

KLASIFIKASI MASSA BATUAN PADA TEROWONGAN PENGELAK BENDUNGAN JRAGUNG DENGAN METODE *RMR* DAN *Q-SYSTEM*

Angga Setiawan Pamungkas¹, Eka Bogi Anisa², Kusrin³, Hendra Masvika^{4*}, Andie Julian Arfa⁵

^{1,2,3,4} Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Semarang, Indonesia

⁵ PT. Rayaconsult, Babakan Jeruk, Kota Bandung, Indonesia

e-mail: *⁴ hendramasvika@usm.ac.id (corresponding author)

Abstrak

Bendungan adalah bangunan yang terdiri dari urugan tanah atau batuan. Bangunan ini berfungsi untuk menahan laju air dari waduk atau danau, sebagai pembangkit listrik serta tempat rekreasi masyarakat. Bendungan Jragung terletak di desa Candirejo, Kecamatan Pringapus, Kabupaten Semarang. Dalam pembangunan bendungan ini diperlukan suatu bangunan pengelak yang berfungsi untuk mengelakan air sungai pada saat mengerjakan konstruksi bendungan utama. Pada pelaksanaan terowongan pengelak membutuhkan analisis klasifikasi batuan serta litologi batuan di lapangan dengan menggunakan metode Rock Mass Rating (RMR) dari Bieniawski 1989 untuk mengetahui kondisi litologi batuan beserta klasifikasinya. Selain itu digunakan metode Rock Mass Quality (Q)-System sebagai pembanding. Berdasarkan hasil analisis yang membandingkan dua metode menghasilkan batuan yang memiliki klasifikasi massa batuan fair rock yang termasuk dalam kategori III dengan nilai RMR antara 41- 60 dengan stand up time ± 24 jam sampai dengan ± 28 jam dan good rock yang termasuk dalam kategori II dengan nilai RMR 60-80 dengan rekomendasi pemasangan steel ribs dengan jarak 1,5 m pada metode RMR. Sedangkan pada metode Q-System menghasilkan klasifikasi massa batuan fair rock dengan panjang rockbolt pada penyangga terowongan 3 m serta ketebalan shotcrete 40-100 m tanpa tulangan dengan jarak rockbolt yaitu 2 m-2,3 m.

Kata kunci—Bendungan, Terowongan, Massa Batuan, Rock Mass Rating, Rock Mass Quality

Abstract

A dam is a building consisting of a landfill or rock fill. This building functions to hold back the flow of water from a reservoir or lake, as a power plant as well as a community recreation area. The Jragung Dam is located in the Candirejo Village, Pringapus District, Semarang Regency. In the construction of this dam, it is necessary to have an avoidance building that functions to prevent river water when working on the construction of the main dam. The implementation of the circumvention tunnel requires an analysis of rock classification and rock lithology in the field using the Rock Mass Rating (RMR) method from Bieniawski 1989 to determine the rock lithology conditions and their classification. In addition to using the Rock Mass Quality (Q)-System method as a comparison. for the two methods. Based on the results of an analysis comparing the two methods of producing rocks that have a rock mass classification of fair rock which is included in category III with RMR values between 41-60 with stand up time ± 24 hours to ± 28 hours and good rock which is included in category II with an RMR value of 60-80 with recommendations for installing steel ribs with a distance of 1.5 m in the RMR method. Whereas the Q-System method produces a rock mass classification of fair rock with a rockbolt length of 3 m in tunnel support and shotcrete thickness of 40-100 m without reinforcement with a rockbolt spacing of 2 m-2.3 m.

Keywords—Dam, Tunnel, Rock Mass, Rock Mass Rating, Rock Mass Quality

I. PENDAHULUAN

Terowongan merupakan suatu lubang bukaan yang berada di sebuah permukaan bawah tanah maupun pegunungan yang berbentuk mendatar (Koesnaryo, et al., 2022). Terowongan biasanya berupa lorong jalan yang digali menembus suatu bagian yang dikelilingi oleh tanah maupun batuan di bawah permukaan bumi serta sekelilingnya tertutup kecuali pada bagian ujung terowongan. Umumnya terowongan memiliki ukuran yang panjang dan sempit. Panjangnya area yang akan digunakan pada pembukaan terowongan perlu adanya pengetahuan tentang massa batuan dalam pembukaan maupun pelebaran pada terowongan. Pengetahuan tersebut nantinya diterapkan pada batuan keras dengan tekanan yang tinggi. Operasi pada penambangan bawah tanah memerlukan desain geoteknik yang harus dilakukan untuk menentukan penggunaan suatu penguatan serta sistem pendukung. Karena sebagai penopang sistem, maka perlu ditentukan hambatan kekuatan pada massa batuan di setiap bukaan (Asupyani, et al., 2020).

Pada proyek pembangunan bendungan Jragung, hal yang perlu dibangun terlebih dahulu yaitu bangunan pengelak atau terowongan pengelak (*diversion tunnel*). Terowongan pengelak berfungsi nantinya mengelakkan air sungai dari hulu ke hilir bendungan. Dalam pelaksanaan pekerjaan terowongan pengelak pada proyek pembangunan Bendungan Jragung di Kabupaten Semarang harus memperhatikan faktor geologi, salah satunya adalah klasifikasi pada massa batuan. Klasifikasi ini memiliki volume pada suatu batuan yang terdapat berbagai material yang saling berhubungan. Kemudian para peneliti mengembangkan pembagian massa batuan menjadi klasifikasi massa batuan yang berguna sebagai cara mengatasi suatu masalah yang ada pada lapangan. Massa batuan sejatinya merupakan batuan yang utuh kemudian terpisahkan oleh adanya struktur geologi yang sesuai pada ketentuan yang ada. Kekuatan pada massa batuan memiliki keterkaitan pada batuan yang utuh, *joint*, serta *strength* (Alfathoni, et al., 2017).

