

## PROBABILITAS KERUNTUHAN DAN REKOMENDASI PERKUATAN TEBING SPILLWAY DI BENDUNGAN AMERORO SULAWESI TENGGARA

### PROBABILITY OF FAILURE AND REINFORCEMENT RECOMMENDATION FOR SPILLWAY SLOPE AT AMERORO DAM SOUTHEAST SULAWESI

Bambang Hambar Eko Prasetyo<sup>\*1</sup>, Supandi<sup>1</sup>, Winarti<sup>1</sup>

<sup>\*</sup>Email: [bamshep24@gmail.com](mailto:bamshep24@gmail.com)

<sup>1</sup>Magister Teknik Geologi, Institut Teknologi Nasional Yogyakarta, Indonesia

---

#### Abstrak

Lereng merupakan galian terbuka yang memiliki kerentanan tinggi di dunia konstruksi terutama bendungan. Konstruksi galian pada litologi metamorf menjadi tantangan besar dalam menjaga keamanan dan stabilitas. Pemahaman tentang aspek geologi dan geologi teknik menjadi kunci dalam memberikan rekomendasi hasil analisa dan perhitungan numerik, mengingat keruntuhan lereng *spillway* berisiko tinggi terhadap *overtopping* di bendungan. Penelitian ini bertujuan menilai probabilitas keruntuhan lereng *spillway* Bendungan Ameroro dan menentukan rekomendasi perkuatan lereng yang dapat meningkatkan gaya penahannya. Metode penelitian meliputi pemerian geologi teknik *rock mass rating* (RMR) dan *geological strength index* (GSI), analisis kinematika dan stabilitas menggunakan *slope mass rating* (SMR). Hasil penelitian menunjukkan bahwa lereng *spillway* Bendungan Ameroro terbagi dalam kondisi sebagian stabil dan kurang stabil. Lereng mercu menjadi area yang sebagian stabil dengan probabilitas 4,14% hingga 6,67%, lereng transisi pada kondisi sebagian stabil dan tidak stabil dengan probabilitas 3,03% hingga 35,24% serta lereng peluncur pada kondisi tidak stabil dengan probabilitas 5,36% hingga 58,16%. Rekomendasi sistem perkuatan lereng mercu meliputi saluran kaki, *rockbolt* dan *shotcrete* secara setempat. Di lereng transisi direkomendasikan menggunakan saluran kaki, *shotcrete* dan *rockbolt* secara sistematis serta dinding beton penahan. Terakhir, di lereng peluncur meliputi *shotcrete* sistematis, dinding penahan beton, drainase bawah permukaan dan atau re-ekskavasi.

**Kata kunci:** Bendungan Ameroro, Perkuatan Lereng, Probabilitas Keruntuhan.

---

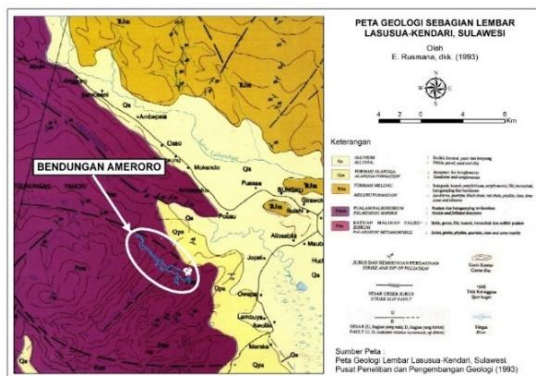
#### Abstract

Slopes are open excavation that have high vulnerability in the construction sector especially dams. Excavation construction in metamorphic lithology is a big challenge in maintaining safety and stability. Understanding aspects of geology and engineering geology is key in providing recommendations for analysis results and numerical calculations, considering that the failure of the spillway slope has a high risk of *overtopping* the dam. This research aims to assess the probability of failure of the ameroro dam spillway slope and determine recommendations for slope reinforcement that can increase the resistance force. Research methods include engineering geology description of the rock mass rating (RMR) and geological strength indeks (GSI) system, kinematics analysis and stability using slope mass rating (SMR) system. The research results show that the Ameroro Dam spillway slope are divided into partially stable and less stable conditions. The mercu slope is a partially stable area with a probability of 4,14% to 6,67%, the Transition slope is in a partially stable and unstable condition with a probability of 3,03% to 35,24% and the Chute slope is in an unstable condition with a probability of 5,36% to 58,16%. Recommendations for the mercu slope reinforcement system is toe ditch, rockbolts and shotcrete locally. On Transition slope it is recommended to using toe ditch, shotcrete and rockbolt systematically and concrete retaining walls. Finally, the Chute slope is systematic shotcrete, concrete retaining walls, subsurface drainage and/or re-excavation

