INTAN Jurnal Penelitian Tambang
Journal Homepage : www.jurnal-intan.ac.id
e-issn: 2723-2727, p-issn: 2655-3473
OPEN ACCESS

ANALISIS TEROWONGAN ALAMI BAWAH TANAH BERDASARKAN KLASIFIKASI ROCK MASS RATING DI DAERAH TASANGKA, KOTA JAYAPURA

ANALYSIS OF NATURAL UNDERGROUND TUNNEL BASED ON ROCK MASS RATING CLASSIFICATION IN TASANGKA AREA, JAYAPURA CITY

Bodian Davin Panggabean[1*], Anton Yudi Umsini Putra[1]

[1] Program Studi Teknik Pertambangan, Universitas Cenderawasih,
Jalan Kampwolker Kelurahan Yabansai Distrik Heram Jayapura Papua, Indonesia
*Penulis Korespondensi: panggabean65@yahoo.com

ARTICLE INFO

Article history:
Received 11 August 2026
Received in revised from 24 September 2026
Accepted 06 October 2026
Available online November 2026

Keywords:
Class
RMR
Tunnel

ABSTRACT

The construction of underground tunnels serves various purposes. In tunnel design, support capacity must be considered to prevent or minimize collapse caused by deformation of the surrounding rock. Rock deformation occurs due to external forces, both vertical forces from heavy equipment activity and horizontal forces caused by geological influences, such as ground movement, groundwater seepage, and rock conditions that are soft or contain numerous fractures and joints. Unstable rock conditions are frequently encountered in underground mine tunnels because they can threaten worker safety. The main objective of this research is to determine the rock mass class so that an appropriate support system can be designed for underground openings. This research is an initial stage in determining the class and quality of the rock mass as a basis for evaluating support requirements, with a focus on rock mass classification. The method used is the Rock Mass Rating (RMR), which classifies rock mass based on parameters that influence rock properties, including intact rock strength, Rock Quality Designation (RQD), discontinuity spacing, discontinuity condition, and groundwater condition. These parameters are then presented as an assessment index based on weighting, and the result determines the rock mass class. Based on the average calculation for each interval, the RMR value obtained is 73, indicating that the tunnel rock mass is classified as Class II (good). With this classification, the support system can be adjusted to the rock mass conditions so that the risk of collapse can be minimized and worker safety is better ensured.

Kata kunci:
Kelas
RMR
Terowongan

ABSTRAK

Pembangunan terowongan di bawah permukaan tanah digunakan untuk berbagai kepentingan. Dalam mendesain terowongan, kekuatan penyangga perlu diperhitungkan agar ambrukan akibat deformasi batuan di sekitar terowongan dapat

A B S T R A K

dihindari atau diminimalkan. Deformasi batuan terjadi akibat gaya dari luar, baik gaya vertikal dari aktivitas alat berat maupun gaya horizontal akibat pengaruh geologi, seperti gerakan tanah, rembesan air tanah, serta kondisi batuan yang lunak atau banyak mengandung rekahan dan kekar. Kondisi batuan yang tidak stabil menjadi permasalahan yang sering dihadapi pada terowongan tambang bawah tanah karena dapat mengancam keselamatan pekerja. Tujuan utama penelitian ini adalah mengetahui kelas massa batuan sehingga dapat dirancang sistem penyanggaan yang tepat pada lubang bukaan bawah tanah. Penelitian ini merupakan tahap awal dalam menentukan kelas dan kualitas massa batuan sebagai dasar evaluasi kebutuhan penyanggaan, dengan penekanan pada klasifikasi massa batuan. Metode yang digunakan adalah Rock Mass Rating (RMR), yaitu mengklasifikasikan massa batuan berdasarkan parameter yang memengaruhi sifat batuan, meliputi kekuatan batuan utuh, Rock Quality Designation (RQD), jarak bidang diskontinuitas, kondisi bidang diskontinuitas, dan kondisi air tanah. Parameter tersebut dipresentasikan ke dalam indeks penilaian berdasarkan pembobotan. Hasil pembobotan nilai RMR menentukan kelas massa batuan. Berdasarkan perhitungan rata-rata setiap interval, nilai RMR yang diperoleh adalah 73, yang menunjukkan bahwa massa batuan terowongan termasuk kelas II (baik). Dengan klasifikasi tersebut, sistem penyanggaan dapat disesuaikan dengan kondisi massa batuan sehingga risiko ambrukan dapat diminimalkan dan keselamatan pekerja lebih terjamin.

How to cite this article: Panggabean, Bodian D., dkk. (2026). Analisa Terowongan Alami Bawah Tanah Berdasarkan Klasifikasi Rock Mass Rating di Daerah Tasangka, Kota Jayapura. *INTAN*: *Jurnal Penelitian Tambang*, 9(2), 59–68. https://doi.org/10.56139/intan.v9i2.460