Semakin banyak aktivitas penggalian yang dikerjakan, maka pada lubang bukaan akan cenderung mengalami suatu ketidakstabilan pada bukaan. Pada kegiatan penggalian tersebut akan menyebabkan keseimbangan pada massa suatu batuan akan berpengaruh, sehingga batuan di sekitar lubang galian akan runtuh ketika batuan tidak dapat menopang bebannya sendiri (Nengsih & Koppa, 2021). Penentuan

karakteristik pada massa batuan di celah-celah dapat dicapai dengan sejumlah metode analisis. Seperti analisis geomekanik yaitu analisis *RMR* dan analisis *Q-System* (Singh & Goel, 1999). Analisis ini menunjukkan bahwa stabilitas bukaan di pekerjaan tambang bawah tanah dapat mempengaruhi adanya faktor, seperti sifat fisik serta mekanik batuan yang berfungsi bahan atap maupun untuk dinding bukaan, karakteristik geologis, struktur, tekanan pada air tanah serta titik terendah pada celah (Prengki & Heriyadi, 2018).

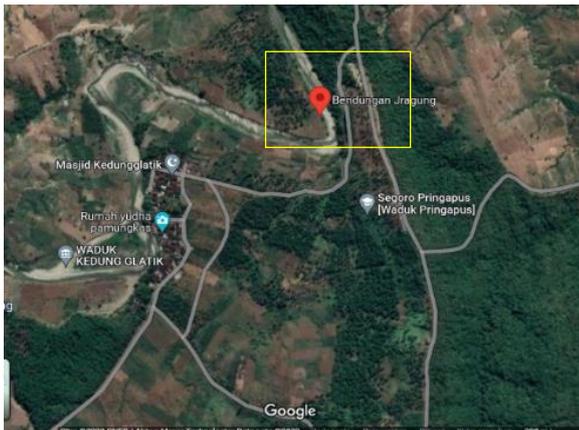
Klasifikasi *Rock Mass Rating* atau yang biasa disingkat *RMR* merupakan suatu klasifikasi massa batuan yang dipopulerkan oleh Bieniawski pada tahun 1989. Pada tahun 1989, Bieniawski merubah sistem parameter pada *RMR* dari yang awalnya delapan sistem kemudian dikurangi menjadi enam sistem, perubahan ini terdiri dari grafik *RMR* serta tabel baru pada bobot σ_c , *RQD*, dan spasi serta situasi diskontinuitas (Rehman, et al., 2018). Pada klasifikasi massa batuan ini memiliki beberapa parameter seperti pada kuat tekan pada batuan, hasil dari *Rock Quality Designation* (*RQD*), kondisi pada bidang *diskontinuitas*, spasi pada bidang *diskontinuitas*, kondisi atau pada air tanah, serta orientasi pada diskontinuitas. Metode *Rock Mass Rating* ini biasanya digunakan pada beberapa pekerjaan sebagai penentu kualitas massa batuan pada suatu jalan, proyek pertambangan, serta kondisi pada geologi pada saat terjadi suatu bencana alam.

Selain menggunakan klasifikasi *RMR* dalam penelitian ini menggunakan klasifikasi *Q-System* yang berguna untuk menilai kualitas pada massa batuan yang terletak pada sekitar dinding bukaan terowongan. Klasifikasi *RMR* dan *Q-System* dapat digunakan untuk pemetaan lubang bawah tanah (Tumanggor, et al., 2022). Pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai *RMR* berdasarkan tabel Bieniawski 1989 dan nilai *Q-System* pada terowongan pengelak di Bendungan Jragung serta dapat mengetahui kelas batuan dan litologi pada daerah tersebut.

II. METODE PENELITIAN

Tempat penelitian berada di Bendungan Jragung yang berada di Desa Candirejo, Kecamatan Pringapus, Kabupaten Semarang sebagaimana pada Gambar 1. Secara geografis berada pada koordinat 7°09'00.6"LS dan 110° 32'42.5"BT terletak pada aliran Sungai Jragung, DAS Jragung (luas DAS 94 km²) Wilayah Sungai (WS) Jratun Seluna. Data yang nantinya akan digunakan pada penelitian ini yaitu data sekunder dari

konsultan atau kontraktor. Adapun rencana pengolahan data dimulai dengan mengumpulkan data dalam bentuk perhitungan manual analisis massa batuan berdasarkan pedoman Bieniawski 1989 kemudian dibandingkan dengan metode *Q-System*. Data-data tersebut disajikan dalam bentuk pembahasan analisis dan disertai interpretasi pada penelitian yang sudah dilakukan. Pada penelitian ini digunakan 3 titik yaitu *DS 110*, *DS 114*, dan *DS 121*.



Gambar 1. Lokasi Penelitian
 Sumber : Google Maps

Rock Mass Rating (RMR)

RMR merupakan suatu system atau metode dalam klasifikasi massa batuan yang sering digunakan menentukan kualitas pada massa batuan (Bieniawski, 1989). Klasifikasi ini biasanya dipergunakan pada berbagai hal seperti pada studi kasus penyelidikan kasus terowongan, proyek penambangan, stabilitas pada lereng, serta suatu pondasi sehingga klasifikasi ini dapat digunakan karena memiliki sifat yang praktis maupun global (Lowson & Bieniawski, 2013). Selama dari tahun 1974 sampai dengan tahun 1976, dan yang terakhir 1989 metode ini sudah diperbaiki karena adanya banyak studi kasus yang terjadi maka ini salah satu cara untuk meningkatkan penanganan di lapangan. Dalam klasifikasi massa batuan berdasarkan system yang ada pada klasifikasi *RMR*, maka menggunakan 6 parameter utama yang nilai-nilai tersebut dijumlahkan agar dapat memperoleh hasil nilai total dari *RMR*, seperti:

a. Uniaxial Compressive Strength (UCS)

Uniaxial Compressive Strength (UCS) dalam *RMR* disebut sebagai kekuatan pada batuan utuh yang pengukuran kuat tekan pada batumannya didapatkan dari hasil uji kuat tekan uniaksial untuk mendapatkan nilai *strength of intact rock material (SR)*. Pada perhitungan nilai *RMR*, parameter *SR* diberikan bobot sesuai nilai *UCS* sebagaimana pada Tabel 1 (Agustawijaya, 2019).

