

Analisis perkuatan lereng pada tanah longsor di ruas Jalan Gripit – Kalibening, Banjarnegara, Jawa Tengah

Naufal Arkan¹, Anisa Nur Amalia^{1,*}

¹Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta, Indonesia

Article Info

Available online

Keywords:

Slope stability
Groundwater control
Soil nailing
PLAXIS 2D

Corresponding Author:

Anisa Nur Amalina
Anisa.amalina@uii.ac.id

Abstract

Banjarnegara Regency is characterized by hilly terrain and steep slopes, making it highly susceptible to landslides. Approximately 37.04% of the regency lies at elevations between 100 and 1,000 m above sea level within the mountainous region of western Central Java (Baperlitbang Banjarnegara, 2023). High landslide occurrence is associated with steep topography, permeable geological formations, and intense rainfall. This study Investigated a landslide along the Gripit–Kalibening road section in Bendawuluh Hamlet, Beji Village, Banjarmangu District, where ground movement caused roadway settlement of approximately 1 m. The slope consists of highly weathered rock and contains a continuous spring without adequate drainage, increasing the risk of failure. Slope stability was analyzed using PLAXIS 2D and GeoStudio (SLOPE/W) to evaluate Factor of safety (FS), soil condition, and deformation characteristics.. Field and laboratory investigations classified the soil as CH according to the Unified Soil Classification System (USCS). Geoelectrical survey results indicated saturated subsurface conditions and identified a hard breccia layer that may act as a potential slip surface. The existing slope yielded FS values of 1.046 in PLAXIS 2D and 1.029 in SLOPE/W, both below the recommended criterion ($FS < 1.5$). Because the calculated $FS < 1.5$, mitigation measures are needed, Two mitigation methods were assessed: soil nailing designed according to SNI 8460:2017 and groundwater table lowering through subsurface drainage. Soil nailing increased the FS to 1.578, satisfying the stability requirement, whereas groundwater table lowering by 7 m increased the SF to 1.470. The results indicate that soil nailing provides greater improvement in slope stability than groundwater control, although implementation constraints should be considered.

Copyright © 2026 Universitas Islam Indonesia
All rights reserved

Pendahuluan

Indonesia merupakan negara dengan potensi longsor yang tinggi, menurut BPBD Kabupaten Banjarnegara terdapat > 100 kejadian longsor di Banjarnegara, hal ini bisa terjadi

dikarenakan kondisi tektonik yang membentuk banyak dataran tinggi, patahan, batuan vulkanik ydan didorong dengan kondisi iklim di Indonesia yang merupakan tropis (Naryanto, 2017).

Tanah longsor adalah suatu gerakan berpindahnya material berupa batuan, puing – puing, tanah atau campuran dari semuanya, yang bergerak ke arah yang lebih rendah atau keluar dari lereng tersebut. Prosesnya dimulai ketika air meresap ke dalam tanah lalu tanah akan bertambah bobotnya. Jika air tersebut menembus hingga lapisan tanah yang kedap air dimana lapisan itu menjadi bidang gelincir tanah, maka tanah menjadi licin dan material di atasnya akan bergerak mengikuti lereng dan keluar lereng (BPSDMD JATENG, 2025).

Menurut Baperlitbang Banjarnegara (2023), Kabupaten Banjarnegara berada di jalur pegunungan di bagian tengah Provinsi Jawa Tengah sisi barat yang terbentang dari arah barat ke timur dan wilayah Kabupaten Banjarnegara sekitar (37,04%) berada pada ketinggian antara 100 – 1000 mdpl. Hal tersebut juga menjadi salah satu alasan mengapa banyak terjadi kasus longsor di Kabupaten Banjarnegara. Menurut Kementerian ESDM (2014), ada 3 faktor yang menyebabkan seringnya terjadi longsor di Kabupaten Banjarnegara yaitu, morfologi daerah yang secara umum merupakan perbukitan dengan kemiringan landai (8-15%) hingga terjal (>45%), litologi yang diperkirakan yang bersifat tinggi peresapan air, curah hujan yang tinggi sekitar 320 mm/tahun yang menyebabkan terjadinya pelapukan terhadap material lereng.

Penelitian ini membahas salah satu fenomena longsor yang terjadi di Kabupaten Banjarnegara tepatnya pada ruas jalan Gripit – Kalibening, Bendawuluh, Beji, Kecamatan Banjarnegara. Pada ruas jalan Gripit – Kalibening dusun Bendawuluh terjadi pergerakan tanah yang menyebabkan ambles ± 1 meter. Kondisi batuan pada lereng yang sudah lapuk yang

cukup parah dan juga adanya mata air di lokasi longsor yang mengalir tanpa henti tanpa adanya drainase yang memadai sehingga gaya geser pada lereng tersebut tentu akan meningkat (Rifa'i dkk.,2019). Belum adanya upaya penanganan longsor yang tepat di lokasi tersebut menyebabkan pergerakan tanah masih terus terjadi hingga saat ini, menurut hasil wawancara yang dilakukan dengan Dinas PUPR Banjarnegara pergerakan tanah telah terjadi sebelum tahun 2010, namun dimulainya penelitian pada lokasi tersebut tahun 2012. Maka dari itu diperlukan analisis terhadap usaha peningkatan stabilitas lereng untuk menangani pergerakan tanah yang terus terjadi.

