



Analisis Kestabilan Lereng pada Ruas Jalan Trans Sulawesi Desa Olohuta Kecamatan Kabila, Kabupaten Bone Bolango

Mohamad Ashar Fitrayadi Ramdan S. Kodung^a, Aang Panji Permana^{b*}, Ronal Hutagalung^c

^{a,b,c}Program Studi Teknik Geologi, Fakultas MIPA, Universitas Negeri Gorontalo, Indonesia

*email: aang@ung.ac.id

ARTICLE INFO

Sejarah artikel:

Diterima: 03 September 2024

Direvisi: 15 November 2024

Dipublish: 31 Desember 2024

Keywords: Olohuta Village, Trans Sulawesi Road, Slope Stability

How to cite this article:

Kodung, M. A. F. R. S., Permana, A. P., Hutagalung, R. (2024). Analisis Kestabilan Lereng pada Ruas Jalan Trans Sulawesi Desa Olohuta Kecamatan Kabila, Kabupaten Bone Bolango. *Journal of Applied Geoscience and Engineering*, 3(2), 89-98.
<https://doi.org/10.34312/Jage.v3i2.30310>

ABSTRACT

The Trans Sulawesi Road in Olohuta Village, Kabila Bone District, is a crucial route connecting Gorontalo and North Sulawesi. Given the steep roadside slopes, geological analysis and slope stability assessments are essential to prevent landslides that could disrupt access. This study evaluates geological conditions and slope stability using the Rock Mass Rating (RMR), Slope Mass Rating (SMR), and Safety Factor (FK) methods. Geological mapping reveals dacite rock formations within a fault zone, with a Northeast-Southwest structural orientation. RMR analysis classifies slope 1 (RMR = 62) and slope 2 (RMR = 57) as "good." SMR analysis indicates partial stability, with slope 1 experiencing Direct Toppling (20.47%) and slope 2 undergoing Flexural Toppling (18.52%), resulting in SMR values of 58.25 and 53.25, respectively. The Bishop Method shows low safety factors, with values of 0.59 for slope 1 and 0.56 for slope 2, indicating instability. To improve slope stability, this study recommends modifying slope geometry.

1. PENGANTAR

Zona pegunungan selatan Gorontalo yang memiliki morfologi berbukit-bukit terjal cenderung membentuk lereng curam yang membuat tersingkapnya batuan ke permukaan. Tersingkapnya batuan ke permukaan membuat batuan penyusun lereng akan terpengaruh proses eksogen yakni erosi dan pelapukan. Proses erosi dan pelapukan ini dapat dipengaruhi oleh jenis litologi, struktur geologi, morfologi, cuaca, iklim dan aktivitas manusia seperti pembuatan jalan dan pelebaran jalan yang berakibat pada terbentuknya suatu lereng pada ruas jalan. Hal yang paling krusial ketika adanya suatu lereng adalah kondisi kekuatan dan kestabilan dari lereng tersebut (Nickolas et al, 2024). Apalagi lereng tersebut berada pada objek-objek vital seperti jalan raya. lereng yang kuat serta dengan kondisi stabil tentunya memiliki tingkat kualitas batuan yang baik sehingga dapat mengurangi potensi tanah longsor yang mungkin saja terjadi.

Berdasarkan geologi regional (Apani & Bachri, 1997) daerah penelitian termasuk dalam Formasi Batuan Gunungapi Bilungala (Tmbv), Gunungapi Pinogu (TQpv), dan Batugamping Terumbu (Ql) dengan tempat pengendapan dari satuan batuan ini berada pada lingkungan laut yang dangkal yakni pada zona neritik tengah dengan kedalaman mulai dari 20 – 200 meter (Permana & Eraku, 2020).

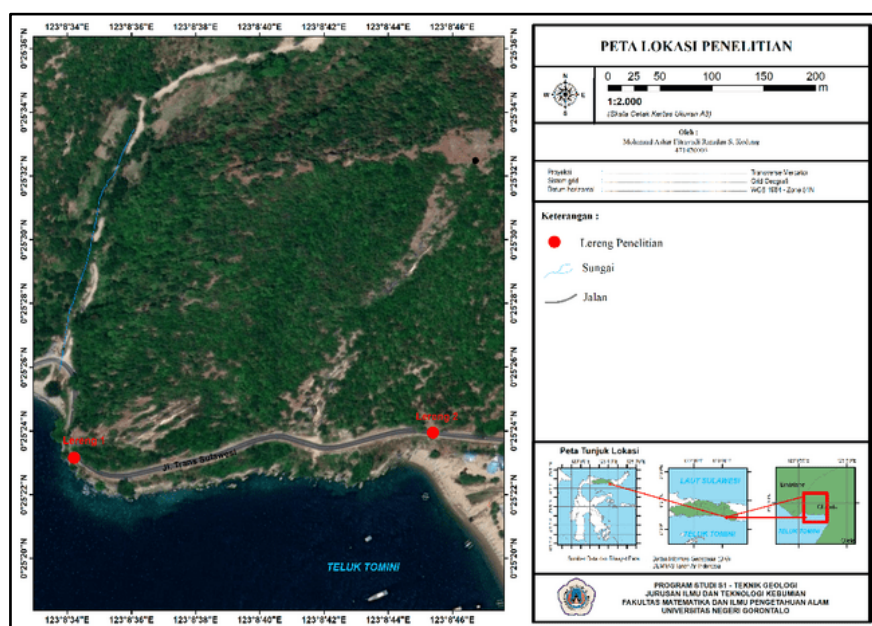
Penelitian dari Baruadi (2021) dengan judul "Pemetaan Daerah Rawan Potensi Gerakan Tanah Dengan Menggunakan UAV di Desa Olohuta Kecamatan Kabila Bone, Kabupaten Bone

