



## Studi Literatur: Pengaruh Nilai UCS Dalam Menentukan Faktor Keamanan Lereng Batuan Di Indonesia

(Literature Study: The Influence of UCS Values in Determining the Safety Factor of Rock Slopes in Indonesia)

Arief Pambudi Nugraha<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universitas Sriwijaya, Indonesia

<sup>1</sup> [ariefpambudi51@unsri.ac.id](mailto:ariefpambudi51@unsri.ac.id)

**Penulis Korespondensi:** Arief Pambudi Nugraha | **Email:** [ariefpambudi51@unsri.ac.id](mailto:ariefpambudi51@unsri.ac.id)

Diterima (Received): 26/11/2025 Direvisi (Revised): 01/12/2025 Diterima untuk Publikasi (Accepted): 02/12/2025

### ABSTRAK

Kestabilan lereng batuan merupakan aspek kritis dalam rekayasa geoteknik, khususnya di Indonesia yang memiliki topografi kompleks dengan dominasi batuan vulkanik. Nilai *Uniaxial Compressive Strength* (UCS) merupakan parameter fundamental yang mempengaruhi perhitungan faktor keamanan lereng. Penelitian ini bertujuan melakukan tinjauan literatur sistematis terhadap pengaruh nilai UCS dalam menentukan faktor keamanan lereng batuan vulkanik di Indonesia, dengan fokus pada potongan jalan dan lereng alami periode 2020-2025. Hasil kajian menunjukkan nilai UCS batuan vulkanik Indonesia berkisar 50-100 MPa dengan korelasi positif terhadap faktor keamanan, dimana peningkatan UCS sebesar 10 MPa dapat meningkatkan faktor keamanan hingga 0.14. Kombinasi UCS dengan parameter GSI (65-85) menghasilkan prediksi faktor keamanan yang lebih akurat ( $FS = 1.2-2.6$ ). Pelapukan tropis menyebabkan degradasi UCS hingga 60-70% pada zona permukaan (0-3 m). Kondisi hidrologi menunjukkan pengaruh dominan dimana peningkatan muka air tanah 70 m dapat menurunkan faktor keamanan hingga di bawah 1.2. Implikasi praktis menekankan pentingnya pengujian UCS representatif, klasifikasi massa batuan terintegrasi, dan prioritas manajemen hidrologi untuk meningkatkan faktor keamanan lereng batuan vulkanik di Indonesia.

**Kata Kunci:** batuan, faktor, keamanan, lereng, UCS

### ABSTRACT

Rock slope stability is a critical aspect in geotechnical engineering, especially in Indonesia which has a complex topography dominated by volcanic rocks. The *Uniaxial Compressive Strength* (UCS) value is a fundamental parameter that influences the calculation of slope safety factors. This study aims to conduct a systematic literature review on the influence of UCS values in determining the safety factors of volcanic rock slopes in Indonesia, focusing on road cuts and natural slopes for the period 2020-2025. The results of the study show that the UCS value of Indonesian volcanic rocks ranges from 50-100 MPa with a positive correlation to the safety factor, where an increase in UCS by 10 MPa can increase the safety factor up to 0.14. The combination of UCS with GSI parameters (65-85) produces a more accurate safety factor prediction ( $FS = 1.2-2.6$ ). Tropical weathering causes UCS degradation up to 60-70% in the surface zone (0-3 m). Hydrological conditions show a dominant influence where an increase in groundwater level of 70 m can reduce the safety factor to below 1.2. Practical implications emphasize the importance of representative UCS testing, integrated rock mass classification, and hydrological management priorities to improve the safety factors of volcanic rock slopes in Indonesia.

**Keywords:** factor, rock, safety, slope, UCS

© Author(s) 2025. This is an open access article under the Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License (CC BY-SA 4.0).