Metode Penelitian

Lokasi penelitian

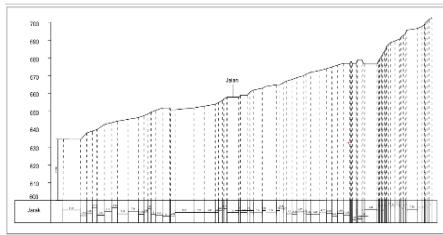
Penelitian berlokasi di Dusun Bendawuluh, Desa Beji, Kecamatan Banjarnegara, Kabupaten Banjarnegara, Provinsi Jawa Tengah, dengan koordinat garis lintang : 109,676866, garis bujur : -7,313283 dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Lokasi Penelitian
(Sumber: Google Earth)

Data penelitian

Penelitian ini menggunakan lereng yang terbagi menjadi dua bagian yaitu lereng di atas jalan dan lereng dibawah jalan, untuk lereng diatas jalan memiliki tinggi 45 m dengan kemiringan lereng 25° dan lereng bawah memiliki tinggi 24 m dengan kemiringan lereng 25° yang dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Potongan Melintang Lereng

Data parameter tanah yang digunakan merupakan data sekunder yang merupakan hasil uji lab dapat dilihat pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Parameter Tanah

No	Parameter	Lapis 1	Lapis 2	Lapis 3
1	Berat jenis	2,47	2,34	-
2	Kadar air	39,63	44,35	%
3	Batas cair (LLoven)	59	50	%
4	Batas plastis	27	15	%
5	Batas susut	1,41	1,37	%
6	Kepadatan lapangan	1,586	1,551	gr/cm ³
7	Permeabilitas	1,18e-0,8	7,59e-07	m/s
8	Kuat geser tanah UU kohesi	30	9	kPa
	Sudut Geser	26	29	°
	Triaksil UU			
9	Kohesi	4	11	kPa
	Sudut Gesek	9	3	°
	Ukuran Butiran tanah			
10	Lempung	0,0	0,77	%
	Lanau	44,07	69,71	%
	Pasir	55,93	29,52	%
	Kerikil	2,47	0,0	%

Analisis data

Analisis kestabilan lereng tanpa perkuatan dilakukan untuk kondisi statis dan dinamis dengan menggunakan PLAXIS 2D dan GeoStudio SLOPE/W. Analisis stabilitas lereng tanpa perkuatan dilakukan pada dua kondisi, yaitu kondisi statis dan dinamis, menggunakan PLAXIS 2D dan GeoStudio SLOPE/W. Desain perkuatan lereng dengan soil nailing mengacu pada SNI 8460:2017, kemudian stabilitas lereng yang telah diperkuat dianalisis menggunakan GeoStudio SLOPE/W. Selain itu, analisis stabilitas lereng dengan pengaturan muka air tanah dilakukan menggunakan PLAXIS 2D dan GeoStudio SLOPE/W, sedangkan analisis lereng dengan kombinasi perkuatan soil nailing dan pengaturan muka air tanah dilakukan menggunakan GeoStudio SLOPE/W.

Stabilitas lereng

Menurut SNI 8460:2017 Analisis stabilitas lereng umumnya dilakukan menggunakan metode kesetimbangan batas (Limit Equilibrium Method/LEM), teori batas plastis, dan metode numerik seperti Metode Elemen Hingga. Metode LEM menggunakan asumsi keseimbangan gaya atau momen pada bidang gelincir sehingga pemodelannya relatif sederhana dan tidak dapat menggambarkan tahapan konstruksi secara rinci. Sebaliknya, metode elemen hingga mampu memodelkan geometri, kondisi tanah, dan tahapan konstruksi yang lebih kompleks. Perbedaan pendekatan analisis tersebut menyebabkan nilai faktor keamanan yang dihasilkan oleh kedua metode dapat berbeda.

Nilai faktor keamanan lereng

Menurut SNI 8460:2017 mensyaratkan untuk lereng tanah berdasarkan pada pertimbangan biaya dan risiko kegagalan lereng akibat tingkat ketidakpastian kondisi analisis stabilitas lereng, Berikut adalah standar nilai faktor keamanan untuk lereng yang ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Nilai Faktor Keamanan Lereng

Kondisi Lereng	Nilai Faktor Keamanan
Lereng tanpa beban gempa	1,1
Lereng dengan beban gempa	1,5

Soil nailing

Soil nailing merupakan perkuatan lereng yang bekerja secara pasif tanpa menggunakan tegangan awal. Perkuatan ini menggunakan *nail bar* (batang paku) yang ditancapkan ke dalam tanah dengan cara dibor ataupun dipancang.