Bolango” menghasilkan peta rawan longsor desa Olohuta dengan tingkat kerawanan sedang mencapai 178 Ha dan kerawanan tinggi 117 Ha. Dimana Jalan Trans Sulawesi Desa Olohuta masuk dalam kategori tingkat kerawanan gerakan tanah sedang dengan litologi lereng dasit dan mempunyai struktur geologi berupa kekar yang telah terbuka dan sebagian terisi oleh mineral. Berdasarkan latar belakang tersebut maka tujuan penelitian adalah mengetahui kondisi geologi dan tingkat kestabilan lereng pada ruas Jalan Trans Sulawesi Desa Olohuta, Kecamatan Kabila Bone, Kabupaten Bone Bolango dengan menggunakan metode *Rock Mass Rating* (RMR), *Slope Mass Rating* (SMR) dan Nilai Faktor Keamanan (FK).

2. METODE

Lokasi penelitian terletak di Desa Olohuta, Kecamatan Kabila Bone, Kabupaten Bone Bolango, Provinsi Gorontalo, tepatnya $123^{\circ}8'33,398"E-123^{\circ}8'46,726"E$ dan $0^{\circ}25'21,558"N-0^{\circ}25'34,383"N$ (Gambar 1). Lokasi penelitian memiliki luas 16,60 Ha. Dibutuhkan waktu sekitar 36 menit dengan jarak 20 km dari kampus 4 Universitas Negeri Gorontalo untuk menjangkau lokasi penelitian, dengan menggunakan roda dua maupun roda empat.

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode survey geologi permukaan dan analisis laboratorium. Survey geologi permukaan meliputi pemetaan geomorfologi dan pemetaan litologi berupa geologi (Permana et al, 2022; 2024a; 2024b; Marfian et al, 2023; Mane et al, 2024; Damogalad et al, 2024; Mooduto et al, 2024; Robot et al, 2024; Sandi et al, 2024; Triyani et al, 2024; Wowiling et al, 2024; Suratinoyo et al, 2024; Panai et al, 2024). Analisis laboratorium meliputi analisis petrografi yaitu dengan sayatan tipis (*thin section*), analisis sifat fisik dan mekanik batuan serta analisis studio nilai RMR, SMR dan FK.



