

Peningkatan Kestabilan Pilar Tambang Bawah Tanah Marmer di PT Gunung Marmer Raya

Purwanto^{*}, Nirmana Fiqra Qaidahiyani, Djamaluddin, Aryanti Virtanti Anas, Muhammad Ramli, Muhammad Antarirruanda
Universitas Hasanuddin
purwanto@unhas.ac.id*

Abstrak

PT Gunung Marmer Raya (PT GMR), merupakan tambang marmer bawah tanah dengan metode *room and pillar* yang terletak di sekitar 73 km sebelah utara Kota Makassar, di Desa Tabo-Tabo, Kecamatan Bungoro, Kabupaten Pangkep. Bidang diskontinyu berupa rekahan dijumpai memotong area produksi. Kegiatan pengabdian ini bertujuan untuk membuat desain ulang pilar sebagai upaya meningkatkan kestabilan tambang bawah tanah. Kegiatan ini dimulai dengan observasi lapangan, menentukan karakteristik batuan, melakukan klasifikasi massa batuan dengan *Q-system* hingga merancang kembali disain pilar untuk meningkatkan kestabilan tambang marmer bawah tanah tersebut. Berdasarkan perhitungan klasifikasi massa batuan menggunakan *Q-System*, rekomendasi penyanggaan adalah *systematic bolting* dan *fibre reinforced sprayed concrete* setebal 5-6 cm dengan jarak spasi antar-bolt 2,2 meter, atau *systematic bolting* tanpa lapisan *concrete* dengan jarak spasi antar-bolt 1,8 meter. Pemantauan kekar, utamanya pada pilar, perlu dilakukan secara rutin agar pergerakan kekar dapat diantisipasi jika menunjukkan pergerakan yang progresif. Dimensi panjang dan lebar pilar sebelumnya adalah 5 m x 5 m tidak direkomendasikan karena estimasi faktor keamanan yang dihasilkannya bernilai di bawah 1 (tidak aman). Berdasarkan hasil observasi dan perhitungan analitik, untuk ketinggian pilar hingga 11 meter diperoleh rekomendasi panjang dan lebar pilar yaitu 5 m x 9 m untuk *chain pillar* estimasi faktor keamanan 1,35-1,49; dan *barrier pillar* 5 m x 12 m estimasi faktor keamanan 1,58-1,74.

Kata Kunci: Tambang bawah tanah; metode *room and pillar*; sistem klasifikasi *Q-system*; kestabilan pilar; tambang marmer

Abstract

PT Gunung Marmer Raya (PT GMR), a *room and pillar* underground marble mining is located about 73 km to the north from Makassar, in Desa Tabo-Tabo, Kecamatan Bungoro, Kabupaten Pangkep. In the mining location, discontinuities are found as joint structure across the production area. The purpose of this service is to make pillar redesign that can improve the stability of underground mine. These activities start with field observation, determining the rock characteristic through sample testing in the laboratory, classifying the rock mass using *Q-system* method, up to redesigning a form of implementation to increase the stability of the marble underground mine. According to calculation of rock mass classification using *Q-System*, the recommended buffering is *systematic bolting* and *fiber reinforced sprayed concrete* as thick as 5-6 cm with spacing between bolts of 2.2 meters, or *systematic bolting* without concrete layering with spacing between-bolt 1.8 meter. Joint monitoring, especially on pillars, need to be done routinely so joint movement could be anticipated for progressive movement. The existing dimensions of pillar 5 m x 5 m in length and width is not recommended due to the safety factor is under 1,0 (unstable condition). Based on observation and analytic calculation, for each pillar height of up to 11 meters the pillar is recommended to redesign with length and width 5 m x 9 m for the *chain pillar* (safety factor around 1.35-1.49); and 5 m x 12 m for *barrier pillars* (safety factor around 1.58-1.74).

Key Words: Underground mining; *room and pillar* method; *Q-system* classification system; pillar stability; marble mining.

