

STUDI PERBANDINGAN SOIL NAILING DAN GABION UNTUK PERKUATAN LERENG PASCA LONGSOR

Studi Kasus Jalan Raya Gunitir KM 233+550, Jember-Banyuwangi, Indonesia

(Comparative Study of Soil Nailing and Gabion for Post-Landslide Slope Reinforcement: A Case Study of Gunitir Highway KM 233+550, Jember-Banyuwangi, Indonesia)

Paksitya Purnama Putra¹, Anisa Umi Tressiana¹, Indra Nurtjahjaningtyas¹

¹Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Jember, Indonesia

E-mail: paksitya.putra@unej.ac.id

Diterima 17 September 2025, Disetujui 24 Mei 2026

ABSTRAK

Fenomena longsor merupakan bencana geoteknik yang sering terjadi di daerah tropis, termasuk Indonesia. Salah satu kejadian longsor yang terjadi pada Jalan Raya Gunitir KM 233+550 pada Juli 2023 mengancam kestabilan lereng yang vital bagi infrastruktur transportasi. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis stabilitas lereng pasca longsor dan membandingkan efektivitas metode perkuatan *soil nailing* dan gabion. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah analisis stabilitas lereng menggunakan perangkat lunak geoteknik berbasis *Limit Equilibrium Method*, dengan data sekunder berupa data boring dan *Standard Penetration Test*. Hasil analisis menunjukkan bahwa lereng pada kondisi eksisting memiliki faktor keamanan 0,944, yang menandakan kondisi kritis. Setelah perkuatan dengan *soil nailing*, faktor keamanan global meningkat menjadi 1,917, menunjukkan bahwa lereng berada dalam kondisi aman. Sementara itu, perkuatan gabion menghasilkan faktor keamanan 1,562, yang masih memenuhi kriteria aman meskipun lebih rendah dibandingkan *soil nailing*. Berdasarkan hasil analisa, dapat disimpulkan bahwa kedua metode perkuatan efektif, namun *soil nailing* lebih direkomendasikan untuk meningkatkan kestabilan lereng pada lokasi vital dengan risiko longsor tinggi. Penelitian ini memberikan rekomendasi teknis untuk memilih metode perkuatan yang sesuai dengan kondisi lapangan dan tingkat risiko, dengan mempertimbangkan faktor keamanan, efisiensi, dan keberlanjutan.

Kata kunci: longsor; perkuatan lereng; *soil nailing*; gabion; stabilitas lereng.

ABSTRACT

Landslides are a common geotechnical hazard in tropical regions, including Indonesia. One such event occurred on the Gunitir Highway at KM 233+550 in July 2023, which posed a significant threat to the stability of the slope, vital for transportation infrastructure. This study aims to analyze post-landslide slope stability and compare the effectiveness of soil nailing and gabion reinforcement methods. The method employed involves slope stability analysis using *Limit Equilibrium Method* geotechnical software, utilizing secondary data from borehole and *Standard Penetration Tests*. The analysis results revealed that the existing slope had a safety factor of 0.944, indicating a critical condition. After reinforcement with soil nailing, the global safety factor increased to 1.917, indicating that the slope was in a stable condition. In contrast, the gabion reinforcement yielded a safety factor of 1.562, which still met safety criteria but was lower compared to soil nailing. Based on the analysis, it can be concluded that both reinforcement methods are effective; however, soil nailing is more recommended for enhancing slope stability in vital locations with high landslide risks. This study provides technical recommendations for selecting the appropriate reinforcement method based on field conditions and risk levels, considering safety, efficiency, and sustainability factors.

Keywords: Landslide; slope reinforcement; soil nailing; gabion; slope stability.

PENDAHULUAN

Fenomena longsor merupakan salah satu bencana geoteknik yang paling sering terjadi di daerah tropis dengan curah hujan tinggi, termasuk Indonesia. Longsor pada lereng umumnya dipicu oleh kombinasi faktor internal dan eksternal, antara lain sifat tanah penyusun, geometri lereng, kondisi hidrogeologi, serta beban tambahan di permukaan [1][2]. Salah satu mekanisme utama penyebab longsor adalah meningkatnya tekanan air pori akibat infiltrasi air hujan. Kondisi jenuh air tidak hanya menurunkan kuat geser tanah, tetapi juga meningkatkan berat volume tanah, sehingga gaya pendorong melebihi gaya penahan dan lereng kehilangan kestabilannya [3].

Dalam perspektif rekayasa sipil, ketidakstabilan lereng memiliki dampak serius terhadap keberlanjutan infrastruktur transportasi. Kelongsoran lereng tidak hanya menimbulkan kerusakan konstruksi, tetapi juga dapat menghambat mobilitas masyarakat, mengganggu rantai pasok ekonomi, dan menimbulkan korban jiwa [4]. Oleh karena itu, analisis stabilitas lereng diperlukan untuk mengidentifikasi potensi kegagalan, mengevaluasi nilai faktor keamanan (*safety factor*), serta merencanakan strategi perkuatan yang sesuai dengan kondisi lapangan [5][6][7][8].

Salah satu kejadian longsor yang menonjol di wilayah Jawa Timur adalah longsor pada Jalan Raya Gunitir KM 233+550 pada Juli 2023. Peristiwa ini mengakibatkan terkikisnya bahu jalan yang berfungsi sebagai jalur utama penghubung Jember-Banyuwangi. Mengingat lokasi ini termasuk infrastruktur vital, solusi perkuatan yang dipilih harus mampu memberikan jaminan keamanan yang tinggi sekaligus dapat diterapkan secara efisien di lapangan.

