

ANALISIS POTENSI BENCANA LONGSOR MENGGUNAKAN METODE KINEMATIK DI DESA JABUNGAN, KOTA SEMARANG

Leony Isda Perkasa¹, Najwa Humaira Dirostrimila¹, Puspo Anggreiny Putri Soputan¹,
Dian Agus Widiarso¹

¹Departemen Teknik Geologi, Universitas Diponegoro, Semarang

Email Penulis: leonyisda@students.undip.ac.id

Naskah Diterima: 29 April 2024/Revisi: 24 Juni 2024 /Disetujui: 30 Juni 2024

ABSTRAK

Daerah penelitian terletak di Kelurahan Jabungan, Kecamatan Banyumanik, Kota Semarang, Provinsi Jawa Tengah, di area pemukiman. Penelitian ini difokuskan pada analisis potensi longsor yang mungkin terjadi pada lereng yang berada di dekat pemukiman warga dan jalan. Tingginya potensi kerusakan jika lereng tersebut longsor menjadi alasan utama dilakukannya penelitian ini. Stabilitas lereng di area sekitar pemukiman dan jalan sangat penting karena lereng yang stabil akan mengurangi kemungkinan terjadinya longsor. Longsor adalah pergerakan massa tanah atau batuan sepanjang bidang tergelincir atau permukaan bidang geser. Jenis longsor berkaitan dengan struktur geologi yang menyebabkan diskontinuitas pada massa batuan. Pendekatan awal untuk menentukan kemungkinan terjadinya longsor pada suatu lereng adalah dengan metode analisis kinematik. Analisis ini bertujuan untuk mengetahui jenis longsor yang mungkin terjadi. Hasil analisis kinematik pada lereng penelitian menunjukkan bahwa lereng tersebut berpotensi mengalami longsor bidang. Mengetahui potensi longsor ini penting sebagai dasar untuk melakukan mitigasi yang tepat agar bencana longsor dapat dicegah, sehingga menghindari kerugian yang mungkin timbul

Kata kunci: Kinematik; Longsor; Lereng; Mitigasi

ABSTRACT

The research area is located in Jabungan Village, Banyumanik District, Semarang City, Central Java Province, in a residential area. This study focuses on analyzing the potential for landslides that may occur on slopes near residential areas and roads. The high potential for damage if these slopes were to collapse is the primary reason for conducting this research. Stability of the slopes around residential and road areas is crucial because stable slopes reduce the likelihood of landslides. Landslides involve the movement of soil or rock masses along slip planes or shear surfaces. The types of landslides are related to geological structures that cause discontinuities in rock masses. An initial approach to determining the likelihood of landslides on a slope is through kinematic analysis. This analysis aims to identify the types of landslides that could occur. The results of the kinematic analysis on the research slope indicate that there is potential for planar landslides. Understanding this landslide potential is essential as a basis for implementing appropriate mitigation measures to prevent landslide disasters and mitigate potential losses.

Keywords: Kinematic; Landslides; Slope; Mitigation

PENDAHULUAN

Bencana adalah kejadian yang mengancam dan mengganggu kehidupan masyarakat, disebabkan oleh faktor alam, non-alam, atau faktor manusia, yang dapat mengakibatkan korban jiwa, kerusakan lingkungan, kehilangan harta benda, dan dampak psikologis. Longsor merupakan salah satu jenis pergerakan massa tanah atau batuan, atau campuran keduanya, yang tergelincir atau bergerak turun dari lereng karena gangguan pada stabilitas tanah atau batuan yang membentuk lereng. Stabilitas lereng dapat dikatakan tercapai jika gaya penahannya lebih besar daripada gaya yang mendorong terjadinya longsor. Tipe-tipe longsor dapat dibedakan menjadi empat berdasarkan bidang gelincirnya (Hoek & Bray, 1981), yaitu longsor bidang, longsor baji, longsor guling, dan longsor busur.