PENDAHULUAN

Terowongan adalah bentuk penggalian bawah tanah yang dirancang untuk tujuan transportasi. Ada dua aspek penting yang perlu dipahami tentang istilah ini, pertama adalah transportasi umum di masyarakat modern, dan kedua adalah transportasi dalam operasi penambangan bawah tanah. Terowongan menyediakan akses untuk memenuhi kebutuhan transportasi, seperti penggalian terowongan di daerah yang sulit dijangkau, seperti melalui pegunungan, perbukitan, sungai, dan laut. Namun, hal ini memakan waktu dan relatif mahal. Dalam penambangan bawah tanah, terowongan mengangkut material hasil penggalian, termasuk mineral dan batubara, dari lokasi penambangan ke area pengolahan atau penyimpanan sementara, atau langsung ke terowongan, yang biasa disebut sebagai poros depan **[1]**. Dari uraian di atas, jelas bahwa tujuan terowongan adalah untuk menyediakan transportasi langsung, efisiensi, dan kesinambungan operasional baik untuk masyarakat modern maupun penambangan bawah tanah. Tantangan yang dihadapi dalam terowongan penambangan bawah tanah adalah kondisi batuan, yang terkadang menimbulkan ancaman terhadap keselamatan pekerja tambang. Oleh karena itu, ketika merancang terowongan penambangan bawah tanah, sangat penting untuk mempertimbangkan kekuatan terowongan untuk mencegah runtuhnya atap atau dinding. Kekuatan terowongan sangat ditingkatkan oleh sistem penguatan yang diterapkan melalui metode penyangga, baik menggunakan kayu, baja, baut batuan, atau kombinasi baut dan *grouting* (penyemenan). *Rock Mass Rating* (RMR) digunakan sebagai dasar awal evaluasi, bukan desain final penyanggaan.

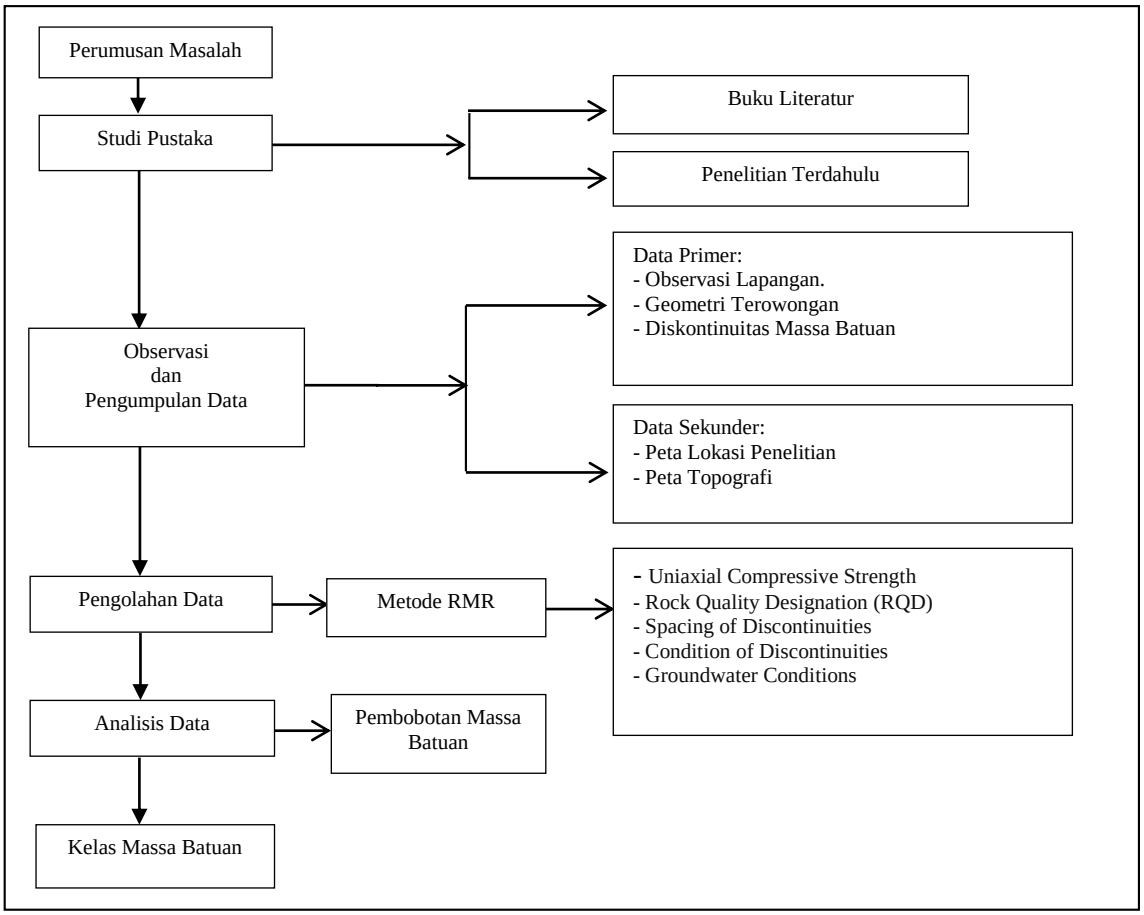
Untuk mendesain sistem penyangga yang tepat, parameter massa batuan harus terlebih dahulu diukur dan dihitung menggunakan metode RMR. Parameter yang dianalisis dalam metode RMR adalah Kekuatan Tekan Uniaksial, *Rock Quality Designation* (RQD), Jarak Diskontinuitas, Kondisi Diskontinuitas, dan kondisi air tanah **[2]**. Kekuatan batuan utuh umumnya dinyatakan dengan UCS (Uniaxial Compressive Strength), yang didapatkan dari uji kuat tekan uniaksial. RQD merupakan ukuran kasar mengenai derajat keretakan pada massa batuan. Perhitungan nilai RQD memiliki dua metode yang digunakan yaitu metode langsung dan metode tidak langsung. Perhitungan dengan metode tidak langsung dilakukan apabila tersedia data bor atau *core log*. Perhitungan ini dilakukan dengan menghitung data kekar yang memiliki jarak kekar lebih dari 10 cm **[3]**. Metode langsung digunakan apabila *core log* tidak tersedia

