

# EVALUASI SISTEM PENYANGGAAN PADA *TUNNEL* 4 BERDASARKAN METODE RMR-SYSTEM DI PT. AICJ, SAWAHLUNTO

Alvi Zichri<sup>1\*</sup>, Raimon Koppa<sup>1\*\*</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang

\*[alvizichri@gmail.com](mailto:alvizichri@gmail.com)

\*\*[raimon\\_unp@yahoo.co.id](mailto:raimon_unp@yahoo.co.id)

**Abstract.** Excavation of underground rock masses results in changes in the balance of rock conditions such as rock collapse and changes in *tunnel* dimensions due to shifting of stress distribution. Good geotechnical analysis is desirable to provide proper treatment of the excavated rock. This research was conducted to determine rock mass class, rock mass classification using the RMR method, determine the strength of the rock in *tunnel* 4 of PT AICJ Sawahlunto, obtain *Stand Up Time* and span buffer values as references for installing mine pit buffers, obtain appropriate support system recommendations based on the results ground support RMR (Bieniawski 1989) on *tunnel* 4, Obtaining the condition of the wooden supports used in *tunnel* 4 of PT AICJ at this time. From the measurement of several parameters of the RMR method, it is obtained that *tunnel* 4 for coal is in class III (fair rock) with a coal RMR value of 53, and silstone is in class II (good rock) with a value of 61. Based on the stress value received on the cap and side post, namely 502.85 Kg/cm<sup>2</sup> and 74.898 Kg/cm<sup>2</sup> with the value of the wood clearance stress of 623.75 Kg/cm<sup>2</sup>. So that the FK value on the cap and side post *tunnel* 4 are 1.24 and 8,32. So the *tunnel* cap 4 is recommended to use wooden supports with a diameter from 20 cm to 21 cm so that the FK value has increased to 1,60 and is declared safe (> 1.5).

**Keywords:** Underground, Rock Mass Rating, Stress, Safety Factor, Wooden Support.

## 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 penyangganya. 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

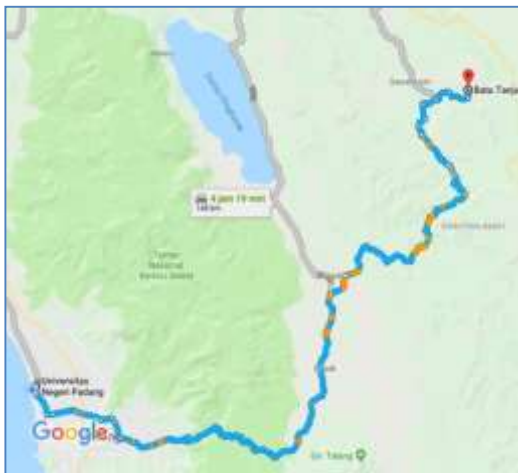
penyangganya. Retakan dan patahan ini terjadi dengan waktu atau periode yang tidak menentu.

## 2 Lokasi Penelitian

Lokasi penambangan PT. Allied Indo Coal Jaya (PT.AICJ) terletak di Parambahan, Kecamatan Talawi, Kota Sawahlunto, Provinsi Sumatera Barat. Secara geografis wilayah IUP PT.AICJ berada pada posisi 1000 46' 48" – 1000 48' 47" BT dan 000 35' 34"– 000 36' 59" LS. Lokasi penambangan ini secara geografis berbatasan dengan:

1. Sebelah utara berbatasan dengan wilayah Desa Batu Tanjung dan Desa Tumpuak Tengah, Kecamatan Talawi, Kota Sawahlunto.
2. Sebelah timur berbatasan dengan wilayah Jorong Bukit Bual dan Koto Panjang Nagari V Koto, Kecamatan Koto VII, Kabupaten Sijunjung.
3. Sebelah selatan berbatasan dengan wilayah Jorong Koto Panjang Nagari V Koto, Kecamatan Koto VII, Kabupaten Sijunjung, dan Wilayah Desa Salak, Kecamatan Talawi, Kota Sawahlunto.
4. Sebelah barat berbatasan dengan Wilayah Desa Salak, Kecamatan Talawi, Kota Sawahlunto.

