



Analisis Stabilitas Lereng Menggunakan Metode RMR dan SMR di Daerah Malanu, Distrik Sorong Utara, Kota Sorong, Provinsi Papua Barat Daya

Slope Stability Analysis Using RMR and SMR Methods in the Malanu Area, North Sorong District, Sorong City, Southwest Papua Province

Hardus Padendenan, Erikha M. Mayzarah, Rana Wiratama, Restu Tandirerung

¹Jurusan Teknik Geologi, Fakultas Teknik Pertambangan dan Perminyakan, Universitas Papua, Indonesia

email: e.mayzarah@unipa.ac.id

Naskah diterima: 14 Juli 2023, Revisi terakhir: 21 Maret 2025, Disetujui: 24 Maret 2025 Online: 09 April 2025

DOI: <http://dx.doi.org/10.33332/jgsm.geologi.v26i1.805>

Abstrak-Kondisi lereng pada kawasan tambang batuan di Daerah Malanu, Distrik Sorong Utara, Kota Sorong sangat menarik, karena terdapat rekahan-rekahan yang kemungkinan menyebabkan lereng berada dalam kondisi tidak stabil dan berpotensi menimbulkan bencana. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis kualitas massa batuan, tingkat kestabilan lereng, dan upaya perkuatan lereng, sehingga dapat memberikan informasi kepada instansi terkait dan masyarakat mengenai kondisi lereng tersebut. Metode yang digunakan adalah *scanline sampling*, analisis RMR, analisis SMR, dan analisis kinematik. Dari hasil analisis, didapatkan bahwa lereng 1 memiliki nilai RMR 65 (baik), tipe runtuh guling, dan nilai SMR 65 (stabil), lereng 2 memiliki nilai RMR 67 (baik), tipe runtuh baji, dan nilai SMR 59,5 (stabil sebagian), lereng 3 memiliki nilai RMR 63 (baik), tipe runtuh bidang, dan nilai SMR 57 (stabil sebagian), lereng 4 memiliki nilai RMR 63 (baik), tipe runtuh bidang, dan nilai SMR 13 (sangat tidak stabil), serta lereng 5 memiliki nilai RMR 60 (sedang), tipe runtuh guling, dan nilai SMR 60 (stabil). Rekomendasi perkuatan yang disarankan oleh Romana (1985) adalah perkuatan (IIb) untuk lereng 1, perkuatan (IIIa) untuk lereng 1,2, dan 5, serta perkuatan (Va) untuk lereng 4.

Abstract- The condition of the slopes in the rock mining area of Malanu Area, North Sorong District, Sorong City, is very interesting because there are fractures that may cause the slopes to be unstable and have the potential for disasters. The purpose of this study is to analyze the quality of rock mass, the level of slope stability, and efforts of slope reinforcement, thereby providing information to relevant institutions and the public regarding the condition of the slopes. The methods used are *scanline sampling*, RMR analysis, SMR analysis, and kinematic analysis. From the results of the analysis, the findings are slope 1 has an RMR value of 65 (good), a toppling failure type, and an SMR value of 65 (stable), slope 2 has an RMR value of 67 (good), a wedge failure type, and an SMR value of 59.5 (partially stable), slope 3 has an RMR value of 63 (good), a planar failure type, and an SMR value of 57 (partially stable), slope 4 has an RMR value of 63 (good), a planar failure type, and an SMR value of 13 (very unstable), and slope 5 has an RMR value of 60 (moderate), a toppling failure type, and an SMR value of 60 (stable). The recommended reinforcements suggested by Romana (1985) are (IIb) reinforcement for slope 1, (IIIa) reinforcement for slopes 1,2, and 5, and (Va) reinforcement for slope 4.

Keywords: Rock Mass, Slope stability, Scanline, RMR, SMR

Kata kunci: Massa Batuan, Kestabilan lereng, *Scanline*, RMR, SMR

© JGSM. This is an open access article under the CC-BY-NC license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)

PENDAHULUAN

Kota Sorong merupakan daerah yang sangat menarik secara geologi karena berada pada jalur Sesar Sorong dimana terdapat rekahan-rekahan yang kemungkinan menyebabkan lereng berada dalam kondisi tidak stabil dan memiliki potensi bencana geologi. Kota Sorong pada bagian utara tersusun oleh Formasi Gunungapi Dore, Batuan Ultramafik, Formasi Kemum, dan Granit Sorong yang terdapat galian batuan dan mineral non logam seperti granit, pasir, tanah, dll (Parman *et al.*, 2018). Perkembangan pembangunan yang pesat menyebabkan kegiatan penambangan sering dilakukan pada daerah ini. Salah satu batuan yang sering dimanfaatkan masyarakat sebagai bahan bangunan adalah Granit Sorong. Pemanfaatan tersebut melibatkan kegiatan pemotongan lereng yang dapat menyebabkan kondisi lereng menjadi tidak stabil.

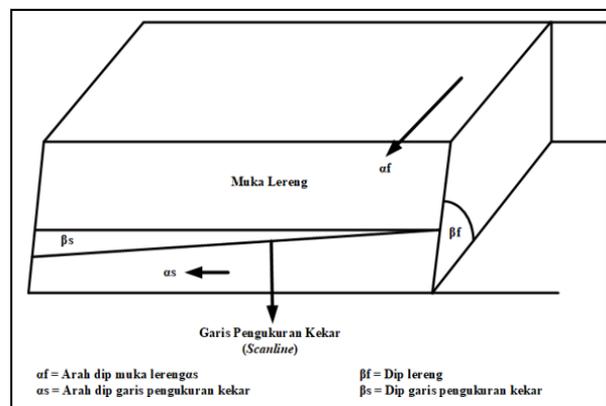
Daerah penelitian secara administratif berada di Kelurahan Malanu dan sekitarnya, Distrik Sorong Utara, Kota Sorong, Provinsi Papua Barat Daya pada koordinat $0^{\circ}48'22'' - 0^{\circ}52'22''$ LS dan $131^{\circ}18'00'' - 131^{\circ}22'00''$ BT. Luas area penelitian adalah 54 Km^2 , memiliki topografi berkisar antara 12,5 – 250 mdpl. Lokasi penelitian ini merupakan kawasan tambang yang sangat menarik dari sisi geologi teknik. Hal ini disebabkan oleh adanya rekahan-rekahan akibat pemotongan lereng batuan dalam proses ekstraksi bahan galian yang dapat menyebabkan lereng berada dalam kondisi tidak stabil saat terjadi gempa atau aktivitas penambangan lanjutan. Kestabilan lereng juga dipengaruhi oleh struktur geologi, jenis batuan, dan tingkat pelapukan batuan pembentuk lereng (Rusydy *et al.*, 2016). Lereng di daerah penelitian berpotensi menimbulkan bencana karena memiliki bidang lemah serta berada dekat dengan sarana dan prasarana masyarakat.

Penelitian tentang kestabilan lereng di kawasan tambang belum dilakukan, padahal datanya penting dalam upaya mitigasi untuk mencegah atau mengurangi resiko runtuhnya batuan. Berdasarkan hal tersebut, penelitian mengenai kestabilan lereng yang aman pada lereng di kawasan penambangan dilakukan dengan menggunakan metode *Rock Mass Rating* (RMR) untuk menilai kualitas massa batuan, metode *Slope Mass Rating* (SMR) untuk menilai kestabilan lereng, dan analisis kinematik untuk menentukan jenis keruntuhan yang akan terjadi di masa yang akan datang, serta memberikan rekomendasi perkuatan berdasarkan kelas SMR (Romana, 1985) apabila lereng berada pada kondisi tidak stabil.

METODE PENELITIAN

Diskontinuitas

Secara umum, bidang diskontinuitas merupakan bidang yang memisahkan massa batuan menjadi bagian yang terpisah. Adanya diskontinuitas akan mengurangi tingkat kekuatan geser batuan dan implikasi utamanya adalah meningkatkan peluang terjadinya keruntuhan. Pemetaan orientasi kekar dilakukan di singkapan massa batuan dengan cara mengukur orientasi dalam bentuk kemiringan (*dip*) dan arah kemiringan (*dip direction*) sepanjang suatu garis bentangan tertentu (*scanline*) pada permukaan massa batuan.

