

Analisis kestabilan Terowongan SOD level 7 pada tambang bijih emas bawah tanah Di PT. Dempo maju cemerlang pesisir selatan

Halid candra^{1,*}, Drs. Raimon Kopa, M.T

¹Jurusan Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang

*halidcandra28@gmail.com

Abstract. PT. Dempo maju Cemerlang is a company operating in the gold mining sector. Gold mining of PT. Dempo maju cemerlang using an underground mining system with the shrinkage method. Mining is carried out by tunneling the main entrance and access to the ore deposits . So that tunnel enlargement activities are carried out to facilitate access to the location and transportation of mining products. So that the tunnel causes a decrease in the safety factor from 3,576 to 1,772 so it is necessary to install a buffer system. The support system must be carefully determined so that its use is optimal , at the SOD level 7 location, the depth of 500- 510 meters has not been used. So that the installation of a buffer will be carried out *split set* according to the total collapse load obtained from the tunnel. Analysis needs to be done to determine the condition and rock mass class and to determine the proper installation of supports to the tunnel. The RMR value ranges from 49 - 59, which means the rock mass is categorized into class III rock (fair rock). The support for the split set that must be installed in the tunnel is 3 *split sets* per meter so that the security factor of the tunnel is stable, meaning it is in accordance with the expected safety factor.

Keywords: Tunnel, Safety Factor, RMR-System, Ground Support

1 Pendahuluan

PT. Dempo Maju Cemerlang, yang berlokasi di Nagari Tambang Kecamatan IV Jurai Kabupaten Pesisir Selatan Provinsi Sumatera Barat, merupakan sebuah perusahaan yang bergerak di bidang pertambangan bijih (emas). Keberadaan *ore* yang ada pada wilayah eksploitasi adalah berbentuk *vein* (urat kuarsa) yang memanjang dan vertikal dengan kemiringan 70°. Sistem penambangan yang diterapkan pada PT. Dempo maju cemerlang merupakan sistem tambang dalam atau *Underground Mining* dengan metode *Shrinkage*.

Proses penambangannya, PT. Dempo maju cemerlang menggunakan metode *shrinkage* yaitu penambangan dengan cara membuat level-level. Diantara level-level tersebut dibuat *stope-stope* atau ruangan-ruangan. Dalam proses pengambilan bijih dihancurkan secara metode *over hand* (penggalian ketas) dan dibiarkan berkumpul didalam *stope*. Penambangan bijih dilakukan pada sayatan horizontal dimulai dari *bagian* bawah mengarah keatas melalui

suatu *manway*. *Manway* dibuat dekat pillar vertical yang memisahkan *stope* yang berdekatan.

Dalam proses penambangan bawah tanah, penyanggaan (*supporting*) dan penguatan (*reinforcement*) merupakan salah satu faktor penting dalam keberlangsungan operasi kegiatan penambangan. Hal ini berkaitan dengan faktor keselamatan (*safety facto*) kerja serta produktivitas kerja. Pentingnya suatu penyanggaan dan penguatan dapat diperhatikan pada kegiatan produksi dan *development*, seperti pada kegiatan pengeboran untuk peledakan produksi, pemuatan, pengangkutan, kegiatan pengeboran.

Penggunaan sistem penyanggaan dan penguatan yang tepat akan berdampak pada lokasi kerja yang lebih aman serta target produksi yang direncanakan dapat tercapai. Untuk memenuhi tuntutan tersebut, maka pembuatan desain penyanggaan harus sesuai dengan kondisi batuan dan keadaan ketidakmenerusan yang terbentuk dari lokasi penambangan dan kaidah geologi teknik yang baik.

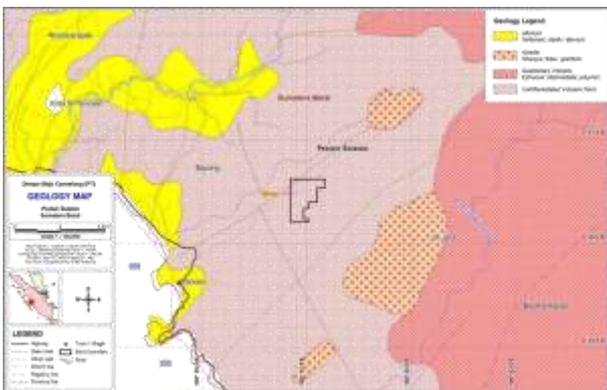
PT. Dempo Maju Cemerlang merupakan tambang tua sejak zaman Belanda pada tahun 1669 dengan ukuran dimensi terowongan yaitu lebar 180 cm dan tinggi 160 cm. Dalam melakukan eksploitasi dengan metode *skrinkage* pada tahun 2019 PT. Dempo Maju Cemerlang melakukan pelebaran terowongan dengan ukuran dimensinya menjadi lebar 220 cm dan tinggi 240 cm, agar mempermudah pekerja dan akses *hauling*. Jenis batuan pada wilayah penambangan yaitu lava andesit, kuarsit dan batu pasir kuarsa.

Pemilihan terowongan SOD level 7 sebagai tempat pengamatan penelitian karena adanya kegiatan perbesaran lubang terowongan akan terjadi ketidakstabilan terhadap terowongan, disamping itu dilokasi batuan yang berkekar dan kondisi air yang banyak di rongga batuan, sehingga berpengaruh terhadap kestabilan terowongan, kemungkinan akan terjadi keruntuhan yang dapat berasal dari atap atau meluncur keluar dari dinding samping terowongan. Hal ini biasanya akan selalu membutuhkan penanganan khusus terutama keselamatan pekerja dan keselamatan peralatan yang terdapat di dalam tambang.