dengan menggunakan RQD (%) = 110–2,5 Jv, di mana Jv merupakan jumlah diskontinuitas (kekar) dalam m^3 (1 m tinggi, 1 m lebar, dan 1 m panjang). Bidang diskontinuitas adalah semua jenis bidang-bidang lemah yang mungkin berupa kekar, sesar, bidang perlapisan dan perlipatan atau bidang-bidang lainya yang tidak menerus dalam massa batuan. Pengamatan kondisi diskontinuitas dilakukan dengan mengukur dan menghitung beberapa sub parameter yang ada di dalamnya. Sub parameter tersebut yakni panjang bidang diskontinuitas (persistence), bukaan bidang diskontinuitas (aperture), kekasaran dari permukaan bidang diskontinuitas (roughness), jenis material pengisi bidang diskontinuitas (infilling), dan kondisi pelapukan yang ada pada setiap bidang diskontinuitas (weathered). Kondisi air tanah dapat dinyatakan secara umum yaitu kering (dry), lembab (damp), basah (wet), menetes (dripping), dan mengalir (flowing).

Terowongan Tasangka, yang terletak di distrik Jayapura Selatan, Kota Jayapura, merupakan terowongan yang terbentuk secara alami akibat aktivitas geologi lokal dan pelapukan yang disebabkan oleh udara **[4]**. Terowongan ini dekat dengan pemukiman penduduk yang diwaspadai dapat mengalami keruntuhan. Berdasarkan kondisi geologi tersebut, perlu dilakukan analisis terowongan menggunakan klasifikasi RMR untuk menentukan kualitas dan kelas massa batuan terowongan.

METODE PENELITIAN

Dalam penelitian ini menggunakan jenis penelitian kuantitatif dan kualitatif berupa angka hasil pengukuran langsung di lapangan dengan penekanannya hanya pada klasifikasi massa batuan, kemudian dianalisis menggunakan metode RMR berdasarkan parameter yang dapat mempengaruhi sifat batuan. Lokasi terowongan berada di daerah Tasangka, delapan interval *scanline*, dan 38 titik pengukuran. Peralatan yang di gunakan antara lain kompas geologi, pita ukur, dan *schmidt hammer* dengan acuan Standar Nasional Indonesia (SNI). Bagan alir penelitian dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

Penelitian dilakukan dalam beberapa tahapan, yaitu:

1. Tahap Persiapan

A. Perumusan Masalah

Pada tahap ini merupakan tahap awal semua tim peneliti melakukan pengkajian terhadap permasalahan yang timbul berdasarkan studi awal keadaan sebenarnya di daerah penelitian, studi literatur, pengamatan peta maupun penelitian terdahulu.

B. Studi Pustaka

Meliputi kajian pustaka dari beberapa literatur, semua tim peneliti melakukan pengumpulan dan studi peta yang berhubungan dengan penelitian.

C. Pengumpulan Data

Proses pengumpulan data melibatkan semua tim peneliti, di mana penentuan lokasi dilakukan berdasarkan formasi terowongan alamiah yang berada di daerah Tasangkapura Jayapura Selatan. Metode pengambilan data dilakukan dengan mengukur geometri terowongan antara lain berupa panjang terowongan (scanline), lebar terowongan, dan tinggi terowongan, kemudian dilanjutkan dengan melakukan pengamatan dan pengukuran pada beberapa parameter diskontinuitas massa batuan. Panjang *scanline* diukur dari depan terowongan sampai batas akhir belakang terowongan adalah 8,74 m, jumlah interval 8, jumlah titik ukur 38, dan parameter yang diamati adalah nilai pantulan batuan dan kekar.

Pengumpulan data terdiri atas:

A. Pengumpulan data sekunder, antara lain:
   a. Peta lokasi penelitian (Gambar 2).
   b. Peta topografi (Gambar 2).

B. Pengumpulan data primer, antara lain:
   a. Observasi lapangan.
   b. Geometri terowongan (Gambar 3).
   c. Diskontinuitas massa batuan (Gambar 4).



Gambar 2. Peta Topografi dan lokasi penelitian



(a) (b) (c)

Gambar 3. Pengukuran geometri terowongan

Gambar 3 menunjukkan proses pengambilan data geometri terowongan, mulai dari pengukuran panjang *scanline* (gambar 3a), pengukuran tinggi dan lebar terowongan (gambar 3b), serta pengukuran panjang diskontinuitas (gambar 3c).



(a) (b)

Gambar 4. Pengukuran diskontinuitas massa batuan

Gambar 4 menunjukkan proses pengukuran diskontinuitas massa batuan. Gambar 4a menunjukkan proses pengukuran *strike* dan *dip* bidang kontinuitas, sedangkan pada gambar 4b menunjukkan proses pengukuran kekuatan massa batuan dengan cara penembakan untuk memperoleh nilai pantul (rebound).

2. Tahap Analisis Data

Tahap analisis data ini dilakukan oleh team ketua peneliti, dimana data-data hasil pengukuran dan pengamatan terlebih dahulu melalui proses pengolahan data secara empiris berdasarkan perhitungan parameter-parameter RMR (Rock Mass Rating) dengan menggunakan tabel standar pembobotan massa batuan **[5]**. Urutannya adalah menghitung R1, R2, R3, R4, R5, menghitung rata-rata tiap parameter, kemudian di jumlahkan menjadi RMR_b (mean).

