

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.

Ilep Prengki^{1*} and Bambang Heriyadi^{1**}

Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang

*ilepprengki@gmail.com

**bambang_heriyadi@yahoo.co.id

Abstract. The excavation of an underground rock mass resulting in a change in the balance of rock conditions such as the occurrence of rock collapse and changes in the dimensions of the tunnel as a result of the displacement of the stress distribution. It is desirable to have a good geotechnical analysis to provide an appropriate treatment of rocks excavated. This research was conducted to determine rock mass class, rock strength at BMK 34 CV Bara Mitra Kencana. Classification of rock mass with RMR system and Q-System FK potential of wedge using unwedge software. From the measurement of several parameters of the RMR method, RMR values of 48 (Coal) and 60 (Sillstone) were obtained where rock mass class III (fair rock), based on the Q-System obtained a value of 14 in class II for coal and 4 Class III for Sillstone. Based on the RMR-system classification, the value for span maximum is 3 m with a collapse time of 110 hours and the value of the load collapse is 1,56 tons / m². Based on the Unwedge Software processing, there was an increase in FK values for both methods, based on Support RMR Ground from 1,907 to 2,939 and based on Ground Support Q-System from 1,907 to 2,078.

Keywords : Underground, Rock Mass Rating, Q-System, Safety Factor, Ground Support.

1. Pendahuluan

Metode penambangan endapan mineral dan batubara secara garis besar dibagi atas dua metode yaitu metode tambang terbuka dan metode tambang bawah tanah. Tambang batubara di Sawahlunto dilakukan dengan tambang terbuka dan tambang bawah tanah. Tambang bawah tanah seperti dijumpai diantaranya pada tambang CV. Bara Mitra Kencana.

Lapisan batubara CV. Bara Mitra Kencana berada pada formasi Sawahlunto berumur Eosen di dalam cekungan Ombilinyang terdiri dari tanah penutupperselingan serpih karbonan, batulanau, batupasir, sisipan konglomerat dan batubara. Di lokasi penelitian batuan yang dijumpai ialah *siltstone* (batulanau) dan batubara. Sedangkan untuk penyanggaan yang diterapkan perusahaan yaitu menggunakan penyangga kayu dan penyangga beton pada *canopy*.

Potensi ketidakstabilan yang terjadi pada batuan di sekitar lubang bukaan tambang bawah tanah membutuhkan penanganan khusus, terutama perancangan penyanggaan untuk menjamin

keselamatan pekerja, kemajuan penambangan dan peralatan tambang.

Untuk mengidentifikasi karakteristik massa batuan pada suatu lubang bukaan dapat dilakukan dengan beberapa metode analisis. Salah satunya analisis geomekanika seperti analisis RMR (Bieniawski 1989) dan Q-System (Barton, Leem & Lunde, 1974). Analisis ini menyatakan bahwa kestabilan lubang bukaan pada tambang bawah tanah dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu sifat-sifat fisik dan mekanik batuan sebagai material penyusun atap dan dinding lubang bukaan, kondisi struktur geologi, tekanan air bawah tanah, dan bidang-bidang lemah yang terdapat pada lubang bukaan tersebut.

Maka dari itu, perlu dilakukan pengamatan terhadap kondisi lubang bukaan dan berbagai uji laboratorium terhadap sampel massa batuan sebagai penyusun lubang bukaan tersebut. Analisis ini dapat digunakan untuk menentukan kelas massa batuan dan jenis *groundsupport* yang akan digunakan untuk memperkuat batuan agar tidak runtuh

2. Dasar Teori

Kebanyakan terowongan sekarang dibangun berdasarkan beberapa metode metode sistem klasifikasi, yang terdiri dari metode empiris, metode analitik dan metode observasi. Klasifikasi massa batuan adalah salah satu metode pendekatan yang dapat digunakan untuk membuat desain lubang bukaan bawah tanah. Dalam penelitian ini metode klasifikasi massa batuan yang digunakan adalah metode *Rock Mass Rating System*

(RMR-System)^[1].

2.1 Sistem Rock Mass Rating (RMR)

Rock Mass Rating atau dikenal dengan *Geomechanichs 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)^[2].

Dalam mengklasifikasikan massa batuan berdasarkan sistem Klasifikasi RMR, Bieniawski menggunakan enam parameter utama yang dijumlahkan untuk memperoleh nilai total RMR, yaitu:

1. Kuat tekan uniaksial batuan utuh
2. *Rock Quality Designation* (RQD)
3. Spasi bidang diskontinyu
4. Kondisi bidang diskontinyu
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-bobot nilai dari setiap parameter tersebut akan dijumlahkan untuk memperoleh bobot total massa batuan. Berikut ini penjelasan mengenai keenam parameter klasifikasi RMR sistem :

2.1.1 Kuat Tekan Batuan Utuh (UCS) dan Point Load Test (PLI)

Kuat tekan batuan utuh dapat diperoleh dari uji kuat tekan uniaksial, *Uniaxial Compressive Strength* (UCS) dan uji *point load*, *Point Load Test* (PLI).

Tabel 1. Identifikasi kekuatan material batuan utuh

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>)

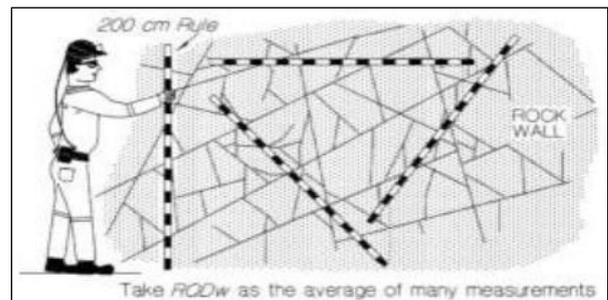
2.1.2 Rock Quality Design (RQD)

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 presentase dari bagian inti yang utuh dengan panjang lebih dari 100 mm terhadap total kedalaman lubang bor (*core run*)^[3].