Penelitian ini dilakukan di Desa Jabungan, Kecamatan Banyumanik, Kota Semarang, Provinsi Jawa Tengah. Desa Jabungan terletak di daerah perbukitan dengan kondisi lahan yang relatif terjal, termasuk dalam satuan bentang alam berbukit struktural yang curam. Berdasarkan peta geologi Lembar Magelang – Semarang, stratigrafi di Desa Jabungan terdiri dari beberapa satuan formasi geologis, antara lain Formasi Kerek, Formasi Kalibeng, dan Formasi Damar. Penelitian dilakukan pada Formasi Kalibeng, yang merupakan endapan laut pada periode Tersier, terdiri dari batupasir, batulempung, dan batugamping. Struktur geologi di sekitar Jabungan mencakup berbagai jenis sesar seperti sesar turun, sesar naik, lipatan, dan beberapa sesar lain yang masih diperkirakan. Lereng penelitian ini berada di sekitar permukiman warga dan jalan. Karena potensi kerusakan yang tinggi jika terjadi longsor, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis potensi terjadinya longsor di lereng yang berdekatan dengan permukiman dan jalan yang sering dilalui manusia. Dengan mengetahui potensi longsor tersebut, langkah-langkah mitigasi yang sesuai dapat diambil untuk mencegah terjadinya bencana longsor dan mengurangi kerugian yang mungkin terjadi. Metode yang digunakan dalam penelitian ini meliputi analisis kinematik stereografis, serta analisis *rock mass rating* dan *slope mass rating* untuk mengevaluasi potensi longsor pada lereng penelitian.

METODOLOGI

a. Sumber Data

Langkah awal dalam penelitian ini adalah melakukan pengumpulan data di lapangan. Peneliti memperoleh dua jenis sumber data, yaitu data kuantitatif dan kualitatif. Data kuantitatif adalah informasi berupa angka atau bilangan yang diperoleh melalui pengukuran langsung di lapangan. Pengukuran dilakukan menggunakan metode *scanline* di sepanjang lereng pada titik pengamatan yang telah ditentukan. Metode *scanline* memanfaatkan garis pada permukaan batuan untuk mengukur semua rekahan yang bertemu dengan garis tersebut (Brady & Brown, 2004). Sementara itu, data kualitatif adalah data yang lebih deskriptif dan bersifat non-numerik. Data ini diamati dan dicatat melalui metode observasi terhadap lereng penelitian.

b. Analisis Kinematik

Analisis kinematik adalah metode untuk mengevaluasi stabilitas lereng yang

memanfaatkan parameter seperti orientasi struktur geologi, orientasi lereng, dan sudut geser dalam batuan yang diproyeksikan pada stereonet (Hoek dan Bray, 1981). Dalam analisis kinematik, digunakan *schmidt net* untuk memproyeksikan bidang diskontinuitas menjadi titik atau garis lengkung (*plane*). Data kekar perlu di-*contouring* untuk menentukan arah orientasi utama, yang nantinya akan digunakan dalam analisis kinematik. Dengan menganalisis data orientasi bidang diskontinuitas, seperti struktur geologi (kekar), dapat diprediksi jenis longsor dan potensi ketidakstabilan lerengnya. Analisis kinematik dilakukan dengan menggunakan proyeksi stereografis pada stereonet.

c. Analisis Slope Mass Rating (SMR)

SMR adalah evolusi dari sistem RMR yang dikembangkan oleh Bieniawski, yang telah diakui secara global dan digunakan oleh banyak teknisi sebagai alat untuk sistematis menggambarkan kondisi massa batuan. Parameter yang diperlukan untuk klasifikasi SMR diperlihatkan seperti yang tercantum dalam Tabel 1 antara lain, yaitu:

- Arah kemiringan (*dip direction*) dari permukaan lereng (α_s)
- Arah kemiringan (*dip direction*) diskontinuitas (α_j)
- Sudut kemiringan diskontinuitas (β_j) dan kemiringan lereng (β_s)

Tabel 1 Nilai pembobotan untuk kekar (Romana, 1985 dalam Endartyanto, 2007)