Gambar 1. Peta lokasi penelitian

3. HASIL DAN DISKUSI

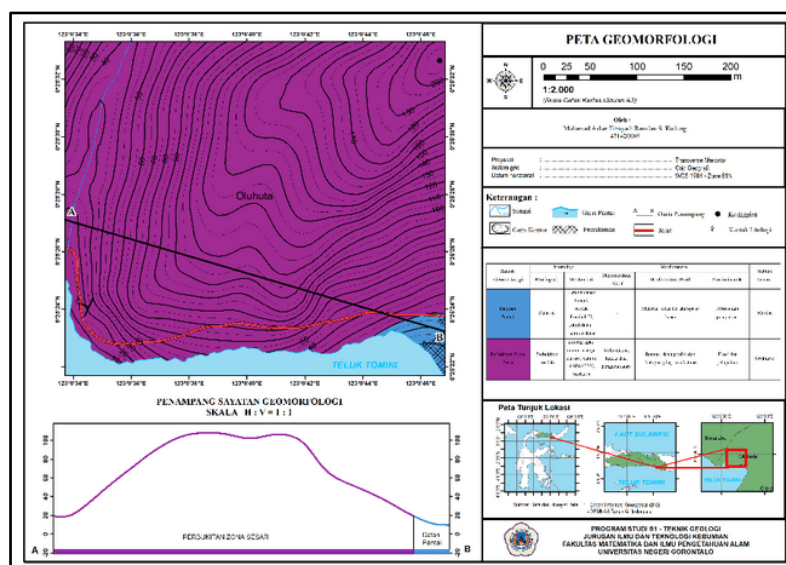
3.1 Analisis Geologi dan Geomorfologi

Litologi daerah penelitian terdiri atas satuan dasit porfiri, batugamping wackstone, dan endapan pantai. Endapan pantai tersusun dari material lepas berukuran pasir hingga kerakal. Batugamping wackstone berwarna segar putih, lapuk kekuningan, berbutir lempung hingga pasir halus, berbentuk rounded hingga very rounded, dan terpilah buruk, didominasi matriks karbonat halus dengan fragmen foraminifera besar. Dasit porfiri, sebagai penyusun lereng yang dianalisis, berwarna segar abu-abu terang dan lapuk abu-abu gelap, bertekstur porfiroafanitik dengan fenokris euhedral–subhedral, serta kristalisasi hipokristalin. Fenokris utama meliputi hornblende hitam prismatic, plagioklas putih tabular, dan serisit putih, dengan massa dasar berupa mineral gelas abu-abu terang. Berdasarkan karakteristik megaskopis dan mineral penyusun, batuan ini diklasifikasikan sebagai dasit (Fenton, 1940) dan diperkirakan seumur dengan Formasi Diorit Bone (Tmb) (Gambar 2).

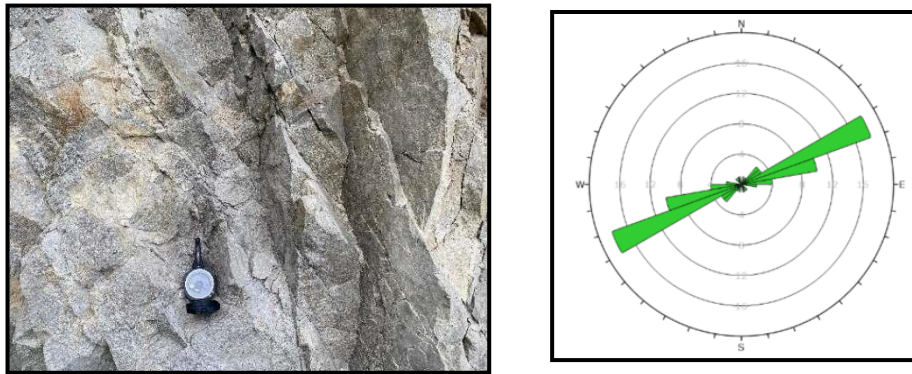
Geomorfologi daerah penelitian berdasarkan Brahmantyo dan Bandono (2006) terbagi atas dua satuan geomorfologi, yakni satuan dataran pantai dan satuan perbukitan zona sesar (Gambar 3).



Gambar 2. Singkapan batuan dasit di lokasi penelitian



Gambar 3. Geomorfologi Daerah Penelitian



Gambar 4. Kenampakan kekar dan analisis diagram *Rose*

Satuan dataran pantai menempati 0,18 Ha atau 1,35 % dari luas area penelitian, memiliki derajat kemiringan lereng $0^{\circ} - 2^{\circ}$ dengan perbedaan ketinggian < 5 meter dengan relief datar – hampir datar yang menghasilkan bentuk morfologi dataran dengan bentuk lembah “U”. Satuan perbukitan zona sesar yang merupakan geomorfologi dari lereng yang dianalisis menempati 13,09 Ha atau 98,65 % dari luas area penelitian, memiliki derajat kemiringan lereng $21^{\circ} - > 55^{\circ}$ dengan relief berbukit sehingga menghasilkan bentuk morfologi berupa perbukitan dengan relief cenderung terjal serta bentuk lembah “V sampai U”.

Struktur geologi yang dilakukan pengukuran adalah struktur sekunder yakni kekar tarik (Gambar 4). Pada observasi kekar di lapangan, dijumpai kekar tarik yang sudah terisi mineral kalsit dan material berupa tanah dan lumpur. Bukaan kekar tarik tersebut memiliki lebar berkisar antara 0.5-5 cm serta rata-rata dijumpai dalam kondisi lapuk. Struktur kekar yang telah di ukur, selanjutnya analisis menggunakan *software Dips*. Hasil analisis dari data kekar tarik di lokasi penelitian yang dilakukan dengan menggunakan diagram rose menunjukkan nilai arah umum antara 2 stasiun pengambilan data relatif mempunyai arah yang sama, yakni timur laut–barat daya (Gambar 4).

3.2 Klasifikasi *Rock Mass Rating (RMR)*

Nilai RMR lereng didapatkan dari hasil analisis data pengamatan *scanline* dan pengujian sifat fisik dan mekanik batuan di laboratorium. Parameter perhitungan RMR yang digunakan adalah nilai kuat tekan batuan (UCS), *rock quality designation (RQD)*, jarak diskontinuitas, kondisi *diskontinuitas* dan kondisi air tanah yang didapatkan dari pemetaan *scanline* dalam suatu garis pengamatan (Arif, 2016)(Tabel 1 dan 2).