1. Pendahuluan

Sistem penambangan bawah tanah (*underground mining*) merupakan sistem penambangan yang ditujukan pada bahan galian yang tidak ekonomis di tambang jika dilakukan dengan sistem tambang terbuka, baik bahan galian batu bara maupun bahan galian bijih, atau pada bahan galian yang terletak di bawah hutan lindung, seperti yang telah tertuang pada Peraturan Pemerintah Nomor 24 Tahun 2010 tentang Penggunaan Kawasan Hutan dan Peraturan Presiden Nomor 28 tahun 2011 tentang Penggunaan Kawasan Hutan Lindung untuk Penambangan Bawah Tanah. Aplikasi tambang bawah tanah pada endapan marmer masih jarang digunakan. Sistem tambang bawah tanah ini memiliki beberapa kelebihan dibandingkan dengan sistem tambang permukaan, antara lain sebagai berikut:

- a. Marmer yang diperoleh dalam keadaan lebih segar, pelapukan di bawah permukaan terjadi lebih sedikit dibandingkan marmer yang terletak di permukaan; dan
- b. Dampak lingkungan yang dihasilkan lebih sedikit dibandingkan dengan sistem tambang terbuka yang dapat mengubah bentang alam di permukaan secara langsung.

Tujuan kegiatan pengabdian ini adalah untuk meningkatkan kestabilan pilar tambang marmer bawah tanah di PT Gunung Marmer Raya (PT GMR) sehingga aktivitas produksi dapat berlanjut, standar Kesehatan dan Keselamatan Kerja (K3) pun terpenuhi sehingga terwujud lingkungan kerja yang aman dan nyaman.

Tampak citra satelit area pertambangan PT Gunung Marmer Raya (PT GMR) dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Tampak Citra Satelit Area Pertambangan PT Gunung Marmer Raya (PT GMR), 2019. Diambil pada Tanggal 22 Juni 2019

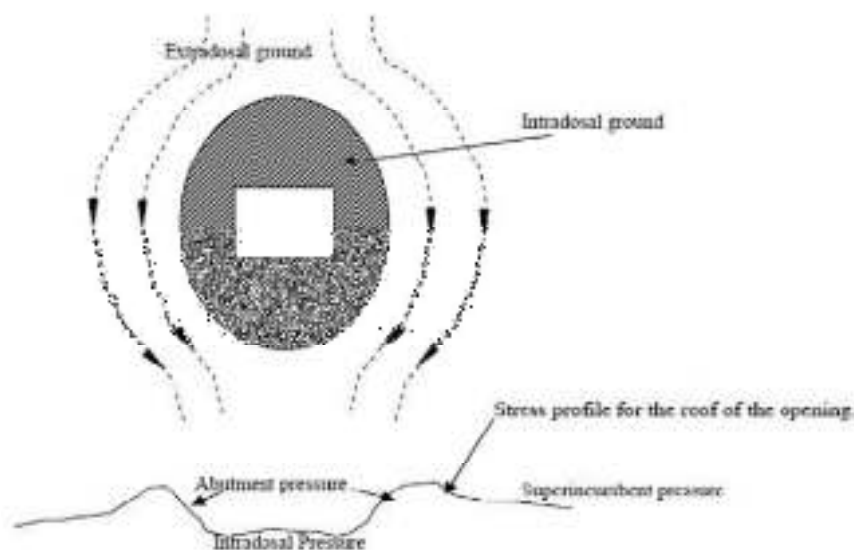
2. Sistem Penambangan dan Pertimbangan Geoteknik pada Tambang Bawah Tanah

Sistem penambangan bawah tanah umumnya dilakukan apabila sistem penambangan permukaan tidak memungkinkan. Hal tersebut karena sistem penambangan bawah tanah umumnya membutuhkan biaya operasi yang lebih tinggi, penggunaan alat-alat yang terbatas,

ketidakstabilan tambang yang lebih tinggi, dan kebutuhan penyanggaan untuk meningkatkan kestabilan yang lebih kompleks dibandingkan dengan sistem penambangan permukaan.

Jenis tambang marmer bawah tanah PT GMR ini adalah tambang bawah tanah swasangga dengan metode *room and pillar*. Pada kondisi awal ketika batuan belum mengalami ekskavasi, tegangan yang bekerja pada tempat tersebut berada pada kondisi stabil. Namun, ketika ekskavasi lubang bawah tanah dilakukan, tegangan yang bekerja di sekitar lubang bukaan akan mengalami gangguan dan terkonsentrasi di sekitar lubang bukaan tersebut. Gambar 2 memperlihatkan distribusi tegangan di sekitar lubang bukaan.

