

Perkembangan Klasifikasi Massa Batuan *Rock Mass Rating*: Sebuah *Literature Review*

Hakim Erlangga Bernado Sakti¹, Heru Dwiriawan Sutoyo¹

¹ Jurusan Teknik Pertambangan, Institut Teknologi Yogyakarta
Korespondensi : hakimerlangga@ity.ac.id

ABSTRAK

Klasifikasi massa batuan merupakan salah satu metode untuk mempelajari kualitas dari massa batuan dengan menggunakan pembobotan beberapa parameter masukan yaitu: a. Sifat fisik dan mekanika batuan; b. Intensitas, geometri dan kondisi bidang lemah; c. Kondisi air tanah; d. Tingkat pelapukan batuan; e. Ketahanan batuan terhadap proses pelapukan (*slake durability index*); dan f. Sifat-sifat khusus batuan (*swelling* dan *squeezing* batulempung, pelarutan batugamping). Metode *Rock Mass Rating* (RMR) merupakan metode klasifikasi massa batuan yang paling banyak digunakan. Metodologi yang digunakan oleh penulis adalah *literature review*. Klasifikasi massa batuan yang dikaji dibatasi pada tiga jenis metode RMR yang telah dikembangkan yaitu RMR₈₉, RMR₁₄, dan RMR untuk Batugamping berongga. Dasar pemilihan tiga metode tersebut adalah karena berdasarkan *literature review* awal, ketiga metode tersebut dianggap hampir dapat mewakili keenam parameter masukan yang diperlukan di dalam kajian klasifikasi massa batuan. RMR₁₄ mengalami penambahan parameter *slake durability index* dan RMR untuk batugamping berongga mengalami penambahan parameter rongga batugamping. Terdapat beberapa persamaan empiris antara klasifikasi RMR.

Kata kunci: Klasifikasi Massa Batuan, RMR₈₉, RMR₁₄, RMR untuk Batugamping Berongga

ABSTRACT

Rock mass classification is one of a method to study the quality of rock mass by rating several input parameters, namely: a. Rock physical and mechanical properties; b. Intensity, geometry and condition of discontinuities; c. Ground water conditions; d. Weathering condition; e. Resistance to weathering processes (slake durability index); and f. Special properties of rocks (e.g., swelling and squeezing of claystone, dissolution of limestone). Rock mass rating (RMR) method is the most widely used rock mass classification method. The methodology that used by the author is the literature review. The rock mass classification studied is limited to three types of methods The RMR that has been developed are RMR₈₉, RMR₁₄, and RMR for Cavity Limestone. The basis for choosing the three methods is because based on the initial literature review, the three methods are considered to almost represent the six input parameters needed in the rock mass classification study. RMR₁₄ has included parameters slake durability index and RMR for cavity limestones have included condition of the cavity in limestone parameters. There are several empirical among the RMR classifications.

Keyword : Rock Mass Classification, RMR₈₉, RMR₁₄, RMR for Cavity Limestone

1. PENDAHULUAN

Klasifikasi massa batuan merupakan metode yang paling praktis dan efektif untuk mempelajari kualitas dari massa batuan. Klasifikasi massa batuan dikembangkan untuk mengatasi berbagai masalah yang timbul di lapangan secara cepat tetapi tidak ditujukan untuk mengganti studi analitik, observasi lapangan, pengukuran, dan *engineering judgement*. Adapun tujuan dari klasifikasi massa batuan adalah untuk mengelompokkan jenis massa batuan berdasarkan kemiripan perilakunya. Hal ini sebagai dasar untuk memahami karakter dari setiap kelas massa batuan, memberikan data kuantitatif untuk rancangan rekayasa batuan, serta sebagai dasar komunikasi di dalam rekayasa batuan [1].

Klasifikasi massa batuan menggunakan masukan berupa parameter-parameter yang mempengaruhi kualitas massa batuan. Parameter-parameter tersebut kemudian dilakukan pembobotan sehingga diperoleh nilai *rating* kualitas massa batuan. Adapun terdapat enam parameter masukan yang diperlukan di dalam kajian klasifikasi massa batuan meliputi: a. Sifat fisik dan mekanika batuan; b. Intensitas, geometri dan kondisi bidang lemah; c. Kondisi air tanah; d. Tingkat pelapukan batuan; e. Ketahanan batuan terhadap proses pelapukan (*slake durability index*); dan f. Sifat-sifat khusus batuan (*swelling* dan *squeezing* batulempung, pelarutan batugamping).