3. Tahap Akhir

Hasil akhir dari analisis ini adalah mengetahui kelas massa batuan berdasarkan standar pembobotan massa batuan. Hasil kelas massa batuan ini dapat menjadi data untuk merancang teknik penyanggaan yang dipergunakan pada terowongan tersebut **[6]**.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Deskripsi Massa Batuan

Scanline dilakukan pada terowongan alami dengan litologi Batugamping. Batuan memiliki warna cokelat terang dengan kondisi agak lapuk **[6]**. Tubuh terowongan memiliki banyak diskontinuitas seperti kekar hingga sesar. Pengambilan data dilakukan sebayak 38 titik ukur yang dibagi dalam delapan segmen berdasarkan panjang *scanline*. Hasil pengukuran data-data di lapangan tertera pada Tabel 1.

Data hasil pengukuran diskontinuitas di lapangan:

1. Geometri Terowongan
   a. Panjang Terowongan : 8,74 m
   b. Lebar Terowongan : 3,9 m
   c. Tinggi Terowongan : 2,5 m
2. Data Kontinuitas di Lapangan

Pengamatan kondisi diskontinuitas dilakukan dengan mengamati kekasaran dari permukaan bidang diskontinuitas (roughness), jenis material pengisi bidang diskontinuitas (infilling), dan kondisi pelapukan yang ada pada setiap bidang diskontinuitas (weathered).

Tabel 1. Data pengukuran di lapangan

Interval	Kekar	Jarak Kekar(cm)	Panjang Kekar (cm)	Strike ($N.^0$ E)	Dip (^{0})	Kekasaran Kekar	Material Pengisi	Kelapukan
0 - 1	1	3	30	253	1	Sedikit kasar	Tidak ada	Sedikit lapuk
	2	5	16	249	2	Halus	Tidak ada	Sedikit lapuk
	3	4	20	265	23	Halus	Tidak ada	Sedikit lapuk
	4	2,4	31	271	2	Sedikit kasar	Tidak ada	Sedikit lapuk
	5	25	76	245	7	Kasar	Tidak ada	Sedikit lapuk
	6	10	53	261	3	Kasar	Tidak ada	Sedikit lapuk
1-2	1	2,5	2	260	18	Sedikit kasar	Tidak ada	Sedikit lapuk
	2	5	27	255	19	Sedikit kasar	Tidak ada	Sedikit lapuk
	3	28	14	245	21	Halus	Tidak ada	Sedikit lapuk
	4	5	72	65	29	Sangat kasar (pecah)	Tidak ada	Sedikit lapuk
2-3	1	8	6	57	72	Halus	Tidak ada	Sedikit lapuk
	2	5	17	60	2	Sedikit kasar	Tidak ada	Sedikit lapuk
	3	25	68	165	9	Sangat kasar	Tidak ada	Sedikit lapuk
	4	40	95	95	19	Halus	Tidak ada	Sedikit lapuk
	5	15	55	157	15	Halus	Tidak ada	Sedikit lapuk
3-4	1	46	50	282	13	Sedikit kasar	Tidak ada	Sedikit lapuk
	2	18	28	125	13	Halus	Tidak ada	Sedikit lapuk
	3	20	20	115	17	Halus	Tidak ada	Sedikit lapuk
	4	13	30	314	10	Halus	Tidak ada	Sedikit lapuk
4 - 5	1	10	35	260	1	Halus	Tidak ada	Sedikit lapuk
	2	10	33	198	4	Halus	Tidak ada	Sedikit lapuk
	3	16	35	283	8	Halus	Tidak ada	Sedikit lapuk
	4	3	27	352	3	Halus	Tidak ada	Sedikit lapuk
5-6	1	5	54	93	9	Halus	Tidak ada	Sedikit lapuk
	2	4	50	97	5	Sedikit kasar	Tidak ada	Sedikit lapuk
	3	21	42	120	14	Sedikit kasar	Tidak ada	Sedikit lapuk
	4	42	38	295	2	Halus	Tidak ada	Sedikit lapuk
	5	7	30	295	1	Sedikit kasar	Tidak ada	Sedikit lapuk
6-7	1	10	30	292	13	Sedikit kasar	Tidak ada	Sedikit lapuk
	2	37	14	285	11	Sedikit kasar	Tidak ada	Sedikit lapuk

Interval	Kekar	Jarak Kekar(cm)	Panjang Kekar (cm)	Strike (N.^{0} E)	Dip (^{0})	Kekasaran Kekar	Material Pengisi	Kelapukan
	3	20	27	295	20	Sangat kasar	Tidak ada	Sedikit lapuk
	4	9	24	294	11	Sedikit kasar	Tidak ada	Sedikit lapuk
7-8	1	16	65	285	17	Kasar	Tidak ada	Sedikit lapuk
	2	17	37	291	6	Sedikit kasar	Tidak ada	Sedikit lapuk
	3	25	50	288	3	Sedikit kasar	Tidak ada	Sedikit lapuk
	4	21	37	280	10	Sedikit kasar	Tidak ada	Sedikit lapuk
	5	10	25	278	7	Sedikit kasar	Tidak ada	Sedikit lapuk
	6	10	30	275	1	Kasar	Tidak ada	Sedikit lapuk