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



Gambar 1. Peta Lokasi Kesampaian Daerah

## 3 Kajian Teori

### 3.1 Distribusi Tegangan pada Lubang Buka

Tegangan alamiah merupakan tegangan dalam massa batuan sebelum penggalian dilakukan. Tegangan alamiah dapat terdiri dari beberapa macam seperti tegangan gravitasi, tegangan tektonik, tegangan sisa dan tegangan termal. Menurut asal mulanya tegangan dalam batuan dibagi menjadi 2, yaitu:

1. Tegangan insitu ( natural stresses)
2. Tegangan terinduksi ( induced stresses)

### 3.1.1 Tegangan Insitu (Natural Stress)

Rai, dkk (2007) berpendapat bahwa massa batuan pada lokasi yang dalam akan mengalami tegangan insitu yang dihasilkan oleh berat tanah atau batuan yang ada di atasnya (gravitational stress), tegangan akibat peristiwa tektonik (tectonic stress), dan tegangan sisa (residual stress). Jika sebuah lubang bukaan bawah tanah dibuat pada massa batuan ini, kondisi tegangan secara lokal akan berubah dan kondisi tegangan baru akan dialami oleh massa batuan di sekitar lubang bukaan tersebut.

#### 3.1.1.1 Tegangan Gravitasi Insitu Vertikal

Tegangan ini dapat diperkirakan dari hubungan sederhana:

$$\sigma_v = HP \times \gamma$$

Dimana :

$\sigma_v$  = Tegangan insitu gravitasi vertikal

$\gamma$  = Berat satuan massa batuan di atas elemen

$h$  = Kedalaman dari permukaan (m)

Pengukuran tegangan gravitasi in situ vertikal di sejumlah tambang dan konstruksi sipil menunjukkan bahwa hubungan ini cukup valid, meskipun terdapat penyebaran data yang cukup besar.

#### 3.1.1.2 Tegangan Gravitasi Insitu Horizontal

Tegangan gravitasi in situ horizontal jauh lebih sulit untuk diperkirakan dibandingkan dengan tegangan in situ vertikal. Biasanya, rasio tegangan gravitasi insitu horizontal terhadap tegangan gravitasi in situ vertikal dinyatakan dengan  $k$ , sehingga:

$$\sigma_h = K \times \sigma_v$$

### 3.1.2 Tegangan Terinduksi

Ketika lubang bukaan bawah tanah dibuat di dalam massa batuan yang mengalami tegangan, tegangan-tegangan pada batas galian akan didistribusikan.

## 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* 4, data penyanggaan yang digunakan perusahaan seperti panjang kayu, diameter kayu dan jarak penyanggaan.

###### 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	Tunnel 4	
		Siltstone	Batubara
1.	Bobot isi asli (gr/cm <sup>3</sup> )	2.96	2.13
2.	Bobot isi kering (gr/cm <sup>3</sup> )	2.69	1.96
3.	Bobot isi Jenuh (gr/cm <sup>3</sup> )	3.06	2.19
4.	Berat jenis asli	2,69	1.96
5.	Berat jenis semu	4,40	2.58
6.	Kadar air asli (%)	9,90	8.60
7.	Kadar air jenuh (%)	14,07	11.41
8.	Derajat kejenuhan (%)	71,67	77.11
9.	Porositas (%)	37,02	22.73
10.	Angka pori	0,61	0.30

##### 4.1.2 Uji Point Load Index atau Beban Titik

**Tabel 3.** Hasil Pengujian Point Load Index

	Material	Sampel	D	Beban (P) (kg)	PLI (Is) (Mpa)	$\sigma_c$ (Mpa)	
			(c m)				
Tunnel 4	Batubara	BB4. 1	4,1	596.8	0.13	3.02	
		BB4. 2	4	621.6	0.14	3.27	
	Rata-rata					0.135	3.15
	Siltstone	R4. 1	4,2	5324	1.13	25.95	
		R4. 2	4,1	5432	1.20	27.49	
		R4. 3	4,1	4992.7	1.10	25.26	
		R4. 4	4,3	4995.1	1.02	23.48	
	Rata-rata					1.11	25.55