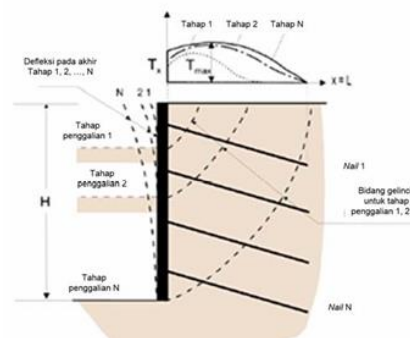
Analisis perkuatan lereng dengan soil nailing dilakukan melalui beberapa tinjauan untuk memperoleh angka keamanan lereng setelah perkuatan diterapkan. Tinjauan stabilitas tersebut mengacu pada ketentuan SNI 8460:2017.

Analisis stabilitas global berguna untuk memastikan seluruh bagian lereng yang diperkuat *soil nailing* sudah aman terhadap longsor. Lereng yang telah diperkuat *soil nailing* apabila telah memenuhi faktor keamanan minimum, FK_{gs} min. apabila dilakukan analisis untuk jangka panjang maka harus memenuhi $FK_{gs} > 1,5$ dan apabila melakukan analisis untuk jangka pendek maka harus memenuhi $FK_{gs} > 1,3$. Apabila dilakukan analisis dengan beban gempa maka harus memenuhi $FK_{gs} > 1,1$. Untuk gambaran stabilitas global dapat dilihat pada Gambar 3 berikut.



Gambar 3. Stabilitas Global
(Sumber : FHWA – NHI – 14 – 007,2015)

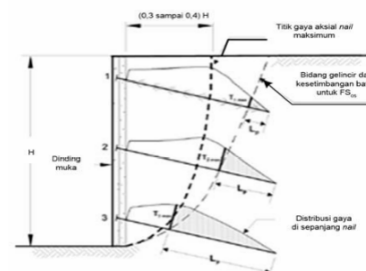
Analisis stabilitas internal merupakan tinjauan terhadap *nail bar* untuk menentukan gaya tarik maksimum yang terjadi pada setiap nail. Karena setiap nail memiliki nilai gaya tarik maksimum yang berbeda dan jumlahnya cukup banyak, analisis umumnya dilakukan menggunakan perangkat lunak. Secara umum, nilai gaya tarik maksimum cenderung meningkat pada setiap penambahan baris nail. Perubahan gaya tarik tersebut dapat dilihat pada Gambar 4 berikut.



Gambar 4. Perubahan Gaya Tarik
(Sumber : FHWA – NIH – 14 – 007,2015)

Analisis ini dilakukan untuk membandingkan tahanan terhadap gelincir disertai gaya dorong lateral dan adanya tambahan beban, perkuatan dengan *soil nailing* dinyatakan aman terhadap gelincir arah lateral jika memenuhi $FK_{sliding} \geq 1,5$ jika tidak menggunakan beban gempa dan $FK_{sliding} \geq 1,1$ jika menggunakan beban gempa.

Berdasarkan SNI 8460:2017, pada bagian bidang gelincir nail terdapat tahanan cabut, tahanan cabut (Lp) yang terbentuk dapat dilihat pada Gambar 5 berikut.



Gambar 5. Tahanan Cabut
(Sumber : FHWA – NHI – 14 – 007,2015)

Untuk menghitung tahanan cabut dapat menggunakan persamaan 1 berikut.

$$R_{po} = \pi Ca D Lp \quad (1)$$

Keterangan :

Ca adalah tahanan friksi, D adalah diameter lubang bor, Lp adalah Panjang nail di belakang bidang gelincir yang memberikan tahanan cabut.

Setelah diketahui tahanan cabut selanjutnya adalah menghitung faktor keamanan terhadap cabut (FK_{po}) menggunakan persamaan 2 berikut.

$$FK_{po} = R_{po} / T_{max} \quad (2)$$

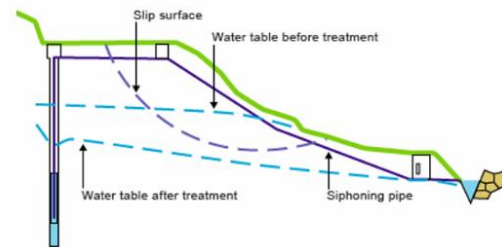
Keterangan :

R_{po} adalah tahanan cabut dan T_{max} adalah gaya Tarik nail maksimum.

Perkuatan dianggap aman terhadap cabut apabila memenuhi $FK_{po} > 2,0$ tanpa beban gempa, apabila menggunakan beban gempa maka harus memenuhi $FK_{po} > 1,5$.

