total panjang nail yang dibutuhkan sebesar 39 m/m volume grout 0,93 m³/m.

Kata Kunci: Stabilitas Lereng, Safety Factor, Soil Nailing, Limit Equilibrium Method

1. PENDAHULUAN

Soil nailing melibatkan pemasangan batang baja (nail) ke dalam tanah, yang kemudian diisi dengan grout untuk memperkuat kestabilan lereng. Dibandingkan dengan metode lain, soil nailing dinilai efisien dari segi biaya dan waktu pengerjaan (Lazarte, 2003).

Studi terdahulu telah menunjukkan bahwa soil nailing merupakan metode yang efektif untuk meningkatkan safety factor (SF) lereng yang mengalami ketidakstabilan (Abdullah et al., 2021; Agustin & Sudarja, 2021). Hidayatulloh et al. (2023) menemukan bahwa setelah perkuatan soil nailing, SF lereng meningkat dari kondisi yang tidak aman (di bawah 1,5) hingga mencapai nilai yang melebihi ambang batas stabilitas, yang sesuai dengan standar keselamatan geoteknik. Penelitian lain oleh Cahya & Arifudin (2020) juga mendukung temuan ini, di mana SF lereng yang semula sebesar 1,065 dapat meningkat menjadi 2,914 setelah dilakukan perkuatan dengan soil nailing. Simorangkir & Suhendra (2020) dan Wibowo et al. (2023) melakukan studi parametrik penggunaan soil nailing dan menyampaikan bahwa soil nailing mampu mengatasi stabilitas lereng. Berdasarkan temuan-temuan ini, soil nailing telah terbukti secara ilmiah sebagai solusi perkuatan yang efektif dalam mengatasi masalah stabilitas lereng.

Permasalahan utama dalam penelitian ini adalah meningkatkan kestabilan lereng di Lapangan Tembak Kopassus. Beberapa variabel penting yang harus diperhatikan termasuk panjang nail, jarak antar nail, dan diameter lubang bor. Penelitian ini menggunakan metode kesetimbangan batas (Limit Equilibrium Method) dengan bantuan perangkat lunak Geo5 untuk mengevaluasi stabilitas lereng sebelum dan sesudah dilakukan perkuatan. Analisis ini penting untuk menentukan bagaimana variasi dari setiap parameter dapat mempengaruhi SF lereng dan untuk menemukan konfigurasi perkuatan yang paling efisien dan efektif.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis nilai SF lereng sebelum dan sesudah dilakukan perkuatan dengan soil nailing, serta mengevaluasi pengaruh variasi panjang nail, jarak antar nail, dan diameter lubang bor terhadap kestabilan lereng untuk menjaga kestabilan lereng di area tersebut.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana SF lereng sebelum diperkuat dengan Soil Nailing, SF lereng setelah diperkuat dengan Soil Nailing, serta pengaruh variasi parametrik Soil Nailing (panjang kedalaman, jarak spasi, dan diameter) terhadap SF lereng. Analisis dilakukan dengan menggunakan Limit Equilibrium Method (LEM) dengan bantuan software Geo5.

Metode analisis stabilitas lereng

Faktor keamanan lereng ditentukan dengan menggunakan perbandingan antara nilai kuat geser tanah rata-rata dengan tegangan geser rata-rata yang bekerja pada bidang gelincir longsor (Bishop, 1955). Hal ini dapat dirumuskan dengan:

$$FK = \frac{\text{Gaya Penahan}}{\text{Gaya Penggerak}} \quad (1)$$

Jika faktor keamanan pada Persamaan 1 bernilai $FK = 1$, maka dapat dikatakan pada lereng tersebut belum terjadi kelongsoran, akan tetapi, suatu saat kelongsoran tersebut dapat terjadi dengan penambahan berapapun gaya penggerak (kondisi kritis). Oleh karena itu, pada umumnya nilai faktor keamanan sebesar $FK = 1,5$ dianggap sebagai angka yang paling aman untuk merencanakan stabilitas lereng.

Metode analisis yang digunakan dalam penelitian ini adalah Metode Bishop. Metode ini merupakan salah satu metode untuk menentukan nilai faktor keamanan pada sebuah lereng dengan mengabaikan gaya gesek antar irisan dan kemudian mengasumsikan bahwa gaya normal cukup untuk mendefinisikan gaya-gaya antar irisan yang dapat dilihat pada (Persamaan 2). Gaya normal di dasar dan tiap irisan ditentukan dengan menjumlahkan gaya-gaya dalam arah vertikal.

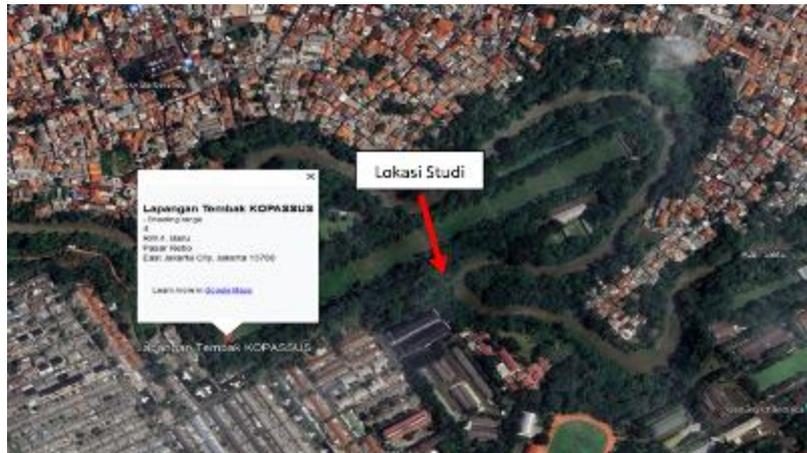
$$FK = \frac{\sum [c' \cdot l + (P' - u \cdot l) \tan \phi']}{\sum W \cdot \sin \alpha} \quad (2)$$

dengan FK = Faktor keamanan, c' = kohesi efektif (kPa), ϕ' = sudut gesek dalam efektif ($^\circ$), P' = gaya normal efektif pada dasar irisan (kN/m), u = tekanan air pori (kPa), l = panjang dasar irisan (m), dan W = berat irisan (kN/m)

Pemodelan soil nailing ini dilakukan dengan menggunakan aplikasi kesetimbangan batas dan pada aplikasi ini, data yang dibutuhkan untuk melakukan pemodelan adalah layout potongan lereng, serta data parameter tanah pada lereng tersebut. Untuk syarat dan ketentuan dari pemodelan soil nailing ini, semuanya mengacu syarat dari SNI 8460-2017.

Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian yang digunakan untuk tugas akhir ini berada di Sungai Ciliwung area lapangan tembak Kopassus, Cijantung, Jakarta Timur. Lokasi studi berada pada koordinat $6^\circ 19' 03''$ Lintang Selatan dan $106^\circ 50' 52''$ Bujur Timur. Ini menunjukkan lokasi spesifik di area penelitian. Peta lokasi lapangan tembak Kopassus, Cijantung, Jakarta Timur, dapat dilihat pada Gambar 1



Gambar 1. Peta lokasi lapangan tembak Kopassus, Cijantung, Jakarta Timur

Pada lokasi tersebut terjadi indikasi kelongsoran yang telah mengakibatkan pagar pembatas dan jalan aspal yang ada di atas kepala lereng tersebut rusak. Indikasi terjadinya longsor dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Indikasi terjadinya kelongsoran pada area Jalan Lapangan Tembak Kopassus

Bagan alur penelitian

Bagan alur penelitian dibuat sebagai acuan dalam penelitian. Bagan alur penelitian dapat dilihat pada Gambar 3 berikut.

Tahapan penelitian

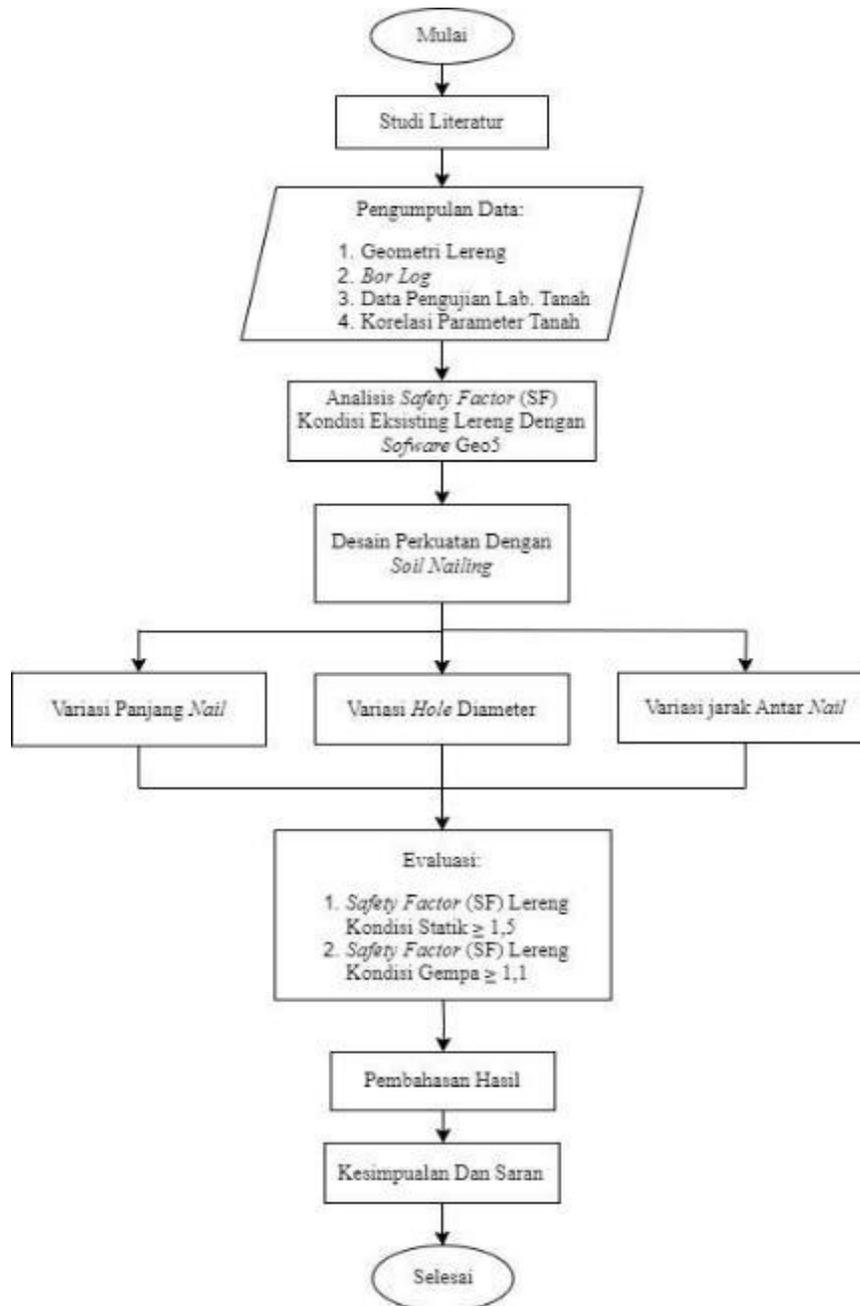
Langkah-langkah penelitian yang akan dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut. Pertama, studi pustaka dilakukan dengan menggunakan referensi dari buku-buku geoteknik, jurnal penelitian, dan peraturan-peraturan terkait. Dari studi ini, dirumuskan permasalahan yang akan dibahas, pendekatan pemecahan masalah, dan sistematika penulisannya.

