

## KAJIAN PENGGUNAAN *SOIL NAILING* TERHADAP STABILITAS LERENG BATUAN

Adolf Situmorang<sup>1</sup>, Bobby Rio Indriyantho<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Program Profesi Insinyur Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

<sup>1</sup>Magister Teknik Sipil, Universitas Semarang

<sup>2</sup>Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang, Indonesia 50275

### ABSTRAK

Longsor merupakan proses perpindahan material tanah atau batuan yang terjadi karena ketidakseimbangan gaya pada lereng yang dipicu oleh faktor alami maupun aktivitas manusia. Faktor utama penyebab longsor meliputi kemiringan lereng yang curam, curah hujan tinggi, serta kondisi geologi, khususnya pada batuan yang mudah mengalami pelapukan. Degradasi kekuatan batuan akibat proses pelapukan dan infiltrasi air dapat meningkatkan kerentanan lereng. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis stabilitas lereng batuan dan mengidentifikasi struktur batuan. Metode penelitian dilakukan melalui pengambilan sampel batuan menggunakan pemboran mekanis, pengukuran topografi, serta pengumpulan data geologi regional. Analisis dilakukan dengan pendekatan metode elemen hingga untuk mengevaluasi nilai faktor keamanan (Safety Factor, SF). Hasil klasifikasi massa batuan menunjukkan nilai RQD sebesar 65% dan RMR sebesar 55,1 yang termasuk kategori sedang, dan hal ini mengindikasikan kondisi batuan dengan tingkat rekahan sedang. Analisis stabilitas menunjukkan bahwa kondisi eksisting lereng berada dalam kondisi tidak stabil dengan nilai SF < 1,5. Setelah dilakukan perkuatan menggunakan soil nailing, nilai SF meningkat hingga >1,5, yang menunjukkan peningkatan stabilitas lereng secara signifikan. Evaluasi terhadap mekanisme cabut menunjukkan bahwa nilai FKpo  $\geq 2$ , sehingga memenuhi kriteria keamanan. Secara keseluruhan, dari hasil analisa ini menunjukkan bahwa metode dengan soil nailing sangat baik dalam meningkatkan stabilitas lereng dan mengendalikan potensi kegagalan.

**Kata kunci:** Batuan, stabilitas, RQD, RMR, faktor aman

### ABSTRACT

*Landslides are geotechnical phenomena involving the movement of soil or rock masses caused by an imbalance between resisting and driving forces, triggered by both natural factors and human activities. The primary factors contributing to landslides include steep slope geometry, high rainfall intensity, and geological conditions, particularly in rocks susceptible to weathering. The degradation of rock strength due to weathering processes and water infiltration significantly increases slope vulnerability. This study aims to analyze rock slope stability and characterize rock mass conditions. The research methodology includes rock sampling through mechanical drilling, topographic measurements, and the collection of regional geological data. The analysis was carried out using the finite element method to evaluate the Safety Factor (SF). The rock mass classification results indicate an RQD value of 65% and an RMR value of 55.1, which are categorized as fair, reflecting a moderately fractured rock mass condition. Stability analysis shows that the existing slope condition is unstable, with an SF value lower than 1.5. After the application of soil nailing reinforcement, the SF value increased to greater than 1.5, indicating a significant improvement in slope stability. Furthermore, the pullout resistance evaluation shows that FKpo  $\geq 2$ , satisfying the required safety criteria. Overall, the results demonstrate that soil nailing is an effective method for improving slope stability and mitigating potential slope failure.*