Telah banyak metode klasifikasi massa batuan dimulai dari yang tertua yaitu Agricola (1556) [2] hingga pada zaman modern ini sudah terdapat puluhan metode klasifikasi massa batuan yang telah

dikembangkan [3]. Masing-masing klasifikasi massa batuan dibangun atas berbagai asumsi dan tujuan rekayasa batuan yang dibuat oleh pengusulnya serta berdasarkan kondisi geologi daerah yang menjadi lokasi penelitian penyusunnya. Selain itu, masing-masing klasifikasi massa batuan umumnya tidak memasukkan seluruh enam parameter yang dibutuhkan di dalam kajian klasifikasi massa batuan. Hal ini umumnya terkait dengan tujuan kepraktisan analisisnya. Meskipun demikian, hal ini tetap dapat diterima dikarenakan beberapa parameter tersebut ada yang memiliki pengaruh tidak signifikan berdasarkan asumsi penyusunnya. Diantara sekian banyak metode klasifikasi massa batuan, metode *Rock Mass Rating* (RMR) merupakan metode klasifikasi massa batuan yang paling banyak digunakan. Hal ini dikarenakan metode ini dianggap memiliki parameter masukan yang paling lengkap serta aplikasi penggunaannya yang cukup luas. Metode ini awalnya dikembangkan oleh Bieniawski pada tahun 1973 kemudian mengalami revisi pada tahun 1989. Setelah itu metode ini banyak direvisi oleh peneliti-peneliti lain untuk mengakomodir parameter-parameter lain yang belum ada sehingga diperoleh nilai *rating* massa batuan yang lebih akurat.

Pada artikel ini, penulis bertujuan untuk melakukan *literature review* terhadap beberapa klasifikasi massa batuan *Rock Mass Rating* yang telah dikembangkan. Harapannya adalah dapat menjadi salah satu literatur yang dapat digunakan untuk membandingkan beberapa klasifikasi massa batuan, memudahkan di dalam pemilihan metode klasifikasi yang paling tepat sesuai dengan kondisi geologi daerah yang akan diteliti oleh para peneliti selanjutnya, dan memudahkan pengembangan klasifikasi massa batuan baru yang dinilai lebih akurat atau menyempurnakan klasifikasi sebelumnya.

2. METODE PENELITIAN

Metodologi yang digunakan oleh penulis adalah *literature review*. Adapun tahapan penelitian ini adalah sebagai berikut: a. Mengumpulkan berbagai metode klasifikasi massa batuan *Rock Mass Rating*; b. membuat ulasan singkat terkait latar belakang dan asumsi yang digunakan, parameter masukan, metode analisis, kelebihan dan kekurangannya; c. memaparkan beberapa rumus empiris hubungan antar klasifikasi massa batuan *Rock Mass Rating*; dan d. memberikan saran untuk pengembangan klasifikasi massa batuan selanjutnya.

Di dalam *literature review* ini, klasifikasi massa batuan yang dikaji dibatasi pada tiga jenis metode RMR yang telah dikembangkan yaitu RMR₈₉ (Bieniawski, 1989), RMR₁₄ (Celada et al., 2014), dan RMR untuk Batugamping berongga (Wijaya, 2016). Dasar pemilihan tiga metode tersebut adalah karena berdasar *literature review* awal, ketiga metode tersebut dianggap hampir dapat mewakili keenam parameter masukan yang diperlukan di dalam kajian klasifikasi massa batuan. Sehingga, dapat disimpulkan ketiga jenis RMR tersebut dapat mewakili di dalam perkembangan klasifikasi RMR.

