JAGE
Vol. 5, No. 1, Juni 2026: 51-57
doi: 10.37905/jage.v5i1.38921
ejurnal.ung.ac.id/index.php/jage

Journal of Applied Geoscience and Engineering
p-ISSN 2964-478X | e-ISSN 2964-4534
Geology Engineering Study Program, Universitas Negeri Gorontalo



Analisis Kestabilan Lereng Pada Relokasi Jalan di Bendungan Bulango Ulu, Kabupaten Bone Bolango, Provinsi Gorontalo

Alya Rahmawati Panai[a], Muh. Kasim[b], Ronal Hutagalung[c], Alifia Widya Warapsari Badaru

[abc]*Program Studi Teknik Geologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Gorontalo, Gorontalo, Indonesia*

ARTICLE INFO

Sejarah artikel:
Diterima: 12 Januari 2026
Disetujui: 13 Mei 2026
Diterima: 30 Juni 2026

Keywords:
Bulango Ulu Dam; *RMR; scanline mapping; slope stability; SMR;*

Corresponding author:
Alya Rahmawati Panai
Email:
alyapanai4@gmail.com

ABSTRACT

This study aims to evaluate slope stability along the relocated road section of Bulango Ulu Dam, Bone Bolango Regency, Gorontalo Province. The research focuses on geological conditions, rock mass quality, and slope stability using Rock Mass Rating (RMR) and Slope Mass Rating (SMR) methods based on scanline mapping data. Field investigations were conducted on four slope segments (AP1–AP4) by measuring discontinuity characteristics, rock strength, spacing, and groundwater conditions.

The results indicate that the rock mass quality of all slope segments falls into Class I–II of the RMR system, categorized as very good to good rock, with RMR values ranging from 70 to 83. SMR analysis shows that all slope segments belong to Class II, indicating stable slope conditions. Kinematic analysis reveals that the dominant potential failure mechanism is toppling failure, with probability of failure values ranging from 10.00% to 23.97%.

Although the slopes are classified as stable, the presence of geological structures, particularly discontinuities, contributes to potential instability under certain conditions. Continuous monitoring is therefore recommended to mitigate future landslide risks. The findings provide important insights for slope stability evaluation and infrastructure safety planning in mountainous regions.

How to cite this article:
Panai, A. R., Kasim, M., Hutagalung, R., Badaru, A. W. W. (2026). Analisis Kestabilan Lereng Pada Relokasi Jalan di Bendungan Bulango Ulu, Kabupaten Bone Bolango, Provinsi Gorontalo. Journal of Applied Geoscience and Engineering, 5(1), 51-57. https://doi.org/10.37905/jage.v5i1.38921

1. PENGANTAR

Geologi Teknik atau Geotek merupakan cabang ilmu kebumian yang berperan penting dalam menyediakan informasi karakteristik suatu wilayah, dengan mengidentifikasi potensi dan kendala yang ada dalam perencanaan konstruksi, kegiatan pertambangan, serta berbagai proyek lainnya yang berlokasi di permukaan bumi (Zakaria, 2005). Pembangunan bendungan merupakan salah satu konstruksi yang memerlukan analisis geologi teknik secara mendalam (Muarif et al., 2022). Bendungan atau Waduk Bulango Ulu yang terletak di Kabupaten Bone Bolango, Provinsi Gorontalo secara geologi struktur menempati daerah subduksi lengan utara Sulawesi. Pulau Sulawesi khususnya lengan utara termasuk wilayah dengan intensitas seismik yang sangat tinggi karena wilayah tersebut mendapat tekanan dari Laut Sulawesi bagian utara yang mengaktifkan subduksi Sulawesi (Guntur dan Tanauma, 2015).

