

Analisa Kestabilan Lubang Bukaannya Ditambang Bawah Tanah Berdasarkan Pengklasifikasian Geomekanika (RMR-System) Pada Penambangan Galena Di PT. Berkat Bhinneka Perkasa (BBP) Pangkalan Lima Puluh Kota, Sumatera Barat

Novriani Nengsih^{1*}, Raimon Koppa^{1**}

¹Jurusan Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang

*novrianinengsih07@gmail.com

**raimon_unp@yahoo.co.id

Abstract. Pada penambangan tambang bawah tanah galena PT. Berkat Bhinneka Perkasa menggunakan penyangga dari beton (*shortcrete*), Dimana pemasangan penyangga tidak sepanjang lubang terowongan yang dibuatnya. Pada saat ini penggalian *tunnel* I telah dilakukan sepanjang 135 m, tetapi penyanggaan yang dipasang perusahaan dari mulut terowongan hanya sepanjang 10 m tanpa mempertimbangkan karakteristik batuan, sehingga tidak diketahui berapa nilai dari FK lubang bukaan tersebut. Penelitian ini dilakukan untuk menentukan kelas massa batuan, klasifikasi massa batuan menggunakan metode RMR, mengetahui kekuatan batuan di *tunnel* I PT. BBP Pangkalan, mendapatkan nilai *stand up time* dan *span* penyangga sebagai acuan penginstalasian penyangga lubang tambang, mendapatkan rekomendasi sistem penyanggaan yang sesuai berdasarkan hasil *grounsupport* RMR (Bieniawski 1989) pada *tunnel* I, Dari pengukuran beberapa parameter metode RMR diperoleh, pada *tunnel* I untuk batuan Galena berada pada kelas II (*good rock*) dengan nilai RMR batubara sebesar 65. Berdasarkan pengolahan Software *Undwedge* menggunakan metode sistem penyangga RMR terjadi peningkatan nilai FK, dari 1.130 menjadi 2,481.

Keywords: Terowongan, Rock Mass Rating,.

1 Pendahuluan

Dalam proses pembuatan *tunnel-tunnel*, dibutuhkan penyangga agar tidak terjadinya runtuh. Penambangan cadangan batubara dilakukan dengan menyisakan pilar-pilar untuk mencegah keruntuhan atap dan subsidens (penurunan permukaan tanah). Dimensi pilar pada PT. AICJ adalah 3 m x 2,5 m dengan tinggi 3,5 m.

Pada *tunnel* 4 yang berada pada lapisan C, menggunakan bentuk susunan *three piece set* (trapesium) dalam pemasangan penyanggaannya. Dengan ukuran dimensi lubang bukaan 3 m x 2,7 m x 2,75 m. Sejauh ini penggalian pada *tunnel* 4 sudah mencapai 313,44 m dari mulut lubang permukaannya dengan rencana penggalian sedalam 424,5 m dengan azimuth arah penggalian 152° dan kemiringan lubang 12°-17°. Ukuran kayu yang digunakan rata-rata memiliki diameter 25 cm pada cap dan 30 cm pada side post. Pengamatan pada *tunnel* 4 dilakukan pada lubang produksi dengan kemiringan 16°, masuk hingga kedalaman penggalian 19 m dari mulut

lubang produksi sehingga ketinggian kelapisan ini adalah 340 mdpl dengan rencana penggalian sepanjang 53 m hingga menembus ke *tunnel* 3, sedangkan posisi lubang produksi ini berada pada kedalaman 172 m dari mulut lubang permukaannya.

Dalam perencanaan terowongan tambang bawah tanah perlu diperhatikan juga kondisi batuan penyusun yang terdapat pada terowongan. Sistem penambangan ini dilakukan dengan cara membuat lubang bukaan serta sistem penyanggaan yang baik agar aktivitas penambangan berjalan dengan lancar. Semakin dalam aktivitas penggalian dilakukan, maka lubang bukaan cenderung akan mengalami ketidakstabilan. Penggalian suatu lubang bukaan pada massa batuan mengakibatkan keseimbangan massa batuan terganggu, sehingga batuan disekitar penggalian tersebut akan runtuh apabila batuan itu tidak mampu menyangga bebannya sendiri.