#### 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 4*

Jarak		RQD (%)			
Dari	ke	Dinding	Atap	Dinding	RQD
(m)	(m)	Kiri		Kanan	Rata-rata (%)
0	1	93.62	92.61	94.73	93.65
1	2	93.69	85.56	92.88	87.30
2	3	76.91	87.9	79.67	81.49
3	4	96.02	91.69	86.97	91.56
4	5	81.98	95.53	83.92	87.14
5	6	93.19	85.25	92.32	90.25
6	7	94.25	93.23	90.97	92.82
7	8	94.53	93.39	82.49	90.14
8	9	95.7	92.61	89.95	92.75
9	10	64.46	83.92	65.01	71.13
<b>Rata-rata</b>		<b>88.44</b>	<b>90.17</b>	<b>85.89</b>	<b>87.82</b>

Dari hasil mapping geoteknik dan pengolahan data RQD yang telah dilakukan diperoleh nilai RQD rata-rata pada *tunnel 4* lapisan batubara pada lokasi penelitian sebesar 87,16 %, untuk pembobotan penulis menggunakan data RQD yang terkecil dengan nilai sebesar 64,46 % sehingga diperoleh bobot sebesar 13. Sedangkan pada lapisan *siltstone* nilai RQD rata-rata yang diperoleh adalah 90.17 %, untuk pembobotan penulis menggunakan data RQD yang terkecil dengan nilai sebesar 83,92 % sehingga diperoleh bobot sebesar 17.

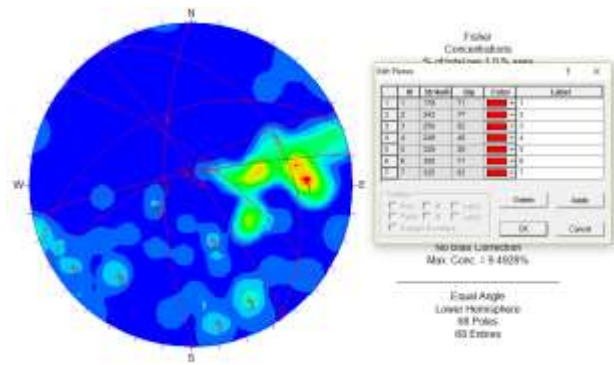
#### 4.2.2 Data Spasi Bidang Diskontinu

Setelah dilakukan pengolahan data spasi bidang diskontinuitas pada *tunnel 4*, diperoleh jarak rata-rata antar kekar pada lapisan batubaranya adalah 0,200 m, kemudian dicocokkan dengan tabel RMR, maka nilai tersebut masuk kedalam kelompok 60-200 mm dengan nilai bobot sebesar 8 poin. Sedangkan untuk batuan *siltstone* jarak kekar rata-rata adalah 0,237 kemudian dicocokkan dengan tabel RMR, maka nilai tersebut masuk kedalam kelompok 200-600 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 4*, dapat disimpulkan bahwa kondisi air tanah pada area penelitian digolongkan kering, sehingga untuk pembobotan RMR-system mendapatkan nilai pembobotan sebesar 15.

#### 4.2.4 Orientasi Bidang Diskontinu



**Gambar 2.** Arah Umum Kekar Lapisan Batubara *Tunnel 4*

Kekar dominannya berada pada dinding dengan nilai dip rata-rata sebesar N179°E/71°, N243°E/77°, N259°E/82°, N2490E/40°, N329°E/28°, N308°E/71°, N325°E/83° dan arah lubang bukaan 152°. 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 -10.

#### 4.2.5 Pembobotan berdasarkan RMR-sistem

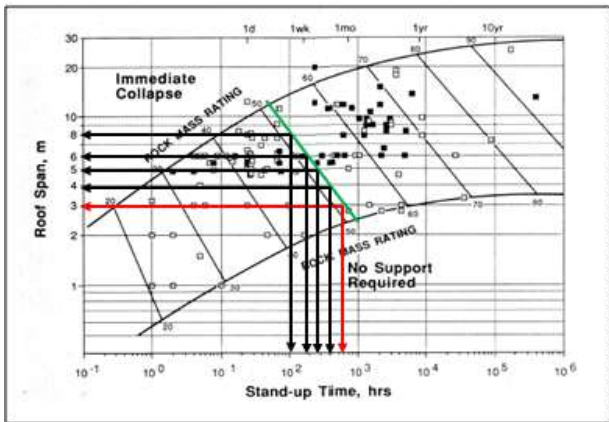
**Tabel 5.** Kelas Massa Batuan Berdasarkan Klasifikasi RMR-Sistem pada *Tunnel 4*