SMR	0 - 20	21 - 40	41 - 60	61 - 80	81 - 100
Kelas	V	IV	III	II	I
Deskripsi	Sangat buruk	Buruk	Normal	Baik	Sangat baik
Kestabilan	Sangat tidak stabil	Tidak stabil	Stabil sebagian	Stabil	Sangat stabil
Longsoran	Bidang	Bidang dan baji	Baji dan kekar	Blok batuan	Tidak ada
Stabilisasi	Reeks kavasi	Koreksi lereng	Sistematis	Okasional	Tidak ada

d. Analisis Rock Mass Rating (RMR)

Dalam penelitian ini, digunakan metode Rock Mass Rating (RMR) yang diperkenalkan oleh Bieniawski (1976). Metode ini mengklasifikasikan massa batuan berdasarkan beberapa parameter yang relevan, sebagaimana terlihat dalam Tabel 2 antara lain, yaitu:

- Kuat Tekan Batuan
Hoek dan Brown (1980) menyediakan Klasifikasi Indeks Bahan Batuan untuk menghitung perkiraan nilai kekuatan tekan batuan di lapangan menggunakan alat seperti kuku, pisau, dan palu geologi.
- RQD (*Rock Quality Designation*)
RQD merupakan metode yang dimodifikasi dari persentase panjang inti bor yang utuh dengan ukuran 10 cm atau lebih. Karena inti bor tidak tersedia, metode ini dihitung dengan mengukur jarak antara bidang diskontinuitas menggunakan metode *scanline*. Jarak antara dua bidang diskontinuitas yang berdekatan, yang tegak lurus terhadap garis *scanline*, diukur sebagai *intact length*. Dalam penelitian ini, nilai RQD diestimasi menggunakan metode *scanline* dengan panjang *scanline* sebesar 22,5 m.
- Spasi Diskontinuitas
Spasi diskontinuitas adalah jarak antara dua diskontinuitas yang berdekatan dalam satu garis *scanline*.

- Kondisi Diskontinuitas
Kondisi diskontinuitas ditentukan berdasarkan deskripsi masing-masing bidang diskontinuitas, termasuk tingkat pelapukan, kekerasan permukaan bidang diskontinuitas, kemenerusan bidang diskontinuitas, lebar bukaan, dan jenis material pengisi bidang diskontinuitas.
- Kondisi Air Tanah
Air mengisi rongga antara permukaan diskontinuitas dan keberadaannya dapat mengurangi kekuatan geser antara kedua permukaan tersebut. Bobot parameter air tanah dapat ditentukan melalui beberapa metode, seperti pengamatan langsung di lapangan untuk menentukan kondisi umum air, pengukuran debit air, atau pengukuran tekanan air. Dalam penelitian ini, dilakukan pengamatan langsung di lapangan untuk menentukan kondisi umum air.

Tabel 1 Klasifikasi RMR (Bieniawski, 1976)

Parameter		Selang Nilai				
	Indeks Kekuatan Batuan					
		>10	4-10	2-4	1-2	Untuk nilai yang kecil dipakai UCS
1	Kuat Tekan Utuh	>250	100-250	50-100	25-50	<1
	Pembobotan	15	12	7	4	2 1 0
2	RQD (%)	90-100	75-90	50-75	25-50	<25
	Pembobotan	20	17	13	8	3
3	Spasi Rekahan	>2 m	0.6-2 m	0.2-0.6 m	60-200 mm	<60 mm
	Pembobotan	20	15	10	8	5
4	Spasi Rekahan	Permukaan sangat kasar, tidak menerus, tidak renggang, tidak lapuk	Agak kasar, renggangan <1mm, agak lapuk	Agak kasar, renggangan <1mm, sangat kasar	Slickenside/gauge <5mm, renggangan 1-5mm, menerus	Gauge lemah, tebal >5mm, menerus
	Pembobotan	30	25	20	10	0
	Aliran/10m, panjang terowongan	Tidak ada	<10	10-25	25-125	>125
5	Air Tanah	0	<0.1	0.1-0.2	0.2-0.5	>0.5
	Tekanan pori	0	<0.1	0.1-0.2	0.2-0.5	>0.5
	Keadaan umum	Kering	Lembab	Basah	Menetes	Mengalir
	Pembobotan	15	10	7	4	0

HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Analisis Rock Mass Rating (RMR)

Klasifikasi *rock mass rating* yang diajukan oleh Bieniawski (1989) digunakan untuk mengevaluasi kualitas massa batuan berdasarkan lima parameter kunci. Untuk mendapatkan nilai *rock mass rating*, kelima parameter utama ini dijumlahkan. Berikut ini adalah penjelasan mengenai lima parameter utama yang digunakan:

- Kuat Tekan Batuan
Pada pengujian kekuatan tekan batuan utuh kali ini, digunakan alat uji seperti paku dan palu geologi. Sampel yang diuji dapat ditekan dengan menggunakan paku. Berdasarkan tabel pembobotan nilai RMR, nilai kekuatan batuan utuh yang diperoleh

adalah antara 0,25 hingga 1. Ini mengindikasikan bahwa pembobotan parameter kekuatan batuan utuh RMR adalah 0.

- *Rock Quality Designation (RQD)*

Dalam penelitian ini, untuk menghitung nilai RQD, digunakan metode scanline dengan panjang scanline 22,5 m. Berdasarkan data kekar dengan garis *scanline* sepanjang 22,5 m, nilai *Rock Quality Designation (RQD)* dihitung dan hasilnya adalah 99,945115. Berdasarkan nilai RQD sebesar 99,945115, dapat disimpulkan bahwa kualitas batuan pada lereng penelitian adalah sangat baik. Berdasarkan tabel pembobotan nilai RMR, nilai pembobotan RMR untuk parameter RQD adalah 20.

- Spasi Diskontinuitas

Jarak bidang diskontinuitas adalah jarak tegak lurus antara satu kekar dengan kekar lainnya. Untuk mengukur jarak antar kekar, dapat dilakukan secara langsung di lapangan menggunakan meteran. Rata-rata spasi diskontinuitas yang diukur adalah 0,849 meter. Berdasarkan tabel pembobotan nilai RMR, nilai pembobotan RMR untuk parameter jarak kekar adalah 15.

- Kondisi Diskontinuitas

Ada lima atribut kekar yang termasuk dalam konsep kondisi kekar, yaitu lebar bukaan dan jenis material yang mengisi bidang diskontinuitas.

- Kondisi Air Tanah

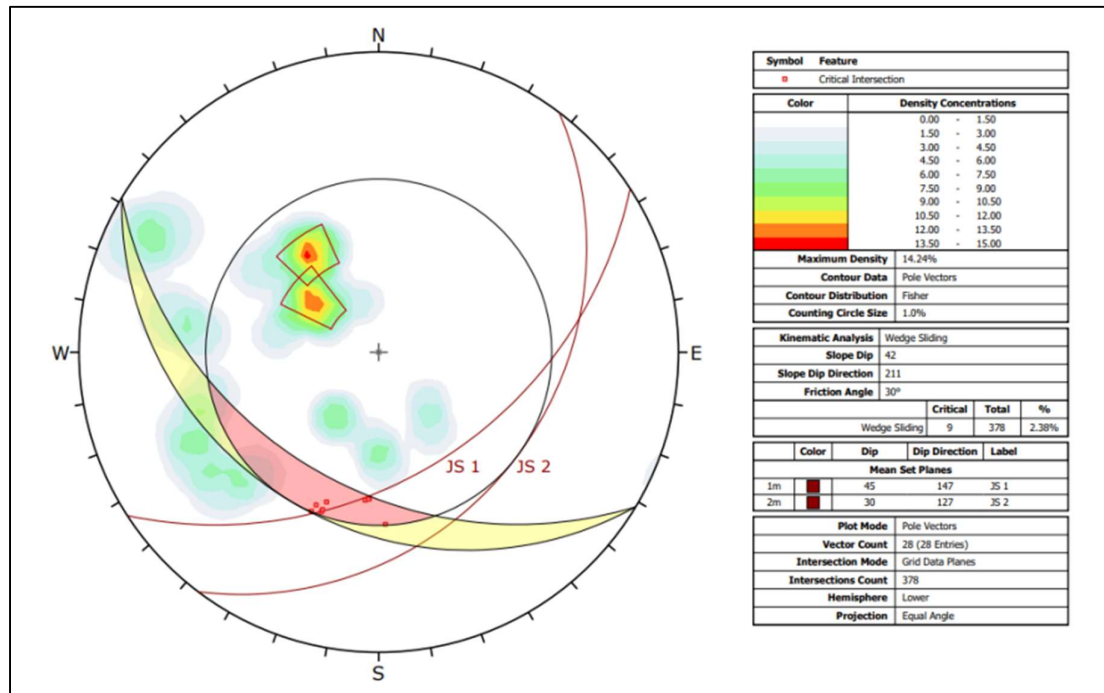
Air yang mengisi celah antara permukaan diskontinuitas memiliki dampak signifikan terhadap kekuatan geser antara permukaan tersebut. Penentuan bobot parameter air tanah dapat dilakukan melalui pengamatan langsung di lapangan untuk menilai kondisi umum air yang hadir di dalam celah diskontinuitas.