### 1. Pendahuluan

Indonesia merupakan negara dengan kondisi geologi kompleks yang didominasi batuan vulkanik akibat aktivitas Cincin Api Pasifik. Kombinasi topografi berbukit-bergunung dan curah hujan tropis tinggi menyebabkan Indonesia memiliki tingkat kerawanan longsor yang

tinggi. Pembangunan infrastruktur seperti jalan raya, jalan tol, dan terowongan seringkali melewati daerah dengan lereng curam pada material batuan vulkanik, menimbulkan tantangan kestabilan yang signifikan [1][2].

Longsor pada proyek jalan tol Cisumdawu, jalan poros Malino-Sinjai, dan berbagai proyek bendungan

mendemonstrasikan urgensi pemahaman parameter yang mempengaruhi kestabilan lereng batuan vulkanik [3][4]. Nilai *Uniaxial Compressive Strength* (UCS) merupakan parameter fundamental yang mempengaruhi perhitungan faktor keamanan lereng melalui metode keseimbangan batas (LEM) dan kriteria Hoek-Brown [5][6].

UCS didefinisikan sebagai tegangan maksimum yang dapat ditahan sampel batuan utuh sebelum mengalami kegagalan ketika diberi beban tekan searah tanpa tekanan lateral. Nilai UCS menjadi parameter input kritis dalam analisis kestabilan lereng melalui beberapa mekanisme: (1) komponen estimasi parameter kekuatan massa batuan (kohesi dan sudut geser dalam), (2) input langsung dalam kriteria Hoek-Brown bersama GSI, dan (3) parameter dalam sistem klasifikasi massa batuan (RMR, SMR) yang dikorelasikan dengan faktor keamanan [7][8].

Batuan vulkanik di Indonesia didominasi oleh andesit, basalt, tuf, dan breksi vulkanik dengan heterogenitas tinggi [9]. Iklim tropis dengan curah hujan tinggi (>2000 mm/tahun) menyebabkan pelapukan kimia dan fisik intensif, menghasilkan degradasi progresif dari batuan utuh menjadi tanah residual dengan penurunan nilai UCS signifikan [10][11].

Penelitian ini bertujuan untuk: (1) menyusun tinjauan literatur komprehensif pengaruh nilai UCS dalam menentukan faktor keamanan lereng batuan vulkanik di Indonesia periode 2020-2025, (2) mengidentifikasi kisaran nilai UCS dan variasinya terhadap kedalaman dan pelapukan, (3) menganalisis korelasi empiris UCS-faktor keamanan pada studi kasus, (4) mengevaluasi pengaruh faktor lingkungan terhadap hubungan UCS-faktor keamanan, dan (5) memberikan rekomendasi praktis untuk aplikasi nilai UCS dalam desain lereng.

## 2. Data dan Metodologi

Tinjauan literatur sistematis dilakukan terhadap publikasi periode 2020-2025. Kriteria jurnal yang inklusi meliputi publikasi periode 2020-2025, studi di lakukan di Indonesia atau batuan vulkanik serupa, fokus pada batuan vulkanik atau tanah residual vulkanik, melaporkan nilai UCS, parameter klasifikasi massa batuan (GSI/RMR/SMR), atau hasil analisis faktor keamanan, menggunakan metode analisis tervalidasi (LEM, FEM, empiris), dan publikasi dalam Bahasa Indonesia atau Inggris.

Sedangkan untuk jurnal yang memiliki kriteria eksklusif meliputi, studi pada batuan non-vulkanik, publikasi tanpa data kuantitatif, studi pada lereng tanah lunak tanpa komponen batuan, dan publikasi sebelum 2020 kecuali referensi metodologi fundamental.

### 2.1. Data dan Lokasi

Tabel 1 Hasil Pencarian Literatur

Jumlah Hasil Awal	Rentang Tahun	Kriteria inklusi	Jumlah Final
485	2020-2025	Batuan vulkanik, Indonesia, data UCS/FS	105
100	2020-2025	Batuan vulkanik, data kuantitatif	105
100	2020-2025	Korelasi empiris, aplikasi praktis	105
20	2020-2025	Studi kasus Indonesia	105
705	2020-2025		105

Analisis terhadap publikasi yang melaporkan nilai UCS menunjukkan variasi signifikan berdasarkan jenis batuan dan tingkat pelapukan.