**Keywords:** Ameroro Dam, Slope Reinforcement, Probability of Failure.

---





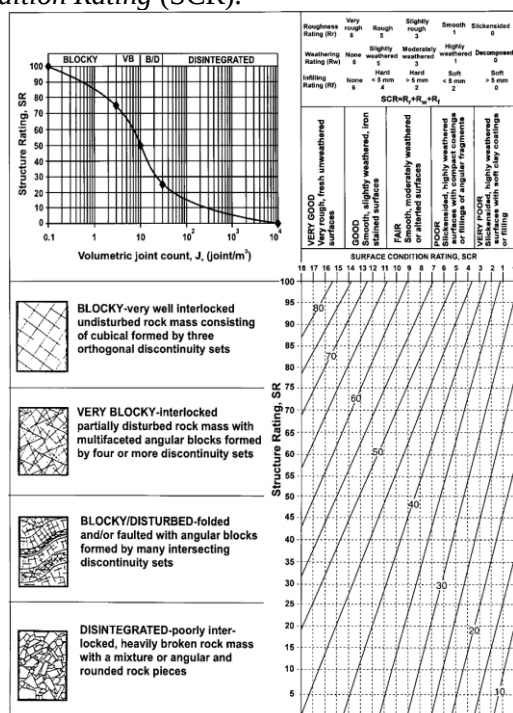
Gambar 4. Stratigrafi daerah penelitian [5]

### III. METODE

Penelitian ini menggunakan beberapa metode dalam pelaksanaannya meliputi *Geological Strength Index*, Analisis Kinematika *Software Dips* dan *Slope Mass Rating*. Penjelasan terkait masing-masing metode dapat dilihat dibawah ini.

#### A. Geological Strength Index

*Geological Strength Index* atau biasa disingkat GSI yang dirumuskan oleh Hoek and Brown untuk menyusun sebuah kriteria keruntuhan praktis di lapangan (Gambar 5). Nilai GSI dapat dikembangkan untuk mengetahui parameter-parameter keteknikan lainnya. Kuantifikasi GSI dari [6] membagi dua (2) aspek yaitu *Structure Rating* (SR) dan *Surface Condition Rating* (SCR).



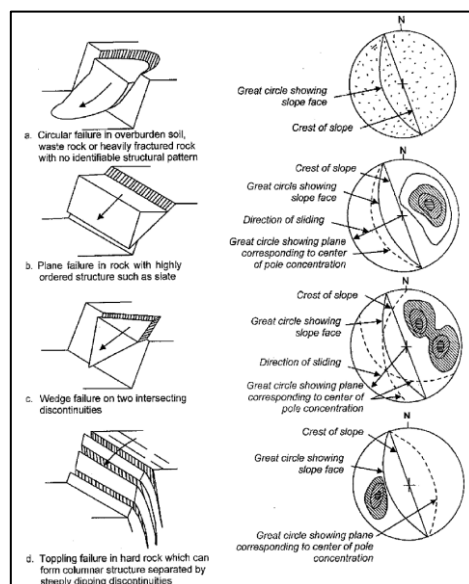
Gambar 5. Modifikasi klasifikasi GSI [7]

#### B. Analisis Kinematika

Analisis kinematika didasarkan pada *plotting* data diskontinuitas dimana penulis menggunakan data bidang foliasi dan kekar batuan. Data tersebut di *plotting* kedalam *software dips* untuk memperoleh arah longsoran, jenis atau tipe keruntuhan serta probabilitas terjadinya longsoran [8].

Tipe keruntuhan (Gambar 6) yang dapat terjadi ada 4 antara lain tipe planar, tipe baji (*wedges*), tipe *circular* (*rotational*) dan tipe *toppling* [9]. Setiap jenis keruntuhan memiliki pola proyeksi stereografis bidang diskontinuitas yang spesifik [10].