No.	Parameter	Siltstone		Batubara	
		Nilai/Kondisi	Bobot	Nilai/Kondisi	Bobot
1	PLI (MPa)	1,11	4	0,135	0
2	RQD (%)	83,92	17	64,46	13
3	Spasi (m)	0,2	8	0,2	8
4	<b>Kondisi Diskontinuitas</b>				
	Persitence (m)	0,33	6	0,82	6
	Lebar Rongga (mm)	0,1	4	0,1	4
	Kekasaran	Kasar	5	kasar	5
	Material Pengisi	Tidak ada	6	Tidak ada	6
	Pelapukan	Tidak lapuk	6	Sedikit lapuk	5
5	Air Tanah	Kering	15	Kering	15
6	Orientasi Diskontinuitas	Tidak menguntungkan (Terowongan)	-10	Tidak menguntungkan (Terowongan)	-10
<b>Bobot Total</b>			<b>61</b>		<b>52</b>
<b>Kelas Massa Batuan</b>			<b>Good Rock</b>		<b>Fair Rock</b>
<b>Deskripsi Massa Batuan</b>			<b>II</b>		<b>III</b>
<b>Nilai GSI = RMR-5</b>			<b>56</b>		<b>48</b>

Berdasarkan pembobotan menurut parameter RMR-system (Bieniawski,1989) maka dapat disimpulkan bahwa pada *tunnel 4* untuk lapisan batubara tergolong kedalam batuan kelas III yaitu kelas sedang dengan

bobot 52. Sedangkan lapisan *siltstone* tergolong kedalam batuan kelas II yaitu kelas *good rock* dengan bobot 61.

4.2.6 Nilai *Span Maximum* dan *Stand Up Time*

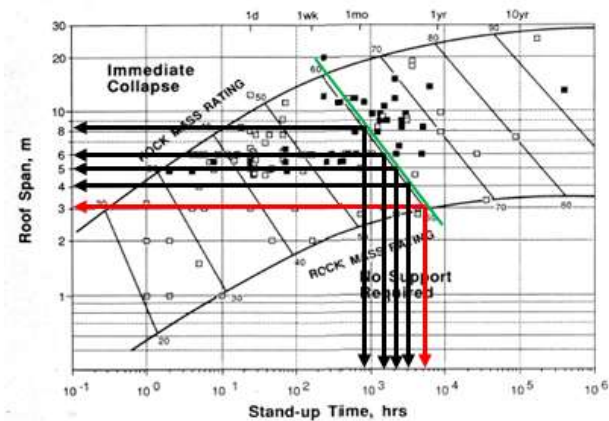


Gambar 3. Penentuan Nilai *Stand Up Time* dan *Span Maximum* untuk Nilai RMR 52 (Batubara)

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

RMR	Span Maximum (m)	Stand Up Time (jam)
52	8	100
	6	190
	5	290
	4	400
	3	600

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 600 jam atau 25 hari. Nilai ini diambil dari lebar lubang bukaan yang telah ditetapkan yaitu 3 meter.



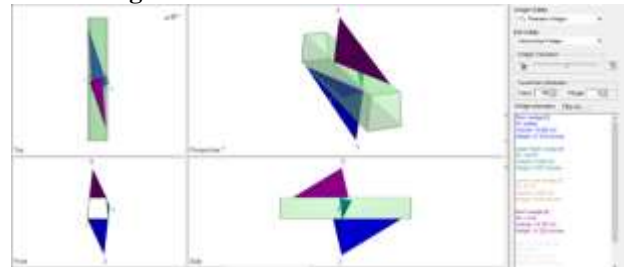
Gambar 4. Penentuan Nilai *Stand Up Time* dan *Span Maximum* untuk Nilai RMR 61 (*Siltstone*)

Berdasarkan nilai hubungan antara *Stand Up Time* dan *Span Maximum* yang ada pada Tabel 7, maka nilai *Span Maximum* lokasi penelitian adalah 3 meter dengan waktu runtuh adalah 5500 jam atau 229 hari. Nilai ini diambil dari lebar lubang bukaan yang telah ditetapkan yaitu 3 meter.