Sedangkan Priest dan Hudson (1976) memberikan hubungan antara nilai RQD dengan jarak antar bidang diskontinyu yang ada didalam massa batuan atau *joint spacing* (Js) dengan persamaan sebagai berikut^[4]:

$$RQD = 100e^{-0.1\lambda} (0.1\lambda + 1) \quad (1)$$

λ adalah rasio antara jumlah kekar dengan panjang *scanline* (kekar/meter).



Gambar 1. Prosedur pengukuran frekuensi kekar dengan menggunakan *scan line*

2.1.3 Spasi Diskontinuitas

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

2.1.4 Kondisi Bidang Diskontinu

Ada beberapa parameter yang digunakan oleh Bieniawski dalam memperkirakan kondisi permukaan bidang diskontinu, yaitu : kemenerusan (*persistence*), rekahan (*separation*) kekasaran permukaan bidang diskontinu (*roughness*), material pengisi (*infilling*), pelapukan (*weathering*)

2.1.5 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, lembab, basah, terdapat tetesan air, atau terdapat aliran air.

2.1.6 Orientasi Bidang Diskontinu

Koreksi RMR selanjutnya dilakukan berdasarkan arah penggalian terowongan dan orientasi bidang diskontinu yang ada pada lokasi tersebut. Orientasi bidang diskontinu dianggap menguntungkan jika berarah tegak lurus terhadap sumbu terowongan dan akan merugikan jika searah dengan sumbu terowongan. Arah umum biasanya dinyatakan dalam *strike/dip* atau *dip/dip direction*. Kedua nilai ini diperoleh dengan pengukuran menggunakan kompas geologi^[5].

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

CLASSIFICATION PARAMETERS AND THEIR RATINGS								
Parameter		Range of values						
Strength of intact rock material	Point-load strength index	>10 MPa	4-10 MPa	2-4 MPa	1-2 MPa	For this low range uniaxial compressive test is preferred		
	Uniaxial comp. Strength	>250 MPa	100-250 MPa	50-100 MPa	25-50 MPa	5-25 MPa	1-5 MPa	< 1 MPa
Rating		15	12	7	4	2	1	0
Drill core quality RQD		90%-100%	75%-90%	50%-75%	25%-50%	< 25%		
Rating		20	17	13	8	3		
Spacing of discontinuities		>2 m	0.6-2 m	200-600 mm	60-200mm	< 60 mm		
Rating		20	15	10	8	5		
Condition of discontinuities (see E)		Very rough surfaces Not continuous No spartation Unweathered wall rock	Slightly rough surfaces Separation < 1mm Slightly weathered walls	Slightly rough surfaces Separation < 1mm Highly weathered walls	Slickenside surfaces or Gauge < 5mm thick or Separation 1-5 mm continuous	Split gauge > 5 mm thick Or Separation > 5 mm continuous		
Rating		30	25	20	10	0		
Ground water	Inflow per 10 m Tunnel length (l/m)	None	< 10	10-25	25-125	> 125		
	(Joint water press)/ (Mayor principal σ)	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		
RATING ADJUSTMENT FOR DISCONTINUITY ORIENTATIONS (See F)								
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	-30			
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			
MEANING OF ROCK CLASSES								
Class number	I	II	III	IV	V			
Average stand-up time	20 yrs for 15 m span	1 year for 10 span	1 week for 5 m span	10 hrs for 2.5 m span	30 min for 1 m span			
Compression of rock mass (kPa)	> 400	300-400	200-300	100-200	< 100			
Dip angle of rock mass (α)	> 45	35-45	23-35	15-25	< 15			
GUIDELINES FOR CLASSIFICATION OF DISCONTINUITY conditions								
Discontinuity length (persistence)	< 1m 6	<1 4	3-10 2	10-20 1	> 20 m 0			
Separation (aperture)	None 6	< 0.1 mm 5	0.1-1.0 mm 4	1-5 mm 1	> 5 0			
Surface roughness	Very rough 6	Rough 5	Slightly rough 3	Smooth 1	Slickensided 0			
Filling (gauge)	6	Hard filling<4mm	Hard filling > 5mm	Soft filling<5mm	Soft filling>5mm 0			

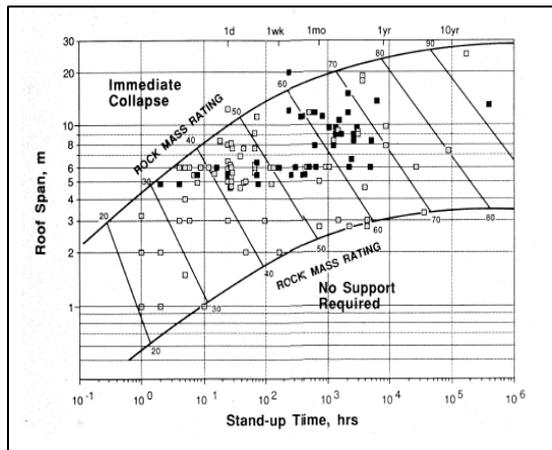
Berdasarkan identifikasi 6 parameter diatas, maka dengan penjumlahan bobot setiap parameter digabungkan dalam penilaian sistem RMR (Tabel 3). Hasil dari penjumlahan bobot masing-masing parameter RMR kemudian digunakan untuk menentukan kelas batuannya berdasarkan tabel klasifikasi massa batuan..