Drainase bawah permukaan

Metode drainase bawah permukaan merupakan upaya pengaturan muka air tanah untuk meningkatkan stabilitas lereng. Muka air tanah yang tinggi dapat memicu longsor karena meningkatkan tekanan air pori dan mengurangi kuat geser tanah. Teknologi ini memanfaatkan rekayasa hidrolika melalui sistem drainase untuk mengurangi pergerakan tanah aktif, salah satunya adalah drainase bawah permukaan model sifon (Syahbana dkk., 2014). Contoh penerapannya ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Drainase Bawah Permukaan
(Sumber : www.wjgl.com)

Hasil dan Pembahasan

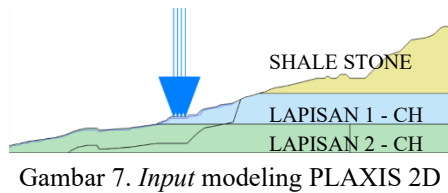
Analisis stabilitas lereng tanpa perkuatan

Analisis stabilitas lereng tanpa perkuatan menggunakan aplikasi PLAXIS 2D dan Geostudio (SLOPE/W) guna mengetahui angka aman eksisting lereng. Parameter tanah yang digunakan untuk analisis dapat dilihat pada Tabel 3 berikut.

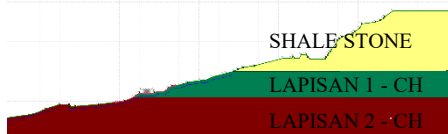
Tabel 3. *Input* Parameter Analisis

LAPISAN 1	
γ_{sat} (Kn/m ³)	16,55
γ_{unsat} (Kn/m ³)	15,80
E50 ref (Kn/m ²)	1800
E _{oed} ref (Kn/m ²)	1800
E _{ur} ref (Kn/m ²)	5400
c (Kn/m ²)	30
ϕ^o	26
LAPISAN 2	
γ_{sat} (Kn/m ³)	15,63
γ_{unsat} (Kn/m ³)	14,67
E50 ref (Kn/m ²)	3500
E _{oed} ref (Kn/m ²)	3500
E _{ur} ref (Kn/m ²)	10500
c (Kn/m ²)	11
ϕ^o	29

Selanjutnya adalah melakukan *input* modeling lereng serta membuat lapisan tanah pada aplikasi PLAXIS 2D dan Geostudio (SLOPE/W) dengan muka air tanah 2m dibawah permukaan tanah, dapat dilihat pada Gambar 7 dan Gambar 8 berikut.

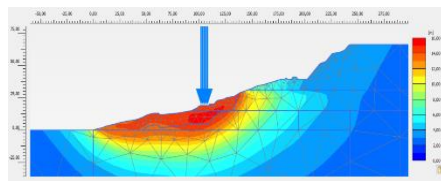


Gambar 7. Input modeling PLAXIS 2D

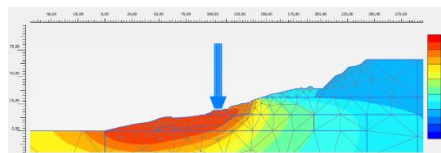


Gambar 8. Input modeling Geostudio

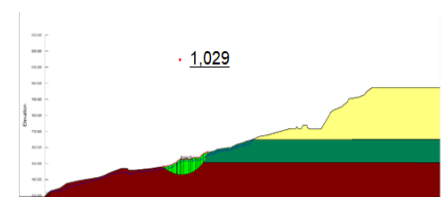
Selanjutnya dilakukan analisis dalam dua kondisi, yaitu kondisi statis dan kondisi dinamis, untuk *Output* analisis dapat dilihat pada Gambar 9, Gambar 10, Gambar 11 dan Gambar 12 berikut.



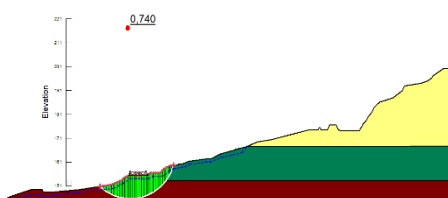
Gambar 9. Output PLAXIS 2D Statis



Gambar 10. Output PLAXIS 2D Dinamis



Gambar 11. Output Geostudio Statis



Gambar 12. Output Geostudio Dinamis

Didapatkan angka aman lereng dari hasil analisis, dapat dilihat pada Tabel 4 berikut.

