

STUDI PARAMETRIK ANALISIS KESTABILAN LERENG DENGAN *SOIL NAILING* PADA SUNGAI CILIWUNG AREA BANGUNAN KOMPLEK KOPASSUS

(Abi Maulana Hakim, Tito Widhi Satria, Andhika Sahadewa)

STUDI PARAMETRIK ANALISIS KESTABILAN LERENG DENGAN *SOIL NAILING* PADA SUNGAI CILIWUNG AREA BANGUNAN KOMPLEK KOPASSUS

Abi Maulana Hakim^{1*}, Tito Widhi Satria² dan Andhika Sahadewa³

^{1,2} Program Studi Teknik Sipil, Institut Teknologi Indonesia, Tangerang Selatan

³ Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung, Bandung

Jl. Raya Puspitek, Serpong, Tangerang Selatan, Banten

E-mail: abimaulanahakim@iti.ac.id^{1*} titiwidhi.s@gmail.com², sahadewa@itb.ac.id³

(* Penulis Korespondensi)

(Artikel dikirim: 13 November 2025, Direvisi: 2 Desember 2025, Diterima: 27 Desember 2025)

DOI: <http://dx.doi.org/10.30742/axial.v13i3.5007>

ABSTRAK: Indikasi kelongsoran telah terjadi pada lereng di area bangunan Komplek Kopassus, Jakarta Timur. Analisis perkuatan lereng dengan *soil nailing* dilakukan sebagai alternatif penyelesaian kondisi tersebut. Tujuan dari penelitian ini adalah melakukan analisis kestabilan lereng pada lokasi studi untuk mengetahui nilai faktor keamanan terhadap konfigurasi nail pada beban statik dan gempa, serta menentukan konfigurasi *soil nailing* yang optimal. Analisis dilakukan dengan membuat pemodelan menggunakan perangkat lunak kesetimbangan batas untuk mengetahui nilai faktor keamanan dari lereng tersebut. Hasil penelitian ini, didapat faktor keamanan pada lereng sebelum diberikan perkuatan sebesar $1,08 < 1,5$. Kondisi ini menunjukkan bahwa lereng tersebut tidak memenuhi angka keamanan yang disyaratkan SNI, sehingga memerlukan perkuatan. Setelah dilakukan analisis sebanyak 125 konfigurasi, nilai faktor keamanan pada lereng meningkat dan sebanyak 19 konfigurasi memenuhi syarat SNI 8460:2017 yaitu faktor keamanan statik ≥ 1.5 dan gempa ≥ 1.1 dengan range nilai faktor keamanan sebesar $1.5 - 1.56$ untuk kondisi statik dan $1.12 - 1.13$ untuk kondisi gempa.

KATA KUNCI : *faktor keamanan, kesetimbangan batas, soil nailing, stabilitas lereng*

1. PENDAHULUAN

Menurut Melin & Andryan (2020), Indonesia merupakan negara yang memiliki kondisi topografi dan tanah yang beragam. Kestabilan tanah di daerah lereng dapat terganggu oleh berbagai dampak seperti dampak manusia, lingkungan, atau alam itu sendiri. Perencanaan konstruksi sipil sangat bergantung pada analisis stabilitas lereng dan kesesuaian metode perkuatan lereng untuk mencegah longsor. Tanah setempat yang belum tentu sesuai dengan persiapan ideal, misalnya, sifat tanah yang bermasalah, lereng yang terlalu curam, pemotongan lereng atau keadaan lain yang mengharuskan tanggul menyebabkan longsor. Penggunaan perkuatan lereng yang tepat untuk mencapai konstruksi lereng yang stabil sesuai dengan persyaratan keselamatan yang diperlukan memerlukan analisis stabilitas lereng yang lebih tepat.