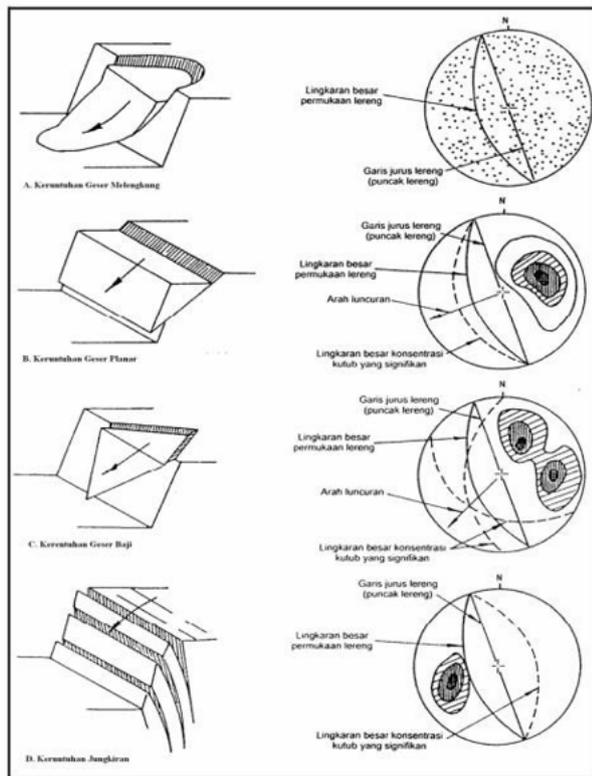


Gambar 1. Ilustrasi bentangan scanline di muka lereng massa batuan (Rai, et al., 2013)

Analisis Kinematik Keruntuhan Lereng

Berbagai jenis keruntuhan lereng (slope failure) berhubungan dengan struktur-struktur geologi yang mengakibatkan adanya diskontinuitas pada massa batuan. Salah satu contoh dari pendekatan awal adalah menentukan kemungkinan ketidakstabilan lereng dengan menggunakan metode analisis kinematik. Dalam penelitian ini, metode kinematik yang digunakan untuk mengetahui potensi keruntuhan lereng batuan adalah dengan metode proyeksi stereografis yang diperkenalkan oleh Hoek & Bray (1981). Berdasarkan proyeksi stereografi Hoek & Bray (1981), perpaduan diskontinuitas batuan akan membentuk empat tipe keruntuhan utama pada batuan (Gambar 2), yaitu:

1. Keruntuhan geser melengkung (circular sliding failure)
2. Keruntuhan geser bidang (planar sliding failure)
3. Keruntuhan geser baji (wedge sliding failure)
4. Keruntuhan guling (toppling failure)



Gambar 2. Tipe keruntuhan batuan (Hoek & Bray, 1981)

Rock Mass Rating (RMR)

Rock Mass Rating (RMR) merupakan salah satu metode klasifikasi massa batuan yang digunakan untuk mengetahui nilai ketahanan suatu massa batuan dan disajikan dalam kualifikasi kualitas suatu massa batuan (Bieniawski, 1973). *Rock Mass Rating* (RMR) atau sering juga dikenal sebagai *Geomechanics Classification System* diusulkan pertama kali oleh Bieniawski dan telah dimodifikasi beberapa kali (terakhir 1989) menggunakan data terbaru agar dapat digunakan untuk berbagai kepentingan dan disesuaikan dengan standar internasional. Menurut Bieniawski (1989), sistem RMR terdiri dari 5 parameter utama, yaitu:

1. Kekuatan Batuan Utuh

Kekuatan batuan utuh merupakan parameter yang sangat penting untuk diukur guna mengetahui sifat mekanika batuan dalam RMR, yang dinyatakan dengan *Uniaxial Compressive Strength* (UCS). UCS merupakan kekuatan dari batuan utuh yang diperoleh dari hasil uji kuat tekan dalam satu arah (uniaksial) (Rai *et al.*, 2013). Menurut Deere & Deere (1989) dan Miller (1966), nilai UCS dapat juga ditentukan dari nilai *Joint Compressive Strength* (JCS), yang diperoleh dari pengeplotan *schmidt rebound hammer* dan berat spesifik batuan.

2. RQD (*Rock Quality Designation*)

RQD didefinisikan sebagai persentase dari perolehan inti bor (*core*) yang secara tidak langsung didasarkan pada jumlah bidang lemah dan jumlah bagian yang lunak dari massa batuan yang diamati dari inti bor. Parameter RQD dapat diperoleh dari pengukuran inti bor yang terambil dengan mengabaikan inti bor yang memiliki panjang kurang dari 10 cm, kemudian hasilnya dijumlahkan dan dibagi dengan panjang total pengeboran (*core run*) (Deere & Deere, 1989). Kelemahan RQD adalah pada pengeboran yang tidak menghasilkan sampel inti, contohnya pada batuan lunak dimana sampel inti akan terganggu saat ada isian diantara lapisan batuan (Siswanto & Anggraini, 2018). Para ahli geoteknik melakukan penyempurnaan pada klasifikasi ini.

$$RQD = \frac{\text{Jumlah panjang bor} \geq 10 \text{ cm}}{\text{Total panjang bor inti}} \times 100\%$$

Apabila inti bor tidak tersedia, maka perhitungan RQD dapat diperoleh menggunakan metode *scanline* yang diusulkan oleh Hudson *et al.* (2002). Terlebih dahulu harus ditentukan frekuensi diskontinuitas yang merupakan jumlah rata-rata kekar per meter dalam suatu bentangan *scanline*.

$$\text{Frekuensi } (\lambda) = \frac{1}{\text{Spasi kekar sebenarnya}}$$

Setelah diketahui nilai frekuensi kekar atau diskontinuitas, nilai tersebut digunakan untuk menghitung *rock quality designation* dengan persamaan berikut:

$$RQD = 100e^{-0,1\lambda}(0,1\lambda + 1)$$

3. Spasi Diskontinuitas

Spasi diskontinuitas didefinisikan sebagai jarak tegak lurus antara dua bidang diskontinuitas yang berurutan dalam satu *scanline*. Pengukuran dimulai dengan membentangkan tali sepanjang muka bidang massa batuan dengan arah kemiringan dan kemiringan tertentu, namun pada kenyataannya di lapangan garis bentangan (*scanline*) tidak akan tegak lurus terhadap semua bidang diskontinuitas sehingga akan timbul bias orientasi. Jarak yang diukur ini disebut jarak semu diskontinuitas. Atas dasar ini, sangat dianjurkan untuk melakukan pengukuran lebih dari satu kali dan melakukan koreksi spasi diskontinuitas.

Gambar 3 memperlihatkan bahwa sudut tajam antara

garis normal bidang diskontinuitas dengan garis bentangan adalah θ . Jarak sebenarnya diskontinuitas (d_{i+i+1}) dapat dihitung dari jarak semu diskontinuitas (j_{i+i+1}) yang diukur antara titik perpotongan bidang-bidang diskontinuitas terhadap *scanline* melalui persamaan berikut:

$$d_{i+i+1} = j_{i+i+1} \cos \left\{ \frac{\theta_i + \theta_{(i+1)}}{2} \right\}$$

$$\cos \theta = \cos (\alpha_n - \alpha_s) \cos \beta_n \cos \beta_s + \sin \beta_n \sin \beta_s$$

Menurut Priest (1985), arah kemiringan (α_n) dan kemiringan (β_n) dari garis normal terhadap bidang kekar yang memiliki arah kemiringan (α_d) dan kemiringan (β_d) dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\alpha_d \leq 180 \quad \alpha_n = \alpha_d + 180$$

$$\alpha_d \geq 180 \quad \alpha_n = \alpha_d - 180$$

$$\beta_n = 90 - \beta_d$$

Keterangan:

d_{i+i+1} = jarak sebenarnya antarbidang kekar

j_{i+i+1} = jarak semu antarbidang kekar

θ = sudut normal

α_d = arah kemiringan kekar

β_d = kemiringan kekar

α_n = arah kemiringan dari garis normal

β_n = kemiringan dari garis normal

α_s = arah kemiringan dari *scanline*

β_s = kemiringan dari *scanline*

Selanjutnya perhitungan jarak rata-rata antarbidang kekar pada set A dihitung dengan persamaan berikut:

$$dswA = \frac{\sum_{i=1}^n dswA_{i+i+1} \cos (\theta_{i+i+1})}{K}$$

Keterangan:

$dswA$ = jarak rata-rata kekar A (*scanline*)

$dswA_{i+i+1}$ = jarak semu bidang kekar set A

K = jumlah bidang kekar dalam satu set

Dengan demikian, rata-rata jarak sebenarnya dari diskontinuitas sepanjang *scanline* dapat diperoleh menggunakan persamaan berikut:

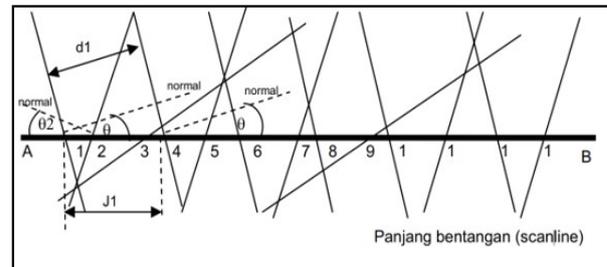
$$dsw = \frac{\sum_{i=1}^n dsw_m}{m}$$

Keterangan:

dsw = rata-rata jarak kekar sebenarnya sepanjang *scanline*

dsw_m = jumlah jarak kekar sebenarnya sepanjang *scanline* setiap set

m = jumlah set kekar sepanjang *scanline*



Gambar 3. Pengukuran jarak antarbidang diskontinuitas pada *scanline* (Lama & Gonano, 1976)

4. Kondisi Diskontinuitas

Menurut Rai *et al.* (2013), kondisi diskontinuitas ditentukan dari deskripsi tiap bidang diskontinuitas terhadap beberapa aspek atau kondisi seperti berikut ini:

- Persistensi merupakan sifat kemenerusan dari bidang-bidang diskontinuitas yang didefinisikan sebagai panjang dari diskontinuitas pada massa batuan dan dapat diukur panjangnya.
- Kekasaran didefinisikan sebagai tingkat kekasaran di permukaan bidang diskontinuitas yang berfungsi sebagai pengunci antarblok atau mencegah pergeseran sepanjang permukaan diskontinuitas.
- Bukaan didefinisikan sebagai lebar celah antara dua permukaan bidang diskontinuitas yang mengendalikan permukaan bidang kekar agar saling mengunci.
- Material pengisi didefinisikan sebagai isian celah antarpermukaan bidang diskontinuitas yang umumnya terdiri dari lanau, lempung, pasir, kalsit, kuarsa, dan pirit.
- Pelapukan didefinisikan sebagai proses penghancuran massa batuan yang terjadi secara fisika, kimiawi, maupun biologi dan membutuhkan waktu yang sangat lama.