TABEL 1. Kekuatan Material

Parameter	Nilai						
Kekuatan material intact (MPa)	<i>Point-load strength index</i>	> 8	4-8	2-4	1-2	Penguujian UCS lebih dianjurkan	
	<i>Uniaxial compressive strength</i>	>200	100 - 200	50-100	25-50	5-25	1-5 <1
<i>Rating</i>		15	12	7	4	2	1 0

Sumber: Agustawijaya, 2019

b. Rock Quality Designation (RQD)

Pada parameter *RQD* ini didapatkan dengan cara pengamatan pada inti bor yang telah terambil, selain itu abaikan inti yang panjangnya kurang dari 10 cm dan tunjukkan sisanya sebagai persentase panjang pengeboran. Apabila pada system ini menggunakan *scanline*, maka yang terlebih dahulu ditentukan yaitu frekuensi pada diskontinuitas, yang merupakan suatu perbandingan antara jumlah diskontinuitas pada

satu *scanline* dengan panjang *scanline*. Nilai tersebut akan digunakan untuk menghitung nilai *RQD*,

$$RQD = 100(0.1\lambda + 1)e^{-0.1\lambda} \tag{1}$$

Dalam perhitungan hasil nilai pada *RMR* ini , parameter *RQD* diberikan bobot yang sesuai pada persentase seperti yang tertera pada Tabel 2 (Agustawijaya, 2019).

TABEL 2. Pembobotan Nilai RQD

RQD (%)	90-100	75-90	50-75	25-50	<25
Kualitas massa batuan	<i>Excellent</i>	<i>Good</i>	<i>Fair</i>	<i>Poor</i>	<i>Very Poor</i>
Rating	20	17	13	8	3

Sumber: Agustawijaya, 2019

c. Jarak antar kekar (*Spacing of discontinuities*)

Pada jarak antar kekar yaitu suatu jarak yang berada diantara dua diskontinuitas yang saling berdekatan pada satu *scanline* yang disimbolkan dengan *SJ*. Menurut dari ISRM atau (*International Society for Rock Mechanics*), pada jarak antar kekar yaitu suatu jarak yang berbentuk tegak lurus antar bidang kekar yang berdekatan dalam satu set kekar (Agustawijaya, 2019). Dalam menghitung nilai *RMR*, pada parameter suatu jarak antar kekar diberikan suatu bobot yang memiliki nilai berdasarkan jarak spasi kekar tersebut seperti yang ditampilkan pada Tabel 3.

TABEL 3. Jarak Antar Kekar

Jarak antar kekar (m)	>3	1-3	0,3-1	0,05-0,3	<0,05
Nilai	30	25	20	10	5

Sumber: Agustawijaya, 2019

d. Kondisi bidang diskontinuitas (*Condition of discontinuities*)

Ada beberapa parameter yang telah didapatkan untuk memperkirakan suatu kondisi pada permukaan bidang diskontinu (*CJ*), yaitu:

1. Kekasaran (*Roughness*)

Roughness biasa disebut suatu kekasaran yang terdapat pada permukaan di bidang *diskontinu* yang merupakan suatu parameter yang digunakan untuk menunjukkan karakteristik pada bidang *diskontinu* seperti pada Tabel 4.

TABEL 4. Penggolongan Kekasaran Permukaan

Kekasaran permukaan	Deskripsi	Bobot
Sangat kasar (<i>very rough</i>)	Apabila diraba permukaan sangat tidak rata, membentuk punggung dengan sudut terhadap bidang datar mendekati vertikal.	6
Kasar (<i>rough</i>)	Bergelombang, permukaan tidak rata, butiran pada permukaan	5

Kekasaran permukaan	Deskripsi	Bobot
	tidak jelas, permukaan kekar terasa kasar.	
Sedikit kasar (<i>Slightly rough</i>)	Butiran permukaan terlihat jelas, dapat dibedakan dan dapat dirasakan apabila diraba.	3
Halus (<i>smooth</i>)	Permukaan rata dan terasa halus bila diraba.	1
Licin berlapis (<i>slikensided</i>)	Permukaan terlihat mengkilap.	0

Sumber: Agustawijaya, 2019

2. Bukaan kekar (*Separation*)

Bukaan kekar yaitu sebuah jarak terhadap dua kekar pada permukaan bidang diskontinu. Pada jarak ini dapat terisi *filling material* atau terisi oleh air. Semakin banyak jarak pada bukaan kekar, maka semakin lemah pula bidang diskontinu tersebut. Pembobotan pada bukaan atau pemisahan kekar ditunjukkan oleh Tabel 5 (Agustawijaya, 2019).

TABEL 5. Pemisahan Kekar

Jarak diskontinuitas (mm)	-	< 0,1	0,1-1	1-5	> 5
Nilai	6	5	4	1	0

Sumber: Agustawijaya, 2019

3. Persistensi (*Length of discontinuities*)

Persistensi yaitu suatu kemenerusan pada suatu bidang diskontinu yang memiliki panjang dari suatu bidang diskontinu. Kemenerusan pada bidang ini bisa diukur melalui pengamatan atau melihat bidang pada batuan yang tersingkap. Penilaian terhadap panjang bidang diskontinu dapat dilihat pada Tabel 6 (Agustawijaya, 2019).

TABEL 6. Klasifikasi Kemenerusan

Deskripsi	Panjang diskontinuitas (m)	Nilai
Persisten sangat rendah	< 1	0
Persisten rendah	1-3	1
Persisten sedang	3-10	2
Persisten tinggi	10-20	4
Persisten sangat tinggi	> 20	6

Sumber: Agustawijaya, 2019

4. Pelapukan (*Weathering*)

Tingkat pelapukan pada batuan ini bisa ditentukan dengan cara memeriksa pada warna yang berubah dari butiran batuan dengan alat palu geologi. Penilaian pada tingkat pelapukan batuan bisa dilihat pada Tabel 7 (Barton, 1978) dan (Agustawijaya, 2019).