Metode tambang bawah tanah *room and pillar* umumnya digunakan pada tambang dengan potensi cebakan yang relatif datar seperti pada tambang batu bara dan marmer. Pada metode ini, desain penambangan berbentuk blok-blok persegi dengan menyisakan sebagian bahan galian sebagai pilar-pilar yang berfungsi untuk mendukung kestabilan tambang bawah tanah tersebut.



Gambar 2. Teori Busur Tekanan (Bieniawski, 1984)

Pada tambang bawah tanah dengan metode *room and pillar*, kestabilan tambang dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu tegangan yang bekerja, beban vertikal lapisan penutup, kondisi massa batuan, kedalaman penambangan, dan kekuatan pilar. Sebagai penyangga yang menopang tambang bawah tanah, ukuran pilar ditentukan berdasarkan beban atap/*overburden* material di atasnya. Selain itu, kondisi massa batuan dan kekuatan pilar penyangga juga sangat penting diperhatikan.

Perhitungan kestabilan pilar menggunakan redistribusi tegangan berdasarkan prinsip *tributary area* (Bieniawski, 1984., Kum 2014) meliputi:

- a. yang diasumsikan sebagai tekanan vertikal (P_o) yang tergantung berat dari massa batuan penutup;

$$P_o = \gamma h \quad (1)$$

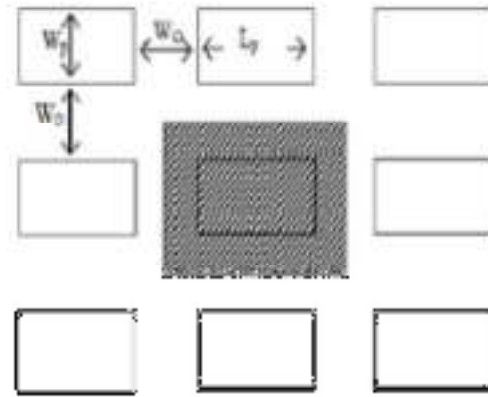
dengan

P_o = tekanan vertikal

γ = berat volume massa batuan

h = kedalaman dari permukaan; dan

- b. setiap pilar yang menyangga massa batuan di atasnya sesuai dengan luas pilar tersebut ditambah sebagian lainnya yang dibagi bebannya oleh pilar yang lain.



Gambar 3. Konsep *Tributary Area* pada Pembebanan Pilar (Bieniawski, 1984)

Beban pada pilar (P) dihitung melalui persamaan

$$P = (L_p + W_o) \times (W_p + W_o) \times \gamma \cdot h \quad (2)$$

dan tegangan pada pilar (σ_p) adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \sigma_p &= P / (\text{Luas Pilar}) = ((L_p + W_o) \times (W_p + W_o) \times \gamma \cdot h) / (L_p \times W_p) \\ \sigma_p &= ((L_p + W_o) \times (W_p + W_o) \times \sigma_v) / (L_p \times W_p) \end{aligned} \quad (3)$$

3. Metode untuk Menangani Permasalahan

Pada perencanaan penyanggaan tambang bawah tanah, perlu dilakukan beberapa kegiatan sebagai berikut.

i. Kegiatan Lapangan

Melakukan kajian geoteknik pada area penambangan dengan metode tambang bawah tanah meliputi pemetaan kondisi massa batuan dan pengambilan contoh batuan (*coring*) untuk uji laboratorium. Berdasarkan hasil kegiatan lapangan, analisis klasifikasi massa batuan dilakukan sebagai salah satu faktor yang memengaruhi kestabilan tambang bawah tanah dan rencana desain penyanggaan. Pada kegiatan ini klasifikasi massa batuan yang digunakan adalah *Q-system Tunneling Quality Index* (Barton, 2015).