2 Tinjauan Pustaka

2.1 Lokasi penelitian

Penelitian ini dilakukan pada tambang bawah tanah PT. Dempo Maju Cemerlang merupakan tambang tua yang dikenal dengan nama Tambang Salido, ditemukan oleh perusahaan Belanda pada tahun 1669 dan ditutup pada tahun 1928. Kegiatan penambangan emas primer PT. Dempo Maju Cemerlang (PT. DMC) dilakukan atas dasar telah diterbitkannya Izin Usaha Pertambangan (IUP) Operasi Produksi PT. DMC untuk bahan galian emas primer seluas 195 Ha, berdasarkan Keputusan Bupati Pesisir Selatan No.516/476/Kpts/BPT-PS/2009 tanggal 4 November 2009 tentang Persetujuan Peningkatan Izin Usaha Pertambangan Eksplorasi menjadi Izin Usaha Pertambangan Operasi Produksi kepada PT. DMC.



Gambar 1. Peta geologi dan Izin usaha pertambangan PT. Dempo maju Cemerlang

2.2 Sistem *Rock Mass Rating*

Rock Mass Rating (RMR) atau dikenal dengan *Geomechanics Classification* dikembangkan oleh Bieniawski pada tahun 1973, 1976, dan 1989. Metode klasifikasi ini dengan menggunakan rating yang besarnya didasarkan pada pengalaman Bieniawski dalam mengerjakan proyek-proyek terowongan dangkal. Metode ini telah dikenal luas dan banyak diaplikasikan pada keadaan dan lokasi yang berbeda-beda seperti tambang pada batuan kuat, terowongan, tambang batubara, kestabilan lereng, dan kestabilan pondasi. Metode ini dikembangkan selama bertahun-tahun seiring dengan berkembangnya studi kasus yang tersedia dan disesuaikan dengan standar dan prosedur yang berlaku secara internasional (Bieniawski, 1979).²

Sistem klasifikasi massa batuan dengan RMR dari Bieniawski (1973) menggunakan enam parameter dasar untuk pengklasifikasian dan evaluasi hasil uji. Keenam parameter tersebut membantu perkiraan lebih lanjut hasil analisis stabilitas sampai permasalahan khusus geomekanika batuan, yaitu:

- [1] Kuat tekan uniaksial batuan utuh
- [2] *Rock Quality Designation* (RQD)
- [3] Spasi bidang diskontinu
- [4] Kondisi bidang diskontinu
- [5] Kondisi air tanah
- [6] Orientasi bidang diskontinu

Masing-masing dari parameter di atas memiliki nilai pembobotan yang dibuat berdasarkan pengalaman di berbagai lokasi tambang. Bobot masing-masing parameter akan dijumlahkan untuk memperoleh bobot total massa batuan. Berikut penjelasan masing-masing parameter:

2.2.1 Kuat Tekan Batuan Utuh

Kuat tekan batuan utuh dapat diperoleh dari uji kuat tekan uniaksial, *Uniaxial Compressive Strength* (UCS) dan uji *pointload*, *Point Load Test* (PLI) dalam geometri yang beraturan, baik dalam bentuk silinder (tabung), balok atau tidak beraturan, sesuai dengan standar yang ada.

2.2.2 *Rock Quality Design* (RQD)

RQD didefinisikan sebagai presentase dari bagian inti yang utuh dengan panjang lebih dari 100 mm terhadap total kedalaman lubang bor (core run). Priest dan Hudson (1979) memberikan hubungan antara nilai RQD dengan jarak antar bidang diskontinu yang ada didalam massa batuan atau joint spacing (Js), perhitungan RQD biasa didapat dari perhitungan langsung dari singkapan batuan yang mengalami retakan-retakan (baik lapisan batuan maupun kekar atau sesar).

2.2.3 Spasi Diskontinuitas

Spasi bidang diskontinuitas didefinisikan sebagai jarak tegak lurus antara dua diskontinuitas berurutan sepanjang garis pengukuran yang dibuat sembarang.

2.2.4 Kondisi Bidang Diskontinu

Ada beberapa parameter yang digunakan oleh Bieniawski dalam memperkirakan kondisi permukaan bidang diskontinu, yaitu:

- Kemenerusan (*persistence*)
- Bukaan/ rekahan (*aperture*)
- Kekasaran permukaan bidang diskontinu (*roughness*)
- Material pengisi (*infilling/gouge*)
- Pelapukan

2.2.5 Kondisi Air Tanah

Kondisi air tanah ditentukan dengan mengamati atap dan dinding terowongan secara visual. Kemudian kondisi air tanah yang ditemukan dapat dinyatakan sebagai keadaan umum seperti kering (*completely dry*), lembab (*damp*), basah (*wet*), terdapat tetesan air (*dripping*), atau terdapat aliran air (*flowing*).

2.2.6 Koreksi RMR

Koreksi RMR selanjutnya dilakukan berdasarkan arah penggalian terowongan dan orientasi bidang diskontinuitas. Arah umum bidang diskontinu maksudnya adalah kedudukan relative bidang diskontinu terhadap sumbu lintasan terowongan.

