

## **Pengaruh Variasi Sudut Kemiringan Instalasi Soil Nailing pada Perkuatan Lereng**

**Rafli Rizki Rafiansyah<sup>1</sup>, Rafli Aridzalrahman Resdiana<sup>2</sup>, Raihan Ardadinata<sup>3</sup>,  
Dheva Ferdinand Rizkyanto<sup>4</sup>, Agus Sulaeman<sup>5</sup>**  
<sup>1,2,3,4,5</sup> Program Studi Teknik Sipil, Universitas Jenderal Achmad Yani

### **ARTICLE INFO**

#### **Kata Kunci:**

stabilitas lereng, *soil nailing*, Plaxis 2D, faktor keamanan

#### **\*Correspondence email:**

raflirizki55@gmail.com,  
rafliaridzal@gmail.com,  
rardadinata@gmail.com,  
dhevaferdinand30@gmail.com,  
agussulaeman15042@gmail.com

**Submitted:** 16-06-2025

**Revised:** 27-07-2025

**Accepted:** 03-08-2025

**Published:** 06-08-2025

### **ABSTRAK**

Stabilitas lereng merupakan aspek penting dalam perencanaan dan pelaksanaan konstruksi di wilayah berkontur. Salah satu metode perkuatan lereng yang umum digunakan adalah *soil nailing*, yaitu pemasangan batang baja pasif yang berfungsi meningkatkan kestabilan lereng terhadap gaya lateral tanah. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi sudut pemasangan *soil nail* terhadap parameter stabilitas lereng dengan tiga variasi kemiringan lereng, yaitu 27°, 35°, dan 45°. Simulasi dilakukan menggunakan perangkat lunak PLAXIS 2D versi 2024, dengan variasi sudut pemasangan *soil nail* mulai dari 10° hingga 90°. Parameter yang dianalisis meliputi nilai faktor keamanan, deformasi pada lereng, tegangan efektif pada lereng, dan momen lentur pada elemen *nail*. Hasil simulasi menunjukkan bahwa sudut pemasangan yang lebih landai yaitu sekitar 10° hingga 25° memberikan hasil yang paling optimal, baik dari segi peningkatan faktor keamanan, pengurangan deformasi, distribusi tegangan yang stabil, maupun efisiensi struktural momen. Lereng dengan kemiringan 35° secara umum menghasilkan deformasi, tegangan, dan momen yang lebih tinggi dibanding lereng 27°, yang menunjukkan bahwa lereng curam memberikan beban internal yang lebih besar terhadap elemen perkuatan.

### **ABSTRACT**

#### **Keywords:**

slope stability, *soil nailing*, Plaxis 2D, Safety factor

*Slope stability is a critical aspect in the planning and implementation of construction projects in contoured or sloped areas. One commonly used reinforcement method is soil nailing, which involves the passive installation of steel bars to increase slope resistance against lateral earth pressure. This study aims to analyze the effect of nail installation angle variation on slope stability parameters under two slope conditions, namely 27°, 35° and 45°. The simulation was carried out using PLAXIS 2D version 2024, with nail angles ranging from 10° to 90°. The parameters analyzed include safety factor, maximum horizontal deformation, horizontal effective stress, and bending moment in the nail elements. The simulation results show that lower installation angles, around 10° to 25° provide the most optimal performance in terms of safety improvement, reduced deformation, stable stress distribution, and efficient structural response. The steeper slope (35°) generally produced higher deformation, stress, and bending moment values compared to the 27° slope, indicating that steeper slopes impose greater internal loads on the reinforcement system.*

### **PENDAHULUAN**

Salah satu bentuk topografi yang umum dijumpai di Indonesia adalah daerah berlereng, baik yang terbentuk secara alami melalui proses geologi, maupun akibat aktivitas manusia seperti penggalian dan pembangunan infrastruktur. Karakteristik lereng sangat bervariasi, tergantung pada jenis tanah, tingkat kemiringan, dan perbedaan elevasi. Lereng merupakan bidang morfologi dengan geometri tertentu yang mampu menahan beban yang bervariasi dan apabila kondisinya tidak stabil dapat menimbulkan risiko longsor (Khodijah et al., 2022). Dalam kondisi tertentu, lereng dapat mengalami ketidakstabilan yang berujung pada kegagalan atau kelongsoran. Kegagalan ini dapat dipicu oleh berbagai faktor, Menurut Hardiyatmo, (2003) kelongsoran lereng alam dapat terjadi dari beberapa hal yaitu penambahan beban pada lereng, penggalian atau pemotongan tanah pada kaki lereng, perubahan posisi muka air secara cepat, kenaikan tekanan lateral oleh air, penurunan tahanan geser tanah akibat kenaikan kadar air, dsb. Ketika tanah tidak mampu menahan tegangan geser yang terjadi, maka potensi longsor akan meningkat secara signifikan. Peristiwa ini tidak hanya berdampak pada keselamatan masyarakat, tetapi juga dapat menyebabkan kerusakan infrastruktur di sekitarnya. Oleh karena itu, upaya pencegahan terhadap kegagalan lereng menjadi hal yang sangat krusial (Muhammad Hafidz et al., 2025).