Kedua, dilakukan pengumpulan data yang bersifat sekunder. Data yang dikumpulkan meliputi gambar geometrik lereng, peta lokasi titik borehole, data bor log, dan hasil pengujian tanah di laboratorium. Data-data tersebut dikumpulkan untuk kemudian dilakukan pengolahan data.

Tahap ketiga adalah pengolahan data, yang mencakup korelasi parameter tanah berdasarkan data literatur untuk memperoleh parameter tanah yang dibutuhkan (Terzaghi & Peck, 1987; Hardiyatmo (2002); Look, 2007). Parameter soil nailing ditentukan berdasarkan Lazerte et al. (2003) dan FHWA (2009). Pada tahap ini juga dilakukan analisis beban gempa. Selanjutnya, pada tahap analisis stabilitas lereng, dilakukan analisis terhadap kondisi lereng sebelum perkuatan untuk mengetahui bidang longsor dan safety factor (SF) menggunakan program Geo5. Setelah itu,

dilakukan analisis SF pada lereng yang sudah diperkuat dengan soil nailing untuk kondisi statis dan gempa. Variasi yang dianalisis mencakup diameter lubang bor (100 mm, 125 mm, 150 mm, 175 mm, dan 200 mm), panjang nail (8 m, 9 m, 10 m, 11 m, 12 m), dan jarak antar nail (1 m, 1,25 m, 1,5 m, 2 m).

Langkah terakhir adalah penarikan kesimpulan dan saran. Pada tahap ini, kesimpulan diambil berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan, dan saran diberikan untuk pengembangan penelitian di masa depan serta aplikasi praktis dari hasil penelitian ini.



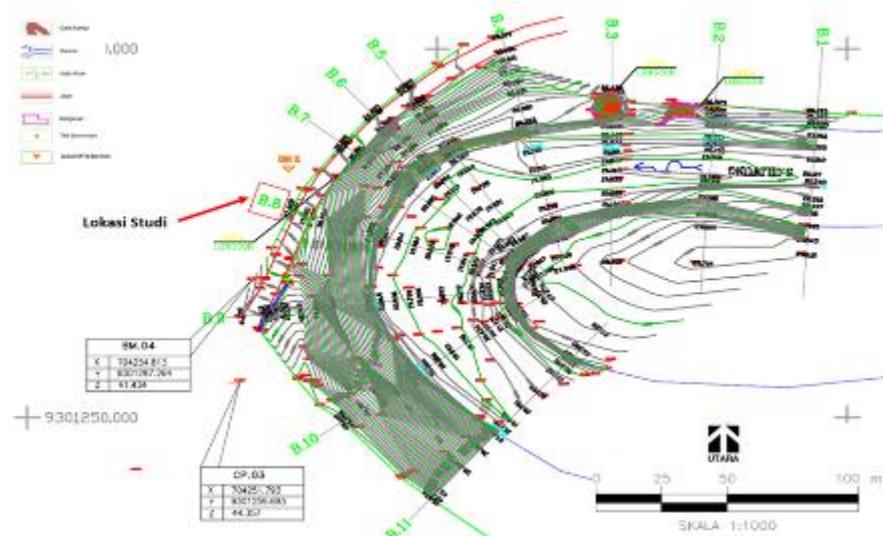
Gambar 3. Bagan Alur Penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Kondisi lokasi studi

Lokasi studi untuk penelitian ini berada di Sungai Ciliwung, tepatnya di lapangan tembak Kopassus, Cijantung, Jakarta Timur. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis stabilitas lereng di area tersebut dengan perkuatan soil nailing.

Gambar layout lokasi studi yang dapat dilihat pada Gambar 4 memberikan gambaran umum tentang konfigurasi dan kondisi di lapangan. Peta letak borehole pada Gambar 5 menunjukkan lokasi titik pengeboran yang digunakan untuk mendapatkan data tanah, yang sangat penting untuk memahami karakteristik tanah di lokasi penelitian. Selain itu, potongan melintang lereng yang ditampilkan pada Gambar 6 memberikan ilustrasi visual mengenai profil lereng, termasuk kemiringan lereng.



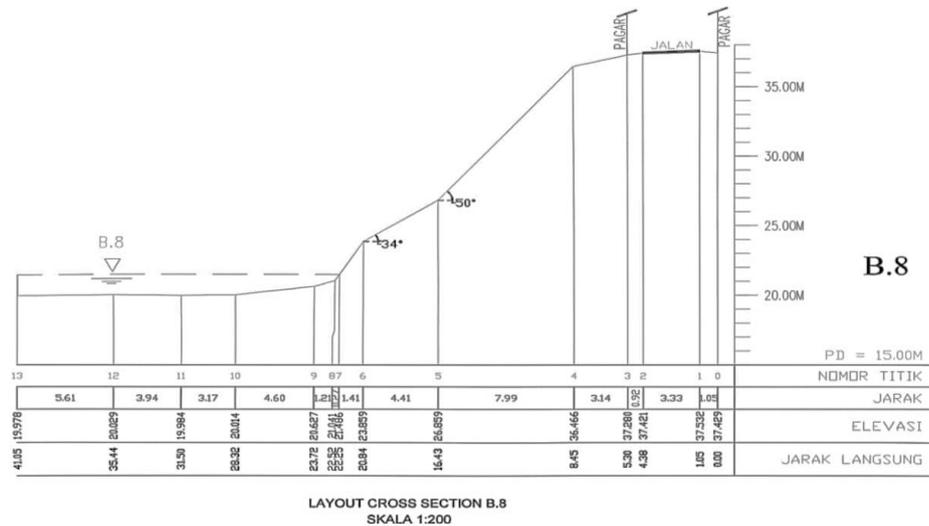
Gambar 4. Layout lokasi penelitian



Gambar 5. Lokasi titik borehole

Geometri lereng penelitian

Geometri lereng didapatkan dari instansi yang meneliti di lokasi penelitian. Kondisi lereng yang akan digunakan sebagai pemodelan adalah lereng Sungai yang memiliki sudut kemiringan paling terjal/curam, karena nantinya ketika pemodelan, lereng yang curam dapat mewakili lereng yang landai. Gambar geometri lereng dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Potongan Melintang Lereng