Menurut Robby et al., (2024) ada beberapa faktor yang mempengaruhi kestabilan lereng, yaitu kekuatan geser tanah, geometri lereng, tekanan air pori atau rembesan, kondisi pembebaran dan lingkungan. Dinding penahan tanah beton dapat

digunakan untuk memperkuat lereng pada infrastruktur seperti jalan raya (Tafsir & Siswoyo, 2024). Selain itu, Joshua et al., (2023), menyatakan bahwa salah satu teknik yang dapat digunakan untuk membuat tebing lebih stabil terhadap tekanan tanah adalah dengan memaku tanah "*soil nailing*". Karena prosesnya cepat dan ruang kerja yang kecil, *soil nailing* merupakan metode yang paling hemat biaya untuk mempertahankan kestabilan lereng dinding. Pelaksanaan *soil nailing* bekerja dengan cara pasif yaitu dengan tanpa adanya gaya prategang. Penelitian terkait yang dilakukan oleh Yosri et al., (2021) yang dilakukan pada lereng Ruas jalan Trans Manado – Tomohon didapat konfigurasi nail paling efisien pada panjang nail 25 m, jumlah nail 16 buah, diameter nail 16 mm, kemiringan nail 10° dan spasi 1, dengan nilai faktor keamanan pada Metode Bishop sebesar SF 1.310.

Champernic et al., (2023) melakukan penelitian kestabilan lereng pada lereng Cigunung, Singajaya, Garut. Dari penelitiannya didapatkan faktor keamanan sebelum perkuatan sebesar 0.273 untuk metode Bishop dan faktor keamanan



setelah dilakukan perkuatan adalah sebesar 1.540 untuk sudut 20° . Metode tersebut diperkirakan memiliki anggaran biaya *soil nailing* sebesar Rp 5.513.664.027,12 dengan luas area 1321 m². Selanjutnya, Agnes et al., (2023) melakukan analisis perkuatan kestabilan lereng di lokasi pembangunan RSUD Kota Manado. Metode perkuatan yang digunakan adalah *soil nailing* dengan bantuan program Geostudio. Dari hasil studi, didapatkan faktor keamanan sebelum perkuatan sebesar 0.738 untuk metode Bishop, dan 0.739 untuk metode Spencer. Setelah diberikan perkuatan, faktor keamanan meningkat menjadi 1.7 dengan konfigurasi nail panjang 7 m, dan sudut inklinasi 15° .

Khairullah et al., (2023) meneliti kestabilan pada lereng Sungai Aceh Tamiang, Kampung Rantau Pakam, Provinsi Aceh. Metode yang digunakan adalah dengan metode Bishop dengan menggunakan program Plaxis 2D. Hasilnya didapatkan faktor keamanan sebesar $1.335 < \text{syarat } 1.5$ untuk *soil nailing* dan $1.457 > \text{syarat } 1.3$ untuk dinding MSE.

Perbedaan penelitian ini dengan penelitian-penelitian sebelumnya adalah pada penelitian ini lokasi yang ditinjau berada pada lereng area kompleks kopassus. Selain itu, pada penelitian melakukan studi parametrik dengan memvariasikan konfigurasi yang digunakan, yang terdiri dari panjang nail, diameter lubang nail, dan spasi nail. Hal ini dilakukan untuk mengetahui perilaku peningkatan faktor keamanan lereng dengan variasi konfigurasi perkuatan *soil nailing* yang berbeda-beda.

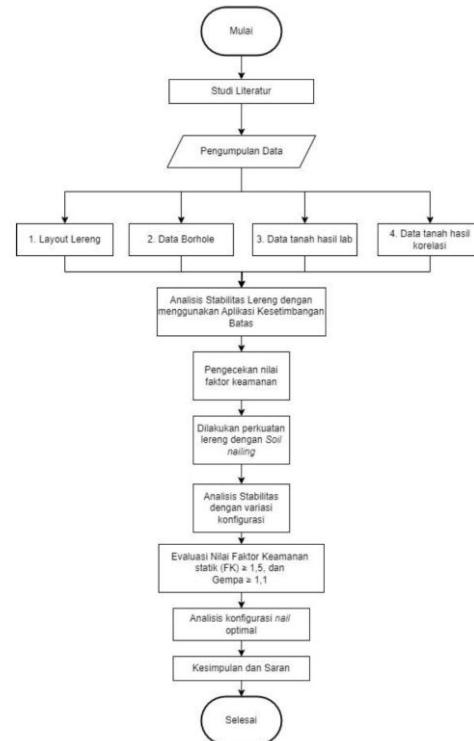
2. METODE PENELITIAN

Penelitian perkuatan lereng ini dilakukan dengan mengevaluasi nilai faktor keamanan yang dihasilkan pada lereng sebelum dan setelah diberikan perkuatan *soil nailing*. Setelah itu, dilakukan analisis konfigurasi nail terhadap perubahan nilai faktor keamanan lereng tersebut pada beban statik dan beban gempa. Diagram alir penelitian dapat dilihat pada **Gambar 1**.