TABEL 7. Tingkat Pelapukan Batuan

Istilah	Keterangan	Nilai
Segar	Tidak ada perubahan warna pada batuan atau sedikit perubahan pada permukaan diskontinuitas	6
Sedikit Lapuk	Terjadi perubahan warna pada butiran batuan dan permukaan diskontinuitas. Batuan terdekomposisi dan atau terintegrasi menjadi tanah. Batuan segar atau hanya mengalami perubahan warna tetap ada.	5
Pelapukan menengah	Kurang dari setengah pada material batuan terdekomposisi atau terintegrasi menjadi tanah. Batuan segar atau mengalami perubahan warna masih tetap ada	3
Pelapukan tinggi	Lebih dari setengah pada material batuan terdekomposisi atau terintegrasi menjadi tanah. Batuan segar atau mengalami perubahan warna masih tetap ada	1
Pelapukan lengkap	Seluruh material batuan terdekomposisi dan atau terintegrasi menjadi tanah. Struktur massa batuan yang asli masih ada	0

Sumber: Barton, 1978 dan Agustawijaya, 2019

5. Material Isian Kekar (*Infilling/ gouge*).

Mengisi material yang berada di antara dua permukaan pada bidang diskontinu, yang bisa dipengaruhi stabilitas pada bidang diskontinu. Ini karena adanya faktor pada ketebalan, konsistensinya, atau jika memiliki sifat memuai dalam kontak air dan partikel yang sangat lembut, dapat melemahkan bidang diskontinu. Penilaian untuk material isian ini ditunjukkan pada Tabel 8 (Barton, 1978) dan (Agustawijaya, 2019).

TABEL 8. Material Pengisi Diskontinuitas

Material Pengisi	Tidak ada	Keras (mm)		Lunak (mm)	
		< 5	> 5	< 5	> 5
Nilai	6	4	2	2	0

Sumber: Barton, 1978 dan Agustawijaya, 2019

e. Kondisi air tanah (*Groundwater conditions*)

Kehadiran air tanah bisa mengurangi kekuatan geser antara dua bidang diskontinuitas. Bobot pada parameter air tanah bisa ditentukan dengan berbagai cara, yaitu pengamatan secara langsung di lapangan atau penentuan keadaan umum air di sekitarnya. Penilaian untuk kondisi air tanah (CW) dapat dilihat pada Tabel 9 (Agustawijaya, 2019).

f. Orientasi kekar (*Orientation of discontinuities*)

Orientasi pada bidang diskontinuitas yang telah tergambar dengan jurus serta kemiringan. Dalam penulisan jurus selalu berpedoman pada kutub utara magnet bumi, sedangkan kemiringan pada sudut dapat dibentuk diantara bidang horizontal dan bidang kekar yang searah pada bidang kemiringan. Penilaian terkait orientasi diskontinuitas (AJ) seperti yang tertera pada Tabel 10 (Agustawijaya, 2019).

TABEL 9. Kondisi Air Tanah

Kondisi air tanah	<i>Inflow</i> setiap 10 m panjang terowongan (liter/menit)	Tidak ada	<25	25-125	>125
	Perbandingan tekanan air pada kekar/ <i>major principal stress</i>	0	0,0-0,2	0,2-0,5	>0,5
Kondisi umum	Kering (<i>complete dry</i>)	Lembab (<i>moist only</i>)	<i>Water under moderate pressure</i>	Masalah air yang parah (<i>severe water problems</i>)	
<i>Rating</i>	10	7	4	0	

Sumber: Agustawijaya, 2019

TABEL 10. Pembobotan Orientasi Diskontinuitas

Jurus dan kemiringan orientasi diskontinuitas	Sangat Aman	Aman	Sedang	Tidak Aman	Sangat Tidak Aman
Terowongan	0	-2	-5	-10	-12
Bobot Pondasi	0	-2	-7	-15	-25
Lereng	0	-5	-25	-50	-60

Sumber: Agustawijaya, 2019

Nilai *RMR* dihitung dari penjumlahan *rating* atau bobot dari 6 parameter di atas.

$$RMR = SR + RQD + SJ + CJ + CW - AJ \quad (2)$$

dengan *SR*, *RQD*, *SJ*, *CJ*, *CW*, *AJ* merupakan suatu nilai kuat tekan pada batuan yang utuh, nilai *rock quality designation (RQD)*, jarak antar pada kekar, serta kondisi diskontinuitas, kemudian kondisi air tanah, dan orientasi kekar atau diskontinuitas masing-masing secara berurutan.

Q-System

Klasifikasi *Q-System* diciptakan oleh Barton, Lien dan Lunde tahun 1974 di *Norwegia Geotechnical Institute (NGI)* (Barton, et al., 1974) dan (Wally, et al., 2020). Klasifikasi pada massa batuan ini diusulkan berdasarkan studi kasus pada terowongan serta goa. Dalam klasifikasi ini memiliki parameter sebagai berikut (Singh & Goel, 1999):

$$Q = [RQD/J_n][J_r/J_a][J_w/SRF] \quad (3)$$

dengan *RQD*, *J_n*, *J_r*, *J_a*, *J_w*, *SRF* adalah bobot nilai *Rock Quality Designation* ≥ 10, nilai *joint set number* (jumlah kekar), nilai *joint roughness number* (kekasaran kekar), nilai *joint alteration number* (derajat alterasi kekar atau material pengisi kekar), nilai *joint water reduction factor* (aliran air tanah), nilai *stress reduction factor* (faktor reduksi tegangan) masing-masing secara berurutan.

Dalam menghitung *Q-System* menggunakan enam parameter, kemudian Barton (1974) membagi 6 parameter menjadi kedalam 3 bagian dengan rincian sebagai berikut (Singh & Goel, 1999) dan (Gundewar, 2014):

1. *RQD/J_n* dengan menjelaskan struktur pada massa batuan dengan memperhatikan ukuran pada blok pada batuan.

2. *J_r/J_a* yang menunjukkan kekasaran serta karakteristik suatu permukaan pada bidang diskontinu maupun filling material. Pada *J_r/J_a* dapat melihat strength atau kuat geser diantara balok batuan.
3. *J_w/SRF* merupakan dua parameter tegangan. Pada parameter *J_w* merupakan ukuran pada tekanan air yang biasa berpengaruh terhadap kuat geser pada bidang diskontinu. Selain parameter *SRF* yang terdiri dari parameter total tegangan yang dapat mempengaruhi lubang bukaan pada kekuatan massa batuan.