Saat melakukan tinjauan awal ke lapangan khususnya di *tunnel* 4 PT. AICJ penulis menemukan adanya retakan dan patahan pada kayu penyangga, berdasarkan aspek

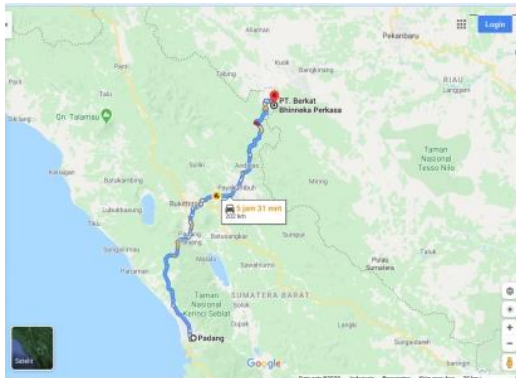
geomekanika hal ini disebabkan oleh beban batuan yang lebih besar dibandingkan kekuatan sistem penyangganya. Retakan dan patahan ini terjadi dengan waktu atau periode yang tidak menentu.

2 Lokasi Penelitian

Lokasi penambangan PT. Berkas Bhineka Perkasa (PT.BBP) terletak di Kenagarian Tanjung Balit, Kecamatan Pangkalan Koto Baru, Kabupaten Lima puluh Kota, Provinsi Sumatera Barat. Secara geografis terletak antara garis meridian $0^{\circ}09'15''$ LU sampai $0^{\circ}11'0''$ LU dan $101^{\circ}26'0''$ BT sampai $101^{\circ}28'20''$ BT. Lokasi penambangan ini secara geografis berbatasan dengan:

1. Sebelah utara berbatasan dengan wilayah Desa Tanjung Balik.
2. Sebelah timur berbatasan dengan wilayah Desa Baluang.
3. Sebelah selatan berbatasan dengan wilayah Angki.
4. Sebelah barat berbatasan dengan Wilayah Desa Tanjung Pauah.

Peta lokasi kesampaian daerah tersebut dapat dilihat pada Gambar 1 di bawah ini:



Gambar 1. Peta Lokasi Kesampaian Daerah

3 Kajian Teori

3.1 Tambang Bawah Tanah

Tambang bawah tanah merupakan kegiatan yang kompleks terutama terkait dengan kekuatan batuan yang dibongkar untuk pembuatan terowongan. Sangat diperlukan adanya analisis geoteknik yang baik untuk dapat memberikan perlakuan yang tepat terhadap batuan yang dibongkar. Besarnya tingkat kestabilan lubang bukaan dipengaruhi oleh kondisi batuan pada lubang bukaan umumnya berkaitan dengan sifat mekanik massa batuan serta struktur geologi berupa kekar, lipatan dan sesar (patahan), yang mengakibatkan tingginya *displacement* massa batuan.

3.2 Sistem Rock Mass Rating (RMR)

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).

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

Berikut ini penjelasan mengenai kelima parameter yang dipakai dalam sistem klasifikasi RMR:

3.2.1 Kuat Tekan Uniaksial (*Uniaxial Compressive Strength, UCS*)

Kuat tekan batuan utuh dapat diperoleh dari uji kuat tekan uniaksial, *Uniaxial Compressive Strength* (UCS) dan *Point Load Test* (PLI). UCS menggunakan mesin tekan untuk menekan sampel batuan dari satu arah (uniaksial). Sama halnya dengan UCS, PLI juga menggunakan mesin tekan untuk memperoleh nilai kuat tekan batuan utuh.