5. Kondisi Air Tanah

Air sering mengisi rongga antarpermukaan diskontinuitas yang akan mengurangi kuat geser antarpermukaan diskontinuitas tersebut. Air merupakan faktor yang sangat penting dalam masalah-

masalah teknis yang berhubungan dengan tanah dan batuan seperti, penurunan, stabilitas pondasi, stabilitas lereng, dan lain-lainnya. Bobot kondisi air tanah dapat ditentukan dengan beberapa cara, yaitu:

- a. Melakukan pengamatan langsung di lapangan dan menentukan kondisi umum air.
- b. Melakukan pengukuran debit air.
- c. Mengukur tekanan air.

Slope Mass Rating (SMR)

Slope Mass Rating yang dikemukakan oleh Romana (1985) merupakan sistem klasifikasi massa batuan yang dirancang khusus untuk lereng. Sistem ini mendasarkan pada hasil RMR dengan memberikan beberapa penyesuaian. Parameter yang dibutuhkan untuk klasifikasi *Slope Mass Rating* adalah sebagai berikut:

1. Arah kemiringan (*dip direction*) dari permukaan lereng (α_s)
2. Arah kemiringan (*dip direction*) dari diskontinuitas (α_j)
3. Sudut kemiringan lereng (β_s)

4. Sudut kemiringan diskontinuitas (β_j)

$$SMR = RMR_{Basic} + (F1 \times F2 \times F3) + F4$$

Keterangan:

F1 : Menunjukkan kesejajaran antara kekar dan jurus lereng.

F2 : Merujuk pada kemiringan kekar dalam model keruntuhan bidang.

F3 : Merujuk pada hubungan antara muka lereng dan kemiringan kekar.

F4 : Berhubungan dengan metode penggalian lereng.

Rekomendasi Perkuatan

Penentuan jenis perkuatan lereng yang sesuai dalam mencegah terjadinya keruntuhan pada lereng batuan mengacu pada perkuatan lereng berdasarkan Romana (1985), yang dibagi menjadi sembilan kelas jenis perkuatan (Tabel 4).

Tabel 1. Parameter klasifikasi RMR dan nilai pembobotannya (modifikasi Bieniawski, 1989)

| Parameter | | Jangkauan Nilai | | | | | | | |
|-----------|-------------------------------------|--|---|--|---|---|---------------------------------|----------|-----|
| 1 | Kekuatan batuan utuh | <i>Index Point Load</i> (MPa) | > 10 | 4 – 10 | 2 – 4 | 1 – 2 | Penggunaan UCS lebih dianjurkan | | |
| | | <i>Uniaxial Compressive Strength</i> (MPa) | > 250 | 100–250 | 50 – 100 | 25 – 50 | 5 – 25 | 1 – 5 | < 1 |
| | Bobot | 15 | 12 | 7 | 4 | 2 | 1 | 0 | |
| 2 | <i>Rock Quality Designation</i> (%) | 90 – 100 | 75 – 90 | 50 – 75 | 25 – 50 | > 25 | | | |
| | Bobot | 20 | 17 | 13 | 8 | 3 | | | |
| 3 | Spasi Diskontinuitas/Kekar (m) | > 25 | 25 – 50 | 50 – 75 | 75 – 90 | 90 – 100 | | | |
| | Bobot | 20 | 15 | 10 | 8 | 5 | | | |
| 4 | Kondisi Bidang Diskontinuitas | Sangat kasar dinding segar tidak menerus rapat | Kasar terbuka <1 mm dinding sedikit lapuk | Sedikit kasar terbuka <1 mm dinding sangat lapuk | Terisi Tebal <5 mm terbuka 1-5 mm menerus | Terisi material lunak >5 mm Terbuka >5 mm Menerus | | | |
| | | Bobot | 30 | 25 | 20 | 10 | 0 | | |
| 5 | Kondisi Air Tanah | Aliran per 10 m panjang terowongan | 0 | <10 | 10-25 | 25-125 | >125 | | |
| | | Tekanan air | 0 | <0.1 | 0.1-0.2 | 0.2-0.5 | >0.5 | | |
| | | Kondisi umum | Kering | Lembab | Berair | Basah | Mengalir | | |
| | Bobot | 15 | 10 | 7 | 4 | 0 | | | |

Tabel 2. Parameter klasifikasi RMR dan nilai pembobotannya (modifikasi Bieniawski, 1989)

| Keterangan | Rock Mass Class | | | | |
|---------------------------------|-----------------------------|---------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| | 100-8 Kelas I | 80-60 Kelas II | 60-41 Kelas III | 40-21 Kelas IV | <20 Kelas V |
| Nilai | | | | | |
| Klasifikasi massa batuan | Sangat baik | Baik | Cukup | Buruk | Sangat Buruk |
| Rata-rata waktu <i>stand up</i> | 10 tahun untuk rentang 15 m | 6 bulan untuk rentang 8 m | 1 minggu untuk rentang 5 m | 10 jam untuk rentang 2.5 m | 30 menit untuk rentang 1 m |
| Kohesi massa batuan | > 400 kPa | 300-400 kPa | 200-300 kPa | 100-200 kPa | < 100 kPa |
| Sudut friksi dari massa batuan | > 45° | 35°-45° | 25°-35° | 15°-25° | < 15° |

Tabel 3. Deskripsi untuk setiap kelas SMR (modifikasi Romana, 1985)

| SMR | 0 - 20 | 21 - 40 | 41 - 60 | 61 - 80 | 81 - 100 |
|------------|---------------------|-----------------|-----------------|---------------|---------------|
| Kelas | V | VI | III | II | I |
| Deskripsi | Sangat buruk | Buruk | Normal | Stabil | Sangat baik |
| Kestabilan | Sangat tidak stabil | Tidak stabil | Stabil sebagian | Stabil | Sangat stabil |
| Longsor | Bidang | Bidang dan baji | Baji dan kekar | Blok batuan | Tidak ada |
| Penyangga | Reeskavasi | Sangat perlu | Sistematis | Sewaktu-waktu | Tidak ada |

Tabel 4. Jenis perkuatan lereng SMR (modifikasi Romana, 1985)

| Kelas | SMR | Rekomendasi Perkuatan |
|-------|--------|---|
| Ia | 91-100 | Tidak ada |
| Ib | 91-90 | Tidak ada atau <i>scaling</i> |
| IIa | 71-80 | (Tidak ada. Paritan pada kaki lereng atau pagar), titik baut batuan |
| IIb | 61-70 | Paritan pada kaki lereng atau pagar lereng, jala kawat dan titik baut batuan |
| IIIa | 51-60 | Paritan pada kaki lereng dan jala kawat, baut batuan dan beton semprot |
| IIIb | 41-50 | (Paritan pada kaki lereng dan jala kawat), jangkar kabel baja, beton semprot, dinding penahan, dan beton gigi |
| IVa | 31-40 | Jangkar kabel baja, beton semprot, dinding penahan atau beton, dan penggalian kembali drainase |
| IVb | 21-30 | Perkuatan sistematis beton semprot, dinding penahan atau beton, penggalian kembali dan kedalaman drainase |
| Va | 11-20 | Gravitasi atau dinding penahan atau penggalian kembali |

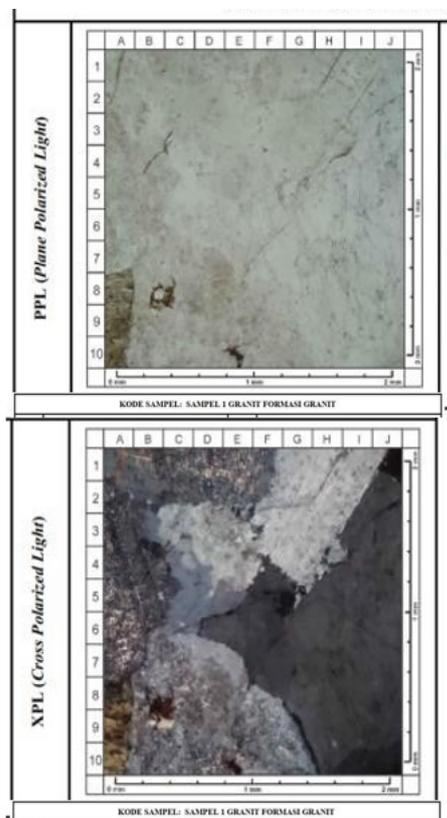
HASIL DAN PEMBAHASAN

Litologi

Berdasarkan Peta Geologi Regional Lembar Sorong (Sanyoto *et al.*, 1990), lokasi penelitian berada pada Formasi Granit Sorong. Formasi ini tersusun atas litologi granit dengan ciri fisik berwarna merah muda, sedikit aplit dan retas kuarsa yang secara umum berumur Miosen Akhir-Kuarter.