Menurut Barton (1974), pada parameter *J_n*, *J_r*, dan *J_a* merupakan parameter yang memiliki suatu peran penting yang dapat mempengaruhi pada orientasi bidang diskontinu (Gundewar, 2014). Oleh sebab itu, pada *Q-System* ini tidak ada parameter orientasi bidang diskontinu.

Stand Up Time

Pada lubang sekitar galian dapat mengakibatkan deformasi hal ini dapat bergantung karena adanya perubahan tegangan pada massa batuan atau biasa disebut pengaruh diskontinuitas terhadap arah terowongan yang dapat mengakibatkan suatu runtuh pada bongkahan batuan ke dalam terowongan. Suatu massa batuan dapat berada dalam keadaan yang stabil tanpa ada sokongan dalam jangka waktu tertentu atau yang biasa disebut *stand up time* atau *bridging capacity*. Menurut Lauffer (1958), bahwa *stand up time* dapat terjadi pada saat beberapa menit setelah digali sampai beberapa waktu tertentu bahkan ratusan tahun setelah penggalian, yang dipengaruhi oleh kondisi batuan tersebut (Gundewar, 2014). *Stand up time* berdasarkan dari suatu lebar bukaan, kekuatan batuan, dan pola diskontinuitas dari batuan. Apabila *bridging capacity* dari batuan tersebut tinggi, material batuan dapat stabil untuk jangka waktu yang lama. Sebaliknya apabila *bridging capacity* rendah, maka batuan akan mulai runtuh

sehingga sokongan harus segera dipasang (Rahardjo, 2006) dan (Hack, 2006).

Penyangga Terowongan

Pada terowongan, ketidakmampuan batuan untuk memikul bebannya sendiri akan menyebabkan batuan berjatuh atau tergelincir yang mengakibatkan terjadinya *overbreak*, sehingga sangat membahayakan para pekerja dan peralatan yang digunakan. Oleh karena itu, atap sebuah terowongan perlunya ada penyangga. Pada pembuatan terowongan terdapat beberapa jenis penyangga, seperti *rockbolt*, *shotcrete* dan *steel rib*. *Rockbolt* digunakan sebagai penyangga dengan memperlihatkan kondisi batuan dan tidak bias digunakan pada batuan yang bersifat lunak. *Steel rib* memiliki kelebihan dibandingkan peyangga kayu, dimana biasanya digunakan tulangan tambahan untuk lining beton. *Shotcrete* merupakan beton semprot yang diterapkan pada permukaan dengan kecepatan dan tekanan tinggi (Yogaswara, 2019).

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam menentukan nilai *RMR* maka perlu mengetahui letak titik *DS* (*Down Stream*). *DS* yaitu sebutan untuk bagian hilir dalam pembuatan terowongan pengelak bagian *outlet* Bendungan Jragung Kabupaten Semarang. *DS* digunakan sebagai sebutan per setiap bagian untuk *H-Beam* atau *steel rib* yang dipasang di terowongan pengelak. Pada penelitian ini terdapat 3 titik yaitu, titik *DS* 110 (kedalaman 86,80 m), titik *DS* 114 (kedalaman 92,80 m), dan titik *DS* 121 (kedalaman 101,20 m).

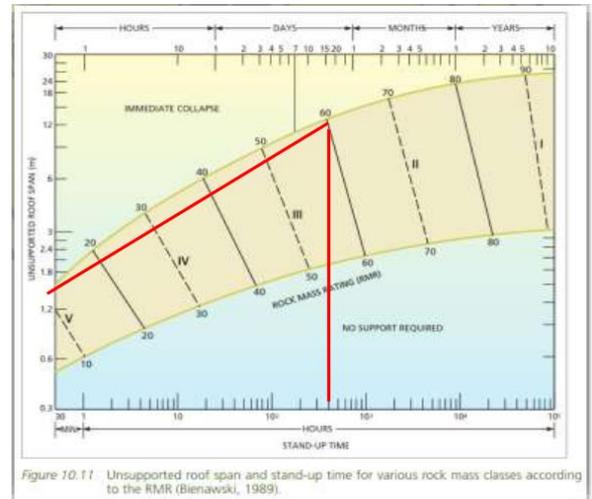
a. Hasil *DS* 110

Pada *DS* 110 memiliki rata-rata *RMR* pada zona A, zona B, zona C sebagai berikut:

$$RMR = \frac{65 + 61 + 61}{3} = 62$$

Hasil *RMR* yang memiliki nilai 62 maka termasuk pada kategori *Good Rock* karena berada pada rentang 61-80 dan termasuk kategori II. Pada *DS* 110 dijumpai litologi batu pasir, berwarna abu-abu, memiliki tingkat kekerasan keras, tingkat pelapukan sangat rendah, ukuran butir pasir halus-sedang, struktur perlapisan dan dikontrol oleh kekar spasi diskontinuitas >60 cm, nilai *RQD* 50% - 90% , tidak dijumpai adanya aliran tanah namun di beberapa titik hanya ada tetesan air, termasuk dalam kelas batuan *CM*. Nilai *RMR*

62 kelas II termasuk dalam kategori *Good Rock* dengan *stand up time* ± 480 jam. Direkomendasikan pemasangan *steel ribs* spasi 1,5 meter sebagaimana Gambar 2.



Gambar 2. Grafik *Stand Up Time DS 110*
Sumber: *ABIPRAYA-PELITA KSO*

Berdasarkan Gambar 2 dapat dilihat bahwa *stand up time* pada *DS* 110 yang memiliki nilai *RMR* 62 dan termasuk kelas II (*Good Rock*) dengan disarankan jarak pemasangan 1,5 m menunjukkan kekuatan batuan dapat bertahan selama 19 hari atau 456 jam.