Dalam literatur geoteknik, berbagai metode perkuatan lereng telah dikembangkan, mulai dari dinding penahan tanah konvensional [9], perkuatan geosintetik [10], soil nailing [11][12], hingga penggunaan struktur modular seperti gabion [13]. Di antara metode tersebut, soil nailing dan gabion dianggap relevan dengan kondisi Jalan Raya Gunitir. Soil nailing merupakan metode perkuatan in-situ yang efektif untuk meningkatkan kestabilan lereng melalui penanaman elemen baja pasif ke dalam massa tanah. Sistem ini bekerja dengan memobilisasi gaya geser yang ditahan oleh nail, sehingga memperkuat massa tanah secara internal. Sejumlah penelitian internasional menunjukkan efektivitas soil nailing dalam meningkatkan faktor keamanan. Bathini dan Krishna (2022)[11] melaporkan bahwa soil nailing dapat mengurangi deformasi plastis dan meningkatkan faktor keamanan global secara signifikan, terutama pada lereng curam dengan risiko longsor dangkal. Sementara itu, Mangnejo et al. (2019)[12] melalui analisis numerik juga menegaskan bahwa soil nailing merupakan metode yang efisien dan andal untuk stabilisasi lereng berdaya dukung rendah.

Di sisi lain, gabion (bronjong) adalah salah satu metode perkuatan yang sederhana namun tetap efektif. Struktur ini berupa anyaman kawat yang diisi dengan batu pecah, membentuk dinding penahan tipe gravitasi yang bekerja dengan berat sendiri. Keunggulan utama gabion adalah fleksibilitasnya dalam mengikuti deformasi tanah, kemampuan drainase yang baik, serta konstruksi yang relatif cepat dan murah. Studi Grodecki (2018)[13] menunjukkan bahwa gabion tidak hanya meningkatkan stabilitas lereng, tetapi juga memiliki keuntungan dari sisi keberlanjutan karena material pengisinya dapat diperoleh secara lokal. Hal ini menjadikannya sebagai pilihan yang ramah lingkungan sekaligus ekonomis, terutama pada lokasi dengan sumber daya terbatas.

Jika dibandingkan dengan dinding penahan tanah konvensional, soil nailing dan gabion memiliki kelebihan masing-masing. Soil nailing unggul dari sisi kemampuan memperkuat massa tanah secara internal dan memberikan faktor keamanan yang tinggi, sementara gabion lebih menonjol dari sisi kemudahan implementasi, biaya konstruksi yang relatif rendah, serta keberlanjutan lingkungan. Dengan demikian, pemilihan antara kedua metode ini harus mempertimbangkan kebutuhan keamanan, kondisi geoteknik, serta ketersediaan sumber daya di lapangan.

Berdasarkan latar belakang tersebut, studi ini bertujuan untuk menganalisis stabilitas lereng pasca longsor pada Jalan Raya Gunitir KM 233+550 dengan membandingkan efektivitas metode perkuatan soil nailing dan gabion. Analisis dilakukan menggunakan perangkat lunak geoteknik berbasis metode elemen hingga untuk memperoleh nilai faktor keamanan dan kondisi bidang keruntuhan. Hasil studi diharapkan dapat memberikan rekomendasi teknis mengenai metode perkuatan yang paling sesuai untuk diterapkan, dengan memperhatikan aspek keamanan, efisiensi, dan keberlanjutan.

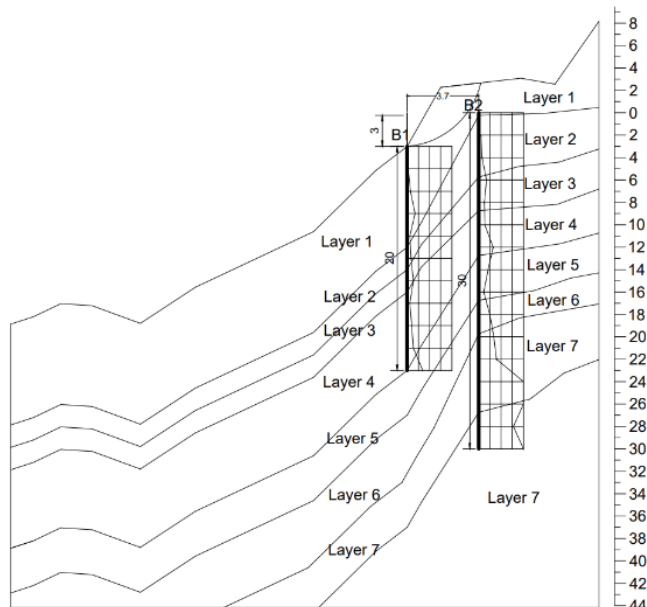
METODE

Lokasi studi terletak pada Jalan Raya Gunitir KM 233+550 pada Pegunungan Gunitir. Data primer yang digunakan pada studi ini hanya berupa dokumentasi area studi. Sedangkan data sekunder yang digunakan berupa data boring dan data SPT yang didapatkan dari Balai Besar Penyelenggara Jalan Nasional (BBPJN) VIII PPK 1.4 Provinsi Jawa Timur (Wonorejo-Jember-Batas Banyuwangi). Pemodelan stratigrafi tanah pada lereng studi digambar dengan program bantu AutoCAD 2023 yang selanjutnya di import ke dalam program bantu berbasis Limit Equilibrium Method (LEM). Pemodelan stratigrafi lereng dan lokasi titik bor terdapat pada Gambar 1. Data parameter tanah untuk stratigrafi pada Tabel 1 didapat dari nilai rerata pada tiap parameter dari data SPT B1 dan B2.

Tabel 1. Data Parameter Tanah pada Jalan Raya Gunitir KM 233+550

Kedalaman (m)	Jenis Tanah	γ_{sat} (kN/m ³)	γ_{dry} (kN/m ³)	C (kN/m ²)	Sudut Geser (°)	Keterangan
0 - 2.5	Pasir dan Lanau dengan Kerikil	15,05	9,00	24,75	19,75	Layer 1

Kedalaman			Jenis Tanah	γ_{sat}	γ_{dry}	C	Sudut Geser	Keterangan
(m)				(kN/m ³)	(kN/m ³)	(kN/m ²)	(°)	
2.5	-	8	Lanau dengan Pasir dan Lempung	15,03	8,69	32,15	13,667	Layer 2
8	-	11	Pasir dan Lanau dengan Lempung	15,29	10,36	27	18	Layer 3
11	-	15	Lanau dan Pasir	16,39	10,70	31,583	13,25	Layer 4
15	-	19	Lanau Kelempungan dengan Pasir	19,42	15,43	28,5	16	Layer 5
19	-	22	Pasir dan Lanau dengan Lempung	19,34	15,62	31,333	14	Layer 6
22	-	29	Lanau dengan Pasir dan Lempung, Padat	20,29	17,35	30	15	Layer 7