Studi parametrik dilakukan dengan memvariasikan konfigurasi *soil nailing* yang digunakan, yang terdiri dari panjang nail. Variasi yang digunakan adalah konfigurasi nail dengan panjang nail 6 m, 8 m, 10 m, 12 m, 14 m; variasi diameter lubang bor 120 mm, 140 mm, 160 mm, 180 mm, 200 mm; dan variasi spasi 1 m, 1,2 m, 1,4 m, 1,6 m, 1,8 m. Total variasi analisis yang dilakukan adalah sebanyak 125. Hasil dari analisis kemudian dibahas untuk diambil kesimpulan.

Pada penelitian kasus yang akan diambil ini, lokasi yang dipilih adalah lereng pada area bangunan kompleks Kopassus Cijantung yang

berada di Kec. Cimanggis, Kota Depok, Jawa Barat. Telah terjadi indikasi longsor pada lokasi tersebut, seperti pagar bergeser dan singkapan vegetasi. Penggunaan perkuatan *soil nailing* ini dipilih dengan pertimbangan lokasi lereng yang berada di dalam perumahan persis disamping badan sungai ciliwung. Lokasi penelitian dapat dilihat pada **Gambar 2**.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian
(Sumber: Hasil Penelitian)

Penelitian ini menggunakan data sekunder yang seperti data borehole, data laboratorium pengujian tanah, dan gambar potongan layout lereng yang didapat dari survei dan penyelidikan tanah yang dilakukan pada lokasi penelitian.



Gambar 2. Lokasi Studi
(Sumber: Data Sekunder)

2.1. Stabilitas Lereng

STUDI PARAMETRIK ANALISIS KESTABILAN LERENG DENGAN SOIL NAILING PADA SUNGAI CILIWUNG AREA BANGUNAN KOMPLEK KOPASSUS

(Abi Maulana Hakim, Tito Widhi Satria, Andhika Sahadewa)

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 (Das & Endah, 1994). Hal ini dapat dirumuskan dengan:

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

Jika faktor keamanan bernilai $FK = 1$, dapat dikatakan pada lereng tersebut belum terjadi kelongsoran, namun berada pada kondisi kritis (tepat akan longsor). Oleh karena itu, pada umumnya nilai faktor keamanan sebesar $FK = 1.5$ dianggap sebagai angka yang aman untuk merencanakan stabilitas lereng (SNI 8460-2017). Metode analisis stabilitas lereng 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, seperti yang dapat dilihat pada Persamaan 2 (Bishop, 1955). Gaya normal di dasar dan tiap irisan ditentukan dengan menjumlahkan gaya-gaya dalam arah vertikal.

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

dimana:

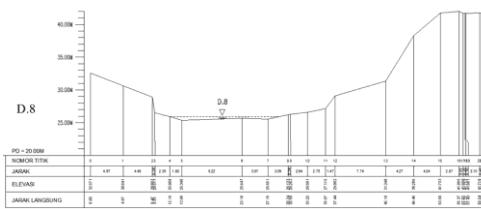
- FK : Faktor keamanan
- c' : kohesi efektif
- ϕ' : sudut gesek dalam efektif
- P' : gaya normal efektif pada dasar irisan
- u : tekanan air pori
- l : panjang dasar irisan
- W : berat irisan

Pemodelan *soil nailing* ini dilakukan dengan menggunakan program metode kesetimbangan batas. Pada perangkat lunak ini, data yang dibutuhkan untuk melakukan pemodelan adalah geometri potongan lereng, dan data parameter tanah pada lereng yang hendak dimodelkan. Untuk syarat dan ketentuan dari pemodelan *soil nailing* ini mengacu kepada SNI 8460-2017.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Geometri Lereng

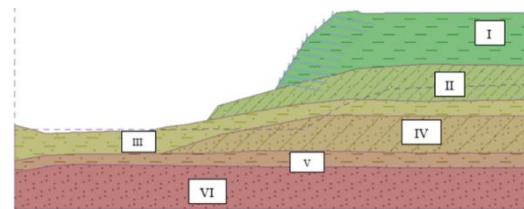
Pada penelitian ini, potongan melintang lereng yang akan diteliti tingkat kestabilannya adalah potongan D-8 yang dapat dilihat pada Gambar 2. Gambar tersebut akan digunakan sebagai dasar untuk membuat geometri kedalam pemodelan.