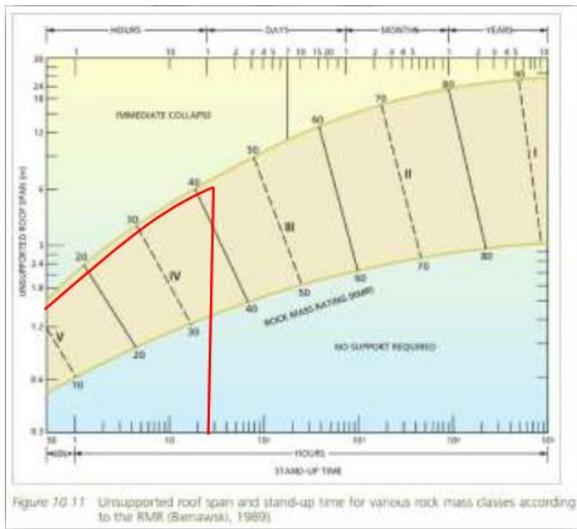
b. Hasil *DS* 114

Pada *DS* 114 memiliki nilai rata-rata *RMR* pada zona A, zona B, zona C pada *DS* 114 adalah:

$$RMR = \frac{41 + 41 + 41}{3} = 41$$

Dengan hasil *RMR* memiliki nilai 41 maka termasuk kategori *Fair Rock* karena ada termasuk dalam *range* dari 41 – 60 dan termasuk kategori III. Pada *DS* 114 dijumpai litologi batu lempung sisipan batu pasir, berwarna abu-abu gelap, memiliki tingkat kekerasan sedang, tingkat pelapukan sangat rendah, ukuran butir pasir halus-sedang, struktur perlapisan dan dikontrol oleh kekar terisi pirit dan kalsit dengan spasi diskontinuitas <20 cm, nilai *RQD* 50%-75%, tidak dijumpai adanya aliran air tanah namun di beberapa titik hanya ada tetesan air, termasuk dalam kelas batuan *CM*. Nilai *RMR* 41 kelas III termasuk dalam kategori *Fair Rock* dengan *stand up time* ± 24 jam. Direkomendasikan jarak

pemasangan *steel ribs* spasi 1,5 m seperti pada Gambar 3.



Gambar 3. Grafik *Stand Up Time* DS 114
Sumber: ABIPRAYA-PELITA KSO

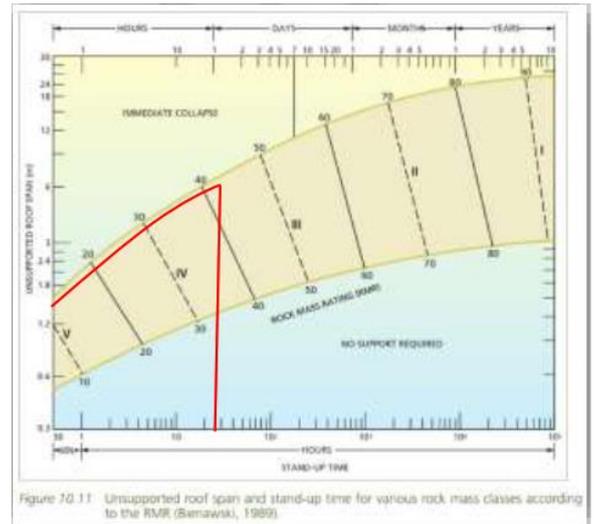
Berdasarkan Gambar 3 diketahui bahwa *stand up time* pada DS 114 yang memiliki nilai RMR 41 dan termasuk kelas III (*Fair Rock*), dengan disarankan jarak pemasangan *steel ribs* 1,5 m menunjukkan kekuatan batuan dapat bertahan selama 1 hari atau selama 24 jam.

c. Hasil DS 121

Pada DS 121 memiliki rata-rata RMR pada zona A, zona B, zona C pada DS 121 adalah:

$$RMR = \frac{42 + 42 + 42}{3} = 42$$

Dengan hasil RMR memiliki nilai 42 maka termasuk kategori *Fair Rock* karena termasuk dalam range dari 41-60 dan termasuk kategori III. Pada DS 121 dijumpai litologi batu lempung, berwarna abu-abu gelap, tingkat kekerasan sedang, tingkat pelapukan sangat rendah, struktur perlapisan dan dikontrol oleh kekar dengan spasi discontinuitas 20-60 cm, nilai RQD 50%-75%, tidak dijumpai adanya aliran air tanah namun di beberapa titik hanya ada tetesan air, termasuk dalam kelas batuan CM. Nilai RMR 42 kelas III termasuk dalam kategori *fair rock* dengan *stand up time* ± 28 jam. Direkomendasikan pemasangan *steel ribs* dengan spasi 1,5 m seperti terlihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Grafik *Stand Up Time* DS 121
Sumber: ABIPRAYA-PELITA KSO

Gambar 4 menunjukkan bahwa *stand up time* pada DS 121 yang memiliki nilai RMR 42 dan termasuk kelas III (*Fair Rock*). Disarankan jarak pemasangan *steel ribs* 1,5 m dengan kekuatan batuan dapat bertahan selama 1 hari lebih atau selama 28 jam.

Q- System

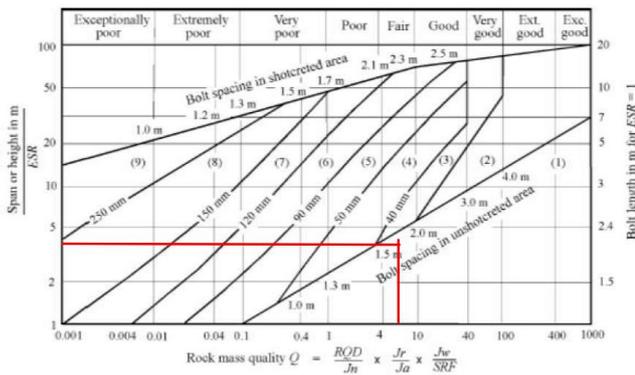
Q-System biasa disebut *Tunneling Quality Index* atau *NGI Classification System*. Biasanya penggunaan *Q-System* digunakan untuk perencanaan terowongan dengan atap yang melengkung. Sebelum menentukan nilai *Q-System* maka perlu mencari titik DS yang akan dilakukan analisa serta perbandingan dengan nilai RMR. Pada bagian ini titik DS yang dilakukan analisa yaitu titik DS 110, DS 114, dan DS 121. Berikut hasil analisa data menggunakan metode *Q-System*.

a. *Q-System* DS 110

Dengan nilai *Q* pada DS 110 adalah 5,4 berdasarkan peruntukannya sebagai terowongan air, maka nilai ESR yaitu 1,6 serta dimensi terowongan yaitu 6,60 m, maka dapat diperoleh nilai ED pada terowongan pengelak sebagai berikut:

$$ED = \frac{B}{ESR} = \frac{6,6}{1,6} = 4,125$$

Berdasarkan nilai *Q* dan ED maka dapat diplot pada grafik *Q-System* seperti pada Gambar 5 (Barton & Grimstad, 2014).