Tabel 3 Kelas massa batuan menurut total bobot (Bieniawski, 1989)

Pembobotan	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	<21
Nomor Kelas	I	II	III	IV	V
Pemerian	Sangat Baik	Baik	Sedang	Buruk	Sangat Buruk
Kohesi (kPa)	>400	300 - 400	200 - 300	100 - 200	<100
Sudut Gesek Dalam (°)	>45	35 - 45	25 - 35	15 - 25	<15

b. Analisis Kinematik

Contoh terbaik dari pendekatan pertama yaitu menggunakan analisis kinematika untuk mengevaluasi kemungkinan ketidakstabilan lereng. Kinematika adalah studi mengenai gerakan tanpa mempertimbangkan kekuatan-kekuatan yang menyebabkannya (Hudson & John, 2005). Analisis kinematika digunakan untuk mengidentifikasi jenis longsoran yang mungkin terjadi pada lereng batuan. Metode ini memanfaatkan orientasi struktur geologi, lereng, dan sudut geser batuan yang diproyeksikan dalam analisis stereografis untuk menentukan tipe dan arah potensial longsoran. Analisis kinematika melibatkan evaluasi interaktif terhadap orientasi struktur geologi seperti kekar dan sesar, menggunakan teknik yang sama dalam stereonet manual. Parameter yang dimasukkan dalam analisis ini memenuhi kriteria untuk jenis longsoran baji, yaitu $\Phi < \Psi_i < \Psi_f$, dengan nilai sudut antara $20^\circ < 23^\circ < 42^\circ$ (Gambar 1).



Gambar 1 Analisis kinematika (Hoek dan Bray, 1981)

c. *Analisis Slope Mass Rating (SMR)*

Berdasarkan Tabel 4, nilai-nilai F1, F2, F3, dan F4 dapat diidentifikasi dengan membandingkannya dengan pembobotan yang tercantum dalam referensi Romana (1985) yang dijelaskan dalam Endartyanto (2007). Sesuai dengan kondisi lereng di daerah penelitian dan penyesuaian dengan tabel tersebut, bobot F1 adalah 1, F2 adalah 1, F3 adalah 0, dan F4 adalah 15.

Tabel 4 Deskripsi setiap kelas SMR (Romana, 1985 dalam Endartyanto, 2007)

Kasus	Syarat	Sangat Baik	Baik	Cukup Baik	Buruk	Sangat Buruk
P	$ \alpha_j - \alpha_s $	$>30^\circ$	$30^\circ-20^\circ$	$20^\circ-10^\circ$	$10^\circ-5^\circ$	$<5^\circ$
T	$ \alpha_j - \alpha_s - 180 $					
P/T	F1	0.15	0.4	0.7	0.85	1
P	$ \beta_j $	$<20^\circ$	$20^\circ-30^\circ$	$30^\circ-35^\circ$	$35^\circ-45^\circ$	$>45^\circ$
P	F2	0.15	0.4	0.7	0.85	1
T	F2	1	1	1	1	1
P	$\beta_j - \beta_s$	$>10^\circ$	$10^\circ-0^\circ$	0°	$0^\circ-(-10^\circ)$	$<-10^\circ$
T	$\beta_j - \beta_s$	$<110^\circ$	$110^\circ-120^\circ$	$>120^\circ$	-	-
P/T	F3	0	-6	-25	-50	-60