Keruntuhan tipe planar umumnya terjadi akibat adanya blok-blok batuan yang meluncur ke arah muka lereng [11]. Tipe ini umum terjadi saat sudut kemiringan lereng ( $\beta_s$ ) lebih besar dari pada sudut kemiringan bidang planar ( $\beta_j$ ). Keruntuhan tipe baji akan terjadi jika terdapat 2 set kekar yang saling berpotongan (*intersection*). Titik perpotongan tersebut akan menjadi arah sekaligus kemiringan bidang longsoran. Keruntuhan tipe *circular* atau *rotational* terjadi pada material jenis tanah atau batuan yang telah mengalami alterasi tingkat tinggi sehingga batuan induk berubah bergradasi menjadi butiran tanah. Terakhir keruntuhan tipe *toppling* terjadi saat arah kemiringan bidang diskontinuitas berlawanan dengan arah muka lereng.



Gambar 6. Tipe keruntuhan lereng [12]

#### C. Slope Mass Rating

*Slope Mass Rating* merupakan salah satu metode empiris untuk memperoleh evaluasi deskriptif stabilitas suatu lereng beserta rekomendasi

perkuatannya [13]. Data yang digunakan adalah geometri lereng dan arah bidang diskontinuitas. Adapun rumus perhitungan SMR sebagai berikut.

$$SMR = RMR_{basic} + (F1 \times F2 \times F3) + F4 \quad (1)$$

Parameter F1, F2 dan F3 merupakan faktor atau parameter yang mempertimbangkan arah orientasi bidang-bidang diskontinuitas. Sedangkan parameter F4 adalah jenis metode penggalian yang dipakai [14]. Pembobotan dipengaruhi jenis keruntuhan yang terjadi, detail ada di Tabel 1.

**Tabel 1.** Klasifikasi pembobotan SMR [15]

| Case  | The Calculated Value          | Very Favourable | Favourable | Fair      | Unfavourable | Very Unfavourable |
|-------|-------------------------------|-----------------|------------|-----------|--------------|-------------------|
| P     | $ \alpha_j - \alpha_s $       | > 30°           | 30° - 21°  | 20° - 11° | 10° - 5°     | < 5°              |
| T     | $ \alpha_j - \alpha_s - 180 $ |                 |            |           |              |                   |
| W     | $ \alpha_i - \alpha_s $       |                 |            |           |              |                   |
| P/W/T | F1                            | 0.15            | 0.40       | 0.70      | 0.85         | 1.0               |
| P     | $ \beta_i $                   | < 20°           | 20° - 30°  | 31° - 35° | 36° - 45°    | > 45°             |
| W     | $ \beta_i $                   |                 |            |           |              |                   |
| P/W   | F2                            |                 |            |           |              |                   |
| P/W/T | F2                            | 0.15            | 0.40       | 0.70      | 0.85         | 1.0               |
| T     | F2                            | 1.0             |            |           |              |                   |
| P     | $ \beta_i - \beta_s $         | > 10°           | 10° - 0°   | 0°        | 0° - (-10°)  | > -10°            |
| W     | $ \beta_i - \beta_s $         |                 |            |           |              |                   |
| T     | $ \beta_i + \beta_s $         |                 |            |           |              |                   |
| P/W/T | F3                            | 0               | -6         | -25       | -50          | -60               |

**Tabel 2.** Penilaian SMR dan deskripsi kondisi lereng [12]

| No Kelas                | V                                                             | IV                     | III                                                       | II                       | I                    |
|-------------------------|---------------------------------------------------------------|------------------------|-----------------------------------------------------------|--------------------------|----------------------|
| Nilai SMR               | 0 – 20                                                        | 21 – 40                | 41 – 60                                                   | 61 – 80                  | 81 – 100             |
| Deskripsi Massa Batuan  | Sangat buruk                                                  | Buruk                  | Normal                                                    | Baik                     | Sangat baik          |
| Stabilitas              | Tidak stabil seluruhnya                                       | Tidak stabil           | Stabil sebagian                                           | Stabil                   | Stabil seluruhnya    |
| Keruntuhan              | Planar besar atau material seperti tanah atau <i>circular</i> | Planar atau baji besar | Planar sepanjang bidang <i>joint</i> dan banyak tipe baji | Keruntuhan beberapa blok | Tidak ada keruntuhan |
| Probabilitas Keruntuhan | 0.9                                                           | 0.6                    | 0.4                                                       | 0.2                      | 0.0                  |

Hasil perhitungan dari rumus (1) kemudian dapat menggambarkan nilai SMR (Tabel 2) sebagai fungsi mengetahui karakteristik massa batuan, kestabilan lereng, tipe keruntuhan yang terjadi serta probabilitasnya [16].

