

STUDI EVALUASI STABILITAS LERENG PADA JALAN TOL PROBOLINGGO-BANYUWANGI STA. 38+475 MENGGUNAKAN *SOFTWARE* GEOSTUDIO 2024

Cantika Pebriani Arifin^{*1}, Reny Rochmawati² dan Gilang Ramadan Kololikiye³

¹Mahasiswa, Teknik Sipil, Universitas Islam Malang

e-mail: 22101051001@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

The Probolinggo-Banyuwangi Toll Road is part of the Trans Java Toll Road network; however, geological and topographic conditions at some points, such as at Sta. 38+475 requires special evaluation of slope stability to avoid the risk of ground movement. The research goal is to evaluate the slope stability at that point and design appropriate reinforcement solutions to improve the slope safety factor. Slope stability analysis was conducted using Geostudio 2024 software. Based on geotechnical data obtained from laboratory testing, including soil cohesion, internal shear angle, and soil volume weight. The method used for analyzing slope stability is the limit equilibrium method, specifically the Bishop Simplified method. The analysis showed that the existing slope had a factor of safety below the safe threshold of $FS = 0.73$. Therefore, additional analysis was carried out by reinforcing the slope using the Soil Nailing method. After reinforcement, the safety factor value increased and met the required safety threshold of $FS = 1.83$. This research shows that the use of GeoStudio 2024 software is very effective in accurately evaluating and designing slope reinforcement solutions.

Keywords: *Bishop Method, Factor of Safety, Geostudio 2024, Slope Stability, Soil Nailing.*

1. PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Pertumbuhan perekonomian merupakan aspek penting suatu negara salah satunya yaitu pembangunan infrastruktur. Pembangunan infrastruktur jalan tol saat ini sangat gencar dilakukan di Indonesia. Jalan tol merupakan bagian dari sistem jaringan jalan nasional yang berperan signifikan dalam meningkatkan konektivitas antar daerah, efisiensi distribusi barang dan jasa, serta mobilitas masyarakat [1]. Salah satu proyek strategis yang sedang dikembangkan adalah Jalan Tol Probolinggo-Banyuwangi, yang menghubungkan wilayah timur Pulau Jawa.

Pada seksi 3 Jalan Tol Probolinggo-Banyuwangi, khususnya pada Sta. 38+475, kondisi topografi perbukitan menuntut

perlunya evaluasi kestabilan lereng secara teknis karena dapat menimbulkan potensi pergerakan tanah atau longsor. Analisis stabilitas lereng dilakukan menggunakan metode bishop, yang banyak digunakan dalam menganalisis serta mengevaluasi stabilitas lereng dengan mengasumsikan keseimbangan batas (*limit equilibrium*) [2]. Evaluasi dilakukan dengan bantuan *software* Geostudio 2024 (*Slope/W*) untuk memperoleh nilai faktor keamanan yang akurat pada kondisi eksisting maupun setelah diberi perkuatan.

1.2 RUMUSAN MASALAH

Rumusan masalah dari pembahasan ini sesuai dengan judul yang dikemukakan sebagai berikut :

1. Bagaimana karakteristik geometri dan

kondisi geoteknik lereng yang terletak pada STA. 38+475 pada pekerjaan Jalan Tol Probolinggo–Banyuwangi?

2. Berapa nilai Faktor Keamanan (*Factor of Safety*/FS) yang diperoleh dari analisis stabilitas lereng pada STA. 38+475 menggunakan metode *Bishop* dan perangkat lunak GeoStudio 2024?
3. Metode perkuatan apa yang dapat diterapkan untuk meningkatkan stabilitas lereng di STA. 38+475 pada proyek tersebut?

1.3 TUJUAN

Tujuan dari penelitian mengenai stabilitas lereng yaitu sebagai berikut :

1. Untuk mengetahui dan menganalisis karakteristik fisik dan geoteknik pada lereng di STA. 38+475 pada pekerjaan Jalan Tol Probolinggo-Banyuwangi yang dapat digunakan sebagai dasar mengevaluasi stabilitas lereng.
2. Untuk mengetahui dan menganalisis nilai FS (*Factor of Safety*) yang dapat mempengaruhi stabilitas lereng, dengan parameter nilai FS tersebut berada dalam batas aman sesuai standar perencanaan jalan tol, serta lereng tersebut masuk kedalam kondisi stabil atau dalam kondisi yang berpotensi mengalami kegagalan lereng.
3. Untuk mengevaluasi serta memberikan rekomendasi perbaikan atau perkuatan yang sesuai dengan kondisi geoteknik pada lereng di STA 38+475, guna menjaga keamanan dan terhindar dari potensi terjadinya longsor atau pergerakan tanah.

1.4 RUANG LINGKUP

Ruang lingkup dari pembahasan ini sesuai dengan judul yang dikemukakan sebagai berikut :

1. Karakteristik geometri dan kondisi geoteknik pada lereng.
2. Analisis nilai faktor keamanan pada lereng.
3. Analisis stabilitas lereng menggunakan metode *Bishop*.
4. Analisis stabilitas lereng menggunakan *software* Geostudio 2024.
5. Perkuatan lereng menggunakan metode *Soil Nailing*.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Material penyusun lereng memiliki kecenderungan pergeseran tanah atau longsor, hal tersebut merupakan akibat dari berat sendiri lereng serta gaya eksternal yang diimbangi oleh tekanan geser dari material tersebut. Masalah kestabilan lereng dapat terjadi ketika kekuatan geser tanah tidak cukup untuk menyeimbangkan dan menahan gaya yang dapat memicu terjadinya gelincir pada permukaan longsor.

Tanah longsor adalah suatu kejadian atau peristiwa geologi yang dapat terjadi akibat pergerakan massa batuan dan tanah, termasuk dengan jatuhnya batuan besar dari permukaan tanah. Definisi sederhananya adalah bahwa air yang terserap ke dalam lapisan tanah dapat meningkatkan massa tanah itu sendiri. Jika air yang ada di dalam tanah tersebut dapat berhasil meresap hingga mencapai lapisan tanah yang tidak dapat ditembus air, maka akan menyebabkan tanah menjadi licin, serta dapat mengakibatkan pelapukan tanah di atasnya bergerak mengikuti arah keluar dari lereng [3].