Setelah mendapatkan nilai F1, F2, F3, dan F4, langkah berikutnya adalah menghitung nilai SMR menggunakan rumus berikut $SMR = RMR + (F1 \times F2 \times F3) + F4$. Rumus perhitungan SMR (*Slope Mass Rating*) di atas didasarkan pada nilai RMR yang telah dihitung sebelumnya. F1 merupakan sudut antara α_j (sudut jurus kekar) dan α_s (sudut arah jurus lereng), dan faktor-faktor lainnya mempengaruhi penentuan stabilitas lereng. Nilai F1 sangat dipengaruhi oleh arah jurus kekar terhadap permukaan lereng, yang

mencerminkan pengaruh karakteristik geologi di area tersebut terhadap stabilitas lereng. Faktor kedua, F2, merujuk pada sudut kemiringan tangensial β_j yang berkaitan dengan kemiringan kekar dalam massa batuan. Hal ini krusial karena sudut kemiringan kekar dapat berpengaruh signifikan terhadap stabilitas lereng. F3 merupakan faktor selanjutnya yang mengukur sudut antara β_s (kemiringan permukaan lereng) dan β_j (kemiringan kekar). Nilai F3 menjelaskan hubungan antara karakteristik permukaan lereng dan kemiringan kekar dalam konteks penilaian stabilitas lereng. F4, sebagai faktor terakhir, mencakup metode eskavasi yang digunakan dalam lereng. Hal ini juga berperan penting dalam menentukan nilai RMR karena metode eskavasi dapat memengaruhi interaksi antara lereng dan massa batuan di sekitarnya. Oleh karena itu, RMR menjadi parameter kunci dalam analisis stabilitas lereng dan perencanaan rekayasa geoteknik yang mencakup berbagai aspek, mulai dari karakteristik geologi hingga metode konstruksi yang diterapkan. Berdasarkan perhitungan SMR, nilai yang diperoleh adalah 50, yang sesuai dengan deskripsi kelas SMR (Romana, 1985 dalam Endartyanto, 2007) menunjukkan bahwa kondisi massa batuan dikategorikan sebagai normal, seperti yang terlihat dalam Tabel 5.

Tabel 5 Klasifikasi SMR

SMR	0 - 20	21 - 40	41 - 60	61 - 80	81 - 100
Kelas	V	IV	III	II	I
Deskripsi	Sangat buruk	Buruk	Normal	Baik	Sangat baik
Kestabilan	Sangat tidak stabil	Tidak stabil	Stabil sebagian	Stabil	Sangat stabil
Longsoran Stabilisasi	Bidang Reekskavasi	Bidang dan baji Koreksi lereng	Baji dan kekar Sistematis	Blok batuan Okasional	Tidak ada Tidak ada