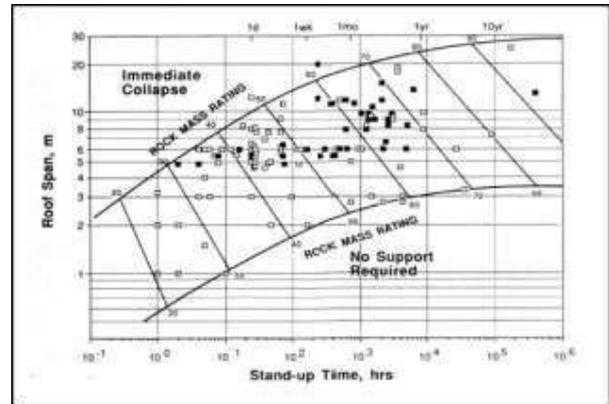
2.3 Sistem Penyangga Berdasarkan Rekomendasi Rock Mass Rating

RMR dapat digunakan sebagai panduan memilih sistem penguatan atau penyanggaan terowongan. Panduan ini tergantung pada beberapa faktor seperti kedalaman terowongan dari permukaan, ukuran dan bentuk terowongan, serta metode penggalian yang dipakai. (Bieniawski, 1989).²

2.3.1 Stand-up Time

Dalam penentuan kestabilan lubang bukaan dapat ditentukan menggunakan *stand up time* dan nilai RMR menggunakan grafik *span* seperti pada Gambar 2. Menurut Laufer (1958), lebar terowongan tanpa penyangga (*left span*) didefinisikan sebagai lebar terowongan atau jarak antara muka dan posisi terdekat dengan penyangga, jika jarak tersebut lebih panjang dari lebar terowongan. *Stand-up time* merupakan rentang waktu lamanya massa batuan di atap lubang bukaan tidak runtuh (lubang bukaan tetap dalam keadaan stabil)

meski tanpa pemasangan penyangga, setelah penyanggaan, maupun waktu pemasangan. Apabila waktu runtuh batuan terlampaui, maka batuan akan runtuh jika tidak segera dipasang penyangga.⁴



Gambar 2. Grafik Hubungan antara *Stand-up Time* dengan *Span*²

2.3.2 Rekomendasi Sistem Penyangga

Menurut Bieniawski (1989), rekomendasi sistem penyanggan/ penguatan massa batuan dapat menentukan seberapa panjang terowongan yang aman tanpa disangga dengan waktu swasangganya. Selain itu, Bieniewski juga menentukan jenis, diameter, dan panjang dari baut batuan (*split set*), jejaring besi (*steel set*), beton tembak (*shotcrete*), dan beton cor (*concrete*) seperti yang dijelaskan pada Tabel dibawah ini:

Tabel 1. Pedoman untuk Penggalian dan Penyanggaan Terowongan dengan Klasifikasi RMR-sistem (Bieniawski, tahun 1989)⁵

Kelas RMR	Metode Penggalian	Baut Batuan (diameter 20 mm, fully grouted)	Beton Tembak	Steel Set
I	Full face, dengan kemajuan 3 m.	Secara umum tidak membutuhkan penyangga		
II	Full face, dengan kemajuan 1.5 - 3 m. Pemasangan penyanggaan penuh 20 m dari face	Baut batuan pada atap panjang 3 m, spasi 2.5 m, dengan penambahan wire mesh	50 mm pada atap	Tidak Dibutuhkan
III	Top heading and bench 1.5 - 3 m kemajuan pada top heading, penyangga setelah peledakan. Penyanggaan penuh 10 m dari face	Baut batuan panjang 4 m, spasi 1.5 - 2 m pada dinding dan atap, serta pemasangan wire mesh	50 - 100 mm pada atap, dan 30 mm pada dinding	Tidak Dibutuhkan
IV	Top heading and bench 1 - 1.5 m kemajuan pada top heading. Penyanggaan segera pada saat penggalian. Penyanggaan penuh 10 m dari face	Baut batuan panjang 4 m, spasi 1 - 1.5 m pada dinding dan atap, serta pemasangan wire mesh	100 - 150 mm pada atap, 100 mm pada dinding.	Ringan s/d medium dengan spasi 1.5 m
V	Multiple drift kemajuan 0.5 - 1.5 m pada top heading. Pemasangan penyangga sesegera mungkin pada saat penggalian. Beton tembak sesegera mungkin setelah peledakan	Baut batuan panjang 5 - 6 m spasi 1 - 1.5 m pada dinding dan atap, serta pemasangan wire mesh	150 - 200 mm pada atap. 150 mm pada dinding. 50 mm pada face	Medium s/d berat sengan spasi 0.75 m. Forepolling jika diang-gap perlu

Tabel 2. Ringkasan Rock Mass Rating System (Bieniawski, 1989)