Tabel 1. Nilai PLI dan UCS

PLI (MPa)	UCS (MPa)	Deskripsi Kualitatif
> 10	> 250	Sangat kuat sekali
4 – 10	100 – 250	Sangat kuat (<i>very strong</i>)
2 – 4	50 – 100	Kuat (<i>strong</i>)
1 – 2	25 – 50	Sedang (<i>average</i>)
	5 – 25	Lemah (<i>weak</i>)
	1 – 5	Sangat lemah (<i>very weak</i>)
	< 1	Sangat lemah sekali (<i>extremely weak</i>)

3.2.2 *Rock Quality Designation* (RQD)

Pada tahun 1967 D. U. Deere memperkenalkan *Rock Quality Design* (RQD) sebagai sebuah petunjuk untuk memperkirakan kualitas dari massa batuan secara kuantitatif. RQD didefinisikan sebagai persentase dari bagian inti yang utuh dengan panjang lebih dari 100 mm (10 cm) terhadap total kedalaman lubang bor (core run).

3.2.3 Spasi Bidang Diskontinu

Adanya kekar pada massa batuan cenderung akan memperburuk kekuatan massa batuan. Karakteristik

mekanik massa batuan tergantung pada frekuensi atau jarak serta orientasinya. Spasi bidang diskontinuitas didefinisikan sebagai jarak tegak lurus antara dua diskontinuitas berurutan sepanjang garis pengukuran yang dibuat sembarang.

3.2.4 Kondisi Bidang Diskontinu

Ada beberapa parameter yang digunakan oleh Bieniawski (1989) dalam memperkirakan kondisi permukaan bidang diskontinu, yaitu:

3.2.4.1 Kemenerusan (*Persistence/Continuity*)

Panjang dari suatu diskontinuitas dapat dikuantifikasi secara kasar dengan mengamati panjang jejak kekar pada suatu bukaan. Pengukuran ini masih sangat kasar dan belum mencerminkan kondisi kemenerusan kekar sesungguhnya hanya dapat ditebak. Jika jejak sebuah diskontinuitas pada suatu bukaan berhenti atau terpotong oleh solid/massive rock ini menunjukkan adanya kemenerusan.

3.2.4.2 Bukaan atau Rekahan (*Separation/ Aperture*)

Separation atau aperture merupakan jarak tegak lurus antar dinding batuan yang berdekatan pada bidang diskontinu. Jarak ini biasanya diisi oleh material lainnya atau bisa juga diisi oleh air. Semakin besar jarak ini, maka semakin lemah bidang diskontinu tersebut.

3.2.4.3 Kekasaran Permukaan Bidang Diskontinu (*Roughness*)

Roughness atau kekasaran bidang diskontinu merupakan parameter yang penting untuk menentukan kondisi bidang diskontinu. Semakin besar kekasaran dapat menambah kuat geser diskontinuitas dan dapat juga mengubah kemiringan pada bagian tertentu dari diskontinuitas tersebut.

3.2.4.4 Infiling (*Gouge*)

Material pengisi berada pada celah antara dua dinding bidang diskontinuitas yang berdekatan. Sifat material pengisi biasanya lebih lemah dari sifat batuan induknya. Beberapa material yang dapat mengisi celah di antaranya breksi, lempung, silt, mylonite, gouge, sand, kuarsa, dan kalsit.

3.2.4.5 Pelapukan (*Weathering*)

Seberapa besar tingkat pelapukan yang dialami oleh batuan dapat ditentukan dengan melihat perubahan warna pada butiran batuan dengan bantuan alat palu geologi.

3.2.5 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).