Analisis stabilitas lereng dengan mempertimbangkan parameter tanah menjadi penting, khususnya dalam menentukan nilai faktor keamanan (*safety factor*/SF). Nilai ini menunjukkan tingkat kemungkinan terjadinya kegagalan lereng (Putra et al., 2023). Melalui analisis tersebut, dapat ditentukan metode perkuatan lereng yang tepat dan efisien. Salah satu metode yang banyak digunakan untuk meningkatkan stabilitas lereng adalah *soil nailing*. Teknik ini dilakukan dengan menanamkan elemen struktural seperti batang baja ke dalam tanah, dengan tujuan meningkatkan daya tahan lereng terhadap gaya geser. Prinsip kerja *soil nailing* memanfaatkan tekanan pasif yang ditimbulkan akibat pergerakan tanah, sehingga menciptakan sistem penahan yang efektif (Lazarte, 2015). Efek dari soil nailing adalah untuk meningkatkan gaya normal pada bidang geser sehingga meningkatkan kuat tahan geser sepanjang bidang gelincir pada gesekan tanah dan mengurangi gaya sepanjang bidang gelincir baik untuk pergeseran tanah maupun kohesi tanah (Nabilla Ardhia Pramesti, 2023) Metode ini telah diterapkan secara luas dalam berbagai proyek teknik sipil, mulai dari stabilisasi lereng galian, perkuatan dinding tanah, hingga perlindungan terhadap potensi longsor (Ihtiyah Hermansyah a, 2023).

Beberapa penelitian sebelumnya telah menunjukkan bahwa *soil nailing* dapat secara signifikan meningkatkan stabilitas lereng, namun sebagian besar studi masih terbatas pada konfigurasi tunggal dengan sudut dan geometri yang konstan. Dalam penelitian ini, dilakukan analisis numerik terhadap pengaruh variasi sudut pemasangan *soil nail* terhadap faktor keamanan lereng pada beberapa kemiringan lereng, yaitu 27°, 35°, dan 45°, dengan pendekatan Metode Elemen Hingga menggunakan perangkat lunak PLAXIS 2D. Metode elemen hingga lebih unggul untuk membatasi metode keseimbangan batas karena kekuatan membentuk geometri yang kompleks dan rumit, kondisi air, serta banyak nilai parameter tanah yang harus diisikan kedalam software pemrograman agar bisa mempertimbangkan hubungan tegangan-regangan dari tanah (Pebriadi et al., 2025). Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas konfigurasi sudut pemasangan *soil nail* dalam meningkatkan stabilitas lereng, sehingga diharapkan dapat memberikan rekomendasi teknis yang lebih optimal dan aplikatif di lapangan.

### Tinjauan Pustaka

Lereng adalah permukaan tanah yang membentuk sudut tertentu terhadap bidang horisontal dan tidak terlindungi (Mahfuzh et al., 2024). Lereng membutuhkan perkuatan untuk mencegah kegagalan atau kelongsoran yang disebabkan oleh faktor manusia atau faktor kondisi alam. Perkuatan lereng berfungsi menjaga stabilitas dan meningkatkan faktor keamanan (*safety factor*) pada suatu lereng. Menurut SNI 8460:2017, faktor keamanan (*safety factor*/SF) digunakan untuk menilai kestabilan lereng, dengan nilai rekomendasi sebesar 1,5 untuk kondisi permanen dan 1,3 untuk kondisi sementara.

**Tabel 1. Rekomendasi Nilai Faktor Keamanan**

Kondisi Lereng	Rekomendasi Nilai Faktor Keamanan
Kondisi Permanen	1,5
Kondisi Sementara	1,3

Sumber: SNI 8460:2017

Berdasarkan SNI 8460:2017, *soil nailing* menggunakan batang baja (*nail bars*) yang ditanam ke dalam tanah melalui pengeboran atau pemancangan untuk meningkatkan kestabilan lereng. Komponen utama sistem ini terdiri dari batang baja (*nail bars*), pelat penahan (*nail head*), dan pengatur posisi (*centralizer*), yang dirancang untuk menahan deformasi dengan mengandalkan mobilisasi tekanan pasif. Pemodelan *soil nailing* secara numerik dapat dilakukan menggunakan perangkat lunak PLAXIS 2D, baik dengan elemen pelat (*plate*) maupun *embedded beam*, yang memerlukan parameter seperti kekakuan aksial (EA) dan jarak antar *nail* (s) (Azmi Aufa Iftikhar, 2024).

Sejumlah studi telah membuktikan efektivitas *soil nailing* dalam meningkatkan stabilitas lereng. Standyarto et al. (2023), menunjukkan bahwa *soil nail* bekerja efektif dalam stabilisasi galian dalam dengan kemiringan lereng yang curam. Wibowo et al. (2023), pada penelitiannya melaporkan terjadi peningkatan faktor keamanan pada lereng yang telah diberi perkuatan *soil nailing* hingga sudut pemasangan 20°

Namun demikian, sebagian besar penelitian terdahulu menggunakan konfigurasi sudut pemasangan yang tetap yaitu berkisar antara 10° hingga 25° dan hanya pada satu jenis kemiringan lereng. Studi ini bertujuan untuk mengisi kekosongan tersebut dengan menganalisis pengaruh variasi sudut pemasangan *soil nail* terhadap stabilitas lereng pada beberapa tingkat kemiringan menggunakan metode elemen hingga berbasis PLAXIS 2D.

### METODE

#### Data Penelitian

Penelitian ini menggunakan data sekunder yang diperoleh dari studi literatur dan referensi teknis terdahulu yang relevan. Data yang digunakan meliputi parameter tanah berupa berat isi tanah ( $\gamma$ ), kohesi (c), dan sudut geser dalam

( $\phi$ ) yang mewakili karakteristik tanah berbutir sedang di Indonesia, serta bersumber dari hasil uji laboratorium tanah yang telah dipublikasikan (Das, 2016; Bowles, 1997). Selain itu, data karakteristik *soil nail* yang digunakan, diadopsi dari spesifikasi teknis dalam dokumen FHWA GEC No. 7 (2003) mengenai desain sistem *soil nailing*. Seluruh data tersebut dianggap representatif untuk digunakan dalam simulasi numerik guna menganalisis pengaruh variasi sudut pemasangan *soil nail* terhadap faktor keamanan lereng.