2.1 KLASIFIKASI TANAH

Klasifikasi tanah merupakan bagian dari proses pengelompokan tanah yang didasarkan pada sifat-sifat fisik, kimia, dan biologi. Terdapat beberapa sistem klasifikasi tanah yang umumnya digunakan dalam penelitian adalah sistem klasifikasi tanah AASHTO dan USCS.

Sistem klasifikasi tanah AASHTO digunakan dalam menentukan atau menunjukkan kualitas tanah pada pekerjaan jalan yaitu berada pada lapis dasar (*sub base*), dan tanah dasar (*sub grade*). Sedangkan pada sistem USCS, tanah dapat diklasifikasikan kedalam butir kasar (kerikil dan pasir) jika tanah tersebut memiliki kandungan kurang dari 50% lolos kedalam saringan No. 200, dan dapat dikategorikan sebagai tanah yang termasuk kedalam tanah berbutir halus (lanau dan lempung) jika lebih dari 50% lolos saringan No.200.

2.2 KUAT GESER TANAH

Kuat geser tanah adalah gaya-gaya yang beroprasi pada satuan luas massa tanah yang

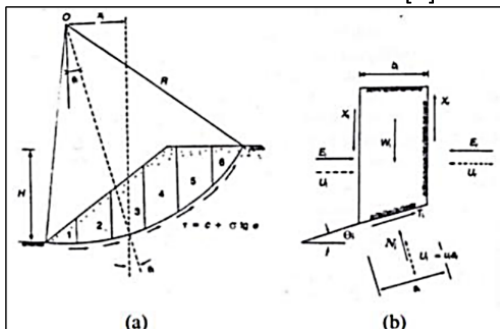
dapat bermanfaat untuk mencegah keruntuhan atau kegagalan pada sepanjang bidang runtuh atau bidang gelincir yang berada dalam massa tanah tersebut. Pemahaman mengenai proses perlawanan geser sangat penting untuk menganalisis kestabilan tanah seperti daya dukung, stabilitas lereng, serta tekanan tanah lateral pada struktur penahan tanah [4].

2.3. BERAT VOLUME TANAH

Berat isi atau *bulk density* adalah salah satu karakteristik fisik tanah yang dapat berasal dari massa fase padat tanah (M_s) dibagi dengan volume total tanah (V_t). Besaran dari volume tanah sangat berkaitan dengan kepadatan tanah, kemudahan akar menembus kedalam media tanah, serta drainase dan aerasi tanah [5].

2.4 METODE BISHOP

Metode *Bishop* adalah teknik atau metode yang diperkenalkan oleh A.W. *Bishop* pada tahun 1955. Metode ini adalah pendekatan yang bisa beroperasi dalam interaksi normal antara irisan yang dekat, dimana dalam metode *Bishop* diasumsikan collinear dan gaya geser total antara irisan bernilai nol [6].

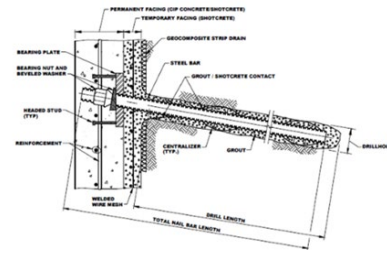


Gambar 1. Gaya yang bekerja pada irisan
(Sumber: DAS (1993))

$$FK = \frac{\sum_{n=1}^{n=p} (c \cdot b_n + W_n \cdot \tan \varphi) \frac{1}{\tan \varphi \cdot \sin \alpha_n}}{\sum_{n=1}^{n=p} W_n \cdot \sin \alpha} \quad (1a)$$

2.5 Soil Nailing

Soil nailing adalah suatu metode dalam perkuatan lereng atau konstruksi penahan lereng yang diterapkan dengan cara menanam potongan-potongan baja (*nails*) ke dalam tanah. Dalam proses itu didapatkan sebuah perkuatan yang kokoh dan mampu menahan tanah yang berada di belakangnya [7].



Gambar 2. Potongan melintang
(Sumber : Porterfield (1994))

Nilai faktor keamanan *Soil Nailing* terhadap keruntuhan global adalah sebagai berikut :

$$FS = \frac{C \cdot Lf + W \cos \alpha \tan \alpha + (\sum Ti \sin(\alpha+i) - \sum Vi \cos(\alpha+i)) \tan \varphi}{W \sin \alpha - \sum Ti \cos(\alpha+i) - \sum Vi \sin(\alpha+i)} \quad (1b)$$

Nilai faktor keamanan *Soil Nailing* terhadap pergeseran adalah sebagai berikut :

$$FS = \frac{c \cdot BL + (W + Pa \sin \beta) \tan \varphi}{Pa \cos \beta} \quad (1c)$$

Nilai faktor keamanan *Soil Nailing* terhadap cabut tulangan (*pullout*) adalah sebagai berikut :

$$Fpi = \frac{Qu \times D \times \pi \times Le_i}{\sigma_h \times Sv \times Sh} \quad (1d)$$

Nilai faktor keamanan *Soil Nailing* terhadap putus tulangan (*pullout*) adalah sebagai berikut :

$$Fri = \frac{0,25 \times \pi \times D^2 \times fy}{1000} \quad (1e)$$

2.6 Geostudio 2024 (Slope/W)

Geostudio adalah salah satu *software* yang biasanya digunakan untuk menganalisis dan perancangan di bidang geoteknik. Perangkat lunak Geostudio berfungsi dalam melakukan simulasi dan analisis mengenai stabilitas lereng, pergerakan tanah, aliran air tanah, serta berbagai masalah geoteknik lainnya.