Gambar 1. Stratigrafi dan lokasi titik bor

Analisis stabilitas lereng alami dilakukan setelah pemodelan stratigrafi tanah. Analisa stabilitas lereng dilakukan untuk mengetahui stabilitas suatu lereng pada kondisi tertentu, evaluasi terhadap kemungkinan terjadinya keruntuhan atau kegagalan, merencanakan perbaikan maupun pencegahan untuk lereng dan lain sebagainya. Dalam menganalisis stabilitas lereng, umumnya identik dengan nilai faktor keamanan atau lebih dikenal dengan *safety factor* (SF). SF merupakan perbandingan gaya yang menahan dan gaya yang mendorong. Jika gaya yang mendorong lebih kecil dari gaya yang menahan atau gaya tahannya lebih besar, maka lereng dapat dikatakan berada pada kondisi relatif stabil [9]. Sebuah lereng dapat dikatakan stabil jika lereng tidak mengalami longsor atau jika nilai faktor keamanannya (SF) $< 1,07$. Kondisi kestabilan lereng dapat diklasifikasikan berdasarkan nilai faktor keamanannya [14][15]. Klasifikasi tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Nilai faktor keamanan lereng [15]

Faktor Keamanan	Kondisi Lereng
$SF < 1,07$	Tidak aman (longsor)
$1,07 < SF < 1,25$	Kritis
$SF > 1,25$	Aman

Alternatif perkuatan lereng diperlukan apabila kondisi lereng dinyatakan dalam keadaan tidak aman atau

kritis. Beberapa alternatif perkuatan lereng yang dapat digunakan pada lokasi studi yakni *soil nailing*, *conterweight* yang dikombinasikan dengan gabion (bronjong).

Soil nailing merupakan perkuatan dengan memasang atau menanam beberapa potongan baja (nails) ke dalam tanah. Perkuatan ini dapat menstabilkan lereng dan menahan tanah dibelakangnya [16]. Perkuatan *soil nailing* memanfaatkan tekanan pasif yang dikerahkan oleh nail sehingga sangat baik digunakan pada kondisi tanah asli atau pada lereng alam [14]. Persyaratan teknis dalam perencanaan *soil nailing* yang mengacu pada SNI 8460:2017[17] yaitu dengan dimensi tipikal sudut kemiringan berkisar antara 10° - 20° , panjang nail berkisar 0,6H-1,2H, jarak antar (spasi) *nail* 1,5 m atau 1-1,2 m, dan diameter lubang bor berkisar 100-200 mm. Parameter masukan yang dibutuhkan pada program bantu berbasis LEM untuk analisis stabilitas perkuatannya yaitu sudut inklinasi, spasi *nail*, kapasitas tarik baja, panjang *nail*, diameter nail, dan diameter lubang bor [18]. Perhitungan stabilitas *soil nailing* harus dicek dengan beberapa kontrol yakni stabilitas eksternal, dan stabilitas internal. Stabilitas eksternal *soil nailing* bertujuan untuk memastikan bahwa panjang tulangan yang digunakan mampu untuk menahan kelongsoran [19]. Stabilitas eksternal pada *soil nailing* dibagi menjadi stabilitas global pada persamaan 1, stabilitas terhadap geser pada persamaan 2, dan stabilitas terhadap daya dukung pada persamaan 3.

$$SF = \frac{cL_f + (W+Q) \cos \alpha \cdot \tan \phi + (\sum T_i \sin(\alpha+i) - \sum V_i \cos(\alpha+i)) \tan \phi}{(W+Q) \sin \alpha - \sum T_i \cos(\alpha+i) - \sum V_i \sin(\alpha+i)} \dots\dots\dots(1)$$

$$SF = \frac{c BL (W+Q+Pa \sin \beta) \tan \varphi}{Pa \cos \beta} \geq 1,5 \dots\dots\dots(2)$$

$$SF = \frac{c \cdot N_c + 0,5 \gamma B_e N_\gamma}{H_{eq} \gamma} \geq 3 \dots\dots\dots (3)$$

Stabilitas Internal dimaksudkan bahwa *soil nailing* harus mampu menahan gaya tarik dan gaya geser yang akan bekerja. Untuk menambah kuat tarik *nail* dapat dengan memperpanjang atau memperbesar diameter nail [19]. Stabilitas internal dibagi menjadi stabilitas terhadap putus tulangan pada persamaan 4 dan stabilitas terhadap cabut tulangan pada persamaan 5.

$$SF = \frac{\left(\frac{0,25 \pi D^2 f_y}{1000} \right)}{\sigma_h S_v S_h} \geq 1,8 \dots\dots\dots(4)$$

$$SF = \frac{\pi Q_u D_{dh} L_p}{\sigma_h S_v S_h} \geq 2 \quad \dots\dots\dots(5)$$

Perkuatan *counterweight* merupakan perkuatan dengan menambahkan atau memberikan timbunan pada tanah yang akan diperkuat atau diperbaiki. Pada tanah yang lemah, *counterweight* akan berfungsi sebagai penahan longsor. Tanah dapat ditingkatkan kestabilannya dengan melakukan pemotongan lereng [20]. Terasering (*counterweight*) merupakan salah satu metode yang digunakan untuk mengurangi kemiringan lereng dan panjang lereng sehingga lereng landai dengan cara penggalian atau penimbunan [18]. Salah satu cara untuk menstabilkan lereng adalah dengan memperkecil gaya geser tanah, dimana hal tersebut bisa dilakukan dengan memperkecil ketinggian lereng, mengurangi sudut kemiringan lereng agar lebih datar, atau dengan menggunakan tanah timbunan pada kaki lereng (*counterweight*) [21]. Perkuatan *counterweight* dapat dikombinasikan dengan gabion sebagai perkuatan dan penutup permukaan lereng. Gabion atau bronjong merupakan salah satu dinding penahan tanah yang bersifat *gravity wall* dimana berat sendiri dari gabion diandalkan untuk menahan beban yang ada. Perkuatan gabion biasanya dipasang pada tepi sungai dan pada lereng-lereng untuk menghindari kelongsoran dan erosi, yang biasanya gabion dibuat menumpuk seperti tangga [22]. Gabion atau beronjong terbuat dari kawat yang dianyam berbentuk persegi panjang dengan isi bongkahan batu dan dibuat bertumpuk. Dimensi gabion hampir sama dengan dinding penahan tanah tipe gravitasi dengan estimasi lebar dasar kurang lebih 0,5H - 0,7H [17]. Stabilitas gabion harus dicek terhadap geser pada persamaan 6, terhadap guling pada persamaan 7, dan terhadap daya dukung pada persamaan 8.