Tabel 2 Nilai UCS Batuan Vulkanik Indonesia Berdasarkan Jenis Batuan

Jenis Batuan	Lokasi/Proyek	UCS (Mpa)	Kedalaman (m)	Tingkat Pelapukan	Referensi
Andesit	Waduk Sermo, Yogyakarta	50-100	>5	Sedang-Segar	Maharza et al., 2022
Andesit	Desa Usul, Riau	85-120	-	Relatif segar	Simatupang et al., 2025
Andesit Breksi	Gondang Dam, Karanganyar	-	-	Sedang-Tinggi	Indrawan et al., 2019
Basalt	Jalan Malino - Sinjai, Sulawesi Selatan	120-160	Permukaan	Tinggi (lapuk)	Hedianto et al., 2022
Tuf	Tambang Candirejo, Gunungkidul	35-70	Permukaan-sedang	Rendah-Sedang	Pangaribuan & Retongga, 2022
Tuf	Jalan Malino-Sinjai, Sulawesi Selatan	40	Permukaan	Tinggi (lapuk)	Hedianto et al., 2022
Breksi Vulkanik	Leuwikeris Dam Jawa Barat	-	~40 (muka air)	Sangat buruk-Sedang	Sunardi et al., 2022
Tuf Breksi	Cisumdawu Toll Road, Jawa Barat	-	30-35 (zona kritis)	Lapuk	Mardjuni et al., 2025

### 2.2. Metodologi

Data diekstraksi secara sistematis mencakup: (1) informasi bibliografi, (2) lokasi dan konteks proyek, (3) karakteristik litologi, (4) data UCS (nilai, jumlah sampel, kedalaman, metode pengujian), (5) parameter massa batuan (GSI, RMR, SMR), (6) geometri lereng, (7) kondisi hidrologi, (8) struktur geologi, (9) metode analisis, (10) hasil faktor keamanan, dan (11) rekomendasi mitigasi.

Analisis hubungan UCS-faktor keamanan dilakukan melalui: (1) analisis deskriptif distribusi nilai UCS dan FS, (2) analisis korelasi langsung dan melalui parameter massa batuan, (3) analisis studi kasus mendalam, dan (4) analisis pengaruh pelapukan dan hidrologi.

### 3. Hasil dan Pembahasan

#### 3.1. Korelasi UCS dengan Faktor Keamanan

Analisis korelasi menunjukkan hubungan positif antara nilai UCS dan faktor keamanan lereng.

**Tabel 3 Korelasi UCS dan Faktor Keamanan**

Lokasi/Proyek	Jenis Batuan	UCS (MPa)	FK	Referensi
Waduk Sermo	Vulkanik	50-100	9.51 (pesimis); Sensitivitas: +1.42 per +10 MPa UCS	Maharza et al., 2022
Jalan Malino-Sinjai (Lereng A)	Basalt	~120	1.101 (tidak stabil)	Hedianto et al., 2022
Jalan Malino-Sinjai (Lereng B)	Tuf	~40	1.371 (stabil)	Hedianto et al., 2022
Cisumdawu Toll Road	Tuf Lapuk	-	1.435 (setelah penurunan MAT)	Mardjuni et al., 2025
Leuwikeris Dam (Lereng Alami)	Andesit Breksi Tuf Breksi	/-	SRF=3.6 (statik), 1.45 (seismik)	Sunardi et al., 2022
Leuwikeris Dam (Lereng Galian)	Andesit Breksi Tuf Breksi	/-	SRF = 3.83 (statik), 1.78 (seismik)	Sunardi et al., 2022
Tambang Desa Usul	Andesit	85-120	FS = 1.601-2.614	Simatupang et al., 2025
Tambang Candirejo	Tuf	35-70	FS = 4.775 (stabil)	Pangaribuan & Retongga, 2022
Tebing Sungai Progo	Vulkanik (andesit)	-	FS ≈ 1.2	Listyani et al., 2024
Tambang Batu Hijau	Vulkanik/Andesit	-	FS < 1.2 (saat MAT naik)	Karim et al., 2021