Tabel 7. Nilai *Stand Up Time* dan *Span Maximum*

RMR	Span Maximum (m)	Stand Up Time (jam)
61	8,5	800
	6	1500
	5	2100
	4	3100
	3	5500

4.3 Prediksi Beban Runtuh Menggunakan Software Unwedge

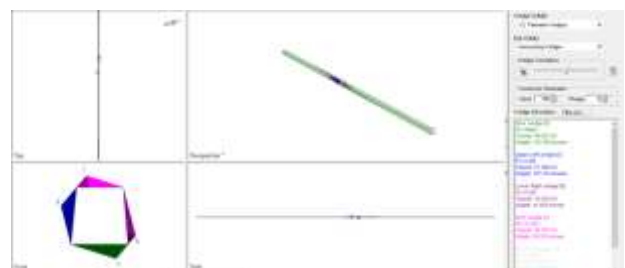


Gambar 5. Output Software Unwedge (*Siltstone*) Tunnel 4

Tabel 8. Parameter output software Unwedge (*Siltstone*) Tunnel 4

No	Lokasi	SF	Volume (m <sup>3</sup> )	Weight (tonnes)
1	Floor Wedge	Stable	19,805	57,433
2	Upper Right Wedge	16,577	0,285	0,827
3	Lower Left Wedge	8,733	0,003	0,009
4	Roof Wedge	1,419	10,787	31,282

Berdasarkan data hasil pengolahan menggunakan software unwedge untuk lapisan *siltstone*, diketahui *safety factor* (FS) terendah yaitu 1,419 pada bagian atap rencana terowongan yang merupakan lapisan *siltstone* itu sendiri, dikarenakan batuan atap terowongan adalah *siltstone* dengan SF lebih kecil dari 1,5, sehingga dipelrukannya penguatan (ground support).



Gambar 6. Output Software Unwedge (Batubara) Tunnel 4

Tabel 9. Parameter output software Unwedge (Batubara) Tunnel 4

No	Lokasi	SF	Volume (m <sup>3</sup> )	Weight (tonnes)
1	Floor Wedge	Stable	49,222	103,365
2	Lower Right Wedge	9,320	19,525	41,003
3	Upper Left Wedge	0,420	51,306	107,743
4	Roof Wedge	23,184	26,787	56,252

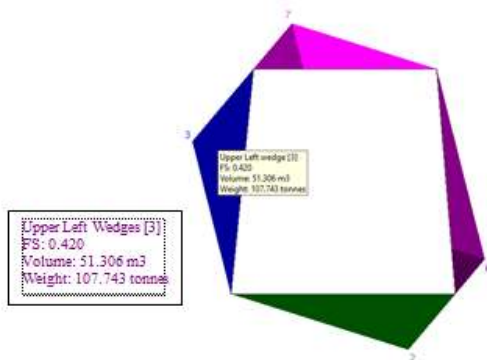
Berdasarkan data hasil pengolahan menggunakan software unwedge untuk lapisan batubara pada tunnel 4, diketahui *safety factor* (FS) terendah yaitu 0,420 pada

bagian bawah kanan dinding terowongan. Maka akan terjadi longsor baji, dikarenakan batuan dinding terowongan adalah batubara dengan SF lebih kecil dari 1,5, sehingga `diperlukannya penguatan (*ground support*).

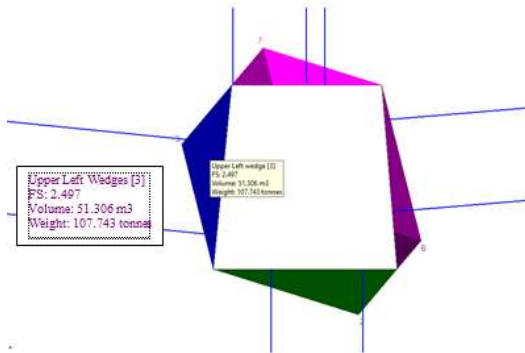
#### 4.4 Model penyangga berdasarkan klasifikasi massa batuan RMR menggunakan perangkat lunak undwedge

##### 4.4.1 Pemodelan penyangga berdasarkan klasifikasi massa batuan RMR

Hasil dari groundsupport RMR merekomendasikan menggunakan *Rock bolt* diameter 20 mm, *fully grouted* panjang 4 m, spasi 1,5-2 m Shotcrete tebal 50-100 mm pada atap dan 30 mm pada dinding dan selanjutnya di input ke dalam program *undwedge* sehingga didapatkan hasil seperti gambar 7.



