

PERENCANAAN PERKUATAN DAN ANALISIS PERBANDINGAN BIAYA PADA METODE *SOIL NAILING* DAN GEOTEKSTIL DI LERENG EKSISTING STA 13±680 DUSUN BANARAN DESA DEPOK KECAMATAN BENDUNGAN KABUPATEN TRENGGALEK

Amanda Eka Adelia Rahmawati^{*1}, Reny Rochmawati² dan Gilang Ramadan Kololikiye³

¹Mahasiswa, Teknik Sipil, Universitas Islam Malang
e-mail: 22201051037@unisma.ac.id

²Dosen Teknik Sipil Universitas Islam Malang
e-mail: renyrochmawati@unisma.ac.id

³Dosen Teknik Sipil Universitas Islam Malang
e-mail: gilangft@unisma.ac.id

ABSTRACT

Bendungan District, Trenggalek Regency is an area with steep topography and high soil saturation, making it prone to landslide disasters. The existing slope at STA 13±680, Banaran Hamlet, Depok Village was identified as being in a critical condition, requiring geotechnical treatment in the form of slope reinforcement. This study aims to design a reinforcement system using two alternatives, namely soil nailing and geotextile, and to compare the technical performance and construction cost of both methods. Stability analysis was performed using the Bishop Limit Equilibrium Method in GeoStudio SLOPE/W, while cost estimation was prepared based on the Unit Price Analysis (AHSP) and Standard Unit Price (SSH) of Trenggalek Regency for the year 2026. The modelling results show that soil nailing reinforcement using 11 rows of nails (length varying from 10-20 m, inclination of 20°) produced a Factor of Safety (FoS) of 1.671, while a 34-layer woven geotextile reinforcement produced a FoS of 1.634; both satisfy the minimum requirement of $FoS \geq 1.5$. In terms of cost, the total budget (RAB) for soil nailing amounted to IDR 950,823,693.96, while the geotextile method amounted to IDR 1,768,419,291.02, resulting in a difference of IDR 817,595,597.06, equivalent to a 46.23% cost saving when soil nailing is adopted. Based on these technical and economic considerations, soil nailing is recommended as the most optimal reinforcement alternative for the studied slope.

Keywords: *slope stability, soil nailing, geotextile, factor of safety, GeoStudio, cost estimation*

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan negara dengan kondisi topografi yang didominasi oleh daerah pegunungan dan perbukitan, sehingga memiliki tingkat kerawanan yang tinggi terhadap bencana tanah longsor. Kondisi tersebut dipengaruhi oleh karakteristik geologi, kemiringan lereng, serta tingginya intensitas curah hujan yang dapat menurunkan stabilitas lereng dan menyebabkan kerusakan infrastruktur maupun korban jiwa. Berdasarkan data Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB, 2023), tanah longsor merupakan salah satu bencana yang paling sering terjadi di Indonesia. Salah satu wilayah yang memiliki

potensi longsor tinggi adalah Dusun Banaran, Desa Depok, Kecamatan Bendungan, Kabupaten Trenggalek, yang memiliki kondisi lereng curam dan tanah dengan tingkat kejenuhan air tinggi. Pemodelan numerik mampu mengidentifikasi kondisi kritis lereng serta mengevaluasi efektivitas metode perkuatan, sehingga diperlukan upaya perkuatan yang tepat agar nilai faktor keamanan memenuhi persyaratan [1].

Metode *soil nailing* dan geotekstil merupakan dua alternatif perkuatan lereng yang banyak digunakan. *Soil nailing* bekerja dengan meningkatkan kuat geser massa tanah melalui pemasangan batang baja dan grouting, sedangkan geotekstil berfungsi sebagai elemen

perkuatan tarik yang meningkatkan stabilitas lereng melalui interaksi antara tanah dan material geotekstil.

Meskipun berbagai penelitian mengenai kedua metode tersebut telah dilakukan, belum terdapat penelitian yang membandingkan kinerja teknis berdasarkan nilai Faktor Keamanan (FK) dan aspek ekonomis berdasarkan Rencana Anggaran Biaya (RAB) pada lereng eksisting di Dusun Banaran, Desa Depok, Kecamatan Bendungan, Kabupaten Trenggalek. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan membandingkan metode *soil nailing* dan geotekstil menggunakan pemodelan GeoStudio serta analisis biaya untuk memperoleh alternatif perkuatan yang paling aman dan ekonomis.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang dan identifikasi masalah yang telah dijelaskan sebelumnya, maka rumusan masalah dalam penelitian ini dapat dirumuskan dalam beberapa pertanyaan penelitian sebagai berikut:

1. Bagaimana perencanaan perkuatan lereng eksisting di Dusun Banaran, Desa Depok, Kecamatan Bendungan, Kabupaten Trenggalek menggunakan metode *soil nailing*?
2. Bagaimana perencanaan perkuatan lereng eksisting di Dusun Banaran, Desa Depok, Kecamatan Bendungan, Kabupaten Trenggalek menggunakan metode geotekstil?
3. Bagaimana hasil peningkatan stabilitas lereng setelah dilakukan perkuatan dengan metode *soil nailing* dan geotekstil berdasarkan hasil perencanaan?
4. Berapa besar biaya konstruksi yang dibutuhkan untuk masing-masing metode perkuatan tersebut?