**Keywords:** Rock, stability, RQD, RMR, safety factor

## 1. PENDAHULUAN

Longsor adalah fenomena pergerakan massa tanah atau batuan yang dipicu oleh gaya gravitasi sebagai respons terhadap faktor alami maupun aktivitas manusia, yang pada akhirnya menyebabkan perubahan bentuk morfologi lapisan tanah (Komadja et al., 2020). Selain itu, (Naryanto et al., 2019) menjelaskan bahwa peristiwa longsor dipicu oleh ketidakseimbangan antara gaya penahan dan gaya pendorong pada lereng, yang menyebabkan terjadinya pergerakan massa tanah atau batuan. Dari perspektif geologi, longsor termasuk dalam peristiwa geodinamik yang ditandai dengan perpindahan material tanah atau batuan, baik dalam bentuk jatuhnya maupun pergeseran dari posisi awalnya. Pergerakan ini terjadi ketika gaya pendorong melebihi gaya penahan, sehingga menyebabkan ketidakstabilan lereng.

Berbagai faktor dapat memicu terjadinya longsor. Penelitian yang dilakukan oleh (Shahabi & Hashim, 2015), kemiringan lereng yang curam serta intensitas curah hujan yang tinggi merupakan faktor dominan, khususnya pada wilayah beriklim tropis. Selain itu, kondisi geologi juga memiliki peranan penting, terutama pada batuan yang mudah mengalami pelapukan. Batuan yang telah mengalami degradasi kekuatan akan semakin rentan terhadap longsor, terlebih pada area galian dengan lereng terbuka yang lebih mudah terpengaruh oleh kondisi lingkungan.

Peristiwa longsor yang terjadi pada lokasi penelitian ini telah menyebabkan gangguan signifikan terhadap kelancaran arus lalu lintas di wilayah tersebut, sehingga berdampak langsung pada terhambatnya mobilitas masyarakat serta aktivitas distribusi barang dan jasa. Kondisi ini tidak hanya menimbulkan kerugian dari aspek transportasi, tetapi juga memberikan implikasi ekonomi bagi masyarakat sekitar. Meskipun material longsor telah dibersihkan sesaat terjadi longsor, namun tindakan tersebut belum sepenuhnya mengatasi akar permasalahan yang ada. Oleh karena itu, diperlukan strategi mitigasi yang lebih komprehensif dan berkelanjutan, yang tidak hanya berfokus pada penanganan pasca-kejadian, tetapi juga mencakup upaya pencegahan melalui peningkatan stabilitas lereng dan pengendalian faktor-faktor pemicu longsor, guna meminimalkan risiko terjadinya kejadian serupa di masa mendatang.

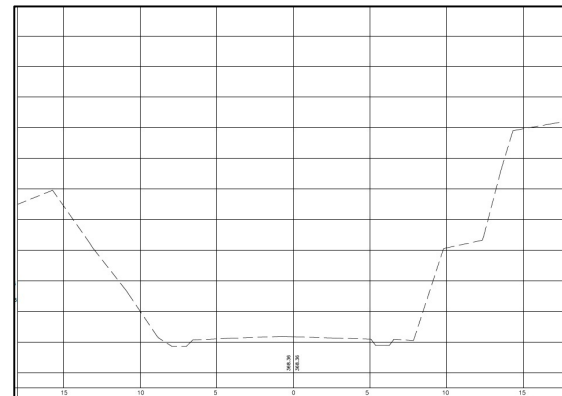
Berdasarkan karakteristik material longsor (Gambar 1), terlihat bahwa material tersebut merupakan batuan yang mengandung lapisan pasir. Kondisi ini menyebabkan air lebih mudah meresap ke dalam struktur batuan, sehingga menurunkan kekuatan material akibat peningkatan kadar air dan proses pelapukan. Siklus basah dan kering juga berkontribusi terhadap degradasi kekuatan batuan. (Zheng et al., 2018) melaporkan bahwa kekuatan batuan dapat mengalami penurunan hingga sekitar 34% setelah mengalami 15 siklus basah-kering dalam satu tahun, oleh karena itu, diperlukan penanganan

khusus pada lokasi ini dipilih dengan mempertimbangkan kondisi batuan, keterbatasan *Right of Way* (RoW) jalan, serta optimalisasi biaya perbaikan dan tanpa merubah permukaan lereng. Beberapa metode penanganan yang dapat diterapkan antara lain *soil nailing* dan *shotcrete*.