Pembobotan Nilai RMR

Pembobotan nilai RMR akan dilakukan berdasarkan data pada tabel 2, yaitu parameter klasifikasi metode RMR **[7].** Dengan membagi hasil pengukuran menjadi 8 interval (0-1 m ; 1-2 m ; 2-3 m ; 3-4 m ; 4-5 m ; 5-6 m ; 7-8 m). Nilai setiap parameter RMR akan dihitung pada setiap interval, kemudian hasil setiap interval akan dilakukan perhitungan Nilai rata-rata (mean) yang akan menjadi perhitungan akhir untuk menentukan nilai RMR dari *scanline* ini **[8]**:

$$RMR_{(b)\,(mean)} = R_{1(mean)} + R_{2(mean)} + R_{3(mean)} + R_{4(mean)} + R_{5(mean)}.$$

Tabel 2. Parameter kelasifikasi metode RMR

Parameter		Pembobotan					
Kekuatan Massa Batuan	Point-load Strength Index	> 10 Mpa	4-10 Mpa	2 - 4 Mpa	1 - 2 Mpa		
	Uniaxial Compressive Strength	> 250 Mpa	100-250 Mpa	50-100 Mpa	25-50 Mpa	5-25 Mpa	1-5 Mpa
Bobot		15	12	7	4	2	1
RQD		90-100 %	75-90 %	50-75 %	25-50 %	<25 %	
Bobot		20	17	13	8	3	
Jarak Discontinuitas		> 2 m	0,6-2 m	200-600 mm	60-200 mm	< 60 mm	
Bobot		20	15	10	8	5	
Kondisi Discontinuitas Kemenerusan Kekar		< 1 m	1-3 m	3-10 m	10-20 m	> 20 m	
Bobot		6	4	2	1	0	
Bukaan Kekar		Tidak ada	<0,1 mm	0,1-1,0 mm	1-5 mm	> 5 mm	
Bobot		6	5	4	1	0	
Kekasaran Kekar		Sangat kasar	Kasar	Sedikit kasar	Halus	Slickensided	
Bobot		6	5	3	1	0	
Material Pengisi		Tidak ada	Keras<5 mm	Keras>5 mm	Lunak <5 mm	Lunak >5 mm	
Bobot		6	4	2	2	0	
Pelapukan		Tidak lapuk	Sedikit lapuk	Lapuk	Sangat lapuk	Hancur	
Bobot		6	5	3	1	0	
Kondisi air tanah		Kering	Lembab	Basah	Menetes	Mengalir	
Bobot		15	10	7	4	0	

***Uniaxial Compressive Strength* (UCS) $R_{1(mean)}$**

Kekuatan massa batuan merupakan parameter penting dalam metode RMR. Jalur pemindaian terowongan dibagi menjadi delapan segmen dengan panjang masing-masing segmen 1 m. Pengukuran nilai pantulan menggunakan *schmidt hammer* dilakukan pada tiga titik, yaitu atap, dinding kiri, dan dinding kanan, masing-masing dengan 20 tembakan, kemudian dari ketiga titik pengukuran ini didapatkan nilai rata-rata seperti pada tabel 3 **[9]**.

Tabel 3. Hasil rata-rata pengukuran Schmidt Hammer

Ke -	Schmidt Hammer
1	39
2	35
3	40
4	42
5	44
6	40
7	43
8	45
9	38
10	40
11	39
12	39
13	40
14	40
15	40
16	38
17	38
18	36
19	40
20	39
Rata-rata	39,75

Proses pengukuran menggunakan *schmidt hammer* atau *hammer test* adalah metode uji tanpa merusak (*non-destructive test*) untuk mengetahui tingkat kekerasan permukaan dan memperkirakan mutu kuat tekan beton atau batuan.

Berikut adalah tahapan lengkap proses pengukurannya:

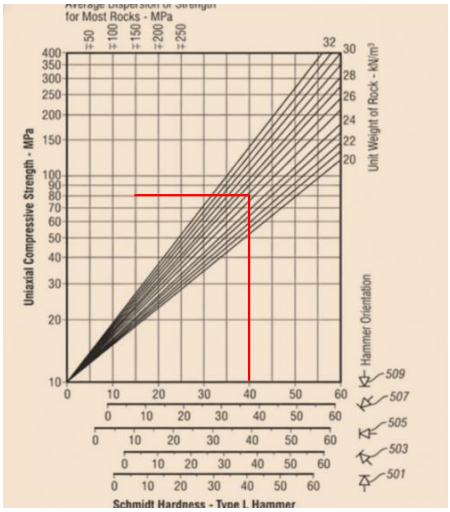
1. Persiapan Alat dan Area Uji
   a. Kalibrasi Alat: Pastikan *schmidt hammer* berfungsi normal dan dikalibrasi menggunakan

landasan uji baja (*anvil*) khusus untuk mendapatkan faktor koreksi.

b. Persiapan Permukaan: Bersihkan permukaan beton dari cat, kotoran, plesteran, atau acian. Permukaan harus rata, halus, dan kering. Jika ada bagian yang kasar atau berlubang, ratakan menggunakan batu amplas atau gerinda.
c. Penentuan Titik Tembak: Buat pola titik uji menggunakan spidol dengan jarak antar titik minimal 25 mm. Hindari area dekat tulangan besi yang memiliki selimut beton kurang dari 20 mm.