Parameter tanah

Klasifikasi tanah pada penelitian ini didapat berdasarkan nilai standard penetration test (SPT). Berdasarkan dari hasil pengujian SPT, pengujian dilakukan hingga kedalaman 15 meter. Pada kedalaman 0-2 meter lapisan tanah berupa *soft clay* dengan nilai N-SPT 3, untuk kedalaman 2-4 meter lapisan tanah berupa *stiff clay* dengan nilai N-SPT sebesar 4, untuk kedalaman 4-6 meter lapisan tanah berupa *stiff silt* dengan nilai N-SPT sebesar 8, untuk kedalaman 6-7 meter berupa *firm clay* dengan nilai N-SPT 8 dan kedalaman 7-17 meter dengan nilai N-SPT 50. Rangkuman profil tanah dapat dilihat pada Tabel 1.

Parameter tanah yang di input pada aplikasi Geo5 adalah Berat volume jenuh (γ_{sat}), Berat volume kering (γ), sudut geser dalam efektif (ϕ_{ef}), kohesi efektif (C_{ef}), dan kohesi undrained (C_u).

Parameter tanah didapatkan dari hasil pengujian laboratorium, namun pada penelitian ini data laboratorium tidak lengkap, maka diperlukanlah korelasi dari berbagai sumber dan referensi. Rangkuman parameter tanah dapat dilihat pada Tabel 2. Data ini akan dipakai untuk analisis stabilitas lereng menggunakan metode Janbu dan Spencer yang akan dianalisis menggunakan program Geo5.

Tabel 1. Klasifikasi tanah

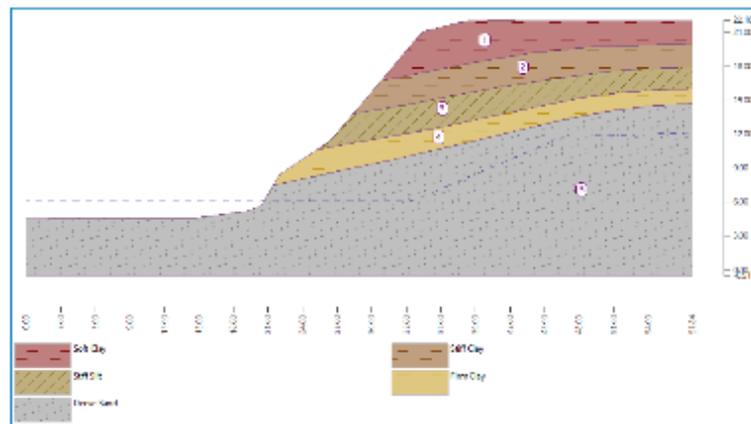
Kedalaman (m)	NSPT	Deskripsi	Nama Layer
0-2	3	<i>Soft Clay</i>	<i>Layer 1</i>
2-4	4	<i>Stiff Clay</i>	<i>Layer 2</i>
4-6	8	<i>Stiff Silt</i>	<i>Layer 3</i>
6-7	8	<i>Firm Clay</i>	<i>Layer 4</i>
7-15	50	<i>Dense Sand</i>	<i>Layer 5</i>

Tabel 2. Rangkuman parameter tanah

Nama Layer	NSPT	Jenis Tanah	γ / γ_{sat} (kN/m ³)	c_u (kN/m ²)	c' (kPa)	ϕ' (°)
<i>Layer 1</i>	3	<i>Soft Clay</i>	12 / 14	18,5	8	15
<i>Layer 2</i>	4	<i>Soft Clay</i>	16,6 / 18,6	25	10	18
<i>Layer 3</i>	8	<i>Silt</i>	12 / 16	27	17	20
<i>Layer 4</i>	8	<i>Firm Clay</i>	12 / 16	30	25	25
<i>Layer 5</i>	50	<i>Dense Sand</i>	18 / 20	-	-	40

Pemodelan geometri lereng penelitian

Pemodelan geometri lereng dengan menggunakan program Geo 5. Untuk mempermudah pemodelan, dilakukan import file CAD kedalam program geo 5 sehingga pemodelan bisa sesuai dengan kondisi eksisting lereng. Hasil pemodelan geometrik lereng disajikan pada Gambar 7. Pemodelan lereng di beri warna dan nomor berbeda untuk membedakan jenis tanahnya. Nomor 1 jenis tanah *soft clay*, nomor 2 jenis tanah *stiff clay*, nomor 3 jenis tanah *stiff silt*, nomor 4 jenis tanah *firm clay*, dan nomor 5 jenis tanah *dense sand*.

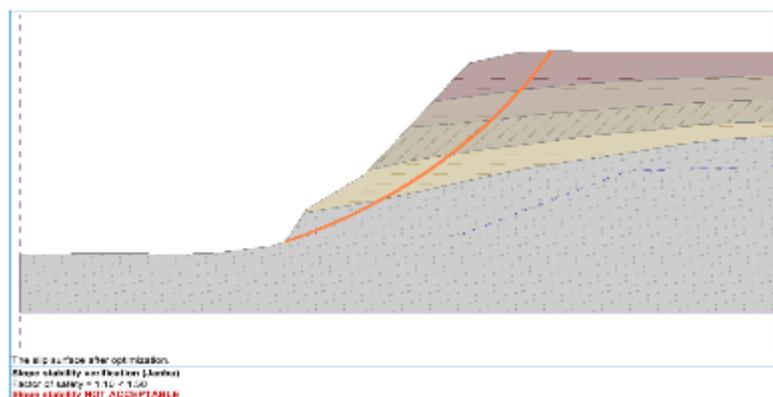


Gambar 7. Pemodelan geometri lereng

Analisis stabilitas lereng tanpa perkuatan

Analisis stabilitas lereng tanpa perkuatan soil nailing dilakukan untuk mengetahui angka aman dari lereng. Analisis angka aman dilakukan menggunakan program Geo5 menggunakan metode Spencer dan Janbu. Hal tersebut bertujuan untuk mengetahui angka aman atau Safety factor dari lereng yang akan dianalisis.