Beberapa penelitian sebelumnya telah menerapkan metode *Rock Mass Rating* (RMR) dan *Slope Mass Rating* (SMR) dalam analisis kestabilan lereng pada berbagai kondisi geologi. Metode tersebut terbukti efektif dalam mengklasifikasikan kualitas massa batuan dan menilai stabilitas lereng berdasarkan karakteristik diskontinuitas serta orientasi lereng.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kondisi geologi dan kestabilan lereng pada ruas jalan relokasi Bendungan Bulango Ulu menggunakan metode *Rock Mass Rating* (RMR) dan *Slope*

Hak Cipta© 2026 Penulis. Diterbitkan oleh Program Studi Teknik Geologi Universitas Negeri Gorontalo
Karya ini dilisensikan di bawah Lisensi Internasional Creative Commons Attribution (CC-BY) 4.0.

doi: 10.34312/jage.v5i1.38921 ejurnal.ung.ac.id/index.php/jage

Mass Rating (SMR) berdasarkan data pemetaan *scanlin*e, serta mengidentifikasi potensi mekanisme longsoran melalui analisis kinematika.

2. METODE

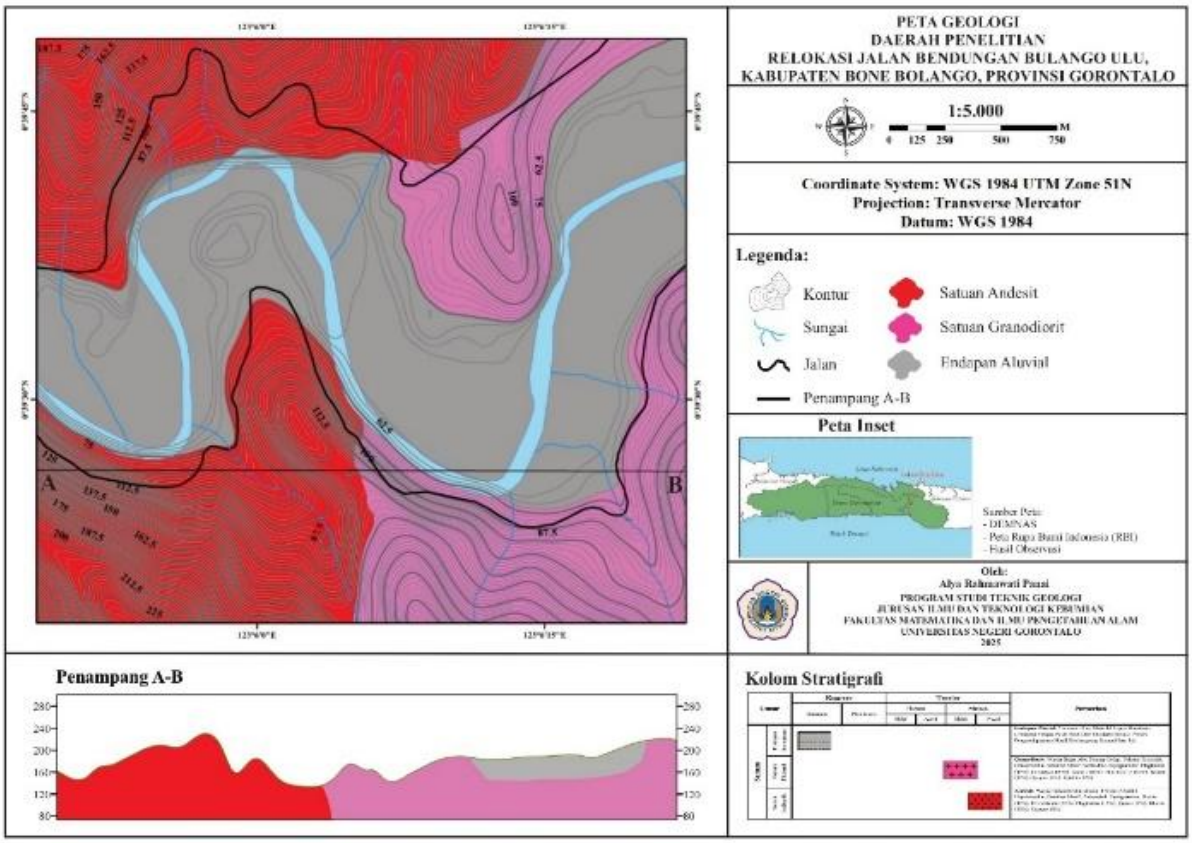
Penelitian ini dilakukan pada ruas jalan relokasi Bendungan Bulango Ulu yang terletak di Kabupaten Bone Bolango, Provinsi Gorontalo. Metode penelitian dirancang untuk memperoleh data lapangan yang representatif dan dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah dalam analisis kestabilan lereng.