**Parameter Tanah**

Data tanah yang digunakan sebagai imput material dalam pemodelan di Plaxis 2D. Parameter-Parameter tanah yang digunakan antara lain:

**Tabel 2. Parameter Input Tanah**

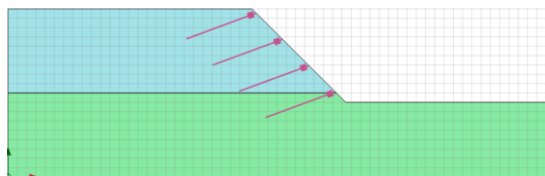
Parameter		Lapisan 1	Lapisan 2	Satuan
Material Model		Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	-
Type of Behaviour		Drained	Drained	-
Berat isi tanah basah	$\gamma_{sat}$	18	19	kN/m <sup>3</sup>
	$\gamma_{unsat}$	17	18	kN/m <sup>3</sup>
Kohesi	c	4	8	kPa
Sudut geser dalam	$\phi$	37	40	derajat
Modulus Elastisitas	E	15000	25000	kPa
Poisson's Ratio	$\nu$	0.25	0.23	-

Sumber : Principles of Foundation Engineering, (2016)

**Geometri Lereng**

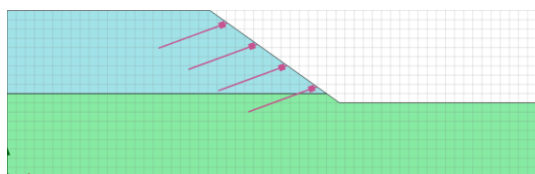
Geometri lereng yang dimodelkan pada penelitian ini dirancang untuk mempresentasikan kondisi umum lereng yang berpotensi mengalami kelongsoran. Adapun konfigurasi geometri lereng sebagai berikut :

- a. Tinggi lereng (H) : 10 meter
- b. Panjang lereng dasar : 40 meter
- c. Sudut Kemiringan lereng : 27°, 35°, 45°
- d. Panjang kaki Horizontal : 10 meter



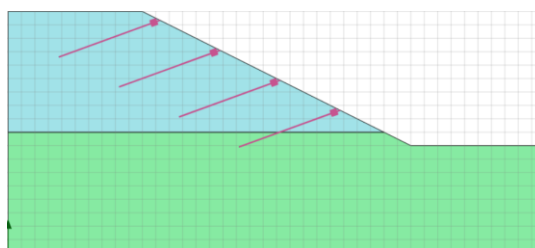
**Gambar 1. Lereng dengan sudut 45°**

Sumber : Data Olahan 2025



**Gambar 2. Lereng dengan sudut 35°**

Sumber : Data Olahan 2025



**Gambar 3. Lereng dengan sudut 27°**

Sumber : Data Olahan 2025

**Parameter Soil nailing**

*Soil nailing* dimodelkan menggunakan elemen batang (*beam element*) yang dimasukkan sebagai *embedded beam* pada media tanah. Adapun parameter *soil nailing* yang digunakan antara lain :

**Tabel 3. Parameter Input Soil nailing**

Parameter		Grout Body	Unit
Material Weight	$\gamma$	78	kN/m <sup>3</sup>
Modulus Elastisitas	E	210000000	kN/m <sup>3</sup>
Pile Type		Predefined	
Predifined Pile Type		Massive Circular	
Diameter		Pile	
Spacing	Lspacing	0.025	m
Axial Skin Resistance		1	m
Skin Resistance	Tskin,start,max	Linear	
Lateral Skin Resistance	Tskin,end,max	1000	kN/m
Base Interaction	Fmax	Unlimited	
		0	kN

Sumber : FHWA, (2015)

### Tahapan Penelitian

Penelitian ini diawali dengan tahap studi literatur dan pengumpulan data. Studi literatur dilakukan untuk memperoleh informasi mengenai parameter pemodelan yang sesuai pada *software* PLAXIS 2D, serta memahami teori-teori tentang pengaruh kemiringan dan panjang *soil nailing* terhadap stabilitas lereng. Secara paralel, dilakukan juga pengumpulan data lapangan yang mencakup data tanah dan data teknis mengenai *soil nailing*.

Selanjutnya, data yang diperoleh diolah untuk menghasilkan parameter input yang diperlukan dalam proses analisis. Tahap berikutnya adalah melakukan pemodelan stabilitas lereng menggunakan *software* PLAXIS 2D, dengan memvariasikan sudut kemiringan lereng dan sudut pemasangan *soil nailing*.

Hasil dari pemodelan dianalisis untuk mengetahui pengaruh konfigurasi geometri dan perkuatan terhadap nilai faktor keamanan (*safety factor*) lereng. Nilai faktor keamanan yang diperoleh kemudian dibandingkan dengan nilai minimum yang disyaratkan oleh Standar Nasional Indonesia (SNI).

Penelitian ini ditutup dengan penyusunan kesimpulan dan saran, yang disusun berdasarkan hasil analisis dan interpretasi data. Secara khusus, nilai faktor keamanan dikorelasikan dengan variasi konfigurasi kemiringan lereng dan sudut pemasangan *soil nailing* untuk mengetahui kombinasi geometri yang paling optimal dalam meningkatkan stabilitas lereng.