A. CLASSIFICATION PARAMETERS AND THEIR RATINGS									
Parameter		Range of values							
1	Strength of intact rock material	Point load strength index	>10 MPa	4-10 MPa	2-4 MPa	1-3 MPa	For this low range uniaxial compressive test is preferred		
		Uniaxial compressive strength	>250 MPa	100-250 MPa	50-100 MPa	25-90 MPa	5-25 MPa	1-5 MPa	<1 MPa
	Rating	15	12	7	4	2	1	0	
2	Drill core quality RQD		90%-100%	75%-90%	50%-75%	25%-50%	<25%		
	Rating		20	17	13	8	3		
3	Spacing of discontinuities		≥ 2 m	0.4-2 m	200-600 mm	80-200 mm	60 mm		
	Rating		20	15	10	8	5		
4	Condition of discontinuities		Very rough surfaces Not continuous No separation Unweathered wall rock	Slightly rough surfaces Separation < 1 mm Slightly weathered walls	Slightly rough surfaces Separation < 1 mm Highly weathered walls	Strike-slip surfaces or Gauge < 5mm thick or Separation 1-5 mm continuous	Split gauge > 5 mm thick or Separation > 5mm continuous		
5	Ground water	Inflow per 10 m Tunnel length (l/min)	None	<10	10-25	25-125	≥125		
		(Joint water pressure) / (Major Principal stress)	0	<0.1	0.1-0.2	0.2-0.5	≥0.5		
		General Conditions	Completely dry	Damp	Wet	Dripping	Flowing		
	Rating		15	10	7	4	0		
B. RATING ADJUSTMENT FOR DISCONTINUITY ORIENTATIONS									
Strike and dip orientations		Very favourable	Favourable	Fair	Unfavourable	Very Unfavourable			
Rating	Tunnels and mines	0	-2	-5	-10	-12			
	Foundations	0	-2	-7	-15	-25			
	Slopes	0	-5	-25	-50	-60			
C. ROCK MASS CLASSES DETERMINED FROM TOTAL RATINGS									
Rating	100-81	80-61	60-41	40-21	<21				
Class number	I	II	III	IV	V				
Description	Very good rock	Good rock	Fair rock	Poor rock	Very poor rock				
D. MEANING OF ROCK CLASSES									
Class number	I	II	III	IV	V				
Average stand up time	20 yr for 15 m span	1 yr for 10 m span	1 wd for 5 m span	10 h for 2.5 m span	30 min for 1 m span				
Cohesion of rock mass (kPa)	≥400	300-400	200-300	100-200	<100				
Friction angle of rock mass (deg)	≥45	35-45	23-35	15-25	<15				
E. GUIDELINES FOR CLASSIFICATION OF DISCONTINUITY CONDITIONS									
Discontinuity length (persistence/continuity) Rating	<1m	1-3 m	3-10 m	10-20 m	≥20 m				
	6	4	2	1	0				
Separation (aperture) Rating	None	<0.1 mm	0.1 - 1.0 mm	1-5 mm	≥5 mm				
	5	5	4	1	0				
Roughness Rating	Very rough	Rough	Slightly rough	Smooth	Shickensided				
	6	5	3	1	0				
Infilling (gouge) Rating	None	Hard filling < 5 mm	Hard filling > 5mm	Soft filling < 5mm	Soft filling > 5mm				
	6	4	2	2	0				
Weathering Rating	Unweathered	Slightly weathered	Modestly weathered	Highly weathered 1	Decomposed				
	6	4	3	1	0				
F. EFFECT OF DISCONTINUITY STRIKE AND DIP ORIENTATION IN TUNNELING									
Strike perpendicular to tunnel axis None					Strike parallel to tunnel axis				
Drive with dip - Dip 45-90°		Drive with dip - Dip 20-45°			Dip 45-90°		Dip 20-45°		
Very Favourable		Favourable			Very unfavourable		Fair		
Drive against dip - Dip 45-90°		Drive against dip - Dip 20-45°			Dip 0-20° - irrespective of strike				
Fair		Unfavourable			Fair				

3 Metodologi Penelitian

3.1. Jenis Penelitian

Menurut tujuannya penelitian ini termasuk jenis penelitian terapan. Penelitian terapan (*applied research*) adalah penelitian yang diarahkan untuk mendapatkan informasi yang dapat digunakan untuk memecahkan masalah (Sugiono, 2010). Metode analisis data yang digunakan adalah metode analisis kuantitatif berdasarkan teori perhitungan dan memberikan keluaran yang bersifat kuantitatif atau berbentuk angka. ⁶

3.2 Teknik Pengumpulan Data

Data yang dikumpulkan dari lapangan berupa data primer dan data sekunder. Data primer merupakan data yang didapat langsung di lapangan, seperti data dimensi lubang bukaan, kondisi struktur geologi umum seperti : *Strike and dip* kekar, spasi, kondisi kekar di lapangan. Sedangkan data sekunder diperoleh dari studi literatur maupun dari perusahaan. Adapun data tersebut meliputi data IUP perusahaan, data geologi lokasi penambangan, layout penambangan bawah tanah.

3.3 Teknik Analisis Data

Analisis data yang dilakukan berupa uji sifat fisik dan mekanik batuan, menganalisis data kekar dan memberi pembobotan sesuai rating RMR, menentukan arah orientasi kekar menggunakan software Dips, analisis nilai *span* dan *stand-up time* berdasarkan grafik, pemodelan dan analisis kestabilan *tunnel* menggunakan *software Unwedge*, dan evaluasi teknis penambangan berupa rekomendasi penyangga yang sesuai dengan hasil analisis data.

4 Hasil dan Pembahasan

4.1. Uji Sifat Fisik dan Mekanik Batuan

4 1.1 Uji Sifat Fisik

Penentuan sifat fisik batuan utuh dilakukan dengan penimbangan berat sampel batuan (ore dan andesit) berbentuk *irregular* yang ditimbang menggunakan neraca dengan ketelitian pengukuran 0,01 gram.

Tabel 3. Hasil Pengujian Sifat Fisik

Material : Andesit				
No Sampel	Wn (gr)	Ww (gr)	Ws (gr)	Wo (gr)
A1	45,35	46,13	27,3	44,61
A2	45,71	46,2	27,07	44,33
A3	44,9	45,28	27	43,55

Material: Ore				
No Sampel	Wn (gr)	Ww (gr)	Ws (gr)	Wo (gr)
O1	45,55	46,09	27,12	44,41
O2	44,32	45,25	26,24	43,06
O3	44,86	45,43	26,62	43,48

4 1.2 Uji Sifat Mekanik

Uji kuat tekan uniaxial menggunakan mesin tekan untuk menekan sampel batuan dari satu arah, uji mekanika batuan yang digunakan untuk memprediksi nilai batuan secara langsung di lapangan. Pengujian ini sering digunakan karena mudah dalam persiapan maupun pengujiannya. Adapun sampel yang digunakan berbentuk coring beraturan sesuai dengan persyaratan sampel yang ditentukan.