$$SF = \frac{\sum V \tan \phi + B c}{\sum H} \geq 1,5 \quad \dots\dots\dots(6)$$

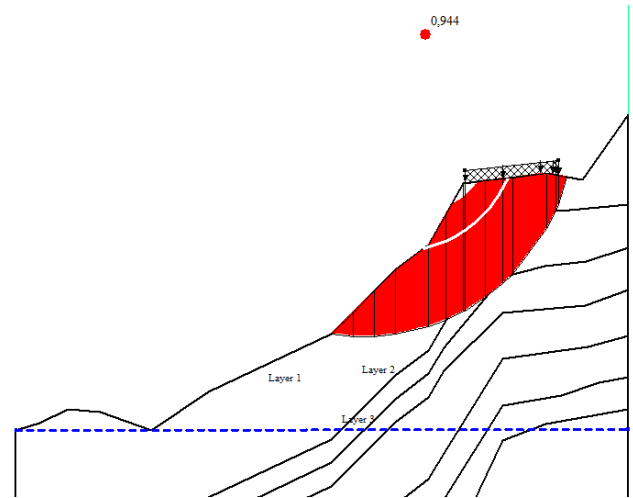
$$SF = \frac{\sum MR}{M_o} \geq 2 \quad \dots\dots\dots(7)$$

$$SF = \frac{q_u}{q_{toe}} \geq 3 \quad \dots\dots\dots(8)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Stabilitas Lereng Eksisting

Analisa stabilitas lereng eksisting dilakukan dengan program bantu berbasis LEM. Hasil stratigrafi tanah pada gambar 1, dan data tanah pada tabel 1, diinputkan dan dianalisa pada program bantu berbasis LEM, dan hasil luarannya dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Analisis stabilitas lereng eksisting

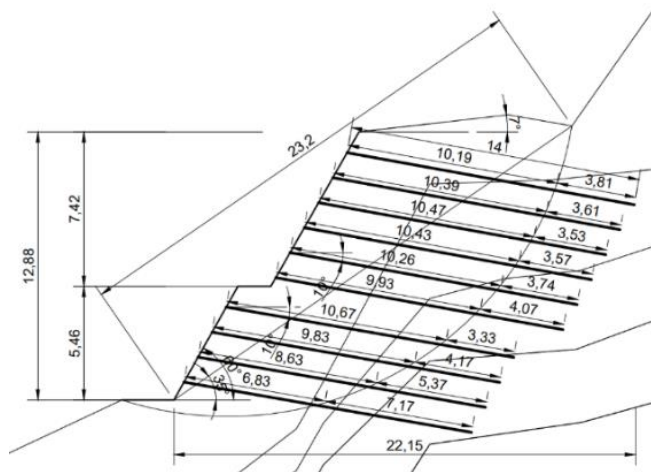
Berdasarkan gambar 2, dapat dilihat bahwa lereng pada Jalan Raya Gunitir KM 233+550 memiliki bidang gelincir berbentuk melengkung yang terbentuk di atas muka air tanah, dengan nilai faktor keamanan sebesar 0,944. Nilai ini menandakan bahwa lereng berada pada kondisi kritis karena gaya penahan belum mampu mengimbangi gaya penggerak. Bidang gelincir tersebut memotong lapisan tanah dengan sifat geser relatif rendah, diperburuk oleh kemiringan lereng yang curam dan adanya beban tambahan di bagian puncak. Walaupun muka air tanah tidak secara langsung bersinggungan dengan bidang gelincir, keberadaannya yang relatif dangkal dapat mempercepat jenuh tanah saat hujan deras, sehingga meningkatkan risiko terjadinya longsor. Oleh karena itu, diperlukan adanya perkuatan untuk mendukung lereng dan menahan dari bahaya longsor [15].

Analisis Stabilitas Lereng dengan Alternatif Perkuatan Soil Nailing

Pengubahan geometri lereng dilakukan pada lereng eksisting yang akan diberi perkuatan *soil nailing* dengan melakukan pemotongan pada lereng untuk pembuatan terasering (*counterweight*) dengan 2 kali pemotongan lereng. Kedua terasering tersebut memiliki kemiringan dengan besar sudut 60° dengan tinggi terasering pertama yaitu 7,42 m dan terasering kedua yaitu 5,46 m. Panjang *nail* yang digunakan sepanjang 14 m dengan jarak *nail* pertama sedalam 1 m pada terasering pertama dari permukaan jalan, selanjutnya jarak *nail* pertama ke *nail* selanjutnya pada terasering pertama sebesar 1,2 m hingga *nail* ke-6. *Nail* ke-7 dimulai dari kedalaman 1 m dari permukaan terasering kedua dengan jarak tiap *nail* selanjutnya sebesar 1,2 m. Sudut inklinasi sebesar 10° dengan diameter *nail* 0,036 m, dan diameter lubang bor 0,2 m. Desain dan detail dimensi *soil nailing* dapat dilihat pada Gambar 3 dan tabel 3. Kontrol stabilitas pada perkuatan *soil nailing* yaitu kontrol stabilitas eksternal dan kontrol stabilitas internal menggunakan persamaan 1 hingga persamaan 5 dirangkum pada tabel 4, sedangkan hasil analisis dengan perkuatan *soil nailing* menggunakan program bantu berbasis LEM dapat dilihat pada Gambar 4.