Metode ini digunakan untuk memperoleh data kondisi geologi umum seperti litologi dan struktur geologi juga dilakukan untuk mendukung analisis. Selain itu, Analisis kualitas massa batuan menggunakan metode RMR. Parameter yang diukur meliputi orientasi diskontinuitas, jarak antar bidang diskontinuitas, persistensi, bukaan, kekasaran permukaan, material pengisi, kondisi pelapukan, serta kondisi air tanah. Selanjutnya, tingkat kestabilan lereng dianalisis menggunakan metode Slope Mass Rating (SMR) yang merupakan pengembangan dari RMR dengan memasukkan faktor orientasi lereng terhadap bidang diskontinuitas. Untuk mengidentifikasi potensi mekanisme longsoran, dilakukan analisis kinematika berdasarkan hubungan orientasi lereng dan diskontinuitas.

3. HASIL DAN DISKUSI

3.1 Kondisi Geologi Daerah Penelitian

Pengamatan litologi lapangan dilakukan dengan mengamati singkapan dan batuan yang tersebar di cakupan daerah penelitian. Pengamatan batuan dilakukan dengan pengambilan sampel batuan dan melihat karakteristik batuan beku seperti; warna, tekstur, bentuk makro mineral dan komposisi makro mineral. Sebaran litologi daerah penelitian terdiri dari 3 jenis litologi yang teramati yakni, Endapan Alluvial, Andesit dan Granodiorit.



Gambar 1. Peta Geologi Lokasi Penelitian

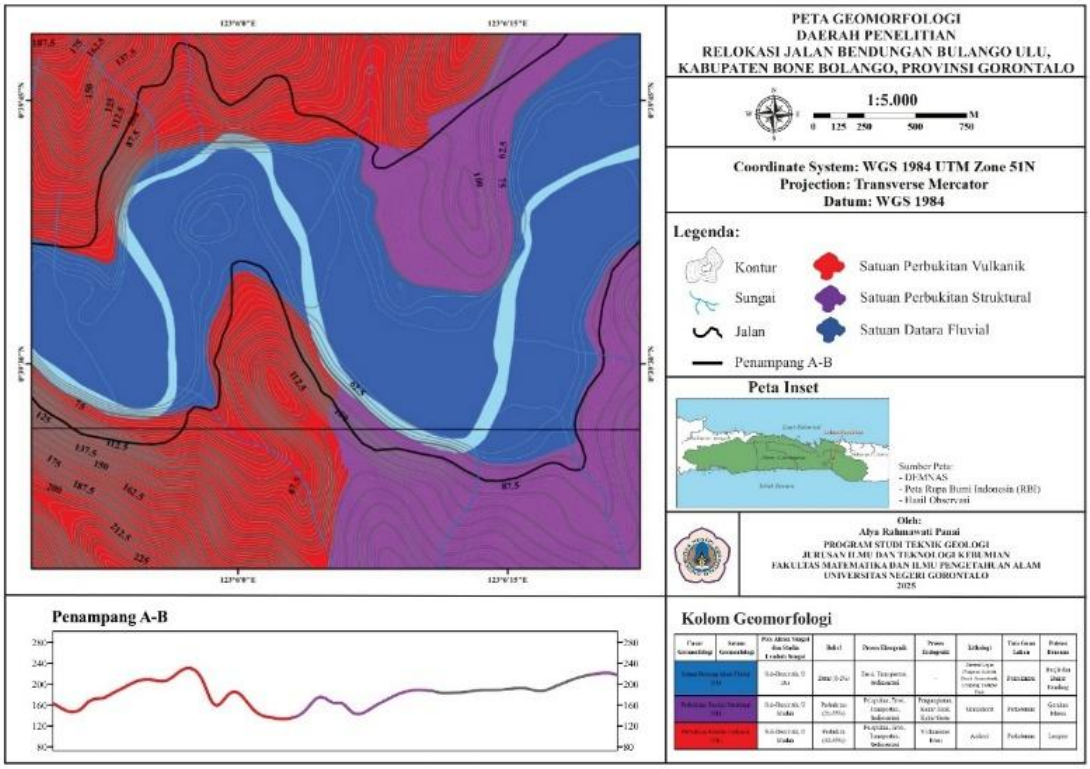
hak cipta© 2026 Penulis. Diterbitkan oleh Program Studi Teknik Geologi Universitas Negeri Gorontalo
Karya ini dilisensikan di bawah Lisensi Internasional Creative Commons Attribution (CC-BY) 4.0.