Tabel 5. Hasil Pengujian Sifat Mekanik

Material	UCS (Mpa)	Batas Elastik(Mpa)	Modulus young(E) (Mpa)	Poissons Ratio(V) (Mpa)
Andesit	36,62	16,85	14,61	0,53
Ore	25,46	19,23	13,12	1,55

4.2. Parameter Pembobotan Kelas Massa Batuan

Tabel 6. Hasil Pembobotan Parameter RMR

Parameter Klasifikasi RMR-sistem Batuan				
No	Parameter	Kondisi	Bobot	
1	Uniaxial Compressive	36,62Mpa	4	
2	Rock Quality Design (RQD)	82,30 %	17	
3	Spacing of Discontinuities	Rapat (0,11 m)	8	
4	Condition	Persistence	Sangat pendek (< 1 m)	6
		Aperature	None	5
		Roughness	Slightly rough	3
		Infilling	Hard filling < 5mm	4
		Weathering	Slightly weathered	5
5	Air Tanah	Dripping	7	
6	Strike and dips of Joint set	Very favourable	0	
Total Rating			59	
Kelas Massa Batuan			Batuan kelas III	

Parameter Klasifikasi RMR-sistem Batuan				
No	Parameter	Kondisi	Bobot	
1	Uniaxial Compressive	36,62 Mpa	4	
2	Rock Quality Design (RQD)	76,62 %	17	
3	Spacing of Discontinuities	Rapat (0,11 m)	8	
4	Condition	Persistence	Sangat pendek (< 1 m)	6
		Aperature	None	5
		Roughness	Slightly rough	3
		Infilling	None	6
		Weathering	Slightly weathered	5
5	Air Tanah	Dripping	7	
6	Strike and dips of Joint set	Very unfavourable	-12	
Total Rating			49	
Kelas Massa Batuan			Batuan kelas III	

Parameter Klasifikasi RMR-sistem Batuan				
No	Parameter	Kondisi	Bobot	
1	Uniaxial Compressive	25,46 Mpa	4	
2	Rock Quality Design (RQD)	84,90 %	17	
3	Spacing of Discontinuities	Rapat (0,11 m)	8	
4	Condition	Persistence	Sangat pendek (< 1 m)	6
		Aperature	None	5
		Roughness	Slightly rough	3
		Infilling	Hard filling < 5mm	4
		Weathering	Slightly weathered	5
5	Air Tanah	Dripping	7	
6	Strike and dips of Joint set	Favourable	-2	
Total Rating			57	
Kelas Massa Batuan			Batuan kelas III	

Nilai RMR adalah penjumlahan total dari bobot kuat tekan uniaksial (Uniaxial Compressive Strength), Rock Quality Designation (RQD), spasi diskontinuitas, keadaan diskontinuitas, keadaan air tanah dan orientasi diskontinuitas. Bobot masing-masing parameter RMR diperoleh dari tabel ringkasan rock mass rating system. Bobot yang digunakan adalah berdasarkan nilai ataupun kondisi parameter^[7].

Sistem klasifikasi Rock Mass Rating (RMR) telah dimodifikasi berulang kali begitu informasi baru dari studi-studi kasus diperoleh dan menjadikannya sesuai dengan standar dan prosedur internasional^[8].

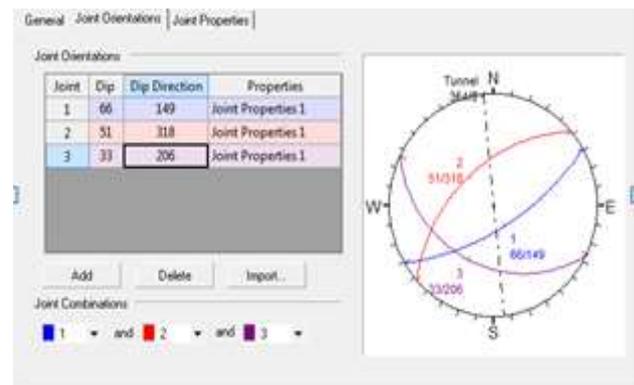
Dari Tabel 5 di atas didapatkan nilai RMR rata-rata penyusun batuan pada bagian SOD level 7 sebesar 59. Berdasarkan Tabel 2 nilai RMR sebesar 59 tergolong kelas III dengan kualitas massa batuan sedang.

4.3 Kestabilan Lubang Bukaa Berdasarkan Potensi Keruntuhan Baji

Keruntuhan baji ialah tipe runtutan yang disebabkan karena perpotongan dua atau lebih *joint* sehingga membentuk bidang baji. Biasanya berbentuk *blocky* maupun prisma. Terbentuk diatap maupun dinding lubang bukaan. Potensi bidang baji yang terbentuk dapat terlihat dari kumpulan *joint set* yang telah dianalisis menggunakan pemrograman khusus

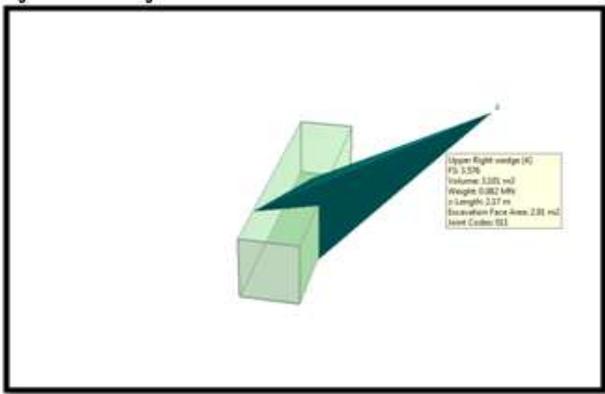
4 3.1 Arah Umum Joint

Pengukuran *joint-joint* dilakukan dengan membuat scanline sepanjang 1 meter dengan panjang lubang bukaan 10 meter. Arah umum joint yang terdapat pada lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.