Berdasarkan hasil petrografi sayatan tipis yang telah dianalisis, batuan penyusun lereng di daerah penelitian adalah *alkali feldspar granite* (Streckeisen, 1976) yang memiliki struktur masif, tekstur fanerik, dan komposisi mineral yang berukuran sedang-kasar diantaranya, kuarsa (J6) 35%, adularia (H1) 62%, dan biotit (A9) 3%. Menurut Nicholls *et al.* (1971), secara umum litologi granit memiliki densitas (*density*) = 2,65 g/cm³ dan berat jenis (*unit of weight*) = 26,4 kN/m³.

Sebagian besar batuan di daerah tersebut telah mengalami kerusakan akibat aktivitas penambangan batuan dan pasir. Kegiatan ini melibatkan pemotongan lereng yang menyebabkan kondisi lereng menjadi tidak stabil. Kondisi iklim yang tidak menentu mempengaruhi tingkat pelapukan batuan, dimana daerah penelitian memiliki dua musim yaitu musim kemarau dan musim hujan.



Gambar 4. Sayatan tipis sampel granit

Data Lereng Penelitian

Pengambilan data dan pengukuran bidang diskontinuitas dilakukan pada 5 lereng berbeda di Kelurahan Malanu, Distrik Sorong Utara, Kota Sorong yang dilakukan selama ± 6 hari. Pengamatan serta pencatatan data diskontinuitas dilakukan secara sistematis menggunakan metode *scanline sampling*. Pada metode ini, pengukuran dilakukan sepanjang garis bentangan (*scanline*), kemudian mencatat data-data seperti kedudukan bidang diskontinuitas, jarak diskontinuitas, panjang diskontinuitas, kekasaran, bukaan, isian, tingkat pelapukan, kondisi keairan, dan *rebound number* (lampiran), serta data-data lainnya yang meliputi:

Lereng 1

- Koordinat : S 00°52'29,03"
- E 131°19'17,23"
- Panjang *Scanline* : 25 meter
- Arah *Dip* Muka Lereng (α_f) : N 339° E
- Arah *Dip Scanline* (α_s) : N 165° E
- *Dip* Lereng (β_f) : 69°
- *Dip Scanline* (β_s) : 10°
- Tinggi Lereng : 21 meter
- Lebar Lereng : 30 meter
- Data Diskontinuitas : 49 data



Gambar 5. Bentangan scanline pada lereng 1

Lereng 2

- Koordinat : S 00°52'31,26"
- E 131°19'13,86"
- Panjang *Scanline* : 26 meter
- Arah *Dip* Muka Lereng (α_f) : N 71° E
- Arah *Dip Scanline* (α_s) : N 345° E

- *Dip* Lereng (β_f) : 71°
- *Dip Scanline* (β_s) : 5°
- Tinggi Lereng : 22,8 meter
- Lebar Lereng : 41,5 meter
- Data Diskontinuitas : 159 data



Gambar 6. Bentangan scanline pada lereng 2

Lereng 3

- Koordinat : S $00^\circ 52' 06,26''$
- E $131^\circ 18' 39,86''$
- Panjang *Scanline* : 28,5 meter
- Arah *Dip* Muka Lereng (α_f) : N 229° E
- Arah *Dip Scanline* (α_s) : N 190° E
- *Dip* Lereng (β_f) : 80°
- *Dip Scanline* (β_s) : 12°
- Tinggi Lereng : 48,6 meter
- Lebar Lereng : 50 meter
- Data Diskontinuitas : 140 data



Gambar 7. Bentangan scanline pada lereng 3

Lereng 4

- Koordinat : S $00^\circ 52' 30,16''$
- E $131^\circ 19' 10,25''$
- Panjang *Scanline* : 25 meter
- Arah *Dip* Muka Lereng (α_f) : N 275° E
- Arah *Dip Scanline* (α_s) : N 145° E
- *Dip* Lereng (β_f) : 75°
- *Dip Scanline* (β_s) : 5°
- Tinggi Lereng : 43 meter
- Lebar Lereng : 57,6 meter
- Data Diskontinuitas : 126 data



Gambar 8. Bentangan scanline pada lereng 4

Lereng 5

- Koordinat : S $00^\circ 52' 29,00''$
- E $131^\circ 18' 06,86''$
- Panjang *Scanline* : 25 meter
- Arah *Dip* Muka Lereng (α_f) : N 50° E
- Arah *Dip Scanline* (α_s) : N 98° E
- *Dip* Lereng (β_f) : 69°
- *Dip Scanline* (β_s) : 15°
- Tinggi Lereng : 45 meter
- Lebar Lereng : 40 meter
- Data Diskontinuitas : 148 data



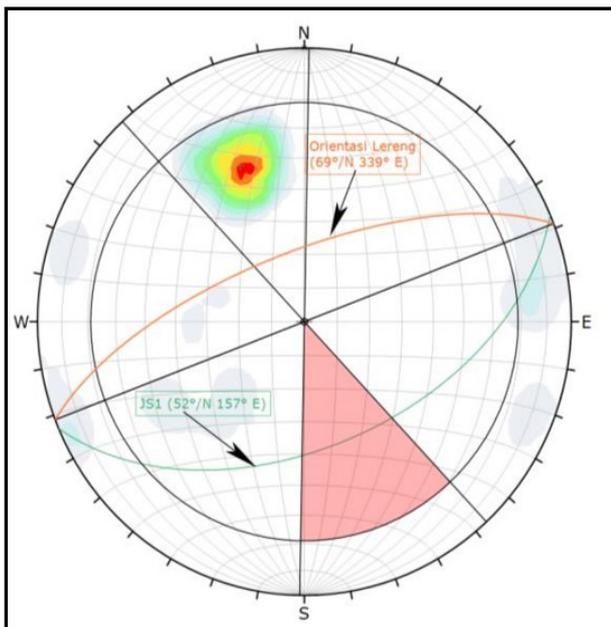
Gambar 9. Bentangan scanline pada lereng 5

Analisis Kinematik

Hasil akuisisi orientasi diskontinuitas massa batuan di lapangan meliputi *dip direction* dan *dip* diskontinuitas yang diplot ke dalam *stereonet*, lalu dilakukan proses pembuatan kontur menggunakan *software Dips 7.0*. Diskontinuitas-diskontinuitas yang sejenis dan memiliki orientasi yang relatif sama dikelompokkan menjadi satu set diskontinuitas tertentu, kemudian diplotkan bersama orientasi lereng untuk mengetahui jenis keruntuhan yang berpotensi terjadi pada tiap-tiap lereng di daerah penelitian. Berdasarkan analisis kinematik, setiap lereng memiliki hasil sebagai berikut:

Lereng 1

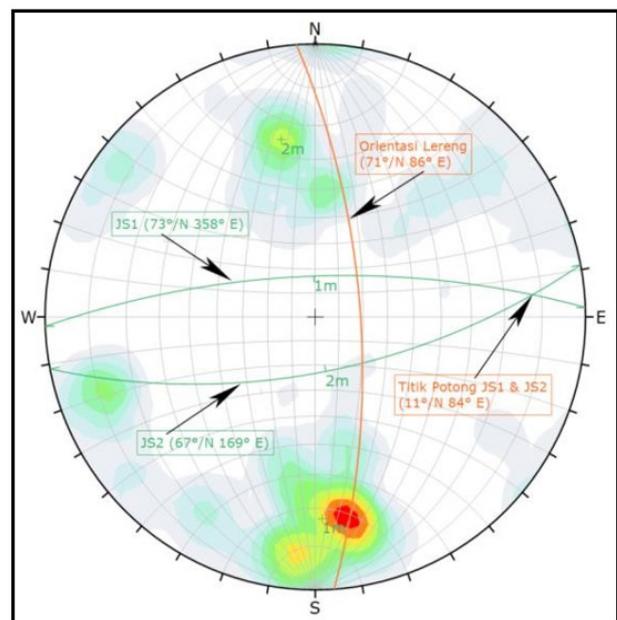
Berdasarkan akuisisi data orientasi diskontinuitas massa batuan pada lereng 1, diperoleh 49 data bidang diskontinuitas dari lintasan *scanline* sepanjang 25 meter dengan orientasi lereng 69°/N 339° E, tinggi lereng 21 meter, dan lebar lereng 35 meter. Dari proses pengeplotan orientasi diskontinuitas menggunakan *software Dips 7.0*, diperoleh satu set diskontinuitas, yaitu JS1 yang berkedudukan 52°/N 157° E. Dengan demikian, kondisi lereng 1 memiliki tipe keruntuhan jungkiran atau guling (*toppling failure*), karena orientasi bidang diskontinuitas dengan orientasi permukaan lereng mendekati paralel dan arah kemiringan kedua bidang berlawanan (Hoek & Bray, 1981), dengan perkiraan *critical zone* sebesar 20,17%.



Gambar 10. Stereoplot jointset pada lereng 1

Lereng 2

Berdasarkan akuisisi data orientasi diskontinuitas massa batuan pada lereng 2, diperoleh 159 data bidang diskontinuitas dari lintasan *scanline* sepanjang 26 meter dengan orientasi lereng 71°/N 86° E, tinggi lereng 22,8 meter, dan lebar lereng 41,5 meter. Dari proses pengeplotan orientasi diskontinuitas menggunakan *software Dips 7.0*, diperoleh dua set diskontinuitas, yaitu JS1 yang berkedudukan 73°/N 358° E dan JS2 yang berkedudukan 67°/N 169° E. Dengan demikian, kondisi lereng 2 memiliki tipe keruntuhan membaji (*wedge failure*), karena terdapat dua bidang diskontinuitas yang saling berpotongan sehingga membentuk baji terhadap lereng yang searah dengan titik perpotongan diskontinuitas dan memiliki sudut (*plunge*) perpotongan diskontinuitas lebih kecil daripada sudut lereng, yaitu 11°/N 84° E (Hoek & Bray, 1981), dengan perkiraan *critical zone* sebesar 35,35%.