3.2.6 Orientasi Diskontinuitas/ Kekar.

Koreksi RMR dasar selanjutnya dilakukan berdasarkan arah penggalian terowongan dan orientasi bidang diskontinu yang ada pada lokasi tersebut. Arah umum bidang diskontinu merupakan kedudukan relatif dari bidang diskontinu terhadap sumbu lintasan terowongan. Orientasi bidang diskontinu dianggap menguntungkan jika berarah tegak lurus terhadap sumbu terowongan dan akan merugikan jika searah dengan sumbu terowongan.

3 Metode 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

3.2 Teknik Pengumpulan Data

Teknik yang dilakukan dalam pengumpulan data adalah teknik observasi dan sebagian besar data yang dipakai adalah data sekunder yang didapatkan dari perusahaan.

3.2.1 Studi Literatur

Studi literatur merupakan pencarian bahan pustaka terhadap masalah yang akan dibahas meliputi studi tentang analisis mengenai produksi penambangan melalui berbagai percobaan, buku-buku, jurnal atau laporan studi yang sudah ada.

3.2.2 Pengambilan Data

Pelaksanaan penelitian ini penulis menggunakan dua metode pengambilan data yaitu data primer dan data sekunder.

3.2.2.1 Data Primer

Data primer pada penelitian ini merupakan data hasil observasi dan pengujian laboratorium. Data primer ini meliputi kedalaman, kemiringan dan arah penggalian terowongan, sampel batuan untuk uji sifat fisik dan mekanik batuan, pengukuran kondisi diskontinuitas pada *tunnel I*.

3.2.2.2 Data Sekunder

Data sekunder merupakan data-data yang disiapkan dan diperoleh dari perusahaan atau sumber lain. Data sekunder bersumber dari laporan penelitian terdahulu dari perusahaan, dari data instansi yang terkait dan juga dari literatur-literatur, seperti data litologi, peta topografi, peta geologi dan data curah hujan.

3.2.3 Pengolahan Data

Setelah dilakukan pengambilan data, selanjutnya data tersebut akan diolah dengan proses sebagai berikut:

1. Pengolahan Data
2. Analisis Data
3. Kesimpulan

4 Hasil dan Pembahasan

4.1 Uji Sifat Fisik dan Mekanik Batuan

Dari perhitungan didapatkan nilai rata-rata uji sifat fisik batuan pada lokasi penelitian yang disajikan pada tabel 2 berikut ini:

4.1.1 Data Uji Sifat Fisik

Tabel 2. Nilai Rata-rata Uji Sifat Fisik Batuan

No	Parameter	RATA-RATA
1	Bobot asli (gr/cm ³)	3,275527674
2	Bobot jenuh (gr/cm ³)	3,373828157
3	Bobot kering (gr/cm ³)	3,267033725
4	Berat jenis semu	3,267033725
5	Berat jenis asli	3,648371244
6	Kadar air asli (%)	0,268397504
7	Kadar air jenuh (%)	3,459334448
8	Derajat kejenuhan (%)	9,985929172
9	Porositas (%)	10,67944322
10	Angka pori	0,123224598

4.1.2 Uji Point Load Index atau Beban Titik

Tabel 3. Hasil Pengujian Point Load Index

Sampel	jarak antar konus	P	Is	UCS
Batuan	cm	kg	Mpa	Mpa
1	2,9	235,16	0,760	15,97
2	3,1	328,33	0,958	20,11
3	2,8	304,22	1,039	21,82
4	2,9	309,42	1,001	21,02
rata-rata			0,939	21,61

4.2 Klasifikasi Massa Batuan RMR-Sistem

4.2.1 Nilai RQD

Perhitungan nilai RQD dilakukan dengan cara mengukur jumlah kekar rata-rata menggunakan scan-line sepanjang 10 m. Dari pengukuran tersebut akan diperoleh persentase rata-rata RQD pada area *tunnel* tersebut.