Gambar 3. Potongan Melintang Lereng
(Sumber: Data Sekunder)

3.2. Profil dan Parameter Tanah

Pada penelitian ini, lapisan tanah pada geometri ditentukan berdasarkan jenis tanah yang didapat dari hasil data borehole pada lokasi penelitian. Profil lapisan tanah dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 4. Profil Lapisan Tanah
(Sumber: Hasil Penelitian)

Parameter tanah yang digunakan pada setiap lapisan tanah ditentukan berdasarkan data tanah yang tersedia, termasuk dari data uji laboratorium. Jika terdapat nilai parameter tanah yang tidak terdapat dalam pengujian, maka parameter tanah ditentukan berdasarkan korelasi. (Michael & Stephen, 2016, Jay et al., 2016). Parameter tanah untuk setiap lapisan dirangkum pada tabel-tabel berikut ini:

Tabel 1. Parameter Tanah

Lapisan	Jenis Tanah	N-SPT	γ (kN/m^3)	γ_{sat} (kN/m^3)
I	Clay	10	16.2	16.7
II	Silt	8	15.1	16
III	Clay	11	14	14.6
IV	Sand	11	16	18
V	Clay	27	16	16.4
VI	Sand	60	18.5	19.7

(Sumber: Hasil Penelitian)

Tabel 2. Parameter Tanah (lanjutan)

Lapisan	Jenis Tanah	C_u (kPa)	c' (kPa)	ϕ'
I	Clay	60	15	25
II	Silt	48	10	24
III	Clay	66	10	32
IV	Sand	-	1	34
V	Clay	162	16	32

VI	Sand	-	1	40
(Sumber: Hasil Penelitian)				

3.3. Parameter Soil Nailing

Analisis memerlukan *input* daripada parameter-parameter *soil nailing*, seperti sudut kemiringan nail (α), panjang nail (l), spasi nail (b), diameter nail (ds), diameter lubang nail, kuat leleh nail (f_y), dan tahanan friksi nail (gs).

Sudut nail (α) merupakan besaran sudut yang terbentuk dari pemasangan nail terhadap bidang horizontal lereng. Untuk sudut nail (α) yang akan digunakan di dalam analisis adalah sebesar 10° untuk semua konfigurasi nail.

Panjang nail (l) adalah panjang dari setiap nail atau baja yang digunakan untuk *soil nailing*. Panjang nail (l) yang akan digunakan di dalam analisis adalah bervariasi dari panjang nail 6 m, 8 m, 10 m, 12 m, dan 14 m.

Spasi nail (b) merupakan jarak horizontal dan vertikal antara nail satu dengan lainnya. Spasi nail (b) yang akan digunakan bervariasi spasi sebesar 1 m, 1.2 m, 1.4 m, 1.6 m, dan 1.8 m.

Diameter nail (ds) merupakan diameter yang dimiliki oleh nail atau besi baja. Untuk semua konfigurasi nail digunakan jenis baja beton bertulang yaitu BJTS 420 dengan diameter 32 mm.

Diameter lubang nail merupakan diameter dari lubang tempat nail akan dimasukkan dan diisi *grouting*. Diameter yang digunakan di dalam analisis konfigurasi nail ini adalah konfigurasi dari diameter sebesar 120 mm, 140 mm, 160 mm, 180 mm, 200 mm.

Tahanan friksi (gs) adalah kekuatan nail dalam menahan gaya friksi sepanjang nail yang diakibatkan gesekan dengan tanah. Tahanan cabut yang digunakan di dalam analisis ini didapat dari korelasi nilai Cu untuk tanah lempung sebesar 6N (6 x Nspt) [16]. Tahanan friksi dirumuskan dengan:

$$gs = \frac{Cu}{2} = \frac{6 \times Nspt}{2} \quad (3)$$

dimana,

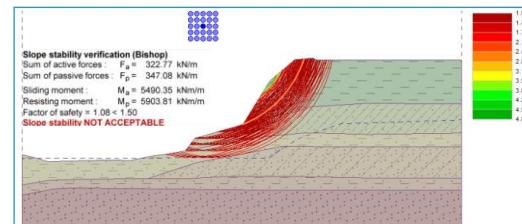
gs : Tahanan friksi (kPa)

Cu : Kohesi tanah undrained (kPa)