Tabel 3. Kualitas Massa Batuan

Parameter	Bobot				
	81-100	61-80	41-60	21-40	<20
Nilai RMR	81-100	61-80	41-60	21-40	<20
Nomor kelas RMR	I	II	III	IV	V
Kualitas massa batuan	Sangat baik	Baik	Sedang	Buruk	Sangat buruk

2.1.7 Stand Up Time

Kriteria analisis kestabilan terowongan dapat dinyatakan dalam bentuk grafik hubungan antara RMR terhadap *roof span* untuk mengetahui nilai *stand-up time* dan mengetahui kondisi kestabilan terowongan. Parameter *stand-up time* dalam mekanika batuan dan desain terowongan mempengaruhi keputusan dalam pemilihan metode perkuatan batuan, dan waktu untuk memasang penyangga batuan. *Stand up time* bukan merupakan fungsi dari bobot nilai (*rating*) batuan dan dapat ditentukan dengan memplot nilai RMR dan *span* pada garafik interpolasi *stand up time* geomekanik dari grafik yang dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Grafik hubungan antara *Stand-Up Time* dengan *Span* berdasarkan nilai RMR.

Berdasarkan hasil klasifikasi geomekanik sistem RMR, tinggi runtuh (*ht*) dan beban runtuh (P_{RMR}) yang akan diterima oleh penyangga dapat ditentukan dengan rumus sebagai berikut^[6]:

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

Keterangan B = lebar terowongan (m)

$$P_{RMR} = \frac{(100 - RMR)}{100} \times \gamma \times B \quad (3)$$

Keterangan:

γ = densitas batuan (ton/m^3)

2.2 Analisis Kestabilan Lubang bukaan

Analisis kestabilan lubang bukaan dilakukan untuk mendapatkan nilai faktor keamanan (FK) dari lubang bukaan tersebut. Dalam tambang bawah tanah FK ditentukan dengan menghitung perbandingan antara kekuatan beban untuk menahan dari suatu penguatan (penyangga) dengan beban batuan yang disangganya. Metode analitik merupakan salah satu dari pendekatan kestabilan lubang bukaan atau terowongan dengan menggunakan program-program komputer sebagai alat atau tools untuk mempermudah pengerjaan data. Dalam penelitian ini program komputer yang digunakan adalah *Dips dan Unwedge*.

2.2.1 Program Dips

Program *Dips* banyak digunakan untuk membantu mengidentifikasi arah kekar atau *joint*, dari semua *joint-joint* yang ada. Data *joint* ini akan dikelompokkan menjadi *family* berdasarkan kesamaan arah tegasannya^[7]

2.2.2 Analisis Unwedge

Bentuk dan ukuran baji dalam massa batuan dan sekitar bukaan nya tergantung pada ukuran, bentuk dan orientasi bukaan (*azimuth tunnel*) serta pada orientasi *joint set* yang signifikan. Geometri tiga dimensi dari masalah permodelan baji memerlukan perhitungan yang efisien dengan memanfaatkan program komputer yang telah tersedia. Salah satu contoh dari program komputer tersebut adalah UNWEDGE 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. Data yang diperlukan ialah *dip* dan *dip direction* dari setiap *joint set* yang telah diukur.

2.3 Rekomendasi Sistem Penyanggan

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 (*rockbolt*), jejaring besi (*steel set*), beton tembak (*shotcrete*), dan beton cor (*concrete*) seperti yang dijelaskan pada Tabel 3^[8]

Tabel 4. Rekomendasi Penyangga

Kelas MR	Metode Penggalian	Baut Batuan (Diameter 20mm, fully grouted)	Beton Tembak	Stell set
I	Full face, dengan kemajuan 3m	Secara umum tidak membutuhkan penyangga		
II	Full face, dengan kemajuan 1,5-3m. Pemasangan penyangga penuh 20 m dari face	Baut batuan pada atap panjang 3m, spasi 2,5m, dengan penambahan wire mash	50mm pada atap	Tidak dibutuhkan
III	Top heading and bench 1,5-3m kemajuan pada top heading, penyangga setelah peledakan. Penyanggaan penuh 10m dari face	Baut batuan panjang 4m, spasi 1,5-2 m pada dinding dan atap, serta pemasangan wire mash	50-100 mm pada atap, 100 mm pada dinding	Tidak dibutuhkan
IV	Top heading and bench 1-1,5m kemajuan pada top heading, penyanggaan sesegera mungkin pada saat penggalian. Penyangga penuh 10m dari face	Baut batuan panjang 4m, spasi 1,5-2m pada dinding dan atap, serta pemasangan wire mash	100-150mm pada atap, 100mm pada dinding	Ringan s/d medium dengan spasi 1,5m
V	Multiple drift kemajuan 0,5-1,5m pada top heading. Pemasangan penyangga sesegera mungkin pada saat penggalian.	Baut batuan panjang 5-6m spasi 1-1,5m pada dinding dan atap, serta pemasangan wire mash	150-200mm pada atap, 150 mm pada dinding, 50mm pada face	Medium s/d berat, dengan spasi 0,75 m. Forepoling jika dianggap perlu

2.4 Rock Mass Quality (Q) – System

NGI (*the Norwegian Geotechnical Institute*) adalah yang pertama kali memperkenalkan metode klasifikasi massa batuan ini berdasarkan ± 200 kasus tentang terowongan dan goa dengan persamaan:

$$Q = \left[\frac{RQD}{J_n} \right] \left[\frac{J_r}{J_a} \right] \left[\frac{J_w}{SRF} \right] \quad (4)$$

Keterangan:

RQD/J_n = Ukuran blok

J_r/J_a = Kuat geser blok utuh

J_w/SRF = Tegangan aktif

Pembobotan Q-Sistem ini didasarkan atas penaksiran numerik kualitas massa batuan menggunakan 6 parameter berikut:

1. RQD
2. Jumlah set kekar
3. Kekasaran kekar atau kekar utama
4. Derajat alterasi/pengisian sepanjang kekar yang paling lemah
5. Aliran air
6. Faktor reduksi tegangan

Kualitas tegangan dapat berkisar dari Q = 0,001 sampai Q = 1000 pada skala logaritmik kualitas massa batuan.