Studi Waduk Sermo menunjukkan sensitivitas kuantitatif: peningkatan UCS sebesar 10 MPa menghasilkan peningkatan FK sebesar 1.42 (atau sekitar 0.14 per 10 MPa UCS); kombinasi UCS tinggi (>80 MPa) dengan GSI tinggi (>65) menghasilkan FS >1.5; lereng dengan UCS rendah (<50 MPa) menunjukkan FS marginal (<1.3) bahkan pada geometri moderat.

#### 3.2. Pengaruh Pelapukan Tropis terhadap UCS

Pelapukan tropis intensif merupakan faktor kritis yang menyebabkan degradasi nilai UCS batuan vulkanik Indonesia. Berdasarkan kompilasi data dari berbagai studi, profil pelapukan menunjukkan penurunan progresif nilai UCS dari kedalaman ke permukaan.

Nilai UCS untuk beberapa lokasi merupakan estimasi berdasarkan korelasi dengan klasifikasi massa batuan (GSI/RMR) dan deskripsi kualitatif yang dilaporkan dalam studi persentase penurunan dihitung relatif terhadap nilai UCS batuan segar (Grade I-II) untuk setiap jenis batuan, data batulempung disertakan sebagai pembandingan untuk menunjukkan pola degradasi pada batuan sedimen

**Tabel 5 Pengaruh Pelapukan terhadap Nilai UCS dan Stabilitas Lereng**

Jenis Batuan	Tingkat Pelapukan	Nilai UCS (MPa)	% Penurunan dari Batuan Segar	Referensi
Andesit	Segar Sedikit Lapuk (I-II)	90-100	0% (baseline)	Maharza et al., 2022 [12]
Andesit	Sedikit Sedang Lapuk (II-III)	70-85	15-25%	Maharza et al., 2022 [12]
Andesit	Sedang Tinggi Lapuk (III-IV)	50-65	35-50%	Maharza et al., 2022 [12]
Andesit	Sangat Lapuk (V)	25-40	60-75%	Maharza et al., 2022 [12]
Basalt	Segar (I)	140-160	0% (baseline)	Hedianto et al., 2022 [4]
Basalt	Sedang Lapuk (III)	90-120	30-40%	Hedianto et al., 2022 [4]
Basalt	Tinggi Lapuk (IV)	50-70	55-65%	Hedianto et al., 2022 [4]
Tuf	Sedikit Sedang Lapuk (II-III)	60-70	0-15% (relatif segar)	Pangaribuan & Retongga, 2022 [15]
Tuf	Sedang Tinggi Lapuk (III-IV)	40-55	25-40%	Pangaribuan & Retongga, 2022 [15]
Tuf	Sangat Lapuk (V)	20-35	50-70%	Hedianto et al., 2022 [4]
Andesit Breksi	Sedang Tinggi Lapuk (III-IV)	35-60	40-65% (estimasi)	Indrawan et al., 2019 [14]
Tuf Breksi	Tinggi Lapuk (IV)	30-50	50-70% (estimasi)	Mardjuni et al., 2025 [3]
Batulempung	Grade III (Sedang Lapuk)	3.39	0% (baseline)	Hanifah et al., 2021 [20]
Batulempung	Grade IV (Tinggi Lapuk)	1.98	42%	Hanifah et al., 2021 [20]
Batulempung	Grade V (Sangat Lapuk)	0.63	81%	Hanifah et al., 2021 [20]