Tetapi pada penelitian ini tidak memperhitungkan siklus basah kering dari musim hujan, tetapi hanya bertujuan untuk mengetahui perubahan penggunaan *soil nailing* terhadap stabilitas lereng batuan, sehingga dapat digunakan sebagai mitigasi ditempat yang lain dengan batuan sejenis.



Gambar 1.1 Kondisi longsor



Gambar 1.2. Potongan Memanjang

## 2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan berdasarkan beberapa tahapan, yang diawali dengan pengambilan sampel batuan menggunakan metode pemboran mekanis untuk memperoleh karakteristik fisik dan mekanik batuan. Selanjutnya, dilakukan pengukuran topografi untuk mendapatkan kondisi geometri lereng secara akurat sebagai dasar dalam pemodelan analisis.

Selain itu, pengumpulan data sekunder yang mencakup informasi geologi regional pada lokasi longsor sebagai landasan dalam memahami kondisi lingkungan dan karakteristik geoteknik setempat.

Seluruh data yang didapatkan digunakan sebagai bahan analisa dengan metode elemen hingga (*finite element method*) untuk mengevaluasi respons perilaku lereng terhadap kondisi yang ditinjau.

## 2.1 Penyelidikan Tanah

Penyelidikan tanah dilakukan dengan Standard penetrasii Test (SPT) sebanyak 2 titik, yang dilakukan diluar area longsor. Lokasi penyelidikan tanah seperti pada gambar di bawah.



**Gambar 2.1** Lokasi pengujian tanah

Pengambilan sampel batuan dilakukan pada kondisi tidak terganggu (*undisturbed*) untuk keperluan pengujian sifat fisik dan mekanik. Sampel yang dipilih berasal dari bagian batuan yang masih tertutup dan belum terpapar lingkungan luar, sehingga diasumsikan belum mengalami proses pelapukan dan dapat merepresentasikan kondisi batuan segar (*fresh rock*) secara lebih akurat. Selain itu, dilakukan pula pengukuran geometri lereng guna memperoleh informasi terkait ketinggian lereng dan lebar lereng, yang selanjutnya digunakan dalam analisa perhitungan stabilitas lereng.

Dalam menentukan klasifikasi massa batuan, penelitian ini mengacu pada beberapa metode dan parameter yang relevan, sebagaimana dijelaskan pada bagian berikut.

## 2.2 Rock Quality Designation (RQD)

RQD (*Rock Quality Designation*) adalah suatu indeks kuantitatif yang digunakan untuk mengkarakterisasi kualitas massa batuan berdasarkan intensitas rekahan, tingkat pelapukan, dan perkembangan bidang diskontinuitas dalam batuan (Zhang et al., 2019). Parameter ini banyak digunakan dalam analisis geoteknik untuk menilai tingkat keutuhan batuan serta potensi kelemahan struktural yang dapat mempengaruhi stabilitas lereng maupun desain konstruksi bawah permukaan. Menurut (Zheng et al., 2018), RQD didefinisikan sebagai persentase panjang inti bor (*core*) batuan utuh dengan panjang minimal 10 cm terhadap total panjang pengeboran dalam setiap interval 1 meter. Semakin tinggi nilai

RQD, maka kualitas massa batuan tersebut semakin baik, yang menunjukkan tingkat rekahan yang rendah dan struktur batuan yang relatif utuh.