3. METODOLOGI PENELITIAN

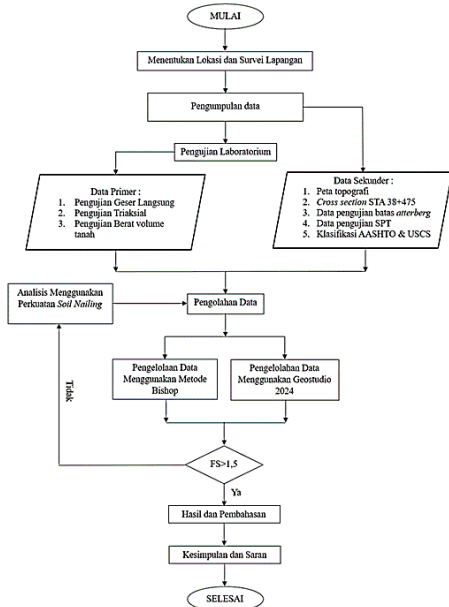
3.1 LOKASI PENELITIAN



Gambar 3. Lokasi penelitian Sta. 38+475
(Sumber: Dokumentasi Google earth, 2025)

Lokasi penelitian dilaksanakan pada Jalan Tol Probolinggo-Banyuwangi Seksi 3 (Paiton-Besuki). Lokasi penelitian ini dikhususkan pada Sta. 38+475 yang terletak di Desa Kalianget, Kecamatan Banyuglugur, Kabupaten Situbondo. Lereng yang berada pada lokasi tersebut memiliki ketinggian ± 30 m dengan kemiringan lereng sebesar 45° .

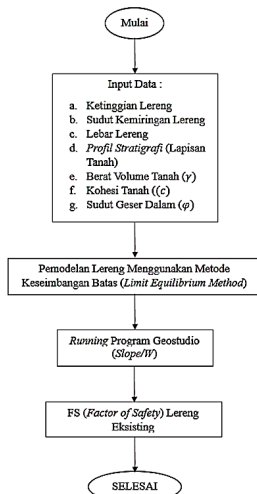
3.2 BAGAN ALIR PENELITIAN



Gambar 4. Bagan alir penelitian
(Sumber: Analisa penelitian, 2025)

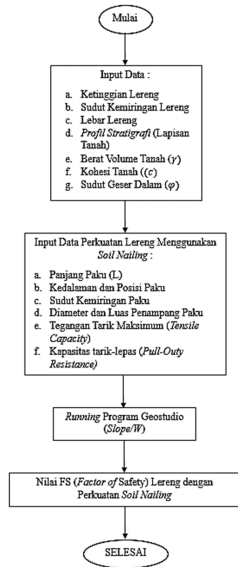
3.3 BAGAN ALIR GEOSTUDIO (SLOPE/W)

3.3.1 BAGAN ALIR GEOSTUDIO PADA KONDISI EKSTISTING



Gambar 5. Bagan alir geostudio pada kondisi eksisting
(Sumber: Analisa penelitian, 2025)

3.3.2 BAGAN ALIR PENELITIAN DENGAN PERKUATAN SOIL NAILING



Gambar 6. Bagan alir geostudio dengan perkuatan soil nailing
(Sumber: Analisa penelitian, 2025)

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 DATA PENELITIAN

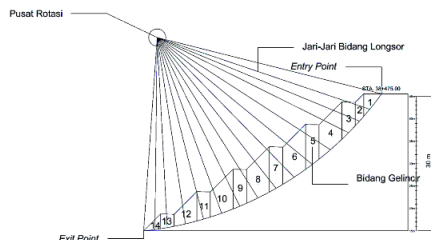
Parameter tanah yang dapat digunakan untuk menganalisis dan menghitung stabilitas lereng diasumsikan bersifat homogen, sehingga hanya terdapat satu jenis lapisan tanah. Keseluruhan proses perhitungan menggunakan beberapa parameter tanah seperti berat volume tanah, sudut geser dalam, dan kohesi tanah yang nilainya dianggap konstan pada seluruh bidang analisis.

Tabel 1. Parameter Tanah

Jenis Tanah	γ (kN/m ³)	ϕ ($^\circ$)	C (kN/m ³)
Silty Sand	14,29	18,30	6,52

(Sumber: Data pengujian laboratorium, 2025)

4.2 ANALISIS STABILITAS LERENG TANPA PERKUATAN

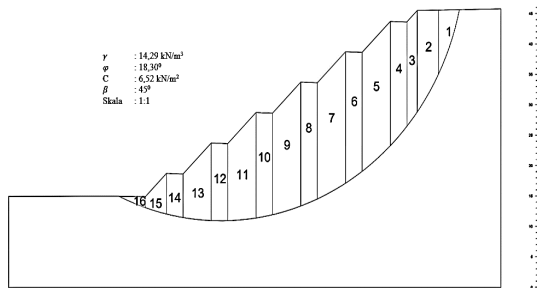


Gambar 7. Pembagian pias pada lereng eksisting Sta. 38+475
(Sumber : Analisa pemodelan autocad, 2025)

Tabel 2. Rekapitulasi perhitungan lereng eksisting

FS	No. Irisan	LUAS	W(n)	α	$\sin \alpha$	$\cos \alpha$	Bn	W(n).Sin α	W(n).Tan ϕ	C.Bn	FS	Man	F
1.01	1	10.34	147.76	59.31	0.86	0.51	1	127.06	48.87	6.52	0.73	0.90	61.54
	2	9.72	138.90	54.75	0.82	0.58	1	113.43	45.94	6.52	0.73	0.95	55.39
	3	20.46	292.37	50.75	0.77	0.63	2	226.41	96.69	13.04	0.73	0.98	111.57
	4	41.14	587.89	44.80	0.70	0.71	3	414.25	194.43	19.56	0.73	1.03	208.00
	5	26.68	381.26	39.29	0.63	0.77	2	241.43	126.09	13.04	0.73	1.06	131.15
	6	46.96	671.06	34.28	0.56	0.83	3	377.97	221.93	19.56	0.73	1.08	223.30
	7	27.68	395.55	29.49	0.49	0.87	2	194.72	130.81	13.04	0.73	1.09	131.56
	8	45.09	644.34	24.97	0.42	0.91	3	272.00	213.09	19.56	0.73	1.10	211.93
	9	24.66	352.39	20.57	0.35	0.94	2	123.81	116.54	13.04	0.73	1.10	118.29
	10	37.03	529.16	16.33	0.28	0.96	3	148.78	175.00	19.56	0.73	1.09	178.98
	11	18.29	261.36	12.15	0.21	0.98	1	55.01	86.44	6.52	0.73	1.07	86.64
	12	23.67	338.24	8.05	0.14	0.99	2	47.37	111.86	13.04	0.73	1.05	118.55
	13	8.97	128.18	3.99	0.07	1.00	1	8.92	42.39	6.52	0.73	1.03	47.53
	14	6.27	89.60	-0.60	-0.01	1.00	1	-0.94	29.63	6.52	0.73	1.00	36.33
Total			4958.06	28.43				2350.22					1720.758

