

Analisis Geoteknik Metode RMR Dan Q-System Pada Bukaan Area *Batching Plant* Tambang Bawah Emas

Geotechnic Analysis Method RMR And Q-System at The Batching Plant Opening Area Underground Gold Mine

Danu Putra¹, Pantjanita Novi Hartami^{*2}, Natalia Febriani Cokro³, Edy Jamal Tuheteru⁴, Mixsindo Korra Herdyanti⁵

¹⁻⁵ Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknologi Kebumihan dan Energi, Universitas Trisakti

Corr Author: ¹danu.putra@trisakti.ac.id, ^{*2}nita2389@trisakti.ac.id, ³natalia073001800037@std.trisakti.ac.id, ⁴ejtuheteru@trisakti.ac.id, ⁵mixsindokorra@trisakti.ac.id

ABSTRAK

Batching plant merupakan tempat yang digunakan untuk mengolah berbagai macam bahan untuk beton siap pakai. Penempatan lokasi *batching plant* sebagai infrastruktur bawah tanah memiliki dampak signifikan pada penambangan karena secara tidak langsung dapat meningkatkan produktivitas dengan semakin dekatnya jarak infrastruktur terkait dengan lokasi *backfill*. Walaupun demikian, pembuatan infrastruktur bawah tanah menciptakan tantangan berupa resiko kestabilan bukaan infrastruktur yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan infrastruktur permukaan. Studi bertujuan merekomendasikan penyanggaan yang akan dilakukan pada bukaan awal dari lokasi yang akan dijadikan *batching plant*. Metode kuantitatif dan kualitatif berdasarkan pendekatan empiris *Rock Mass Rating* (RMR) dan Q-system dilakukan untuk menganalisis karakteristik massa batuan serta memberikan rekomendasi penyanggaan pada calon lokasi *batching plant*. Studi dilakukan dengan mempertimbangkan 2 *section* pada lokasi *batching plant* yang memiliki perbedaan karakteristik massa batuan yang cukup signifikan. Hasil studi membuktikan perbedaan yang signifikan antara kedua lokasi yang dianalisis dimana *section* kedua (B) memiliki kelas massa batuan yang relatif lebih rendah dibandingkan *section* pertama (A). Lebih lanjut, rekomendasi perkuatan dan penyanggaan diberikan pada kedua lokasi berdasarkan pendekatan RMR dan Q-system.

Kata-kata kunci: *Batching Plant*, *Q-System*, RMR

ABSTRACT

The *batching plant* is a facility used to process various materials for ready-mixed concrete. The placement of a *batching plant* as an underground infrastructure has a significant impact on mining operations as it indirectly improves productivity by reducing the distance between the related infrastructure and the *backfill* location. However, constructing underground infrastructure poses challenges, particularly in terms of stability risks compared to surface infrastructure. This study aims to recommend the support measures to be implemented in the initial excavation of the *batching plant* location. Quantitative and qualitative methods based on the empirical approaches of *Rock Mass Rating* (RMR) and Q-system were conducted to analyze the characteristics of the rock mass and provide support recommendations for the potential *batching plant* location. The study considered two sections within the *batching plant* location that exhibited significant differences in rock mass characteristics. The study results revealed significant differences between the two analyzed locations, with Location B having a relatively lower rock mass class compared to Location A. Furthermore, reinforcement and support recommendations were provided for both locations based on the RMR and Q-system approaches.

Keywords: *Batching Plant*, *Q-System*, RMR

Submitted: 22-07-2023; Revised: 18-01-2024; Accepted: 08-03-2024; Available Online: 27-07-2024

Published by: Mining Engineering, Faculty of Engineering, Universitas Lambung Mangkurat

This is an open access article under the CC BY-ND license <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

©2024, Geosapta

PENDAHULUAN

Kestabilan infrastruktur tambang bawah tanah merupakan hal yang esensial bagi penambangan. Berbeda dengan area produksi, area infrastruktur penunjang umumnya dibuat dengan mempertimbangkan tingkat keamanan yang lebih baik dikarenakan periode penggunaan yang relatif lama. Salah satu infrastruktur penunjang yang umum dibuat pada penambangan bawah tanah adalah *batching plant*. *Batching plant* adalah tempat yang untuk memproduksi dan mengolah beton, sehingga sering disebut sebagai pabrik beton. Terminologi lain *batching plant* adalah tempat untuk membuat material *filling* bagi bukaan yang bijih/*ore* yang sudah di tambang. Sesuai dengan fungsinya, salah satu langkah strategis penempatan lokasi *batching plant* adalah dengan mempertimbangkan jarak

lokasi *backfill*. Lokasi yang berdekatan dapat mengoptimalkan waktu siklus *filling*, yang secara tidak langsung dapat meningkatkan produktivitas penambangan [1], [2]. Walaupun demikian, pembuatan infrastruktur bawah tanah tentu memberikan tantangan khususnya terhadap kestabilan area infrastruktur tersebut [3]–[8].

Kestabilan bukaan tambang bawah tanah dapat dibuktikan dengan berbagai pendekatan [9]–[15]. Salah satu dari pendekatan ini yang banyak digunakan pada tambang bawah tanah di Indonesia adalah pendekatan empiris [16]–[18]. Q-system [19], dan *Rock Mass Rating* (RMR) [20] merupakan beberapa pendekatan empiris yang didasarkan pada pengumpulan data historis dengan kasus sejenis. Penggunaan metode ini secara umum adalah akuisisi data lapangan dan pembobotan menyesuaikan dengan

kondisi batuan di lokasi stud. Kedua metode ini juga memiliki kelebihan terhadap ketersediaan rekomendasi penyanggaan sesuai dengan kondisi batuan tersebut.