Gambar 7. Baji Sebelum di Pasang Penyangga



Gambar 8. Baji Setelah di Pasang Penyangga

Dari hasil pengolahan undwege menggunakan groundSupport RMR didapatkan hasilnya yaitu terjadinya kenaikan nilai *Safety Factor* dari nilai 0,420 menjadi 2,497.

#### 4.5 Tegangan pada Lubang Buka

Tegangan pada lubang bukaan dapat terjadi dari dua arah yang berbeda, yaitu tegangan vertikal (*roof*) dan tegangan horizontal (*side wall*).

##### 4.5.1 Tegangan Vertikal (*Roof*)

Densitas batuan ( $\gamma$ ) = 2,9 t/m<sup>3</sup>  
 Lebar terowongan (B) = 2,7 m  
 RMR *siltstone* = 61

Perhitungan Tinggi Beban Runtuhan (HP) :

$$\begin{aligned} HP &= \frac{100 - RMR}{100} \times B \\ &= \frac{100 - 61}{100} \times 3 \\ &= 1,17 \text{ m} \end{aligned}$$

Perhitungan Tegangan Vertikal ( $\sigma_v$ ) :

$$\begin{aligned} \sigma_v &= HP \times \gamma \\ &= 1,17 \text{ m} \times 2,96 \text{ t/m}^3 \\ &= 3,46 \text{ t/m}^2 \end{aligned}$$

##### 4.5.2 Tegangan Horizontal (*Side wall*)

Tegangan vertikal ( $\sigma_v$ ) = 3,46 t/m<sup>2</sup>  
 Lebar terowongan (B) = 3 m  
 Kedalaman penggalian (Z) = 172 m

Perhitungan Rasio Tegangan Vertikal dan Horizontal (K) :

$$\begin{aligned} K &= 0,25 + 7 E_h (0,001 + \frac{1}{Z}) \\ &= 0,25 + 7 \times 10 (0,001 + \frac{1}{172}) \\ &= 0,72 \end{aligned}$$

Perhitungan Tegangan Horizontal ( $\sigma_h$ ) :

$$\begin{aligned} \sigma_h &= K \times \sigma_v \\ &= 0,72 \times 3,46 \text{ t/m}^2 \\ &= 2,49 \text{ t/m}^2 \end{aligned}$$

Tabel 10. Tegangan Vertikal dan Horizontal pada Tunnel 4

Tunnel	Tegangan vertikal (t/m <sup>2</sup> )	Tegangan Horizontal (t/m <sup>2</sup> )
Tunnel 4	3,46	2,49

#### 4.6 Tegangan pada Cap dan Side Post

Tabel 11. Tegangan Cap pada Lokasi Penelitian

Tunnel			Tunnel 4
Lebar Terowongan	B	m	2,7
Jarak Antar Set	a	m	1.12
Dimensi Cap	Diameter	db	0,20
	Panjang	Lb	2,7
Tegangan Vertikal	ov	t/m <sup>2</sup>	3,46
Momen pelengkungan Maksimum	Mmax	tm	3,52
Modulus Tampang	W	m <sup>3</sup>	0,000784
Tegangan Bending Cap	ob	t/m <sup>2</sup>	5028,5

**Tabel 12.** Tegangan *Side Post* pada Lokasi Penelitian

Tunnel			Tunnel 4	
Lebar Terowongan	B	m	2,7	
Jarak Antar set	a	m	1,12	
Dimensi Side post	dy	Diameter	m	0,3
	Ly	Panjang	m	2,75
Dimensi Cap	Lb	Panjang	m	2,7
Tegangan pada terowongan	(ov)	Tegangan vertikal	(t/m <sup>2</sup> )	3,46
	(oh)	Tegangan horisontal	(t/m <sup>2</sup> )	2,49
Angka kerampingan	(λ)			36,6
Buckling Factor	(ω)			1,32
Tegangan bending side post	(σn + σb)		(t/m <sup>2</sup> )	748,98
	(σn - σb)		(t/m <sup>2</sup> )	-944,48

#### 4.7 Faktor Keamanan

##### 4.7.1 Pada Cap

Tegangan izin kayu merupakan faktor yang sangat berpengaruh dalam penentuan keamanan penyangga karena nilai dari tegangan izin kayu akan dibandingkan dengan nilai tegangan yang diterima oleh sistem penyanggaan. Nilai faktor keamanan harus melebihi 1,5 agar dikatakan aman (Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia nomor 1827K/30/MEM/2018).