1.3 Batasan Masalah

Untuk memfokuskan penelitian agar lebih terarah dan sesuai dengan tujuan yang ingin dicapai, maka penelitian ini memiliki batasan masalah sebagai berikut:

1. Penelitian dilakukan pada lereng eksisting yang berlokasi di Dusun Banaran, Desa Depok, Kecamatan Bendungan,

Kabupaten Trenggalek.

2. Perencanaan perkuatan lereng pada penelitian ini dilakukan menggunakan *software* GeoStudio dengan dua metode, yaitu *soil nailing* dan geotekstil.
3. Analisis yang dilakukan terbatas pada perencanaan teknis perkuatan dan perhitungan faktor keamanan lereng setelah diberi perkuatan dengan metode *soil nailing* dan geotekstil.
4. Analisis biaya yang dilakukan terbatas pada perhitungan Rencana Anggaran Biaya (RAB) berdasarkan volume pekerjaan dan harga satuan tahun 2026.
5. Penelitian tidak membahas aspek manajemen konstruksi, metode pelaksanaan secara detail di lapangan, maupun analisis waktu pelaksanaan proyek.
6. Tidak memperhitungkan faktor gempa, perubahan muka air tanah ekstrem, serta faktor eksternal lain di luar data yang digunakan.
7. Penelitian difokuskan pada aspek teknis dan ekonomis perkuatan lereng, tanpa membahas aspek sosial, kebijakan tata ruang, serta dampak lingkungan secara mendalam.

1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah dikemukakan sebelumnya, maka tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk merencanakan sistem perkuatan lereng eksisting di Dusun Banaran, Desa Depok, Kecamatan Bendungan, Kabupaten Trenggalek, digunakan metode *soil nailing*.
2. Untuk merencanakan sistem perkuatan lereng eksisting di Dusun Banaran, Desa Depok, Kecamatan Bendungan, Kabupaten Trenggalek, digunakan metode geotekstil.
3. Untuk menganalisis peningkatan stabilitas lereng setelah dilakukan perkuatan dengan metode *soil nailing* dan geotekstil berdasarkan hasil perencanaan teknis.
4. Untuk menghitung besarnya biaya konstruksi yang dibutuhkan pada masing-masing metode perkuatan.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Stabilitas Lereng

Lereng merupakan permukaan tanah yang memiliki kemiringan tertentu terhadap bidang horizontal yang terbentuk akibat proses alam maupun aktivitas manusia. Dalam kajian geoteknik, lereng menjadi objek penting karena berhubungan langsung dengan potensi ketidakstabilan massa tanah yang dapat menimbulkan longsor apabila gaya penggerak melebihi gaya penahan tanah.

Stabilitas lereng merupakan kondisi keseimbangan antara gaya penggerak (*driving forces*) yang menyebabkan massa tanah bergerak ke bawah dan gaya penahan (*resisting forces*) yang menahan pergerakan tersebut. Metode perbaikan tanah dan stabilitas lereng memerlukan pemahaman mendalam tentang parameter fisik tanah di laboratorium. Stabilitas lereng dipengaruhi oleh berbagai faktor geologi, geoteknik, hidrologi, dan aktivitas manusia [2].

2.2 Jenis-Jenis Longsor

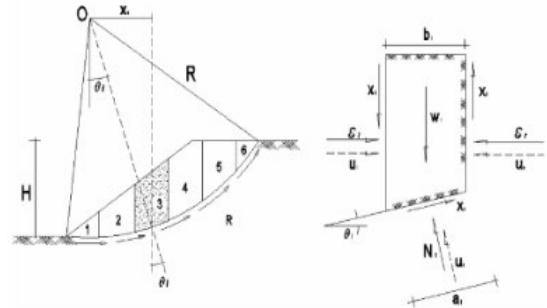
Longsor atau gerakan tanah merupakan perpindahan material penyusun lereng, baik berupa batuan, tanah, bahan rombakan, maupun campuran material, yang bergerak ke bawah atau keluar dari lereng akibat pengaruh gravitasi. Secara umum, longsor dibedakan menjadi beberapa tipe berdasarkan bentuk bidang gelincir dan mekanisme pergerakannya. Jenis longsor terdiri atas longsor translasi, longsor rotasi, pergerakan blok, runturan batu, rayapan tanah, dan aliran bahan rombakan [3].

2.3 Parameter Tanah

Parameter tanah merupakan sifat fisik dan mekanik tanah yang digunakan sebagai dasar analisis geoteknik, termasuk dalam analisis stabilitas lereng dan perencanaan perkuatan. Parameter tersebut menentukan besarnya gaya penahan terhadap potensi bidang gelincir serta memengaruhi nilai faktor keamanan lereng. Dalam analisis stabilitas lereng, model kuat geser tanah yang umum digunakan adalah kriteria *Mohr-Coulomb*. Kriteria ini menyatakan bahwa kuat geser tanah dipengaruhi oleh kohesi dan sudut geser dalam.