### HASIL

#### Panjang Minimum Soil nailing

Perhitungan dilakukan berdasarkan pendekatan empiris yang mempertimbangkan geometri lereng, sifat tanah, dan interaksi tanah dengan *nail* sebagai berikut :

$$L = \frac{(H+z)}{\tan(45+2\phi')} + \frac{FSp \cdot Ka \cdot Sv \cdot SH}{2w \cdot \tan(\phi\mu)}$$

$$= \frac{(10+2)}{\tan(45+2(37^\circ))} + \frac{3 \cdot 0.217 \cdot 1 \cdot 1}{2(1) \cdot \tan(20^\circ)}$$

$$= 4.45 \text{ m}$$

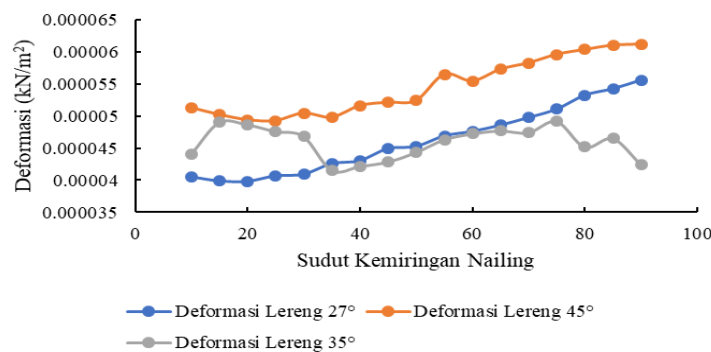
Sehingga didapat panjang minimum *soil nail* sepanjang 4.45 meter, dalam penelitian ini digunakan *soil nail* sepanjang 8 meter yang dimana panjang *soil nail* yang digunakan dalam penelitian sudah memenuhi panjang minimum.

#### Deformasi Pada Lereng

Analisis lereng dengan perkuatan *nail* menggunakan program PLAXIS 2024 telah dilakukan dengan berbagai macam variasi sudut *nail* yang telah direncanakan, sehingga diperoleh nilai deformasi pada lereng sebagai berikut:

**Tabel 4. Deformasi Pada Setiap Sudut Pemasangan**

Deformasi Lereng 27°		Deformasi Lereng 35°		Deformasi Lereng 45°	
Derajat Nailing	Deformasi (m)	Derajat Nailing	Deformasi (m)	Derajat Nailing	Deformasi (m)
10	0.00004053	10	0.0000513	10	0.00004401
15	0.00003987	15	0.00005022	15	0.00004901
20	0.00003981	20	0.00004941	20	0.00004868
25	0.00004067	25	0.00004927	25	0.00004761
30	0.00004091	30	0.00005045	30	0.00004684
35	0.00004257	35	0.0000498	35	0.00004152
40	0.00004303	40	0.00005161	40	0.00004213
45	0.00004492	45	0.00005212	45	0.00004284
50	0.00004525	50	0.0000524	50	0.00004432
55	0.0000469	55	0.00005648	55	0.00004632
60	0.0000476	60	0.00005545	60	0.00004725
65	0.00004856	65	0.00005729	65	0.00004771
70	0.00004976	70	0.00005827	70	0.00004743
75	0.00005107	75	0.0000596	75	0.00004919
80	0.00005324	80	0.00006035	80	0.00004516
85	0.00005425	85	0.00006102	85	0.0000465
90	0.00005561	90	0.00006119	90	0.0000424



**Gambar 4. Grafik Hasil Deformasi Soil nailing**

Sumber : Data Olahan 2025

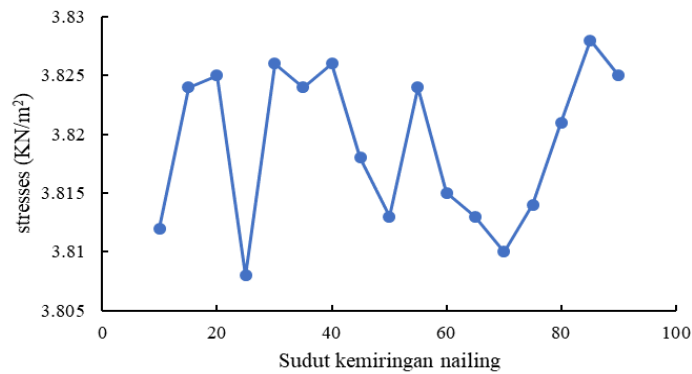
Hasil simulasi menunjukkan bahwa sudut kemiringan *soil nail* berpengaruh signifikan terhadap besarnya perpindahan lateral yang terjadi pada lereng. Grafik deformasi terhadap sudut pemasangan *soil nail* pada lereng dengan kemiringan 27°, 35°, dan 45° menunjukkan kecenderungan umum berupa peningkatan deformasi seiring bertambahnya sudut *nailing* dari 10° hingga 90°. Secara umum, semakin besar sudut pemasangan *nail*, semakin besar pula deformasi yang terjadi. Sebaliknya, konfigurasi sudut *nailing* yang lebih landai terbukti lebih efektif dalam membatasi deformasi lateral, khususnya pada lereng dengan kemiringan sedang hingga tinggi. Pola ini konsisten dengan prinsip bahwa kontribusi gaya tahan soil nail terhadap gaya geser akan maksimal ketika sudut pemasangan memungkinkan elemen nail memotong bidang keruntuhan secara optimal.

**Tegangan Pada Lereng**

Analisis lereng dengan perkuatan *nail* menggunakan program PLAXIS 2024 telah dilakukan pada dua variasi kemiringan, yaitu 27°, 35°, dan 45° sehingga diperoleh nilai tegangan pada lereng sebagai berikut :

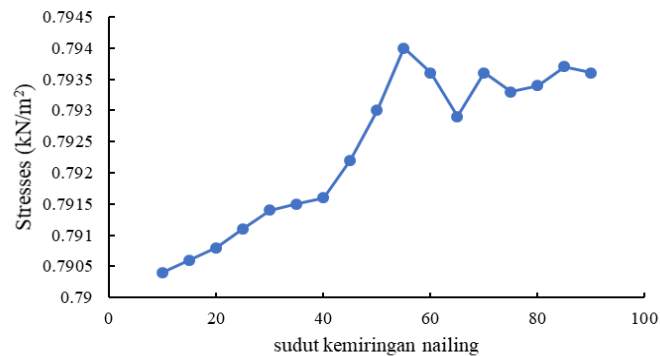
**Tabel 5. Tegangan Efektif Pada Lereng**