3. METODE PENELITIAN

Dalam melakukan penelitian ini menggabungkan antara teori dan kenyataan yang terdapat di lapangan. Dari kedua hal itu maka dapat ditarik

pendekatan terhadap penyelesaian permasalahan yang timbul.

3.1 Jenis Penelitian

Berdasarkan jenis data yang akan diperoleh maka penelitian ini tergolong kedalam penelitian kuantitatif. Metode penelitian kuantitatif merupakan salah satu jenis penelitian yang spesifikasinya adalah sistematis, terencana, dan terstruktur dengan jelas sejak awal hingga pembuatan desain penelitiannya^[9].

3.2 Teknik Pengumpulan Data

Metode teknik pengumpulan data yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode observasi yaitu metode pengumpul data yang dilakukan dengan cara mengamati dan mencatat secara sistematis gejala-gejala yang diselidiki^[10]. Observasi dilakukan menurut prosedur dan aturan tertentu sehingga dapat diulangi kembali oleh peneliti dan hasil observasi memberikan kemungkinan untuk ditafsirkan secara ilmiah.

3.3 Teknik Pengolahan Data

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

1. Pengolahan Data
2. Analisis Data
3. Kesimpulan

3.4 Lokasi Penelitian

3.4.1 Deskripsi Umum CV. Bara Mitra Kencana

CV. Bara Mitra Kencana merupakan perusahaan bergerak dibidang pertambangan dan perdagangan batubara. CV. Bara Mitra Kencana berdiri pada hari selasa tanggal 19 Januari 2007 di Kota Sawahlunto.

3.4.2 Struktur Organisasi CV. Bara Mitra Kencana

Kegiatan penambangan di CV. Bara Mitra Kencana dalam menjalankan dan mencapai tujuannya dipimpin oleh seorang Direktur Utama yang dibantu oleh Wakil Direktur, Kepala Teknik Tambang, Wakil Kepala Teknik Tambang dan Pengawas Operasional dan Teknis yang membawahi Kepala Lubang.

3.4.3 Keadaan Umum Lokasi Penambangan

Lokasi tambang tersebut dapat dicapai dengan menggunakan kendaraan roda empat dari Kota Padang jaraknya ±117 Km ke kota Sawahlunto serta menuju ke lokasi tambang dengan jarak tempu ±13 Km selebihnya ±3.

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 5 berikut ini^[11]:

4.1.1 Data Uji Sifat Fisik

Tabel 5. Nilai Rata-rata Uji Sifat Fisik Batuan

No	Parameter	Siltstone	Batubara
1	Bobot isi asli (gr/cm ³)	1.98	1,1
2	Bobot isi jenuh (gr/cm ³)	2.03	1,19
3	Bobot isi kering (gr/cm ³)	2.48	1.01
4	Berat jenis asli	1.82	1.01
5	Berat jenis semu	2.3	1,18
6	Kadar air asli (%)	9.4	18
7	Kadar air jenuh (%)	10.8	22
8	Derajat kejenuhan (%)	86.3	94,03
9	Porositas (%)	19.6	16.13
10	Angka pori	0.5	0,51

4.1.2 Uji Bobot Isi Batubara menggunakan Gelas ukur

Hasil pengujian bobot isi batubara menggunakan gelas ukur dilakukan tiga kali percobaan dan didapatkan rata-rata nya yaitu 1,21 gr/ml untuk bobot isi asli dan 1,27 untuk Bobot isi jenuh nilai bobot isi inilah yang akan digunakan untuk pengolahan data sebagai parameter Input di perangkat lunak Roclab.

4.1.3 Uji Point Load Index atau Beban Titik

Tabel 6. Hasil Pengujian Point Load Index Siltstone (Batu lanau)

No	Conto	Point Load Index (Is)
1.	Sampel 1	2,03Mpa
2.	Sampel 2	2,26 Mpa
3.	Sampel 3	2,0 MPa
Rata-rata		2,1 Mpa

4.1.4 Parameter pembobotan Kelas Massa Batuan RMR

Tabel 7. Tabel Pembobotan RQD

Jarak		Joint Frequency Spasi bidang diskontinuitas (m)				
Dari (m)	Ke (m)	Panjang diskontinuitas (m)	Lebar rongga (mm)	Kekasaran	Isian	Pelapukan
0	1	<1 m	0,1 - 1	Halus- agak kasar	None	Moderately weather
1	2	<1 m	0,1 - 1	Halus- agak kasar	None	Moderately weather
2	3	<1 m	0,1 - 1	Halus- agak kasar	None	Moderately weather
3	4	<1 m	0,1 - 1	Halus- agak kasar	None	Moderately weather
4	5	<1 m	0,1 - 1	Halus- agak kasar	None	Moderately weather
5	6	<1 m	0,1 - 1	Halus- agak kasar	None	Moderately weather
6	7	<1 m	0,1 - 1	Halus- agak kasar	None	Moderately weather
Bobot		6	4	3	6	3

Dari hasil penelitian *mapping geoteknik* yang telah dilakukan diperoleh informasi bahwa pada lokasi penelitian memiliki panjang rata-rata kemenerusan berkisar <1 meter dengan lebar bukaan kecil dari 0,1-1 mm. Tingkat kekasaran bidang diskontinuitas berada pada kelas halus sampai agak kasar. Untuk isian (*gouge*) saat pengujian di lapangan tidak terdapat pengisi pada rongga. Pelapukan batuan tergolong kedalam (*moderately weather*) cukup lapuk. Maka berdasarkan Tabel pembobotan, untuk kondisi bidang diskontinu diperoleh bobot total sebesar 22.