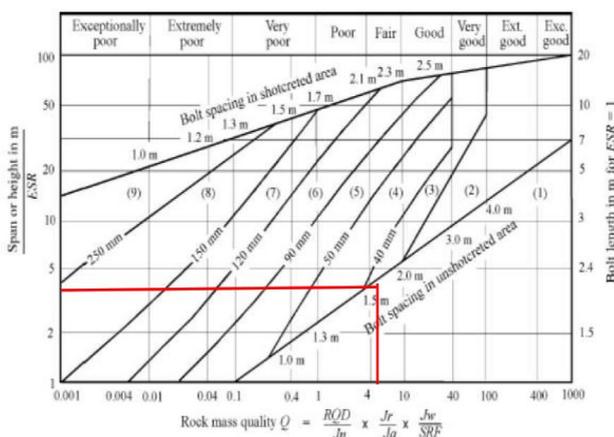
Gambar 5. Grafik *Q-System DS 110*
Sumber: Barton & Grimstad, 2014

Gambar 5 menunjukkan bahwa nilai titik *ED* 4,125 kemudian ditarik garis dengan hasil dari nilai titik *Q* yaitu 5,40 sehingga pada pertemuan garis ini menunjukkan pada klasifikasi batuan *Fair Rock* kemudian termasuk kategori ke-4 perbautan sistematis dengan ketebalan *shotcrete* 40-100 mm tanpa tulangan dengan jarak *rockbolt* 2,2 m dengan panjang *rockbolt* 3 meter.

b. *Q-System DS 114*

Dengan nilai *Q* pada *DS 114* adalah 4,092 berdasarkan peruntukannya sebagai terowongan air, maka nilai *ESR* = 1,6 serta dimensi terowongan yaitu 6,60 m, maka dapat diperoleh nilai *ED* pada terowongan pengelak sebagai berikut. Adapun grafik *Q-System* ditunjukkan pada Gambar 6 (Barton & Grimstad, 2014).

$$ED = \frac{B}{ESR} = \frac{6,6}{1,6} = 4,125$$



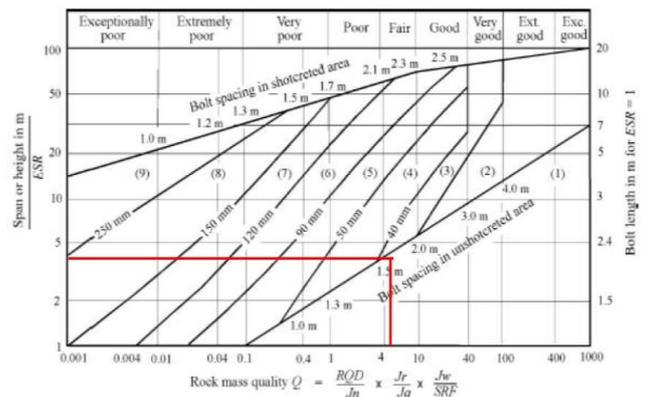
Gambar 6. Grafik *Q-System DS 114*
Sumber: Barton & Grimstad, 2014

Gambar 6 menunjukkan bahwa nilai titik *ED* 4,125 kemudian ditarik garis dengan hasil dari nilai titik *Q* yaitu 4,092 sehingga pada pertemuan garis ini menunjukkan pada klasifikasi batuan *Fair Rock* kemudian termasuk kategori ke-4 perbautan sistematis dengan ketebalan *shotcrete* 40-100 mm tanpa tulangan dengan jarak *rockbolt* 2,15 m dan panjang *rockbolt* 3 meter.

c. *Q-System DS 121*

Dengan nilai *Q* pada *DS 114* adalah 4,158 berdasarkan peruntukannya sebagai terowongan air, maka nilai *ESR* = 1,6 serta dimensi terowongan yaitu 6,60 m, dapat diperoleh nilai *ED* pada terowongan pengelak sebagai berikut. Adapun grafik *Q-System* ditunjukkan pada Gambar 7 (Barton & Grimstad, 2014).

$$ED = \frac{B}{ESR} = \frac{6,6}{1,6} = 4,125$$



Gambar 7. Grafik *Q-System DS 121*
Sumber: Barton & Grimstad, 2014

Gambar 7 menunjukkan nilai titik *ED* 4,125 kemudian ditarik garis dengan hasil dari nilai titik *Q* yaitu 4,158 sehingga pada pertemuan garis ini menunjukkan pada klasifikasi batuan *fair rock* kemudian termasuk kategori ke-4 perbautan sistematis dengan ketebalan *shotcrete* 40-100 mm tanpa tulangan dengan jarak *rockbolt* 2,15 m dan panjang jarak *rockbolt* 3 m.

IV. KESIMPULAN

Hasil dari analisis pada metode *RMR* pada titik *DS 110* memiliki nilai *RMR* 62 maka termasuk kategori *good rock* serta termasuk dalam kategori II dengan *stand up time* ± 480 jam. Direkomendasikan

pemasangan *steel ribs* spasi 1,5 meter. Selanjutnya pada titik *DS* 114 memiliki nilai *RMR* 41 maka termasuk kategori *fair rock* serta termasuk dalam kategori III dengan *stand up time* \pm 24 jam. Direkomendasikan pemasangan *steel ribs* spasi 1,5 meter. Pada titik *DS* 121 memiliki nilai *RMR* 42 maka termasuk kategori *fair rock* serta termasuk dalam kategori III dengan *stand up time* \pm 24 jam. Direkomendasikan pemasangan *steel ribs* spasi 1,5 meter.