Tabel 1 Perhitungan RMR (Bieniawski, 1989) Lereng 1

Nilai RMR Lereng 1				
No.	Parameter	Nilai/Kondisi	Bobot	Deskripsi
1	Kuat Tekan Batuan	57,12 MPa	7	Kuat
2	Rock Quality Designation	90,67 %	20	Sangat Baik
3	Spasi Bidang Kekar	196 mm	8	Rapat
4	Kondisi Bidang Kekar	12	15	Sedikit kasar dan dinding sedikit lapuk
5	Kondisi Air Tanah	Kering	15	Kering
	Bobot RMR	II	62	Baik

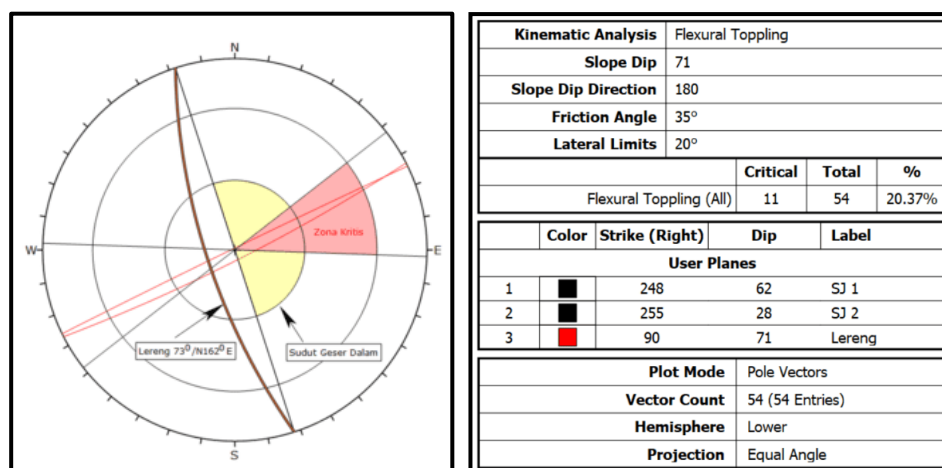
Tabel 2. Perhitungan RMR RMR (Bieniawski, 1989) Lereng 2

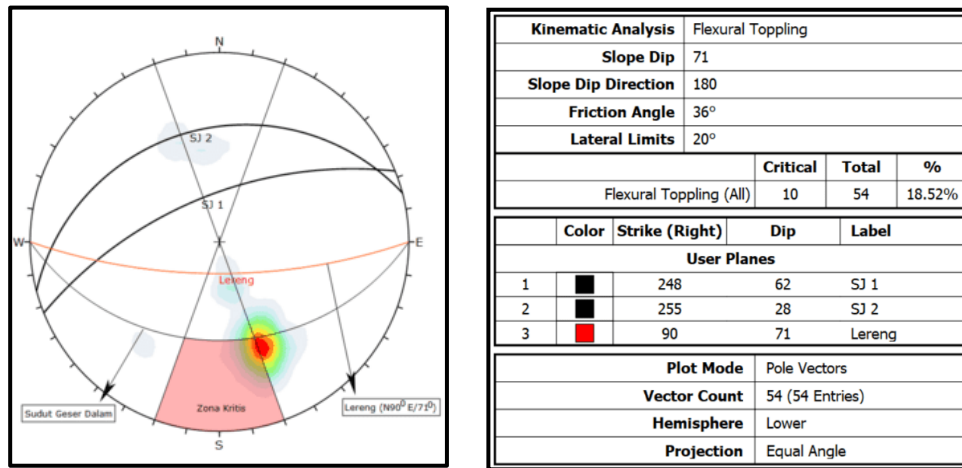
Nilai RMR Lereng 2				
No.	Parameter	Nilai/Kondisi	Bobot	Deskripsi
1	Kuat Tekan Batuan	47,38 MPa	4	Medium
2	Rock Quality Designation	89,74 %	17	Baik
3	Spasi Bidang Kekar	185 mm	8	Rapat
4	Kondisi Bidang Kekar	13	15	Sedikit kasar dan dinding lapuk
5	Kondisi Air Tanah	Kering	15	Kering
Bobot RMR		II	57	Baik

3.3 Analisis Kinematika

Berdasarkan hasil analisis kinematika yang dilakukan dengan data yang diperoleh dari hasil scanline sepanjang 10meter pada lereng kedua lereng yang dianalisis, maka diperoleh jenis longsoran yang mungkin terjadi. Pada garis *scanline* lereng 1 jenis longsoran yang dapat terjadi adalah longsoran guling dengan jenis longsoran *direct toppling* dengan probabilitas terjadinya longsoran *direct toppling* ini yang dihasilkan melalui analisis kinematika yaitu sebesar 20,47% (Gambar 5). Longsoran ini terjadi ketika adanya bidang kekar di lereng dengan kemiringan berlawanan terhadap kemiringan lereng serta struktur kekarnya dalam bentuk kolom (Maulida, et al, 2023).