Gambar 4. Kondisi Tambang Marmer Bawah Tanah PT Gunung Marmer Raya (PT GMR);
(a) Kondisi Portal Tambang Marmer Bawah Tanah dan Kekar yang Terlihat dari Luar; (b sampai d) Kondisi Kekar Utama pada Lubang Buka

ii. Kegiatan Laboratorium

Tujuan dari kegiatan laboratorium adalah untuk mendapatkan sifat fisik dan mekanis batuan. Data-data yang diperoleh dari kegiatan ini sangat dibutuhkan untuk analisis kestabilan dan desain penyanggaan tambang bawah tanah. Kegiatan uji laboratorium meliputi uji sifat fisik batuan dan uji sifat mekanis batuan. Dari hasil uji laboratorium akan diperoleh sifat fisik batuan yang meliputi densitas batuan, angka pori, dan porositas batuan. Adapun data yang diperoleh dari uji sifat mekanis batuan di laboratorium berupa nilai kuat tekan batuan (σ_c) dan modulus elastisitas batuan (E).

iii. Analisis Desain Penyanggaan

Desain penyanggaan akan dianalisis menggunakan metode empiris untuk kebutuhan material penyanggaan yang dibutuhkan.



Gambar 5. Sampel Batuan Marmer yang Telah Diuji di Laboratorium Geomekanika UNHAS untuk Mendapatkan Nilai Kuat Tekan Uniaksial atau Kekuatan Batuan pada Tambang Marmer PT Gunung Marmer Raya (PT GMR)

4. Hasil dan Diskusi

Hasil uji sifat fisik sampel batuan dari tambang marmer PT Gunung Marmer Raya (PT GMR) ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Rekapitulasi Hasil Uji Sifat Fisik pada Sampel Batuan Tambang Marmer PT Gunung Marmer Raya (PT GMR)

No.	ρ_n (gr/cm ³)	ρ_d (gr/cm ³)	ρ_s (gr/cm ³)	W %	S %	n %	e
1	2,22	2,22	2,23	0,000	0,00	0,01	0,0001
2	2,19	2,19	2,20	0,000	0,00	0,01	0,0001
3	2,42	2,42	2,44	0,003	0,33	0,02	0,0002
4	2,70	2,70	2,71	0,001	0,25	0,01	0,0001
Rerata	2,38	2,38	2,39	0,001	0,15	0,01	0,0001

Keterangan:

ρ_n	:	berat jenis natural	S	:	derajat kejenuhan
ρ_d	:	berat jenis kering	n	:	porositas
ρ_s	:	berat jenis jenuh	e	:	void ratio
W	:	kadar air natural			

Hasil uji kuat tekan uniaksial batuan tambang marmer PT Gunung Marmer Raya (PT GMR) ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Rekapitulasi Hasil Uji Kuat Tekan Uniaksial pada Sampel Batuan Tambang Marmer PT Gunung Marmer Raya (PT GMR)

No.	Kode Sampel	UCS (MPa)	E (MPa)
1	P1	19,72	2069,98
2	P2	17,71	2329,15
3	P3	19,23	4309,65
4	P4	17,26	2531,23
5	P5	22,43	5218,94
6	M1	18,55	3617,81
7	M2	17,71	1412,06
8	M3	23,83	4485,59
9	M4	20,24	5987,52
10	M5	13,97	3792,74
	Rerata	19,07	3575,47

Keterangan:

UCS	:	kuat tekan uniaksial
E	:	Modulus Young

Tegangan *in situ* vertikal dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$p_z = \rho gh = 2,4 \text{ ton/m}^3 \cdot 9,8 \text{ m/s}^2 \cdot 35 \text{ m} = 0,8 \text{ MPa} \quad (4)$$

Pada tambang marmer bawah tanah PT Gunung Marmer Raya (PT GMR) dengan metode *room and pillar*, bentuk lubang bukaan adalah persegi. Untuk mengestimasi besar tegangan tangensial

di sekitar lubang bukaan, digunakan metode perhitungan praktis dari Hoek dan Brown (1980) sebagai berikut.

$$\sigma_{\theta r} = (A \times k - 1)p_z \quad (5)$$

$$\sigma_{\theta w} = (B - k)p_z \quad (6)$$

Keterangan:

- $\sigma_{\theta r}$: tegangan tangensial pada atap lubang bukaan
 $\sigma_{\theta w}$: tegangan tangensial pada dinding lubang bukaan
 A : 1,9 untuk lubang bukaan persegi
 B : 1,9 untuk lubang bukaan persegi
 k : rasio tegangan horizontal terhadap tegangan vertikal
 p_z : tegangan in situ vertikal

Sebelum itu, rasio tegangan horizontal terhadap tegangan vertikal (k) dapat dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$k = 0,25 + 7Eh(0,001 + 1/z) \quad (7)$$

Keterangan:

- Eh : rerata modulus deformasi pada bagian atas lubang bukaan (GPa)
 z : kedalaman lubang bukaan di bawah permukaan (m)

Dari persamaan (4) hingga (7), diperoleh nilai sebagai berikut:

$$k = 0,25 + 7 \cdot 3,5755 (0,001 + 1/35) = 0,99 \approx 1$$

Karena nilai k sama dengan 1, nilai $\sigma_{\theta r} = \sigma_{\theta w}$ yaitu 0,72 MPa. Dengan demikian,

$$\sigma_{\theta}/\sigma_c = (0,72 \text{ MPa})/(19,07 \text{ MPa}) = 0,04$$

Adapun rekapitulasi parameter untuk nilai Q dapat dilihat pada Tabel 3 berikut:

Tabel 3. Rekapitulasi Parameter Nilai Q pada Massa Batuan Tambang Marmer PT Gunung Marmer Raya (PT GMR)

No	Parameter	Kondisi pada Massa Batuan Tambang Marmer PT Gunung Marmer Raya (PT GMR)	Nilai/Pembobotan
1	RQD	Sangat bagus	90
2	J_n	Jumlah set kekar	2,0
3	J_r	Mineral lempung mengisi rekahan cukup tebal untuk menghalangi sentuhan antara dinding	1,0
4	J_a	Terkonsolidasi secara kuat, isian mineral lempung	6,0
5	J_w	Aliran sedang melalui kekar pada area tertentu	0,7
6	SRF	Tegangan medium	2,35

Nilai Q dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$Q = RQD/J_n \times J_r/J_a \times J_w/SRF \quad (8)$$

$$Q = 90/2 \times 1/6 \times 0,7/2,35 = 2,23$$

Nilai Q tersebut kemudian dijustifikasi dengan dikalikan faktor 2,5 untuk massa batuan dengan kualitas sedang ($0,1 < Q < 10$) sehingga nilai Q yang digunakan pada desain adalah $5,575 \approx 6$ dengan kualitas massa batuan *fair*. Adapun nilai *span* yaitu nilai bukaan terbesar dalam lubang bukaan tanpa disangga, dalam hal ini sebesar 12 meter, sedangkan nilai *Excavation Support Ratio* (ESR) untuk bukaan tambang permanen bernilai 1,6.

Perencanaan pilar dilakukan dengan menentukan faktor keamanan atau *Factor of Safety* (FoS) pada pilar dengan persamaan sederhana:

$$FoS = P_s / \sigma_s \quad (9)$$

Keterangan:

FoS = faktor keamanan
 P_s = kekuatan pilar (MPa)
 σ_s = pembebanan pilar (MPa)

Oleh karena itu, dibutuhkan perhitungan kekuatan pilar serta perhitungan pembebanan terhadap pilar agar dapat menghitung faktor keamanan. Perhitungan kekuatan pilar menggunakan persamaan yang dikembangkan oleh Bieniawski, 1975 (dalam Bieniawski, 1984) dapat dilihat sebagai berikut.

$$P_s = K \times [0,64 + 0,34 (w/h)] \quad (10)$$

Keterangan:

P_s = kekuatan pilar (MPa)
 K = nilai kuat tekan / UCS (MPa)
 w = lebar pilar (m)
 h = tinggi pilar (m)

Kekuatan pilar dapat juga dihitung menggunakan persamaan yang dikembangkan oleh Obert & Duvall (1967) sebagai berikut.

$$P_s = K \times [0,778 + 0,222 (w/h)] \quad (11)$$

Keterangan:

P_s = kekuatan pilar (MPa)
 K = nilai kuat tekan / UCS (MPa)
 w = lebar pilar (m)
 h = tinggi pilar (m)

Dari perhitungan yang telah dilakukan seperti di atas, diperoleh beberapa hasil yang dapat digunakan sebagai acuan untuk penentuan dimensi pilar. Dalam hal ini, dilakukan perhitungan kekuatan pilar untuk dimensi pilar 5 m x 6 m, 5 m x 9 m, dan 5 m x 12 m. Dimensi pilar 5 m x 5 m seperti rencana awal tidak direkomendasikan untuk ketinggian pilar 11 meter sebab estimasi faktor keamanan yang dihasilkannya bernilai di bawah 1 (tidak aman).