Penelitian ini mengaplikasikan metode empiris Q-system dan RMR sebagai salah satu cara assessmen keamanan serta rekomendasi penyanggaan lubang bukaan. Pendekata ini diaplikasikan pada infrastruktur *batching plant* di salah satu tambang bawah tanah emas di Indonesia. Dua penampang pada potensi lokasi *batching plant* dengan karakteristik batuan yang berbeda ditetapkan sebagai dasar penentuan dan penyanggaan pada lokasi studi.

METODOLOGI

Metodologi yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan metode kuantitatif dan kualitatif. Metode kuantitatif merupakan analisis yang dilakukan langsung di lapangan (sebagai data primer) dengan menggunakan instrumen atau alat ukur berupa kompas, alat bantu ukur *joint* seperti buku atau papan jalan, dan disto untuk mengukur lebar bukaan yang mau diukur untuk meneliti sebuah sampel atau bidang dengan menggunakan parameter RMR dan juga Q-system, dengan tujuan mendapatkan kondisi aktual. Sedangkan metode kuantitatif dilakukan dengan cara perhitungan serta pengolahan data yang didapatkan dari lapangan.

Pengambilan Data dan Alur Studi

Studi ini dilakukan pada penambangan bawah tanah emas yang berlokasi di Indonesia. Observasi dilakukan pada area yang akan dijadikan sebagai infrastruktur penambangan bawah tanah berupa *batching plant*. Sebagai dasar pelaksanaan analisis, beberapa data berikut diakusisi secara langsung:

- Sample berupa foto lokasi studi. Data ini digunakan sebagai konfirmasi dan penyelidikan lebih lanjut terhadap karakteristik massa batuan di lokasi studi.
- Dimensi bukaan infrastuktur berupa panjang lebar dan tinggi
- Jumlah set kekar (*family joint*)
- Orientasi set kekar berupa *strike* dan *dip* yang mewakili masing-masing set
- Jumlah kekar dalam rentang 1 m
- Kekasaran kekar
- Kondisi isi kekar, berupa undulasi, separasi serta material isi.
- Intensitas air pada lokasi studi
- Kuat tekan sampel batuan. Data ini didapatkan berdasarkan sampel batuan pada lokasi studi yang diujikan dengan metode uji *Point Load* (PLI)

Selain data yang telah disebutkan, beberapa data pendukung tambahan diperlukan sebagai dasar analisis lanjutan khususnya pada bagian penyanggaan. Data-data ini diambil berdasarkan rekam jejak maupun ketersediaan data oleh perusahaan.:

- Peta kerja lokasi studi.
- Peta geologi lokasi studi
- Spesifikasi material penyanggaan yang tersedia pada lokasi studi

Hasil akusisi data ini kemudian digunakan sebagai parameter masukan RMR dan Q-system dalam penentuan kelas massa batuan berikut dengan penyanggaan yang tepat diaplikasikan di lokasi studi. Pada akhir studi, pembahasan dilakukan terhadap kelas massa batuan dan penyanggaan yang telah di keluarkan.

Tinjauan Umum

Akusisi data disesuaikan dengan kebutuhan data analisis RMR dan Q-system sebagai klasifikasi massa batuan di lokasi studi. Studi ini dilakukan di salah satu tambang emas di Indonesia. Topografi dari lokasi studi termasuk ke dalam kawasan perbukitan sedang hingga terjal, dengan komposisi 15% merupakan daerah dataran sampai berombak dan sisanya yaitu 85% merupakan daerah bukit sampai gunung. Dengan penyebaran uratnya yang sekarang terletak pada 4 lokasi, yaitu : Blok A, blok B, blok C dan blok D. Metode penambangan yang digunakan pada lokasi tersebut adalah *cut and fill* yang merupakan salah satu metode penambangan bawah tanah yang memerlukan penyanggaan. Penggalan bijih dilakukan secara horizontal mengikuti kemenerusan dari badan bijih. Setiap kemajuan yang dilakukan dengan menggunakan peledakan, selalu diikuti dengan pengisian lombong oleh material pengisi (*filling material*) yang disiapkan di *batching plant* untuk menyanggah batuan dan mengembalikannya seperti semula (tidak berbentuk terowongan).

Kekuatan Batuan

Kekuatan batuan bergantung pada sifat fisik, sifat mekanik, dan sifatdinamik yang dimiliki pada masing-masing batuan. Sifat fisik yaitu berupa *density*, *specific gravity*, *porositas*, dan angka pori. Sifat mekanik berupa kuat geser, sudut geder dalam, *kohesi*, kuat tekan, kuat tekan uniaksial, *modulus young*, *poisson's ratio*, dan kuat tarik. Sifat dinamik berupa cepat rambat gelombang ultrasonik. Untuk menentukan sifat fisik dan dinamik kita memerlukan sampel uji dari batuan yang akan kita teliti dengancara pengeboran, yang nanti hasil batuan tersebut akan dibawa ke laboratorium untuk dilakukan pengujian.

Untuk mengetahui kekuatan dari suatu batuan maka diperlukan sebuah uji dari sifat mekanik batuan, yaitu uji kuat tekan uniaksial. Sampel batuan yang diambil dari lokasi studi dibawa ke laboratorium untuk dilakukan pengujian dengan menggunakan mesin kuat tekan. Bienawski [21] dan Tamrock [22] telah mengklasifikasikan jenis batuan berdasarkan kuat tekan uniaksial dari batuan tersebut (Tabel-1).