Tabel 4. Hasil Perhitungan RQD pada *Tunnel I*

Jarak		RQD (%)			
Dari (m)	ke (m)	Dinding Kiri	Atap	Dinding Kanan	RQD Rata-rata (%)
0	1	94,05	88,74	88,19	90,33
1	2	93,52	86,97	94,62	91,70
2	3	94,25	88,19	95,18	92,54
3	4	96,16	91,79	95,26	94,40
4	5	94,25	93,62	92,61	93,49
5	6	94,17	89,05	88,18	90,47
6	7	93,98	87,84	95,16	92,33
7	8	94,95	94,44	83,92	91,10
8	9	91,91	92,42	88,47	90,93
9	10	87,12	89,24	88,19	88,18
		93,44	90,23	90,98	91,55

Dari hasil mapping geoteknik dan pengolahan data RQD yang telah dilakukan diperoleh nilai RQD rata-rata pada *tunnel I* pada lokasi penelitian sebesar 91,55 %, untuk pembobotan penulis menggunakan data RQD yang terkecil dengan nilai sebesar 83,92 % sehingga diperoleh bobot sebesar 20.

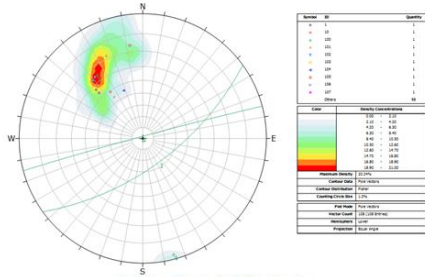
4.2.2 Data Spasi Bidang Diskontinu

Setelah dilakukan pengolahan data spasi bidang diskontinuitas pada *tunnel 4*, diperoleh jarak rata-rata antar kekar pada lapisan batubaranya adalah 0,238 m, kemudian dicocokkan dengan tabel RMR, maka nilai tersebut masuk kedalam kelompok 60-200 mm dengan nilai bobot sebesar 10 poin.

4.2.3 Kondisi Air Tanah

Pada penelitian ini kondisi air tanah ditentukan dengan cara mengamati atap dan dinding terowongan secara visual. Berdasarkan hasil pengamatan yang dilakukan disetiap kemajuan pada *tunnel I* dapat disimpulkan bahwa kondisi air tanah pada area penelitian digolongkan lembab (*damp*), sehingga untuk pembobotan RMR-system mendapatkan nilai pembobotan sebesar 10.

4.2.4 Orientasi Bidang Diskontinu



Gambar 12. Arah Kekar Dominan

Gambar 2. Arah Umum Kekar Tunnel I

Kekar dominannya berada pada dinding dengan arah kekar dominannya berada pada N 53 °E dengan nilai dip rata-rata sebesar 65° dimana arah lubang bukaan N 120°. Hal ini berarti arah kekar berpotongan dengan arah lubang bukaan dan berlawanan arah dengan *dips*. Berdasarkan tabel pembobotan RMR, jurus dengan kemiringan 45-90 tergolong ke kondisi tidak menguntungkan dengan -12.

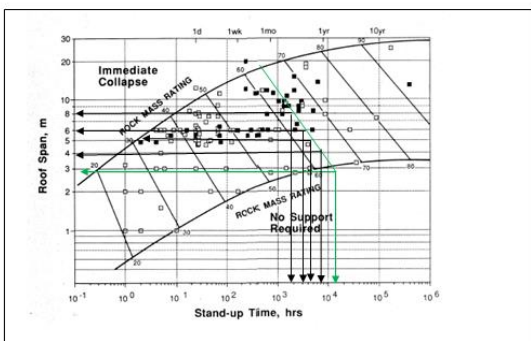
4.2.5 Pembobotan berdasarkan RMR-sistem

Tabel 5. Kelas Massa Batuan Berdasarkan Klasifikasi RMR-Sistem pada Tunnel I

Parameter	Nilai Gallena	Bobot Gallena
Kuat Tekan (PLI)	19,73	15
Rqd (%)	91,55%	20
Spasi (Mm)	239	10
Kondisi Diskontinuitas		
1. Persistence (m)	<1	6
2. Lebar Rongga (mm)	0.1-1.0	4
3. Kekerasan Kekar	Smooth	1
4. Material Pengisi	Tidak Ada	6
5. Pelapukan	Sedikit Lapuk	5
Kondisi Air	Lembab	10
Orientasi Kekar	Tidak Menguntungkan	-12
RMR		65
Kelas Massa Batuan		II
Deskripsi Massa Batuan		Good Rock
Nilai GSI-(RMR-5)		60