Stresses Lereng 27°		Stresses Lereng 35°		Stresses Lereng 45°	
Derajat Nailing	Stresses kN/m <sup>2</sup>	Derajat Nailing	Stresses kN/m <sup>2</sup>	Derajat Nailing	Stresses kN/m <sup>2</sup>
10	3.812	10	0.7904	10	1.211
15	3.824	15	0.7906	15	1.212
20	3.825	20	0.7908	20	1.213
25	3.808	25	0.7911	25	1.214
30	3.826	30	0.7914	30	1.213
35	3.824	35	0.7915	35	1.209
40	3.826	40	0.7916	40	1.208
45	3.818	45	0.7922	45	1.209
50	3.813	50	0.793	50	1.210
55	3.824	55	0.794	55	1.212
60	3.815	60	0.7936	60	1.214
65	3.813	65	0.7929	65	1.213
70	3.81	70	0.7936	70	1.214
75	3.814	75	0.7933	75	1.216
80	3.821	80	0.7934	80	1.214
85	3.828	85	0.7937	85	1.207
90	3.825	90	0.7936	90	1.210



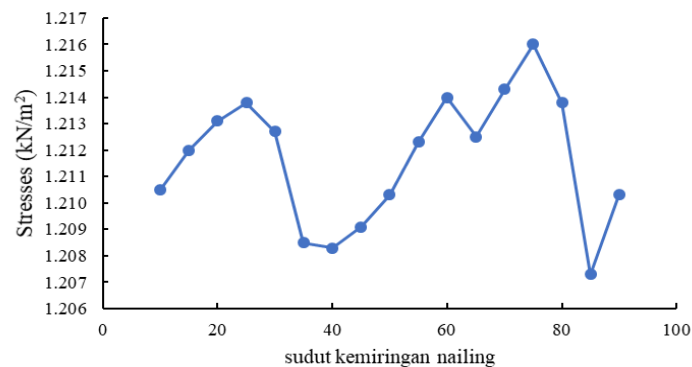
Gambar 5. Grafik Tegangan Pada Lereng 27°

Sumber : Data Olahan 2025



Gambar 6. Grafik Tegangan Pada Lereng 35°

Sumber : Data Olahan 2025



Gambar 7. Grafik Tegangan Pada Lereng 45°

Sumber : Data Olahan 2025

Hasil analisis distribusi tegangan pada tubuh lereng menunjukkan bahwa besarnya tegangan dipengaruhi oleh kombinasi sudut kemiringan lereng dan konfigurasi *soil nailing*. Pada lereng dengan kemiringan 27°, nilai tegangan maksimum relatif stabil, berkisaran 3,828 kN/m<sup>2</sup>, dan menunjukkan peningkatan tajam pada sudut *nailing* tertentu, yaitu 30°, yang bertepatan dengan respon kritis tanah terhadap perkuatan. Lereng dengan kemiringan 35° menunjukkan distribusi tegangan yang cenderung konstan dan relatif rendah, berada di kisaran 0,7554–0,7962 kN/m<sup>2</sup>, yang mengindikasikan interaksi tanah–*nail* yang lebih merata dan stabil. Sebaliknya, pada lereng 45°, tegangan maksimum lebih besar, mencapai 1,903 kN/m<sup>2</sup> pada sudut *nailing* 15°, lalu menurun secara bertahap di kisaran 1,2 kN/m<sup>2</sup> pada sudut-sudut berikutnya. Pola ini menunjukkan bahwa semakin curam lereng, semakin besar gaya yang harus ditahan oleh massa tanah, namun efektivitas *soil nailing* dalam mendistribusikan tegangan tetap terlihat signifikan pada sudut pemasangan tertentu. Hal ini menegaskan pentingnya optimalisasi konfigurasi *nailing* untuk meminimalkan konsentrasi tegangan yang dapat memicu kegagalan lereng.

**Momen Pada Nailing**

Analisis lereng dengan perkuatan *nail* menggunakan program PLAXIS 2024 telah dilakukan pada dua variasi kemiringan, yaitu 27°, 35°, dan 45° sehingga diperoleh nilai momen lentur sebagai berikut :

**Tabel 6. Rekapitulasi Momen Nailing Pada Sudut 27°**

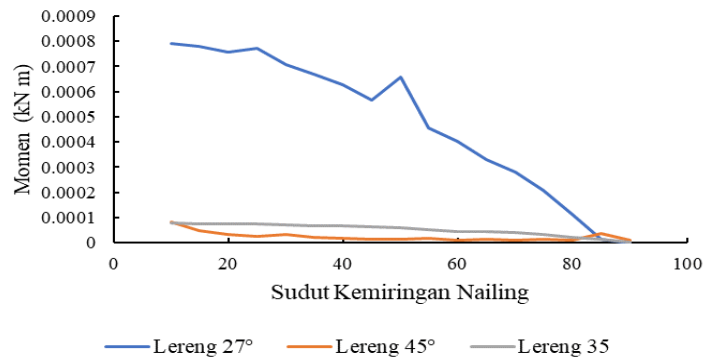
Momen Lereng 27°				
Derajat Nailing	Momen (kN m)			
	Nail 1	Nail 2	Nail 3	Nail 4
10	0.00007957	0.00007924	0.00007986	0.00007885
15	0.00007839	0.00007883	0.00007938	0.00007834
20	0.00007679	0.0000768	0.00007801	0.00007221
25	0.00007418	0.00007455	0.00007514	0.00007414
30	0.0007068	0.000708	0.000711	0.0007144
35	0.0006677	0.0006717	0.0006723	0.0006741
40	0.000627	0.0006229	0.000627	0.0006385
45	0.0005659	0.0005641	0.0005695	0.0005669
50	0.000656	0.0006599	0.0006698	0.0006663
55	0.0004575	0.0004756	0.0004793	0.0004556
60	0.0004007	0.0004091	0.0004192	0.0003971
65	0.0003299	0.0003338	0.0003353	0.0003262
70	0.0002787	0.0002782	0.000259	0.0002515
75	0.0002081	0.0001829	0.0001952	0.0001724
80	0.0001124	0.0001175	0.0001135	0.0001063
85	0.00001506	0.00001503	0.00001528	1.725E-10
90	1.071E-07	1.081E-07	1.024E-07	7.662E-16