Tabel-1. Klasifikasi kuat tekan batuan

Klasifikasi	Kuat Tekan Uniaksial (Mpa)	
	Bienawski [23]	Tamrock [22]
Sangat Keras	250-700	200
Keras	100-250	120-200
Keras Sedang	50-100	60-120
Cukup Lunak	-	30-60
Lunak	25-50	10-30
Sangat Lunak	1-25	<10

RMR (Rock Mass Rating)

Klasifikasi RMR (*Rock Mass Rating*) merupakan suatu klasifikasi kelas massa batuan yang dikembangkan oleh Bieniawski [23], [24]. Metode klasifikasi ini menggunakan rating yang nilainya didasarkan pada pengalaman Bieniawski saat Bieniawski mengerjakan proyek-proyek di terowongan dangkal. Tujuan dari metode RMR ini adalah untuk mengklasifikasikan kualitas massa

batuan dengan menggunakan data permukaan, dalam rangka untuk mengetahui metode penggalian, peledakan serta rekomendasi penyanggaan yang tepat. Metode RMR menggunakan beberapa parameter yang diasumsikan paling berpengaruh untuk memberikan bobot nilai dari kualitas massa suatu batuan. Hasil dari klasifikasi massa batuan menggunakan RMR dapat digunakan untuk mendesain, membuat konstruksi, ataupun memberikan penguatan batuan pada terowongan (*underground*) ataupun tambang terbuka (*open pit*) dengan memperhatikan enam parameter, yaitu :

- Kuat tekan batuan utuh (UCS) dan Point Load Test (PLI). Kuat tekan batuan utuh dapat diperoleh dari hasil uji kuat tekan uniaksial, Uniaxial Compressive Strength (UCS) dan uji point load index, Point Load Index (PLI) Test.
- *Rock quality designation* (RQD). Pada tahun 1989 D.U.Deere [25], [26] memperkenalkan *Rock Quality Designation* (RQD) sebagai sebuah gambaran untuk memperkirakan kualitas dari massa batuan secara kuantitatif. RQD sangat penting saat digunakan dalam pembobotan massa batuan (*Rock Mass Rating*) dan pembobotan massa lereng (*Slope Mass Rating*). RQD dapat juga dikatakan sebagai presentase dari *coring* bor yang bagian intinya masih utuh, yaitu dengan panjang eh dari 100 mm terhadap panjang keseluruhan coring bor. Hasil dari pengukuran RQD diperlukan untuk menunjukkan kekuatan massa batuan secara representatif. Dimana secara umum, batuan yang saat diukur memiliki nilai RQD yang lebih besar, maka batuan tersebut memiliki massa batuan yang lebih kuat.
- Spasi diskontinuitas. Hasil dari pengukuran RQD diperlukan untuk menunjukkan kekuatan massa batuan secara representatif. Dimana secara umum, batuan yang saat diukur memiliki nilai RQD yang lebih besar, maka batuan tersebut memiliki massa batuan yang lebih kuat.
- Kondisi bidang diskontinuitas. Cara menilai kondisi bidang diskontinu jika dilihat dari tabel RMR oleh Bieniawski [27] dapat dibaca dengan dua cara, cara pertama adalah dengan langsung menentukan kondisi bidang yang sedang kita uji dalam *scanline*. Berdasarkan tabel tersebut, pilih yang paling cocok dengan deskripsi pada tabel. Lalu cara kedua dengan menjabarkan parameter-parameter dari kondisi kekar yang ada, kondisi diskontinuitas ini dipengaruhi oleh lima parameter, yaitu : panjang kekar (*discontinuity length*), lebar bukaan kekar (*aperture*), kekasaran bidang kekar (*roughness*), pengisi kekar (*infilling*), dan tingkat pelapukan (*weathering*).
- Kondisi air tanah. Cara menentukan kondisi air tanah adalah dengan cara mengamati langsung secara visual pada daerah sepanjang *scanline*, jika dirasa juga kurang yakin dapat menyentuh area tersebut agar lebih pasti. Kemudian kondisi yang di temukan di lapangan dapat dinyatakan sebagai keadaan umum seperti : kering (*completely dry*), lembab (*damp*), basah (*wet*), terdapat tetesan air (*dripping*), dan terdapat aliran air (*flowing*). Dimana nantinya masing-masing dari keadaan kondisi air ini mempunyai nilainya masing-masing dalam tabel RMR.
- Orientasi bidang diskontinu. Orientasi bidang diskontinu merupakan koreksi dari RMR yang dilakukan berdasarkan arah bukaan terowongan dan orientasi dari bidang diskontinu yang ada pada lokasi.

Orientasi bidang diskontinu akan menguntungkan jika arahnya tegak lurus terhadap sumbu terowongan, namun akan merugikan jika searah dengan dumbu terowongan. Arah umum biasanya dinyatakan dalam *strike/dip* atau *dip/dip direction*, kedua nilai ini dapat diperoleh dengan pengukuran di lapangan menggunakan kompas geologi.

Q-System

Klasifikasi batuan *Q-System* dikenal juga dengan istilah *Rock Tunneling Quality Index* untuk keperluan perancangan penyangga penggalian bawah tanah. *Q-System* digunakan dalam klasifikasi massa batuan sejak tahun 1980 di Iceland. Sistem ini pertama kali dikembangkan oleh Barton, dkk [19] berdasarkan pengalaman pembuatan terowongan terutama di Norwegia dan Finlandia.