Pada garis scanline lereng 2 jenis longsoran yang dapat terjadi adalah longsoran guling dengan jenis longsoran *flexural toppling* dengan probabilitas terjadinya longsoran *flexural toppling* ini yang dihasilkan melalui analisis kinematika yaitu sebesar 18,52% (Gambar 6). Longsoran ini terjadi ketika adanya bidang kekar yang terdapat di lereng dengan kemiringan berlawanan terhadap kemiringan dari lereng serta struktur kekarnya juga membentuk kolom.

**Gambar 5.** Hasil analisis kinematika lereng 1



Gambar 6. Hasil analisis kinematika lereng 2

3.4 Analisis Slope Mass Rating (SMR)

Nilai SMR didapatkan dari hasil kalkulasi nilai RMR dan faktor – faktor koreksi yang dituliskan sebagai F1, F2, F3 serta F4 yang adalah mekanisme pembuatan lereng (Riquelme, et al, 2016) (Tabel 3 dan 4).

Tabel 3. Perhitungan SMR (Romana, 1985) lereng 1

Slope Mass Rating (SMR)					
Nilai Bobot RMR					62
Dip direction lereng (α_s)					252
Dip direction bidang diskontinuitas (α_j)					153
Dip diskontinuitas (β_j).					84
Dip lereng (β_s)					73
Jenis Longsoran Direct Toppling (T)					
SMR	Syarat	Perhitungan	Hasil	Bobot	
F1	T $\alpha_s - \alpha_j$ - 180	252 - 153 - 180	81	0,15	
F2	T 1	1	1	1	
F3	T $\beta_j + \beta_s$	84 + 73	157	-25	
F4	Penggalian Mekanis	0	0	0	
(T) SMR = RMR + (F1 x F2 x F3) + F4			SMR = 62 + (0,15 × 1 × -25) + 0	58,25	
Kelas SMR					
Kelas	Bobot Massa Jenjang	Deskripsi	Kestabilan	Kelongsoran	Persentase longsor
T III	58,25	Sedang	Stabil Sebagian	kekar / baji	20,47%

Tabel 4. Perhitungan SMR (Romana, 1985) lereng 2

Slope Mass Rating (SMR)						
Nilai Bobot RMR		57				
Dip direction lereng (α_s)		180				
Dip direction bidang diskontinuitas (α_j)		338				
Dip diskontinuitas (β_j).		62				
Dip lereng (β_s)		71				
Jenis Longsoran Direct Toppling (T)						
SMR	Syarat	Perhitungan	Hasil	Bobot		
F1	T	$ \alpha_s - \alpha_j - 180$	$ 252 - 153 - 180 $	81	0,15	
F2	T	1	1	1	1	
F3	T	$ \beta_j + \beta_s $	$ 84 + 73 $	157	-25	
F4	Penggalian Mekanis		0	0	0	
(T) SMR = RMR + (F1 x F2 x F3) + F4			SMR = 57 + (0,15 x 1 x -25) + 0	53,25		
Kelas SMR						
Kelas	Bobot Massa Jenjang	Deskripsi	Kestabilan	Kelongsoran	Persentase longsor	
T	III	53,25	Sedang	Stabil Sebagian	kekar / baji	18,52%

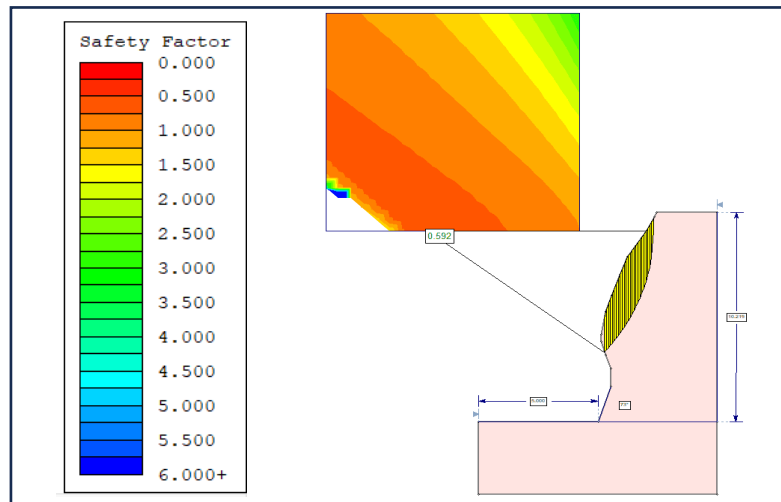
3.5 Nilai Faktor Keamanan (FK)

Nilai faktor keamanan lereng (FK) dianalisis menggunakan aplikasi *Rocscience Slide 6.0*. Mekanisme analisis yang digunakan adalah mekanisme Bishop (1955). Data – data yang digunakan dalam analisis nilai FK dapat dilihat pada Tabel 5.