Hasil dari analisis pada metode *Q-System* pada titik *DS* 110, titik *DS* 114, dan titik *DS* 121 menghasilkan klasifikasi massa batuan *fair rock*, hal ini dihasilkan dari grafik *Q-System* dimana garis pertemuan antara titik *ED* dengan titik *Q* berada pada area *fair rock* dengan panjang *rockbolt* pada penyangga terowongan 3 m dengan ketebalan *shotcrete* 40-100 mm tanpa tulangan dengan jarak *rockbolt* 2-2,3 meter.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan apresiasi dan terimakasih kepada PT. BRANTAS ABIPRAYA-PELITA KSO dan PT. RAYACONSULT pada Proyek Pembangunan Bendungan Jragung Paket III yang telah mendukung penelitian ini.

REFERENSI

- Agustawijaya, D. S., 2019. *Geologi Teknik*. Yogyakarta: Penerbit Andi.
- Alfahoni, F., Komar, S. & Suwardi, F. R., 2017. EVALUASI TEKNIS SISTEM PENYANGGAAN MENGGUNAKAN METODE ROCK MASS RATING (RMR) SYSTEM PADA DEVELOPMENT AREA (CKN_DC) TAMBANG EMAS BAWAH TANAH PT. CIBALIUNG SUMBERDAYA. *Jurnal Pertambangan*, 1(2), pp. 1-10.
- Asupyani, H., Zakaria, Z., Sophian, R. I. & Pratama, R., 2020. ANALISIS KEKUATAN MASA BATUAN PADA TUNNEL GUDANG HANDAK BERDASARKAN METODE ROCK MASS RATING (RMR) BIENIAWSKI 1989 PT ANEKA TAMBANG UBPE PONGKOR. *Padjajaran Geoscience Journal*, 4(4), pp. 365-375.
- Barton, N. R., 1978. Suggested Methods for Quantitative Description of Discontinuities in Rock Masses: International Society for Rock Mechanics. *Int. J. Rock mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr.*, 15(6), pp. 319-368.
- Barton, N. R. & Grimstad, E., 2014. *Tunnel and cavern support selection in Norway, based on rock mass classification with the Q-system*, Oslo: Norwegian Tunnelling Society, NFF, Publ. 23-39.
- Barton, N. R., Lien, R. & Lunde, J., 1974. Engineering Classification of Rock Masses for the Design of Tunnel Support. *Rock Mechanics*, Volume 6, pp. 189-236.
- Bieniawski, Z. T., 1989. *Engineering Rock Mass Classifications: A Complete Manual for Engineers and Geologists in Mining, Civil, and Petroleum Engineering*. Toronto, Canada: John Wiley & Sons.
- Gundewar, C. S., 2014. *Application of Rock Mechanics in Surface and Underground Mining*. Naghpur, Maharashtra: Government of India Ministry of Mines, Indian Bureau of Mines.
- Hack, R., 2006. *Discontinuous Rock Mechanics*. Enschede, The Netherland: ITC.
- Koesnaryo, S., Vera, T. V., Arindry, A. P. P. & Cholid, M., 2022. TINJAUAN ASPEK KEREKAYASAAN PADA RANCANGAN TEROWONGAN UNTUK SIPIL DAN TAMBANG. *Jurnal Teknologi Pertambangan*, 8(1), pp. 190-197.
- Lowson, A. R. & Bieniawski, Z. T., 2013. *Critical Assessment of RMR based Tunnel Design Practices: a Practical Engineer's Approach*. Washington DC, USA, Proceedings of the SME, pp. 1-16.
- Nengsih, N. & Koppa, R., 2021. Analisa Kestabilan Lubang Bukaan Ditambang Bawah Tanah Berdasarkan Pengklasifikasikan Geomekanika (RMR-System) Pada Penambangan Galena Di PT. Berkat Bhinneka Perkasa (BBP) Pangkalan Lima Puluh Kota, Sumatera Barat. *Jurnal Bina Tambang*, 6(3), pp. 159-165.
- Prengki, I. & Heriyadi, B., 2018. Analisis Beban Runtuh dan Evaluasi Lubang Bukaan berdasarkan Metode Rock Mass Rating dan Q-System pada Tambang Bawah Tanah CV. Bara Mitra Kencana, Kota Sawahlunto, Sumatera Barat. *Jurnal Bina Tambang*, 3(4), pp. 1729-1739.
- Rahardjo, P. P., 2006. *Teknik Terowongan*. Jakarta: Geotechnical Engineering Center.
- Rehman, H. et al., 2018. Review of Rock-Mass Rating and Tunneling Quality Index Systems for Tunnel Design: Development, Refinement, Application and Limitation. *Applied Sciences*, 8(8), pp. 1-27.

- Singh, B. & Goel, R. K., 1999. *ROCK MASS CLASSIFICATION, A Practical Approach in Civil Engineering*. Oxford: Elsevier.
- Tumanggor, A. P., Tambun, B. & Halawa, A., 2022. KAJIAN TEKNIK ROCK MASS RATING DAN Q SYSTEM PADA TEROWONGAN BATU LUBANG I DESA SIMANINGGIR KABUPATEN TAPANULI TENGAH PROVINSI SUMATERA UTARA. *Jurnal Sains dan Teknologi ISTP*, 18(1), pp. 1-9.
- Wally, J., Riza, M. & Setiyarto, Y. D., 2020. Pemodelan Terowongan Pada Batuan Dengan Metode Finite Element : Studi Kasus Terowongan Diversion Tunnel Rencana Bendungan Jambu Aye, Nangro Aceh Darusalam. *CRANE: Civil Engineering Research Journal*, 1(1), pp. 14-25.
- Yogaswara, D., 2019. ANALISIS TEROWONGAN JALAN RAYA DENGAN PROTEKSI UMBRELLA GROUTING MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA 2D KASUS STUDI TOL CISUMDAWU. *Jurnal Sains dan Teknologi ISTP*, 11(2), pp. 137-147.