2.4 Metode Bishop

Metode Bishop adalah metode analisis stabilitas lereng yang dikembangkan oleh Alan Bishop (1955) sebagai salah satu metode irisan (*method of slices*) untuk menentukan faktor keamanan lereng. Pada metode irisan, massa tanah longsor dibagi menjadi beberapa irisan vertikal untuk menganalisis keseimbangan gaya. Gaya normal dipengaruhi oleh berat tanah di atasnya, sedangkan metode *Bishop* yang disederhanakan mengabaikan gaya geser antaririsan [4]



Gambar 1. Gaya yang bekerja pada irisan

(Sumber: Mekanika Tanah II. Hary Christady Hardiyatmo)

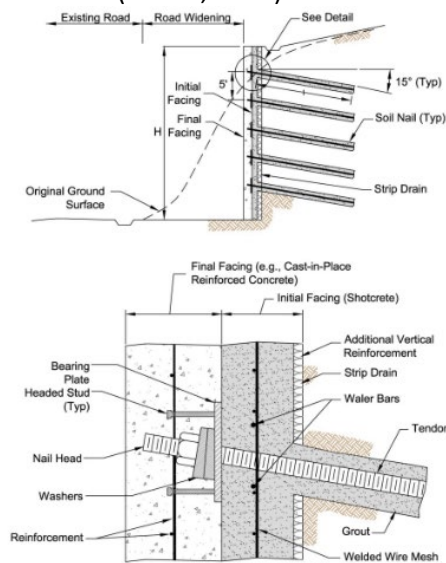
2.5 Perkuatan Lereng

Perkuatan lereng merupakan salah satu upaya geoteknik yang dilakukan untuk meningkatkan kestabilan lereng melalui peningkatan kekuatan tanah atau batuan penyusun lereng. Perkuatan ini bertujuan untuk mengurangi potensi terjadinya kelongsoran dengan meningkatkan gaya penahan atau mengurangi gaya penggerak yang bekerja pada lereng [5]

1.1 Soil Nailing

Soil nailing merupakan metode perkuatan tanah yang dilakukan dengan memasukkan batang baja (*nails*) ke dalam massa tanah secara berjarak dan teratur, kemudian diikat dengan sistem *facing* seperti *shotcrete* atau pelat beton untuk membentuk struktur komposit antara tanah dan elemen perkuatan [1]. Komponen utama *soil nailing* meliputi nail bar, grout, facing, bearing plate, dan mur pengunci yang berfungsi menyalurkan gaya dari tanah ke elemen perkuatan. Metode ini sesuai digunakan pada lereng curam dengan keterbatasan ruang kerja karena dapat

dilaksanakan dari atas ke bawah dan relatif lebih fleksibel dibandingkan dengan metode perkuatan konvensional. Selain itu, *soil nailing* dikenal cukup ekonomis dan efektif dalam meningkatkan faktor keamanan lereng, sehingga banyak digunakan pada kasus stabilisasi lereng galian maupun lereng alami. Standar utama yang digunakan secara internasional adalah *Geotechnical Engineering Circular* (GEC) No. 7 — *Soil Nail Walls Reference Manual* yang diterbitkan oleh *Federal Highway Administration* (FHWA, 2015).



Gambar 2. Pemasangan soil nailing
(Sumber: FHWA0-IF-03-017)

a. Panjang Nail

$$L_{\text{nail}} = (0,6 - 1,2) \times H$$

b. Kapasitas Cabut

$$Q_{\text{ult}} = \pi \times D_{\text{DH}} \times q_u \times L$$

c. Kapasitas Tarik Ultimit

$$T_{\text{ult}} = A_s \times f_y$$

d. Kapasitas Tarik Izin

$$T_{\text{all}} = \frac{T_{\text{ult}}}{SF}$$

2.6 Geotekstil

Geotekstil merupakan salah satu produk geosintetik yang paling banyak digunakan dalam geoteknik modern, khususnya untuk keperluan perkuatan lereng dan stabilisasi tanah. Material ini diproduksi dari serat polimer sintesis, umumnya *polypropylene* (PP) atau *polyester* (PET), yang memberikan ketahanan tinggi terhadap degradasi kimia maupun biologis dalam lingkungan tanah. Umumnya geotekstil diklasifikasikan menjadi dua tipe, yaitu geotekstil teranyam (*woven*) dan

geotekstil tak teranyam (*non-woven*)[6]. Pendekatan teori Rankine dipilih dalam perencanaan ini karena memberikan hasil desain yang lebih aman bagi struktur dinding fleksibel dengan mengabaikan faktor gesekan lereng, sekaligus menjadi basis perhitungan yang disyaratkan dalam panduan FHWA NHI-10-024.

a. Koefisien Tekanan Tanah Aktif

$$K_a = \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\phi}{2} \right)$$

b. Tegangan Horizontal Aktif Maksimum

$$\sigma_h = (\sigma_v \times K_a) - (2c \times \sqrt{K_a})$$

c. Gaya Tarik

$$T_{\text{max}} = \sigma_h \times S_v$$

2.7 Geostudio

Geostudio merupakan perangkat lunak (*software*) analisis geoteknik yang dirancang untuk menganalisis beberapa fenomena kompleks dalam massa tanah dan batuan, mencakup stabilitas lereng, aliran air tanah, serta deformasi tanah[7]. Kemampuan pemodelan yang terintegrasi dalam *software* ini memberikan solusi analisis yang menyeluruh sekaligus visualisasi hasil yang mudah diinterpretasikan, sehingga dapat dimanfaatkan sebagai dasar pengambilan keputusan dalam perencanaan dan pengelolaan proyek konstruksi.