Berdasarkan pembobotan menurut parameter RMR-system (Bieniawski,1989) maka dapat disimpulkan bahwa pada *tunnel I* termasuk kedalam kelas II batuan yaitu kelas *good rock* dengan bobot 65

4.2.6 Nilai Span Maximum dan Stand Up Time



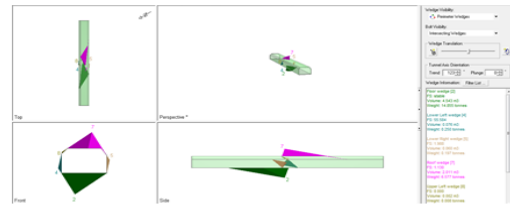
Gambar 3. Penentuan Nilai *Stand Up Time* dan *Span Maximum* untuk Nilai RMR 65

Tabel 6. Nilai *Stand Up Time* dan *Span Maximum*

RMR	Span Maximum (m)	Stand Up Time (jam)
65	10	1080
	8	3000
	6	5000
	5	7000
	4	9000
	3	1000

Berdasarkan nilai hubungan antara *Stand Up Time* dan *Span Maximum* yang ada pada Tabel 6, maka nilai *Span Maximum* lokasi penelitian adalah 3 meter dengan waktu runtuh adalah 1000 jam atau 416ri. Nilai ini diambil dari lebar lubang bukaan yang telah ditetapkan yaitu 3meter.

4.3 Prediksi Beban Runtuh Menggunakan Software Unwedge



Gambar 16. Output Software Unwedge

Gambar 4. Output Software Unwedge(Siltstone) Tunnel I

Tabel 7. Parameter output software Unwedge (Siltstone) Tunnel I

Berdasarkan data hasil pengolahan menggunakan software unwedge, diketahui *safety factor* (FS) terendah yaitu 1,130 pada bagian *Roof Wedge* dengan SF lebih kecil dari 1,5 (Keputusan Menteri Energi Dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia nomor 1827K30/MEM/2018). Sehingga diperlukannya penguatan (*ground support*)

4.4 Model penyangga berdasarkan klasifikasi massa batuan RMR menggunakan perangkat lunak unwedge

4.4.1 Pemodelan penyangga berdasarkan klasifikasi massa batuan RMR

Hasil dari *groundsupport* RMR merekomendasikan menggunakan *Rock bolt* diameter 20 mm, *fully grouted* panjang 3 m, spasi 2,5 m Shotcrete tebal 50 mm pada atap dan selanjutnya di input ke dalam program *unwedge* sehingga didapatkan hasil seperti gambar 4.



Gambar 5. Baji Sebelum di Pasang Penyangga



Gambar 6. Baji Setelah di Pasang Penyangga

Dari hasil pengolahan undwege menggunakan groundSupport RMR didapatkan hasilnya yaitu terjadinya kenaikan nilai *Safety Factor* dari nilai 1,190 menjadi 5,711.