Nilai *Q-system* dapat ditentukan dengan berbagai cara, misalnya dengan pemetaan geologi di bawah tanah (*underground*), di permukaan (*open pit*), atau sebagai alternatif dengan *core logging*. Nilai yang paling benar diperoleh dari pemetaan geologi bawah tanah. *Q-system* memiliki enam parameter yang masing-masing dari parameter tersebut ditentukan sesuai dengan deskripsi yang ditemukan dalam tabel. Parameter tersebut adalah sebagai berikut :

- *RQD (Rock Quality Designation)*. RQD didefinisikan oleh [28] dan dimaksudkan untuk digunakan sebagai system klasifikasi sederhana untuk stabilitas massa batuan. RQD awalnya di definisikan sebagai berikut “RQD adalah jumlah panjang (antara sambungan alami logging bor) dari semua potongan inti yang panjangnya lebih dari 10 cm (atau diameter inti x2) sebagai presentase dari total panjang inti”. Oleh karena itu, RQD akan menjadi presentase antara 0 dan 100.
- Jumlah kekar/*joint set number* (*J_n*). Bentuk dan ukuran blok dalam massa batuan tergantung pada geometri kekar. Kekar yang berada didalam satu *family* akan memiliki kemiringan yang hampir sama atau sejajar satu sama lainnya dan memiliki ciri khasnya sendiri. Kekar yang tidak terbentuk secara sistematis dan memiliki jarak beberapa meter disebut kekar acak (*random joints*).
- Kekasaran kekar atau kekar utama/*Joint Roughness* (*J_r*). Kekasaran *joint* tergantung pada kondisi natural di lapangan, apakah bergelombang, datar, kasar, atau halus.
- Derajat alterasi/*joint alteration* (*J_a*). Selain kekasaran sambungan, pengisi sambungan penting untuk melihat gesekan pada bukaan. Saat mempertimbangkan isi dari kekar/*joint* perlu diperhatikan dua faktor penting, yaitu ketebalan dan kekuatan. Faktor-faktor ini tergantung pada komposisi mineralnya.
- Aliran air/*joint water reduction* (*J_w*). Aliran air pada *joint* dapat melunakkan atau membersihkan pengisi *joint*, dengan demikian dapat mengurangi gesekan pada bidang bukaan. Tekanan air juga dapat mengurangi tegangan normal pada dinding bukaan dan menyebabkan balok menjadi lebih mudah bergeser. Penentuan faktor reduksi air pada *joint* didasarkan pada aliran air yang masuk dan tekanan air yang di amati pada bukaan tambang bawah tanah.
- Faktor Reduksi Tegangan/.*Stress Reduction Factor* (*SRF*). Secara umum, *SRF* menggambarkan hubungan antara tegangan dan kekuatan massa batuan di sekitar

bukaan tambang bawah tanah. Efek dari tegangan ini biasanya dapat diamati pada bukaan tambang bawah tanah seperti spalling, deformasi, squeezing, dilatancy, dan block release. Namun harus menunggu beberapa waktu terlebih dahulu sebelum fenomena stress terlihat.

Estimasi Tinggi Runtuh dan Beban Runtuh

Menurut [29] untuk membuat suatu korelasi untuk memperkirakan tahanan pendukung menggunakan Rock Mass Rating (RMR) pada lubang bukaan dengan atap datar, maka didapatkan persamaan tinggi beban melalui persamaan (1) dan besar dari beban secara vertikal yang terjadi pada lubang bukaan bawah tanah melalui persamaan (2). Dimana H_t merupakan tinggi runtuh, B adalah lebar terowongan (m), P_{RMR} adalah beban runtuh dan γ adalah densitas batuan (ton/m^3).

$$H_t = \frac{(100-RMR)}{100} \times B \quad (1)$$

$$P_{RMR} = \frac{(100-RMR)}{100} \times \gamma \times B \quad (2)$$

Uji Point Load (PL)

Batuan yang digunakan untuk pengujian PL dapat berbentuk silinder ataupun suatu bongkahan batuan, namun disarankan sampel berbentuk silinder dengan diameter 50 mm ($NX = 54$ mm, [30]). Menurut [31], index *point load* (Is) suatu contoh batuan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (3), dimana P adalah beban maksimum saat pecah (N) sementara D adalah diameter conto (mm)

$$L = \frac{P}{D^2} \quad (3)$$

HASIL DAN DISKUSI

Untuk mengetahui penyanggaan yang tepat digunakan pada suatu lokasi studi, maka harus dilakukan studi dengan menggunakan klasifikasi RMR [32] dan klasifikasi Q-system [33].

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, lokasi studi terbagi menjadi 2 *section*, yaitu *section A* dan *section B* dimana pemetaan dilakukan secara umum. *Section A* memiliki panjang 5 m, didapatkan titik-titik *strike* dan *dip* yang merupakan gambaran besar dari *strike* dan *dip* yang ada di lokasi tersebut.

Pada *section A*, didapatkan 8 data *strike* dan *dip* yang cukup mewakili batuan disekitarnya, sedangkan pada *section B*, didapatkan 6 data *strike* dan *dip* yang dapat mewakili batuan di sekitarnya. Hasil pemetaan *strike* dan *dip* pada *section A* ditampilkan pada Tabel-2 sementara Tabel-3 menunjukkan hasil pemetaan pada *section B*.

Terdapat kurang lebih 3 set kekar pada masing-masing penampang yang dianalisis. Hal ini terlihat dari orientasi kekar yang ditampilkan melalui Tabel-2 dan Tabel-3. Lebih lanjut, data ini akan digunakan sebagai dasar rekomendasi pada tahap selanjutnya.

Pada studi ini dilakukan uji PLI (*Point Load Index*) dengan menggunakan batuan sampel dari lokasi studi dimana batuan yang diambil merupakan bongkahan batuan dari batuan utuh yang dipecahkan menggunakan

palu geologi dan dikecilkan menjadi ukuran yang bisa digunakan untuk uji laboratorium *Point Load Index*. Hasil dari uji point load index berupa dimensi lebar, diameter batu, nilai *Point Load Index*, dan *point load* alat. Hasil pengujian ini lebih lanjut akan berfungsi sebagai pengganti nilai UCS yang umumnya didapatkan melalui uji kuat tekan uniaksial.