2.8 Rencana Anggaran Biaya (Rab)

Rencana Anggaran Biaya (RAB) merupakan perencanaan anggaran biaya suatu proyek yang disusun untuk mengetahui seberapa besar kebutuhan biaya yang diperlukan. Penyusunan Rencana Anggaran Biaya (RAB) dilakukan berdasarkan volume pekerjaan yang telah dihitung serta harga satuan pekerjaan yang mengacu pada Analisis Harga Satuan Pekerjaan (AHSP) dan Standar Satuan Harga (SSH) yang berlaku. RAB disusun secara terpisah untuk masing-masing metode perkuatan, yaitu soil nailing dan geotekstil, sehingga dapat dilakukan perbandingan total biaya.

2.9 Analisis Perbandingan Biaya

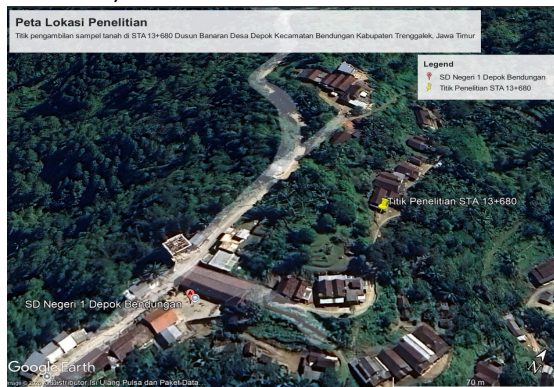
Analisis perbandingan biaya dalam penelitian konstruksi bertujuan untuk mengevaluasi alternatif metode pelaksanaan berdasarkan aspek ekonomi tanpa

mengabaikan kelayakan teknisnya. Dalam konteks kekuatan lereng, pemilihan metode seperti soil nailing dan geotekstil tidak hanya ditentukan oleh peningkatan faktor keamanan, tetapi juga oleh efisiensi biaya pelaksanaan berdasarkan volume pekerjaan dan harga satuan yang berlaku.

3. METODE PENELITIAN

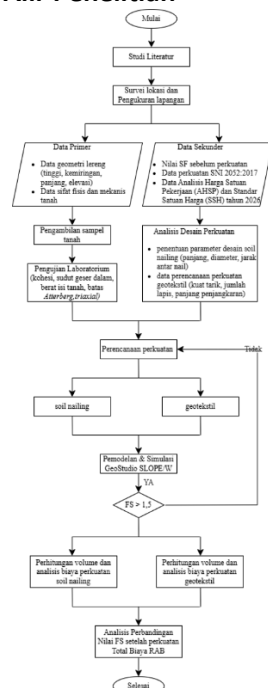
3.1 Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada lereng eksisting yang terletak di Dusun Banaran, Desa Depok, Kecamatan Bendungan, Kabupaten Trenggalek, tepatnya pada titik koordinat – 7.969873, 111.731185 atau stasiun KM 13+680.



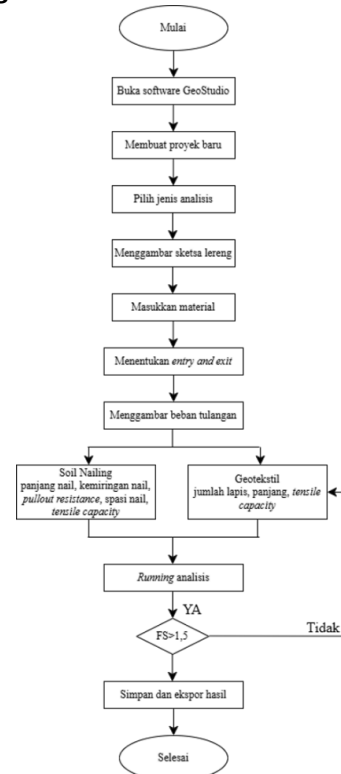
Gambar 3. Peta Lokasi penelitian
(Sumber: Google Earth, 2026)

3.2 Bagan Alir Penelitian



Gambar 4. Diagram Alir Penelitian
(Sumber: Analisa penelitian, 2026)

3.3 Bagan Alir Software Geostudio



Gambar 5. Diagram alir software GeoStudio
(Sumber: Analisa Penelitian, 2026)

3.4 Sumber Data

Sumber data dalam penelitian ini adalah data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh dari pengukuran geometri lereng (tinggi, kemiringan, panjang, elevasi puncak dan kaki lereng) dan pengujian tanah (uji kadar air, uji berat isi tanah, uji batas Atterberg, uji analisa saringan, kohesi, sudut geser dalam, serta berat volume tanah di laboratorium).

Data sekunder diperoleh dari nilai SF sebelum perbaikan, data kekuatan SNI 2052:2017, *Geotechnical Engineering Circular* (GEC) No. 7 — *Soil Nail Walls Reference Manual*, data Standar Satuan Harga (SSH) Kabupaten Trenggalek dan AHSP Bina Marga tahun 2026.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Lereng Dan Parameter Tanah

Hasil pengukuran lapangan menunjukkan bahwa lereng eksisting memiliki tinggi 17 m, kemiringan 25°, dan panjang horizontal 36,46 m. Hasil pengujian *triaxial* menunjukkan nilai kohesi (c) sebesar 12,14 kPa, sudut geser dalam (ϕ) sebesar 12,06°, dan berat volume tanah (γ) sebesar 17,34 kN/m³.