3. HASIL DAN ANALISIS

3.1. Ulasan Klasifikasi Massa Batuan RMR

1. Rock Mass Rating 1989 (RMR₈₉) (Bieniawski, 1989)

Metode ini diusulkan oleh Bieniawski pada tahun 1989. Metode ini banyak digunakan karena dianggap sebagai metode klasifikasi massa batuan yang terlengkap dalam hal cakupan aplikasinya. Metode ini sebenarnya merupakan metode penyempurnaan dari metode yang dibuat oleh Bieniawski sendiri pada tahun 1973. Pada tahun 1973, metode RMR dikembangkan melalui serangkaian penelitian pada rekayasa batuan di Afrika Selatan. Pada tahun 1989 diusulkan metode RMR terbaru yang pada artikel ini akan dibahas. Metode ini dapat diaplikasikan pada berbagai macam rekayasa batuan yaitu penambangan batubara (batuan lunak), penambangan batuan kuat (*hard rock mining*), kemantapan lereng, stabilitas fondasi dan kestabilan terowongan. Secara garis besar terdapat dua masukan di dalam metode klasifikasi ini yaitu masukan kualitas massa batuan yang mencakup lima parameter dan masukan kondisi strike dan dip bidang lemah yang nantinya akan mengurangi nilai kualitas massa batuan dengan pengurangan nilai bergantung kepada jenis rekayasa batuan yang dibuat (Tabel 1). Luaran dari metode ini berupa pengelompokan kualitas massa batuan dan pengaruhnya terhadap *stand up time*, perkiraan nilai kohesi masa batuan dan perkiraan sudut geser dalam massa batuan (Tabel 2) [4].

Berdasarkan (Tabel 1), dapat disimpulkan bahwa metode RMR₈₉ menggunakan lima parameter masukan yaitu: a. Kuat Tekan Uniaksial (UCS) (dapat diwakili oleh nilai *point load strength* (Is) dengan syarat nilai Is tidak kurang dari 1 MPa); b. *Rock Quality Designation* (poin a dan b mewakili parameter sifat mekanika batuan); c. Spasi bidang lemah; d. Kondisi bidang lemah yang meliputi panjang bidang lemah, lebar bukaan bidang lemah, kekasaran bidang lemah, jenis dan ketebalan material pengisi bidang lemah, dan kondisi pelapukan pada bidang lemah; e. Kondisi air tanah. Kemudian ditambah dengan koreksi *rating* berdasarkan orientasi bidang lemah yang nilainya bergantung kepada jenis rekayasa batuan yang diterapkan (Tabel 1 seksi B). Metode ini juga telah dilengkapi dengan perkiraan *stand up time*, kohesi, dan sudut geser dalam massa batuan. Dapat dikatakan, metode ini cukup lengkap sehingga menjadi metode klasifikasi massa batuan yang paling banyak digunakan. Metode ini memiliki kekurangan pada ketiadaan parameter *slake durability index*, sifat fisik batuan, tingkat pelapukan batuan serta belum memperhitungkan sifat-sifat khas pada batuan seperti batulempung dan batugamping.

Tabel 1. Klasifikasi *Rock Mass Rating* (RMR₈₉) (Bieniawski, 1989)

A		Kualiatas Massa Batuan						
No	Parameter	Rentang Nilai						
1	Kekuatan Batuan <i>Intack</i> <i>Point Load Index</i> (PLI) (MPa) <i>Uniaxial Compressive Strength</i> (UCS) (MPa) <i>Rating</i>	> 10	4 - 10	2 - 4	1 - 2	< 1 (Pada rentang ini gunakan nilai UCS)		
		> 250	100 - 250	50 - 100	25 - 50	5-25	1-5	< 1
2	<i>Rock Quality Designation</i> (RQD) (%) <i>Rating</i>	15	12	7	4	2	1	0
		90 - 100	75 - 90	50 - 75	25 - 50	< 25		
3	Spasi Bidang Lemah (mm) <i>Rating</i>	20	17	13	8	3		
		> 2.000	600 - 2.000	200 - 600	60 - 200	< 60		
4	Kondisi Bidang Lemah <i>Rating</i>	20	15	10	8	5		
		(Lihat Seksi C)						
5	Kondisi Air Tanah Debit Aliran per 10 m panjang terowongan (liter/menit) <i>Rasio Joint Water Pressure/Major Principal Stress</i> Kondisi Umum <i>Rating</i>	Tidak Ada	< 10	10 - 25	25 - 125	> 12	5	
		0	0 - 0,1	0,1 - 0,2	0,25 - 0,5	> 0,5		
		Benar-benar kering	Lembab	Basah	Menetes	Mengalir		
		15	10	7	4	0		
B		Koreksi <i>Rating</i> Berdasarkan Orientasi Bidang Lemah						
Arah <i>Strike dan Dip</i>		<i>Very Favourable</i>	<i>Favourable</i>	<i>Fair</i>	<i>Unfavourable</i>	<i>Very Unfavourable</i>		
<i>Rating</i>	<i>Tunnels and Mines</i>	0	-2	-5	-10	-		
(Berdasarkan Jenis Rekaya Batuan)	<i>Foundations</i>	0	-2	-7	-15	12		
	<i>Slopes</i>	0	-5	-25	-50	25		
						-		
						60		
C		<i>Rating</i> Kondisi Bidang Lemah						
Panjang Bidang Lemah (<i>Persitence</i>) (m) <i>Rating</i>		< 1	1 - 3	3 - 10	10 - 20	> 20		
		6	4	2	1	0		
<i>Separation</i> (lebar bukaan) (mm) <i>Rating</i>		Tidak ada	< 0,1	0,1 - 1	1 - 5	> 5		
		6	5	4	1	0		
Kekasaran <i>Rating</i>		Sangat kasar	kasar	Agak kasar	halus	<i>slickenside</i>		
		6	5	3	1	0		
Material Isian <i>Rating</i>		Tidak ada	<i>Hard filling</i> < 5 mm	<i>Hard filling</i> > 5 mm	<i>Soft filling</i> < 5 mm	<i>Soft filling</i> > 5 mm		
		6	4	2	2	0		
Pelapukan (<i>Weathering</i>) <i>Rating</i>		<i>Unweathered</i>	<i>Slightly Weathered</i>	<i>Moderately Weathered</i>	<i>Highly Weathered</i>	<i>Decomposed</i>		
		6	5	3	1	0		