Jika SF sama dengan 1 maka lereng dalam keadaan akan longsor. Biasanya 1,5 untuk angka keamanan terhadap kekuatan geser yang dapat diterima untuk merencanakan suatu stabilitas lereng (SKBI-2.3.06, 1987). Hasil analisis stabilitas lereng tanpa perkuatan dengan program Geo5 dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Hasil analisis stabilitas lereng tanpa perkuatan dengan program Geo5

Dalam analisis menggunakan program Geo5 dengan menggunakan metode Janbu dan Spencer didapatkan faktor keamanan pada kondisi kritis sebesar 1,16 untuk kedua metode spencer dan Janbu. Angka tersebut menunjukkan bahwa lereng tidak stabil dan berpotensi longsor ($SF = 1,16 < 1,5$). Sehingga diperlukanlah perkuatan untuk menjaga lereng agar tidak longsor.

Analisis stabilitas lereng menggunakan perkuatan *Soil Nailing* dengan variasi *Nail*

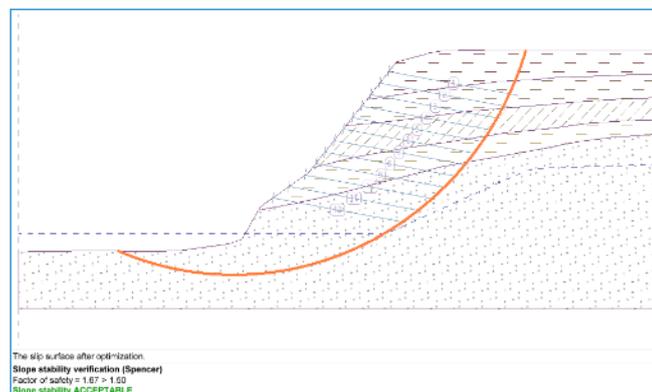
Nilai angka keamanan yang telah dianalisis menggunakan program Geo5 dengan dua metode yaitu metode Spencer dan Janbu, yaitu sebesar 1,16, sehingga dapat disimpulkan bahwa, pada lokasi studi kondisi kestabilan lerengnya masih dibawah angka keamanan minimum dari SNI 8460-2017 yaitu ($SF = 1,16 < 1,5$). Maka lereng lereng tidak aman dan berpotensi akan mengalami longsor. Sehingga untuk mencegah kelongsoran pada lereng tersebut, diperlukan perencanaan perkuatan, dan jenis perkuatan yang dipakai pada permasalahan ini adalah perkuatan soil nailing.

Penelitian ini menggunakan 125 variasi soil nailing untuk menguji stabilitas lereng di area studi. Alasan pemilihan 125 variasi ini adalah untuk mengevaluasi secara menyeluruh pengaruh dari variasi panjang nail, jarak spasi nail, dan diameter lubang bor terhadap nilai safety factor lereng. Dengan menguji sejumlah variasi yang cukup banyak, penelitian ini bertujuan untuk menemukan kombinasi optimal yang dapat memberikan stabilitas maksimum pada lereng,

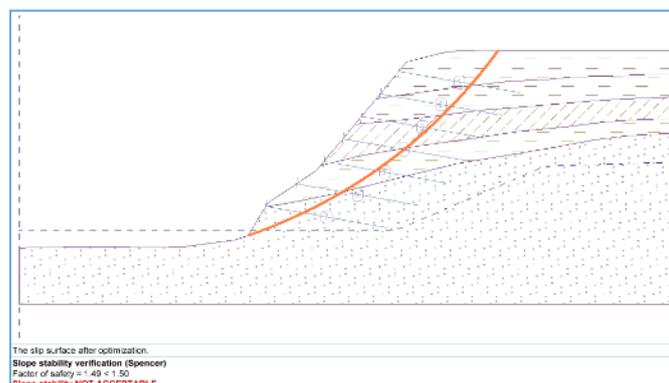
Variasi parameter nail yang dimaksud dalam penelitian ini adalah parameter panjang nail, spasi nail, dan hole diameter nail. Pada analisis ini menggunakan kemiringan sudut dan diameter nail yang sama yaitu 10° untuk sudut inklinasi nail dan untuk nail yaitu menggunakan besi dengan diameter 22 mm.

Dilakukannya variasi nail ini bertujuan apakah variasi nail mempengaruhi hasil analisis stabilitas lereng terhadap nilai faktor keamanan untuk perkuatan lereng pada penelitian ini.

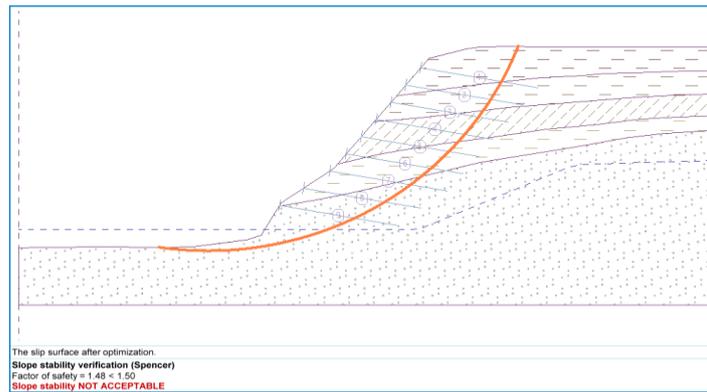
Dari analisis stabilitas lereng menggunakan perkuatan soil nailing yang telah dilakukan dapat dilihat bahwa perubahan panjang nail, jarak spasi antar nail, dan hole diameter nail sangat berpengaruh terhadap angka faktor keamanan lereng, Hal ini ditunjukkan dari hasil analisis faktor keamanan menggunakan program Geo5 yang ditunjukkan pada Gambar 9-11, dan Tabel 3.