Tabel 8. Pembobotan untuk Kondisi Bidang Diskontinu

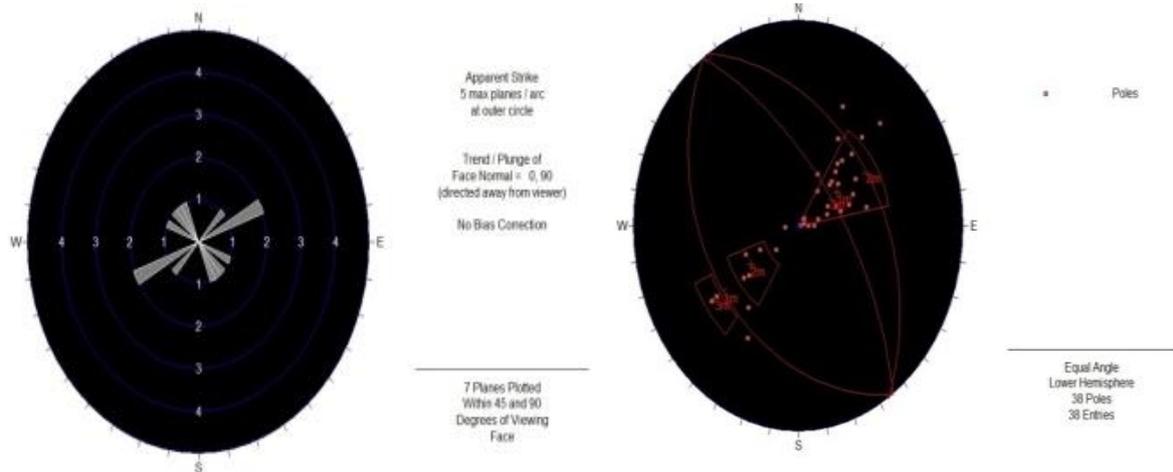
Jarak		Joint Frequency			RQD (%)			
Dari (m)	ke (m)	Dinding Kiri	Atap	Dinding Kanan	Dinding Kiri	Atap	Dinding Kanan	RQD Rata-rata (%)
0	1	4	4	5	93.84	93.84	90.97	92.88
1	2	4	5	4	93.84	90.97	93.84	92.88
2	3	3	5	5	96.30	90.97	90.97	92.74
3	4	5	5	5	90.97	90.97	90.97	90.97
4	5	3	5	3	96.30	90.97	96.30	94.52
5	6	5	3	5	90.97	96.30	90.97	92.74
6	7	5	5	5	90.97	90.97	90.97	90.97
Nilai RQD rata-rata					93.31	92.14	92.14	92.52

Dari hasil *mapping geoteknik* dan pengolahan data RQD yang telah dilakukan diperoleh nilai

RQD rata-rata pada lokasi penelitian sebesar 92.52 %, untuk pembobotan penulis menggunakan data RQD yang terkecil dengan nilai sebesar 90.97 jika di input kedalam Tabel pembobotan *Rock Mass Rating System* diperoleh bobot sebesar 13.

1. 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 pada lubang BMK 34 khusus pada batubara digolongkan kedalam menetes dengan bobot adalah 4, sedangkan Silstone tergolong kering..



Gambar 3. Kekar Dominan pada Batuan Dinding

Kekar dominannya berada pada dinding N115°E dengan nilai dip rata-rata sebesar 44° dan arah lubang bukaan N210°E. Hal ini berarti arah kekar berpotongan dengan arah lubang bukaan dan berlawanan arah dengan *dips*. Berdasarkan Tabel 13, jurus dengan kemiringan 45-90° tergolong ke kondisi tidak menguntungkan dengan bobot -10

Tabel 9. Pembobotan RMR Batuan Atap

Parameter Klasifikasi RMR-sistem Batuan Atap Sillstone			
Parameter	Kondisi	Bobot	
<i>Point load Index</i>	2.1 MPa	7	
<i>Rock Quality Design (RQD)</i>	90.97 %	20	
<i>Spacing of Discontinuities</i>	Rapat (0,15 m)	8	
Condition	<i>Persistence</i>	Sangat pendek (<1 m)	6
	<i>Aperature</i>	Sedang (0,1-1 mm)	4
	<i>Roughness</i>	Rough	5
	<i>Infilling</i>	Clay <5mm	4
	<i>Weathering</i>	Highly Weathered	1
<i>Air Tanah</i>	Kering	15	
<i>Strike and dips of Joint set</i>	Tidak menguntungkan	-10	
Total Rating		60	
Kelas Massa Batuan		Batuan Kelas III	

Tabel 10. Pembobotan RMR Batuan Dinding

2. Orientasi Bidang Diskontinu

Orientasi *strike and dip* pada bidang diskontinu merupakan kedudukan relatif dari bidang diskontinu terhadap sumbu lintasan lubang bukaan. Dalam menentukan orientasi *strike and dip* peneliti menggunakan kompas geologi. Pada penelitian ini, penentuan arah umum orientasi *strike and dips* dari setiap *join set* penulis menggunakan *software dips* dari *roccience*.