Nspt : Nilai N-SPT tanah tiap layer

3.4. Hasil

Pada penelitian ini, analisis lereng dilakukan menggunakan program metode kesetimbangan batas dengan metode bishop. Berikut adalah hasil analisis dari metode bishop untuk faktor keamanan pada lereng sebelum diberikan perkuatan:



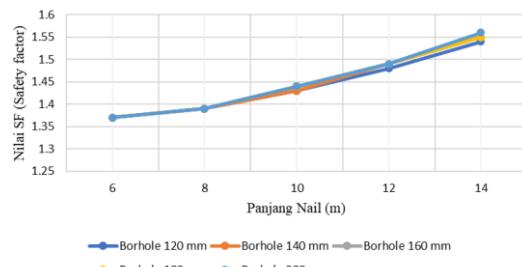
Gambar 5. Analisis Stabilitas Lereng Tanpa Perkuatan

(Sumber: Hasil Penelitian)

Analisis kekuatan internal dari *soil nailing* seperti kuat lekatan *pullout* (*soil-grout bond resistance*) dengan angka keamanan, $FK \geq 2$, telah termasuk. Hal ini secara otomatis dianalisis di dalam program dengan menginput diawal angka keamanan tersebut pada bagian pengaturan *input* dan parameter *soil nailing*. Analisis stabilitas terhadap guling terhadap keseluruhan model menghasilkan $FK > 2$. Hal ini menunjukkan bahwa untuk *soil nailing* pada lereng alami (bukan galian), kondisi guling bukan menjadi hal yang mengontrol dalam pertimbangan desain.

Dari hasil analisis stabilitas global *soil nailing*, didapatkan nilai faktor keamanan sebesar $1.08 < 1.5$. Hal ini menandakan bahwa lereng tersebut stabil ($FK > 1$). Namun, nilai ini berada di bawah dari syarat faktor keamanan minimum, sehingga dapat dikatakan rawan longsor ($FK < 1.5$). Dengan demikian, kondisi ini memerlukan perkuatan *soil nailing* untuk mencapai syarat faktor keamanan minimum ($FK \geq 1.5$).

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 (*Safety Factor, SF*). Hal ini ditunjukkan dari rangkuman hasil analisis yang disajikan pada grafik-grafik dibawah ini:

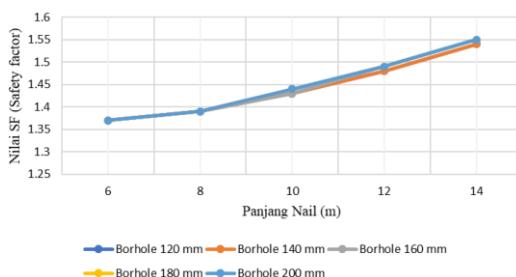


Gambar 6. Grafik Faktor Keamanan untuk Spasi Nail 1,0 m

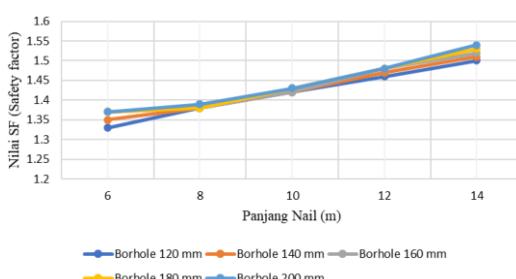
(Sumber: Hasil Penelitian)

STUDI PARAMETRIK ANALISIS KESTABILAN LERENG DENGAN *SOIL NAILING* PADA SUNGAI CILIWUNG AREA BANGUNAN KOMPLEK KOPASSUS

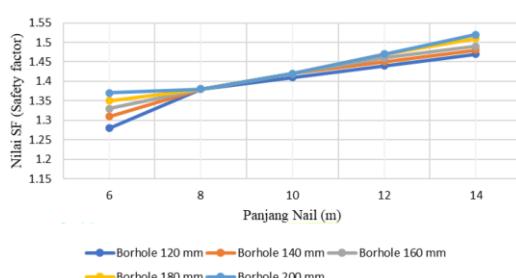
(Abi Maulana Hakim, Tito Widhi Satria, Andhika Sahadewa)



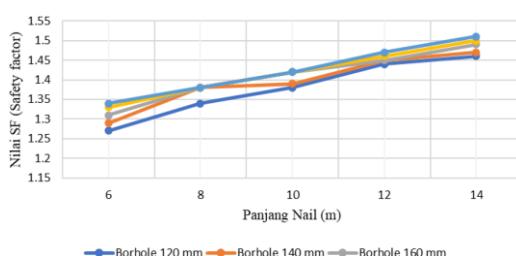
Gambar 7. Grafik Faktor Keamanan untuk Spasi Nail 1,2 m
(Sumber: Hasil Penelitian)