$$FK = \frac{\sigma_{sf}}{\sigma_b}$$

$$\sigma_{sf} = 623,75 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\sigma_b = 5308,2 \text{ t/m}^2 = 530,82 \text{ Kg/cm}^2$$

$$FK = \frac{623,75 \text{ Kg/cm}^2}{502,85 \text{ Kg/cm}^2} = 1,24$$

Nilai FK pada cap di *tunnel* 4 ini dikategorikan tidak aman karena bernilai kecil dari 1,5 (Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia nomor 1827K/30/MEM/2018). Untuk memperkecil nilai tegangan bending pada penyangga, alternatif yang digunakan adalah menggunakan kayu dengan diameter yang lebih besar.

##### 4.7.2 Pada Side Post

Tegangan side post tidak berbeda jauh dengan tegangan pada cap, hanya saja tegangan yang diterima dari arah yang berbeda sehingga perhitungannya memerlukan nilai rasio tegangan vertikal dan tegangan horisontal. Sama halnya dengan *cap*, nilai faktor keamanan yang dihasilkan juga harus melebihi 1,5 agar dapat dikatakan aman (Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia nomor 1827K/30/MEM/2018).

$$FK = \frac{\sigma_{sf}}{\sigma_n \pm \sigma_b}$$

$$\sigma_{sf} = 623,75 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\sigma_n \pm \sigma_b = 757,48 \text{ t/m}^2 = 75,748 \text{ Kg/cm}^2$$

$$FK = \frac{623,75 \text{ Kg/cm}^2}{74,898 \text{ Kg/cm}^2}$$

$$= 8,32$$

Nilai FK pada *side post* di *tunnel* 4 ini dikategorikan aman karena bernilai besar dari 1,5 (Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia nomor 1827K/30/MEM/2018).

#### 4.8 Rekomendasi Diameter Kayu Cap Terhadap Faktor Keamanan

**Tabel 13.** Rekomendasi Diameter Kayu Cap Terhadap Faktor Keamanan

No.	Mmax (tm)	db (m)	db (cm)	W		σ <sub>b</sub>			FK
				0,098xldb <sup>3</sup>		t/m <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	
				m <sup>3</sup>	cm <sup>3</sup>				
1	3.52	0.2	20	0.0007	700	5028.5	502.85	623.75	1.24
2	3.52	0.21	21	0.0009	907.57	3878.45	387.84	623.75	1.60
3	3.52	0.22	22	0.0010	1043.50	3373.25	337.32	623.75	1.84
4	3.52	0.23	23	0.0011	1192.36	2952.11	295.21	623.75	2.11
5	3.52	0.24	24	0.0013	1354.75	2598.26	259.82	623.75	2.40
6	3.52	0.25	25	0.0015	1531.25	2298.77	229.87	623.75	2.71
7	3.52	0.26	26	0.0017	1722.44	2043.60	204.36	623.75	3.05
8	3.52	0.27	27	0.0019	1928.93	1824.84	182.48	623.75	3.41
9	3.52	0.28	28	0.0021	2151.29	1636.22	163.62	623.75	3.81
10	3.52	0.29	29	0.0023	2390.12	1472.72	147.27	623.75	4.23

Dari tabel 13, dapat dilihat bahwa semakin besar diameter dari kayu yang digunakan maka semakin tinggi pula faktor keamanan dari penyangga. Untuk mencapai faktor keamanan 1,5 diperlukan kayu dengan diameter minimal 21 cm, sehingga nilai dari beban yang diterima oleh penyangga pada *cap* menjadi lebih kecil yaitu dari 5028,5 t/m<sup>2</sup> menjadi 3878,4 t/m<sup>2</sup>. Begitu juga dengan nilai FK, dari yang awalnya 1,24 menjadi 1,60. Nilai dari FK ini dinyatakan aman, karena nilai FK > 1,5 (Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia nomor 1827K/30/MEM/2018).