doi: 10.37905/jage.v5i1.38921 ejurnal.ung.ac.id/index.php/jage

3.2 Geomorfologi Daerah Penelitian

Geomorfologi atau bentang alam lokasi penelitian disesuaikan berdasarkan bentang alam oleh Van Zuidam (1983). Adapun geomorfologi di daerah penelitian, Perbukitan Rendah Struktural (S1) ditandai dengan warna merah pada peta geomorfologi. Satuan ini memiliki luas daerah penelitian atau luasan satuan geomorfologi yang paling besar di daerah penelitian dengan memiliki ketinggian 50-200 mdpl, memiliki pola kontur yang agak rapat dengan bentuk lembah V tajam, memiliki kemiringan lereng 21-55% yang membentuk relief berupa berbukit bergelombang dan menandakan satuan ini termasuk lereng curang – sangat curam.

Satuan bentang alam Dataran Fluvial merupakan satuan geomorfologi yang terbentuk akibat dari aktivitas air permukaan atau sungai. Pada lokasi penelitian, terlihat pergerakan air sungai yang membentuk lanskap yang unik, yang mengarah mengikuti arus Sungai Bolango. Tipe stadia sungai pada satuan secara garis besar adalah tipe stadia sungai dewasa dengan cirinya yaitu sungai yang cukup lebar, kemiringan sungai relatif datar dan tercapai kondisi keseimbangan penampang yang menjadikan penempatan main dam pada Bendungan Bulango Ulu ditempati pada satuan ini.



Gambar 2. Peta geomorfologi daerah penelitian



Gambar 3. Bidang kekar gerus (kiri) Bidang kekar tarik (kanan)

hak cipta© 2026 Penulis. Diterbitkan oleh Program Studi Teknik Geologi Universitas Negeri Gorontalo
Karya ini dilisensikan di bawah Lisensi Internasional Creative Commons Attribution (CC-BY) 4.0.

doi: 10.34312/jage.v5i1.38921 ejurnal.ung.ac.id/index.php/jage

3.3 Struktur Geologi Daerah Penelitian

Tidak ditemukan adanya struktur sesar besar yang tersebar di lokasi penelitian, khususnya di relokasi jalan Bendungan Bulango Ulu. Pengumpulan data mengenai struktur geologi dilakukan di wilayah yang menunjukkan adanya proses tektonik, yang berdampak pada penyebaran litologi dan struktur geologi di area penelitian. Data struktur geologi dalam hal ini data kekar gerus dan kekar Tarik (Gambar 3).

3.4 *Rock Mass Rating*

Keterkaitan antara metode *Rock Mass Rating* (RMR) dengan lingkungan geologi sangat erat, karena setiap parameter dalam sistem ini merepresentasikan hasil dari proses geologi yang telah berlangsung selama jutaan tahun. Karakteristik litologi dan jenis batuan—baik itu batuan sedimen, beku, maupun metamorf—berpengaruh terhadap kekuatan serta struktur internal batuan, yang secara langsung memengaruhi nilai RMR. Umumnya, batuan yang bersifat keras seperti granit atau basalt memiliki nilai RMR lebih tinggi dibandingkan dengan batuan lunak seperti batulempung atau batupasir. Di samping itu, unsur-unsur struktur geologi seperti sesar, kekar, lipatan, dan zona pelapukan sangat menentukan kondisi fisik massa batuan dan menjadi komponen penting dalam penilaian menggunakan metode RMR. Kawasan dengan aktivitas tektonik yang tinggi cenderung menghasilkan batuan yang memiliki kekar lebih rapat serta kondisi geologi yang lebih kompleks, yang pada akhirnya dapat menyebabkan penurunan nilai RMR.