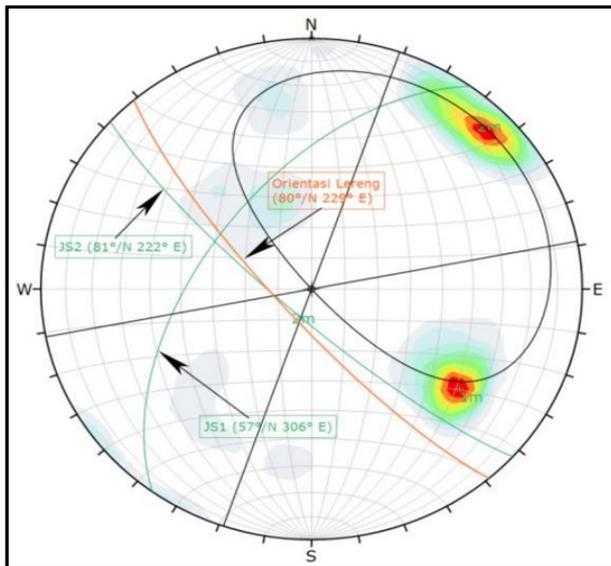


Gambar 11. Stereoplot jointset pada lereng 2

Lereng 3

Berdasarkan akuisisi data orientasi diskontinuitas massa batuan pada lereng 3, diperoleh 123 data bidang diskontinuitas dari lintasan *scanline* sepanjang 28,5 meter dengan orientasi lereng 80°/N 229° E, tinggi lereng 48,6 meter, dan lebar lereng 50 meter. Dari proses pengeplotan orientasi diskontinuitas menggunakan *software Dips 7.0*, diperoleh dua set diskontinuitas, yaitu JS1 yang berkedudukan 81°/N 227° E dan JS2 yang berkedudukan 56°/N 302° E. Dengan demikian, kondisi lereng 3 memiliki tipe keruntuhan bidang (*planar failure*), karena orientasi JS2 hampir sejajar (maksimal 20°) terhadap orientasi

lereng dan terdapat bidang bebas yang merupakan batas lateral dari massa batuan (Hoek & Bray, 1981), dengan perkiraan *critical zone* JS2 sebesar 52,50%.



Gambar 12. Stereoplot jointset pada lereng 3

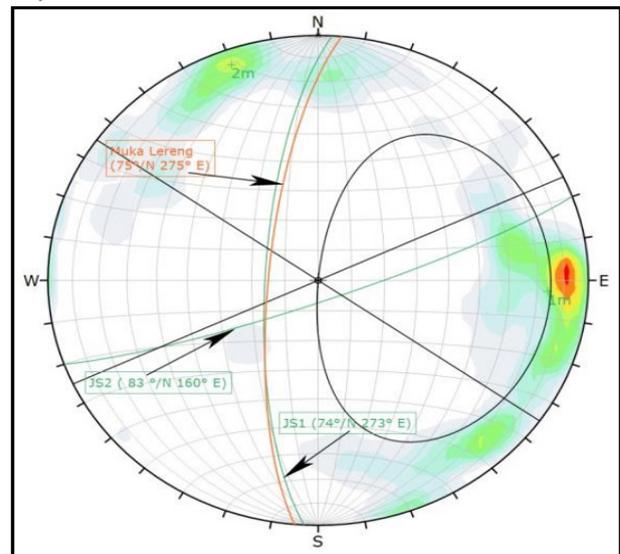
Lereng 4

Berdasarkan akuisisi data orientasi diskontinuitas massa batuan pada lereng 4, diperoleh 126 data bidang diskontinuitas dari lintasan *scanline* sepanjang 25 meter dengan orientasi lereng 75°/N 275° E, tinggi lereng 43 meter, dan lebar lereng 57,6 meter. Dari proses pengeplotan orientasi diskontinuitas menggunakan *software Dips 7.0*, diperoleh dua set diskontinuitas, yaitu JS1 yang berkedudukan 74°/N 273° E dan JS2 yang berkedudukan 83°/N 160° E. Dengan demikian, kondisi lereng 4 memiliki tipe keruntuhan bidang (*planar failure*), karena orientasi JS2 hampir sejajar (maksimal 20°) terhadap orientasi lereng dan terdapat bidang bebas yang merupakan batas lateral dari massa batuan (Hoek & Bray, 1981), dengan perkiraan *critical zone* JS2 sebesar 42,52%.

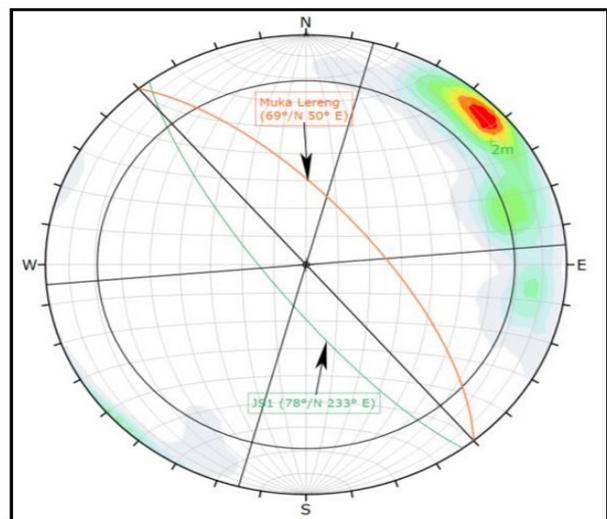
Lereng 5

Berdasarkan akuisisi data orientasi diskontinuitas massa batuan pada lereng 5, diperoleh 148 data bidang diskontinuitas dari lintasan *scanline* sepanjang 25 meter dengan orientasi lereng 69°/N 50° E, tinggi lereng 45 meter, dan lebar lereng 40 meter. Dari proses pengeplotan orientasi diskontinuitas menggunakan *software Dips 7.0*, diperoleh satu set diskontinuitas, yaitu JS1 yang berkedudukan 78°/N 233° E. Dengan demikian, kondisi lereng 5 memiliki tipe keruntuhan jungkiran atau guling (*toppling failure*), karena orientasi bidang diskontinuitas dengan orientasi permukaan lereng mendekati paralel

dan arah kemiringan kedua bidang berlawanan (Hoek & Bray, 1981), dengan perkiraan *critical zone* sebesar 24,27%.



Gambar 13. Stereoplot jointset pada lereng 4



Gambar 14. Stereoplot jointset pada lereng 5

Analisis *Rock Mass Rating* (RMR)

Nilai *Rock Mass Rating* (RMR) diperoleh dari pembobotan massa batuan pada tiap-tiap lereng di lokasi penelitian. Pembobotan didasarkan pada lima parameter (Tabel 1) yang dikemukakan oleh Z.T. Bieniawski (1973). Adapun hasil pembobotan nilai RMR dari setiap lereng adalah sebagai berikut:

Lereng 1

Dari hasil akuisisi data pada lereng 1 yang dilakukan menggunakan *Schmidt Hammer Test*, diperoleh rata-rata *rebound number* sebesar 31,76 dengan orientasi *hammer* mendekati vertikal. Hasil pengeplotan

rata-rata *rebound number* dengan berat jenis (*unit of weight*) = 26,4 kN/m³ pada diagram JCS menunjukkan nilai UCS sebesar 58 MPa. Dengan demikian, bobot kekuatan batuan utuh adalah 7.

Pada hasil koreksi spasi diskontinuitas, diperoleh spasi kekar rata-rata sebenarnya = 0,34 m dan frekuensi kekar (λ) = 1/spasi kekar rata-rata = 2,95 kekar/meter. Dengan menggunakan persamaan Priest & Hudson (1976), diperoleh nilai RQD = 96,42 %. Dengan demikian, bobot RQD adalah 20.

Hasil pengukuran pada lereng 1 menunjukkan bahwa jarak semu diskontinuitas = 0,51 meter. Dari hasil koreksi jarak diskontinuitas pada JS1, diperoleh spasi diskontinuitas sebenarnya = 0,34 meter. Dengan demikian, bobot spasi diskontinuitas adalah 10.

Kondisi diskontinuitas diperoleh dari pengamatan dan deskripsi langsung di lokasi penelitian. Pada lereng 1, bobot kondisi diskontinuitas adalah 21, dengan hasil rekapitulasi deskripsi umum kondisi diskontinuitas sebagai berikut:

Tabel 5. Rekapitulasi pengamatan kondisi diskontinuitas lereng 1

| Kondisi Diskontinuitas Lereng 1 | | | |
|--|--------------|-------|--------|
| Parameter | Deskripsi | Bobot | Jumlah |
| Kemenerusan | 219 cm | 4 | 21 |
| Bukaan | 0,3 cm | 1 | |
| Kekasaran | Kasar | 5 | |
| Isian | Tidak ada | 6 | |
| Pelapukan | Lapuk Sedang | 5 | |

Kondisi keairan diperkirakan dengan memberikan gambaran umum mengenai kondisi keairan pada lereng di daerah penelitian. Lereng 1 memiliki kondisi keairan umum kering. Dengan demikian, bobot kondisi keairan lereng 1 adalah 15.