Tabel 2. Arti Kelas Massa Batuan Menurut *Rock Mass Rating* (RMR₈₉) (Bieniawski, 1989)

<i>Rating</i>	100 - 81	81-61	60-41	40-21	<21
<i>Class Number</i>	I	II	III	IV	V
Deskripsi	<i>Very good rock</i>	<i>Good rock</i>	<i>Fair Rock</i>	<i>Poor Rock</i>	<i>Very poor Rock</i>
<i>Average Stand Up Time</i>	20 years for 15 m span	1 year for 10 m span	1 week for 5 m span	10 hours for 2,5 m span	30 minutes for 1 m span
Perkiraan Kohesi Massa Batuan (kPa)	> 400	300-400	200-300	100-200	< 100
Perkiraan Sudut Geser Dalam Massa Batuan	>45°	35°-45°	25°-35°	15°-25°	<15°

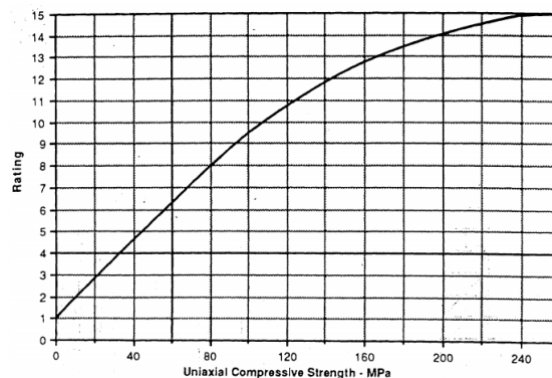
2. Rock Mass Rating 2014 RMR₁₄ (Celada et al., 2014)

Perbedaan mendasar metode RMR₁₄ dan RMR₈₉ terdapat penambahan parameter *slake durability index*. Metode ini dikembangkan berdasarkan proyek oleh Geocontrol SA Madrid yang dimulai dari tahun 2012 hingga tahun 2014. Tujuan proyek tersebut adalah untuk meningkatkan akurasi dari sistem RMR. Detail parameter yang digunakan pada klasifikasi ini beserta persamaan empiris yang digunakan adalah sebagai berikut [5] [6]:

- UCS (R₁)