Gambar 9. Hasil analisis variasi panjang nail 12 m, spasi 1 m, dan hole diameter 200mm (SF 1.48)



Gambar 10. Hasil analisis variasi panjang nail 11 m, spasi 2 m, dan hole diameter 150mm (SF 1,49)



Gambar 11. Hasil analisis variasi panjang nail 10 m, spasi 1,5 m, dan hole diameter 100mm (SF 1,48)

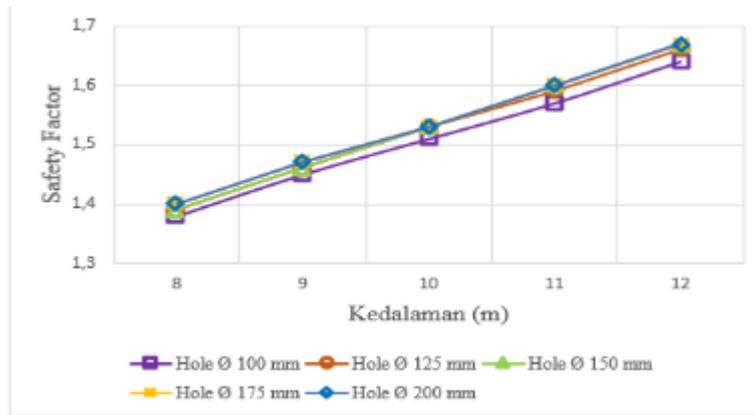
Tabel 3. Analisis lereng kondisi statik

Spasi (m)	Pj Nail (m)	Dia hole 100 mm		Dia hole 125 mm		Dia hole 150 mm		Dia hole 175 mm		Dia hole 175 mm	
		SF Spencer	SF Janbu								
1,0	8	1,38	1,37	1,39	1,38	1,39	1,39	1,40	1,39	1,40	1,39
	9	1,45	1,44	1,46	1,45	1,46	1,45	1,47	1,46	1,47	1,46
	10	1,51	1,50	1,53	1,52	1,53	1,52	1,53	1,52	1,53	1,53
	11	1,57	1,57	1,59	1,58	1,60	1,59	1,60	1,59	1,60	1,59
	12	1,64	1,63	1,66	1,65	1,67	1,66	1,67	1,66	1,67	1,67
1,25	8	1,38	1,37	1,39	1,38	1,39	1,38	1,40	1,39	1,40	1,39
	9	1,44	1,43	1,46	1,45	1,46	1,45	1,47	1,46	1,47	1,46
	10	1,5	1,49	1,52	1,51	1,53	1,52	1,53	1,52	1,53	1,52
	11	1,55	1,55	1,58	1,57	1,60	1,59	1,60	1,59	1,60	1,59
	12	1,6	1,6	1,64	1,63	1,66	1,65	1,67	1,66	1,67	1,66
1,5	8	1,35	1,36	1,37	1,37	1,39	1,38	1,40	1,39	1,40	1,39
	9	1,41	1,41	1,45	1,45	1,46	1,45	1,47	1,46	1,47	1,46
	10	1,48	1,48	1,50	1,50	1,53	1,52	1,53	1,52	1,54	1,53
	11	1,52	1,52	1,53	1,53	1,55	1,55	1,59	1,59	1,61	1,60
	12	1,54	1,54	1,54	1,54	1,60	1,60	1,63	1,63	1,65	1,64
1,75	8	1,35	1,35	1,36	1,36	1,39	1,38	1,40	1,39	1,40	1,39
	9	1,41	1,41	1,44	1,43	1,46	1,45	1,46	1,46	1,47	1,46
	10	1,44	1,44	1,50	1,50	1,51	1,51	1,53	1,52	1,54	1,53
	11	1,47	1,47	1,53	1,53	1,54	1,54	1,59	1,58	1,60	1,59
	12	1,5	1,5	1,56	1,56	1,59	1,59	1,63	1,63	1,62	1,62
2,0	8	1,32	1,33	1,35	1,35	1,37	1,36	1,38	1,37	1,39	1,38
	9	1,35	1,36	1,39	1,39	1,41	1,41	1,43	1,43	1,45	1,44
	10	1,37	1,37	1,41	1,41	1,45	1,45	1,49	1,48	1,50	1,49
	11	1,40	1,40	1,44	1,45	1,49	1,49	1,54	1,54	1,56	1,55
	12	1,42	1,42	1,47	1,47	1,51	1,52	1,56	1,56	1,59	1,59

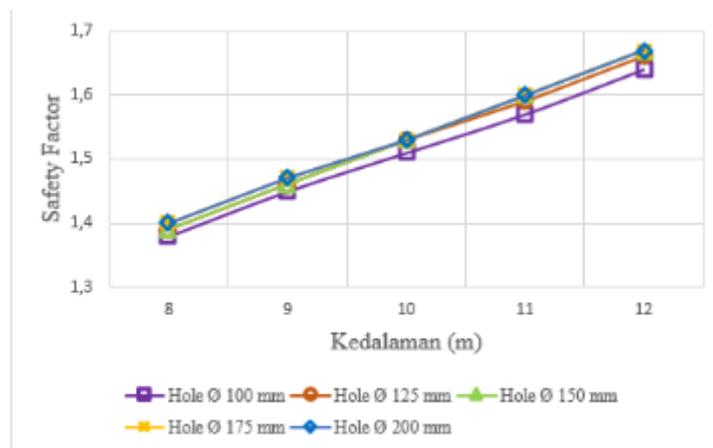
Hasil Analisis Stabilitas Lereng Menggunakan Perkuatan Soil Nailing Dengan Variasi Nail

Analisis stabilitas lereng dengan menggunakan perkuatan soil nailing menunjukkan peningkatan yang signifikan pada safety factor dibandingkan dengan lereng eksisting tanpa perkuatan. Namun, tidak semua variasi nail memenuhi syarat. Tujuan dari variasi ini adalah untuk mengevaluasi bagaimana perubahan dalam setiap parameter tersebut dapat mempengaruhi keseluruhan stabilitas lereng.