**Tabel 7. Rekapitulasi Momen Nailing Pada Sudut 35°**

Momen Lereng 35°				
Derajat Nailing	Momen (kN m)			
	Nail 1	Nail 2	Nail 3	Nail 4
10	0.00007771	0.0000772	0.00007648	0.0000784
15	0.0000764	0.00007616	0.00007629	0.0000778
20	0.00007641	0.00007445	0.00007398	0.00007577
25	0.00007345	0.00007265	0.00007264	0.00007396
30	0.00007137	0.00006974	0.00007001	0.0000709
35	0.00006781	0.00006505	0.00006486	0.0000688
40	0.00006647	0.00005881	0.00006017	0.00006115
45	0.00006394	0.00005429	0.00005623	0.00005377
50	0.00005889	0.00004627	0.00004608	0.00004915
55	0.0000509	0.00004314	0.00004212	0.000044
60	0.00004609	0.00003878	0.0000379	0.00003643
65	0.00004609	0.00003878	0.0000379	0.00003643
70	0.00004001	0.00003252	0.0000328	0.00003288
75	0.00003224	0.00002646	0.0000257	0.00002538
80	0.00002279	0.00001955	0.00001953	0.00001863
85	0.00001571	0.00001062	0.00001224	0.0000115
90	8.319E-07	9.178E-08	2.712E-07	1.532E-07

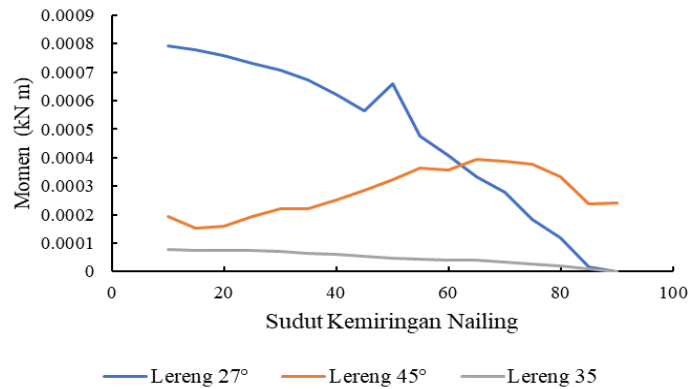
**Tabel 8. Rekapitulasi Momen Nailing Pada Sudut 45°**

Momen Lereng 45°				
Derajat Nailing	Momen (kN m)			
	Nail 1	Nail 2	Nail 3	Nail 4
10	0.00008336	0.0001612	0.00009625	0.00008589
15	0.00004813	0.0001588	0.00008925	0.0000837
20	0.00003592	0.0001524	0.00008645	0.00008084
25	0.00002044	0.0001975	0.00008304	0.00007848
30	0.00003172	0.0002195	0.00008012	0.00007484
35	0.00002277	0.0002216	0.00007666	0.00007037
40	0.00001755	0.0002526	0.00007221	0.00006566
45	0.0000135	0.0002847	0.00006731	0.00006045
50	0.00001265	0.0003242	0.00006131	0.00005374
55	0.00001598	0.0003635	0.0000562	0.00004854
60	0.00001159	0.0003574	0.00002791	0.00004214
65	0.00001322	0.0003953	0.00004193	0.00003473
70	0.00001028	0.0003859	0.00003474	0.00002698
75	0.00001274	0.0003773	0.00003743	0.00002003
80	0.00001081	0.0003317	0.00003672	0.0000145
85	0.00003573	0.0002387	0.0000212	0.000007388
90	0.00000937	0.0002425	0.00004447	0.000004278