2. Pelaksanaan Pengujian (Tembakan)

a. Posisi Tegak Lurus: Pegang alat dan posisikan bagian penekan (plunger) tegak lurus (sudut 90°) terhadap permukaan beton yang akan diuji.
b. Tekan Perlahan: Dorong alat secara perlahan hingga pegas internalnya memukul permukaan beton.
c. Catat Nilai Pantul **(***Rebound***):** Kunci posisi alat atau baca angka pantulan pada skala ukur (atau layar digital) yang menunjukkan nilai pantul (*rebound number*). Lakukan beberapa kali tembakan (misalnya 10 hingga 20 titik) pada satu area pengujian untuk mendapatkan hasil yang *representative.* Proses pengukuran menggunakan *Schmidt Hammer* (*rebound hammer*) dilakukan sebanyak 10 hingga 20 kali tembakan pada satu area uji untuk menjamin akurasi, konsistensi data, dan meminimalkan bias akibat ketidakseragaman material (heterogenitas beton). Nilai UCS diperoleh berdasarkan grafik hubungan antara nilai pengukuran palu *Schmidt* dan berat satuan batugamping (Gambar 5).



Gambar 5. Grafik hubungan antara nilai pengukuran palu *Schmidt* dan berat satuan Batugamping

Nilai pengukuran *schmidt hammer* akan dicari hubungannya dengan berat isi batugamping (26 kN/m^3) untuk mendapatkan nilai UCS. Berdasarkan pengeplotan hubungan antara nilai *schmidt hammer* dengan berat isi Batugamping didapatkan nilai UCS sebesar 80 MPa. Nilai UCS pada setiap interval diperoleh nilai pembobotannya, kemudian diambil nilai rata-rata dari keseluruhan interval seperti yang tertera pada tabel 4. Nilai UCS ini mewakili semua interval dan memiliki bobot: $R_{1(mean)} = 7$.

Tabel 4. Hasil nilai UCS dan bobot untuk setiap interval Scanline

Interval	UCS (MPa)	Pembobotan
0-1	80	7
1-2	80	7
2-3	80	7
3-4	80	7
4-5	80	7
5-6	80	7
6-7	80	7
7-8	80	7
Nilai Rata-rata		7

***Rock Quality Designation* (RQD) $R_{2(mean)}$**

Nilai RQD setiap interval didapatkan dengan rumus: RQD (%) = 110-2,5 Jv. Dimana Jv merupakan jumlah diskontinuitas (kekar) setiap m^3 (setiap interval dengan panjang 1 m, lebar 1 m, dan tinggi 1 m). Hasil nilai RQD setiap interval tertera pada tabel 5, kemudian diambil nilai rata-rata keseluruhan.

Tabel 5. Hasil nilai RQD dan bobot untuk setiap interval Scanline

Interval	Jv	RQD (%)	Pembobotan
0-1	6	95	20
1-2	4	100	20
2-3	5	97,5	20
3-4	4	100	20
4-5	4	100	20
5-6	5	97,5	20
6-7	4	100	20
7-8	6	95	20
Nilai Rata-rata			20

Berdasarkan nilai RQD untuk setiap interval didapatkan bobot: $R_{2(mean)} = 20$.

Jarak Kekar (Spacing of Discontinuities) $R_{3(mean)}$

Nilai *spacing of discontinuities*/jarak kekar merupakan jarak rata-rata setiap *diskontinuitas* (kekar) **[10].** Hasil nilai pembobotan jarak kekar setiap interval tertera pada tabel 6.

Tabel 6. Hasil nilai spacing of discontinuities dan bobot untuk setiap interval Scanline

Interval	Spacing (cm)	Pembobotan
0-1	8	8
1-2	10	8
2-3	19	8
3-4	24	8
4-5	10	8
5-6	16	8
6-7	19	8
7-8	18	8
Nilai Rata-rata		8

Berdasarkan nilai *spacing of discontinuities*/jarak kekar untuk setiap interval didapatkan bobot: $R_{3(mean)} = 8$.

Kondisi Kekar (Condition of Discontinuities) $R_{4(mean)}$

Nilai *condition of discontinuities*/kondisi kekar merupakan penjumlahan nilai berdasarkan lima parameter, yaitu *persistance* (panjang diskontinuitas/kekar), *aperture* (jarak antar permukaan diskontinuitas), *roughness* (kekasaran diskontinuitas), *infilling* (material pengisi) dan *weathering* (kelapukan) seperti yang tertera pada tabel 7. Berdasarkan nilai *condition of discontinuities*/kondisi kekar untuk setiap interval didapatkan bobot: R4 (*mean*) = 23.

Tabel 7. Hasil nilai condition of discontinuities dan bobot untuk setiap interval Scanline

Kondisi Kekar											
Interval	Persistance (panjang kekar)	Pembobotan	Aperture (Jarak antar permukaan kekar)	Pembobotan	Roughness (kekasaran kekar)	Pembobotan	Infilling (material pengisi)	Pembobotan	Weathering (kelapukan)	Pembobotan	Total Pembobotan
0-1	<1 m	6	0,1-1 mm	4	Sedikit kasar	3	Tidak ada	6	Sedikit lapuk	5	24
1-2	<1 m	6	0,1-1 mm	4	Sedikit kasar	3	Tidak ada	6	Sedikit lapuk	5	24
2-3	<1 m	6	0,1-1 mm	4	Halus	1	Tidak ada	6	Sedikit lapuk	5	22
3-4	<1 m	6	0,1-1 mm	4	Halus	1	Tidak ada	6	Sedikit lapuk	5	22
4-5	<1 m	6	0,1-1 mm	4	Halus	1	Tidak ada	6	Sedikit lapuk	5	22
5-6	<1 m	6	0,1-1 mm	4	Sedikit kasar	3	Tidak ada	6	Sedikit lapuk	5	24
6-7	<1 m	6	0,1-1 mm	4	Sedikit kasar	3	Tidak ada	6	Sedikit lapuk	5	24
7-8	<1 m	6	0,1-1 mm	4	Sedikit kasar	3	Tidak ada	6	Sedikit lapuk	5	24
Nilai Rata-rata		6		4		2		6		5	23