5 Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

1. Berdasarkan hasil uji laboratorium mekanika tanah dan mekanika batuan didapatkan nilai sifat fisik: Untuk batuan didaerah *Tunnel I* didapat nilai bobot isi asli 3,37 gr/cm³, bobot isi kering 3,26 gr/cm³, bobot isi jenuh 3,37gr/cm³, berat jenis semu 3,26, berat jenis asli 3,68, kadar air asli 0,26%, kadar air jenuh 3,35%, derajat kejenuhan 9,98%, porositas 10,67%, dan void ratio 0,12.
2. Berdasarkan Uji *Point Load Index* batuan dilokasi penelitian pada *tunnel I* didapatkan nilai rata-rata sebesar 0,9398 Mpa.
3. Berdasarkan metode RMR sistem diperoleh massa batuan pada lokasi penelitian *tunnel I* dengan nilai RMR sebesar 65 berada pada kelas II (*good rock*).
4. Nilai RMR Galena pada lokasi penambangan *tunnel I* adalah 65, dimana jenis batuan ini termasuk kedalam batuan kelas II (batuan baik) dengan rentang *Stand Up Time* selama 10000am dan *span* setiap 3 meter berdasarkan rekomendasi kelas massa batuan (Bieniawski, 1989).
5. Berdasarkan pengolahan *Software Undwedge* dengan menggunakan metode *groundsupport RMR* terjadi kenaikan nilai FK, yaitu dari 1,130 menjadi 2,481.
6. Hasil dari ground support RMR merekomendasikan menggunakan Rock bolt diameter 20 mm, *fully grouted* panjang 3m, spasi 2,5 *Shorcret* tebal 50 mm.

5.2 Saran

1. Perlu dilakukannya pengukuran tegangan insitu secara langsung dilapangan, mengingat kondisi perlapisan pada tambang bawah tanah bersifat tidak

menerus karena adanya struktur batuan seperti patahan, lipatan, dan kekar..

2. Pemasangan ground support yang direkomendasikan diusahakan berdasarkan rekomendasi RMR.

Daftar Pustaka

- [1] Alwan, Yosia Dwiki. 2018. Studi Pemanfaatan Kayu Karet Sebagai Material Penyangga Tambang Bawah Tanah di Desa Pualam Sari, Kecamatan Tapin, Provinsi Kalimantan Selatan. Banjarbaru: Universitas Lambung Mangkurat.
- [2] Apriyono, Arwan., dan Sumiyanto. 2010. Tinjauan Kekuatan Sistem Penyangga Terowongan dengan Menggunakan Metode Elemen Hingga. UNSOED.
- [3] Bieniawski Z. T. 1976. Rock Mass Classifications in Rock Engineering. Proceeding Symposium on Exploration for Rock Engineering, Ed. Z.T. Bieniawski, A.A. Balkema, Rotterdam, p. 97-106.
- [4] Bieniawski Z. T. 1984. Rock Mass Design in Mining and Tunneling. The Pennsylvania State University, A.A. Balkema, Rotterdam, p. 272.
- [5] Bieniawski Z. T. 1989. Engineering Rock Mass Classifications. John Wiley & Sons, New York, p. 251.
- [6] Bieniawski Z. T. 1990. *Tunnel Design By Rock Mass Classifications*.
- [7] Biron, C., dan Ergin, A. (1983). Design of Support in Mines. John Wiley & Sons : Virginia.
- [8] Desmawita, Ika., dan Raimon Koppa. 2018. Analisis Kestabilan Lubang Bukaan Berdasarkan Klasifikasi Geomekanika pada Tambang Bawah Tanah CV. Tahiti Coal, Kota Sawahlunto, Sumatera Barat. Padang: UNP.
- [9] E. Ambarini. Sistem Stabilitas Lubang Bukaan Pengembangan Dengan Menggunakan Baut Batuan (Rockbolt) dan Beton Tembak (Shotcrete) di Blok Cikoneng PT Cibaliung Sumberdaya, Kab. Pandeglang, Prov. Banten. Jurnal penelitian 6.2. Bandung: UNISBA (2015).
- [10] F. Alfathoni, Syamsul Komar, dan Fuad Rusydi Suwardi. Evaluasi Teknis Sistem Penyangaan Menggunakan Metode Rock Mass Rating (Rmr) System Pada Development Area (Ckn_Dc) Tambang Emas Bawah Tanah Pt. Cibaliung Sumberdaya. Jurnal Penelitian 1.2. Palembang: UNSRI (2017)
- [11] Hakim, Romla Noor. 2016. Monitoring Deformasi Dinding dan Atap Terowongan Tambang Emas Bawah Tanah Menggunakan Total Station Reflektorless. Universitas Lambung Mangkurat.
- [12] Hoek E. dan E. T. Brown. 1980. Underground Excavation in Rock. London: Institution of Mining and Metallurgy.
- [13] Koppa, Raimon. 1990. Bahan Ajar Studi Teknik Terowongan. Padang: FT UNP. Syaeful, Heri. 2015. Analisis Karakteristik Massa Batuan di Sektor Lemajung, Kalan, Kalimantan Barat. Batan: Pusat Teknologi Bahan Galian Nuklir.
- [14] Mahmud, Ghozali. 2013. Pemodelan Pemasangan Penyangga Sementara Menggunakan Perangkat