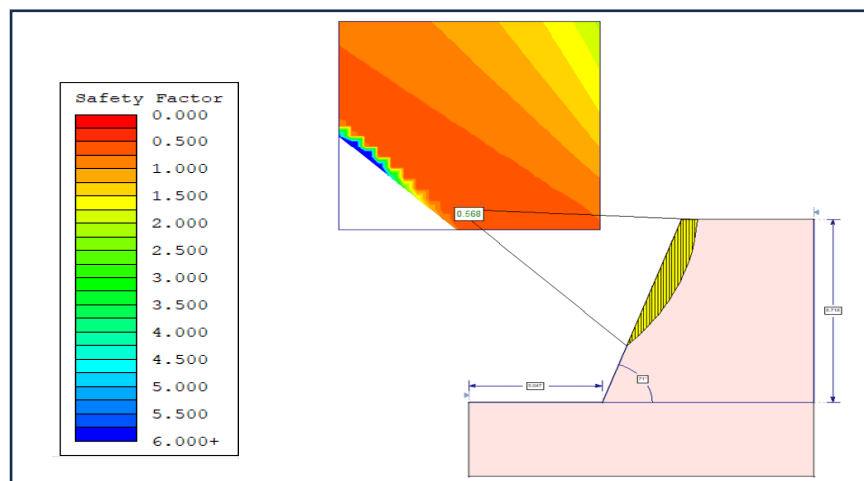
Tabel 5. Data – data dalam analisis nilai FK

Keterangan	Data – data	
	Lereng 1	Lereng 2
Tinggi Lereng	10,2 m	8.7 m
Kemiringan Lereng	73 ^o	71 ^o
Bobot Isi	23,06 k/Nm ³	30,54 k/Nm ³
Kohesi Batuan	3.76 MPa	2.89 MPa
Sudut Geser Dalam	38,22 deg	36,43 deg

Hasil analisis nilai Faktor Keamanan lereng aktual pada 1 dalam aplikasi *Slide 6.0* menunjukkan adanya gaya pendorong longsor lereng sebesar 1051,05 kN-m dan gaya penahan sebesar 621, 846 kN-m. Dengan demikian gaya pemicu longsor pada lereng 1 lebih besar dibanding gaya yang menahan longsor, sehingga dapat diindikasikan tidak aman (. Analisis dengan *Slide 6.0* juga menghasilkan nilai Faktor Keamanan Lereng aktual (FK) sebesar 0,59 (Gambar 7) yang menandakan bahwa lereng 1 dalam kondisi tidak aman atau di bawah standar minimum nilai FK oleh Bowles (1989). Rendahnya nilai FK lereng salah satunya diakibatkan oleh geometri lereng dengan kemiringan lereng yang terjal (Aisah & Ardiansyah, 2023).



Gambar 7. Nilai FK lereng 2



Gambar 8. Nilai FK lereng 2

Hasil analisis nilai Faktor Keamanan aktual pada lereng 2 dalam aplikasi *Slide 6.0* menunjukkan adanya gaya pendorong terjadinya longsor sebesar 1115,66 kN-m dan gaya penahan sebesar 633,41 kN-m. Dengan demikian sama seperti lereng pada lereng 2 gaya pemicu longsor pada lereng 2 juga lebih besar dibanding gaya yang menahan longsor. Analisis dengan *Slide 6.0* juga menghasilkan nilai Faktor Keamanan Lereng (FK) aktual sebesar 0,56 (Gambar 8) yang menjadi nilai FK terkecil diantara 2 lereng yang dianalisis pada lokasi penelitian. Nilai FK tersebut menandakan bahwa lereng 2 dalam kondisi tidak aman atau di bawah standar minimum nilai FK oleh Bowles (1989).