Kondisi Air Tanah (Groundwater Condition) $R_{5(mean)}$

Nilai *groundwater condition*/kondisi air tanah merupakan penilaian kualitatif dari kondisi pengaruh air pada setiap diskontinuitas (kekar). Pembobotan nilai kondisi air tanah ini juga menggunakan parameter kelasifikasi metode RMR, di mana setiap interval *Scanline* harus diperiksa kondisi kandungan air apakah kondisi kering, basah, lembab, menetes, atau mengalir. Berikut adalah cara memeriksa dan mengategorikan lima kondisi kandungan air di dalam terowongan:

1. Kering (Dry)

a. Cara Memeriksa: Lap permukaan dinding terowongan menggunakan kain kering atau kertas tisu.

b. Indikator visual: Permukaan beton atau batuan terlihat berdebu, tidak ada perubahan warna menjadi lebih gelap, dan tidak ada air yang menempel pada kain pembersih.

2. Lembab (Damp / Moist)

a. Cara Memeriksa: Sentuh dinding terowongan dengan tangan telanjang atau tempelkan kertas isap.

b. Indikator visual: Permukaan batuan atau beton terlihat lebih gelap karena menyerap air, terasa dingin saat disentuh, namun tidak ada butiran air yang jatuh atau mengumpul di permukaan. Kertas isap akan menjadi lembab tetapi tidak sampai hancur atau meneteskan air.

3. Basah (Wet)

a. Cara Memeriksa: Amati permukaan dinding secara saksama dalam durasi 1–2 menit.

b. Indikator visual: Air terlihat jelas berkumpul di permukaan batuan membentuk lapisan tipis (film air). Dinding tampak berkilau memantulkan cahaya lampu senter, tetapi air tersebut masih diam dan belum mulai jatuh ke lantai.

4. Menetes (Dripping)

a. Cara Memeriksa: Gunakan wadah ukur (gelas ukur) dan *stopwatch* di bawah titik jatuhnya air untuk menghitung debitnya, atau hitung jumlah tetesan per menit.

b. Indikator visual: Air sudah tidak mampu ditahan oleh gaya kapiler dinding sehingga membentuk butiran dan jatuh secara berkala ke lantai terowongan. Biasanya terjadi pada area retakan (artikulasi) atau sambungan beton (construction joint).

5. Mengalir (Flowing/Gushing)

a. Cara Memeriksa: Lakukan pengukuran debit menggunakan metode *bucket terukur* (menghitung berapa detik untuk memenuhi wadah 1 liter) atau menggunakan alat *flume* portabel jika alirannya di lantai terowongan.

b. Indikator visual: Air keluar dari celah batuan atau retakan beton membentuk aliran kontinu (seperti pancuran atau sungai kecil). Kondisi ini sangat kritis karena berpotensi membawa material tanah/batuan yang memicu erosi internal (piping).

Hasil pengamatan langsung di lapangan pada setiap interval adalah pada kondisi kering seperti yang tertera pada tabel 8.

Tabel 8. Hasil nilai groundwater condition dan bobot untuk setiap interval Scanline

Interval	Air tanah	Pembobotan
0-1	Kering	15
1-2	Kering	15
2-3	Kering	15
3-4	Kering	15

Interval	Air tanah	Pembobotan
4-5	Kering	15
5-6	Kering	15
6-7	Kering	15
7-8	Kering	15
Nilai Rata-rata		15

Berdasarkan nilai groundwater condition untuk setiap interval didapatkan bobot: $R_{5(mean)} = 15$.

Nilai *Rock Mass Rating* ($RMR_{b(mean)}$)

Berdasarkan perhitungan bobot untuk setiap parameter interval, didapatkan:

$R_{1(mean)} = 7$
$R_{2(mean)} = 20$
$R_{3(mean)} = 8$
$R_{4(mean)} = 23$
$R_{5(mean)} = 15$

Berdasarkan data tersebut, dilakukan perhitungan sebagai berikut:

$$RMR_{b(mean)} = R_{1(mean)} + R_{2(mean)} + R_{3(mean)} + R_{4(mean)} + R_{5(mean)}$$

$$RMR_{b(mean)} = 7 + 20 + 8 + 23 + 15$$
$$RMR_{b(mean)} = 73.$$

Klasifikasi Massa Batuan

Nilai pembobotan dari keseluruhan penjumlahan parameter RMR akan menentukan kelasifikasi massa batuan dengan menggunakan tabel 9.

Tabel 9. Nilai pembobotan dan klasifikasi massa batuan (Bieniawski, 1989)

Bobot	**100 – 81**	**80 – 61**	**60 – 41**	**40 – 21**	**< 21**
Kelas	I	II	III	IV	V
Deskripsi	Batuan Sangat Baik	Baik	Batuan sedang	Batuan lemah	Batuan sangat lemah

Berdasarkan perhitungan RMR **[7]**, didapatkan nilai $\mathbf{RMR_{b(mean)}}$ = 73 yang berarti terowongan tersebut memiliki kelasifikasi Kelas II yaitu *good* atau baik karena berada di antara nilai bobot 61–80 pada klasifikasi massa batuan **[11]**.