4.3 ANALISIS LERENG MENGGUNAKAN PERKUATAN SOIL NAILING.

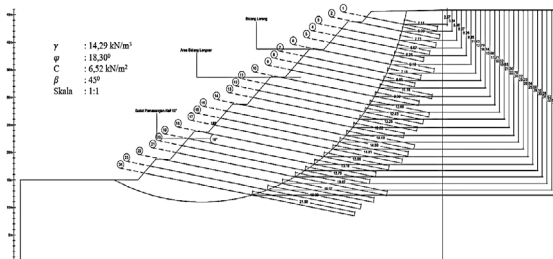


Gambar 8. Pemodelan lereng dengan longsor kritis.

(Sumber: Analisa pemodelan autocad, 2025)

Pada analisis penelitian ini direncanakan dengan 3 variasi kemiringan *Nail* yaitu 10° , 15° dan 20° . Jumlah *nail* yang digunakan dalam analisis ini yaitu sejumlah 24 batang.

4.3.1 PERKUATAN SOIL NAILING DENGAN SUDUT 10°



Gambar 9. Panjang Le dan Li 10°

(Sumber: Analisa pemodelan autocad, 2025)

Dari gambar tersebut dapat diketahui luas bidang longsor sebesar $839,84 \text{ m}^2$. Perhitungan selengkapnya sebagai berikut:

a. Perhitungan daya dukung tarik

$$\begin{aligned}
 R_n &= F_y \times A_s \text{ tulangan} \\
 &= 520 \times (\pi \times 0,032) \\
 &= 52,28 \text{ kN} \\
 R_c &= 0,5 \times R_n \\
 &= 0,5 \times 52,28 \\
 &= 26,14 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

b. Perhitungan gaya geser ijin

$$\begin{aligned}
 V_n &= \frac{R_c}{2\sqrt{1+4 \tan^2(90-(\alpha+i))}} \\
 &= \frac{26,14}{2\sqrt{1+4 \tan^2(90-(30+10))}} \\
 &= 5,06 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

c. Perhitungan gaya tarik ijin

$$\begin{aligned}
 T &= 4 \times V_n \times \tan(90 - (\alpha + i)) \\
 &= 4 \times 5,06 \times \tan(90 - (30 + 10)) \\
 &= 24,10 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

d. Perhitungan gaya geser ijin dari tanah

$$\begin{aligned}
 P_u &= C_1 \times \frac{2}{3} \times H + C_2 \times D \times \gamma \times \frac{2}{3} \times H \\
 &= 0,9 \times \frac{2}{3} \times 30 + 1,8 \times 0,032 \times 14,29 \times \frac{2}{3} \times 30 \\
 &= 5160,86 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_i &= C_3 \times D \times \gamma \times H \\
 &= 10 \times 0,032 \times 14,29 \times 30 \\
 &= 137,18 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 L_o &= \sqrt[4]{\frac{4 \times E \times i}{K_s \times D}} \\
 &= \sqrt[4]{\frac{4 \times (2 \times 10^8) \times (5,14 \times 10^{-8})}{48000 \times 0,032}} \\
 &= 0,40
 \end{aligned}$$

e. Menghitung faktor keamanan terhadap keruntuhan global

$$\begin{aligned}
 FS &= \frac{c \cdot l_f + W \cos \alpha \cdot \tan \phi + (\sum T_i \sin(\alpha+i) - \sum V_i \cos(\alpha+i) \tan \phi)}{W \sin \alpha - \sum T_i \cos(\alpha+i) - \sum V_i \sin(\alpha+i)} \\
 &= \frac{6,52 \cdot 31,09 + 12017,60 \cos 30^\circ \cdot \tan 18,30^\circ + (2950,18 \sin(30+10) - 10,56 \cos(30+10) \tan 18,30^\circ)}{(12017,60) \sin 30^\circ - 2950,18 \cos(30+10) - (10,56 \cdot \sin(30+10))} \\
 &= 1,50 \geq 1,5 \text{ (AMAN)}
 \end{aligned}$$

f. Faktor aman terhadap penggeseran

$$FS = \frac{c \cdot BL + (W + Pa \cdot \sin \beta) \tan \varphi}{Pa \cdot \cos \beta}$$

$$= \frac{6,52 \cdot 68,44 + (12017,60 + 3022,34 \times \sin 45) \tan 18,30}{3022,34 \times \cos 45}$$

$$= 1,61 > 1,5 \text{ (AMAN)}$$

g. Menghitung koefisiensi tekanan lateral aktif.

$$\sigma_h = (2 \times c \sqrt{Ka}) + (Ka \times \gamma \times z)$$

$$= (2 \times 6,52 \sqrt{0,470}) + (0,470 \times 14,29 \times 2,57)$$

$$= 26,20$$

h. Menghitung angka keamanan terhadap cabut tulangan/*pullout*.

$$F_{pi} = \frac{Q_u \times D \times \pi \times L_{e_i}}{\sigma_h \times S_v \times S_h}$$

$$F_{p1} = \frac{422,23 \times 0,1 \times \pi \times 7,11}{26,20 \times 1 \times 1}$$

$$= 16,00 > 1,5 \text{ (AMAN)}$$

i. Menghitung angka aman terhadap putus tulangan tiap nail.

$$Fr_i = \frac{0,25 \times \pi \times D^2 \times f_y}{1000}$$

$$Fr_1 = \frac{\sigma_h \times S_v \times S_h}{0,25 \times \pi \times 0,032^2 \times 520}$$

$$= \frac{26,20 \times 1 \times 1}{1000}$$

$$= 15,96 > 1,5 \text{ (AMAN)}$$

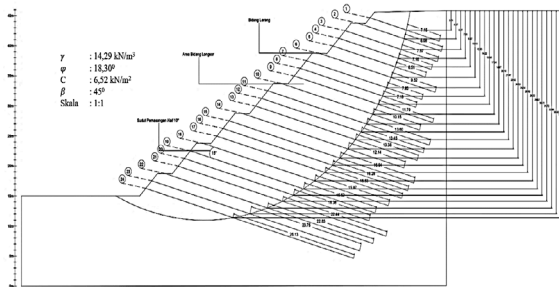
Berdasarkan hasil perhitungan di atas, dapat diketahui bahwa nilai faktor keamanan (FS) pada setiap nail terhadap cabut tulangan (*pullout*) dan terhadap putus tulangan tiap nail memiliki nilai faktor keamanan (FS) lebih dari batas aman yaitu lebih dari 1,5. Dari perhitungan di atas menunjukkan bahwa secara umum seluruh elemen dari masing-masing *nail* yang digunakan dalam perkuatan lereng menggunakan metode *soil nailing* berada dalam kondisi aman terhadap resiko tercabutnya tulangan.