Tabel 1. Rekap Parameter-Parameter Pembobotan Massa Batuan *Rock Mass Rating* (RMR)

STA	Ap 1	Ap 2	Ap 3	Ap 4
Kekuatan Massa Batuan (UCS)	50 7	50.3 7	35.3 4	25 4
RQD	91,58% 20	91,58% 20	95,12% 20	92,31% 20
Jarak	>2 20	>2 20	0,6 – 2 15	0,6 – 2 15
Kemenerusan	3 – 10 2	3 – 10 2	< 1 6	1 – 3 4
Bukaan	0,1 – 1 4	0,1 – 1 4	0,1 – 1 4	>5 0
Kekasaran	Sedikit Kasar 3	Kasar 5	Sedikit Kasar 3	Sedikit Kasar 3
Material pengisi	Vein (Keras <5mm) 4	Vein (Keras <5mm) 4	Tidak Ada	Vein (Keras <5mm) 4
Pelapukan	Tidak Lapuk 6	Tidak Lapuk 6	Sedikit Lapuk 5	Sedikit Lapuk 5
Air tanah	Kering 15	Kering 15	Kering 15	Kering 15
RMR	81	83	72	70

3.5 Analisis Kinematia Daerah Penelitian

Analisis stereografis atau kinematika diperlukan untuk mengetahui jenis-jenis keruntuhan batuan yang terjadi pada lereng akibat terdapatnya bidang-bidang diskontinuitas dan sebagai data untuk menetapkan nilai SMR atau *Slope Mass Rating* yang terdapat pada tahap selanjutnya. Analisa ini mengacu pada klasifikasi tipe gerakan tanah oleh (Hoek dan Bray, 1981).

- AP1 merupakan lereng dengan orientasi *dip direction*/*dip* yaitu 51°/37°. Hasil scanline di lokasi menapatkan 44 data diskontinuitas. Analisis kinematika lereng massa batuan AP 1

hak cipta© 2026 Penulis. Diterbitkan oleh Program Studi Teknik Geologi Universitas Negeri Gorontalo
Karya ini dilisensikan di bawah Lisensi Internasional Creative Commons Attribution (CC-BY) 4.0.

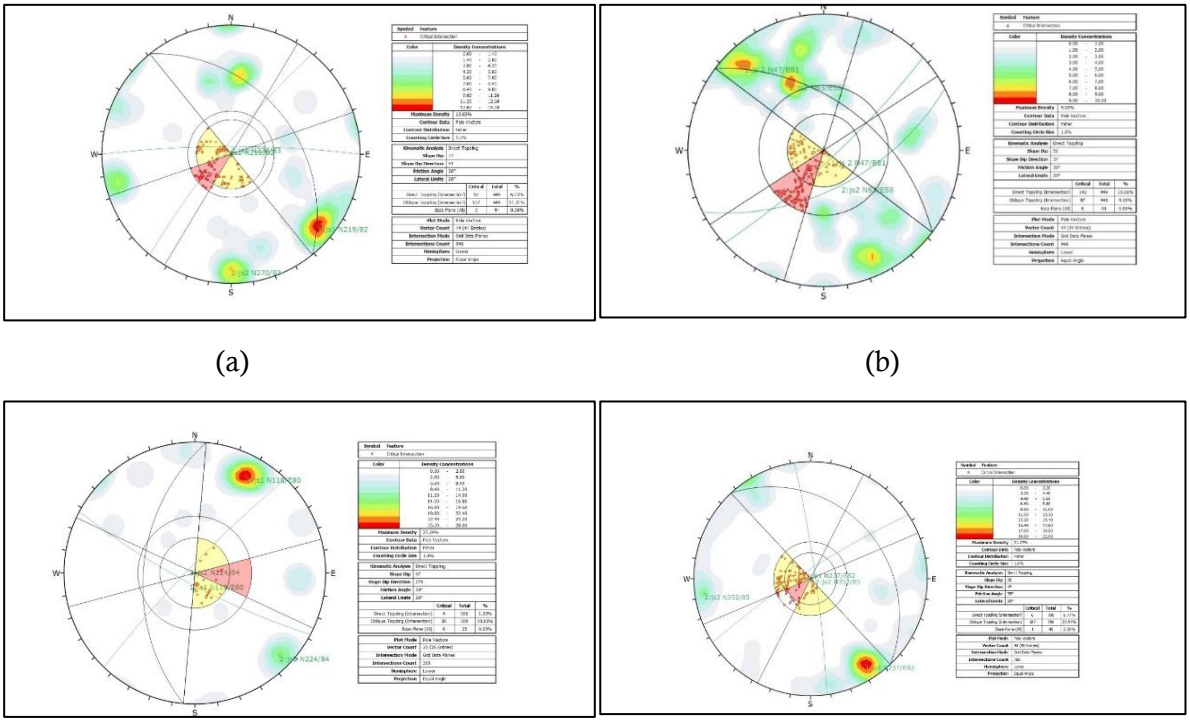
doi: 10.37905/jage.v5i1.38921 ejurnal.ung.ac.id/index.php/jage