Tabel 4. Nilai SF Tanpa Perkuatan

APLIKASI	SF hasil	SF syarat
PLAXIS 2D	1,046	SF > 1,5
Geostudio (SLOPE/W)	1,029	
PLAXIS 2D (Dinamis)	0,523	SF > 1,2
Geostudio (SLOPE/W) (Dinamis)	0,740	

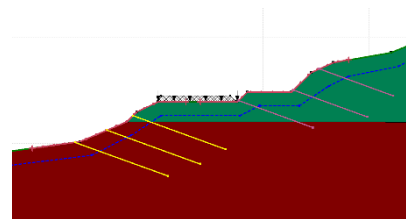
Analisis perkuatan soil nailing

Sebelum melakukan *input* modeling pada aplikasi Geostudio terlebih dahulu menentukan desain *soil nailing* yang akan digunakan. Perhitungan desain *soil nailing* menggunakan standar SNI 8460:2017, berikut hasil desain *soil nailing* dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Parameter Nail

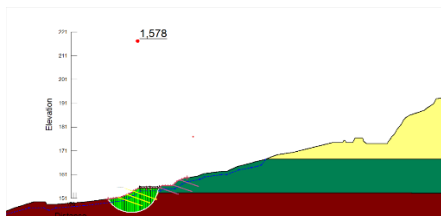
No	Dimensi	Lereng atas	Lereng bawah
1	Panjang <i>nail</i> (m)	6	12
2	Diameter <i>nail</i> (mm)	25	25
3	Sudut kemiringan pemasangan (°)	20	20
4	Diameter bor (mm)	150	150
5	Jarak Horizontal (m)	1,5	1,5
6	Jarak vertikal (m)	1,5	1,5

Setelah didapatkan parameter yang akan digunakan selanjutnya melakukan modeling pada lereng dapat dilihat pada Gambar 13 berikut.

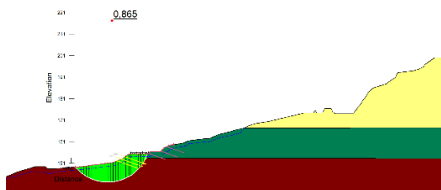


Gambar 13. Model Soil Nailing

Selanjutnya melakukan analisis untuk mendapatkan nilai SF pada lereng setelah dilakukan perkuatan *soil nailing*, untuk *output* analisis dapat dilihat pada Gambar 14 dan Gambar 15 berikut.



Gambar 14. Output Soil Nailing Statis

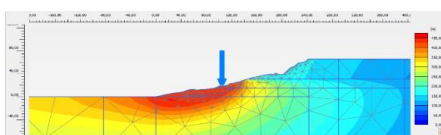


Gambar 15. Output Soil Nailing Dinamis

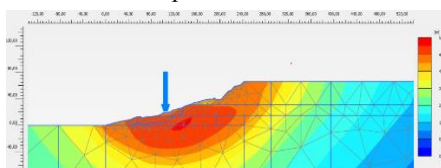
Didapatkan hasil analisis perkuatan lereng dengan *soil nailing*, nilai SF tanpa beban gempa sebesar 1,578 meningkat 53,35% tanpa beban gempa dan nilai SF sebesar 0,865, meningkat 16,89% dengan beban gempa.

Analisis stabilitas lereng dengan pengaturan muka air tanah

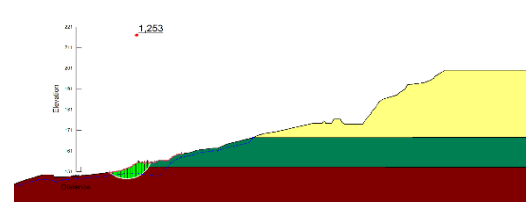
Metode pengatutan muka air tanah merupakan salah satu alternatif untuk meningkatkan stabilitas lereng, dalam penelitian ini akan mencoba menurunkan 5 m M.A.T pada lereng dan melihat seberapa besar peningkatan nilai SF pada lereng. Berikut adalah hasil analisis stabilitas lereng setelah M.A.T diturunkan kurang lebih 5 m, dapat dilihat pada Gambar 16, Gambar 17, Gambar 18 dan Gambar 19 berikut.



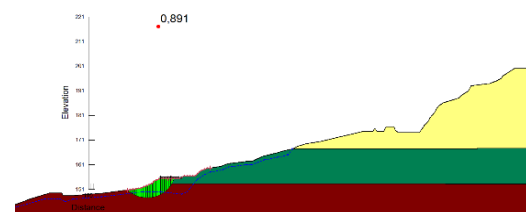
Gambar 16. Output PLAXIS M.A.T Statis



Gambar 17. Output PLAXIS M.A.T Dinamis



Gambar 18. Output Geostudio M.A.T statis

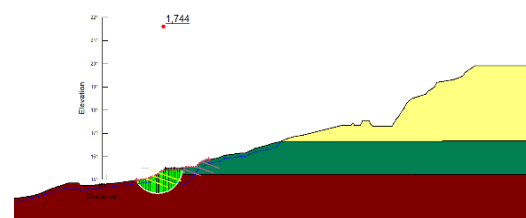


Gambar 19. Output Geostudio M.A.T Dinamis

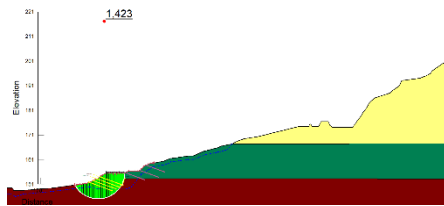
Berdasarkan hasil analisis stabilitas lereng dengan pengaturan muka air tanah menggunakan aplikasi PLAXIS 2D didapatkan nilai SF sebesar 1,470 atau meningkat sebesar 40,45% tanpa beban gempa dan nilai SF sebesar 0,575 atau meningkat sebesar 9,94% dengan beban gempa. Sedangkan dengan aplikasi Geostudio (SLOPE/W) didapatkan nilai SF sebesar 1,253 atau meningkat sebesar 21,77% tanpa beban gempa dan nilai SF sebesar 0,891 atau meningkat sebesar 70,36% dengan beban gempa.