Tabel-2. *Strike dan dip di section A*

No Kekar	Strike (°)	Dip (°)
1	N 30 E	60
2	N 225 W	62
3	N 22 E	66
4	N 244 W	53
5	N 7 E	53
6	N 239 W	37
7	N 218 W	70
8	N 180 W	67

Tabel-3. *Strike dan dip di section B*

No Kekar	Strike (°)	Dip (°)
1	N 255 E	70
2	N 345 W	65
3	N 330 W	90
4	N 45 E	55
5	N 0 W	80
6	N 245 W	75

Salah satu parameter yang digunakan untuk tahap penentuan RMR adalah UCS. Pengujian UCS biasanya dilakukan di laboratorium dengan sampel batuan yang diambil dari lapangan langsung. Namun, pada studi ini, tidak dilakukan pengujian UCS secara langsung. Nilai UCS didapatkan melalui persamaan (4) berdasarkan nilai *Point Load Index* yang didapatkan melalui uji pada studi ini. Persamaan ini merupakan pendekatan empiris yang digunakan pada lokasi studi melihat karakteristik batuan di lokasi studi

$$UCS = \left(\frac{1}{0.0809} \right) \times PLI + 0.8411 \quad (4)$$

Rekomendasi Penyanggaan melalui Rock Mass Rating (RMR) Section A dan B

Penilaian terhadap RMR kemudian dapat dilakukan berdasarkan data-data yang telah dijabarkan sebelumnya Berdasarkan hasil analisis dan perhitungan diatas, diketahui bahwa total RMR dari *section A* adalah 61 dan masuk kedalam golongan batuan kelas II dan total RMR dari *section B* adalah 34 dan masuk kedalam golongan batuan kelas IV. Pembobotan pada masing-masing *section* secara mendetil dapat dilihat pada Tabel-4.

Tabel-4. Hasil analisis RMR pada kedua *section*

Kriteria	RMR Section A		RMR Section B	
	Nilai	Keterangan	Nilai	Keterangan
UCS	7	68,55	4	8,02
RQD	17	75-90%	8	25-50%
<i>Spacing Discontinuities</i>	20	>2 m	10	0,2-0,6 m
<i>Condition of Discontinuities</i>	25	<i>Slightly rough surfaces, separation <1 mm, slightly weathered walls</i>	20	<i>Slightly rough surfaces, separation <1 mm, highly weathered walls</i>
<i>Groundwater Condition</i>	4	<i>Drip</i>	4	<i>Drip</i>
<i>Effect of Discontinuity</i>	-12	<i>Strike parallel to tunnel axis (dip 45-90)</i>	-12	<i>Strike parallel to tunnel axis (dip 45-90)</i>

Perhitungan terhadap tinggi runtuh kemudian dapat dilakukan berdasarkan nilai RMR yang telah didapat pada kedua *section*. Persamaan (1) kemudian digunakan dalam menghitung tinggi runtuh melalui nilai RMR, B (lebar bukaan) sementara beban runtuh didapatkan berdasarkan persamaan (2) melalui perkalian antara tinggi runtuh dan *unit weight*. Beban total blok selanjutnya dihitung melalui persamaan (5) dengan mengkalikan hasil pada persamaan (2) dengan luas alas

$$\text{Beban total blok} = \text{luas alas} \times \text{beban runtuh} \times FS \quad (5)$$

Dari hasil perhitungan, pada *section A* diperlukan penyanggaan beban total blok sebesar 109,51 ton. Beban ini akan ditanggung oleh dasar penyanggaan berupa split set + mesh dengan panjang mesh adalah 2,4 m. Berdasarkan spesifikasi kekuatan material penyangga, beban yang bisa ditahan *split set* ini adalah 6,75 ton. Angka ini akan disesuaikan dengan n yang merupakan banyaknya *split set* yang dibutuhkan untuk menyangga bukaan. Persamaan (6) menjelaskan perhitungan n .

$$n = \text{lebar bukaan} + 1 \times 3 \quad (6)$$

Berdasarkan persamaan (6), jumlah split set yang harus dipasang adalah 21 buah. Total kekuatan penyanggaan adalah 141,75 ton didapatkan dengan mengkalikan jumlah rekomendasi split set dengan beban

yang mampu ditanggung oleh 1 split set. Nilai ini lebih dari nilai beban total blok yang harus disangga, ini berarti pada *section A* rekomendasi geoteknik penyanggaannya cukup dengan *split set* + *mesh* dengan spasi 1 m pada setiap *split set* terpasang.

Sedangkan pada *section B*, beban total blok yang harus dipasang mencapai 178,2. Hal pertama yang harus dilakukan adalah menggunakan *split set* + *mesh* seperti pada *section A*. Namun, karena material penyangga berupa *split set* + *mesh* hanya mampu menahan beban batuan sebanyak 141,75 maka tambahan penyanggaan berupa H-beam diperlukan. Sesuai dengan spesifikasi yang didapat dari lapangan, H-beam mampu menanggung beban 34 ton. Kebutuhan H-beam dihitung dengan cara mengurangi sisa beban total yang diperlukan dengan beban total yang sudah tersangga atau 94,2 ton. Beban ini didistribusi sehingga didapat kebutuhan H-beam sebanyak 3 buah. Maka, *section B* secara keseluruhan memerlukan penyanggaan berupa *split set* + *mesh* dengan spasinya 1 m ditambah dengan H-Beam dengan spasi 0,5 m sebanyak 3 buah.

Rekomendasi Penyanggaan melalui Q-system pada *Section A* dan *B*

Tabel-5 menggambarkan kondisi pembobotan Q-system pada *section A* dan *B*. Dapat terlihat dari pembobotan tersebut bahwa, Q-system memiliki rentang nilai yang lebih besar jika dibandingkan RMR ditunjukkan oleh rentang nilai pada *section A* dan *section B* yang cukup besar.