tipe longsoran guling (*toppling failure*) diperlihatkan berlawanan terhadap bidang muka lereng (*slope orientation*). Potensi longsoran guling yang terjadi berupa guling langsung (*direct toppling*) dengan PoF (*Probability of Failure*) sebesar 6,03% dan guling miring (*oblique toppling*) dengan PoF sebesar 11,31% (Gambar 4a).

- AP2 merupakan lereng dengan orientasi *dip direction*/*dip* yaitu 37°/51°. Hasil scanline di lokasi mendapatkan 44 data diskontinuitas. Analisis kinematika lereng massa batuan AP 2 tipe longsoran guling (*toppling failure*) diperlihatkan berlawanan terhadap bidang muka lereng (*slope orientation*). Potensi longsoran guling yang terjadi berupa guling langsung (*direct toppling*) dengan PoF (*Probability of Failure*) sebesar 15,01% dan guling miring (*oblique toppling*) dengan PoF sebesar 9,20% (Gambar 4b).

- AP3 merupakan lereng dengan orientasi *dip direction*/*dip* yaitu 275°/37°. Hasil scanline lokasi mendapatkan 25 data diskontinuitas. Analisis kinematika lereng massa batuan AP 3 tipe longsoran guling (toppling failure) diperlihatkan berlawanan terhadap bidang muka lereng (slope orientation). Potensi longsoran guling yang terjadi berupa guling langsung (direct toppling) dengan PoF (Probability of Failure) sebesar 1,33% dan guling miring (oblique toppling) dengan PoF sebesar 10,00% (Gambar 4c).

- AP4 merupakan lereng dengan orientasi *dip direction*/*dip* yaitu 47°/25°. Hasil scanline lokasi mendapatkan 44 data diskontinuitas. Analisis kinematika lereng massa batuan AP 4 tipe longsoran guling (toppling failure) diperlihatkan berlawanan terhadap bidang muka lereng (slope orientation). Potensi longsoran guling yang terjadi berupa guling langsung (direct toppling) dengan PoF (Probability of Failure) sebesar 0,27% dan guling miring (oblique toppling) dengan PoF sebesar 23,97% (Gambar 4d).



(a) (b)

(c) (d)

Gambar 4. (a) *Direct dan Oblique Toppling* AP 1, (b) *Direct dan Oblique Toppling* AP 2, (c) *Direct dan Oblique Toppling* AP 3, (d) *Direct dan Oblique Toppling* AP 4

hak cipta© 2026 Penulis. Diterbitkan oleh Program Studi Teknik Geologi Universitas Negeri Gorontalo
Karya ini dilisensikan di bawah Lisensi Internasional Creative Commons Attribution (CC-BY) 4.0.

doi: 10.34312/jage.v5i1.38921 ejurnal.ung.ac.id/index.php/jage

3.6 *Slope Mass Rating*

Penggunan metode penilaian massa jenjang atau *Slope Mass Rating* (SMR) yaitu harus mengetahui hasil dari analisa stereografi yang berupa jenis keruntuhan dengan memiliki nilai probabilatas terbesar. Kemudian dilakukannya analisa pada setiap kriteria faktor koreksi F1, F2, dan F3, yang telah dibagi oleh Romana ke dalam 3 jenis kasus keruntuhan yaitu jenis keruntuhan bidang, guling dan baji. Faktor ekskavasi atau penggalian lereng menjadi faktor keempat (F4) dalam perhitungan nilai SMR.