Gambar 8. Grafik Faktor Keamanan untuk Spasi Nail 1,4 m
(Sumber: Hasil Penelitian)



Gambar 9. Grafik Faktor Keamanan untuk Spasi Nail 1,6 m
(Sumber: Hasil Penelitian)



Gambar 10. Grafik Faktor Keamanan untuk Spasi Nail 1,8 m
(Sumber: Hasil Penelitian)

Setelah dilakukan analisis konfigurasi nail dengan kondisi beban statik, dapat diketahui

bahwa perkuatan *soil nailing* dapat meningkatkan nilai faktor keamanan dan tingkat kestabilan lereng pada lokasi penelitian. Akan tetapi, tidak semua konfigurasi nail memenuhi syarat angka faktor keamanan yaitu ≥ 1.5 . Hanya terdapat 19 konfigurasi *soil nailing* yang memenuhi kriteria tersebut.

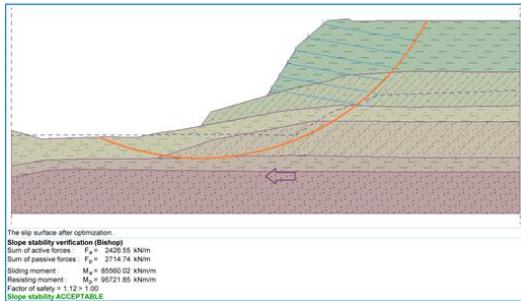
Selanjutnya, dilakukan analisis pada program kesetimbangan batas untuk nilai faktor keamanan terhadap gempa pada konfigurasi nail yang memenuhi syarat faktor keamanan statik ≥ 1.5 . Pada analisis lereng terhadap gempa, nilai kh (koefisien horizontal pseudostatik) pada lokasi ditentukan sebesar 0,153. Nilai ini dihitung berdasarkan peta gempa tahun 2017. Tipikal analisis stabilitas lereng kondisi gempa disajikan pada Gambar .Faktor keamanan untuk setiap variasi tersebut disajikan pada tabel berikut ini:

Tabel 1. Rangkuman Faktor Keamanan Kondisi Gempa

Spasi Nail	Panjang Nail (m)	Diameter Borhole Ø (m)	Nilai FK	Nilai FK terhadap Gempa
1	14	0.12	1.54	1.13
1	14	0.14	1.55	1.13
1	14	0.16	1.55	1.13
1	14	0.18	1.55	1.13
1	14	0.2	1.56	1.13
1.2	14	0.12	1.54	1.13
1.2	14	0.14	1.54	1.13
1.2	14	0.16	1.55	1.13
1.2	14	0.18	1.55	1.13
1.2	14	0.2	1.55	1.13
1.4	14	0.12	1.5	1.12
1.4	14	0.14	1.51	1.12
1.4	14	0.16	1.52	1.12
1.4	14	0.18	1.53	1.12
1.4	14	0.2	1.54	1.12
1.6	14	0.18	1.51	1.12
1.6	14	0.2	1.52	1.12
1.8	14	0.18	1.5	1.12
1.8	14	0.2	1.51	1.12

(Sumber: Hasil Penelitian)

Dari hasil analisis gempa, nilai dari faktor keamanan untuk setiap konfigurasi nail berada direntang 1.12 – 1.13. Nilai-nilai ini lebih besar dari persyaratan faktor keamanan terhadap gempa ($FK_{gempa} \geq 1.1$). Dengan demikian konfigurasi nail tersebut memenuhi disimpulkan memenuhi persyaratan.



Gambar 11. Tipikal Analisis Stabilitas Lereng dengan Perkuatan *Soil Nailing* pada Kondisi Gempa

(Sumber: Hasil Penelitian)

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa pada lereng eksisting didapatkan nilai faktor keamanan sebesar 1,08. Dari hasil tersebut, dapat dikatakan bahwa lereng tersebut berada di bawah standar keamanan berdasarkan SNI ($\text{FK} < 1,5$). Oleh karena itu, diperlukan perkuatan *soil nailing* untuk meningkatkan faktor keamanan dan kestabilan lereng lokasi penelitian.