Tabel 6. Rekapitulasi perhitungan RMR pada lereng 1

| Rock Mass Rating Lereng 1 | | |
|---|---------------|--------------------|
| Parameter | Kondisi | Bobot |
| Kekuatan batuan utuh | 58 MPa | 7 |
| RQD | 96,42 % | 20 |
| Spasi diskontinuitas | 0,34 meter | 10 |
| Kondisi diskontinuitas | Lihat Tabel 5 | 21 |
| Kondisi keairan | Kering | 15 |
| Jumlah Bobot | | 73 |
| Kelas & Pemerian RMR_{basic} | | II (Stabil) |

Bobot dari kelima parameter selanjutnya dijumlahkan untuk mendapatkan kualitas dari massa batuan pembentuk lereng. Dari hasil rekapitulasi pembobotan *Rock Mass Rating (RMR_{basic})* pada lereng 1, diperoleh nilai 73 (kelas II) dengan keterangan bahwa kondisi massa batuan pada lereng 1 tergolong **baik**.

Lereng 2

Dari hasil akuisisi data pada lereng 2 yang dilakukan menggunakan *Schmidt Hammer Test*, diperoleh rata-rata *rebound number* sebesar 26,25 dengan orientasi *hammer* mendekati vertikal. Hasil pengeplotan rata-rata *rebound number* dengan berat jenis (*unit of weight*) = 26,4 kN/m³ pada diagram JCS menunjukkan nilai UCS sebesar 46 MPa. Dengan demikian, bobot kekuatan batuan utuh adalah 4.

Pada hasil koreksi spasi diskontinuitas, diperoleh spasi kekar rata-rata sebenarnya = 0,13 m dan frekuensi kekar (λ) = 1/spasi kekar rata-rata = 7,56 kekar/meter. Dengan menggunakan persamaan Priest & Hudson (1976), diperoleh nilai RQD = 82,45 %. Dengan demikian, bobot RQD adalah 17.

Hasil pengukuran pada lereng 2 menunjukkan jarak semu diskontinuitas = 0,16 meter. Dari hasil koreksi jarak diskontinuitas pada JS1 dan JS2, diperoleh spasi diskontinuitas sebenarnya = 0,13 meter. Dengan demikian, bobot spasi diskontinuitas adalah 8.

Kondisi diskontinuitas diperoleh dari pengamatan dan deskripsi langsung di lokasi penelitian. Pada lereng 2, bobot kondisi diskontinuitas adalah 23, dengan hasil rekapitulasi deskripsi umum kondisi diskontinuitas sebagai berikut:

Tabel 7. Rekapitulasi pengamatan kondisi diskontinuitas lereng 2

| Kondisi Diskontinuitas Lereng 2 | | | |
|--|--------------|-------|--------|
| Parameter | Deskripsi | Bobot | Jumlah |
| Kemenerusan | 62,3 cm | 6 | 23 |
| Bukaan | 0,3 cm | 1 | |
| Kekasaran | Kasar | 5 | |
| Isian | Tidak ada | 6 | |
| Pelapukan | Lapuk Sedang | 5 | |

Kondisi keairan diperkirakan dengan cara memberikan gambaran umum mengenai kondisi keairan pada lereng di daerah penelitian. Lereng 2 memiliki kondisi keairan umum kering. Dengan demikian, bobot kondisi keairan lereng 2 adalah 15.

Bobot dari kelima parameter selanjutnya dijumlahkan untuk mendapatkan kualitas dari massa batuan pembentuk lereng. Dari hasil rekapitulasi pembobotan *Rock Mass Rating (RMR_{basic})* pada lereng 2, diperoleh nilai 67 (kelas II) dengan keterangan bahwa kondisi massa batuan pada lereng 2 tergolong **baik**.

Tabel 8. Rekapitulasi perhitungan RMR pada lereng 2

| Rock Mass Rating Lereng 2 | | |
|---|---------------|--------------------|
| Parameter | Kondisi | Bobot |
| Kekuatan batuan utuh | 46 MPa | 4 |
| RQD | 82,45 % | 17 |
| Spasi diskontinuitas | 0,13 meter | 8 |
| Kondisi diskontinuitas | Lihat Tabel 7 | 23 |
| Kondisi keairan | Kering | 15 |
| Jumlah Bobot | | 67 |
| Kelas & Pemerian RMR_{basic} | | II (Stabil) |

Lereng 3

Dari hasil akuisisi data pada lereng 3 yang dilakukan menggunakan *Schmidt Hammer Test*, diperoleh rata-rata *rebound number* sebesar 29,53 dengan orientasi *hammer* mendekati vertikal. Hasil pengeplotan rata-rata *rebound number* dan berat jenis (*unit of weight*) = 26,4 kN/m³ pada diagram JCS menunjukkan nilai UCS sebesar 52 MPa. Dengan demikian, bobot kekuatan batuan utuh adalah 7.

Pada hasil koreksi spasi diskontinuitas, diperoleh spasi kekar rata-rata sebenarnya = 0,13 m dan frekuensi kekar (λ) = 1/spasi kekar rata-rata = 7,69 kekar/meter. Dengan menggunakan persamaan Priest & Hudson (1976), diperoleh nilai RQD = 81,99%. Dengan demikian, bobot RQD adalah 17.

Hasil pengukuran pada lereng 3 menunjukkan jarak semu diskontinuitas = 0,23 meter. Dari hasil koreksi jarak diskontinuitas pada JS1, diperoleh spasi diskontinuitas sebenarnya = 0,13 meter. Dengan demikian, bobot spasi diskontinuitas adalah 8.

Kondisi diskontinuitas diperoleh dari pengamatan dan deskripsi langsung di lokasi penelitian. Pada lereng 3, bobot kondisi diskontinuitas adalah 24, dengan hasil rekapitulasi deskripsi umum kondisi diskontinuitas sebagai berikut:

Tabel 9. Rekapitulasi pengamatan kondisi diskontinuitas lereng 3

| Kondisi Diskontinuitas Lereng 3 | | | |
|--|--------------|-------|--------|
| Parameter | Deskripsi | Bobot | Jumlah |
| Kemenerusan | 76 cm | 6 | 24 |
| Bukaan | 0,2 cm | 1 | |
| Kekasaran | Sangat Kasar | 6 | |
| Isian | Tidak ada | 6 | |
| Pelapukan | Lapuk Sedang | 5 | |

Kondisi keairan diperkirakan dengan memberikan gambaran umum mengenai kondisi keairan pada lereng di daerah penelitian. Lereng 3 memiliki kondisi keairan umum kering. Dengan demikian, bobot kondisi keairan lereng 3 adalah 15.

Bobot dari kelima parameter selanjutnya dijumlahkan untuk mendapatkan kualitas dari massa batuan pembentuk lereng. Dari hasil rekapitulasi pembobotan *Rock Mass Rating (RMR_{basic})* pada lereng 3, diperoleh nilai 71 (kelas II) dengan keterangan bahwa kondisi massa batuan pada lereng 3 tergolong **baik**.

Tabel 10. Rekapitulasi perhitungan RMR pada lereng 3

| Rock Mass Rating Lereng 3 | | |
|---|---------------|--------------------|
| Parameter | Kondisi | Bobot |
| Kekuatan batuan utuh | 52 MPa | 7 |
| RQD | 81,99 % | 17 |
| Spasi diskontinuitas | 0,13 meter | 8 |
| Kondisi diskontinuitas | Lihat Tabel 9 | 24 |
| Kondisi keairan | Kering | 15 |
| Jumlah Bobot | | 71 |
| Kelas & Pemerian RMR_{basic} | | II (Stabil) |

Lereng 4

Dari hasil akuisisi data pada lereng 4 yang dilakukan menggunakan *Schmidt Hammer Test*, diperoleh rata-rata *rebound number* sebesar 16,60 dengan orientasi *hammer* mendekati vertikal. Hasil pengeplotan rata-rata *rebound number* dan berat jenis (*unit of weight*)

= 26,4 kN/m³ pada diagram JCS menunjukkan nilai UCS sebesar 35 MPa. Dengan demikian, bobot kekuatan batuan utuh adalah 4.

Pada hasil koreksi spasi diskontinuitas, diperoleh spasi kekar rata-rata sebenarnya = 0,15 m dan frekuensi kekar (λ) = 1/spasi kekar rata-rata = 6,83 kekar/meter. Dengan menggunakan persamaan Priest & Hudson (1976), diperoleh nilai RQD = 85,01 %. Dengan demikian, bobot RQD adalah 17.

Hasil pengukuran pada lereng 4 menunjukkan jarak semu diskontinuitas = 0,21 meter. Dari hasil koreksi jarak diskontinuitas pada JS1, diperoleh spasi diskontinuitas sebenarnya = 0,15 meter. Dengan demikian, bobot spasi diskontinuitas adalah 8.