Tabel 2. Nilai orientasi lereng dan diskontinitas dari analisis kinematika

Lereng	Tipe Longsoran	αs	αj	βs	βj
AP 1	Guling	51	309	37	82
AP 2	Guling	37	137	51	81
AP 3	Guling	275	208	47	80
AP 4	Guling	47	327	25	82

Data nilai orientasi lereng dan diskontinuitas pada tabel di atas digunakan untuk menentukan fungsi variabel F1, F2, dan F3 pada perhitungan SMR yaitu nilai F1=|αj-αs|-180°, F2=|βj|, dan F3=|βj+ βs| dan F4 disesuaikan dengan metode ekskavasi atau penggalian yang diterapkan pada lereng, termasuk apakah itu lereng alami, penggalian mekanis, atau menggunakan peledakan. Di segmen AP1 – AP4, metode yang diterapkan adalah penggalian mekanis. Menurut Tabel, faktor penyesuaian bagi penggalian mekanis mempunyai bobot 0.

Setelah nilai |F1|, |F2|, |F3| dan |F4| pada setiap fungsi ditentukan kemudian berikut hasil analisa dan pembobotan Slope Mass Rating (Romana,1985)

Tabel 3. Rekap Data Analisa Slope Mass Rating

Lereng	Hasil	Kelas	Kestabilan	Longsoran
AP1	80,1	I	Stabil	Blok batuan
AP2	79,25	II	Stabil	Blok batuan
AP3	68,25	II	Stabil	Blok batuan
AP4	70,15	II	Stabil	Blok batuan

4. KESIMPULAN

Kondisi geologi pada cakupan penelitian dan sekitarnya dibagi menjadi tiga satuan litologi, yaitu satuan endapan aluvial, andesit dan granodiorit. Satuan geomorfologi di area penelitian ditentukan dengan menggunakan pengelompokan bentang alam Van Zuidam (1983), terdiri dari satuan perbukitan rendah struktural (S1), dan endapan Fluvial. Struktur geologi yang berkembang pada cakupan lokasi penelitian berupa kekar Tarik dan kekar gerus.

Hasil dari kualitas massa batuan berdasarkan klasifikasi *Rock Mass Rating* (RMR) mendapati bahwa lereng segmen AP1, AP2, AP3 dan AP4 termasuk pada kelas I dan II RMR yaitu kategori Sangat Baik dan Batuan Baik/*Good Rock*, dengan nilai RMR secara berurutan yakni 81,83,72,70

Hasil analisis kualitas massa batuan berdasarkan klasifikasi Slope Mass Rating (SMR) mendapati bahwa lereng pada Relokasi Jalan Bendungan Bulango Ulu termasuk pada kelas I dan II yaitu sangat stabil dan stabil, dimana lereng segmen AP 1 (nilai SMR 80.1), AP 2 (nilai SMR 79.25), AP 3 (nilai SMR 68.25) dan AP 4 (nilai SMR 70.15) termasuk lereng stabil. Tipe gerakan tanah pada lereng relokasi jalan bendungan Bulango ulu yaitu seluruhnya bertipe gerakan tanah *oblique toppling* atau guling miring.

hak cipta© 2026 Penulis. Diterbitkan oleh Program Studi Teknik Geologi Universitas Negeri Gorontalo
Karya ini dilisensikan di bawah Lisensi Internasional Creative Commons Attribution (CC-BY) 4.0.

doi: 10.37905/jage.v5i1.38921 ejurnal.ung.ac.id/index.php/jage

5. REFERENSI

Bieniawski, Z. T. (1989). *Engineering rock mass classifications*. New York, NY: John Wiley & Sons.