Tabel 1. Parameter geometri lereng dan data tanah

Parameter	Nilai	Satuan
Tinggi lereng	17	m
Kemiringan	25	°
Panjang lereng horizontal	36,46	m
Berat volume tanah	17,34	kN/m ²
Kohesi	12,14	kPa
Sudut geser dalam	12,047	°

4.2 Perencanaan Soil Nailing

Perkuatan *soil nailing* direncanakan dengan variasi panjang nail 0,6H hingga 1,2H, menghasilkan tujuh variasi panjang (10, 12, 14, 15, 17, 19, dan 20 m) yang disusun sebanyak 11 baris menyesuaikan dengan posisi zona aktif dan zona pasif pada bidang gelincir. Spasi horizontal dan vertikal ditetapkan seragam sebesar 1,50 m, dengan sudut inklinasi 20°, diameter lubang bor 100 mm, dan tulangan D32 mutu BJTD 420.

a. Panjang nail

$$L_{\text{nail}} = (0,6) \times 17 \text{ m} \\ = 10,2 \text{ m} \approx 10 \text{ m}$$

b. Kapasitas cabut nail

$$Q_{\text{po}} = 3,14 \times 0,10 \text{ m} \times 33,39 \text{ kPa} \times 10 \text{ m} \\ = 104,91 \text{ kPa} = 111,36 \text{ kN}$$

c. Kapasitas tarik ultimate

$$T_{\text{ult}} = 804 \times 420 \text{ Mpa} \\ = 337.680 \text{ N} = 337,68 \text{ kN}$$

d. Kapasitas Tarik izin

$$T_{\text{allow}} = \frac{337,68 \text{ kN}}{1,50} = 225,12 \text{ Kn}$$

Tabel 2. Parameter Input *soil nailing*

Parameter	Nilai	Satuan
Panjang nail	10-20 m	m
jumlah baris nail	11	baris
spasi horizontal	1,5	m
spasi vertikal	1,5	m
sudut inklinasi	20	°
diameter lubang bor	100	mm
mutu baja	420	Mpa
diameter tulangan	32	mm
faktor adhesi	0,7	-
faktor keamanan target	1,5	-

(Sumber: Analisis Perhitungan, 2026)

Perhitungan kapasitas tahanan nail menghasilkan tegangan vertikal efektif sebesar 147,39 kPa, koefisien tekanan tanah diam (K_0)

sebesar 0,7912, tahanan lekat kohesif sebesar 8,50 kPa, dan tahanan lekat friksi sebesar 24,89 kPa, sehingga diperoleh total *bond stress* ultimate (q_u) sebesar 33,39 kPa. Nilai ini digunakan untuk menghitung kapasitas cabut (*pull-out capacity*) pada setiap variasi panjang nail, yang berkisar antara 104,91 kN untuk nail 10 m hingga 209,81 kN untuk nail 20 m. Kontrol struktural menunjukkan kapasitas tarik ultimate tulangan D32 sebesar 337,68 kN, dengan kapasitas tarik izin (Tallow) sebesar 225,12 kN setelah dibagi dengan faktor keamanan 1,50.

Nilai Tallow tersebut lebih besar daripada kapasitas cabut tanah maksimum (QPo) pada seluruh variasi panjang nail, sehingga desain dinyatakan aman terhadap kegagalan struktural internal. Selain itu, gaya aksial maksimum per nail (Tmax) pada zona kritis (0,5H) diperoleh sebesar 217,08 kN, masih berada di bawah kapasitas tarik izin sebesar 225,12 kN, sehingga struktur *soil nailing* dinyatakan aman terhadap gaya tarik lateral yang bekerja.

4.3 Perencanaan Geotekstil

Perkuatan geotekstil direncanakan menggunakan geotekstil *woven* kelas 2 yang disusun sebanyak 34 lapisan dengan panjang penanaman bervariasi antara 6 m hingga 33 m, menyesuaikan dengan kedalaman dan kebutuhan kuat tarik pada tiap elevasi lereng. Total luasan material geotekstil yang dibutuhkan adalah 13.175,641 m². Perencanaan ini mengacu pada kebutuhan kuat tarik izin geotekstil serta panjang jangkar minimum agar mampu menahan gaya penggerak lateral pada massa tanah. Nilai koefisien tekanan tanah aktif sebesar 0,655, tegangan horizontal 173,313 kPa, dan spasi vertikal geotekstil 0,50 m, sehingga didapatkan nilai gaya tarik sebesar 86,657 kN/m.

a. Koefisien Tekanan Tanah Aktif

$$K_a = \tan^2 \left(45^\circ - \frac{12,047^\circ}{2} \right) = 0,655$$

b. Tegangan horizontal

$$\sigma_{h,\text{max}} = (17,34 \cdot 17 \cdot 0,655 - (2 \cdot 12,14 \cdot 0,809)) \\ = 173,313 \text{ kPa}$$

c. Gaya Tarik

$$T_{\text{max}} = 173,313 \text{ kPa} \times 0,50 \text{ m} \\ = 86,657 \text{ kN/m}$$

Tabel 3. Parameter Input Geotekstil

Parameter	Nilai	Satuan
Panjang geotekstil	6-33 m	m
Jumlah lapisan	34	lapis
Kemiringan	0	°
Kuat tarik	86,657	kN

(Sumber: Analisis Perhitungan, 2026)

Panjang geotekstil direncanakan bervariasi mulai dari 6 m hingga 33 m menyesuaikan dengan geometri lereng. Penyesuaian panjang dilakukan agar setiap lapisan mampu memberikan kontribusi yang optimal terhadap peningkatan stabilitas lereng.