Tabel 3. Rekapitulasi perhitungan faktor keamanan *nail* sudut 10°

No. Nail	L	Li	Le	σ_h	Fpi	Fpi>1,5	Fri	Fr>1,5
	(m)	(m)	(m)					
1	15	2.57	7.11	26.20	16.00	Aman	15.96	Aman
2	18	3.84	8.00	34.73	13.58	Aman	12.04	Aman
3	20	5.46	7.73	45.61	9.99	Aman	9.17	Aman
4	20	6.87	6.97	55.08	7.46	Aman	7.59	Aman
5	20	8.26	6.26	64.42	5.73	Aman	6.49	Aman
6	25	9.85	9.18	75.10	7.21	Aman	5.57	Aman
7	25	11.43	7.18	85.71	4.94	Aman	4.88	Aman
8	25	12.79	6.65	94.84	4.13	Aman	4.41	Aman
9	30	14.14	11.18	103.91	6.34	Aman	4.02	Aman
10	30	15.68	9.39	114.25	4.85	Aman	3.66	Aman
11	35	17.21	12.68	124.53	6.00	Aman	3.36	Aman
12	35	18.52	12.43	133.33	5.50	Aman	3.14	Aman
13	35	19.83	12.25	142.12	5.08	Aman	2.94	Aman
14	35	22.76	10.82	161.80	3.94	Aman	2.58	Aman
15	40	24.02	14.49	170.27	5.02	Aman	2.46	Aman
16	40	25.25	14.60	178.53	4.82	Aman	2.34	Aman
17	40	26.64	14.81	187.86	4.65	Aman	2.23	Aman
18	40	28.00	13.86	197.00	4.15	Aman	2.12	Aman
19	40	29.16	13.10	204.79	3.77	Aman	2.04	Aman
20	40	30.28	13.76	212.31	3.82	Aman	1.97	Aman
21	45	31.52	19.62	220.64	5.24	Aman	1.90	Aman
22	45	32.68	19.57	170.13	6.78	Aman	2.46	Aman
23	45	33.59	19.93	234.54	5.01	Aman	1.78	Aman
24	45	29.85	21.89	209.42	6.16	Aman	2.00	Aman

(Sumber: Data perhitungan pribadi, 2025)

4.3.2 PERKUATAN SOIL NAILING DENGAN SUDUT 15°



Gambar 10. Panjang Le dan Li sudut 15°
(Sumber: Analisa pemodelan autocad, 2025)

a. Menghitung Panjang Le

$$T_i = \frac{\pi \times D \times Le_i \times F_{max}}{FS}$$

$$= \frac{\pi \times 0,032 \times 7,15 \times 150}{1,5}$$

$$= 43,13 \text{ kN}$$

b. Menghitung FS terhadap keruntuhan global

$$FS = \frac{c.lf + W \cos \alpha \cdot n \cdot \tan \varphi + (\sum T_i \cdot \sin(\alpha + i) - \sum V_i \cos(\alpha + i) \tan \varphi)}{(W + Q) \sin \alpha \cdot n - \sum T_i \cos(\alpha + i) - \sum V_i \sin(\alpha + i)}$$

$$= \frac{6,52 \cdot 31,09 + 12017,60 \cos 30^\circ \cdot \tan 18,30^\circ + (3293,19 \cdot \sin(30+15) - 10,56 \cos(30+15) \tan 18,30^\circ)}{12017,60 \cdot \sin 30^\circ - 3293,19 \cdot \cos(30+15) - (10,56 \cdot \sin(30+15))}$$

$$= 1,66 > 1,5$$

c. Faktor aman terhadap penggeseran

$$FS = \frac{c \cdot BL + (W + Pa \cdot \sin \beta) \tan \varphi}{Pa \cdot \cos \beta}$$

$$= \frac{6,52 \cdot 68,10 + (12018,60 + 3022,34 \times \sin 45^\circ) \tan 18,30^\circ}{3022,34 \times \cos 45^\circ}$$

$$= 1,61 > 1,5 \text{ (AMAN)}$$

d. Menghitung koefisiensi tekanan lateral aktif

$$\sigma_h = (2 \times c \sqrt{Ka}) + (Ka \times \gamma \times z)$$

$$= (2 \times 6,52 \sqrt{0,47}) + (0,47 \times 14,29 \times 3,24)$$

$$= 30,70$$

e. Menghitung angka aman terhadap cabut tulangan

$$F_{pi} = \frac{Q_u \times D \times \pi \times Le_i}{\sigma_h \times S_v \times S_h}$$

$$F_{p1} = \frac{422,23 \times 0,1 \times \pi \times 7,15}{30,70 \times 1 \times 1}$$

$$= 13,73 > 1,5 \text{ (AMAN)}$$

f. Menghitung FS terhadap putus tulangan

$$F_{ri} = \frac{0,25 \times \pi \times D^2 \times f_y}{\sigma_h \times S_v \times S_h}$$

$$F_{r1} = \frac{0,25 \times \pi \times 0,032^2 \times 520}{30,70 \times 1 \times 1}$$