Tabel 3. Detail dimensi *soil nailing*

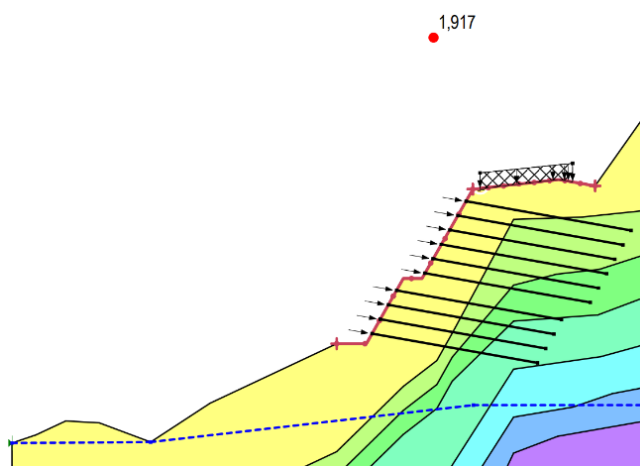
Counterweight	Soil Nailing			
	Jarak (m)	Sudut (°)	Diameter (m)	Diameter bor (m)
1	1,2	10	0,036	0,2
2	1,2	10	0,036	0,2



Gambar 3. Desain Perkuatan Soil Nailing

Tabel 4. Nilai faktor keamanan lereng pada stabilitas eksternal dan stabilitas internal soil nailing

Faktor Keamanan (SF)	Nilai	Kriteria	Keterangan
Stabilitas Eksternal			
Global	1,917	>1,5	Aman
Geser	1,85	>1,5	Aman
Daya Dukung	10,01	>3	Aman
Stabilitas Internal			
Putus	2,76	>1,8	Aman
Cabut	2,34	>2	Aman



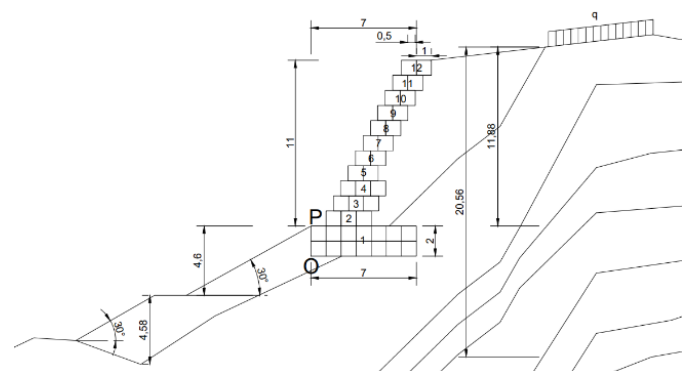
Gambar 4. Analisis stabilitas lereng soil nailing

Berdasarkan hasil perhitungan dan analisa yang ditunjukkan pada tabel 4 dan gambar 4, hasil perkuatan lereng dengan metode *soil nailing* menunjukkan

peningkatan stabilitas yang sangat signifikan, di mana faktor keamanan global mencapai 1,917 atau jauh di atas batas minimum yang disyaratkan (1,5), sehingga kondisi lereng dapat dinyatakan aman. Faktor keamanan dipengaruhi oleh jumlah nail. Semakin banyak jumlah nail nilai faktor keamanannya semakin meningkat [23]. Analisis stabilitas eksternal memperlihatkan bahwa lereng tidak hanya stabil secara keseluruhan, tetapi juga terhadap potensi geser ($1,85 > 1,5$) dan daya dukung tanah ($10,01 > 3$), yang berarti kapasitas tanah dalam menahan beban konstruksi masih sangat memadai. Dari sisi stabilitas internal, *soil nailing* juga bekerja efektif dengan nilai faktor keamanan terhadap putus ($2,76 > 1,8$) dan cabut ($2,34 > 2$), yang menunjukkan bahwa elemen perkuatan ini memiliki daya lekat dan kapasitas tarik yang cukup untuk menahan gaya-gaya yang terjadi di lapangan. Selain itu, pemotongan lereng yang dilakukan sebelum pemasangan soil nailing turut berperan dalam mengurangi gaya penggerak, sehingga sistem perkuatan dapat bekerja lebih optimal. Secara keseluruhan, kombinasi perubahan geometri lereng dan penggunaan *soil nailing* terbukti memberikan solusi yang efektif, aman, dan berkelanjutan dalam mengatasi potensi kelongsoran pada lereng jalan raya.

Analisis Stabilitas Lereng Counterweight dengan Gabion

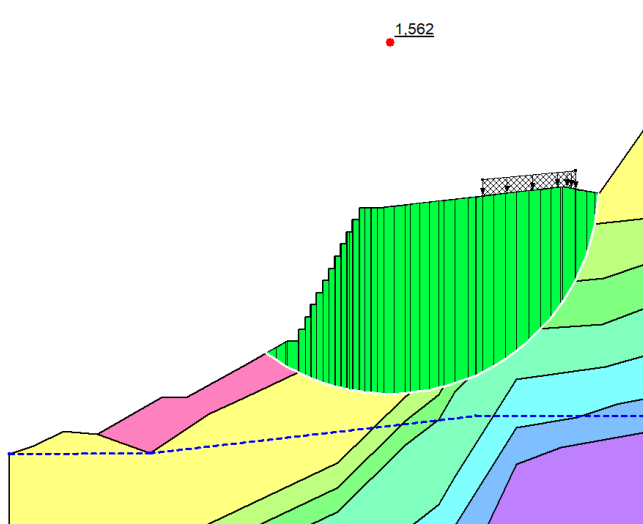
Perencanaan *counterweight* dibuat dengan 2 tingkat dari titik lereng terdalam yaitu pada kedalaman 20,56 m. Dimana pada tingkat pertama memiliki kemiringan lereng 30° dengan tinggi timbunan 4,58 m dari titik terdalam, sedangkan pada tingkat kedua memiliki kemiringan lereng 30° dengan tinggi timbunan 4,6 m. *Counterweight* ini di kombinasikan dengan perkuatan gabion dimensi 2 m x 1 m x 1 m, dengan pengisi gabion batu pecah yang memiliki berat jenis 14,5 kN/m². Desain perkuatan *counterweight* dengan gabion dapat dilihat pada Gambar 5. Kontrol stabilitas pada perkuatan *counterweight* dengan gabion yaitu terhadap geser, guling, dan daya dukungnya menggunakan persamaan (6), (7), dan (8) dapat dilihat pada tabel 5, sedangkan hasil analisis stabilitas terhadap keruntuhan global dengan perkuatan *counterweight* dan gabion menggunakan program bantu berbasis LEM dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 5. Desain Perkuatan Counterweight dengan Gabion