Pengembangan nilai SMR dapat digunakan untuk keperluan penentuan kekuatan lereng berdasarkan kondisi tiap lereng. Perkuatan sangat dipengaruhi karakteristik geologi tekniknya (Tabel 3).

**Tabel 3.** Rekomendasi perkuatan lereng metode SMR

| Kelas SMR | Nilai SMR | Rekomendasi Perkuatan                                 |
|-----------|-----------|-------------------------------------------------------|
| Ia        | 91-100    | Tidak ada                                             |
| Ib        | 81-90     | Tidak ada, perlu dipertimbangkan                      |
| IIa       | 71-80     | (Tidak ada, saluran kaki, atau jaring), baut setempat |

|      |       |                                                                                                                                 |
|------|-------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| IIb  | 61-70 | (Saluran kaki atau jaring), baut setempat atau tersistem                                                                        |
| IIIa | 51-60 | (Saluran kaki dan atau jaring), baut setempat atau tersistem, <i>shotcrete</i> setempat                                         |
| IIIb | 41-50 | (Saluran kaki dan atau jaring), baut/angkur tersistem, <i>shotcrete</i> tersistem, dinding kaki lereng dan atau pengisian beton |
| IVa  | 31-40 | Angkur, <i>shotcrete</i> tersistem, dinding kaki lereng dan atau beton (atau penggalian kembali), drainase                      |
| IVb  | 21-30 | Angkur, <i>shotcrete</i> tersistem, dinding kaki dan atau beton (atau penggalian kembali), drainase bawah permukaan             |
| Va   | 11-20 | Dinding angkur atau gravitasi, penggalian kembali                                                                               |

## IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini membahas kondisi geologi teknik yang mempengaruhi pada kestabilan lereng di *spillway* Bendungan Ameroro berdasarkan analisis kinematika dengan *software dips*, lalu memberikan rekomendasi penguatan yang mengacu pada klasifikasi *Slope Mass Rating*.

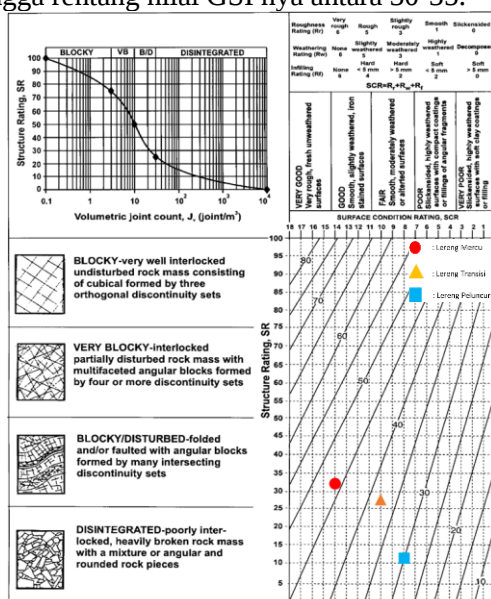
### A. Kondisi Geologi Teknik

Penentuan nilai GSI (Tabel 4) pada hasil penelitian ini diperoleh dari pengamatan lapangan, deskripsi dan pengukuran pada lereng *spillway* Bendungan Ameroro. Data utama adalah bidang diskontinuitas yang tercermin pada nilai *structure rating* dari RQD (*Rock Quality Designation*) dan nilai *structure condition rating* dari *rating roughness* (Rr), *rating weathering* (Rw) dan *rating filling* (Rf).