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan analisis data yang telah dilakukan, kualitas massa batuan di lereng 1 yang dianalisis menghasilkan penilaian yang menguntungkan. Dalam pembobotan RMR, berdasarkan bobot yang diberikan pada nilai kuat tekan batuan, RQD, spasi kekar, keadaan bidang diskontinuitas, dan kondisi air tanah, didapatkan nilai RMR sebesar 62, yang, menurut klasifikasi Bieniawski (1989), termasuk dalam kelas II atau "Pemerian Batuan Baik". Lereng 2 yang dianalisis menghasilkan penilaian yang cukup menguntungkan. Dalam pembobotan RMR, berdasarkan bobot yang diberikan pada nilai kuat tekan batuan, RQD, spasi kekar, keadaan bidang diskontinuitas, dan kondisi air tanah, didapatkan nilai RMR sebesar 57, yang, menurut klasifikasi

Bieniawski (1989), termasuk dalam kelas III atau "Pemerian Batuan Cukup Baik". Sedangkan dalam analisis SMR untuk lereng 1, persentase direct toppling sebesar 20,47%. Pembobotan F1, F2, F3, dan F4 menghasilkan nilai SMR sebesar 58,25, yang secara klasifikasi dikategorikan sebagai "sedang" dan tingkat kestabilan "stabil sebagian" serta potensi kegagalan atau longsoran kekar atau baji. Pada lereng 2, persentase direct toppling sebesar 18,52%. Pembobotan F1, F2, F3, dan F4 menghasilkan nilai SMR sebesar 53,25, yang secara klasifikasi dikategorikan sebagai "sedang" dan tingkat kestabilan "stabil sebagian" serta potensi kegagalan atau longsoran kekar atau baji. Nilai faktor keamanan dianalisis dalam keadaan aktual menggunakan mekanisme Bishop menunjukkan kondisi yang labil pada lereng yang dianalisis ($FK < 1,07$). Dimana lereng 1 mendapatkan nilai 0,59 dan lereng 2 mendapatkan nilai 0,56.

5. REFERENSI

- Aisah, E., & Ardiansyah, D. (2023). Pengaruh Geometri Lereng Terhadap Stabilitas Lereng menggunakan Aplikasi SLOPE/W 2012. *Jurnal Tekno Global*, 12(01), 1-7.
- Apandi, T., & Bachri, S. (1997). Peta Geologi Regional Lembar Kotamobagu Skala 1:250.000. Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Arif, I. I. (2016). Geoteknik Tambang. Gramedia Pustaka Utama.
- Baruadi, M.N. (2021). *Pemetaan Daerah Potensi Gerakan Tanah Dengan Menggunakan UAV di Desa Olohuta Kecamatan Kabila Bone Kabupaten Bone Bolango*. Skripsi. Universitas Negeri Gorontalo.
- Bieniawski, Z. T. (1989). *Engineering rock mass classifications: a complete manual for engineers and geologists in mining, civil, and petroleum engineering*. John Wiley & Sons.
- Bowles, J. E. (1989). *Physical and geotechnical properties of soils*, 2nd edition (New York: McGraw Hill Book Company) 576
- Brahmantyo, B., & Salim, B. (2006). Klasifikasi Bentuk Muka Bumi (Landform) untuk Pemetaan Geomorfologi pada Skala 1:25.000 dan Aplikasinya untuk Penataan Ruang. *Jurnal Geoaplika*, 1(2), 071–078.
- Damogalad, Y., Permana, A., Hutagalung, R., & Manyoe, I. (2024). Karakteristik Batuan Dasar Formasi Gabro Daerah Keramat Kabupaten Boalemo. *JRST (Jurnal Riset Sains dan Teknologi)*, 8(1), 81-87. doi:<http://dx.doi.org/10.30595/jrst.v8i1.1732>
- Fenton, C. L., & Fenton, M. A. (1940). *The Rock Book*. Doubleday & Company. Inc. Garden City. New York.
- Hutagalung, R., Permana, A. P., Eraku, S.S., Isa, D. R., & Ghaneswara, O. A. (2023). Mass movement analysis in Dumbo Raya Area based on rock quality. *AIP Conference Proceedings*, 2614, <https://doi.org/10.1063/5.0125904>.
- Maulida, S., Setiawan, B., Rifqan, R., & Al-Huda, N. (2024). Analisis Kestabilan Lereng Berdasarkan Nilai Slope Mass Rating (SMR), Kecamatan Sampoiniet, Aceh Jaya, Provinsi Aceh, Indonesia. *Acta Geoscience, Energy, and Mining*, 2(3), 73-80.
- Mane, M., Permana, A., Hutagalung, R., & Aris, A. (2024). Lingkungan Pengendapan Batugamping Daerah Oluhuta-Olele Kabupaten Bone Bolango Berdasarkan Karakteristik Mikrofasis. *Journal of Applied Geoscience and Engineering*, 3(1), 46-50. doi:<https://doi.org/10.37905/jage.v3i1.26917>
- Marfian, F., Permana, A., & Akase, N. (2023). Study of Petrogenesis Andesite Rock in Bualemo Region, North Gorontalo Regency Based on XRF Geochemistry Analysis. *Jambura Geoscience Review*, 5(1), 63-70. doi:<https://doi.org/10.34312/jgeosrev.v5i1.16941>
- Mooduto, T., Ahmad, F., Kodung, M., Sari, N., Hidayansya, T., & Permana, A. (2024). Tsunami Modeling Study in Geological Disaster Mitigation in the Kwandang Region. *Jambura Geoscience Review*, 6(1), 29-36. doi:<https://doi.org/10.37905/jgeosrev.v6i1.22561>