Tabel-5. Hasil analisis Q-System pada kedua *section*

Kriteria	Q Section A		Q Section B	
	Nilai	Keterangan	Nilai	Keterangan
RQD	80	8-12 Joints/m ³ (kelas:good)	30	20-27 joints/m ³ (kelas:poor)
Jn	6	Two joint sets plus random	6	Two joint sets plus random
Jr	1,5	Rough, irregular, planar	2	Smooth, undulating
Ja	1	Unaltered joint walls, surface staining only	8	Medium or low over-consolidation, softening, clay mineral fillings (continuous, but <5 mm thickness)
Jw	0,66	Medium inflow, occasional outwash of joint fillings (many drips/"rain")	0,66	Medium inflow, occasional outwash of joint fillings (many drips/"rain")
SRF	1	Medium stress, favourable stress condition	10	Heavy squeezing rock pressure

Selain dari pembobotan nilai, untuk mendapatkan rekomendasi penyanggaan melalui Q-system dibutuhkan nilai ESR yang merupakan nilai untuk tipe bukaan yang sesuai dengan rencana bukaan yaitu untuk *batching plant*. *Batching plant* memerlukan ruang khusus permanen yang bisa digunakan sampai akhir umur tambang, juga akan banyak kendaraan besar yang berlalu lalang untuk mengangkut material semen ke lokasi yang ingin di sanggah, selain itu tempat *batching plant* juga akan diisi dengan alat-alat untuk mengolah semen siap pakai, dan fungsi lainnya, maka ditetapkan nilai ESR 1,0. Persamaan (7) digunakan pada sumbu-Y grafik rekomendasi penyanggaan melalui Q-system.

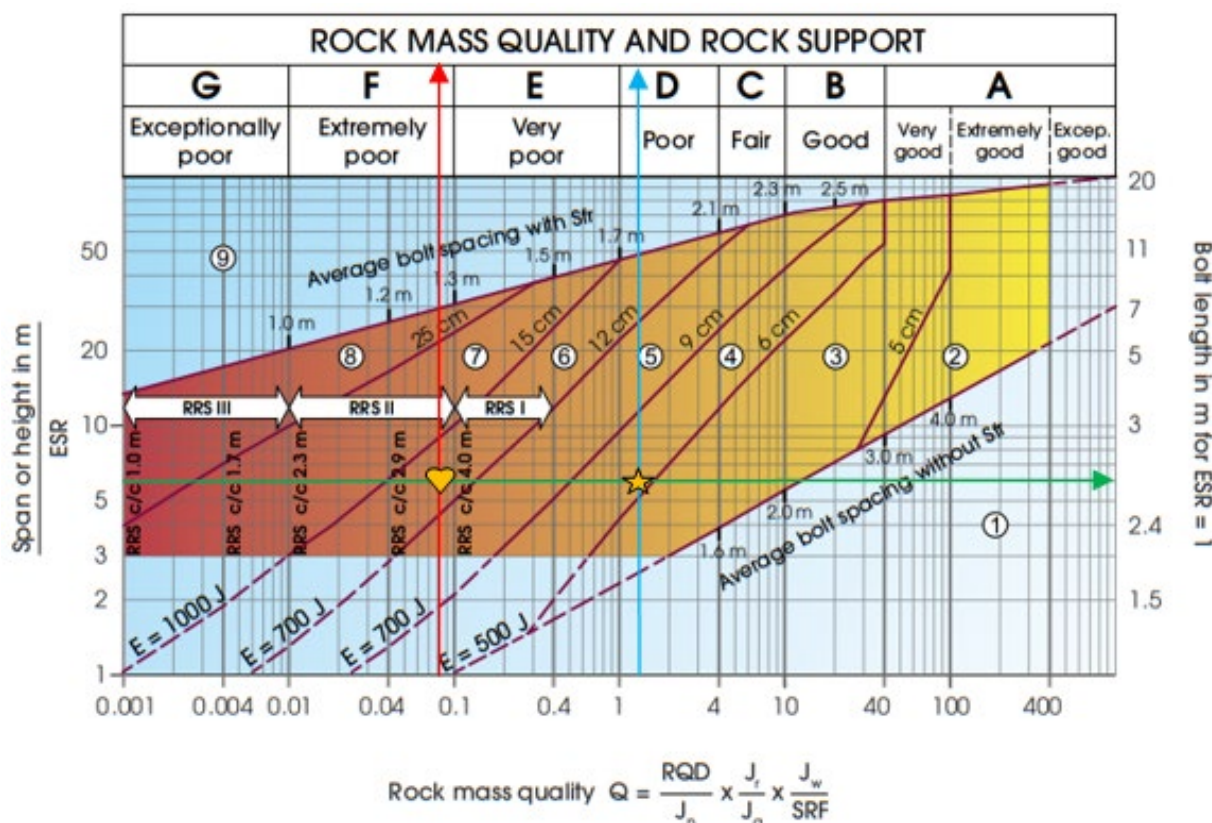
$$\frac{\text{Span or height in m}}{\text{ESR}} \quad (7)$$

Nilai *span or height* adalah 6 m dan nilai ESR adalah 1,0 maka nilai perbandingan dari span dibandingkan dengan ESR adalah 6. Nilai ESR ini sama untuk *section A* dan *section B* karena nilai *span* atau *height* serta nilai ESR

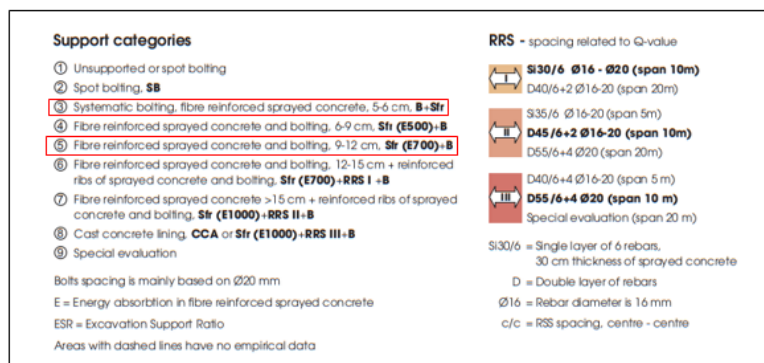
memiliki nilai yang sama.