**Tabel 4.** Pemerian GSI berdasarkan SR dan SCR

| No | Lokasi Lereng | RQD (%) | SCR |    |    | Total |
|----|---------------|---------|-----|----|----|-------|
|    |               |         | Rr  | Rw | Rf |       |
| 1  | Mercu         | 45.0    | 3   | 5  | 6  | 14    |
| 2  | Transisi      | 40.0    | 1   | 3  | 6  | 10    |
| 3  | Peluncur      | 22.5    | 1   | 1  | 6  | 8     |

Hasil *plotting* dapat menggambarkan kekuatan dan kualitas massa batuan nya (Gambar 7). Lereng di lokasi mercu RQD 45% dan tingkat pelapukan rendah, rentang nilai GSI nya antara 45-50. Lereng di lokasi transisi RQD 40%, tingkat pelapukan sedang hingga rendah dan rentang nilai GSI nya antara 35–40. Lereng di lokasi peluncur RQD 22,50% dan tingkat pelapukan sedang hingga *slickensided* sehingga rentang nilai GSI nya antara 30-35.



**Gambar 7.** Plotting nilai GSI dari data SR dan SCR [7]

### B. Probabilitas Keruntuhan Lereng

Probabilitas keruntuhan dapat dihasilkan dari simulasi *software* (Tabel 5) dengan data diskontinuitas lapangan [17]. Selain itu memerlukan geometri lereng dan parameter sudut geser dalam.

**Tabel 5.** Analisis kinematika lereng *spillway*

| NO | LOKASI   | DATA    | TIPE              | STEREOGRAFIS |
|----|----------|---------|-------------------|--------------|
| 1  | Mercu    | Kekar   | Wedges Sliding    |              |
|    |          | Foliasi | Wedges Sliding    |              |
| 2  | Transisi | Kekar   | Flexural Toppling |              |
|    |          | Foliasi | Wedges Sliding    |              |
| 3  | Peluncur | Kekar   | Wedges Sliding    |              |
|    |          | Foliasi | Wedges Sliding    |              |

Tipe keruntuhan yang dominan terjadi adalah tipe membaji (*wedges*). Pengaruh terbesar pada bidang foliasi batuan metamorf bukan pada kekar batuan dikarenakan besarnya probabilitas akibat bidang foliasi dari 35,24% hingga 58,16%. Maka, dapat

diinterpretasikan lereng yang memiliki potensi terjadinya longsor berada di lereng transisi dan lereng peluncur.

### C. Rekomendasi Perkuatan Lereng

Hasil analisis kinematika lereng dapat digunakan sebagai acuan untuk menghitung nilai stabilitas tiap lereng dari SMR. Nilai tersebut dapat dikelompokkan

menjadi beberapa tingkatan untuk perkuatan yang disarankan. Hasil perhitungan pada Tabel 6 dapat menunjukkan bahwa lereng mercu cukup stabil, sementara lereng transisi dan lereng peluncur relatif kurang stabil. Dengan perbedaan nilai SMR maka dapat merujuk pada klasifikasi perkuatannya seperti tabel dibawah ini.

**Tabel 6.** Hasil perhitungan SMR lereng *spillway*

| No | LOKASI   | DATA    | TIPE                     | RMR | F1   | F2   | F3  | F4 | SMR  | Kelas | PoF    | STABILITAS      |
|----|----------|---------|--------------------------|-----|------|------|-----|----|------|-------|--------|-----------------|
| 1  | Mercu    | Kekar   | <i>Wedges Sliding</i>    | 59  | 0.15 | 0.15 | -60 | 0  | 57.7 | III   | 4.14%  | Sebagian Stabil |
|    |          | Foliasi | <i>Wedges Sliding</i>    | 59  | 0.40 | 0.85 | -6  | 0  | 57.0 | III   | 6.67%  | Sebagian Stabil |
| 2  | Transisi | Kekar   | <i>Flexural Toppling</i> | 51  | 0.15 | 1.00 | 0   | 0  | 51.0 | III   | 3.03%  | Sebagian Stabil |
|    |          | Foliasi | <i>Wedges Sliding</i>    | 51  | 0.15 | 0.85 | -50 | 0  | 44.6 | III   | 35.24% | Tidak Stabil    |
| 3  | Peluncur | Kekar   | <i>Wedges Sliding</i>    | 32  | 0.15 | 0.40 | -60 | 0  | 28.4 | IV    | 5.36%  | Tidak Stabil    |
|    |          | Foliasi | <i>Wedges Sliding</i>    | 32  | 0.15 | 0.40 | -60 | 0  | 28.4 | IV    | 58.16% | Tidak Stabil    |