Berdasarkan klasifikasi yang dikemukakan oleh (Azimian, 2016), kualitas massa batuan dapat dikategorikan ke dalam lima kelas utama, yaitu *very poor*, *poor*, *fair*, *good*, dan *excellent*, yang masing-masing mencerminkan kondisi geomekanik batuan dari sangat buruk hingga sangat baik. Hasil analisis RQD pada lokasi penelitian menunjukkan variasi kualitas batuan terhadap kedalaman. Pada kedalaman hingga 5 meter, nilai RQD sebesar 8% yang termasuk dalam kategori *very poor*, mengindikasikan kondisi batuan yang sangat terfragmentasi dan mengalami pelapukan tinggi. Selanjutnya, pada kedalaman 5–10 meter diperoleh nilai RQD sebesar 37% yang tergolong dalam kategori *poor*, menunjukkan bahwa batuan masih memiliki banyak rekahan. Pada kedalaman 10–15 meter, nilai RQD meningkat menjadi 65% yang termasuk dalam kategori *fair*, yang mencerminkan kondisi batuan yang mulai lebih kompak dengan tingkat rekahan yang lebih rendah dibandingkan lapisan di atasnya. Variasi nilai RQD ini menunjukkan adanya perubahan karakteristik massa batuan terhadap kedalaman yang berimplikasi langsung pada analisis stabilitas lereng di lokasi penelitian.

**Tabel 2.1** Indeks Klasifikasi RQD

RQD	Kualitas Massa Batuan
< 25%	Sangat jelek
25-50%	Jelek
50-75%	Sedang
75-90%	Baik
90-100%	Sangat Baik

## 2.3 Rock Mass Quality atau (Q)-system

Sistem Q merupakan metode klasifikasi massa batuan yang dikembangkan berdasarkan enam parameter utama, yaitu Rock Quality Designation (RQD), jumlah set bidang diskontinuitas, tingkat kekasaran permukaan kekar, kondisi pelapukan atau alterasi pada bidang kekar, kondisi air tanah pada diskontinuitas, serta pengaruh tegangan yang bekerja pada massa batuan. Berdasarkan parameter-parameter tersebut, diperoleh nilai klasifikasi massa batuan menggunakan pendekatan Q-system yang hasilnya disajikan pada Tabel 2.2.

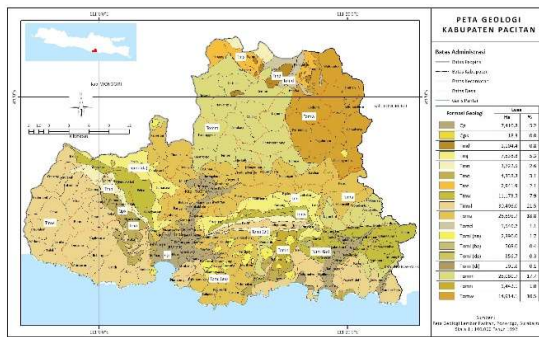
**Tabel 2.2** Klasifikasi batuan berdasarkan Q-system (Barton et al., 1974)

Q	Group	Classification
10 - 40	1	Good

40 - 100		<i>Very good</i>
100 - 400		<i>Extremely good</i>
400 - 1000		<i>Exceptionally good</i>
0.1 - 1.0		<i>Very poor</i>
1.0 - 4.0	2	<i>Poor</i>
4.0 - 10.0		<i>Fair</i>
0.001 - 0.01		<i>Exceptionally poor</i>
0.01 - 0.1	3	<i>Extremely poor</i>

**2.4 Data Geologi**

Berdasarkan peta geologi regional, lokasi kejadian longsor termasuk dalam Formasi Wonosari–Punung pada Lembar Pacitan. Formasi ini tersusun oleh berbagai jenis litologi, antara lain batugamping, batugamping napalan–tufaan, batugamping konglomeratan, batupasir tufaan, serta batulanau. Keberagaman jenis batuan tersebut menunjukkan kompleksitas kondisi geologi di lokasi penelitian, yang berpotensi mempengaruhi karakteristik mekanik dan stabilitas lereng.