Nilai UCS yang diperoleh baik melalui pengujian langsung ataupun perhitungan tidak, dimasukkan ke dalam grafik (Gambar 1) yang disusun oleh (Bieniawski, 1989) [4] dengan nilai maksimum R₁ sebesar 40. Kemudian oleh Zhang et al. (2019) dibuat persamaan empiris sehingga diperoleh nilai R₁ dengan persamaan sebagai berikut [7]:

$$R_1 = 0,42UCS^{0,65} \quad (1)$$



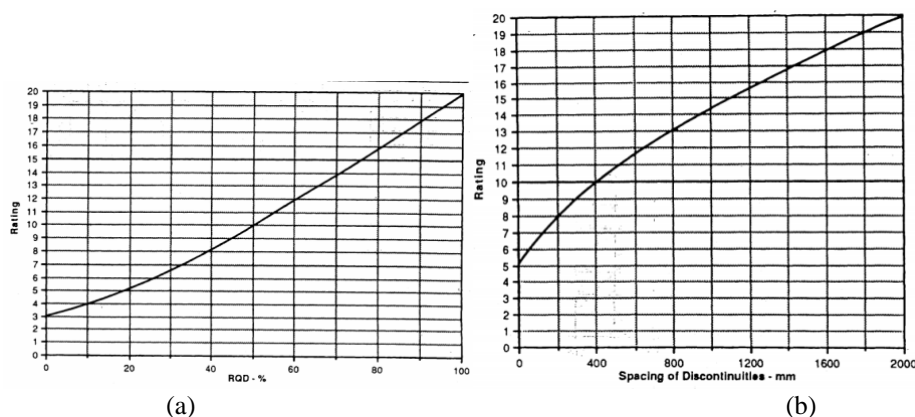
Gambar 1. Grafik Penentuan Rating UCS

Sumber: Bieniawski, 1989

- Jumlah bidang lemah per meter (R₂)

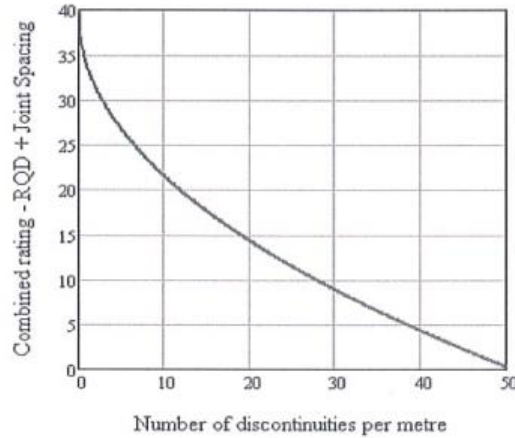
Parameter R₂ merupakan perpaduan antara nilai RQD dan spasi bidang lemah. Adapun nilai maksimal dari R₂ adalah 40 dengan porsi 20 dari RQD dan 20 dari spasi bidang lemah. Rating RQD dan spasi bidang lemah diperoleh dari grafik yang disusun oleh (Bieniawski, 1989) (Gambar 2)[4]. Kemudian *rating* yang diperoleh pada (Gambar 2) dijumlahkan lalu diplotkan pada grafik (Gambar 3) sehingga diperoleh jumlah bidang lemah per panjang 1 m (d_n) (Lawson dan Bieniawski, 2013)[8]. Nilai d_n juga dapat ditentukan dengan persamaan empiris (Persamaan 2) yang disusun oleh (Zhang et al. 2019) [7].

$$R_2 = 34,25 - 1,55 d_n + 0,033 d_n^2 - 3,25 \times 10^{-4} d_n^3 \quad (2)$$



Gambar 2. Grafik Penentuan Rating RQD (a) dan Spasi Bidang Lemah (b)

Sumber: Bieniawski, 1989



Gambar 2. Grafik Penentuan Nilai d_n
 Sumber: (Lowson dan Bieniawski, 2013)

- Kondisi Bidang Lemah (R_3)
 Kondisi bidang lemah dapat ditentukan melalui penjumlahan seluruh *rating* yang ada pada (Tabel 3) yang disusun oleh (Celada et al., 2014)[5].

Tabel 3. *Rating* Kondisi Bidang Lemah (Celada et al., 2014)

Panjang Bidang Lemah (<i>Persitence</i>) (m)	< 1	1 -3	3 -10	> 10
<i>Rating</i>	5	4	2	0
Kekasaran	Sangat kasar	kasar	Halus	<i>Slickenside</i>
<i>Rating</i>	5	3	1	0
Material Isian	<i>Hard</i>		<i>Soft</i>	
<i>Rating</i>	< 5 mm	> 5 mm	< 5 mm	> 5 mm
	5	2	2	0
Pelapukan (<i>Weathering</i>)	<i>Unweathered</i>	<i>Moderately Weathered</i>	<i>Highly Weathered</i>	<i>Decomposed</i>
<i>Rating</i>	5	3	1	0