Penyesuaian orientasi kekar setelah diolah dengan software Dip V.50 arah kekar dominannya berada pada N109°E dengan nilai dip rata-rata sebesar 44° dan arah lubang bukaan N210°E. Hal ini berarti arah kekar berpotongan dengan arah lubang bukaan dan berlawanan arah dengan *dips*. Berdasarkan Tabel 8, jurus dengan kemiringan 20-45° tergolong ke kondisi tidak menguntungkan dengan bobot -10.

Parameter Klasifikasi RMR-sistem Batuan Dinding (Batubara)				
No	Parameter	Kondisi	Rating	
1	<i>Point load Index</i>	1.34 MPa	4	
2	<i>Rock Quality Design (RQD)</i>	90.97 %	20	
3	<i>Spacing of Discontinuities</i>	Rapat (0,11 m)	8	
4	Condition	<i>Persistence</i>	Pendek (<1 m)	6
		<i>Aperature</i>	Sedang (0,1-1 mm)	4
		<i>Roughness</i>	Sedikit kasar (<i>slightly rough</i>)	3
		<i>Infilling</i>	None	6
		<i>Weathering</i>	Moderately weather	3
5	<i>Air tanah</i>	Menetes	4	
6	<i>Strike and dips of Joint set</i>	Tidak menguntungkan	-10	
Total Rating			48	
Kelas Massa Batuan			Batuan Kelas III	

Berdasarkan pembobotan menurut parameter Bieniawski disimpulkan bahwa untuk batubara di BMK 34 tergolong kedalam batuan kelas III dengan bobot total 48. Nilai 48 terletak pada range 41-60 yang termasuk kedalam batuan kelas sedang. Sedangkan siltstone yang diukur tergolong

kedalam batuan kelas II dengan bobot 60. Nilai 60 terletak pada range range 41-60 yang termasuk kedalam batuan kelas sedang.

Tabel 11. Perhitungan *Q-System* batuan dinding (batubara) Perhitungan *Q-System* Batuan dinding (Batubara)

Parameter	Bobot	Keterangan
Nilai RQD	90.97	Sangat baik
(Jn)	9	Terdapat 3 bentuk kekar tambah kekar acak
(Jr)	4	Kekar tidak menerus
Ja	0.78	Sangat rapat, keras dan tidak ada pengisi
Arus air (Jw)	0.66	Aliran Air kecil
Kondisi Tekanan (SRF)	2.5	Bebas lempung Zona geser tunggal

$$Q\text{-Sistem} = \frac{90.97}{9} \times \frac{4}{0.78} \times \frac{0.66}{2.5} = 13.5$$

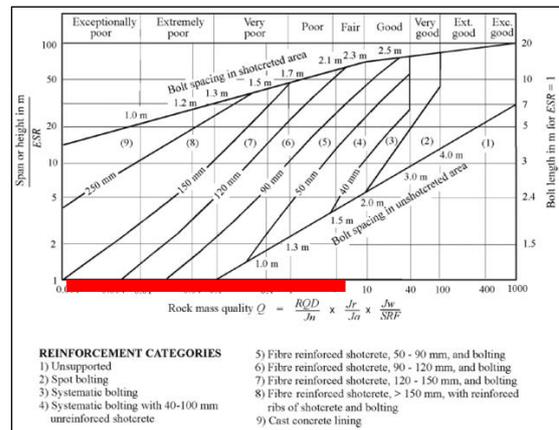
$$\text{Equivalent Dimension} = \frac{\text{Lebar lubang bukaan}}{\text{ESR (Excavation Support Ratio)}} = \frac{3}{3} = 1$$

Dari hasil perhitungan *Q-System* batubara didapatkan nilai *Q-System* Sebesar 14 dan nilai Equivalent Dimension sebesar 1, nilai ini akan di input Pada grafik *Q-System* untuk mendapatkan nilai *Ground Support rekomendasi* berdasarkan *Q-System*. Perhitungan *Q-System* Batuan dinding (Batubara)

$$Q\text{-Sistem} = \frac{90.97}{9} \times \frac{4}{0.78} \times \frac{0.66}{2.5} = 13.5$$

$$\text{Equivalent Dimension} = \frac{\text{Lebar lubang bukaan}}{\text{ESR (Excavation Support Ratio)}} = \frac{3}{3} = 1$$

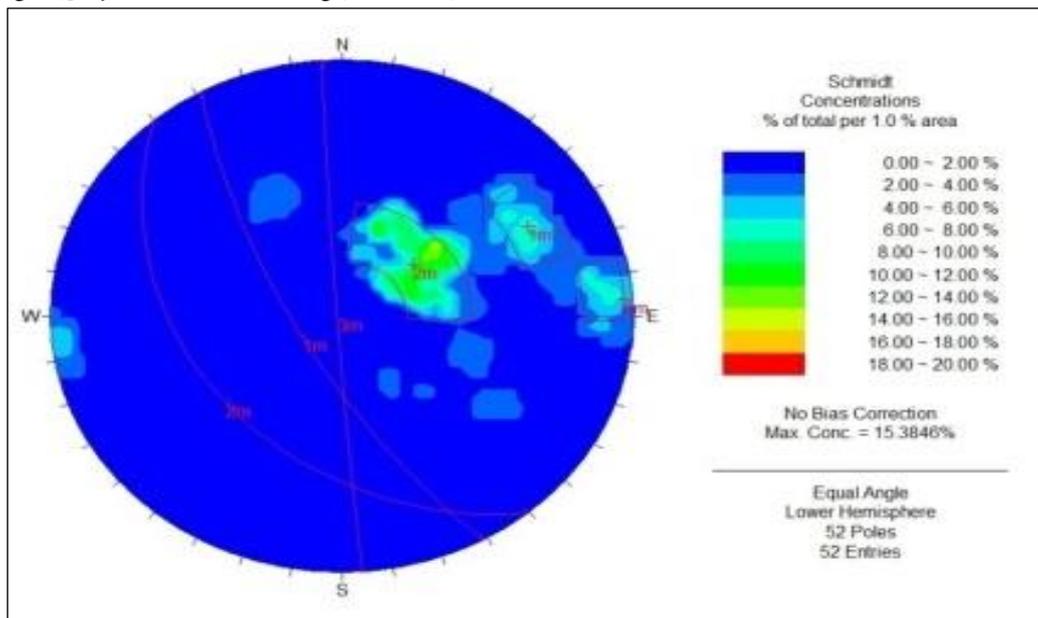
Dari hasil perhitungan *Q-System* batubara didapatkan nilai *Q-System* Sebesar 14 dan nilai Equivalent Dimension sebesar 1, nilai ini akan di input Pada grafik *Q-System* untuk mendapatkan nilai *Ground Support rekomendasi* berdasarkan *Q-System*.