**Gambar 2.3** Geologi regional

**3. HASIL DAN PEMBAHASAN**

**3.1 Klasifikasi massa batuan**

Untuk klasifikasi dan pengujian sample diambil dari titik BH02 yang dapat mewakili sampel batuan di lokasi. Berdasarkan data core box dari sample batuan, diperoleh bahwa bahwa nilai *Rock Quality Designation* (RQD) mencapai 65%, nilai ini ditentukan berdasarkan pengukuran sample batuan dengan tingkat kehancuran diatas 10cm (Gambar 2.4).

Deskripsi sample batuan menunjukkan pada kedalaman hingga 5m didominasi oleh lapisan lempung berwarna coklat dengan kondisi relatif padat, sedangkan kedalaman 5m hingga 10m lapisan batuan tersusun atas lempung yang bercampur dengan batu gamping serta material berpasir. Selanjutnya, hingga kedalaman 15m, lapisan didominasi oleh batu gamping berwarna putih dengan karakteristik keras. Variasi litologi ini mengindikasikan perubahan sifat mekanik batuan terhadap kedalaman yang berpotensi

mempengaruhi kondisi kestabilan lereng di lokasi penelitian.



**Gambar 3.1** Contoh sample batuan

Berdasarkan hasil klasifikasi massa batuan dari sample yang ada, maka hasilnya dapat dirangkum sebagai berikut :

**Tabel 3.1** Hasil klasifikasi RQD sample BH02

No	Kedalaman	RQD (%)
1	0-5m	65
2	5-10m	85
3	10-15m	80
4	15-20m	95
5	20-25m	94
6	25-30m	90

Dan berikut adalah rangkuman perhitungan klasifikasi batuan untuk sampel BH02.

**Tabel 3.2** Hasil klasifikasi sampel batuan

No	Klasifikasi Massa Batuan	Batuan Pasir	Keterangan
	Rock Quality Designation (RQD) 9kedalaman 0-5m)	65	<i>Fair</i>
2	Rock Mass Rating (RMR)	55.1	<i>Class III (Fair)</i>
3	Q-Sistem	2,18	<i>Poor</i>

Berdasarkan hasil klasifikasi massa batuan pada lokasi penelitian, diperoleh nilai *Rock Quality Designation* (RQD) sebesar 65% untuk kedalaman 0 sampai 5m yang termasuk dalam kategori *fair*, yang lainnya masuk kategori baik, hal ini mengindikasikan bahwa pada bagian atas atau top layer batuan terindikasi mengalami pelapukan. Selain itu, hasil evaluasi menggunakan metode *Rock Mass Rating* (RMR) menunjukkan nilai sebesar 55,1 yang tergolong dalam Kelas III (*fair rock*). Klasifikasi ini mengindikasikan bahwa kondisi massa batuan berada pada tingkat kualitas menengah, di mana stabilitas lereng masih relatif baik, namun tetap memerlukan perhatian dalam perencanaan dan desain, khususnya terkait sistem perkuatan dan pengendalian deformasi.

Kombinasi nilai RQD dan RMR tersebut menunjukkan bahwa batuan pasir di lokasi penelitian

memiliki karakteristik geoteknik yang cukup stabil, tetapi masih berpotensi mengalami penurunan kekuatan akibat faktor eksternal seperti pelapukan, infiltrasi air, dan beban tambahan. Oleh karena itu, dalam analisis stabilitas lereng, diperlukan pendekatan yang mempertimbangkan kondisi diskontinuitas serta kemungkinan degradasi sifat mekanik batuan seiring waktu.

Hasil ini sesuai dengan hasil penelitian yang menyatakan nilai RQD dan RMR merupakan parameter penting dalam menentukan kualitas massa batuan dan stabilitas lereng, di mana kategori *fair* umumnya menunjukkan kondisi yang masih stabil namun sensitif terhadap perubahan lingkungan (Bieniawski, 1989).