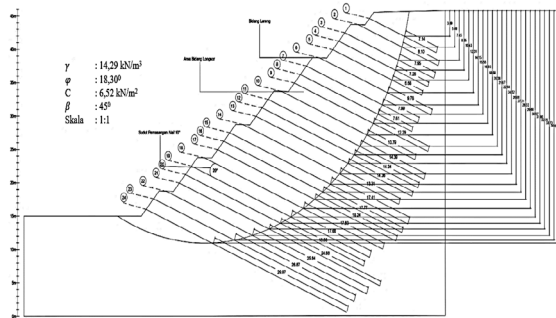
$$= 13,62 > 1,5 \text{ (AMAN)}$$

Tabel 4. Rekapitulasi perhitungan faktor keamanan *nail* sudut 15°

No. Nail	L	Li	Le	σ_h	Fpi	Fpi>1,5	Fri	Fr>1,5
	(m)	(m)	(m)					
1	15	3.24	7.15	30.70	13.73	Aman	13.62	Aman
2	18	4.67	8.08	40.30	11.82	Aman	10.38	Aman
3	20	6.47	7.87	52.39	8.86	Aman	7.98	Aman
4	20	7.93	7.16	62.20	6.79	Aman	6.72	Aman
5	20	9.37	6.51	71.87	5.34	Aman	5.82	Aman
6	25	11.11	9.52	83.56	6.72	Aman	5.01	Aman
7	25	12.83	7.63	95.11	4.73	Aman	4.40	Aman
8	25	14.22	7.18	104.45	4.05	Aman	4.00	Aman
9	30	15.59	11.79	113.65	6.12	Aman	3.68	Aman
10	30	17.24	10.15	124.73	4.80	Aman	3.35	Aman
11	35	18.87	13.60	135.68	5.91	Aman	3.08	Aman
12	35	20.18	13.45	144.47	5.49	Aman	2.89	Aman
13	35	21.47	13.38	153.14	5.15	Aman	2.73	Aman
14	35	23.02	12.14	163.55	4.38	Aman	2.56	Aman
15	40	24.53	16.04	173.69	5.44	Aman	2.41	Aman
16	40	25.74	16.28	181.82	5.28	Aman	2.30	Aman
17	40	26.92	16.63	189.74	5.17	Aman	2.20	Aman
18	40	28.32	15.97	199.15	4.73	Aman	2.10	Aman
19	40	29.67	15.52	208.21	4.39	Aman	2.01	Aman
20	40	30.72	16.38	215.26	4.49	Aman	1.94	Aman
21	45	31.72	22.44	221.98	5.96	Aman	1.88	Aman
22	45	32.84	22.83	170.13	7.91	Aman	2.46	Aman
23	45	33.82	23.75	236.09	5.93	Aman	1.77	Aman
24	45	34.46	26.13	240.38	6.41	Aman	1.74	Aman

(Sumber: Data perhitungan pribadi, 2025)

4.3.3 PERKUATAN SOIL NAILING DENGAN SUDUT 20°



Gambar 11. Panjang Le dan Li sudut 20°
(Sumber: Analisa pemodelan autocad, 2025)

- a. Menghitung faktor keamanan terhadap keruntuhan global

$$FS = \frac{c \cdot l + W \cos \alpha \cdot n \cdot \tan \varphi + \sum Ti \cdot \sin(\alpha + i) - \sum Vi \cos(\alpha + i) \tan \varphi}{(W + Q) \sin \alpha - \sum Ti \cos(\alpha + i) - \sum Vi \sin(\alpha + i)}$$

$$= \frac{6,52 \cdot 31,09 + 12017,60 \cos 30^\circ \cdot \tan 18,30^\circ + (3588,35 \cdot \sin(30+20) - 10,56 \cos(30+20) \tan 18,30^\circ)}{12017,60 \sin 30^\circ - 3588,35 \cdot \cos(30+20) - (10,56 \cdot \sin(30+20))}$$

$$= 1,83 > 1,5 \text{ (Aman)}$$

- b. FS terhadap penggeseran

$$FS = \frac{c \cdot BL + (W + Pa \cdot \sin \beta) \tan \varphi}{Pa \cdot \cos \beta}$$

$$= \frac{6,52 \cdot 65,63 + (12017,60 + 3022,34 \times \sin 45^\circ) \tan 18,30^\circ}{3022,34 \times \cos 45^\circ}$$

$$= 1,60 > 1,5 \text{ (AMAN)}$$

- c. Menghitung koefisiensi tekanan lateral aktif

$$\sigma_h = (2 \times c \sqrt{Ka}) + (Ka \times \gamma \times z)$$

$$= (2 \times 6,52 \sqrt{0,47}) + (0,47 \times 14,29 \times 3,89)$$

$$= 35,07$$

- d. Menghitung angka keamanan terhadap cabut tulangan/pullout

$$F_{pi} = \frac{Q_u \times D \times \pi \times L_{e_i}}{\sigma_h \times S_v \times S_h}$$

$$F_{p1} = \frac{422,23 \times 0,1 \times \pi \times 7,14}{35,07 \times 1 \times 1}$$

$$= 12,00 > 1,5 \text{ (AMAN)}$$

- e. Menghitung angka aman terhadap putus tulangan

$$F_{ri} = \frac{0,25 \times \pi \times D^2 \times f_y}{1000}$$

$$F_{r1} = \frac{\sigma_h \times S_v \times S_h}{0,25 \times \pi \times 0,032^2 \times 520}$$

$$= \frac{35,07 \times 1 \times 1}{1000}$$

$$= 11,93 > 1,5 \text{ (AMAN)}$$

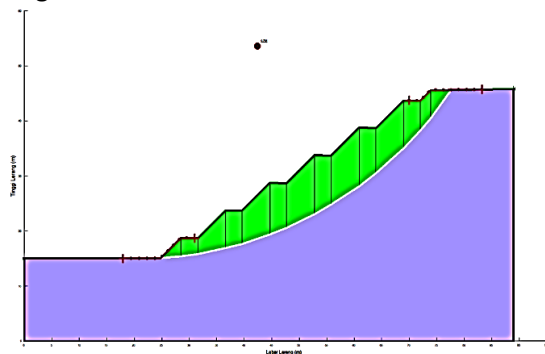
Tabel 10. Rekapitulasi perhitungan faktor keamanan *nail* sudut 20°