Untuk dimensi pilar 6 m x 5 m, pembebanan pada pilar sebesar 14,43 MPa. Nilai ini belum melewati batas kekuatan batuan tambang marmer PT Gunung Marmer Raya (PT GMR), yaitu 19,07 MPa. Namun, ketika pilar ini digunakan untuk menyangga lubang bukaan hingga setinggi 11 meter, kondisi pilar menjadi kritis yang ditunjukkan dengan nilai estimasi faktor keamanan yang dihasilkan, yaitu 1,05. Rentang nilai faktor keamanan berdasarkan dimensi pilar tersebut

dapat dilihat pada Tabel 4. Dapat dilihat bahwa dimensi pilar yang dapat dikatakan aman, yaitu dimensi pilar 5 m x 9 m dan 5 m x 12 m. Dimensi pilar 5 m x 6 m masih bisa menjadi acuan ukuran pilar, hanya saja banyak pertimbangan yang perlu dilakukan karena dimensi pilar ini tergolong ke dalam kondisi kritis jika dilihat dari hasil estimasi faktor keamanan pilar tersebut, yaitu 1,05. Dimensi pilar tersebut hanya dapat digunakan jika tidak terdapat rekahan pada pilar yang akan dibuat tersebut. Adapun rekomendasi geometri pilar yang aman hingga ketinggian pilar 11 meter dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 4. Rekapitulasi Faktor Keamanan Pilar pada Kedalaman Bukaan 35 Meter di Area Tambang Marmer Bawah Tanah PT Gunung Marmer Raya (PT GMR) Menggunakan Mesin Binetti (Bieniawski, 1984)