Analisis stabilitas lereng perkuatan soil nailing dengan pengaturan muka air tanah

Penggabungan antara metode *soil nailing* dan pengaturan muka air tanah untuk memaksimalkan stabilitas lereng. Hasil analisis stabilitas dapat dilihat pada Gambar 20 dan Gambar 21 berikut.



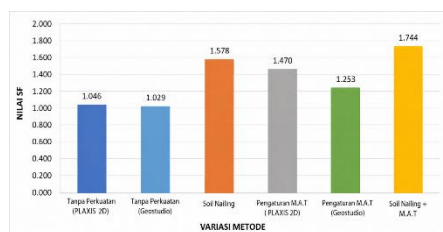
Gambar 20. Soil Nailing Dengan M.A.T Statis



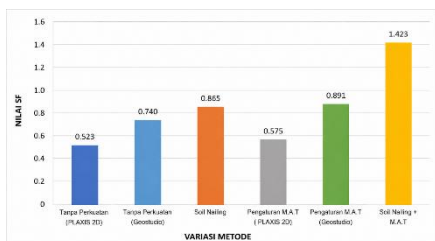
Gambar 21. *Soil Nailing* Dengan M.A.T Dinamis

Hasil analisis didapatkan nilai SF sebesar 1,744 atau meningkat 69,48% tanpa beban gempa dan nilai SF sebesar 92,30% dengan beban gempa.

Untuk mengetahui peningkatan nilai SF pada setiap metode dapat dilihat pada Gambar 22 dan Gambar 23 berikut.



Gambar 22. Grafik Perbandingan Nilai SF Kondisi Statis



Gambar 23. Grafik Perbandingan Nilai SF Kondisi Dinamis

Berdasarkan grafik perbandingan pada setiap kondisi lereng diketahui penggabungan *soil nailing* dan pengaturan muka air tanah merupakan metode yang paling banyak meningkatkan nilai SF dibandingkan metode yang digunakan secara terpisah.

Kesimpulan

Hasil analisis stabilitas lereng tanpa perkuatan menunjukkan bahwa lereng berada dalam kondisi tidak stabil

dengan nilai SF sebesar 1,046 dan 0,523 berdasarkan PLAXIS 2D serta 1,029 dan 0,740 berdasarkan GeoStudio untuk kondisi tanpa dan dengan beban gempa. Perkuatan *soil nailing* yang direncanakan menggunakan nail berdiameter 25 mm, sudut pemasangan 20°, diameter lubang bor 150 mm, serta panjang 6 m pada lereng atas dan 12 m pada lereng bawah mampu meningkatkan nilai SF, namun kurang efektif karena panjang nail yang dibutuhkan melebihi 1,2H. Penerapan *soil nailing* meningkatkan nilai SF GeoStudio menjadi 1,578 tanpa beban gempa dan 0,865 dengan beban gempa, sedangkan metode pengaturan muka air tanah (M.A.T.) pada kedalaman 7 m menghasilkan nilai SF sebesar 1,470 dan 0,575 berdasarkan PLAXIS 2D serta 1,253 dan 0,891 berdasarkan GeoStudio. Meskipun kedua metode tersebut meningkatkan stabilitas lereng, nilai SF pada kondisi gempa masih belum memenuhi syarat keamanan ($SF > 1,2$). Oleh karena itu, dilakukan penggabungan metode *soil nailing* dan pengaturan M.A.T. yang menghasilkan nilai SF sebesar 1,744 tanpa beban gempa dan 1,423 dengan beban gempa, sehingga telah memenuhi kriteria keamanan lereng baik pada kondisi statis maupun dinamis.

Daftar Pustaka

- Aripin, D. D., Asniar, N., & Hendardi, A. R. (2022). Studi Analisis Stabilitas Lereng (Studi Kasus Lereng Bukit Cikirai Cikoneng Ciamis). *JITSi: Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, 2(2), 108-124
- Astari, Andre Primantyo Hendrawan, & Emma Yuliani. (2021). *Evaluasi karakteristik mikro-fisik dan mekanik pasir vulkanik tersementasi di tebing sungai aliran lahar Gunung Kelud*. Jurnal Teknologi dan Rekayasa Sumber Daya Air, 1(2), 661-671.
- Badan Standardisasi Nasional. (2017). *SNI 8460:2017 Persyaratan perancangan geoteknik*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Balu, A. R., Indriati Martha Patuti, & Fadly Achmad. (2025). *Analisis besaran erosi dan stabilitas lereng dengan perkuatan soil nailing*. Jurnal Teknik, 23(1), 76-?.
- Basoka, I. W. A. (2020). *Perbandingan Daya Dukung Tiang Pancang Berdasarkan Pengujian Cone Penetration Test (CPT) Dan Standard Penetration Test (SPT) Pada Tanah*