Kondisi diskontinuitas diperoleh dari pengamatan dan deskripsi langsung di lokasi penelitian. Pada lereng 4, bobot kondisi diskontinuitas adalah 19, dengan hasil rekapitulasi deskripsi umum kondisi diskontinuitas sebagai berikut:

Tabel 11. Rekapitulasi pengamatan kondisi diskontinuitas lereng 4

| Kondisi Diskontinuitas Lereng 4 | | | |
|--|--------------|-------|--------|
| Parameter | Deskripsi | Bobot | Jumlah |
| Kemenerusan | 73,9 cm | 6 | 19 |
| Bukaan | 0,4 cm | 1 | |
| Kekasaran | Kasar | 5 | |
| Isian | Tidak ada | 6 | |
| Pelapukan | Sangat Lapuk | 1 | |

Kondisi diskontinuitas diperoleh dari pengamatan dan deskripsi langsung di lokasi penelitian. Pada lereng 5, bobot kondisi diskontinuitas adalah 21, dengan hasil rekapitulasi deskripsi umum kondisi diskontinuitas sebagai berikut:

Kondisi keairan diperkirakan dengan memberikan gambaran umum mengenai kondisi keairan pada lereng di daerah penelitian. Lereng 5 memiliki kondisi keairan umum kering. Dengan demikian, bobot kondisi keairan adalah 15.

Bobot dari kelima parameter selanjutnya dijumlahkan untuk menentukan kualitas dari massa batuan pembentuk lereng. Dari hasil rekapitulasi pembobotan Rock Mass Rating (RMR_{basic}) pada lereng 4, diperoleh nilai 63 (kelas II) dengan keterangan bahwa kondisi massa batuan pada lereng 4 tergolong baik.

Tabel 12. Rekapitulasi perhitungan RMR pada lereng 4

| Rock Mass Rating Lereng 4 | | |
|---|----------------|--------------------|
| Parameter | Kondisi | Bobot |
| Kekuatan batuan utuh | 58 MPa | 4 |
| RQD | 96,42 % | 27 |
| Spasi diskontinuitas | 0,51 meter | 8 |
| Kondisi diskontinuitas | Lihat Tabel 11 | 29 |
| Kondisi keairan | Kering | 15 |
| Jumlah Bobot | | 63 |
| Kelas & Pemerian RMR_{basic} | | II (Stabil) |

Lereng 5

Dari hasil akuisisi data pada lereng 5 yang dilakukan menggunakan *Schmidt Hammer Test*, diperoleh rata-rata *rebound number* sebesar 19,95 dengan orientasi *hammer* mendekati vertikal. Hasil pengeplotan rata-rata *rebound number* dan berat jenis (*unit of weight*) = 26,4 kN/m³ pada diagram JCS menunjukkan nilai UCS sebesar 29 MPa. Dengan demikian, bobot kekuatan batuan utuh adalah 4.

Pada hasil koreksi spasi diskontinuitas, diperoleh spasi kekar rata-rata sebenarnya = 0,12 m dan frekuensi kekar (λ) = 1/spasi kekar rata-rata = 8,62 kekar/meter. Dengan menggunakan persamaan Priest & Hudson (1976), diperoleh nilai RQD = 78,63 %. Dengan demikian, bobot RQD adalah 17.

Hasil pengukuran pada lereng 5 menunjukkan jarak semu diskontinuitas = 0,17 meter. Dari hasil koreksi jarak diskontinuitas pada JS1, diperoleh spasi diskontinuitas sebenarnya = 0,12 meter. Dengan demikian, bobot spasi diskontinuitas pada lereng 5 adalah 8.

Tabel 13. Rekapitulasi pengamatan kondisi diskontinuitas lereng 5

| Kondisi Diskontinuitas Lereng 5 | | | |
|--|-----------|-------|--------|
| Parameter | Deskripsi | Bobot | Jumlah |
| Kemenerusan | 81,7 cm | 6 | 21 |
| Bukaan | 0,3 cm | 1 | |
| Kekasaran | Kasar | 5 | |
| Isian | Tidak ada | 6 | |
| Pelapukan | Lapuk | 3 | |

Kondisi keairan diperkirakan dengan memberikan gambaran umum mengenai kondisi keairan pada lereng di daerah penelitian. Lereng 5 memiliki kondisi keairan umum kering. Dengan demikian, bobot kondisi keairan adalah 15

Kondisi diskontinuitas diperoleh dari pengamatan dan deskripsi langsung di lokasi penelitian. Pada lereng 5, bobot kondisi diskontinuitas adalah 21, dengan hasil rekapitulasi deskripsi umum kondisi diskontinuitas sebagai berikut:

Bobot dari kelima parameter selanjutnya dijumlahkan untuk mendapatkan kualitas dari massa batuan pembentuk lereng. Dari hasil rekapitulasi pembobotan Rock Mass Rating (RMR_{basic}) pada lereng 5, diperoleh nilai 60 (kelas III) dengan keterangan bahwa kondisi massa batuan pada lereng 5 tergolong sedang.

Tabel 14. Rekapitulasi perhitungan RMR pada lereng 5

| Rock Mass Rating Lereng 5 | | |
|---|----------------|---------------------|
| Parameter | Kondisi | Bobot |
| Kekuatan batuan utuh | 29 MPa | 4 |
| RQD | 78,63 % | 17 |
| Spasi diskontinuitas | 0,12 meter | 8 |
| Kondisi diskontinuitas | Lihat Tabel 13 | 21 |
| Kondisi keairan | Lembab | 10 |
| Jumlah Bobot | | 60 |
| Kelas & Pemerian RMR_{basic} | | III (Normal) |

Analisis Slope Mass Rating (SMR)

Lereng 1

Berdasarkan hasil analisis stereografi pada lereng 1, tipe runtuh yang dapat terjadi adalah runtuh guling (*toppling failure*) yang memiliki arah kemiringan lereng (α_s) N 339° E, kemiringan lereng (β_s) 69°, arah kemiringan bidang diskontinuitas (α_j) N 157° E, dan kemiringan diskontinuitas (β_j) 52°, dengan metode penggalian berupa mekanikal.

Lereng 2

Berdasarkan hasil analisis stereografi pada lereng 2, tipe runtuh yang dapat terjadi adalah runtuh baji (*wedge failure*) yang memiliki arah kemiringan lereng (α_s) N 86° E, kemiringan lereng (β_s) 71°, arah kemiringan bidang diskontinuitas (α_j) N 169° E, dan kemiringan diskontinuitas (β_j) 67°, dengan metode penggalian berupa mekanikal.

Tabel 15. Rekapitulasi perhitungan SMR pada lereng 1

| Slope Mass Rating Lereng 1 | | |
|--|---------------------|--------------------|
| Parameter | Kondisi | Bobot |
| F1 = [$\alpha_j - \alpha_s - 180$] | 339 - 157 - 180 = 2 | 1 |
| F2 = 1 | - | 1 |
| F3 = $\beta_j - \beta_s$ | 52 - 69 = 17 | 0 |
| F4 | Mekanikal | 0 |
| RMR_{basic} | = | 65 |
| Jumlah Bobot | | 65 |
| Kelas & Pemerian SMR | | II (Stabil) |

Tabel 16. Rekapitulasi perhitungan SMR pada lereng 2

| Slope Mass Rating Lereng 2 | | |
|--|----------------|------------------------------|
| Parameter | Kondisi | Bobot |
| F1 = [$\alpha_j - \alpha_s$] | 169 - 86 = 83 | 0,15 |
| F2 = [β_j] | 67 | 1 |
| F3 = $\beta_j - \beta_s$ | 67 - 71 = -4 | -50 |
| F4 | Mekanikal | 0 |
| RMR_{basic} | = | 67 |
| Jumlah Bobot | | 59,5 |
| Kelas & Pemerian SMR | | III (Stabil Sebagian) |

Lereng 3

Berdasarkan hasil analisis stereografi pada lereng 3, tipe runtuh yang dapat terjadi adalah runtuh bidang (*planar failure*) yang memiliki arah kemiringan lereng (α_s) N 229° E, kemiringan lereng (β_s) 80°, arah kemiringan bidang diskontinuitas (α_j) N 222° E, dan kemiringan diskontinuitas (β_j) 81°, dengan metode penggalian berupa mekanikal.

Kondisi keairan diperkirakan dengan memberikan gambaran umum mengenai kondisi keairan pada lereng di daerah penelitian. Lereng 4 memiliki kondisi keairan umum kering. Dengan demikian, bobot kondisi keairan adalah 15.

Lereng 4

Berdasarkan hasil analisis stereografi pada lereng 4, tipe runtuh yang dapat terjadi adalah runtuh bidang (*planar failure*) yang memiliki arah kemiringan lereng (α_s) N 275° E, kemiringan lereng (β_s) 75°, arah kemiringan bidang diskontinuitas (α_j) N 273° E, dan kemiringan diskontinuitas (β_j) 74°, dengan metode penggalian berupa mekanikal.