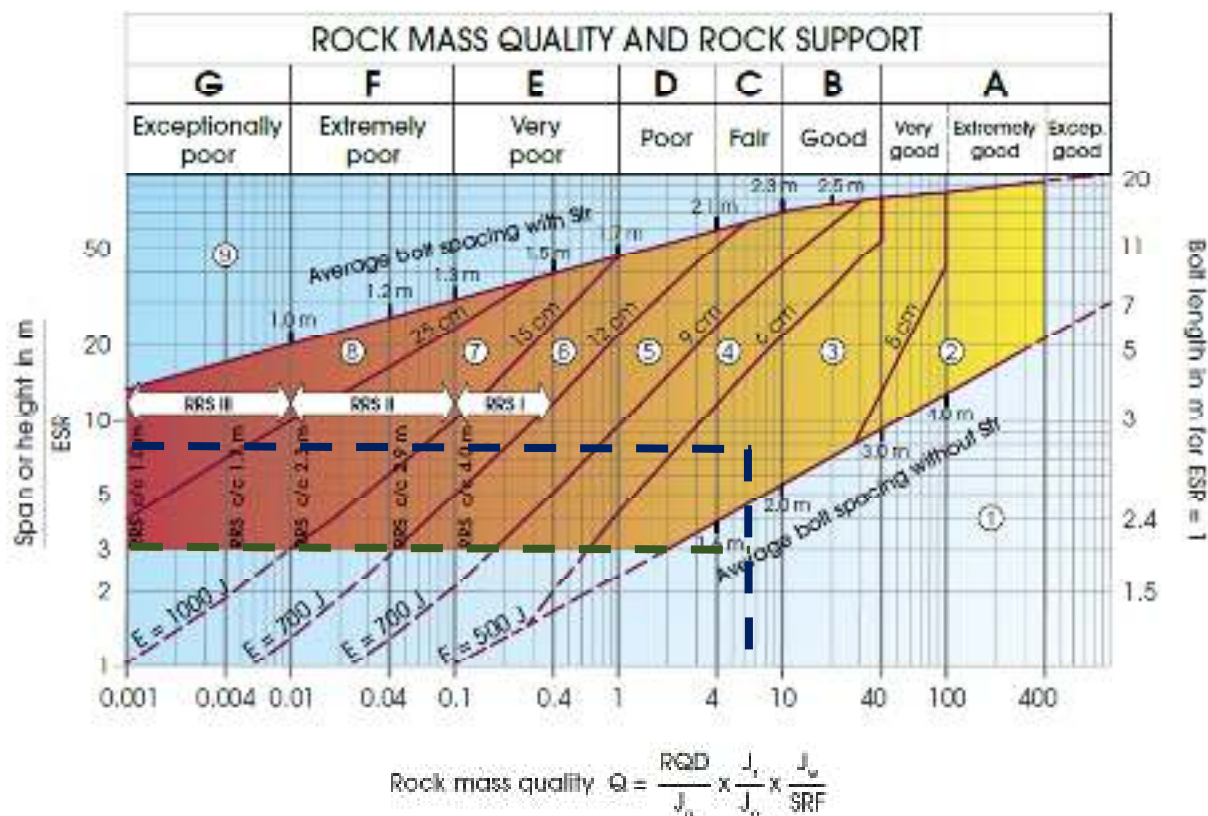
Dimensi Pilar			Tinggi OB (m)	Beban Pilar (MPa)	Kekuatan Pilar (MPa)		Faktor Keamanan	
Lebar (m)	Panjang (m)	Tinggi (m)		Szwilsky (1982)	Obert & Duvall (1967)	Bieniawski (1975)	Obert & Duvall (1967)	Bieniawski (1975)
5	6	5,5	35	14,43	18,69	18,10	1,30	1,25
5	6	11	35	14,43	16,76	15,15	1,16	1,05
5	9	5,5	35	11,23	18,69	18,10	1,66	1,61
5	9	11	35	11,23	16,76	15,15	1,49	1,35
5	12	5,5	35	9,62	18,69	18,10	1,94	1,88
5	12	11	35	9,62	16,76	15,15	1,74	1,58

Tabel 5. Rekomendasi Geometri Pilar Berdasarkan Perhitungan Faktor Keamanan Pilar

Jenis Pilar	Lebar Pilar (meter)	Panjang Pilar (meter)	Keterangan
Chain Pillar	5	6	Kondisi kritis. Banyak pertimbangan yang perlu diperhatikan. Tidak dapat digunakan pada pilar yang terdapat rekahan di dalamnya.
	5	9	Aman
Barrier Pillar	5	12	Aman

Nilai Q dan dimensi ekuivalen (rasio *span* terhadap *ESR*) akan digunakan sebagai acuan desain penyanggaan permanen. Nilai Q yang didapatkan dari hasil justifikasi yaitu 6, nilai dimensi ekuivalen adalah 12/1,6 yaitu 7,5 sehingga rekomendasi penyanggaan yang didapatkan melalui adalah *systematic bolting* dan *fibre reinforced sprayed concrete* setebal 5-6 cm dengan jarak spasi antar-bolt 2,2 meter, atau *systematic bolting* tanpa lapisan *concrete* dengan jarak spasi antar-bolt 1,8 meter. Jika tanpa penyanggaan, ukuran bukaan terlebar (*span*) yang diperbolehkan adalah 5 meter berdasarkan perhitungan nilai Q dan *span/ESR* pada Gambar 6.

Adapun pemasangan pengamanan berupa *wire mesh* pada atap lubang bukaan perlu di rekomendasikan untuk menghindari adanya runtuh batuan yang lepas dan berpotensi jatuh sehingga dapat mencelakakan pekerja tambang bawah tanah.



Gambar 6. Rekomendasi Penyanggaan Berdasarkan Nilai Q dan *Span*/ESR

Spesifikasi penguatan menggunakan *rock bolt* dan penyanggaan menggunakan *shotcrete* dapat dilihat pada Tabel 6 dan 7 berikut.