Gambar 4. Nilai *Q System* Batuan Dinding

4.4 Arah Umum Joint

Kondisi umum dari penyebaran arah joint pada lubang penambangan BMK-34.



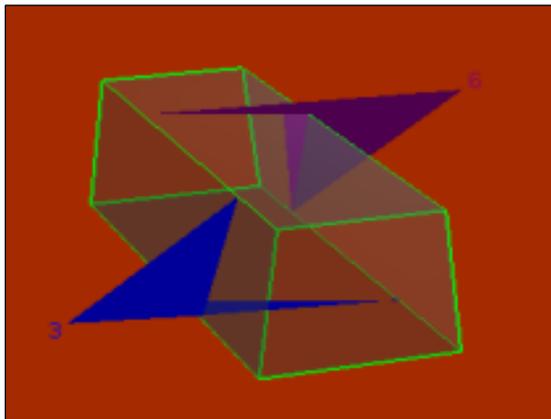
Gambar 5. Arah Umum Joint

Pada gambar diatas dapat diketahui bahwa ada tiga arah umum *joint set* yang berpotensi terjadinya runtuh bajidengan nilai *strike/dip* sebesar: N151°E/72°, N140°E/35°, N176°E/68° berdasarkan

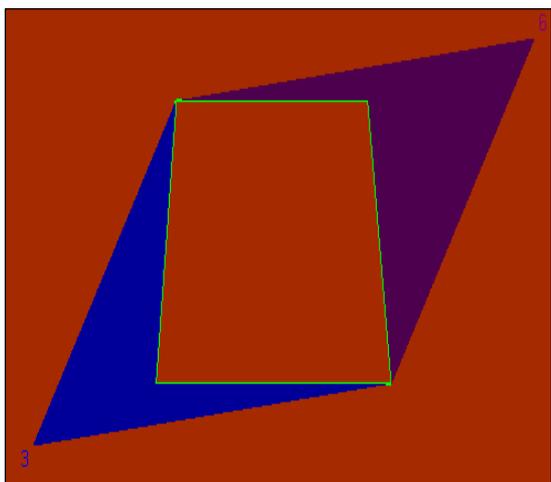
program *dips* dengan *dip direction/dip* N227°E/34°, N239°E/69°, N266°E/88°. Arah umum yang diperoleh dari analisis program *dips* akan digunakan pada program *Unwedge* untuk

mengetahui *possible wedge* (baji) yang memiliki *safety of factor* lebih kecil dari 1,5

4.5 Prediksi Beban Runtuh Menggunakan Software *Undwedge*



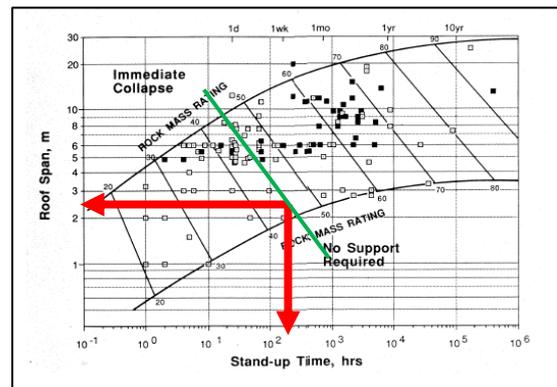
Gambar 6. Baji hasil pengolahan software *Undwedge*



Gambar 7. Baji hasil pengolahan software *Undwedge* Tamapak Depan

Baji yang terbentuk pada lokasi Penelitian memiliki *safety factor* terendah yaitu 2,442 pada dinding kanan dan stabil sehingga tidak perlu diberi perkuatan lebih karena berada pada kondisi aman dimana nilai *safety of factor* lebih besar dari 1,5.

4.6 Nilai *Span Maximun* dan *Stand Up Time*



Gambar 8. Stand Up Time

Tabel 12. Spam maximum dan stand up time

RMR	Span maximum m(m)	Stand up time (jam)
48	6	50
	5	90
	4	100
	3	170
	2	300

4.7 Rekomendasi Penyangga Kayu

4.7.1 Tegangan pada Cap

$$q_s = 2.52 \text{ Kg/m}^2$$

$$h = 2 \text{ m}$$

$$l = 2 \text{ m}$$

$$a = 1,5 \text{ m}$$

$$d = 20 \text{ cm}$$

$$q_{s, \text{max}} = 3.78 \text{ Kg/m}$$

$$R_c = 3.78 \text{ Kg}$$

$$M_{\text{max}} = 189 \text{ Kgcm}$$

$$W = 785 \text{ cm}^2$$

$$q_s = 240.764 \text{ Kg/cm}^2$$

Berdasarkan hasil analisa diatas diperoleh besar tegangan yang timbul adalah 240,76433Kg/cm². Berdasarkan perhitungan tersebut rekomendasi penyangga kayu (*cap*) adalah dengan menggunakan kayu kelas IV dengan kuat tekan 250 Kg/cm².