No. Nail	L	Li	Le	σ_h	Fpi	Fpi>1,5	Fri	Fr>1,5
	(m)	(m)	(m)					
1	15	3.89	7.14	35.07	12.00	Aman	11.93	Aman
2	18	5.49	8.10	45.81	10.42	Aman	9.13	Aman
3	20	7.45	7.95	58.98	7.95	Aman	7.09	Aman
4	20	8.95	7.28	69.05	6.22	Aman	6.06	Aman
5	20	10.43	6.68	78.99	4.99	Aman	5.29	Aman
6	25	12.31	9.78	91.62	6.29	Aman	4.56	Aman
7	25	14.15	7.99	103.98	4.53	Aman	4.02	Aman
8	25	15.55	7.61	113.38	3.96	Aman	3.69	Aman
9	30	16.93	12.29	122.65	5.91	Aman	3.41	Aman
10	30	18.68	10.79	134.40	4.73	Aman	3.11	Aman
11	35	20.38	14.39	145.82	5.82	Aman	2.87	Aman
12	35	21.67	14.34	154.48	5.47	Aman	2.71	Aman
13	35	22.94	14.36	163.01	5.19	Aman	2.57	Aman
14	35	24.52	13.31	173.62	4.52	Aman	2.41	Aman
15	40	26.06	17.41	183.97	5.58	Aman	2.27	Aman
16	40	27.21	17.77	191.69	5.47	Aman	2.18	Aman
17	40	28.32	18.24	199.15	5.40	Aman	2.10	Aman
18	40	29.69	17.83	208.35	5.05	Aman	2.01	Aman
19	40	30.97	17.66	216.94	4.80	Aman	1.93	Aman
20	40	31.90	18.66	223.19	4.93	Aman	1.87	Aman
21	45	32.76	24.88	228.97	6.41	Aman	1.83	Aman
22	45	33.73	25.64	170.13	8.88	Aman	2.46	Aman
23	45	34.44	26.87	240.25	6.59	Aman	1.74	Aman
24	45	34.86	29.97	243.07	7.27	Aman	1.72	Aman

(Sumber: Data perhitungan pribadi, 2025)

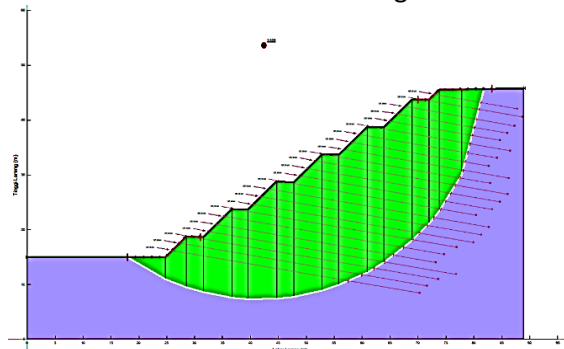
4.5 ANALISIS PERKUATAN LERENG SOIL NAILING MENGGUNAKAN GEOSLOPE

Setelah dilakukan perkuatan *soil nailing* pada lereng, hasil analisis pada lereng yang diberi perkuatan menunjukkan bahwa nilai dari faktor keamanan (FS) meningkat secara signifikan dan sudah memenuhi nilai minimum batas aman yang telah disyaratkan yaitu nilai $FS > 1,5$. *Nail* terbukti sangat mampu dalam menahan gaya geser dan dapat memperkuat massa tanah terhadap kegagalan lereng atau longsoran.



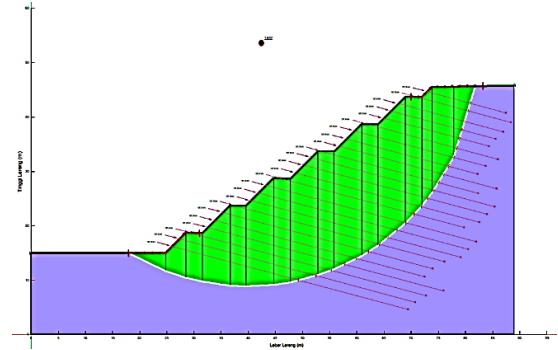
Gambar 12. FS sebelum perkuatan
(Sumber : Analisa pemodelan Geostudio, 2025)

Dari hasil analisis di atas dapat diketahui bahwa nilai faktor keamanan lereng eksisting atau lereng asli yang belum diberi perkuatan *soil nailing* dengan bantuan *Software Geostudio (Slope/W)* adalah sebesar $FS = 0,791$. Nilai FS tersebut kurang atau tidak memenuhi syarat kestabilan lereng dengan batas minimum yang telah ditetapkan yaitu sebesar $FS = 1,5$. Oleh karena itu, dibutuhkan perkuatan lereng menggunakan *Soil Nailing* guna meningkatkan nilai FS serta menstabilkan lereng.



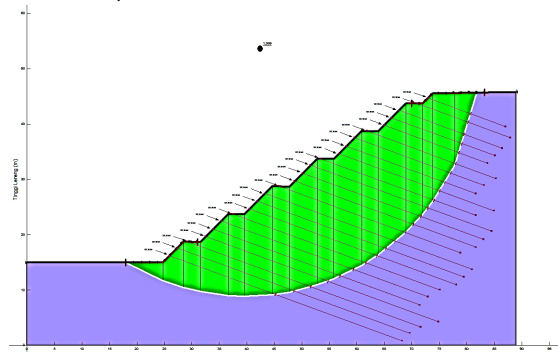
Gambar 13. FS dengan *soil nailing* sudut 10°
(Sumber : Dokumentasi Pribadi Geostudio, 2025)

Dari hasil proses analisis perkuatan *Soil Nailing* menggunakan *nail* sudut 10° dengan bantuan *Software Geoslope* dapat diketahui bahwa nilai faktor keamanan (FS) adalah sebesar 1,628.



Gambar 14. FS dengan *soil nailing* sudut 15°
(Sumber : Analisa Pemodelan Geostudio, 2025)

Dari hasil proses analisis perkuatan *Soil Nailing* menggunakan *nail* sudut 15° dengan bantuan *Software Geoslope* dapat diketahui bahwa nilai faktor keamanan (FS) adalah sebesar 1,617.