Tabel 6. Rekomendasi Spesifikasi Penguatan Menggunakan *Rock Bolt*

<i>Length (m)</i>	1.4	1.8	2.4
<i>Diameter (mm)</i>	33	46	46
<i>Tensile Capacity (kN)</i>	120	133	178
<i>Minimum Tensile Capacity (kN)</i>	71	107	120
<i>Bolt Modulus (MPa)</i>	200,000	200,000	200,000
<i>Bond Shear Stiffness (MN/m/m)</i>	12,000	12,000	12,000
<i>Yield Strength (MPa)</i>	415	510	554

Tabel 7. Rekomendasi Spesifikasi Penyanggaan Menggunakan *Shotcrete*

<i>Young's Modulus</i>	<i>Poisson's Ratio</i>	<i>Compressive Strength</i>	<i>Tensile Yield</i>	<i>Residual Yield</i>
21 GPa	0.15	35 MPa	20 MPa	10 MPa

5. Kesimpulan

Kegiatan pengabdian ini dilakukan untuk meningkatkan kestabilan pilar tambang marmer bawah tanah di PT Gunung Marmer Raya (PT GMR) sehingga aktivitas produksi dapat berlanjut, standar Kesehatan dan Keselamatan Kerja (K3) pun terpenuhi sehingga terwujud lingkungan

kerja yang aman dan nyaman. Dari analisis yang telah dilakukan, berikut beberapa usaha yang dapat dilakukan:

- 1) Berdasarkan perhitungan klasifikasi massa batuan menggunakan *Q-System*, rekomendasi penyanggaan adalah *systematic bolting* dan *fibre reinforced sprayed concrete* setebal 5-6 cm dengan jarak spasi antar-bolt 2,2 meter, atau *systematic bolting* tanpa lapisan *concrete* dengan jarak spasi antar-bolt 1,8 meter;
- 2) Jika tanpa penyanggaan, ukuran bukaan terlebar (*span*) yang diperbolehkan adalah 5 meter berdasarkan perhitungan nilai *Q* dan *span*/ESR.

6. Saran

- 1) Di lokasi tambang PT Gunung Marmer Raya (PT GMR), tepatnya di lubang bukaan area produksi, terdapat bidang diskontinuitas yang merupakan struktur geologi berupa rekahan yang menerus sepanjang area produksi tersebut. Oleh karena itu, pemantauan pada rekahan ini perlu dilakukan secara rutin agar dapat diantisipasi jika rekahan menunjukkan pergerakan yang progresif. Pemantauan dapat dilakukan dengan membuat tanda pada posisi awal rekahan sehingga dapat terlihat saat posisi rekahan sudah bergeser dari posisi awal. Adapun pergeseran posisi rekahan dapat dicatat setiap kali terdapat perubahan pada posisi; dan
- 2) Tambang bawah tanah marmer PT Gunung Marmer Raya (PT GMR) ini menggunakan metode *room and pillar*. Karena terdapat kehadiran rekahan pada tambang bawah tanah ini dan terdapat kemungkinan adanya rekahan tersebut pada pilar, perlu adanya penggunaan sabuk pada sekeliling pilar yang terdapat rekahan di dalamnya tersebut.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih kepada Kepala Teknik Tambang (KTT) PT GMR dan jajaran staf PT GMR yang telah memfasilitasi pelaksanaan kegiatan pengabdian ini serta turut serta mendorong keaktifan para pekerja yang berkaitan dalam kegiatan ini. Ucapan terima kasih kepada seluruh tim yang tergabung dalam grup kegiatan pengabdian ini dan LBE Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Daftar Pustaka

- Barton, N., (2015). *Rock Mass Classification and Support Design Using The Q-System*. Oslo: NGI.
- Bieniawski, Z.T., (1984). *Rock Mechanics Design in Mining and Tunneling*. A.A. Balkema, Rotterdam.
- Kun, M., (2014). *Evaluation and Applications of Empirical Approaches and Numerical Modeling of An Underground Limestone Quarry with Room and Pillar Design*. *Journal of Mining Science*, 50: 126.
- PT Gunung Marmer Raya (2019). *Profil PT Gunung Marmer Raya*. Terdapat pada laman <https://gmr-marble.com/?lang=id>. Diakses pada tanggal 6 April 2019.