KESIMPULAN

Berdasarkan analisis RMR, ditemukan bahwa kuat tekan batuan termasuk dalam kategori extremely weak, nilai RQD sangat baik, spasi diskontinuitas lebar, kondisi diskontinuitas terdapat gouge lunak dengan lebar $>5\text{mm}$, pemisahan $>5\text{mm}$, terdapat kekar menerus, dan kondisi air tanah dalam keadaan kering. Klasifikasi massa batuan tersebut adalah sedang. Berdasarkan analisis kinematik yang dilakukan, lereng memiliki potensi untuk mengalami longsoran baji. Hasil dari analisis SMR menunjukkan bahwa massa lereng tersebut termasuk dalam kategori normal. Rekomendasi yang dapat diberikan meliputi menghindari pembangunan tambahan di sekitar lereng, meningkatkan kesiapsiagaan dan kesadaran masyarakat terhadap potensi bencana longsor, serta mempertimbangkan pembuatan dan pemeliharaan drainase jalan di sekitar lereng sebagai langkah pencegahan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan dalam penelitian ini. Terima kasih kepada Bapak Dr. Dian Agus Widiarso selaku dosen pembimbing seminar yang memberikan bimbingan yang berharga. Juga terima kasih kepada Asisten Geologi Teknik Universitas Diponegoro atas bimbingan mereka. Tak lupa kepada seluruh keluarga dan teman-teman penulis yang memberikan dukungan moral dan semangat dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Akbar, M. D., Heriyadi, B., & Ansosry, A. 2019. Analisis Kestabilan Tunnel Berdasarkan Klasifikasi Geomekanika (RMR-System) Pada Penambangan Batubara Bawah Tanah Metoda Room and Pillar PT. Allied Indo Coal Jaya (AICJ) Sawahlunto. Bina Tambang, 4(3), 247-259.
- Arif, I. 2016. Geoteknik Tambang. Penerbit PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Bieniawski, Z.T. 1989. Engineering Rock Mass Classification, John Wiley and Sons, New York.
- Deere, D.U., Miller, R.P. 1966. Engineering Classification and Index Properties for Intact Rock, Technical Report No. AFWL-TR-65-116, Univ. of Illinois, Urbana.
- Faradibah, N., Apriyanti, Y., & Irvani, I. 2016. Analisis kestabilan lereng menggunakan metode slope mass rating (SMR) dan software geoslope/W 2007 pada tambang air laya selatan lokasi suban di PT Bukit Asam (persero) Tbk. MINERAL, 1(1), 17-25.
- Hoek, E., Bray, J. 1981. Rock Slope Engineering, Civil and Mining 4th Edition, Duncan C. Wyllie and Christopher W. Mah, London and New York.
- Indriana, R. D. 2017. Identifikasi sesar daerah rawan longsor Jabungan Semarang menggunakan data anomali udara bebas (Riset Pendahuluan). Youngster Physics Journal, 6(3), 285-289.
- Jurnaliah, L., Muhammadsyah, F., & Barkah, N. 2016. Lingkungan Pengendapan Formasi Kalibeng Pada Kala Miosen Akhir di Kabupaten Demak dan Kabupaten Semarang, Jawa Tengah Berdasarkan Rasio Foraminifera Planktonik dan Bentonik (Rasio P/B). Bulletin of Scientific Contribution, 14(3), 233-238.
- Pasha, S. R., Sunarwan, B., & Syaiful, M. 2018. Analisis potensi longsor menggunakan metode kinematik pada tambang terbuka limestone narogong PT Holcim Indonesia Tbk Kecamatan Cileungsi Kabupaten Bogor Jawa Barat. Jurnal Online Mahasiswa (JOM) Bidang Teknik Geologi, 1(1).
- Putro, C. W. 2013. Pemetaan Geologi Struktur untuk Menentukan Gambaran Tektonik Daerah Kawengon dan Sekitarnya, Kecamatan Ungaran Timur, Kabupaten Semarang. Geological Engineering E-Journal, 5(1), 29-40.
- Redesa, I. 2020. Analisis kestabilan lereng menggunakan metode slope mass rating dan metode kinematik stereografis pada CV. Tahiti Coal Sawahlunto (Thesis). Sekolah Tinggi Teknologi Industri Padang.
- Roslan, R., Omar, R. C., Baharuddin, I. N. Z., Wahab, W. A., & Buslima, F. S. 2019. Application of slope mass rating system in slope stability class evaluation. International Journal of Engineering and Advanced Technology, 9(1), 3645-3649.
- Wesley, L.D. 2017. Mekanika tanah, edisi 2. Yogyakarta Condon W.H., Pardyanto L., Ketner K.B., Amin T.C., & Samodra H. (1996). *Peta Geologi Lembar Banjarnegara dan Pekalongan, Jawa*: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.