**Tabel 7.** Rekomendasi perkuatan lereng *spillway*

| Kelas SMR | Nilai SMR | Rekomendasi Perkuatan                                                                                                           |
|-----------|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Ia        | 91-100    | Tidak ada                                                                                                                       |
| Ib        | 81-90     | Tidak ada, perlu dipertimbangkan                                                                                                |
| IIa       | 71-80     | (Tidak ada, saluran kaki, atau jaring), baut setempat                                                                           |
| IIb       | 61-70     | (Saluran kaki atau jaring), baut setempat atau tersistem                                                                        |
| IIIa      | 51-60     | (Saluran kaki dan atau jaring), baut setempat atau tersistem, <i>shotcrete</i> setempat                                         |
| IIIb      | 41-50     | (Saluran kaki dan atau jaring), baut/angkur tersistem, <i>shotcrete</i> tersistem, dinding kaki lereng dan atau pengisian beton |
| Iva       | 31-40     | Angkur, <i>shotcrete</i> tersistem, dinding kaki lereng dan atau beton (atau penggalian kembali), drainase                      |
| IVb       | 21-30     | Angkur, <i>shotcrete</i> tersistem, dinding kaki dan atau beton (atau penggalian kembali), drainase bawah permukaan             |
| Va        | 11-20     | Dinding angkur atau gravitasi, penggalian kembali                                                                               |

Rekomendasi pada Tabel 7 merupakan saran dalam penentuan sistem proteksi lereng yang optimal dengan menggunakan :

- Lereng mercu, memerlukan saluran kaki lereng, *shotcrete* dan *rockbolt* setempat sesuai kebutuhan area yang rawan.
- Lereng transisi, memerlukan saluran kaki lereng, *shotcrete* dan *rockbolt* secara tersistem, dinding penahan beton pada bagian kaki lereng.
- Lereng peluncur, memerlukan *shotcrete* dan *anchor* yang tersistem, dinding penahan beton, penggalian kembali kemiringan lereng dan

drainase permukaan maupun bawah permukaan.

## V. PENUTUP

### A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil karakterisasi massa batuan metamorf jenis batusabak di lapangan probabilitas kelongsoran yang rendah berada di lereng mercu yaitu 4,14% - 6,67%. Probabilitas terbesar di lereng transisi dan peluncur yaitu 3,03% - 58,16%. Rekomendasi perkuatan dari metode SMR untuk lereng yang relatif

stabil berupa *shotcrete* dan *rockbolt* yang bersifat setempat, sementara pada lereng yang tidak stabil proteksi bersifat sistematis seperti *shotcrete*, *rockbolt*, dinding penahan beton dan jika diperlukan re-eksavasi.