4.7.2 Tegangan pada Side Post

$$\begin{aligned}\alpha &= 81^\circ \\ l &= 2 \text{ m} \\ a &= 1,5 \text{ m} \\ d &= 20 \text{ cm} \\ q_t &= 3,78 \text{ Kg/m} \\ R_b &= 3,78 \text{ Kg} \\ W &= 785 \text{ cm}^3 \\ M_{\max} &= 189 \text{ Kgcm} \\ \omega &= 1,36 \\ R_k &= 3,8571 \\ F &= 314 \text{ cm}^2 \\ \sigma_b &= 221,788 \text{ Kg/cm}^2\end{aligned}$$

Berdasarkan hasil analisa diatas diperoleh besar tegangan yang timbul dari batuan yang runtuh (*absolut*) adalah 221,788 Kg/cm². Berdasarkan perhitungan tersebut rekomendasi penyangga kayu (*side post*) adalah dengan menggunakan kayu kelas IV dengan kuat tekan 221,788Kg/cm².

Keterangan:

- σ_t = Tekanan pada atap (Kg/cm²)
- h = Tinggi penampang kayu (m)
- l = Panjang *cap/side post* (m)
- a = Jarak antar penyangga (m)
- d = Diameter penampang kayu (cm)
- α = Sudut yang terbentuk (^o)
- ω = *Buckling factor*
- q_t = Beban persatuan panjang (Kg/m)
- R_b = Reaksi tumpuan (Kg)
- R_k = Reaksi kolom (Kg)
- F = Perhitungan luas alas (cm)
- M_{\max} = Momen maksimal (Kgcm)
- W = Modulus tampang (m³)
- σ_b = Kuat tekan batuan runtuh (Kg/cm²)

5. SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisis data dan pembahasan yang telah dilakukan maka didapatkan beberapa kesimpulan diantaranya :

1. Berdasarkan Uji Point Load Index batuan dilokasi penelitian BMK 34 didapatkanNilai rata-rata sebesar 1,34 MPa untuk batubara dan *siltstone* sebesar 2,1 MPa, kondisi batuan pada lokasi penelitian tingkat pelapukan cukup lapuk (*moderately weather*).

2. Berdasarkan metode RMR sistem diperoleh massa batuan pada lokasi penelitian berada pada kelas III (*fair rock*) dengan nilai RMR batubarasebesar 48, dan *Siltstone* dengan nilai sebesar 60, Berdasarkan Q-System diperoleh nilai sebesar 14 pada kelas II untuk batubara dan 4 Kelas III untuk *Siltstone*.
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 N151^oE/72^o , N140^oE/35^o, N176^oE/68^o dimana nilai FKnya terendah adalah 1,907 dan baji tersebut untuk saat ini masih stabil.
4. Rekomendasi penyanggaan berdasarkan klasifikasi RMR-sistem didapatkan nilai untuk *span maximum* adalah 3 m dengan waktu runtuh 110 jam dan nilai beban runtuh 1,56 ton/m².
5. Berdasarkan pengolahan Software *Undwedge* terjadi kenaikan nilai FK untuk ke dua metode, Berdasarkan *GroundSupport* RMR dari 1,907 menjadi 2,939 dan Berdasarkan *GroundSupport* Q-System dari 1,907 menjadi 2,078.

5.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan berdasarkan dengan pelaksanaan penelitian skripsi ini adalah

1. Pemasangan *groundsupport* yang direkomendasikan diusahakan seperti desain atau model yang telah dirancang berdasarkan rekomendasi RMR atau *Q-System*.
2. Penelitian pada skripsi ini dilakukan terbatas, oleh sebab itu diperlukan penyelidikan lanjutan karena sewaktu-waktu formasi dan jenis batuan dapat berubah.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Astawe, Made R, dkk. *Mekanika Batuan*. Bandung : ITB (2010)
- [2] Bieniawski, Z.T.*Rock Mass Clasifications in Rock Engineering.*, Proceeding Symposium on Exploration for Rock Engineering, Ed. Z.T. Bieniawski, A.A. Balkema, Rotterdam, p.97-106 (1976)
- [3] Hoek, E.*Practical Rock Engineering*. RocScience (2007)
- [4] Hudson J. A. *Rock Mechanics Principles in Engineering Practice*. London: CIRIA (1940)
- [5] Ika Desmawita. *Analisis Kestabilan Lubang Bukaan Berdasarkan Klasifikasi Geomekanika*, CV. Tahiti Coal, Sawahlunt. Padang: Universitas Negeri Padang (2017)
- [6] Bieniawski, Z.T.*Rock Mechanics Design in Mining and Tunnelling*. The Pennsylvania State University, A.A. Balkema, Rotterdam, p. 272 (1984)

- [7] Rocscience. *DIPS User's Guide*. Toronto USA : Rocscience inc (2013)
- [8] Faisal Akbar, dkk. *Kajian Geoteknik Terhadap Rancangan Penambangan Batubara Bawah Tanah Metode Shortwall di CV. Artha Pratama Jaya, Kutai Kertanegara*. Jurnal Teknologi Pertambangan. Vol. 1, No. 1: 37-45 9 (2015)
- [9] Sugiono. *Metode Penelitian Kuantitatif Kualitatif dan R&D*. Bandung: Alfabeta (2010)
- [10] Supardi. *Metodologi Penelitian Pendidikan Kompetensi dan Prakteknya*. Jakarta: Bumi aksara (2003)-10
- [11] Sumarya. *Panduan Praktikum Mekanika Batuan*. Padang: Universitas Negeri Padang (2014)