**3.2 Stabilitas Lereng**

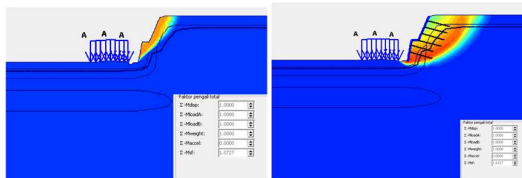
Berdasarkan hasil analisis menggunakan Metode Elemen Hingga (MEH) untuk kondisi lereng eksisting menunjukkan ketidakstabilan, dengan nilai faktor keamanan (SF) pada kondisi statis yang berada di bawah batas minimum yang disyaratkan, yaitu 1,106 lebih kecil dari 1,5 (Badan Standarisasi Nasional, 2017). Hal ini mengindikasikan bahwa lereng memiliki potensi kegagalan yang signifikan pada kondisi awal (Situmorang et al., 2022).

Setelah dilakukan upaya perkuatan menggunakan metode *soil nailing* dengan menggunakan kawat mutu tinggi (Dirjen BM, 2018), dimana diameter kawat >3mm dan kuat tarik 145 kN/m. untuk nailing menggunakan tulangan diameter D32 dengan *fy* 420MPa.

Dari hasil analisa terjadi peningkatan factor keamanan secara signifikan menjadi 1,611 lebih besar 1,5. Nilai ini menunjukkan bahwa penggunaan *soil nailing* dapat meningkatkan kapasitas tahanan lereng akibat beban yang terjadi, serta mampu mengendalikan deformasi dan potensi longsoran secara lebih optimal.

**Tabel 3.3** Parameter tanah

Kedalaman (m)	Konsistensi	Modulus (kN/m <sup>2</sup> )	Kohesi (kN/m <sup>2</sup> )	Phi (°)
0 - 2	Hard	44000	80	30
2 - 5	Dense	41000	1,6	37
5 - 9	V Dense	60000	1,6	40
9 - 16	Hard	60000	90	32
16 - 20	V Dense	60000	1,6	40



**Gambar 3.1** Stabilitas lereng (a) kondisi eksisting, (b) dengan *soil nailing*

**3.3 Perhitungan Pull Out**

Pemeriksaan terhadap potensi kegagalan cabut (*pullout*) dilakukan secara individual pada setiap baris *soil nail*. Faktor keamanan terhadap cabut (FK<sub>po</sub>) dihitung berdasarkan rasio antara kapasitas tahanan cabut (*pullout resistance*) dan gaya tarik maksimum yang bekerja pada elemen *nail*, dengan mengacu pada persamaan berikut.

$$FK_{po} = R_{po} / T_{max}$$

Keterangan  
 FK<sub>po</sub> = faktor keamanan terhadap cabut  
 T<sub>max</sub> = gaya tarik *nail* maksimum  
 = (0,5 – 1,1) Ka γs H Sv Sh (FHWA)

**Tabel 3.4** Perhitungan FK<sub>po</sub>

Nail ke	R <sub>po</sub> kN	T <sub>max</sub> kN	FK <sub>po</sub>	Ket.
1	123.18	59.1445	2.08268	OK
3	124.4	61.8815	2.01034	OK
6	195.74	61.8815	3.16317	OK

Berdasarkan (Badan Standarisasi Nasional, 2017), *nail* dinyatakan aman terhadap bahaya cabut jika FK<sub>po</sub> ≥ 2. Berdasarkan tabel perhitungan T<sub>max</sub>, didapatkan FK<sub>po</sub> ≥ 2, maka *nail* dinyatakan aman.

**4. KESIMPULAN**

Dari analisis di atas diketahui bahwa kondisi eksisting tidak stabil dengan SF hanya 1,106 lebih kecil dari 1,5, namun nilai faktor keamanan (Safety Factor, SF) pada tahap akhir konstruksi diperoleh sebesar 1,6117, yang lebih besar dari batas minimum yang disyaratkan yaitu 1,5, sehingga menunjukkan bahwa lereng memiliki tingkat stabilitas yang memadai dalam kondisi statis. Pada kondisi gempa, nilai SF sebesar 1,1972 juga masih berada di atas nilai ambang batas 1,1, yang mengindikasikan bahwa struktur tetap berada dalam kondisi stabil terhadap pengaruh beban dinamis.