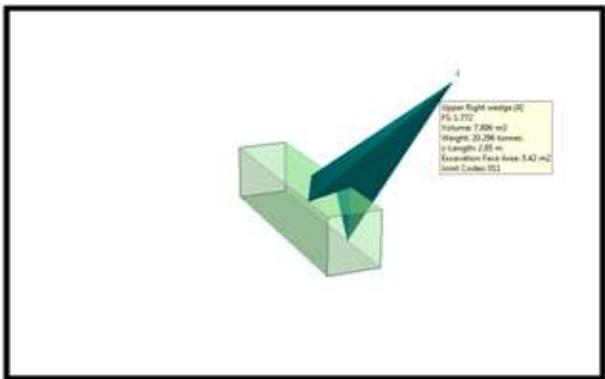


Gambar 3. Nilai Arah Umum Joint pada Kemajuan 500-510 m SOD level 7.

Arah umum yang diperoleh dari *dips* akan digunakan pada program *unwedge* untuk mengetahui baji yang terbentuk dan memiliki *safety of factor* lebih dari 1.5 yang ada pada kemajuan 500-510 m bagian SOD level 7. *Unwedge* adalah salah satu dari program komputer yang dikembangkan khusus untuk digunakan dalam penambangan bawah tanah. Dengan mempertimbangkan massa batuan dimana terdapat beberapa kumpulan bidang diskontinu (*joint set*) akan menghasilkan kemungkinan kombinasi *joint set* yang berpotensi membentuk baji^[9].



Gambar 4. Kombinasi joint yang membentuk baji pada terowongan Belanda



Gambar 5. Kombinasi joint yang membentuk baji pada perbesaran terowongan

Baji yang terbentuk dari kombinasi *joint* pada terowongan belanda memiliki *safety factor* sebesar 3,567 dan pada perbesaran terowongan sebesar 1,772 sehingga tidak perlu diberi perkuatan lebih berada pada kondisi aman dimana nilai *safety factor* lebih besar dari 1,5.

4.4 Rekomendasi Penyangga

4 4.1 Berdasarkan Rekomendasi RMR

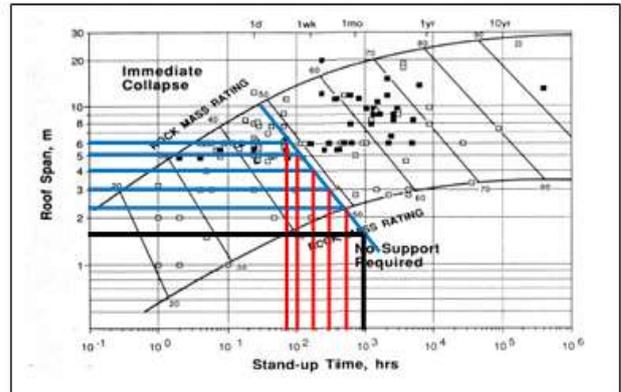
Tabel 9. Rekomendasi *Ground Support* Berdasarkan Klasifikasi RMR ².

Klasifikasi	Hasil
RMR 54	<ul style="list-style-type: none"> - Kelas batuan "fair rock" - Metode penggalian: <i>Top heading and bench</i>, dengan 1.5-3 m kemajuan pada <i>top heading</i>, penyangga setelah penggalian. Penyanggaan penuh 10 m dari <i>face</i>. - <i>Rock bolt</i> (diameter 20 mm, <i>fully grouted</i>): <i>rock bolt</i> panjang 4 m, spasi 1.5-2 m pada dinding dan atap serta pemasangan <i>wire mesh</i> - <i>Shotcrete</i> tebal 50-100 mm pada atap dan 30 mm pada dinding - <i>Stell set</i> tidak dibutuhkan

Karena perusahaan tempat melakukan penelitian belum menggunakan penyangga dan hanya diperempatkan dikasih *rock bolt* jenis *split set*, maka akan dilakukan rekomendasi penyangga *Split set* di tempat penelitian setelah perbesaran terowongan.

4 4.2 Stand-up Time

Dari hasil perhitungan nilai RMR pada penjelasan sebelumnya diketahui bahwa kelas massa batuan untuk lokasi bagian SOD level 7 tergolong kelas III dengan nilai RMR yaitu 49 sehingga nilai *span maximum* dan *stand up time* dapat dijelaskan pada Gambar 6 berikut:



Gambar 6. Grafik *Stand-up Time*

Tabel 10. Nilai *Stand-up Time* dan *Span* Maksimum

RMR	SPAN MAXIMUM (M)	STAND UP TIME (JAM)
	6	80
	5	100
49	4	110
	3	120
	2,2	160
	1,6	1000

4 4.3 Perhitungan Penyangga *split set*

Perhitungan Penyangga *split set* dapat dilihat pada tinggi runtuh terowongan berdasarkan nilai dari RMR untuk keamanan terowongan. Untuk mencari nilai tinggi runtuh dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$H_t = \left\{ \left(\frac{100 - RMR}{100} \right) \right\} \times B \dots\dots\dots 1)$$

$$P = \gamma \times H_t \dots\dots\dots 2)$$

Keterangan :

H_t = tinggi runtuh minimal (m)

P = beban batuan (ton/m²)

RMR = Nilai Rock mass rating

B = Lebar Bukaan (m)

γ = Densitas Batuan (ton/m³)

Dengan menggunakan persamaan diatas maka, diperoleh nilai tinggi runtuh dan beban runtuh pada perbesaran terowongan sebagai berikut :

➤ Tinggi Runtuh : $H_t = \left\{ \left(\frac{100 - RMR}{100} \right) \right\} \times B$
 $H_t = \left\{ \left(\frac{100 - 49}{100} \right) \right\} \times 2.2 \text{ m}$
 $H_t = \left\{ \left(\frac{51}{100} \right) \right\} \times 2.2 \text{ m}$
 $H_t = 1,12 \text{ m}$

Jadi, dengan lebar bukaan 2.2 m dan nilai RMR 49 diketahui bahwa tinggi runtuh minimal adalah 1,12 m.