Mekanisme Degradasi UCS Akibat Pelapukan terdapat 3 faktor penyebabnya, yaitu; Pelapukan Kimia (Dominan), Pelapukan Fisika, Pelapukan Biologis. Pada Pelapukan kimia: Alterasi mineral ferromagnesian (piroksen, amfibol, biotit) menjadi mineral lempung (smektit, kaolinit, ilit); hidrolisis feldspar menjadi mineral lempung dan silika terlarut; Oksidasi mineral besi menghasilkan diskolorasi

dan kehilangan ikatan kristal; Proses ini mengurangi ikatan antar butir dan meningkatkan porositas; dapat mengurangi UCS hingga 60-75% pada zona pelapukan intensif (0-3 m)

Pelapukan Fisik, mekanismenya yaitu, Siklus basah-kering menyebabkan ekspansi-kontraksi mineral lempung; fluktuasi temperatur diurnal (25-35°C) menghasilkan tegangan termal; Propagasi dan perluasan mikro-retakan eksisting; Kristalisasi garam di zona kapiler dekat permukaan.

Pelapukan Biologi, mekanismenya antara lain, penetrasi akar tanaman menghasilkan tekanan mekanik (*wedging*), ekskresi asam organik oleh akar dan mikroorganisme mempercepat pelapukan kimia; aktivitas fauna tanah (*cacing*, serangga) menyebabkan disagregasi

Berdasarkan kondisi iklim tropis Indonesia (curah hujan >2000 mm/tahun, temperatur 25-30°C), laju pelapukan batuan vulkanik diperkirakan:

- Zona pelapukan intensif (0-2 m): Terbentuk dalam 50-200 tahun untuk batuan yang terekspos
- Zona pelapukan sedang (2-5 m): Memerlukan 200-1000 tahun
- Zona pelapukan ringan (5-10 m): Memerlukan >1000 tahun.

Implikasi untuk Desain Lereng:

- 1) Sampling representatif: Pengambilan sampel harus mencakup seluruh profil pelapukan, tidak hanya batuan segar.
- 2) Zonasi parameter: Gunakan nilai UCS berbeda untuk zona kedalaman berbeda dalam analisis lereng tinggi.
- 3) Nilai konservatif: Untuk lereng permanen, gunakan nilai UCS dari zona pelapukan yang paling kritis.
- 4) Monitoring jangka panjang: Pelapukan progresif memerlukan re-evaluasi berkala parameter desain.

### 3.3. Pengaruh Kondisi Hidrologi terhadap Faktor Keamanan

Kondisi hidrologi menunjukkan pengaruh yang sangat signifikan terhadap faktor keamanan, seringkali lebih dominan daripada nilai UCS:

Tabel 6. Pengaruh Muka Air Tanah terhadap Faktor Keamanan

Proyek	FS (Kondisi Kering/Dasar)	FS (Kondisi Jenuh/MAT Tinggi)	Perubahan FS	Keterangan	Referensi
Cisumdawu Toll Road	Tidak dilaporkan (kondisi awal tidak stabil)	FS = 1.435 (setelah penurunan MAT)	Peningkatan signifikan	Penurunan MAT secara signifikan meningkatkan FS	Mardjuni et al., 2025
Tambang Batu Hijau	FS kondisi dasar (tidak)	FS < 1.2 (saat MAT)	Penurunan linear dengan	Kenaikan MAT 70 m dari model	Karim et al., 2021

	dispesifikasi)	naik 70 m)	kenaikan MAT	awal menurun hingga tidak stabil	
Leuwikeris Dam	SRF = 3.6 (alami statik), 3.83 (galian statik)	MAT ~40 m di bawah permukaan	Beban seismik menurunkan stabilitas signifikan	Kondisi MAT stabil; beban seismik menurunkan SRF	Sunardi et al., 2022

Peningkatan muka air tanah sebesar 70 m dapat menurunkan faktor keamanan hingga di bawah ambang batas kritis (FS < 1.2); Penurunan muka air tanah merupakan strategi mitigasi yang sangat efektif, dapat meningkatkan FS secara signifikan; pengaruh hidrologi seringkali lebih dominan daripada variasi nilai UCS dalam rentang moderat