Tabel 10. Interpretasi kelas massa batuan (Bieniawski, 1989)

No. Kelas	**I**	**II**	**III**	**IV**	**V**
Stand up time rata-rata & span	20 th, 15 m	1 th, 10 m	1 minggu, 5 m	10 jam, 2.5 m	30 menit, 1 m spa
Kohesi massa batuan (Kpa)	> 400	300-400	200-300	100-200	< 100
Sudut geser dalam massa batuan	$> 45^0$	$35^0 - 45^0$	$25^0 - 35^0$	$15^0 - 25^0$	$< 15^0$

Hasil klasifikasi massa batuan ini memiliki keterbatasan perbandingan dengan penelitian terdahulu tentang RMR kelas II, karena belum pernah dilakukan penelitian di Terowongan alami pada daerah Tasangka ini, oleh karena itu nilai RMR ini merupakan nilai evaluasi awal keadaan batuan di sekitar terowongan.

Peneliti belum mengevaluasi orientasi diskontinuitas, tegangan in-situ, analisis blok batuan, atau desain penyanggaan rinci.

KESIMPULAN

Berdasarkan perhitungan pembobotan dari nilai RMR setiap interval, didapatkan hasil sebagai berikut:

1. Nilai RMR = 73.
2. Kelasifikasi massa batuan terowongan adalah tipe Kelas II (Baik).
3. Perkiraan rata-rata *stand up time* berdasarkan tabel 10 berkisar satu tahun.
4. Kondisi umum massa batuan di sepanjang terowongan memiliki satu set kekar dominan dengan kerapatan sedang (0,1–1 mm). Permukaan kekar umumnya halus hingga sedikit kasar, mengalami pelapukan ringan, serta isian material tidak ada.

PERNYATAAN KONTRIBUSI

Penyusunan manuskrip ini melibatkan kontribusi dari masing-masing penulis. Penulis 1 melakukan koordinasi penelitian, perancangan konsep, validasi data, penyusunan manuskrip, pengolahan data, dan analisis data. Penulis 2 melakukan pengawasan menyeluruh, memberikan kritik substansial, serta melakukan *review* dan editing akhir pada manuskrip. Setiap penulis membaca dan menyetujui manuskrip akhir.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terimakasih kepada Bapak Dr. Ir. Enos Karapa, ST., MT, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Cenderawasih, yang telah membantu dalam pengadaan dana penelitian. Staf laboratorium dan staf administrasi Laboratorium Teknik Pertambangan Universitas Cendrawasih yang telah membantu dalam pemakaian alat, serta analisa uji sampel.

DAFTAR REFERENSI

[1] Desmawita I. (2018). Analisis Kestabilan Lubang Bukaan Berdasarkan Kelasifikasi Geomekanika pada Tambang Bawah Tanah CV.

Tahiti Coal, Kota Sawahlunto, Sumatera Barat. Tugas Akhir.
[2] Permatasari S. (2024). Evaluasi Geologi Teknik dan Kestabilan Lereng Portal pada Perencanaan Terowongan Pengelak Bendungan Rangkong Sulawesi Selatan. Tesis.
[3] Deere DU. (1989). Rock Quality Designation (RQD) After Twenty Years. U.S. Army Corps of Engineers Contract Report GL-89-1 Waterways Experiment Station. Vicksburg: USA.
[4] Hall R. (1996). Reconstructing Cenozoic SE Asia.
[5] Singh, Bhawani, Goel. (2011). Engineering Rock Mass Classification.
[6] Nurjannah DA, Anindita NA, Harninto DS, et al. (2025). Slope protection using geosynthetic materials - a case study on the graveyard complex of mataram royal king. E3S Web of Conferences. EDP Sciences.
[7] Padendenan H, Mayzarah EM, Wiratama R, et al. (2025). Analisis Stabilitas Lereng Menggunakan Metode RMR dan SMR di Daerah Malanu, Distrik Sorong Utara, Kota Sorong, Provinsi Papua Barat Daya. Jurnal Geologi dan Sumberdaya Mineral. Vol 26(1). Pp 39–54.
[8] Sabila D, Harnani H, Qistan MH, et al. (2025). Rock Mass Classification Using RMR and GSI for Slope Stability at PT Bukit Asam, Tanjung Enim. Jambura Geoscience Review. Vol 7(2). Pp 147–154.
[9] Amarullah Amarullah, Albertus Juvensius Pontus, Shalaho Dina Devy, et al. (2025). Studi Hubungan Nilai Uniaxial Compressive Strength dan Nilai Schmidt Hammer Batulempung pada Formasi Balikpapan dan Kampungbaru Daerah Kutai Kartanegara, Provinsi Kalimantan Timur. Globe: Publikasi Ilmu Teknik, Teknologi Kebumian, Ilmu Perkapalan. Vol 3(3). Pp 88–102.
[10] Priest SD, Hudson JA. (1976). Discontinuity Spacings in Rock*. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr. Pergamon Press.
[11] Siswanto S, Anggraini D. (2018). Perbandingan Kelasifikasi Massa Batuan Kuantitatif: Q, RMR, dan RMi. Doi: 10.14710/jgt.1.2.2018.67-73.