- Kondisi Air Tanah (R_4)
Rating kondisi air tanah (R_4) menggunakan klasifikasi yang sama dengan RMR_{89} [5].
- *Intack Rock Alterabilty* (R_5)
 Nilai R_5 ditentukan dengan menggunakan nilai *slake durability index* (I_{d2}) yang mana pengujiannya menggunakan standar yang ditetapkan oleh ASTM D4644-87 (1998) [9]. Parameter ini menggambarkan kemudahan batuan untuk mengalami pelapukan. Nilai R_5 dapat ditentukan melalui (Tabel 4) yang disusun oleh (Celada et al., 2014) [5] atau menggunakan (Persamaan 3) yang disusun oleh (Zhang et al. 2019) [7].

$$R_5 = 0,1I_{d2} \tag{3}$$

Tabel 4. *Rating Intack Rock Alterabilty* (Celada et al., 2014)

<i>Slake Durability Index</i> (%)	> 85	60 - 85	30 - 60	< 30
<i>Rating</i>	10	8	4	0

Berdasarkan uraian di atas, dapat disimpulkan bahwa metode RMR_{14} memiliki tambahan parameter yaitu *slake durability index* yang tidak ditemui pada RMR_{89} . Sehingga, metode ini masih memiliki kekurangan di ketiadaan parameter sifat fisik batuan, tingkat pelapukan batuan serta belum memperhitungkan sifat-sifat khas pada batuan seperti batulempung dan batugamping.

3. Rock Mass Rating Untuk Batugamping Berongga (Wijaya, 2016)

Pengembangan dari RMR yang selanjutnya adalah *Rock Mass Rating* untuk Batugamping berongga. Metode ini disusun oleh Wijaya melalui penelitian pada pertambangan batugamping di wilayah Rembang, Jawa Tengah dan Tuban, Jawa Timur. Perbedaan metode ini dengan metode RMR_{89} adalah adanya penambahan parameter rongga batugamping (meliputi ketebalan batugamping berongga, persentase rongga batugamping, dan ukuran butiran) serta perbedaan pada pembobotan parameternya. Detail parameter yang digunakan beserta bobotnya dapat dilihat pada (Tabel 5) [10].

Tabel 5. Klasifikasi *Rock Mass Rating* Untuk Batugamping Berongga (Wijaya, 2016)

A		Kualitas Massa Batuan					
No	Parameter	Rentang Nilai					
1	Kekuatan Batuan <i>Intack</i>	<i>Point Load Index</i> (PLI) (MPa)	> 10	4 - 10	2 - 4	1 - 2	< 1 (Pada rentang ini gunakan nilai UCS)
		<i>Uniaxial Compressive Strength</i> (UCS) (MPa)	> 250	100 - 250	50 - 100	25 - 50	5 - 25
		<i>Rating</i>	5	3	2	1	0
2	<i>Rock Quality Designation</i> (RQD) (%)		90 - 100	75 - 90	50 - 75	25 - 50	< 25
		<i>Rating</i>	10	7	3	1	0
3	Spasi Bidang Lemah (mm)		> 2.000	600 - 2.000	200 - 600	60 - 200	< 60
		<i>Rating</i>	10	7	3	1	0
4	Kondisi Bidang Lemah				(Lihat Seksi B)		
5	Kondisi Air Tanah	Debit Aliran per 10 m panjang terowongan (liter/menit)	Tidak Ada	< 10	10 - 25	25 - 125	> 125
		<i>Rasio Joint Water Pressure/Major Principal Stress</i>	0	0 - 0,1	0,1 - 0,2	0,25 - 0,5	> 0,5
		Kondisi Umum	Benar-benar kering	Lembab	Basah	Menetes	Mengalir
		<i>Rating</i>	5	3	2	1	0
6	Kondisi Batugamping Berongga				(Lihat Seksi C)		
B		<i>Rating Kondisi Bidang Lemah</i>					
	Panjang Bidang Lemah (<i>Persitence</i>) (m)		< 1	1 - 3	3 - 10	10 - 20	> 20
		<i>Rating</i>	5	3	2	1	0
	<i>Separation</i> (lebar bukaan) (mm)		Tidak ada	< 0,1	0,1 - 1	1 - 5	> 5
		<i>Rating</i>	5	3	2	1	0
	Kekasaran		Sangat kasar	kasar	Agak kasar	halus	<i>slickenside</i>
		<i>Rating</i>	5	3	2	1	0
	Material Isian		Tidak ada	<i>Hard filling</i> < 5 mm	<i>Hard filling</i> > 5 mm	<i>Soft filling</i> < 5 mm	<i>Soft filling</i> > 5 mm
		<i>Rating</i>	5	3	2	1	0
	Pelapukan (<i>Weathering</i>)		<i>Unweathered</i>	<i>Slightly Weathered</i>	<i>Moderately Weathered</i>	<i>Highly Weathered</i>	<i>Decomposed</i>
		<i>Rating</i>	5	3	2	1	0
C		<i>Rating Kondisi Batugamping Berongga</i>					
	Ketebalan Batugamping Berongga (m)		< 0,5	0,5 - 1	1 - 2	2 - 3	> 3
		<i>Rating</i>	15	10	5	1	0
	Persentase Rongga Batugamping (%)		< 5	5 - 15	15 - 25	25 - 40	> 40
		<i>Rating</i>	15	10	5	1	0
	Ukuran Butiran (mm)		> 256	64 - 256	4 - 64	2 - 4	< 2
		<i>Rating</i>	15	10	5	1	0