Tabel 5. Nilai faktor keamanan lereng pada perkuatan counterweight dengan gabion

Faktor Keamanan (SF)	Nilai	Kriteria	Keterangan
Geser	1,54	>1,5	Aman
Guling	3,04	>2	Aman
Daya Dukung	3,05	>3	Aman

**Gambar 6.** Analisis Stabilitas Lereng Counter-weight dengan Gabion

Berdasarkan gambar 5, tabel 5, dan gambar 6, Hasil analisis perkuatan lereng dengan dinding penahan tanah tipe counterweight menggunakan gabion menunjukkan bahwa desain ini mampu meningkatkan stabilitas lereng secara signifikan dan memenuhi kriteria keamanan yang dipersyaratkan. Berdasarkan Tabel 5, faktor keamanan terhadap geser tercatat sebesar 1,54 ($>1,5$), terhadap guling 3,04 (>2), dan terhadap daya dukung tanah 3,05 (>3), sehingga seluruh aspek stabilitas dinyatakan aman. Hasil analisa stabilitas global menggunakan program bantu berbasis LEM pada gambar 6 juga menunjukkan nilai keamanan diatas ambang batas yakni 1,62 ($>1,5$). Nilai dapat dipengaruhi oleh ketinggian, lebar/dimensi, dan jumlah bronjong [24]. Hasil pemodelan pada Gambar 6 menunjukkan bahwa bidang keruntuhan potensial masih berada dalam kondisi yang aman, sehingga memperlihatkan bahwa perkuatan dengan gabion mampu bekerja secara efektif sebagai elemen counterweight.

Analisa Hasil dan Pembahasan

Hasil analisa awal pada kondisi lereng eksisting menunjukkan bahwa lereng berada dalam kondisi kritis dengan nilai faktor keamanan sebesar 0,944, lebih rendah dari standar minimum yang direkomendasikan ($\geq 1,5$). Nilai ini menandakan bahwa lereng berpotensi mengalami

kelongsoran apabila tidak dilakukan perkuatan, meskipun bidang gelincir berada di atas muka air tanah. Faktor penyebab utama rendahnya stabilitas adalah sifat tanah penyusun dengan berat volume rendah, kohesi dan sudut geser dalam bervariasi, beban luar (jalan dan kendaraan), serta geometri lereng yang curam. Dengan demikian, diperlukan solusi rekayasa untuk meningkatkan faktor keamanan lereng agar memenuhi kriteria teknis.

Perencanaan pertama menggunakan metode soil nailing menghasilkan peningkatan faktor keamanan global menjadi 1,917, yang menandakan kondisi lereng berada dalam kategori aman. Analisis stabilitas eksternal memperlihatkan nilai keamanan terhadap geser ($1,85 > 1,5$) dan daya dukung ($10,01 > 3$), sedangkan stabilitas internal juga aman dengan nilai terhadap putus ($2,76 > 1,8$) dan cabut ($2,34 > 2$). Keberhasilan metode ini ditopang oleh dua faktor utama: adanya elemen soil nail yang bekerja memperkuat massa tanah melalui gaya tarik, serta pemotongan lereng (*reprofiling*) yang membantu mengurangi beban penggerak. Kombinasi keduanya menjadikan soil nailing efektif dalam meningkatkan kestabilan lereng, terutama pada kondisi tanah dengan kohesi rendah.

Pada perencanaan kedua, perkuatan menggunakan dinding penahan tanah tipe counterweight dengan gabion juga terbukti memberikan hasil yang memadai. Faktor keamanan terhadap geser sebesar 1,54, guling 3,04, dan daya dukung 3,05, semuanya memenuhi kriteria keamanan. Gambar bidang keruntuhan menunjukkan bahwa potensi kelongsoran tetap terkendali dalam batas aman. Keunggulan metode ini terletak pada kesederhanaan konstruksi, efisiensi biaya, serta sifat gabion yang fleksibel dan ramah lingkungan karena mampu mengikuti kontur lereng serta mendukung drainase alami. Namun, dibandingkan soil nailing, nilai faktor keamanan global yang diperoleh relatif lebih rendah (1,562 pada hasil analisa lereng), meskipun tetap berada dalam kondisi aman.

Jika dibandingkan, soil nailing memberikan tingkat keamanan yang lebih tinggi dibandingkan gabion, terutama pada faktor keamanan global. Hal ini membuatnya lebih sesuai untuk lereng dengan risiko kelongsoran tinggi atau lokasi vital seperti jalan raya utama. Akan tetapi, metode ini memerlukan teknologi, peralatan, dan keterampilan konstruksi yang lebih kompleks dibandingkan gabion [25]. Sebaliknya, perkuatan dengan gabion lebih unggul dari sisi efisiensi biaya, kemudahan implementasi, dan aspek keberlanjutan [26][27], sehingga lebih cocok diterapkan pada lokasi dengan keterbatasan sumber daya atau pada lereng dengan tingkat risiko menengah. Hasil perbandingan perencanaan dan analisa literature review antara soil nailing dan gabion dapat dilihat pada tabel 6.