Berdasarkan Gambar-1 dan Gambar-2, nilai yang di dapat dari penarikan garis adalah yang akan menjadi nilai sebagai acuan rekomendasi penyanggaan, pada zona A yang ditandai dengan lambang bintang merupakan titik dimana zona kelas batuan A, yaitu terdapat di angka 3 dan masih termasuk batuan yang baik, dengan begitu batuan ini masih bisa disanggah dengan *rockbolt* tanpa menggunakan *shotcrete* dengan jarak masing-masing antar *rockbolt* adalah 2 m, namun jika rekomendasi penyanggaannya dengan menggunakan *shotcrete* diperlukan jarak masing-masing antar *rockbolt* adalah 2,3 m dengan *systematic bolting, fibre reinforced sprayed concrete, 5-6 cm, B+Sfr*.

Sedangkan untuk batuan pada zona B, batuan yang ada merupakan batuan yang ada di angka 5, maka tidak ditemukan pemasangan *rockbolt* tanpa menggunakan *shotcrete*, namun jika menggunakan *shotcrete* dapat dilakukan dengan jarak dari masing-masing *rockbolt* adalah 1,35 m (*fibre* [tali/benang agar lebih lentur]) *reinforced sprayed concrete and bolting, 9-12 cm, Sfr [E700]+B*.



Gambar-1. Q-system dan penyanggaan pada kedua *section*



Gambar-2. Hasil rekomendasi penyanggaan dengan Q-system.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan yang bisa diambil dari penelitian ini adalah :

- Zona A dan Zona B memiliki kelas batuan RMR dan Q-system yang berbeda, Zona A merupakan batuan kelas III yang memiliki RMR 61 dengan rekomendasi penyanggaannya adalah *splitset + mesh* dengan spasi 1 m, dan Q-system 13,2 dengan rekomendasi penyanggaannya adalah *systematic bolting, fibre reinforced sprayed concrete*, 5-6 cm, B+Sfr.
- Zona B merupakan batuan kelas IV dengan RMR 34 dan rekomendasi penyanggaannya adalah *splitset + mesh* dengan spasi 1 m ditambah dengan H-beam dengan spasi 0,5 m, serta nilai Q-system nya adalah 0,08 dengan rekomendasi support berupa *fibre reinforced sprayed concrete and bolting*, 12-15 cm + *reinforced ribs of sprayed concrete and bolting*, Sfr (E700) + RRS I + B.

UCAPAN TERIMA KASIH

Peneliti mengucapkan terima kasih kepada perusahaan tambang bawah tanah emas yang telah bersedia memberikan lokasi serta data pada studi ini. Peneliti juga mengucapkan terimakasih kepada Universitas Trisakti khususnya Fakultas Teknologi Kebumihan dan Energi atas dana hibah penelitian internal periode 2022/2023 yang telah mendukung pelaksanaan studi ini.

DAFTAR ACUAN

- [1] C. Alford, M. Brazil, and D. H. Lee, "Optimisation in underground mining," *International Series in Operations Research and Management Science*, vol. 99, pp. 561–577, 2016, doi: 10.1007/978-0-387-71815-6_30.
- [2] L.-P. Campeau and M. Gamache, "Short-term planning optimization model for underground mines," *Comput Oper Res*, Feb. 2019, doi: 10.1016/J.COR.2019.02.005.
- [3] A. C. Adoko, J. Vallejos, and R. Trueman, "Stability assessment of underground mine stopes subjected to stress relaxation," *Mining Technology: Transactions of the Institute of Mining and Metallurgy*, vol. 129, no. 1, pp. 30–39, 2020, doi: 10.1080/25726668.2020.1721995.
- [4] W. R. Abdellah, M. A. Ali, and H.-S. Yang, "Studying the effect of some parameters on the stability of shallow tunnels," *Journal of Sustainable Mining*, vol. 17, no. 1, pp. 20–33, Jan. 2018, doi: 10.1016/J.JSM.2018.02.001.
- [5] S. Allı, H. Çanakçı, and M. Geniş, "An integrated study on stability assessment of the Seyrantepe underground openings (Gaziantep, Turkey)," *Arabian Journal of Geosciences* 2021 14:21, vol. 14, no. 21, pp. 1–18, Oct. 2021, doi: 10.1007/S12517-021-08544-8.
- [6] W. Abdellah, G. D. Raju, H. S. Mitri, and D. Thibodeau, "Stability of underground mine development intersections during the life of a mine plan," *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, vol. 72, pp. 173–181, 2014, doi: 10.1016/j.ijrmms.2014.09.002.
- [7] J. Man, M. Zhou, D. Zhang, H. Huang, and J. Chen, "Face stability analysis of circular tunnels in layered rock masses using the upper bound