Lunak Phase 2 Pada Headrace *Tunnel* Chainage 45 M – 155 M Di Plta Tulis Kabupaten Banjar negara, JawaTengah.

- [15] Melati, Sari. 2016. Penentuan Tegangan Terinduksi Dan Penilaian Risiko Keruntuhan Atap Pada Tambang Batubara Bawah Tanah Metode Room And Pillar. Teknik Pertambangan. Universitas Lambung Mangkurat.
- [16] Prasetyanto, Wahyu Eko., dan Bambang Heriyadi. 2017. Analisis Penyanggaan Berdasarkan Karakteristik Batuan Pada Atap dan Dinding Lubang Tambang Batubara Bawah Tanah BMK-04 di CV. Bara Mitra Kencana, Kecamatan Talawi, Sawahlunto. Padang : UNP.
- [17] Pratama. Redy, Raimon Kopa. 2013. 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. Padang: UNP.
- [18] Pribadi, Sholeh Rifki., dan Sundeck Hariyadi. 2015. Kajian Ggeologi Teknik Pada Rencana Pembuatan *Tunnel* Tambang Bawah Tanah. Universitas Kutai Kartanegara.
- [19] Prengki, Ilep., dan Bambang Heriadi. 2019. Analisis Beban Runtuh dan Evaluasi Lubang Bukaan Berdasarkan Metode Rock Mass Rating dan Q-System pada Tambang Bawah Tanah CV. Bara Mitra Kencana, Kota Sawahlunto, Sumatera Barat. Padang:UNP.
- [20] Rahman, Alfi., dan Bambang Heriadi. 2019. Analisis Kestabilan Lubang Bukaan dan Pilar saat Proses Mining Block Development pada Penambangan Bawah Tanah Metoda Room & Pillar PT. Allied Indo Coal (AIC) Jaya. Padang:UNP.
- [21] Sulistyanto. B, dkk. 2008. Diktat Sistem Penambangan ITB. Departemen Teknik Pertambangan ITB, Bandung.
- [22] Sutanti, Ambar., Pawitra Wijaya. 2016. 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. Yogyakarta: UPN Veteran.
- [23] Tim Mekanika Batuan Jurusan Teknik Pertambangan. 2015. Buku Panduan Pengujian di Laboratorium Mekanika Batuan. Padang : UNP.
- [24] Tirayoh, Elisa., dan Arista Muhartanto. 2014. Analisis Struktur Geologi dan Penambangan Bawah Tanah Terhadap Propagasi Subsidence di Daerah Ertsberg PT. Freeport Indonesia, Papua. Jakarta : Usakti.
- [25] Trides. T, dkk. 2017. Rancangan Geometri Web Pilar dan Barrier Pilar pada Metode Penambangan Dengan Sistem Auger. Prosiding Seminar Nasional Teknologi IV, Samarinda.