Tabel 6. Perbandingan Perkuatan Lereng dengan Soil Nailing dan Gabion

Aspek	Soil Nailing	Gabion
Faktor Keamanan Global	1,917 (sangat aman, jauh di atas kriteria)	1,562 (aman, namun relatif lebih rendah)

Aspek	Soil Nailing	Gabion
Stabilitas Eksternal	Geser: 1,85 (>1,5), Daya Dukung: 10,01 (>3)	Geser: 1,54 (>1,5), Guling: 3,04 (>2), Daya Dukung: 3,05 (>3)
Stabilitas Internal	Putus: 2,76 (>1,8), Cabut: 2,34 (>2)	Tidak berlaku (strukturnya masif)
Efisiensi Biaya	Relatif tinggi (butuh material & alat khusus) [25]	Relatif rendah (material mudah diperoleh, konstruksi sederhana) [29]
Kebutuhan Teknologi	Tinggi (memerlukan peralatan bor & tenaga ahli) [28]	Rendah (dapat dibangun dengan metode konvensional) [29]
Waktu Pelaksanaan	Lebih lama, karena melibatkan pemotongan lereng & pemasangan nail [25]	Lebih cepat, pemasangan modular dengan batu dan kawat [29]
Aspek Lingkungan	Minim gangguan visual, tapi perlu kontrol drainase [30]	Ramah lingkungan, memungkinkan drainase alami dan vegetasi tumbuh [29]
Kesesuaian Lereng	Cocok untuk lereng curam dengan risiko tinggi [31]	Cocok untuk lereng sedang dengan risiko menengah [29]

Berdasarkan hasil analisa yang telah dilakukan, metode soil nailing dipilih sebagai desain perkuatan lereng yang paling sesuai untuk diterapkan pada lokasi studi. Nilai faktor keamanan global yang diperoleh sebesar 1,917 menunjukkan tingkat kestabilan yang jauh lebih tinggi dibandingkan dengan metode gabion yang hanya mencapai 1,562. Keunggulan ini sangat penting mengingat lereng yang diteliti berada pada jalur transportasi utama, sehingga membutuhkan solusi dengan tingkat keandalan maksimal. Sejalan dengan temuan ini, Mangnejo et al. (2019)[11] menyatakan bahwa soil nailing merupakan metode yang efektif untuk memperkuat lereng curam pada tanah berdaya dukung rendah karena mampu memperkuat massa tanah secara internal dan membatasi deformasi plastis. Penelitian lain oleh Bathini et al. (2022)[12] juga menegaskan bahwa soil nailing lebih unggul dibandingkan dinding penahan tanah konvensional dalam mengatasi potensi longsor dangkal. Meskipun metode ini memerlukan biaya dan teknologi konstruksi yang lebih tinggi dibandingkan gabion, tingkat keamanan yang dihasilkan sepadan dengan investasi tersebut, terutama untuk infrastruktur vital seperti jalan raya nasional. Dengan demikian, soil nailing dapat dipandang sebagai solusi teknis yang lebih tepat, aman, dan berkelanjutan dalam upaya peningkatan kestabilan lereng pada lokasi studi.

KESIMPULAN

Studi ini menganalisis stabilitas lereng pasca longsor pada Jalan Raya Gumitir KM 233+550 dengan membandingkan metode perkuatan soil nailing dan gabion. Hasil analisis menunjukkan bahwa soil nailing memberikan peningkatan faktor keamanan yang signifikan, mencapai 1,917, sehingga menjadikan lereng aman. Sementara itu, gabion juga efektif, meskipun dengan faktor keamanan global yang sedikit lebih rendah (1,562). Soil nailing lebih disarankan untuk lereng curam dengan risiko tinggi, sementara gabion lebih cocok untuk lokasi dengan risiko lebih rendah dan keterbatasan sumber daya.

Studi selanjutnya dapat fokus pada evaluasi kinerja jangka panjang dari kedua metode perkuatan tersebut, termasuk dampak lingkungan dan biaya pemeliharaan. Selain itu, pengembangan metode perkuatan lain yang lebih ramah lingkungan dan ekonomis, seperti

penggunaan geosintetik, dapat menjadi topik yang menarik untuk diteliti lebih lanjut.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] T. T. Woldesenbet, H. B. Arefaine, and M. B. Yesuf, "Numerical Stability Analysis and Geotechnical Investigation of Landslide Prone Area (the case of Gechi District, Western Ethiopia)," *Environmental challenges*, Sep. 2023, doi: 10.1016/j.envc.2023.100762
- [2] S. T. McColl, "Landslide causes and triggers," Academic Press, 2015, pp. 17–42. doi: 10.1016/B978-0-12-396452-6.00002-1.
- [3] P. Lehmann and D. Or, "Hydromechanical triggering of landslides: From progressive local failures to mass release," *Water Resources Research*, vol. 48, no. 3, Mar. 2012, doi: 10.1029/2011WR010947.
- [4] F. Sengani and T. Zvarivadza, "Evaluation of Factors Influencing Slope Instability: Case Study of the R523 Road Between Thathe Vondo and Khalvha Area in South Africa," Springer, Cham, 2018, pp. 81–89. doi: 10.1007/978-3-319-99903-6_7.
- [5] S. Padmaja, G. V. N. Reddy, and E. S. Reddy, "Stability Analysis of Slope Using Displacement Criteria of Soil on The Shear Plane," vol. 1280, Dec. 2023, doi: 10.1088/1755-1315/1280/1/012044.
- [6] J. Jelani, M. S. A. Hah, M. N. M. Daud, N. Ahmad, M. Othman, and W. M. S. W. M. Sabri, "Stability Analysis of a Man-Made Slope: A Case Study on the UPM Campus, Sg Besi, Kuala Lumpur," Springer, Cham, 2021, pp. 39–46. doi: 10.1007/978-3-030-75278-1_4.
- [7] M. F. Ishak and M. S. I. Zaini, "Physical Analysis Work for Slope Stability at Shah Alam, Selangor," vol. 995, no. 1, p. 012064, Apr. 2018, doi: 10.1088/1742-6596/995/1/012064.
- [8] Azhari, M. Khoiri, and F. Siagian, "Analysis of Existing Slope Reinforcement Design on Clay Shale Soil and Its Alternative Modifications: A Case Study of the Awunio – Lapuko Road Section Sta 4+955 – 5+015 in the Southeast Sulawesi Province," Jan. 2024, doi: 10.12962/jifam.v6i1.19889.