Gambar 15. FS dengan *soil nailing* sudut 20°
(Sumber : Analisa pemodelan Geostudio, 2025)

Dari hasil proses analisis perkuatan *Soil Nailing* menggunakan *nail* sudut 20° dengan bantuan *Software Geoslope* dapat diketahui bahwa nilai faktor keamanan (FS) adalah sebesar 1,599.

5. PENUTUP

5.1 KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian penelitian yang telah dilakukan terhadap kondisi lereng pada Sta. 38+475 dalam Proyek Pembangunan Jalan Tol Probolinggo-Banyuwangi, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil pengumpulan data skunder maupun primer serta pengujian

laboratorium menunjukkan bahwa karakteristik fisik dan geoteknik pada lereng terdiri dari lapisan tanah berjenis pasir berlanau atau campuran antara pasir dan lanau (SM). Tanah tersebut mengandung cukup banyak butiran pasir, kerikil atau campuran dari keduanya.

2. Berdasarkan hasil analisis stabilitas lereng terhadap faktor keamanan (FS) lereng menggunakan perhitungan manual metode *Bishop* dan menggunakan *software* Geostudio (*Slope/W*) didapatkan nilai faktor keamanan sebagai berikut :

- a. Nilai faktor keamanan (FS) pada lereng eksisting atau lereng dalam kondisi asli dianalisis menggunakan perhitungan manual yaitu $FS = 1,01$. Sedangkan nilai pada lereng eksisting yang dianalisis menggunakan *software* Geostudio (*Slope/W*) yaitu sebesar $FS = 0,79$.
- b. Nilai faktor keamanan (FS) pada lereng yang telah diberi perkuatan *soil nailing* dengan sudut kemiringan *nail* sebesar 10° dianalisis menggunakan perhitungan manual yaitu $FS = 1,52$. Sedangkan pada lereng yang telah diberi perkuatan *soil nailing* dengan sudut kemiringan *nail* sebesar 10° yang dianalisis menggunakan *software* Geostudio (*Slope/W*) yaitu $FS = 1,62$.
- c. Nilai faktor keamanan (FS) pada lereng yang telah diberi perkuatan *soil nailing* dengan sudut kemiringan *nail* sebesar 15° dianalisis menggunakan perhitungan manual yaitu $FS = 1,66$. Sedangkan pada lereng yang telah diberi perkuatan *soil nailing* dengan sudut kemiringan *nail* sebesar 15° yang dianalisis menggunakan *software* Geostudio (*Slope/W*) yaitu $FS = 1,61$.
- d. Nilai faktor keamanan (FS) pada lereng yang telah diberi perkuatan *soil nailing* dengan sudut kemiringan *nail* sebesar 20° dengan perhitungan manual yaitu $FS = 1,83$. Sedangkan pada lereng yang telah diberi perkuatan *soil nailing* dengan sudut kemiringan *nail* sebesar 20° yang dianalisis menggunakan *software* Geostudio yaitu $FS = 1,59$.

3. Berdasarkan hasil analisis stabilitas lereng dengan menggunakan perkuatan *soil nailing*, nilai faktor keamanan meningkat sangat signifikan hingga melewati batas nilai faktor keamanan lereng. Hal tersebut menunjukkan bahwa perkuatan lereng menggunakan *soil nailing* sangat efektif dalam meningkatkan stabilitas lereng.

5.2 SARAN

1. Penelitian berikutnya dapat mengkaji faktor eksternal terhadap stabilitas lereng seperti faktor gaya, getaran, tekanan air pori, kelembapan, iklim, curah hujan dan aktivitas manusia. Hal tersebut dapat digunakan untuk memprediksi potensi kegagalan yang lebih kompleks.
2. Penelitian selanjutnya dapat membandingkan efektivitas metode perkuatan lain dalam menganalisis stabilitas lereng untuk mendapatkan solusi yang paling tepat dan ekonomis sesuai dengan kondisi lapangan.
3. Penelitian selanjutnya dapat menggunakan *software* lain dalam menganalisis stabilitas lereng seperti *software* Plaxis, sehingga parameter yang dianalisis serta hasil yang didapatkan dapat berbeda atau bahkan lebih detail.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]Rakha Dhaneswara. "Analisis Stabilitas Lereng Ramp Jalan Tol Dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Geoslope (Studi Kasus Lereng Ramp Jalan Tol Cakung, Jakarta Timur)." Skripsi, Universitas Islam Indonesia. 2024. 16-49
- [2]Nasrul Amri, Dedy Dharmawansyah, dan Hermansyah. "Perbandingan Metode Bishop Dan Janbu Dalam Analisis Stabilitas Lereng Pada Oprit Jembatan Labu Sawo Sumbawa." Journal of Civil Engineering and Planning Vol 2, No.1. 2021. 21-23
- [3]Muthia Alya Rahmawati."Mengenal Tanah Longsor: Pengertian, Penyebab, Dampak dan Mitigasinya." Portal Berita. Mengenal Tanah Longsor: Pengertian, Penyebab, Dampak dan Mitigasinya (blog). 2023.[5]Albertus Willy P, Iswan, dan M.Jafri. "Korelasi Kuat Tekan dengan Kuat Geser pada Tanah Lempung yang

- Didistribusi dengan Variasi Campuran Pasir.” *JRSDD* Vol 3, No. 1. 2015. 157–70.
- [6]Umi Haryati. 2014. “Karakteristik Fisik Tanah Kawasan Budidaya Sayuran Dataran Tinggi, Hubungannya dengan Strategi Pengelolaan Lahan.” Vol 8, No. 2. 2014. 125–38.
- [7]Muhammad Agung Mulianto, Firdaus, Marwan Zam Mili, dan Irfan Ido. “Analisis Kestabilan Lereng Dengan Menggunakan Metode Bishop Pada Blok Pit Mutiara Blok Utara Pt. Manunggal Sarana Surya Pratama Desa Boenaga Kecamatan Lasolo Kepulauan Kabupaten Konawe Utara Provinsi Sulawesi Tenggara.” Vol 2, No 2. 2022. 3–5
- [8]Budi Santoso, Eko Noerhayati, dan Warsito. “Studi Alternatif Perkuatan Lereng Pada Sisi Pelimpah Bendungan Jlantah Kabupaten Karanganyar.” *Jurnal Rekayasa Sipil* Vol 13, No. 1. 2023. 345-351