- Berpasir. Ukarst: Universitas Kadiri Riset Teknik Sipil, 4(1), 110-123.
- Bela, K. R., & Sianto, P. (2022). *Penyelidikan Tanah Menggunakan Metode Uji Sondir. Eternitas: Jurnal Teknik Sipil*, 2(1), 50-58.
- Bo, Z., Fu Xiaodi, Wang Linjun, & Cui Xinyi. *Research on the prediction methods of elastic modulus of shale*. Guizhou Minzu University.
- BPSDMD Jawa Tengah, (2025). Tanah longsor.: https://ppid.bpsdmd.jatengprov.go.id/Informasi/view_informasi_serta_merta_page/11 (Diakses pada 30 September 2025).
- Braja M. Das, & Khaled Sobhan. (2016). *Principles of geotechnical engineering* (9th ed.).
- Braja M. Das. (1995). *Mekanika tanah: Prinsip-prinsip rekayasa geoteknis*. (N. E. Mochtar & I. B. Mochtar, Penerj.). Penerbit Erlangga.
- F., S. A., Kristyanto T. H. W., Asriza, Syahputra Reza, Tempessy Albert S., & Indra Tito L.. (2016). *Collaboration of high activity soil and geological structure factors in Pagelaran soil creep occurrence, Indonesia*. Dalam SICEST 2016, MATEC Web of Conferences.
- FITRIANI, D. (2023). *Analisis Penggunaan Geotekstil dan Sub Drainase Dalam Penanganan Amblesan Pada Ruas Jalan Bumiayu - Sirampog KAB. Brebes* (Universitas Islam Sultan Agung Semarang).
- Gao, M., Binbin He, Wenhui Li, Wanjia Guo, Shiming Bai, Lijuan Wang, Rui Bian, Liang Zhang, Zhihao He, & Feng Lu. (2025). *Study on mechanical properties of rock and soil mass in the slip zone of Shibaping landslide*.
- Hakam, Abdul. 2008. *Rekayasa Pondasi Untuk Mahasiswa dan Praktisi*. CV Bintang Grafika
- Halza, D. A., Alio Jasipto, & M. Akbari Danasla. (2024). *Analisis kestabilan lereng highwall pada rencana penambangan tahun 2024 di Pit Rajawali di PT Triaryani (Analysis of highwall slope stability in the 2024 mining plan at Rajawali Pit PT Triaryani)*. Jurnal Inovasi Pertambangan dan Lingkungan, 4(2), 64–70.
- Hardiyatmo, H.C. 2018. *Mekanika Tanah 2 Edisi ke Enam*. Gajah Mada University Press. Yogyakarta
- Ibrahim, M. F., Paksitya Purnama Putra, & Indra Nurtjahjaningtyas. *Analisis stabilitas soil nailing sebagai alternatif penanganan longsor di jalur nasional Piket Nol Lumajang Jawa Timur (Stability analysis of soil nailing as an alternative for landslide handling on the Piket Nol national route Lumajang East Java)*. Universitas Jember.
- Iftikhar, A. A. (2024). *Analisis stabilitas lereng dengan perkuatan soil nailing menggunakan program PLAXIS 2D V20 (Studi kasus: Tebing Cibeureum, Kabupaten Cianjur)* Tugas akhir, Universitas Islam Indonesia.
- kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia. (2014). *Badan Geologi kirim tim, tinjau bencana tanah longsor Banjarnegara*. (Diakses pada 30 September 2025).
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2015). *Surat Edaran Nomor 34/SE/M/2015 tentang Pedoman Perencanaan Teknis Drainase Bawah Permukaan dengan Menggunakan Filter Geotekstil*.
- Khori Sugianti. (2012). *Pengaruh muka airtanah terhadap kestabilan lereng pada ruas Jalan Raya Cadaspangeran, Sumedang*. Riset Geologi dan Pertambangan, 22(2), 105–125.
- Naryanto, H. S. (2014). *Analisis kejadian bencana tanah longsor tanggal 12 Desember 2014 di Dusun Jemblung, Desa Sampang, Kecamatan Karangkobar, Kabupaten Banjarnegara, Provinsi Jawa Tengah (The December 12, 2014 landslide disaster analysis in Jemblung Area, Sampang Village, Karangkobar Subdistrict, Banjarnegara District, Central Java Province)*. Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi.
- Naryanto, H.S., 2017. *Analisis Kejadian Bencana Tanah Longsor di Dusun Jemblung, Desa Sampang, Kecamatan Karangkobar, Kabupaten Banjarnegara, Provinsi Jawa Tengah tanggal 12 Desember 2014*. Jurnal Alami, 1(1), pp.1-9.
- Nicholson, A., & Chaidir A. Makarim. (2019). *Analisis creep terhadap waktu pada tanah dasar dalam proyek reklamasi Bandara Kansai International Airport*. Jurnal Mitra Teknik Sipil, 2(3), 153–161.
- Pangestu, E. C., & Akhmad Marzuko. *Perencanaan perkuatan lereng dengan metode soil nailing di daerah Bantul Yogyakarta (Design revetment with soil nailing method in Bantul Yogyakarta)*. Universitas Islam Indonesia.
- Pasaribu, H. M., & Bigman Marihat Hutapea. (2017). *Analisis deformasi dan penurunan tanah pada galian dalam dengan metode elemen hingga melalui studi evaluasi model tanah*. Dalam Konferensi Nasional Pascasarjana Teknik Sipil (KNPTS) 2017. ISBN 2477-0086.
- Putra, S. P. (2022). *Studi metode perkuatan terhadap lereng menggunakan geomat, shotcrete, dan soil nailing (Studi kasus: Lereng spillway*