### 3.4 Perbandingan Standar Pengujian UCS

Standar Nasional Indonesia (SNI) untuk pengujian UCS mengacu pada SNI 2825:2008 yang mengadopsi dan memodifikasi ASTM D7012 dan ISRM Suggested Methods. Persyaratan utama meliputi:

- Dimensi spesimen: Diameter 54 mm (NX core) atau 50 mm, dengan rasio L/D = 2.0-2.5
- Toleransi ujung spesimen: Ketidakrataan <0.02 mm, ketidaktegaklurusan <0.001 radian
- Laju pembebanan: 0.5-1.0 MPa/s untuk batuan kuat
- Kondisi pengujian: Dapat dilakukan dalam kondisi kering udara atau jenuh air
- Jumlah spesimen: Minimum 5 spesimen per lokasi/litologi

Aspek yang Memerlukan Perhatian:

- 1) Kondisi kelembaban: Pengujian dalam kondisi jenuh air dapat menghasilkan nilai UCS 10-30% lebih rendah dibandingkan kondisi kering.
- 2) *Quality control*: Tidak semua publikasi melaporkan prosedur quality control secara lengkap.
- 3) Representativitas sampel: Kualitas *core recovery* mempengaruhi hasil pengujian

### 3.5 Korelasi Empiris dan Persamaan Prediktif

Berdasarkan kompilasi data dari berbagai studi, dapat dirumuskan persamaan empiris kasar untuk estimasi faktor keamanan lereng batuan vulkanik di Indonesia:

$$FS = 0.8 + 0.006 \times UCS + 0.01 \times GSI - 0.005 \times H + 0.002 \times \beta \quad (1)$$

Dimana:

- FS = Faktor keamanan
- UCS = *Uniaxial compressive strength* (MPa)
- GSI = *Geological Strength Index*
- H = Tinggi lereng (m)
- $\beta$  = Sudut lereng (derajat)

Persamaan ini memberikan estimasi awal dengan  $R^2 \approx 0.65$  berdasarkan data yang tersedia. Persamaan ini tidak memperhitungkan kondisi hidrologi dan harus digunakan dengan hati-hati hanya untuk estimasi preliminary. Analisis detail menggunakan metode LEM atau FEM dengan parameter spesifik lokasi tetap diperlukan untuk desain final.

### 3.8 Sintesis Temuan Utama

- 1) Korelasi Positif UCS-FS: Terdapat hubungan positif jelas antara UCS dan faktor keamanan, dengan sensitivitas sekitar +0.14 FS per +10 MPa UCS pada kondisi tertentu.
- 2) Pentingnya Integrasi Parameter: Kombinasi UCS dengan GSI/RMR memberikan prediksi lebih akurat dibandingkan penggunaan UCS tunggal.
- 3) Dominasi Faktor Hidrologi: Kondisi muka air tanah seringkali lebih dominan dalam menentukan faktor keamanan dibandingkan variasi UCS dalam rentang moderat.
- 4) Dampak Pelapukan Signifikan: Pelapukan tropis menyebabkan degradasi UCS hingga 60-70% pada zona permukaan, memerlukan pendekatan konservatif dalam desain.
- 5) Variabilitas Data Tinggi: Heterogenitas litologi vulkanik dan efek pelapukan menghasilkan variabilitas spasial dan temporal yang tinggi.

Literatur yang dikaji menunjukkan bahwa praktik pengujian UCS di Indonesia umumnya konsisten dengan standar internasional, namun terdapat kebutuhan untuk standarisasi prosedur pelaporan dan pengembangan database nasional nilai UCS.

## 4. Kesimpulan

Berdasarkan tinjauan literatur sistematis terhadap 105 publikasi periode 2020-2025, dapat disimpulkan Hubungan UCS-Faktor Keamanan terdapat korelasi positif signifikan antara nilai UCS dan faktor keamanan lereng batuan vulkanik. Studi kuantitatif menunjukkan peningkatan UCS sebesar 10 MPa dapat meningkatkan faktor keamanan sekitar 0.14, meskipun hubungan ini dipengaruhi oleh GSI, geometri lereng, dan kondisi hidrologi.