4.4 Hasil Simulasi Geostudio Slope/W

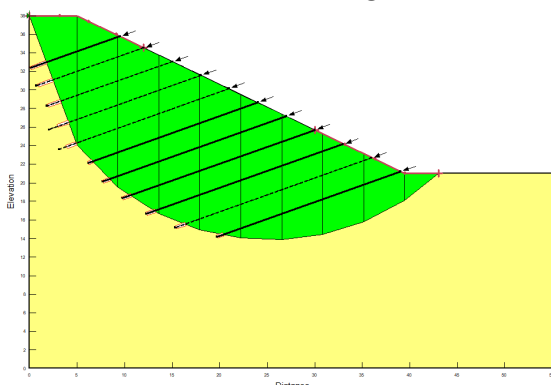
Simulasi menggunakan GeoStudio SLOPE/W dengan metode Bishop menghasilkan nilai Faktor Keamanan (FK) sebesar 1,671 untuk perkuatan *soil nailing* dan 1,634 untuk perkuatan geotekstil. Berdasarkan SNI 8460:2017, suatu lereng dinyatakan aman apabila memiliki nilai FK lebih besar dari 1,50, sehingga kedua metode perkuatan pada penelitian ini dinyatakan memenuhi syarat keamanan. Rekapitulasi hasil simulasi ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Rekapitulasi Nilai Faktor Keamanan

Metode Perkuatan	Nilai FK	Target FK	Ket
<i>Soil Nailing</i>	1,671	$\geq 1,50$	aman
Geotekstil	1,634	$\geq 1,50$	aman

(Sumber: Hasil Analisis GeoStudio, 2026)

4.4.1 Hasil simulasi *soil nailing*

**Gambar 6.** Nilai FS pada *soil nailing*

(Sumber: Analisis pemodelan GeoStudio, 2026)

Pada penelitian ini, panjang nail tidak direncanakan seragam, tetapi dibuat bervariasi sesuai dengan posisi pemasangan pada lereng.

Untuk mencapai target $FK \geq$ secara efisien, perkuatan *soil nailing* diaplikasikan sebanyak 11 baris dengan menerapkan kombinasi 7 panjang *nail* (L) yang berbeda pada satu lereng. Pembagian panjang disesuaikan dengan kedalaman zona aktif dan zona pasif (stabil) pada bidang gelincir lereng.

Tabel 5. kombinasi panjang nail

Nail	Panjang	Sudut	Pullout	Tensile
	m	°	kN	kN
1	10	20	111,36	225,12
2	12	20	133,64	225,12
3	14	20	155,91	225,12
4	15	20	167,05	225,12
5	17	20	189,32	225,12
6	19	20	211,59	225,12
7	19	20	211,59	225,12
8	20	20	222,73	225,12
9	20	20	222,73	225,12
10	20	20	222,73	225,12
11	20	20	222,73	225,12

(Sumber: Analisis Perhitungan, 2026)

Setelah model kombinasi panjang *nail* ini diinput dan dijalankan pada *software* GeoStudio SLOPE/W, diperoleh nilai Faktor Keamanan akhir sebesar $FK = 1,671$. Peningkatan nilai faktor keamanan menunjukkan bahwa pemasangan *soil nailing* mampu meningkatkan kestabilan lereng secara signifikan. Berdasarkan hasil simulasi, bidang gelincir kritis mengalami perubahan dibandingkan dengan kondisi eksisting.

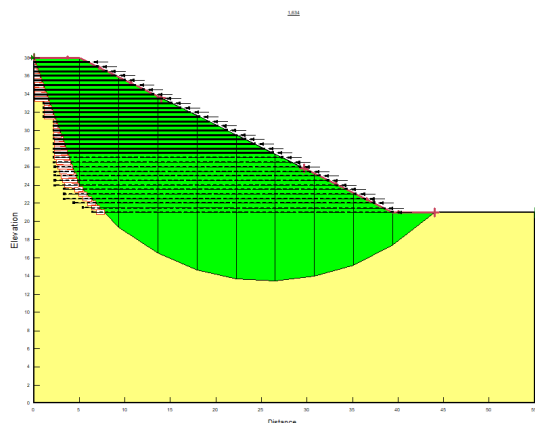
Secara mekanis, peningkatan faktor keamanan terjadi karena nail bekerja sebagai elemen tarik yang memberikan tambahan gaya penahan terhadap massa tanah. Ketika tanah mengalami kecenderungan bergerak mengikuti bidang gelincir, nail akan menerima gaya tarik dan menyalurkannya ke zona tanah yang lebih stabil. Interaksi antara tulangan, grout, dan tanah menghasilkan tahanan cabut (*pullout resistance*) yang berperan dalam meningkatkan kekuatan massa tanah sehingga keseimbangan antara gaya penggerak dan gaya penahan menjadi lebih baik.