➤ Beban Runtuh : $P = \gamma \times H_t$
 $P = 2.6 \text{ m}^3/\text{ton} \times 1,12 \text{ m}$
 $P = 2.912 \text{ ton/m}^2$

Jadi, beban runtuh pada Blok 1 SOD Level 7 dengan tinggi runtuh 1,12 m adalah 2.912 ton/m².

➤ Total Beban Runtuh : $Q = 2.912 \text{ ton/m}^2 \times 2,2 \text{ m}$
 $Q = 6.4064 \text{ ton/m}^3$

Jadi, total beban runtuh pada Blok 1 SOD level 7 yaitu 6.4064 ton/m³.

Maka penyangga yang digunakan sekarang untuk terowongan tambang bawah tanah PT. Dempo maju cemerlang yaitu jenis *split set* dengan panjang 1,4 meter Un Galvanis dengan alat pemasangannya yaitu jack leg dan kekuatan menyangga batuan sebesar 2,66 ton. Sehingga dapat dilihat dari perhitungan jumlah *split set* dibawah ini:

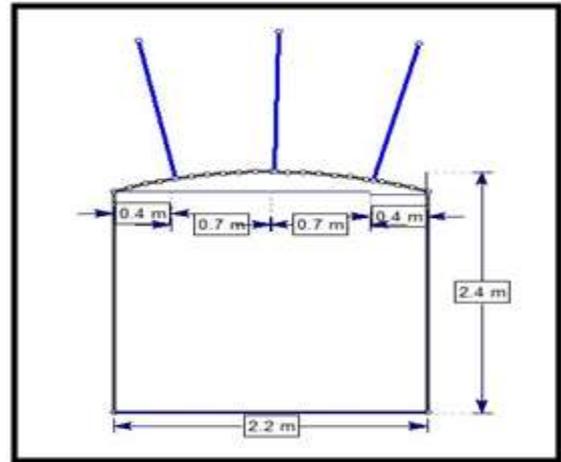
➤ Jumlah *split set* : $n = \frac{6.4064 \text{ ton/m}^3}{2,66 \text{ ton}}$
 $= 2,40 \approx 3 \text{ split set per meter}$

Jadi pemasangan penyangga *split set* panjang 1,4 meter pada terowongan di Blok 1 SOD level 7 PT. Dempo maju cemerlang sebanyak 3 buah *split set* permeter. Hasil perhitungan penyangga *split set* dapat dilihat pada tabel 11 berikut:

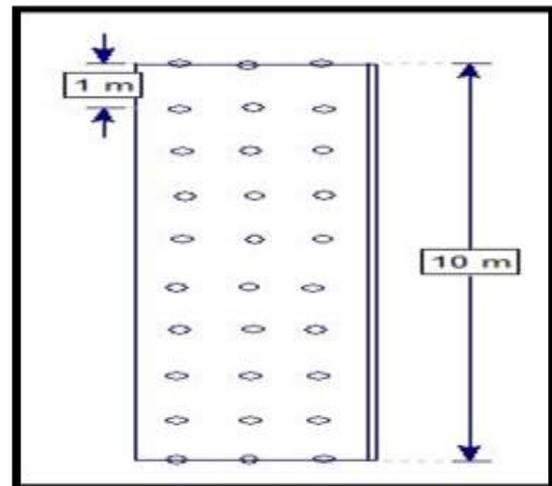
Tabel 11. Nilai Tinggi runtuh dan perhitungan *split set*

RMR	Dimensi tunnel		γ (ton.m ⁻³)	Ht(m)	P_{RMR} (ton.m ⁻²)	Split set (meter)
	L(m)	T(m)				
49	2,2	2,4	2,6	1,12	2,912	3

Susunan dari penyanggaan *split set* yang dipasang pada terowongan seperti terlihat pada Gambar 7 berikut:



Gambar 7. Pemasangan penyangga *split set* pada terowongan



Gambar 8. Pemasangan penyangga *split set* per meter

5 Kesimpulan dan Saran

5.1. Kesimpulan

1. Berdasarkan Kuat Tekan Uniaksial batuan dilokasi penelitian SOD level 7 didapatkan Nilai rata-rata sebesar 36,62 MPa untuk batuan Andesit dan Ore sebesar 25,46 MPa, kondisi batuan pada lokasi penelitian tingkat pelapukan sedikit lapuk (*slightly weathered*).
2. Berdasarkan metode RMR sistem diperoleh massa batuan pada lokasi penelitian berada pada kelas III (*fair rock*) dengan nilai RMR batuan Andesit sebesar 59, dan Ore dengan nilai sebesar 57.
3. Berdasarkan Pengolahan Software *Undwedge* dan Dips Potensi runtuh baji pada lokasi penelitian terdapat pada tiga arah umum *joint set* dengan nilai *strike/dip* sebesar N149°E/66°, N318°E/51°, N206°E/30° dimana nilai FSnya terowongan

Belanda yaitu 3.579 dan pada terowongan sekarang adalah 1.772 dan baji tersebut untuk saat ini masih stabil.