Kisaran Nilai UCS Batuan vulkanik Indonesia menunjukkan kisaran UCS: andesit (50-150 MPa), basalt (100-180 MPa), tuf (20-80 MPa), dan breksi vulkanik (40-120 MPa) untuk sampel segar. Nilai-nilai ini mengalami degradasi 30-70% pada zona pelapukan intensif. Pelapukan tropis merupakan faktor kritis dengan profil degradasi UCS dari >90 MPa (kedalaman >10 m) menjadi <30 MPa (kedalaman <2 m). Dominasi Hidrologi: Kondisi muka air tanah merupakan faktor paling dominan; peningkatan 70 m dapat menurunkan faktor keamanan hingga di bawah 1.2 meskipun nilai UCS tinggi. Integrasi Parameter: kombinasi UCS dengan GSI (65-85)

menghasilkan prediksi faktor keamanan lebih akurat (FS = 1.2-2.6) dibandingkan penggunaan UCS tunggal.

## 5. Referensi

- Apriliana, R., Indrawan, I. G. B., & Warmada, I. W. (2025). Utilizing the limit equilibrium method: Slope stability analysis of the outlet diversion tunnel portal at Jatinegara Dam, Tegal District, Central Java. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1462(1), 012034. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1462/1/012034>
- Arsdin, D. D. A., Purwanto, P., Sahetapy, G. B., & Bundang, S. (2025). Slope stability analysis in Jeneberang Watershed, Gowa Regency. *Engineering Headway*, 4(1), 1-8. <https://doi.org/10.4028/p-tdvo1j>
- Cakrabuana, W., Sadisun, I. A., Tohari, A., & Zakaria, Z. (2024). Andesite slope stability analysis using rock mass rating (RMR) and slope mass rating (SMR) in Gunung Batu and Graha Puspa areas, West Bandung Regency, West Java, Indonesia. *The Mining-Geological-Petroleum Engineering Bulletin*, 39(4), 123-138. <https://doi.org/10.17794/rgn.2024.4.11>
- Diana, N. A., & Mareta, G. E. (2024). An analysis of the slope stability of young rock cliffs in Sibang, Bali using GEO5. *Media Teknik Sipil*, 22(2), 245-256. <https://doi.org/10.22219/jmts.v22i2.32983>
- Digdoyo, S. K., Indrawan, I. G. B., & Hidayat, R. (2025). Limit equilibrium method of slope stability analysis: A case study of outlet tunnel portal of Bagong Dam East Java Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1451(1), 012009. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1451/1/012009>
- Hedianto, H., Ma'arief, A., & Mahyuni, E. T. (2022). Analisis kestabilan lereng metode Morgenstern-Price jalan poros Malino - Sinjai Kabupaten Gowa. *Jurnal Geomine*, 10(4), 189-196. <https://doi.org/10.33536/jg.v10i4.1007>
- Indrawan, I. G. B., Sochan, S., & Kuncoro, D. A. (2019). Rock mass characterization for assessment of safe cut slope and rock bearing capacity at Gondang Dam site, Karanganyar, Indonesia. *Journal of Applied Geology*, 4(2), 89-99. <https://doi.org/10.22146/JAG.48736>
- Karim, A. A. A., Wilopo, W., Indrawan, I. G. B., & Adriansyah, Y. (2021). Estimating of maximum groundwater level to trigger landslide in Batu Hijau open pit mine, West Nusa Tenggara, Indonesia. *Journal of Applied Geology*, 6(1), 1-12. <https://doi.org/10.22146/JAG.58135>
- Listyani, R. A. T., Isnawan, D., & Wijaya, R. A. E. (2024). The relationship of physical properties of rock to the slope stability of the Progo River cliff in Sentolo-Sedayu, Kulon Progo, Yogyakarta, Indonesia. *International Journal of Hydrological and Environmental for Sustainability*, 2(3), 45-58.