Berdasarkan uraian di atas metode RMR untuk batugamping berongga telah memasukkan parameter rongga batugamping sehingga metode ini telah dapat menggambarkan dengan baik fenomena pelarutan batugamping oleh air. Hal ini memang selaras dengan tujuan pengembangan metode ini yaitu untuk mengetahui bagaimana pengaruh keberadaan air terhadap perubahan kualitas massa batuan batugamping. Tetapi metode ini hanya berfokus pada masalah penambahan parameter rongga batugamping dengan dasar pengembangan dari metode RMR₈₉ yang belum memasukkan parameter *slake durability index*. Sehingga masih terdapat kekurangan yaitu ketiadaan parameter sifat fisik batuan, *slake durability index*, tingkat pelapukan batuan serta belum memperhitungkan sifat-sifat khas pada batulempung.

3.2. Beberapa Persamaan Empiris Antar Klasifikasi Massa Batuan RMR

Selain terdapat perkembangan metode *rating* RMR, terdapat juga pengembangan rumus empiris antar klasifikasi massa batuan RMR. Rumus empiris ini dapat memudahkan untuk menilai berapa *rating* RMR yang dikehendaki apabila terdapat keterbatasan di dalam beberapa pengambilan data parameter yang dibutuhkan. Beberapa persamaan empiris antar klasifikasi RMR dapat dilihat pada (Tabel 6).

Tabel 6. Beberapa Persamaan Empiris antar Klasifikasi Massa Batuan RMR

Persamaan	Pengembang	Keterangan
$RMR_{14} = 1,1RMR_{89} + 2$ $R^2 = 0,982$	Celada et. al, 2014 [5]	Dikembangkan bersamaan dengan pengembangan RMR_{14}
$RMR_{14} = 0,77RMR_{89} + 17,64$ $R^2 = 0,7$	Rusydy dan Al-Huda, 2021 [6]	Dikembangkan berdasarkan penelitian pada batugamping kelompok Woyla, Aceh
$RMR_{14} = 1,0796RMR_{89} + 10,637$ $R^2 = 0,96$	Rehman et. al, 2018 [11]	Dikembangkan berdasarkan penelitian pada Formasi Murre (peralasan terlaterasi batupasir, batulanau, batulumpur, dan batuserpih), Azad Jammu dan Kashmir, Pakistan
$RMR_{89} = (60/70)*RMR_{14}$	Song, 2021 [12]	Penelitian lanjutan yang dilakukan oleh Zhang et al. (2019) berdasarkan pada 260 lokasi penelitian di berbagai tempat

Berdasarkan (Tabel 6), terlihat bahwa terdapat beragam persamaan empiris yang dihasilkan. Hal ini disebabkan oleh adanya perbedaan kondisi massa batuan pada lokasi penelitian tersebut. Untuk menggunkan persamaan empiris tersebut, tentunya harus mempertimbangkan kemiripan massa batuan sehingga diperoleh nilai *rating* yang mendekati nilai asli tersebut.