- [9] E. Nurhidayah, P. P. Putra, and I. Nurtjahjaningtyas, "ANALISIS PERKUATAN LERENG AKIBAT LONGSOR DI DESA DOMPYONG", *RS*, vol. 16, no. 1, pp. 9–14, May 2022.
- [10] A. K. Jha and M. Madhira, "Geosynthetic Reinforced Embankment Slopes," *IntechOpen*, 2020. doi: 10.5772/INTECHOPEN.95106.
- [11] D. J. Bathini and V. R. Krishna, "Performance of Soil Nailing for Slope Stabilization—A Review," *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.*, vol. 982, no. 1, p. 012047, Mar. 2022, doi: 10.1088/1755-1315/982/1/012047
- [12] D. A. Mangnejo, S. J. Oad, S. A. Kalhor, S. Ahmed, F. H. Laghari, and Z. A. Siyal, "Numerical Analysis of Soil Slope Stabilization by Soil Nailing Technique," *Engineering, Technology & Applied Science Research*, vol. 9, no. 4, pp. 4469–4473, 2019, doi: 10.48084/etasr.2859.
- [13] M. Grodecki, "Landsliding slope supported by gabions—a case study and the methodology of numerical modelling," *Technical Transactions*, vol. 115, no. 12, pp. 53–60, 2018, doi: 10.4467/2353737XCT.18.185.9673.
- [14] H. H. Abdullah, P. P. Putra, and I. Nurtjahjaningtyas, "Analisis Perkuatan Soil Nailing pada Lereng Bawah Jembatan Gantung Alas Bayur Kecamatan Mlandingan Kabupaten Situbondo," *Portal: Jurnal Teknik Sipil*, vol. 13, no. 1, pp. 1–11, 2021, doi: 10.30811/portal.v13i1.2117.
- [15] Bowles Joseph E., *Foundation Analysis and Design*, 5th ed., New York, NY, USA: McGraw-Hill International Edition, 1997.
- [16] U. Salamah, E. I. Imananto, and A. A. Santosa, "Studi Perencanaan Dinding Penahan Tanah dengan Soil Nailing pada Pembangunan Perumahan The Taman Dayu Ciputra Kecamatan Pandaan Kabupaten Pasuruan," *SONDIR*, vol. 4, no. 2, pp. 34–43, 2020, doi: 10.36040/sondir.v4i2.3142.
- [17] Badan Standardisasi Nasional, *SNI 8460:2017 Persyaratan Perancangan Geoteknik*. Jakarta, Indonesia: BSN, 2017.
- [18] R. Zusianti, L. A. Wicaksono, and P. P. Putra, "Penggunaan Counterweight dan Soil Nailing sebagai Alternatif Perkuatan Lereng Sungai Gandong Magetan Jawa Timur Pasca Longsor," *PADURAKSA: Jurnal Teknik Sipil Universitas Warmadewa*, vol. 11, no. 2, pp. 214–221, 2022, doi: 10.22225/pd.11.2.5534.214-221.
- [19] Sinarta, N. (2014). *Metode Penanganan Tanah Longsor Dengan Pemakuan Tanah (Soil Nailing)*. Paduraksa: Jurnal Teknik Sipil Universitas Warmadewa, vol. 3, no. 2, pp. 1–16. DOI: 10.22225/pd.3.2.259.1-16.
- [20] L. Alyzahari, L. A. Wicaksono, dan D. Nurtanto, "Perencanaan Perkuatan Lereng Menggunakan Geoframe di Jalan Raya Dampit-Lumajang," *BENTANG: Jurnal Teoritis dan Terapan Bidang Rekayasa Sipil*, vol. 10, no. 1, 2022. doi: 10.33558/bentang.v10i1.2933
- [21] J. Sarifah dan B. Pasaribu, "Analisa Stabilitas Lereng Pada Tepi Sungai Tembung," *Buletin Utama Teknik*, vol. 13, no. 2, pp. 155–162, 2018.
- [22] R. E. Sahara, *Perencanaan Perkuatan Timbunan dan Lereng Jalur Kereta Api Daerah Operasi IX Jember Pada STA. Sempolan KM. 12+600 - 12+700 & KM. 14+300 - 14+800, STA. Kalibaru KM. 32+000 - 32+100, dan STA. Garahan KM. 24+800 - 25+400 Provinsi Jawa Timur*. Surabaya: Tidak diterbitkan, 2017.
- [23] Y. Natalia, S. Balamba, dan A. N. Sarajar, "Analisis Transfer Beban Pada Soil Nailing (Studi Kasus: Kawasan Citra Land)," *Jurnal Sipil Statik*, vol. 4, no. 8, hlm. 491–497, 2016.
- [24] E. F. Sagita, N. S. Surjandari, dan Y. M. Purwana, "Analisis Stabilitas Lereng dengan Perkuatan Bronjong menggunakan Software Geoslope di Desa Tambakmerang, Girimarto, Wonogiri," *Matriks Teknik Sipil*, vol. 5, no. 1, hlm. 118–123, 2017. doi: 10.20961/mateksi.v5i1.36946
- [25] M. I. Large, R. Garland, P. Ball, and M. R. Gavins, "Soil nailing construction," *Emerald (MCB UP)*, 2023, pp. 1427–1438. doi: 10.1680/icemge.66830.1427.
- [26] B. Tan, "Gabion retaining wall and construction method thereof," Jul. 28, 2017
- [27] M. Wu, "Gabion retaining wall construction method applied to bank slope protection," Mar. 30, 2018
- [28] A. N. Standyarto, A. Y. Prayitno, and D. Prayitno, "Stabilisasi lereng dengan aplikasi soil nailing pada area galian dalam dan kemiringan curam," *Jurnal jalan jembatan*, Dec. 2023, doi: 10.58499/jatan.v40i2.1193.
- [29] A. L. Hakim and S. Siswoyo, "ANALISIS PERKUATAN TUBUH BAAN JALAN KERETA API MENGGUNAKAN GABION DAN GEOTEXTILE PADA KM 109+850 s/d 110+000 ANTARA BARON-SUKOMORO LINTAS SURABAYA-SOLO," *axial jurnal rekayasa dan manajemen konstruksi*, vol. 11, no. 1, p. 001, Apr. 2023, doi: 10.30742/axial.v11i1.2850.
- [30] R. M. Koerner, "In-Situ Stabilization of Soil Slopes Using Nailed or Anchored Geosynthetics," *International Journal of Geosynthetics and Ground Engineering*, vol. 1, no. 1, p. 2, Mar. 2015, doi: 10.1007/S40891-014-0002-2.
- [31] Whyley, P. J. (1996). Soil nailing - a practical solution. *Construction Repair*, 10(5), 8–11. <https://trid.trb.org/view/469581>