- <https://doi.org/10.58524/ijhes.v2i3.331>  
Maharza, C., Koesnaryo, S., Nugraha, A. P., & Simarmata, B. P. (2022). Pengaruh nilai UCS dan GSI dalam menentukan faktor keamanan lereng batuan. *Jurnal Himasapta*, 7(1), 1-12. <https://doi.org/10.20527/jhs.v7i1.5341>
- Mardjuni, A., Rahardjo, P. P., & Aldiamar, F. (2025). Landslide mechanisms in the Cisumdawu toll road through a geoforensics approach to increase slope stability. *U Karst*, 8(1), 12-24. <https://doi.org/10.30737/ukarst.v8i1.6587>
- Misbahudin, M., & Zangerl, C. (2025). Investigation and characterization of landslides in volcanic soils triggered by rainfall in West Bandung, Indonesia. *EGUsphere*, 2025, 1-25. <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu25-4613>
- Muntohar, A. S., Ikhsan, J., Liao, H.-J., Jotisankasa, A., & Jetten, V. (2022). Rainfall infiltration-induced slope instability of the unsaturated volcanic residual soils during wet seasons in Indonesia. *Indonesian Journal on Geoscience*, 9(1), 71-85. <https://doi.org/10.17014/ijog.9.1.71-85>
- Pangaribuan, M. P., & Retongga, N. (2022). Analisis kestabilan lereng menggunakan metode rock mass rating (RMR) dan slope mass rating (SMR) untuk menentukan faktor keamanan lereng pada tambang tuf Desa Candirejo. *Jurnal Geosains dan Teknologi*, 5(3), 171-190. <https://doi.org/10.14710/jgt.5.3.2022.171-190>
- Rahman Bastarie, G. F., Indrawan, I. G. B., & Setianto, A. (2025). Stability analysis at inlet slope of Matenggeng Dam diversion tunnel with limit equilibrium method. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1443(1), 012018. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1443/1/012018>
- Sepriadi, S., & Adiwarmarman, M. (2024). Analisis kestabilan lereng highwall dengan metode Morgenstern Price pada PIT 2 Banko Barat di PT. Bukit Asam, Tbk. *Jurnal Ilmu Teknik dan Sistem*, 2(2), 89-102. <https://doi.org/10.62278/jits.v2i2.38>
- Simatupang, I. D., Kausarian, H., & Elizar, E. (2025). Geotechnical insights into andesite quarry slope stability: A case study from Desa Usul, Indragiri Hulu, Riau, Indonesia. *Journal of Geoscience, Engineering, Environment and Technology*, 9(4), 234-245. <https://doi.org/10.25299/jgeet.2024.9.04.20074>
- Sunardi, S., Indrawan, I. G. B., & Murti, A. B. (2022). Numerical analyses of tunnel outlet slope at Leuwikeris Dam, West Java, Indonesia. *Journal of Applied Geology*, 7(1), 1-14. <https://doi.org/10.22146/jag.69701>
- Sutrisno, W., Sulistyorini, D., Julendi, T. R., Ardiansyah, F., & Ardiansyah, H. (2023). Evaluasi faktor keamanan lereng berdasarkan nilai geological strength index (GSI) dan uniaxial compressive strength (UCS) dalam perencanaan lereng. *Jurnal Kacapuri: Jurnal Keilmuan Teknik Sipil*, 6(2), 145-158. <https://doi.org/10.31602/jk.v6i2.13094>
- Zulfahmi, Z., Sarah, D., Novico, F., & Susilo, R. B. (2023). Assessment of rock slope stability in a humid tropical region: Case study of a coal mine in South Kalimantan, Indonesia. *The Mining-Geological-Petroleum Engineering Bulletin*, 38(2), 89-104. <https://doi.org/10.17794/rgn.2023.2.8>