## 5 Kesimpulan dan Saran

### 5.1 Kesimpulan

- Berdasarkan hasil uji laboratorium mekanika tanah dan mekanika batuan didapatkan nilai sifat fisik:
  - Batubara
    - Untuk batubara didapat nilai bobot isi asli 2,13 gr/cm<sup>3</sup>, bobot isi kering 1,96 gr/cm<sup>3</sup>, bobot isi jenuh 2,19 gr/cm<sup>3</sup>, apperent SG 1,96, true SG 2,58, kadar air asli 8,60%, kadar air jenuh 11,41%, derajat kejenuhan 77,11%, porositas 22,73%, dan void ratio 0,30.



b. *Siltstone*

Untuk batu pasir didapat nilai bobot isi asli 2,96 gr/cm<sup>3</sup>, bobot isi kering 2,69 gr/cm<sup>3</sup>, bobot isi jenuh 3,06 gr/cm<sup>3</sup>, apperent SG 2,69, true SG 4,4, kadar air asli 9,9%, kadar air jenuh 14,07%, derajat kejenuhan 71,67%, porositas 37,02%, dan void ratio 0,61.

2. Berdasarkan Uji *Point Load Index* batuan dilokasi penelitian pada *tunnel* 4 didapatkan nilai rata-rata sebesar 3,15 Mpa untuk batubara dan 25,55 MPa untuk *siltstone*.
3. Berdasarkan metode RMR sistem diperoleh massa batuan pada lokasi penelitian *tunnel* 4 untuk batubara berada pada kelas III (*fair rock*) dengan nilai RMR batubara sebesar 52, dan *Siltstone* berada pada kelas II (*good rock*) dengan nilai sebesar 61.
4. Nilai RMR batubara pada lokasi penambangan *tunnel* 4 adalah 52, dimana jenis batuan ini termasuk kedalam batuan kelas III (batuan sedang) dengan rentang *Stand Up Time* selama 600 jam 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 0,420 menjadi 2,497.
6. Berdasarkan evaluasi penyangga yang digunakan perusahaan saat ini di *tunnel* 4, pada bagian *cap* didapatkan nilai FK 1,24 yang belum memenuhi kriteria faktor keamanan 1,5. Sehingga perlu dilakukan perubahan nilai-nilai yang dapat memaksimalkan kinerja kayu penyangga, salah satunya dengan memperbesar nilai diameter kayu yang digunakan pada *cap* dari 20 cm menjadi 21 cm. Dengan menggunakan diameter kayu 21 cm pada *cap*, didapatkan nilai FK yang mengalami kenaikan dari 1,24 menjadi 1,60, sehingga penyangga *cap* pada *tunnel* 4 sudah memenuhi kriteria aman FK >1,5 (Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia nomor 1827K/30/MEM/2018).

## 5.2 Saran

1. Penelitian ini bisa dijadikan referensi bagi perusahaan dalam merancang sistem penyanggaan kayu, khususnya pada tambang batubara bawah tanah metoda room & pillar berdasarkan kajian geoteknis yang lebih detail.
2. Pemasangan ground support yang direkomendasikan diusahakan berdasarkan rekomendasi RMR.
3. Perlu dilakukannya pengukuran tegangan insitu secara lansung dilapangan, mengingat kondisi setiap perlapisan pada tambang batubara bawah tanah yang bersifat tidak menerus karena adanya struktur patahan, lipatan, dan kekar.

## 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 Willey & 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 Buka Berdasarkan Klasifikasi Geomekanika pada Tambang Bawah Tanah CV. Tahiti Coal, Kota Sawahlunto, Sumatera Barat. Padang: UNP.
- [9] E. Ambarini. Sistem Stabilitas Lubang Buka 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 Penyanggaan 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, Ghazali. 2013. Pemodelan Pemasangan Penyangga Sementara Menggunakan Perangkat Lunak Phase 2 Pada Headrace *Tunnel* Chainage 45 M – 155 M Di Plta Tulis Kabupaten Banjar negara, Jawa Tengah.
- [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] Prasetianto, 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 Bukaam Tambang Batubara Bawah Tanah Pit Central Barat Di PT. Allied Indo Coal Jaya. Padang: UNP.
- [18] Pribadi, Sholeh Rifki., dan Sundek 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 Bukaam 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 Bukaam dan Pilar saat Proses Mining Block Development pada Penambangan Bawah Tanah Metoda Room & Pillar PT. Allied Indo Coal (AIC) Jaya. Padang:UNP.
- [21] Sulistianto. 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.