Selain dipengaruhi oleh mekanisme gaya tarik, peningkatan faktor keamanan juga dipengaruhi oleh konfigurasi nail yang digunakan. Pada penelitian ini, penggunaan

panjang nail yang bervariasi memberikan distribusi tahanan yang lebih efektif karena setiap nail dirancang mengikuti kedalaman bidang gelincir pada lokasi pemasangannya. Nail yang dipasang pada bagian lereng dengan bidang gelincir lebih dalam memiliki panjang yang lebih besar sehingga mampu mencapai zona tanah yang stabil dan memberikan kontribusi gaya penahan yang lebih optimal. Pendekatan tersebut menunjukkan bahwa konfigurasi nail yang disesuaikan dengan kondisi geometri lereng mampu meningkatkan efektivitas perkuatan dibandingkan dengan penggunaan panjang nail yang seragam.

4.4.2 Hasil simulasi geotekstil

Melalui pemodelan digital dengan perkuatan 34 lapisan geotekstil woven, *software* GeoStudio SLOPE/W berhasil mengidentifikasi seluruh sebaran bidang gelincir potensial yang melintasi massa tanah lereng.



Gambar 7. Nilai FS pada Geotekstil

(Sumber: Analisis pemodelan GeoStudio, 2026)

Setelah model kombinasi panjang *nail* ini diinput dan dijalankan pada *software* GeoStudio SLOPE/W, diperoleh nilai Faktor Keamanan akhir sebesar $FK = 1,634$. Peningkatan nilai faktor keamanan menunjukkan bahwa geotekstil mampu memperkuat massa tanah sehingga stabilitas lereng menjadi lebih baik dibandingkan dengan kondisi tanpa perkuatan. Berdasarkan hasil simulasi, bidang gelincir kritis mengalami perubahan dan tidak berkembang sedalam kondisi eksisting. Hal tersebut menunjukkan bahwa lapisan geotekstil mampu meningkatkan kekuatan internal tanah sehingga potensi longsor dapat dikurangi.

Efektivitas geotekstil dalam meningkatkan stabilitas lereng dipengaruhi oleh konfigurasi perkuatan yang digunakan, terutama jumlah lapisan, panjang penjangkaran, dan kuat tarik material. Semakin baik konfigurasi yang diterapkan, semakin besar kontribusi geotekstil dalam meningkatkan tahanan terhadap pergerakan tanah. Pada penelitian ini, konfigurasi geotekstil yang digunakan mampu menghasilkan nilai faktor keamanan yang telah memenuhi persyaratan minimum stabilitas lereng sehingga dapat menjadi salah satu alternatif perkuatan pada lokasi penelitian.

4.5 Analisis Biaya Dan Perbandingan

Perhitungan volume pekerjaan menunjukkan kebutuhan material yang berbeda secara signifikan antara kedua metode. Pekerjaan *soil nailing* membutuhkan volume pengeboran total $23,566 \text{ m}^3$, tulangan baja seberat $18.975,605 \text{ kg}$, grouting $21,153 \text{ m}^3$, wiremesh seluas $620,749 \text{ m}^2$, shotcrete sebesar $620,749 \text{ m}^2$, dan head plate mur dan baut sebesar $707,940 \text{ kg}$. Sementara itu, pekerjaan geotekstil membutuhkan luasan galian $3.676,428 \text{ m}^2$, lembar geotekstil $13.175,614 \text{ m}^2$, serta volume timbunan tanah pilihan sebesar $2.738,989 \text{ m}^3$.

Berdasarkan Standar Satuan Harga (SSH) Kabupaten Trenggalek dan AHSP Bina Marga Tahun 2026, Rencana Anggaran Biaya (RAB) untuk pekerjaan persiapan *soil nailing* adalah sebesar Rp 19.664.737,99 dan pekerjaan utama *soil nailing* sebesar Rp 829.284.988,76, sehingga total Rencana Anggaran Biaya (RAB) *soil nailing* sebesar Rp 950.823.693,96 (dengan PPN 12%). Sedangkan untuk pekerjaan persiapan geotekstil sebesar Rp 28.664.737,99 dan pekerjaan utama geotekstil sebesar Rp 1.550.281.057,57, sehingga total Rencana Anggaran Biaya (RAB) geotekstil sebesar Rp 1.768.419.291,02 (dengan PPN 12%), sebagaimana dirangkum pada Tabel 6.

Tabel 6. Perbandingan antara soil nailing dan geotekstil

Metode Perkuatan	Total RAB (Rp)	Nilai FK
<i>Soil Nailing</i>	Rp 950.823.693,96	1,671
Geotekstil	Rp1.768.419.291,02	1,634
Selisih	Rp 817.595.597,06	0,037

(Sumber: Data Perhitungan Pribadi, 2026)

Selisih biaya antara kedua metode mencapai Rp 817.595.597,06. Apabila dihitung relatif terhadap biaya geotekstil, metode soil nailing mampu memberikan penghematan sebesar 46,23% dari total biaya geotekstil. Perbedaan biaya ini terutama disebabkan oleh kebutuhan volume material geotekstil yang cukup besar (13.175,641 m² dengan 34 lapisan) serta pekerjaan galian dan timbunan tanah yang menyertainya, sedangkan soil nailing hanya memerlukan pengeboran titik-titik nail dengan volume material yang jauh lebih efisien.