3.3. Pengembangan Klasifikasi Massa Batuan

Berdasarkan uraian sebelumnya, klasifikasi massa batuan yang telah dikembangkan masih memiliki beberapa kekurangan sehingga diperlukan pengembangan klasifikasi massa batuan. Kekurangan tersebut dapat disebabkan oleh parameter yang belum lengkap atau perbedaan kondisi massa batuan daerah penelitian yang baru dengan daerah penelitian di mana klasifikasi massa batuan tersebut dikembangkan

4. KESIMPULAN

Klasifikasi massa batuan RMR telah mengalami banyak pengembangan dengan menambahkan beberapa parameter baru. Hal ini untuk mengakomodir kekurangan parameter masukan pada RMR sebelumnya atau perbedaan kondisi massa batuan lokasi penelitian yang baru dengan lokasi penelitian RMR sebelumnya dikembangkan. Masing-masing versi RMR dapat dibuat persamaan empirisnya dan penggunaan persamaan empiris tersebut harus menyesuaikan dengan kemiripan kondisi massa batuan pada lokasi penelitian.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Prodi Teknik Pertambangan Institut Teknologi Yogyakarta yang telah memberikan dukungan penuh terhadap penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Siswanto S, Anggraini D. Perbandingan Klasifikasi Massa Batuan Kuantitatif (Q, RMR dan RMI). 2018. *Jurnal Geosains dan Teknologi*. 2008; 1(2): 67-73.
- [2] Agricola G. 1556. De re metallica. H.C. Hoover, L.H. Hoover. 1950. New York: Dover Publications, Inc.
- [3] Aydan Ö, Ulusay R, Tokashiki NA. New Rock Mass Quality Rating System: Rock Mass Quality Rating (RMQR) and Its Application to The Estimation Of Geomechanical Characteristics Of Rock Masses. *Rock Mechanics and rock engineering*. 2013; 47(4): 1255-1276.
- [4] Bieniawski ZT. Engineering Rock Mass Classification. Canada: John Wiley and Sons, Inc. 1989.
- [5] Celada B, Tardáguila I, Varona P, Rodríguez A, Bieniawski ZT. *Innovating Tunnel Design by an Improved Experience-Based RMR System*. Proceedings of the World Tunnel Congress. Foz do Iguacu. 2014: 1-9.
- [6] Rusydy I, Al-Huda N. New Rock Mass Classifications for Limestone of The Woyla Group and Its Empirical Relationship In Aceh Province, Indonesia. *Carbonates and Evaporites*. 2021; 36(15): 1-11.
- [7] Zhang Q, Huang X, Zhu H, Li J. Quantitative Assessments of The Correlations Between Rock Mass Rating (RMR) and Geological Strength Index (GSI). *Tunnelling and Underground Space Technology*. 2019; 83: 73-81.
- [8] Lawson AR, Bieniawski ZT. (2013, June). *Critical Assessment of RMR Based Tunnel Design Practices: a Practical Engineer's Approach*. Proceedings of the SME, Rapid Excavation and Tunnelling Conference. Washington, DC. 2013: 23-26.
- [9] ASTM. D4644-87 (1998). *Standard Test Method for Slake Durability of Shales and Similar Weak Rocks*. West Conshohocken. ASTM Int. 1998. <https://doi.org/10.1520/D4644-87R98>.
- [10] Wijaya, RAE. Pengembangan Metode Klasifikasi Massa Batuan Untuk Desain Tambang Batugamping Berongga. PhD Thesis. Yogyakarta: Postgraduate Universitas Gadjah Mada; 2016.

-
- [11] Rehman H, Naji AM, Kim JJ, Yoo HK. (2018). Empirical Evaluation of Rock Mass Rating and Tunneling Quality Index System for Tunnel Support Design. *Applied Sciences*. 2018. 8(5), 782-804.
- [12] Song Y. (2021). Discussion on The Paper Entitled “Quantitative Assessments of The Correlations Between Rock Mass Rating (RMR) and Geological Strength Index (GSI)” by Qi Zhang, Xianbin Huang, Hehua Zhu and Jianchun Li, Published in *Tunnelling and Underground Space Technology* (2019) 83: 73–81. *Tunnelling and Underground Space Technology*. 2021. 107, 1-3.