Tabel 17. Rekapitulasi perhitungan SMR pada lereng 3

| <i>Slope Mass Rating Lereng 3</i> | | |
|-----------------------------------|------------------|------------------------------|
| Parameter | Kondisi | Bobot |
| $F1 = [\alpha_j - \alpha_s]$ | $222 - 229 = -7$ | 1 |
| $F2 = [\beta]$ | 81 | 1 |
| $F3 = \beta_j - \beta_s$ | $81 - 80 = 1$ | -6 |
| F4 | Mekanikal | 0 |
| RMR_{basic} | = | 63 |
| Jumlah Bobot | | 57 |
| Kelas & Pemerian SMR | | III (Stabil Sebagian) |

Tabel 18. Rekapitulasi perhitungan SMR pada lereng 4

| <i>Slope Mass Rating Lereng 4</i> | | |
|-----------------------------------|------------------|----------------------------------|
| Parameter | Kondisi | Bobot |
| $F1 = [\alpha_j - \alpha_s]$ | $273 - 275 = -2$ | 1 |
| $F2 = [\beta]$ | 74 | 1 |
| $F3 = \beta_j - \beta_s$ | $74 - 75 = -1$ | -50 |
| F4 | Mekanikal | 0 |
| RMR_{basic} | = | 63 |
| Jumlah Bobot | | 13 |
| Kelas & Pemerian SMR | | III (Sangat Tidak Stabil) |

Lereng 5

Berdasarkan hasil analisis stereografi pada lereng 5, tipe runtuh yang dapat terjadi adalah runtuh guling (*toppling failure*) yang memiliki arah kemiringan lereng (α_s) N 50° E, kemiringan lereng (β_s) 69°, arah kemiringan bidang diskontinuitas (α_j) N 233° E, dan kemiringan diskontinuitas (β_j) 78°, dengan metode penggalian berupa mekanikal.

Hasil pemetaan stabilitas lereng berdasarkan metode SMR dan RMR untuk stabilitas lereng di Daerah Malanu dan sekitarnya dapat dilihat pada lampiran.

Rekomendasi Perkuatan Lereng

Berdasarkan analisis SMR yang telah dilakukan, terdapat satu lereng dalam kondisi stabil, tiga lereng dalam kondisi stabil sebagian, dan satu lereng dalam kondisi sangat tidak stabil. Oleh karena itu, diperlukan upaya perkuatan untuk mencegah runtuh batuan sesuai dengan rekomendasi Romana (1985), yaitu:

Tabel 19. Rekapitulasi perhitungan SMR pada lereng 5

| <i>Slope Mass Rating Lereng 5</i> | | |
|------------------------------------|----------------------|------------------------------|
| Parameter | Kondisi | Bobot |
| $F1 = [\alpha_j - \alpha_s - 180]$ | $233 - 50 - 180 = 2$ | 1 |
| F2 = 1 | - | 1 |
| $F3 = \beta_j - \beta_s$ | $78 - 69 = 9$ | -6 |
| F4 | Mekanikal | 0 |
| RMR_{basic} | = | 60 |
| Jumlah Bobot | | 54 |
| Kelas & Pemerian SMR | | III (Stabil Sebagian) |

Kondisi Lereng Stabil

Berada pada lereng 1 yang memiliki nilai SMR 65. Oleh karena itu, rekomendasi perkuatannya adalah membuat paritan pada kaki lereng atau membuat pagar pada lereng, jalan kawat, dan titik baut batuan (Kelas Iib) (Romana, 1985).

Kondisi Lereng Stabil Sebagian

Berada pada lereng 2 yang memiliki nilai SMR 59,5, lereng 3 yang memiliki nilai SMR 57, dan lereng 5 yang memiliki nilai SMR 54. Oleh karena itu, rekomendasi perkuatannya adalah membuat paritan pada kaki lereng, jala kawat, baut batuan, dan beton semprot (Kelas IIIa) (Romana, 1985).

Kondisi Lereng Sangat Tidak Stabil

Berada pada lereng 4 yang memiliki nilai SMR 13. Oleh karena itu, rekomendasi perkuatannya adalah membangun dinding penahan atau penggalian kembali (Kelas Va) (Romana, 1985)

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan pembahasan di atas, dapat disimpulkan bahwa:

1. Litologi penyusun lereng di daerah penelitian adalah *alkali feldspar granite* (Streckeisen, 1976) yang memiliki struktur masif, tekstur fanerik, dan komposisi mineral berukuran sedang-kasar, yaitu kuarsa (J6) 35%, adularia (H1) 63%, dan biotit (A9) 3%.
2. Terdapat dua kualitas massa batuan pembentuk lereng di daerah penelitian, yaitu kelas massa batuan baik (kelas II) pada lereng 1 dengan nilai RMR 65, lereng 2 dengan nilai RMR 67, lereng

- 3 dengan nilai RMR 63, dan lereng 4 dengan nilai RMR 63, serta kelas massa batuan sedang (kelas III) pada lereng 5 dengan nilai RMR 60.
3. Berdasarkan analisis *Slope Mass Rating*, terdapat tiga tingkat kestabilan lereng di daerah penelitian, yaitu yang pertama stabil (kelas II) pada lereng 1 dengan nilai SMR 65, yang kedua stabil sebagian (kelas III) pada lereng 2 dengan nilai SMR 59,5, lereng 3 dengan nilai SMR 57, dan lereng 5 dengan nilai SMR 60, serta yang ketiga sangat tidak stabil (kelas V) pada lereng 4 dengan nilai SMR 13.
 4. Faktor atau parameter yang sangat berpengaruh terhadap ketidakstabilan lereng di daerah penelitian, khususnya pada lereng 4, adalah tingkat pelapukan pada kualitas massa batuan.
 5. Berdasarkan hasil analisis nilai *Slope Mass Rating* (SMR), rekomendasi perkuatan yang disarankan adalah perkuatan kelas IIb untuk lereng yang berada pada kondisi stabil, perkuatan IIIa untuk lereng yang berada pada kondisi stabil sebagian, dan perkuatan Va untuk lereng yang berada pada kondisi sangat tidak stabil.
- Saran yang dapat diberikan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:
1. Disarankan kepada pemerintah setempat maupun instansi terkait agar segera mengambil tindakan berupa perubahan geometri lereng terhadap lereng yang berada dalam kondisi sangat tidak stabil dan melakukan pemantauan secara berkala pada lereng lainnya.
 2. Untuk penelitian selanjutnya, disarankan untuk menggunakan metode yang berbeda agar dapat menghitung faktor keamanan (FK) pada lereng di daerah penelitian, dikarenakan pada metode kali ini tidak dapat menghitung nilai FK.

DAFTAR PUSTAKA

- Bieniawski, Z.T. (1973) Engineering Classification of Jointed Rock Masses. *Transaction of the South African Institution of Civil Engineers*, 15, 335-344.
- Bieniawski, Z. T. (1989). *Engineering Rock Mass Classifications: A Complete Manual For Engineers And Geologists In Mining, Civil, And Petroleum Engineering*. John Wiley & Sons. 272p.
- Deere, D. U., & Deere, D. W. (1989). Rock Quality Designation (Rqd) After 20 Years Contract Report GL-89-1. U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg.
- Hall, R. (1997). Cenozoic Plate Tectonic Reconstructions Of Se Asia. *Geological Society of London Special Publication*. 106, 153-184
- Hoek, E., & Bray, J. D. (1981). *Rock Slope Engineering*. Crc Press. 368p.
- Hudson, J., Harrison, J., & Popescu, M. (2002). Engineering Rock Mechanics: An Introduction To The Principles. *Applied Mechanics Reviews*. 55(2), B30-B31. DOI:[10.1115/1.1451165](https://doi.org/10.1115/1.1451165)
- Lama, R.D. and Gonano, L.P. (1976). Size effects considerations in the assessment of mechanical properties of rock masses. In: *proceedings of the Second Symposium on Rock Mechanics*, Dhanbad.
- Miller, M. H., & Orr, D. (1966). A Model Of The Demand For Money By Firms. *The Quarterly Journal Of Economics*, 80(3), 413-435.
- Nicholls, J., Carmichael, I. S. E., & Stormer, J. C. (1971). Silica activity and P total in igneous rocks. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 33, 1-20.
- Parman, A.P., Pangarso, A.A.F.P., Kole, M. L. (2018). *Menganalisis Perbandingan Kurva H a z a r d Menggunakan Fungsi Atenuasi*. <https://doi.org/10.31219/osf.io/wnzgp>
- Priest, S. D. (1985). *Hemispherical Projection Methods in Rock Mechanics*. Allen & Unwin: London. 124p
- Priest, S. D., & Hudson, J. A. (1976). Discontinuity Spacings In Rock. *International Journal Of Rock Mechanics And Mining Sciences & Geomechanics Abstracts*, 13(5), 135-148.
- Rai, M. A., Wattimena, R. K., & Kramadibrata, S. (2013). *Mekanika Batuan*. 265p.
- Rusydy, I., Sugiyanto, D., Satrio, L., Zulfahriza, Rahman, A., Munandar, I. (2016) Geological Aspect of Slope Failure and Mitigation Approach in Bireun-Takengon Main Road, Aceh Province, Indonesia. *Aceh International Journal of Science and Technology*, 5(1), 30-37.
- Romana, M. (1985). New Adjustment Ratings For Application Of Bieniawski Classification To Slopes. *Proceedings Of The International Symposium On Role Of Rock Mechanics, Zacatecas, Mexico*, 49- 53.
- Sanyoto Ch. Amri P, B. H., S.Supriatna, W. S., Pieters, (Grdc) Dan, & (Bmr). (1990). *Geologi Lembar Sorong, Irian Jaya*.
- Siswanto, S., & Anggraini, D. (2018). Perbandingan Klasifikasi Massa Batuan Kuantitatif (Q, Rmr Dan Rmi). *Jurnal Geosains Dan Teknologi*, 1(2), 67-73.
- Streckeisen, A. (1976). *Classification Of The Common Igneous Rocks By Means Of Their Chemical Composition. A Provisional Attempt*. Neues Jahrbuch für Mineralogie, Monatshefte, 1, 1-15