Perkuatan *soil nailing* dapat meningkatkan nilai faktor keamanan lereng pada lokasi penelitian. Dari 125 variasi konfigurasi *soil nailing*, terdapat 19 konfigurasi yang memenuhi syarat angka faktor keamanan statik yaitu $\geq 1,5$. Perbedaan nilai faktor keamanan tersebut disebabkan oleh beberapa faktor seperti panjang, spasi, dan diameter lubang nail yang mempengaruhi perkuatan kestabilan lereng tersebut.

Pada analisis gempa, dari 19 konfigurasi nail yang memenuhi syarat faktor keamanan statik, didapatkan rentang faktor keamanan kondisi gempa sebesar 1,12 – 1,13. Nilai faktor keamanan ini memenuhi dengan yang disyaratkan yaitu $\geq 1,1$.

5. UCAPAN TERIMAKASIH

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 tertentu manapun.

6. DAFTAR PUSTAKA

Agnes, T.M., Alva, N.S., & Benoni, B.A.S. (2023). Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Soil nailing Terhadap Lokasi Pembangunan RSUD Manado. *TEKNO*, Vol. 21 No. 83.

<https://doi.org/10.35793/jts.v21i83.47522>

Badan Standarisasi Nasional. (2017) *SNI 8460:2017. Persyaratan Perancangan Geoteknik*. 2017. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.

Bishop, A.W. (1955). The Use of Slip Surface in The Stability of Analysis Slopes, *Geotechnique*. Vol 5. London.

Champernic, T., Athaya, Z., & Dicky, M.F. (2023). Perkuatan Soil nailing pada Lereng Singajaya Garut. *Jurnal konstruksi Institut Teknologi Garut. Jurnal Konstruksi*, vol. 21, no. 2, hal: 217–223. <https://doi.org/10.33364/konstruksi.v.21-2.1397>

Das, B.M., & Endah, N. (1994). *Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis)*, Jilid 2. Jakarta: Erlangga.

Hardiyatmo, H.C. (2002). *Mekanika Tanah I Edisi Ketiga*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.

Jay, A., Nagaratnam, S., & Das, B.M. (2016). *Correlations of Soil and Rock Properties in Geotechnical Engineering*. India: Springer.

Joshua, T.S., Steeva, G.R., & Alva, N.S. (2023). Pengaruh Beban Gempa terhadap Kestabilan Lereng Menggunakan Perkuatan Soil nailing (Studi Kasus : Ruas Jalan Manado Outer Ring Road III). *TEKNO*, Vol. 21, No. 84. <https://doi.org/10.35793/jts.v21i84.48975>

Melin, E.S., & Andryan, S. (2020). Studi Pengaruh Kemiringan, Jarak, Dan Panjang Soil nailing Terhadap Stabilitas Lereng. *Jurnal Mitra Teknik Sipil*, Vol. 3, No. 3, hal:723-732. <https://doi.org/10.24912/jmts.v3i3.8754>

Michael, C., & Stephen, P. B. (2016). *Soil Properties and their Correlations*. United Kingdom: John Wiley & Sons.

Robby, M., & Dian, H.A. (2024). Analisis Stabilitas Lereng dan Alternatif Perkuatan Soil nailing pada Ruas Jalan Lingkar Serasan Kabupaten Natuna. *Sigma Teknika*, Vol. 7, No.1: 222-232. <https://doi.org/10.33373/sigmateknika.v7i1.16204>

Tafsir, M., & Siswoyo, S. (2024). Perencanaan Dinding Penahan Tanah Pada Lereng Aliran Lahar Dingin Gunung Semeru Di Km + (113°01'3264'') s/d KM + (113° 01' 1544'') Lumajang. *Axial : Jurnal Rekayasa Dan Manajemen Konstruksi*, 12(2), 071. <https://doi.org/10.30742/axial.v12i2.3648>

Yosri, E.B., Agnes, T.M., & Hendra, R. (2021). Penelitian Literatur Tentang Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Soil

STUDI PARAMETRIK ANALISIS KESTABILAN LERENG DENGAN *SOIL NAILING* PADA SUNGAI CILIWUNG AREA BANGUNAN KOMPLEK KOPASSUS

(Abi Maulana Hakim, Tito Widhi Satria, Andhika Sahadewa)

nailing Menggunakan Program GEO5.
TEKNO, Vol 19, No 79.

<https://doi.org/10.35793/jts.v19i79.38395>