Dengan mempertimbangkan kedua aspek secara bersamaan, yaitu nilai Faktor Keamanan yang lebih tinggi (1,671 berbanding 1,634) dan biaya konstruksi yang lebih rendah (penghematan 46,23%), metode soil nailing terbukti menjadi alternatif yang lebih optimal dan efisien untuk diterapkan pada lereng eksisting STA 13±680 Dusun Banaran, Desa Depok, Kecamatan Bendungan, Kabupaten Trenggalek.

5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis stabilitas lereng, perencanaan teknis perkuatan menggunakan GeoStudio SLOPE/W, serta perhitungan RAB mengacu pada SSH Kabupaten Trenggalek dan AHSP Bina Marga Tahun 2026, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Kinerja teknis *soil nailing*. Perkuatan dengan 11 baris nail bervariasi panjang 10–20 m terbukti aman terhadap kegagalan internal, dengan kapasitas tarik izin tulangan D32 (225,12 kN) lebih besar daripada gaya cabut tanah maksimum (111,36 – 222,73 kN), dan berhasil meningkatkan Faktor Keamanan lereng, naik dari FK = 0,951 menjadi FK = 1,671.
2. Kinerja teknis geotekstil. Perkuatan dengan 34 lapisan geotekstil woven (total luasan 13.175,641 m²) juga berhasil meningkatkan stabilitas lereng, naik dari FK = 0,951 menjadi FK = 1,634, memenuhi syarat keamanan lereng permanen sesuai SNI 8460:2017 ($FK \geq 1,50$).
3. Perbandingan ekonomis. Total biaya konstruksi *soil nailing* (Rp 950.823.693,96) jauh lebih rendah dibandingkan dengan geotekstil (Rp 1.768.419.291,02), dengan

selisih (Rp 817.595.597,06) atau penghematan sebesar 46,23%.

4. Rekomendasi metode optimal. Dengan mempertimbangkan pemenuhan kriteria teknis ($FK \geq 1,50$) sekaligus efisiensi anggaran, metode soil nailing direkomendasikan sebagai alternatif perkuatan paling optimal untuk diterapkan pada lereng eksisting STA 13±680 Dusun Banaran.

5.2 Saran

1. Penelitian berikutnya dapat dikembangkan dari Metode Kesetimbangan Batas (*Limit Equilibrium Method*) ke Metode Elemen Hingga (*Finite Element Method*) 2D atau 3D (misalnya menggunakan perangkat lunak PLAXIS atau SIGMA/W).
2. Disarankan untuk melakukan pemodelan dengan mensimulasikan pengaruh aliran air tanah dan merencanakan sistem drainase lereng (seperti *weep holes* atau *strip drain*).
3. Peneliti selanjutnya disarankan untuk melakukan analisis perbandingan menggunakan metode kesetimbangan batas lainnya (seperti *Morgenstern-Price* atau *Janbu*).

DAFTAR PUSTAKA

- [1] C. Arifin, R. Rochmawati, And G. Kololikiye, "Studi Evaluasi Stabilitas Lereng Pada Jalan Tol Probolinggo Banyuwangi Sta. 38+475 Menggunakan Software Geostudio 2024," 2025.
- [2] A. Sandrianti, D. Sanggrita A., Y. Andini, And P. G. Sabrian, "Analisis Kestabilan Lereng Menggunakan Metode Rock Mass Rating (Rmr) Untuk Menentukan Faktor Keamanan Daerah Kaubun, Kabupaten Kutai Timur, Kalimantan Timur," *Jurnal Teknik Geologi: Jurnal Ilmu Pengetahuan Dan Teknologi*, Vol. 7, No. 1, P. 26, Jun. 2024, Doi: 10.30872/Jtgeo.V7i1.18119.
- [3] D. Anggelia Septiani, "Gambaran Tingkat Kesiapsiagaan Masyarakat Menghadapi Bencana Tanah Longsor Di Dukuh Secang Sambirejo," *Calory Journal: Medical Laboratory Journal*, Vol. 4, Pp. 1–29, 2026, Doi: 10.57213/Caloryjournal.V4i1.969.
- [4] M. N. Fuad, R. Rochmawati, D. Gilang, And R. Kololikiye, "Studi Analisis Stabilitas Lereng

Pada Km 70+500 Ruas Jalan Raya Sumberbrantas Pacet Kabupaten Mojokerto Menggunakan Software Geo5,” 2025.

- [5] N. Azizah, R. Rochmawati, D. Gilang, And R. Kololikiye, “Studi Analisis Stabilitas Lereng Pada Proyek Jls Tulungagung Brumbun Pantai Sine Sta 12+675 Menggunakan Software Slide 6.0,” 2026.
- [6] M. Afif, K. Mundzir, R. Rochmawati, D. Gilang, And R. Kololikiye, “Analisis Stabilitas Lereng Pada Jalan Raya Malang-Kediri Di Wilayah Kedungrejo, Sukomulyo, Kecamatan Pujon, Kabupaten Malang Menggunakan Software Geostudio,” 2025.
- [7] B. Santoso And E. Noerhayati, “Studi Alternatif Perkuatan Lereng Pada Sisi Pelimpah Bendungan Jlantah Kabupaten Karanganyar,” 2023.