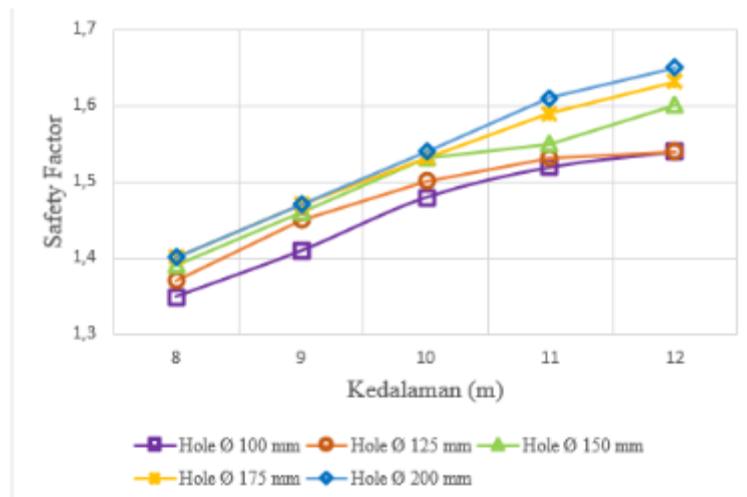
Analisis faktor keamanan menggunakan program kesetimbangan batas yang dapat dilihat pada grafik dibawah ini:



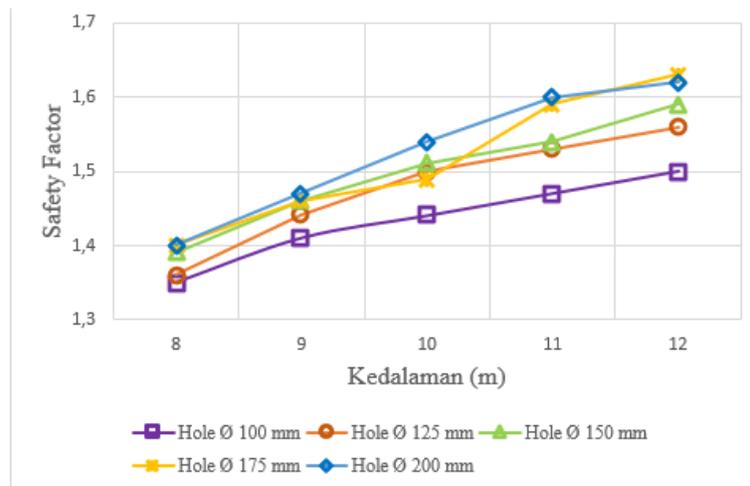
Gambar 12. Grafik *safety factor* variasi spasi 1 meter



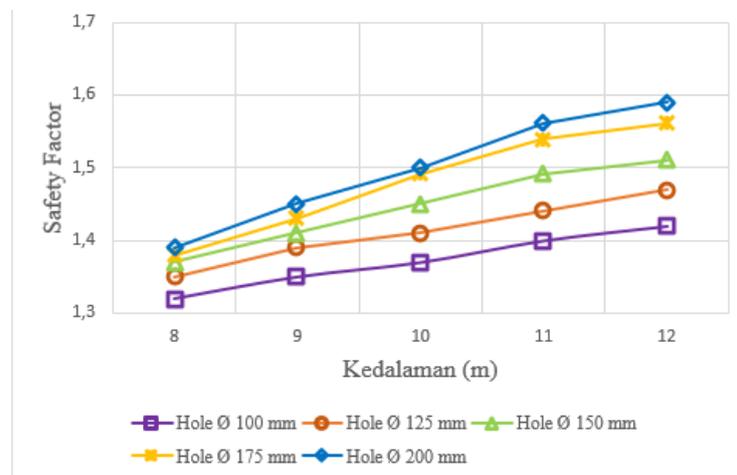
Gambar 13. Grafik *safety factor* variasi spasi 1,25 meter



Gambar 14. Grafik *safety factor* variasi spasi 1,5 meter



Gambar 15. Grafik *safety factor* variasi spasi 1,75 meter



Gambar 16. Grafik *safety factor* variasi spasi 2 meter

Grafik-grafik pada Gambar 12 – Gambar 16 menunjukkan variasi nilai *safety factor* (SF) pada lereng yang telah diperkuat dengan soil nailing.

Dari lubang bor nail, terlihat bahwa semakin besar diameter lubang bor untuk nail, nilai *safety factor* lereng juga meningkat. Ini menunjukkan bahwa diameter lubang bor memberikan kontribusi positif terhadap stabilitas lereng.

Jika ditinjau dari jarak spasi pemasangan nail, maka hasil analisis menunjukkan bahwa semakin besar jarak spasi antara nail, nilai *safety factor* lereng cenderung menurun. Ini mengindikasikan bahwa jarak spasi yang lebih rapat antara nail lebih efektif dalam meningkatkan stabilitas lereng.