Selain itu, hasil evaluasi terhadap stabilitas sistem perkuatan menunjukkan bahwa nilai faktor keamanan terhadap gaya cabut (*pullout*), yaitu FK<sub>po</sub>, memenuhi kriteria yang dipersyaratkan dengan nilai lebih besar atau sama dengan 2, yang menandakan bahwa sistem perkuatan memiliki kapasitas tahanan yang cukup terhadap gaya tarik keluar. Analisis terhadap gaya-gaya yang bekerja pada elemen perkuatan juga menunjukkan bahwa gaya transversal dan horizontal yang terjadi masih lebih kecil dibandingkan dengan kuat tarik (tensile strength) dari material wiremesh, sehingga tidak terjadi kegagalan pada elemen perkuatan tersebut.

Secara keseluruhan, hasil analisis ini menunjukkan bahwa desain dan sistem perkuatan lereng yang diterapkan telah memenuhi kriteria keamanan baik terhadap kondisi statis maupun

dinamis, serta memiliki kinerja yang andal dalam menahan berbagai mekanisme kegagalan yang mungkin terjadi.

## 5. DAFTAR PUSTAKA

1. Azimian, A. (2016). A new method for improving the RQD determination of rock core in borehole. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 49(4), 1559–1566. <https://doi.org/10.1007/s00603-015-0789-8>
2. Badan Standarisasi Nasional. (2017). Sni 8460-2017. *Persyaratan perancangan geoteknik, 8460*, 2017.
3. Barton, N., Lien, R., & Lunde, J. (1974). Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support. *Rock Mechanics Felsmechanik Mécanique des Roches*, 6(4), 189–236. <https://doi.org/10.1007/BF01239496>
4. Bieniawski. (1989). *Engineering Rock Mass Clasifications*.
5. Dirjen BM. (2018). *Spesifikasi khusus interim seksi skh-1.3.16 jaring kawat wire ...*
6. Komadja, G. C., Pradhan, S. P., Roul, A. R., Adebayo, B., Habinsuti, J. B., Glodji, L. A., & Onwualu, A. P. (2020). Assessment of stability of a Himalayan road cut slope with varying degrees of weathering: A finite-element-model-based approach. *Heliyon*, 6(11). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05297>
7. Naryanto, H. S., Soewandita, H., Ganesha, D., Prawiradisastra, F., & Kristijono, A. (2019). Analisis Penyebab Kejadian dan Evaluasi Bencana Tanah Longsor di Desa Banaran, Kecamatan Pulung, Kabupaten Ponorogo, Provinsi Jawa Timur Tanggal 1 April 2017. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 17(2), 272. <https://doi.org/10.14710/jil.17.2.272-282>
8. Shahabi, H., & Hashim, M. (2015). Landslide susceptibility mapping using GIS-based statistical models and Remote sensing data in tropical environment. *Scientific Reports*, 5, 1–15. <https://doi.org/10.1038/srep09899>
9. Situmorang, A., Christa, N. H., & Pratiwi, Y. I. (2022). *Pengaruh Pelapukan Lapisan Batuan Terhadap Stabilitas Lereng*. 12(2), 331–342.
10. Zhang, Q., Huang, X., Zhu, H., & Li, J. (2019). Quantitative assessments of the correlations between rock mass rating (RMR) and geological strength index (GSI). *Tunnelling and Underground Space Technology*, 83(April 2018), 73–81. <https://doi.org/10.1016/j.tust.2018.09.015>
11. Zheng, J., Yang, X., Lü, Q., Zhao, Y., Deng, J., & Ding, Z. (2018). A new perspective for the directivity of Rock Quality Designation (RQD) and an anisotropy index of jointing degree for rock masses. *Engineering Geology*, 240(April), 81–94. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2018.04.013>