4. Rekomendasi penyanggaan berdasarkan klasifikasi RMR-sistem yaitu dengan pemasangan penyangga *Split set* panjang 1.4 meter sebanyak 3 buah *split set* per meter dan total beban runtunya yaitu 6.4064 ton/m²

5.2. Saran

1. Mungkin sampel di ambil harus lebih banyak lagi supaya mengetahui kondisi yang lebih detail di lapangan tempat penelitian.
2. Pemasangan *ground support* yang direkomendasikan diusahakan seperti desain atau model yang telah dirancang berdasarkan rekomendasi RMR yang diterapkan di lokasi penelitian.
3. Lebih telit lagi dalam pengambilan bidang diskontinuitas sehingga mengetahui potensi baji yang akan terjadi di tempat penelitian.
4. Pemasangan penyangga *Split set* di usahakan seperti desain yang didapatkan dari beban runtuh pada lokasi penelitian.

Daftar Pustaka

- [1] Arif Irwandi. 2016. *Geoteknik Tambang*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.
- [2] Ridho Kresna Wattiwena. 2017. *Mekanika Batuan dan Perancangan Kontruksi Bawah Tanah*. Bandung : ITB.
- [3] Hoek, E., 2007. *Practical Rock Engineering*. RocScience
- [4] Hudson J.A 1940 *Rock mechanics Principles in Engineering Practice*. London: CIRIA.
- [5] Hoek E. Dan E. T. Brown. 1980. *Underground Excavation in Rock*. London: Institution of Mining and Metallurgy
- [6] Rai, M.A., Kramadibrata, S., dan wattiwena, R.K. 2014. *Mekanika Batuan*. Bandung: Penerbit ITB.
- [7] Astawe, Made R., Kramadibrata Suseno, and Kresna, Ridho W. 2010. *Mekanika Batuan*. Bandung : ITB.
- [8] Anaperta. Yoszimingsih. 2013. *Studi Terowongan Jalan Raya Padang-Solok*. Jurnal Teknologi Informasi & Pendidikan. Vol. 6, No. 1: 65-86.
- [9] Bieniawski, Z.T., 1976. *Rock Mass Clasifications in Rock Engineering.*, Proceeding Symposium on Exploration for Rock Engineering, Ed. Z.T. Bieniawski, A.A. Balkema, Rotterdam, p. 97-106.
- [10] Bieniawski, Z.T., 1984. *Rock Mechanics Design in Mining and Tunnelling.*, The Pennsylvania State University, A.A. Balkema, Rotterdam, p. 272.
- [11] Bieniawski, Z.T., 1989. *Engineering Rock Mass Clasifications.*, John Wiley & Sons, New York, p. 251.
- [12] Bieniawski Z. T. 1990. *Tunnel Design By Rock Mass Clasifications*.
- [13] Koppa. Raimon. 1990. *Bahan Ajar Studi Teknik Terowongan*. Padang: FT UNP
- [14] Abbas, Syed Muntazir. 2000. *Rock Mass Clasification Systems*.
- [15] Eli Ambarini, Febrri Hernawan, Dono Guntoro. 2013. Sistem Stabilitas Lubang Bukaannya Pengembangan Dengan Menggunakan Baut Batuan (*Rockbolt*) dan Beton Tembak (*Shotcrete*) di SBlok Cikoneng PT. Cibaliung Sumberdaya, Kabupaten Pandeglang, Provinsi Banten. Prosiding Teknik Pertambangan. Gel. 2: 168-177.
- [16] Ilep Prengki. 2018. Analisis Beban Runtuh dan Evaluasi Lubang Bukaannya Berdasarkan *Metode Rock Mass Rating dan Q-System* pada Tambang Bawah Tanah CV. Bara Mitra Kencana, Kota Sawahlunto, Sumatera Barat. Padang: Teknik Pertambangan UNP.
- [17] Jefrianto Haris, 2017. Desain Terowongan Development di Wilayah Ombilin I Sawahlung PT. Bukit Asam (Persero) Tbk, Unit Pertambangan Ombilin, Sawahlunto. Padang: Universitas Negeri Padang
- [18] Recky Fernando L, dkk. 2015. Analisis Kestabilan Lubang Bukaannya dan Pillar dalam Rancangan Pembuatan Tambang Bawah Tanah Batu Gamping dengan Metode Room and Pillar di Desa Sidorejo Kecamatan Lendah Kab. Kulonprogo Daerah Istimewa Yogyakarta. Prosiding Seminar Nasional ReTII: 332-338.
- [19] Ambar sutanti, dkk 2016. Rancangan Teknis Penyanggaan Berdasarkan Kelas Massa Batuan Dengan Menggunakan Metode RMR dan Q-System di Terowongan Gudang Handak dan Pasir Jawa UBPEPongkor PT. Aneka Tambang Persero Tbk.
- [20] Wahyu prasetia, dkk 2018. Analisis Penyanggaan Berdasarkan Karakteristik Batuan Pada Atap dan Dinding Lubang Tambang Batubara Bawah Tanah BMK-04 di CV. Bara Mitra Kencana, Kecamatan Talawi, Sawahlunto.

- [21] Redi pratama, dkk 2018. Kajian Teknis Penyangga Baja *Three Piece Sets* dan *Five Piece Sets* Pada Lubang Bukaan Tambang Batubara Bawah Tanah Pit Central Barat Di PT. Allied Indo Coal Jaya.
- [22] Frisky alfathoni, dkk 2017. Evaluasi Teknis Sistem Penyanggaan Menggunakan Metode *Rock Mass Rating (Rmr) System* pada Development Area (Ckn_Dc) Tambang Emas Bawah Tanah Pt. Cibaliung Sumberdaya
- [23] Yuyun yunita, dkk 2016. Analisis Sistem Penyangga Pada Terowongan Mila Di Rababaka