Bieniawski, Z. T., (1973), *Engineering Classification of Jointed Rock Masses*. Trans. S. Afr, Inst. Civ. Engrs.

Bieniawski, Z. T., (1976), *Rock Mass Classification in Rock Engineering*. Proc. Symp on Exploration, Johannesburg.

Bieniawski, Z.T., (1984). *Rock Mechanics Design in Mining and Tunneling*. A. A. Balkema, Roterdam.

Das, D. M., Singh, R., Kumar, A., Mailapalli, D. R., Mishra, A., & Chatterjee, C. (2016). A multi-model ensemble approach for stream flow simulation. In B. Panigrahi & M. R. Goyal (Eds.), *Modeling methods and practices in soil and water engineering* (pp. 72–102). Boca Raton, FL: CRC Press.

Das, B. M., Shukla, S. K., dan Sivakugan, N. (2012). Rock Mechanics An Introduction. CRC Press Taylor & Francis Group. New York.

Fu, Z. Y., Chen, H. S., Zhang, W., Xu, Q. X., Wang, S., & Wang, K. L. (2015). Subsurface flow in a soil-mantled subtropical dolomite karst slope: A field rainfall simulation study. *Geomorphology, 250*, 1–14. https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2015.08.012

Guntur, P., dan Tanauma, A. (2015). Analisis Resiko Gempa Bumi Lengan Utara Sulawesi Menggunakan Data Resolusi Tinggi Sebagai Upaya Mitigasi Bencana. Jurnal Spektral 6 (3): 6- 10.

Hoek, E., & Bray, J. (1981). *Rock slope engineering* (3rd ed.). London, UK: Institution of Mining and Metallurgy.

Holden, J. (2017). *An introduction to physical geography and the environment* (4th ed.). England: Pearson.

International Society for Rock Mechanics (ISRM). (2007). The complete ISRM suggested methods for rock characterization, testing and monitoring. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 44*(1), 1–40.

Muarif, F. I., Maryati, S., & Hutagalung, R. (2022). Analisis Kelas Massa Batuan Terhadap kestabilan Lereng Bendungan Lolak Menggunakan Metode Rock Mass Rating. Journal of Applied Geoscience and Engineering, 1(2), 61-75.

Palmström, A. (2005). Measurements of and correlations between block size and rock quality designation (RQD). *Tunnelling and Underground Space Technology, 20*(4), 362–377. https://doi.org/10.1016/j.tust.2005.01.004

Priest, S. D. (1993). *Discontinuity analysis for rock engineering*. London, UK: Chapman & Hall.

Romana, M. (1985). New adjustment ratings for application of Bieniawski classification to slopes. In *Proceedings of the International Symposium on the Role of Rock Mechanics* (pp. 49–53).

Romana, M., Serón, J. B., & Montalar, E. (2003). SMR geomechanics classification: Application, experience and validation. *Engineering Geology, 66*(1–2), 51–65. https://doi.org/10.1016/S0013-7952(02)00106-3

Romana, M. R. (1993). A geomechanical classification for slopes: slope mass rating. In Rock testing and site characterization (pp. 575-600). Pergamon.

United States Geological Survey. (2018, October 15). *Science application for risk reduction*. Retrieved from https://www.usgs.gov/natural-hazards/science-application-risk-reduction

Varikoden, H., Revadekar, J. V., Choudhary, Y., & Preethi, B. (2015). Droughts of Indian summer monsoon associated with El Niño and non-El Niño years. *International Journal of Climatology, 35*, 1916–1925. https://doi.org/10.1002/joc.4097

Wyllie, D. C., & Mah, C. W. (2004). *Rock slope engineering: Civil and mining*. London, UK: Spon Press.

Zakaria, Z. (2005). Peran Geologi Teknik dan Analisis Kewilayahan Dalam Geologi Militer Di Indonesia. Bulletin of Scientific Contribution: GEOLOGY, 3(2).

hak cipta© 2026 Penulis. Diterbitkan oleh Program Studi Teknik Geologi Universitas Negeri Gorontalo
Karya ini dilisensikan di bawah Lisensi Internasional Creative Commons Attribution (CC-BY) 4.0.