## B. Saran

Perlu adanya analisis kinematika 3D view agar dapat menggambarkan lebih jelas area-area yang berpotensi mengalami ketidakstabilan. Analisis lebih lanjut terkait efektifitas maupun fungsi dari masing-masing sistem perkuatan dari metode SMR untuk memvalidasi kekuatan sistem proteksi perlu juga dikaji secara khusus.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih saya sampaikan kepada BWS Sulawesi IV Kendari yang telah mengizinkan untuk pengambilan data penelitian di *spillway* Bendungan Ameroro.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. Sasangka, Suhardi, D. Riyanto, D. Insani dan C. Dwi, "Analisis Kerentanan Lereng Lokasi Pembangunan Bendungan Bener Kabupaten Purworejo," *Jurnal Geofisika Eksplorasi*, vol. 7, no. 3, pp. 238-255, 2021.
- [2] Surono, *Geologi Lengan Tenggara Sulawesi*, 2 penyunt., Bandung: Badan Geologi, 2013.
- [3] Hasrul, Hasria dan S. Asfar, "Studi Geomorfologi Daerah Samaturu, Kabupaten Kolaka, Provinsi Sulawesi Tenggara," *Jurnal Ophiolite*, vol. 2, no. 1, pp. 45-58, 2020.
- [4] Hasria, A. Idrus dan I. Warmada, "Geologi Pegunungan Mendoke, Lengan Tenggara Pulau Sulawesi, Indonesia," *Jurnal Geologi dan Sumberdaya Mineral*, vol. 22, no. 3, pp. 123-131, 2021.
- [5] E. Rusmana, Sukido, D. Sukarna, E. Haryono dan T. Simanjuntak, "Peta Geologi Lembar Lasusua-Kendari, Sulawesi," Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung, 1993.
- [6] D. Pratiwi, Y. Yakin dan A. Mahaputra, "Analisis Stabilitas Lereng Batuan Dengan Pendekatan Kriteria Keruntuhan Hoek-Brown dan Mohr Coulomb Menggunakan Metode Numerik Plaxis 2D," *Publikasi Riset Orientasi Teknik Sipil*, vol. 4, no. 2, pp. 74-81, 2022.
- [7] H. Sonmez dan R. Ulusay, "Modifications to The Geological Strength Index (GSI) and Their Applicability to Stability of Slopes," *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, no. 36, pp. 743-760, 1999.
- [8] E. E. & R. I. S. DS, "Analisis Kestabilan Lereng Berdasarkan Metode Kinematika Pada Daerah Tambang PT. Lotus SG Lestari, Kabupaten Bogor, Provinsi Jawa Barat," *Jurnal Eksakta Kebumihan*, vol. 3, no. 1, pp. 42-48, 2023.
- [9] B. Sirait, Z. Pulungan dan E. Pujiyanto, "Identifikasi Potensi Longsoran Lereng Pada Kuari Batugamping Menggunakan Analisis Kinematika," *Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara*, vol. 17, no. 2, pp. 61-75, 2021.
- [10] M. Pangaribuan dan N. Retongga, "Analisis Kestabilan Lereng Menggunakan Metode Rock Mass Rating (RMR) dan Slope Mass Rating (SMR) Untuk Menentukan Faktor Keamanan Lereng Pada Tambang Tuf Desa Candirejo, Kecamatan Semin, Kabupaten Gunungkidul, Daerah Istimewa Yogyakarta," *JURNAL GEOSAINS DAN TEKNOLOGI*, vol. 5, no. 3, pp. 171-190, 2022.
- [11] S. Khodijah, U. Monica, J. Ersyari, N. Khoirullah dan R. Sophian, "Potensi Longsor Berdasarkan Analisis Kinematik Pada Area Low Wall PT. Bukit Asam TBK, Site Tanjung Enim, Sumatera Selatan," *Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara*, vol. 19, no. 2, pp. 111-124, 2023.
- [12] B. Singh dan R. K. Goel, *Engineering Rock Mass Classification*, United States of America: Elsevier Inc, 2011.
- [13] W. Agustian, N. Wardana dan B. Putra, "Analisis Klasifikasi Massa Batuan Dengan Metode Slope Mass Rating Pada Lereng Tambang Emas Pit Gosowong North PT. Nusa Halmahera Minerals, Kabupaten Halmahera Utara, Provinsi Maluku Utara," *Prosiding Nasional Rekayasa Teknologi Industri dan Informasi XVIII*, pp. 244-249, 2023.
- [14] Haslan, Djamaluddin, H. Anwar dan A. Munir, "Slope Mass Rating dan Stabilitas Lereng Batupasir Formasi Balangbaru Dusun Paludda Desa Patappa Kecamatan Pujananting

Kabupaten Barru,” *Jurnal GEOSAPTA*, vol. 7, no. 1, pp. 35-41, 2021.

- [15] M. Danuartha dan H. Widiyanto, “Analisis Kekuatan Massa Batuan dan Stabilitas Lereng Intake Bendungan Bener Berdasarkan Metode Empiris, Analitis dan Numerik,” *JURNAL GEOSAINS DAN TEKNOLOGI*, vol. 5, no. 1, pp. 16-25, 2022.
- [16] M. Lollong, T. Trides dan W. Nugroho, “Analisis Kestabilan Lereng Dengan Menggunakan Metode Rock Mass Rating (RMR) dan Metode Slope Mass Rating (SMR) Pada Penambangan Batupasir Daerah Bukit Pinang Kecamatan Samarinda Ulu Kota Samarinda Provinsi Kalimantan Timur,” *Jurnal Teknologi Mineral FT UNMUL*, vol. 7, no. 1, pp. 50-60, 2019.
- [17] M. Saputra, A. Permana dan N. Akase, “Analisis Tipe Gerakan Tanah Pada Lereng Bendungan Bulango Ulu Kabupaten Bone Bolango Menggunakan Metode Kinematika,” *PADURAKSA : Jurnal Teknik Sipil Universitas Warmadewa*, vol. 12, no. 2, pp. 244-249, 2023.