- theorem," *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 2022, doi: 10.1016/j.jrmge.2021.12.023.
- [8] F. Fernández, J. E. G. Rojas, E. A. Vargas, R. Q. Velloso, and D. Dias, "Three-dimensional face stability analysis of shallow tunnels using numerical limit analysis and material point method," *Tunnelling and Underground Space Technology*, vol. 112, p. 103904, Jun. 2021, doi: 10.1016/j.tust.2021.103904.
- [9] Y. Potvin, "Empirical open stope design in Canada," University of British Columbia, 1988. doi: 10.14288/1.0081130.
- [10] C. Mawdesley, R. Trueman, and W. J. Whiten, "Extending the Mathews stability graph for open-stope design," *Mining Technology*, vol. 110, no. 1, pp. 27–39, Apr. 2001, doi: 10.1179/mnt.2001.110.1.27.
- [11] A. Mortazavi and B. Osserbay, "The Consolidated Mathews stability graph for open stope design," *Geotechnical and Geological Engineering* 2021, pp. 1–16, Jan. 2022, doi: 10.1007/S10706-021-02034-0.
- [12] A. El Omari *et al.*, "Numerical Analysis of Twin Tunnels Lining under Different Seismic Conditions," 2021.
- [13] G. F. Napa-García, T. R. Câmara, and V. F. Navarro Torres, "Optimization of room-and-pillar dimensions using automated numerical models," *Int J Min Sci Technol*, vol. 29, no. 5, Mar. 2019, doi: 10.1016/J.IJMST.2019.02.003.
- [14] H. N. Wang, G. S. Zeng, and M. J. Jiang, "Analytical stress and displacement around non-circular tunnels in semi-infinite ground," *Appl Math Model*, vol. 63, pp. 303–328, Nov. 2018, doi: 10.1016/J.APM.2018.06.043.
- [15] O. P. M. Vitali, T. B. Celestino, and A. Bobet, "Shallow tunnels misaligned with geostatic principal stress directions: Analytical solution and 3D face effects," *Tunnelling and Underground Space Technology*, vol. 89, pp. 268–283, Jul. 2019, doi: 10.1016/J.TUST.2019.04.006.
- [16] R. Pratama, T. Bisri, and F. Fauziyyah, "Wedge Analysis for Determining Ground Support Demand in Pongkor GMBU Underground Mine PT. Antam (Persero) Tbk," in *Mine Planning and Equipment Selection*, Cham: Springer International Publishing, 2014, pp. 431–445. doi: 10.1007/978-3-319-02678-7_42.
- [17] I. Sophian, Z. Zakaria, R. Pratama, and Y. Firmansyah, "Determination of Maximum Unsupported Span and Stand Up Time Value using Q-System Method (Case Study: Pongkor Area, Nanggung Subdistrict, Bogor District, West Java Province)," *Journal of Geological Sciences and Applied Geology*, vol. 2, no. 4, 2018.
- [18] A. Sutanti and D. P. Wijaya, "Rancangan Teknis Penyanggaan Berdasarkan Kelas Massa Batuan Dengan Menggunakan Metode RMR dan Q-System di Terowongan Gudang Handak dan Pasir Jawa UBPE Pongkor PT. Aneka Tambang Persero Tbk," in *Seminar Nasional XI: Rekayasa Teknologi Industri dan Informasi*, 2016.

- [19] B. et al., "Using the Q-system: rock mass classification and support design," *Norwegian Geotechnical Institute*, 2013.
- [20] A. R. Lowson, Pe, and Z. T. Bieniawski, "Critical assessment of RMR based tunnel design practices: a practical engineer's approach," in *Rapid Excavatioan and Tunneling Conference*, Washington, D.C.: SME, 2013, pp. 23–26.
- [21] Z. T. Bieniawski, *Engineering rock mass classifications: a complete manual for engineers and geologists in mining, civil, and petroleum engineering*. John Wiley & Sons, 1989.
- [22] "Excavation engineering handbook tamrock," 1999. <https://www.scribd.com/document/157005489/Excavation-Engineering-Handbook-Tamrock-1> (accessed Jul. 19, 2023).
- [23] Z. T. Bieniawski, "Engineering classification of jointed rock masses," *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts*, vol. 11, no. 12, 1974, doi: 10.1016/0148-9062(74)92075-0.
- [24] Z. T. Bienawski, "Rock mass classifications in rock engineering," vol. 1, pp. 97–106, 1976.
- [25] D. U. Deere, "Technical description of rock cores for engineering purposes," *Rock Mechanics and Engineering Geology*. 1964. Accessed: Mar. 02, 2020. [Online]. Available: <https://web.mst.edu/~rogersda/umrcourses/ge341/Technical%20Description%20of%20Rock%20Cores.pdf>
- [26] D. U. Deere, *The rock quality designation (RQD) After 20 Years*. 1989.
- [27] Z. T. Bieniawski, *Rock mechanics design in mining and tunneling*. 1984.
- [28] D. U. Deere, *The rock quality designation (RQD) After 20 Years*. 1989.
- [29] E. Unal, "Development of Design Guidelines and Roof Control Standart for Coal Mine Roofs," 1983.
- [30] ISRM, "'Suggested Methods for Determining Point Load Strength', International Society for Rock Mechanics Commission on Testing Methods," *Int. J. Rock. Mech. Min. Sci. and Geomechanical Abstr.*, vol. 22, no. 2. pp. 53–60, 1985.
- [31] E. Broch and J. A. Franklin, "The point-load strength test," *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts*, vol. 9, no. 6, pp. 669–676, Nov. 1972, doi: 10.1016/0148-9062(72)90030-7.
- [32] Z. T. Bieniawski, "Engineering classification of jointed rock masses. discussions of paper by Z.T. Bieniawski, trans. s. afr. instn. civ. engrs. v15, n12, Dec. 1973, and authors reply," *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts*, vol. 11, no. 12, 1974, doi: 10.1016/0148-9062(74)92075-0.
- [33] Barton et al., "Using the Q-system: rock mass classification and support design," *Norwegian Geotechnical Institute*, 1974.