- Nggebu, Y. Y., Ticoth, J. H., & Legrans, R. R. I. (2019). Analisis Kestabilan Lereng Di Ruas Jalan Raya Manado Tomohon Km 15. *TEKNO*, 17(71).
- Nickolas, S. I., Nurfaizi, N., Husain, H., & Widiarso, D. A. (2024). Analisis Tingkat Kelongsoran Menggunakan Metode Rock Mass Rating (RMR), Slope Mass Rating (SMR) Serta Metode Bishop Pada Lereng Batuan X, Kelurahan Jangli, Kecamatan Tembalang, Kota Semarang. *JURNAL GEOMINERBA (JURNAL GEOLOGI, MINERAL DAN BATUBARA)*, 9(1), 61-76.
- Panai, A.A.H., Permana, A.P., & Kasim, M. (2024). Karakteristik Mineralisasi Endapan Epitermal Di Desa Hulawa, Kecamatan Buntulia, Kabupaten Pohuwato. *Geosfera (Jurnal Penelitian Geografi)*, 3(2), 58-65. <https://doi.org/10.37905/geojg.v3i2.28274>.
- Permana, A.P., & Eraku, S.S. (2020). Analisis Kedalaman Laut Purba Batugamping Gorontalo Berdasarkan Kandungan Fosil Foraminifera Bentonik. *Jurnal Bioeksperimen*. Vol(1): 17-23.
- Permana, A.P., Eraku, S.S., Hutagalung, R., and Isa, D.R. (2022). Limestone Facies and Diagenesis Analysis in the Southern of Gorontalo Province, Indonesia. *News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Series of Geology and Technical Sciences*, 6 (456), 185-195. <https://doi.org/10.32014/2022.2518-170X.248>
- Permana, A.P., Suaib, A., Hutagalung, R., & Eraku, S.S., (2024a). Analysis of the relative age of limestone at Tanjung Kramat Regiion, Gorontalo City, Indonesia. *News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Series of Geology and Technical Sciences*, 1(463), 190–200. <https://doi.org/10.32014/2024.2518-170X.375>
- Permana, A. P., Hutagalung, R., Eraku, S. S., & Isa, D. R. (2024b). Analysis of Limestone Characteristics on the South Coast of Gorontalo Based on Specific Gravity and Water Absorption Tests. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 10(11), 8624–8630. <https://doi.org/10.29303/jppipa.v10i11.7368>
- Riquelme, A. J., Tomás, R., & Abellán, A. (2016). Characterization of rock slopes through slope mass rating using 3D point clouds. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 84, 165-176.
- Robot, L.C., Permana, A.P., & Akase, N. (2024). Analysis of Microfacies and Depositional Environment of Limestone in North Isimu Area, Gorontalo Regency. *Tunas Geografi*, 13(1), 22-33. <https://doi.org/10.24114/tgeo.v13i1.41981>
- Romana M, (1985). “New adjustment ratings for application of Bieniawski classification to slopes”. Int. Symp. on the role of rock mechanics ISRM. Zacatecas, pp 49-53.
- Sandi, I. N., Permana, A. P., & Kasim, M. (2024). Analisis Provenance Batupasir Formasi Dolokapa Kabupaten Gorontalo Utara Berdasarkan Data Geokimia XRF. *Enviroscientee*, 20(1), 27–32. <http://dx.doi.org/10.20527/es.v20i1.18843>
- Suratinoyo, M. S., Permana, A.P., & Kasim, M. (2024). Geologi dan Karakteristik Batupasir di Daerah Bumela, Kecamatan Bilato, Kabupaten Gorontalo. *Geosfera (Jurnal Penelitian Geografi)*, 3(2), 66-78. <https://doi.org/10.37905/geojg.v3i2.28314>
- Triyani, M.D., Permana, A.P, Kasim, M., & Putranto, F.A. (2024). Analisis Karakteristik Batuan Dasar Pada Pembentukan Endapan Nikel Laterit di Desa Wulu, Kabupaten Buton Tengah. *Juitech Jurnal Ilmiah*, 8(1), 115-122. <http://dx.doi.org/10.36764/ju.v8i1.1256>
- Wowiling, I.E., Permana, A.P., Hutagalung, R., Sagita, G., & Lakoy, F.F. (2024). Seam C1A2 Group coal rank analysis in East Meranti PIT, Katanjung Village, Kapuas Regency based on proximate values. *MATEC Web of Conferences*, 402, 03005 (2024). <https://doi.org/10.1051/mateconf/202440203005>