Analisis berdasarkan panjang nail menunjukkan bahwa semakin panjang nail yang digunakan, nilai *safety factor* lereng meningkat. Panjang nail yang lebih besar memberikan dukungan tambahan yang lebih kuat terhadap lereng, sehingga meningkatkan stabilitas.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan mengenai *safety factor* (SF) lereng sebelum dan sesudah diberi perkuatan menggunakan Soil nailing, serta pengaruh variasi panjang nail, spasi nail, dan diameter lubang bor terhadap nilai *safety factor* lereng, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Safety Factor lereng kondisi eksisting adalah sebesar 1,16. Nilai ini menunjukkan bahwa safety factor tidak memenuhi syarat SNI yaitu SF 1,5, sehingga dengan demikian diperlukan perkuatan tambahan untuk memenuhi persyaratan SNI yaitu SF 1,5.
2. Dengan menggunakan metode soil nailing, dari 125 variasi yang diuji, ada 61 variasi yang memiliki safety factor $\geq 1,5$ dengan nilai antara 1,50 – 1,67. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan soil nailing dapat meningkatkan faktor keamanan dan stabilitas lereng di lokasi penelitian. Namun, tidak semua variasi nail memenuhi syarat safety faktor menurut SNI 8460 (2017). Perbedaan dalam faktor keamanan ini disebabkan oleh beberapa factor seperti, kondisi geologi setempat, panjang nail, jarak antar nail, dan diameter lubang bor yang mempengaruhi stabilitas lereng.
3. Hubungan variasi nail (panjang nail, jarak antar nail dan diameter lubang nail) terhadap nilai safety factor yaitu, pada variasi diameter lubang bor, semakin besar diameter lubang bor maka safety factor semakin meningkat. Pada variasi jarak spasi, semakin besar jarak spasi, maka safety factor semakin menurun. Pada variasi panjang nail, semakin panjang nail, maka safety factor semakin menurun.

Saran

Berdasarkan hasil penelitian ini, ada beberapa perbaikan yang perlu dilakukan untuk melengkapi dan mengembangkan topik penelitian lebih lanjut. Adapun saran-saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Penelitian selanjutnya bisa menggunakan metode lain seperti Metode Elemen Hingga (Finite Element Method/FEM) untuk mengeksplorasi pendekatan analisis yang berbeda dan memperkaya hasil penelitian.
2. Pada lokasi yang sama, dapat digunakan perkuatan lain seperti sheet pile, soldier pile, dan metode perkuatan lainnya untuk memperoleh perspektif yang lebih luas dan membandingkan efektivitas berbagai teknik perkuatan.

Acknowledgements

Artikel ini ditulis berdasarkan proyek yang diselenggarakan oleh Kementerian PUPR Republik Indonesia. Penulis menyampaikan terima kasih kepada Kementerian PUPR atas kesempatan yang diberikan. Hasil studi, temuan, opini, kesimpulan dan rekomendasi yang disajikan dalam artikel ini adalah hasil dari pemikiran para penulis dan tidak menunjukkan pandangan dari pihak terkait manapun.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, H. H., Putra, P. P., & Nurtjahjaningtyas, I. (2021). Analisis perkuatan *soil nailing* pada lereng bawah Jembatan Gantung Alas Bayur Kecamatan Mlandingan Kabupaten Situbondo. *Portal: Jurnal Teknik Sipil*, 13(1), 1-11.
- Agustin, R., & Sudardja, H. (2021). Desain ulang badan jalan dengan geotekstil sebagai alternatif peningkatan stabilitas lereng. *Jurnal Prokons*, 15(1), 32-42.
- Bishop, A. W. (1955). The Use of Slip Surface in The Stability of Analysis Slopes. *Geotechnique*, 5.
- Badan Standarisasi Nasional. (2017). *Persyaratan perancangan geoteknik* (SNI 8460:2017). <http://sispk.bsn.go.id/SNI/DaftarList>
- Badan Standarisasi Nasional. (1995). *Klasifikasi kemiringan lereng* (SNI 03-1997-1995).
- Cahya, A. A., & Arifudin, D. B. (2020). Analisis stabilitas tanah lereng dengan metode soil nailing menggunakan program plaxis dan geoslope (Studi Kasus: Desa Penyangkringan, Kecamatan Weleri, Kabupaten Kendal, Jawa Tengah) [Tugas Akhir, Universitas Islam Sultan Agung Semarang].
- Departemen Pekerjaan Umum. (1987). *Petunjuk perencanaan penanggulangan longsor* (SKBI-2.3.06) Yayasan Badan Penerbit PU.
- Federal Highway Administration of US Department of Transportaion. (2009). *Design and construction of mechanically stabilized earth walls and reinforced soil slopes* (No. FHWA-NHI-10-024)
- Hidayatulloh, R., Fatmawati, L. E., & Widhiarto, H. (2023). Perencanaan perkuatan soil nailing sebagai alternatif stabilitas lereng pada Jalan Lintas Selatan Lot 6 Tulungagung menggunakan metode manual bishop dan baji. *Jurnal Teknik Sipil*, 8(2), 20-29.
- Hardiyatmo, H. C. (2002). *Mekanika Tanah II* (Edisi Kedua). Penerbit Gadjah Mada University Press, Yogyakarta
- Lazerte, Carlos., Elias, V., Espinoza, D., Sabatini, P. (2003). *FHWA-NHI-24-017. Geotechnical engineering circular no.7 soil nail walls*. US Federal Highway Administration. Washington D.C.
- Look, B. (2007). *Handbook of geotechnical investigation and design tables*. Taylor & Francis Group. London.
- Terzaghi, K. and Peck, R. B. (1967). *Soil mechanics in engineering practice*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Simorangkir, M. E., & Suhendra, A. (2020). Studi pengaruh kemiringan, jarak, dan panjang soil nailing terhadap stabilitas lereng. *JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 722-732.

Wibowo, H. A., Pratikso, P., & Sumirin, S. (2023). Pengaruh sudut pemasangan nail terhadap stabilisasi lereng metode soil nailing di ruas Jalan Giriwoyo-Glonggong. *Teknika*, 18(1), 1-11.