- Bendungan Sadawarna Paket II Subang*) Tesis magister, Universitas Islam Sultan Agung.
- Qolby, A. A., Husnul Fataa Fahreza, & Kelana Handika Setiawan. (2025). *Analisis kestabilan lereng pada tanah berlempung menggunakan metode Bishop: Studi kasus di Desa X*. Momentum Jurnal Inovasi Rekayasa Teknik Sipil, 1(1).
- Radyanto, Aldi., Rifa'i, A., & Faris, F. (2019). *Analisis stabilitas lereng dengan sistem drainase bawah permukaan di Kabupaten Banjarnegara*. Departemen FT – UI, DEPOK
- Rosyadah, S. (2025). *Alternatif perkuatan lereng dengan gravity wall dan geosintetik pada kawasan PT United Tractors Satui Kalimantan Selatan (Alternative slope reinforcement with gravity wall and geosynthetics in PT United Tractors Satui Area South Kalimantan)* Tugas akhir, Universitas Islam Indonesia.
- Saputra, A., Edy Purwanto, & Miftahul Fauziah. *Alternatif desain perkerasan jalan dan perkuatan lereng longsor*. Universitas Islam Indonesia.
- Sinarta, I. N. (2014). *Metode penanganan tanah longsor dengan pemakuan tanah (soil nailing)*. Paduraksa, 3(2).
- Syah, A., & Teuku Faisal Fathani. (2019). *Analisis stabilitas lereng dan penanganan longsor dengan menurunkan muka air tanah: Studi kasus longsor Kalitlaga, Banjarnegara, Jawa Tengah*. Dalam Seminar Nasional Hasil Penelitian Sains, Teknik, dan Aplikasi Industri 2019. Universitas Lampung.
- Syabhana, A. J., Adrin Tohari, Khoris Sugianti, Nugroho Aji Satrio, Sunarya Wibowo, & Sueno Winduhutomo. (2014). *Rekayasa hidrolika kestabilan lereng dengan sistem siphon: Studi kasus di daerah Karangsambung, Jawa Tengah (Hydraulic slope stability engineering using siphon system: Case study UPT BIKK Karangsambung, Kebumen, Jawa Tengah)*. Riset Geologi dan Pertambangan, 24(2), 103–114.
- Tarakashima, C., Athaya Zhafirah, & Dicky Muhamad Fadli. *Perkuatan soil nailing pada lereng Singajaya Garut*. Jurnal Konstruksi.
- Tarakashima, C., Zhafirah, A., & Fadli, D. M. (2023). *Perkuatan Soil Nailing pada Lereng Singajaya Garut*. Jurnal Konstruksi, 21(2), 217–223.
- Taufik, I. I. (2017). *Analisis stabilitas lereng dengan perkuatan geotekstil dan variasi ketinggian muka air tanah (Slope stability analysis by using geotextile reinforcement and groundwater level variance): Studi kasus Jalan Wanayasa–Banjarnegara Jawa Tengah, Lereng Sta. 70+500* Tugas akhir, Universitas Islam Indonesia.
- Vickyla, M. M., Irvan Sophian, & Dicky Muslim. (2019). *Pengaruh muka air tanah terhadap kestabilan lereng Tambang X*. Padjadjaran Geoscience Journal, 3(3), 191–198.
- Xu, T., John A. Apps, & Karsten Pruess. (2004). *Mineral sequestration of carbon dioxide in a sandstone-shale system*. Lawrence Berkeley National Laboratory.
- Zhang, D., YaFeng Li, YaNan Guo, HanLin Xia, YanXin Liu, JiaShen Yan, Fei Wang, & YinTing Wu. (2025). *Research on shale dynamic and static elastic modulus and anisotropy based on pressurization history*.