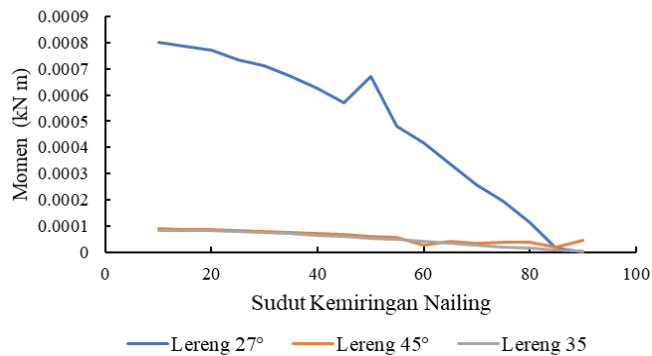
**Gambar 8. Grafik Momen Nailing 1**

Sumber : Data Olahan 2025



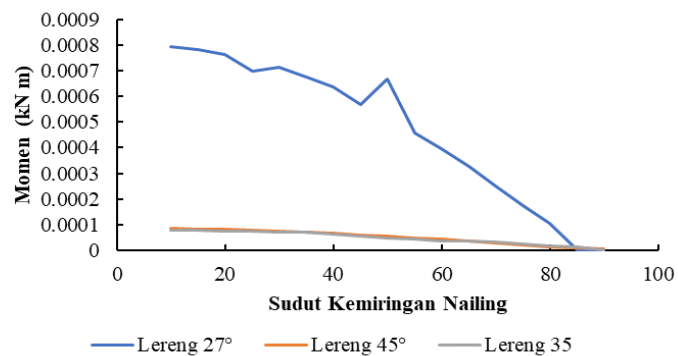
**Gambar 9. Grafik Momen Nailing 2**

Sumber : Data Olahan 2025



**Gambar 10. Grafik Momen Nailing 3**

Sumber : Data Olahan 2025



**Gambar 11. Grafik Momen Nailing 4**

Sumber : Data Olahan 2025

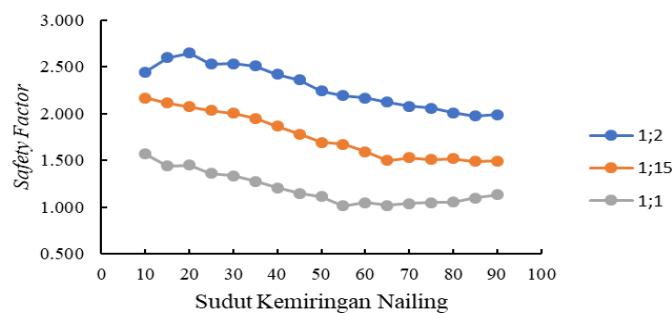
Analisis terhadap distribusi momen lentur pada elemen *soil nail* menunjukkan bahwa besar momen dipengaruhi oleh interaksi antara geometri lereng dan konfigurasi sudut penanaman *nail*. Pada lereng dengan kemiringan 27°, momen tertinggi terjadi pada sudut *nailing* 30°, yaitu mencapai sekitar 0,000711 kNm pada elemen *nail* 3, yang menunjukkan adanya konsentrasi gaya lentur maksimum pada konfigurasi tersebut. Setelah sudut tersebut, nilai momen cenderung menurun seiring meningkatnya sudut *nail*, mengindikasikan pelemahan interaksi lateral antara tanah dan elemen perkuatan. Untuk lereng 45°, momen terbesar juga terjadi pada elemen *nail* 2, dengan nilai mencapai 0,0003953 kNm pada sudut *nailing* 65°, namun dengan tren fluktuatif dan nilai yang relatif lebih tinggi dibandingkan kemiringan lainnya. Sebaliknya, pada lereng 35°, momen cenderung lebih kecil dan menurun secara konsisten seiring bertambahnya sudut *nailing*, menandakan kondisi interaksi tanah-*nail* yang lebih stabil dan seragam. Secara keseluruhan, puncak momen umumnya muncul pada elemen tengah (*Nail* 2 atau *Nail* 3), menandakan bahwa bagian tengah *nail* merupakan titik kritis struktur yang paling banyak menerima beban lentur, sehingga desain perkuatan sebaiknya mengakomodasi peningkatan kapasitas lentur pada titik-titik tersebut.

**Perbandingan Faktor Keamanan Lereng dengan Soil nailing**

Analisis lereng dengan perkuatan *nail* menggunakan program PLAXIS 2024 telah dilakukan dengan berbagai macam variasi sudut *nail* yang telah direncanakan, sehingga diperoleh nilai *safety factor* sebagai berikut:

**Tabel 9. Rekapitulasi Safety Factor**

Lereng 27°			Lereng 35°			Lereng 45°		
Derajat Nailing	SAFETY FACTOR		Derajat Nailing	SAFETY FACTOR		Derajat Nailing	SAFETY FACTOR	
	FS 1	FS NS		FS 1	FS NS		FS 1	FS NS
10	1.195	2.446	10	1.469	2.171	10	1.057	1.569
15	1.195	2.600	15	1.397	2.115	15	1.041	1.441
20	1.195	2.648	20	1.431	2.075	20	1.023	1.450
25	1.195	2.533	25	1.445	2.033	25	1.042	1.360
30	1.195	2.538	30	1.406	2.007	30	1.012	1.338
35	1.195	2.512	35	1.429	1.951	35	1.049	1.279
40	1.195	2.423	40	1.446	1.868	40	1.03	1.207
45	1.195	2.361	45	1.413	1.782	45	1.037	1.148
50	1.195	2.241	50	1.453	1.694	50	1.039	1.112
55	1.195	2.193	55	1.414	1.672	55	1.007	1.016
60	1.195	2.167	60	1.47	1.596	60	1.031	1.047
65	1.195	2.126	65	1.449	1.502	65	1.015	1.019
70	1.195	2.08	70	1.434	1.527	70	1.016	1.040
75	1.195	2.058	75	1.427	1.51	75	1.022	1.051
80	1.195	2.01	80	1.437	1.519	80	1.044	1.054
85	1.195	1.977	85	1.451	1.491	85	1.062	1.098
90	1.195	1.988	90	1.434	1.496	90	1.05	1.131



**Gambar 12. Perbandingan Sudut Pemasangan Nilai FK**

Sumber : Data Olahan 2025

Hasil analisis menunjukkan bahwa sudut kemiringan *soil nail* berpengaruh signifikan terhadap nilai faktor keamanan (*safety factor*) pada berbagai konfigurasi lereng. Grafik perbandingan faktor keamanan terhadap variasi sudut *nailing* pada tiga kemiringan lereng, yaitu 1:2, 1:1.5, dan 1:1, memperlihatkan pola penurunan nilai faktor keamanan seiring meningkatnya sudut pemasangan *nail* dari 10° hingga 90°. Secara umum, tren dari ketiga konfigurasi kemiringan lereng menunjukkan bahwa sudut *nailing* yang lebih landai, terutama pada kisaran 10° hingga 25°, memberikan performa perkuatan yang paling optimal. Hal ini disebabkan oleh posisi *nail* yang mampu memotong bidang keruntuhan secara efektif, sehingga menahan gaya geser dengan lebih efisien. Sebaliknya, sudut *nail* yang terlalu besar menjadi kurang efektif karena orientasinya semakin sejajar terhadap arah gaya geser, yang dapat mengurangi kontribusinya dalam menahan pergerakan tanah.

## SIMPULAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan mengenai pengaruh sudut kemiringan soil nailing terhadap stabilitas lereng, diperoleh beberapa kesimpulan penting. Pertama, sudut pemasangan soil nail terbukti memengaruhi tingkat stabilitas lereng secara signifikan. Pemasangan dengan sudut yang lebih landai, berkisar antara 10° hingga 25°, menghasilkan nilai faktor keamanan yang lebih tinggi dibandingkan dengan sudut yang lebih curam. Kedua, nilai deformasi pada lereng menunjukkan kecenderungan meningkat seiring bertambahnya sudut pemasangan soil nail. Hal ini disebabkan oleh menurunnya efektivitas elemen nail dalam menahan gaya lateral ketika dipasang pada sudut yang terlalu besar, sehingga menyebabkan pergerakan lereng menjadi lebih besar. Ketiga, berdasarkan analisis numerik yang telah dilakukan, sudut pemasangan antara 10° hingga 25° dinilai sebagai konfigurasi paling optimal. Rentang sudut ini memberikan kombinasi terbaik antara peningkatan stabilitas lereng, deformasi yang minimum, tegangan yang terkendali, serta kontribusi struktural yang efektif dari soil nail terhadap keseluruhan sistem penahan tanah.

## DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standardisasi Nasional Standar Nasional Indonesia Persyaratan perancangan geoteknik. (2017). [www.bsn.go.id](http://www.bsn.go.id)
- Azmi Aufa Iftikhar. (2024). *ANALISIS STABILITAS LERENG DENGAN PERKUATAN SOIL NAILING MENGGUNAKAN PROGRAM PLAXIS 2D V20 (Studi Kasus : Tebing Cibereum, Kabupaten Cianjur) (ANALYSIS OF SLOPE STABILITY WITH SOIL NAILING USING PLAXIS 2D V20 PROGRAM) (Case Study Cibereum Cliff, Cianjur Regency)*.
- Fhwa. (2015). *Soil Nail Walls Reference Manual Developed following: AASHTO LRFD Bridge Design Specifications, 7 th Edition*.
- Hardiyatmo, H. C. (2003). Mekanika tanah I edisi 3. *Gadjah Mada University*.
- Ihtiyani Hermansyah a, \*, Dikpride Despa b, Trisya Septiana c. (2023). PERENCANAAN PERKUATAN LERENG DENGAN PEMAKUAN TANAH (SOIL NAILING) SEBAGAI SOLUSI DALAM PENANGANAN TANAH LONGSOR. *Jurnal Profesi Insinyur Universitas Lampung*.
- Khodijah, S., Sonya Monica, U., Eryari, J., Khoirullah, N., & Sophian, R. I. (2022). *ANALISIS KESTABILAN LERENG MENGGUNAKAN METODE KESETIMBANGAN BATAS DALAM KONDISI STATIS DAN DINAMIS PADA PIT X, TANJUNG ENIM, SUMATRA SELATAN*.
- Lazarte, C. A. ; R. H. ; G. J. E. ; B. A. ; C. A. ; B. R. R. (2015). *Soil Nail Walls Reference Manual Developed following: AASHTO LRFD Bridge Design Specifications, 7 th Edition*.
- Mahfuzh, A. S., Kamal, A. A., Ferdiansyah, A., Hidayat, A. R., Kurniawan Siregar, A., Niken, D., Surjandari, S., Sitasi, C., Mahfuzh, A. S., Kamal, A. A., Ferdiansyah, A., Hidayat, A. R., Siregar, A. K., Surjandari, N. S., Metode, ", & Di, P. L. (2024). *METODE PERKUATAN LERENG DI INDONESIA: SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW SLOPE REINFORCEMENT METHODS IN INDONESIA: SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW*. 9(2), 183–188. <https://doi.org/10.33579/krvtk.v9i1.5366>
- Muhammad Hafidz, Revia Oktaviani, Tommy Trides, & Albertus Juvensius. (2025). Analisis Stabilitas Lereng dan Penanganan Longsor dengan Dinding Penahan di Palaran, Samarinda. *Globe: Publikasi Ilmu Teknik, Teknologi Kebumihan, Ilmu Perkapalan*, 3(2), 177–186. <https://doi.org/10.61132/globe.v3i2.824>
- Nabilla Ardhia Pramesti. (2023). *PERKUATAN LERENG MENGGUNAKAN METODE SOIL NAILING DENGAN MATERIAL GEOBRUGG (Studi Kasus : Bendungan Cacaban, Kabupaten Tegal, Jawa Tengah)*.
- Pebriadi, M., Azanna, D. O., Suhendra, S., & Fadlan, F. (2025). Studi Perkuatan Lereng Menggunakan Bronjong pada Sungai Batang Tabir Kabupaten Tebo. *Jurnal Talenta Sipil*, 8(1), 409. <https://doi.org/10.33087/talentsipil.v8i1.862>
- Braja M. Das. (2016). *Principles of Foundation Engineering*.
- Putra, R., Alfred, D., & Susilo, J. (2023). STUDI KASUS KEAMANAN LERENG AKIBAT GALIAN DI PROYEK X CIAWI-BOGOR. In *Agustus* (Vol. 6, Issue 3).
- Standiyarto, A., Prayitno, A., & Prayitno, D. (2023). STABILISASI LERENG DENGAN APLIKASI SOIL NAILING PADA AREA GALIAN DALAM DAN KEMIRINGAN CURAMSLOPE STABILIZATION WITH SOIL NAILING APPLICATION IN DEEP EXCAVATION AND STEEP ELEVATIO. *Jurnal Jalan Jembatan*, 40, 104–113. <https://doi.org/10.58499/jatan.v40i2.1193>
- Wibowo, H. A., Pratikso, P., & Sumirin, S. (2023). Pengaruh Sudut Pemasangan Nail Terhadap Stabilisasi Lereng Metode Soil Nailing Di Ruas Jalan Giriwoyo-Glonggong. *Teknika*, 18(1), 1–11. <https://doi.org/10.26623/teknika.v18i1.5483>