

**ANALISIS KESTABILAN LUBANG BUKAAN BERDASARKAN KLASIFIKASI
GEOMEKANIKA PADA TAMBANG BAWAH TANAH CV. TAHITI COAL,
KOTA SAWAHLUNTO, SUMATERA BARAT**

JURNAL PENELITIAN

*Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat
Untuk Menyelesaikan Program Studi S-1 Teknik Pertambangan*



Oleh:

IKA DESMAWITA
BP: 2013/1306448

Konsentrasi : Pertambangan Umum
Program Studi : S-1 Teknik Pertambangan
Jurusan : Teknik Pertambangan

**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI PADANG
2018**

**ANALISIS KESTABILAN LUBANG BUKAAN BERDASARKAN KLASIFIKASI
GEOMEKANIKA PADA TAMBANG BAWAH TANAH CV. TAHITI COAL,
KOTA SAWAHLUNTO, SUMATERA BARAT**

IKA DESMAWITA

**Artikel ini disusun berdasarkan Tugas Akhir Ika Desmawita untuk persyaratan wisuda
periode Maret 2018, telah diperiksa dan disetujui oleh kedua pembimbing**

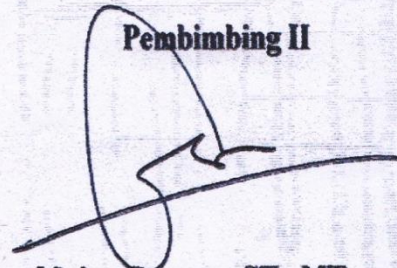
Padang, Januari 2018

Pembimbing I



Drs. Raimon Kopa, MT.
NIP. 19580313 198303 1 001

Pembimbing II



Mulya Gusman, ST., MT.
NIP. 19740808 200312 1 001

**ANALISIS KESTABILAN LUBANG BUKAAN BERDASARKAN KLASIFIKASI
GEOMEKANIKA PADA TAMBANG BAWAH TANAH CV. TAHITI COAL,
KOTA SAWAHLUNTO, SUMATERA BARAT**

Ika Desmawita, Drs. Raimon Kopa, M.T.¹, Mulya Gusman, S.T., M.T.²

S1 Teknik Pertambangan

FT Universitas Negeri Padang

Email : ikadesmawita7@gmail.com

ABSTRAK

The excavation of a tunnel in rock mass resulting a change in the balance of rock conditions such as the occurrence of rock collapse and changes in the dimensions of tunnel at the tail gate THC-02 as a result of the displacement of the voltage 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, and stability of open aperture based on potential of wedge collapse by estimating value of Safety Factor (FK) of openings and recommendation of ground support at tail gate hole THC-02 branch C-6.

Classification of rocks mass with RMR system and FK potential of wedge using unwadge software. From the measurement of several parameters of RMR method, the average RMR value of 45,3 is obtained whereas rock mass class III (fair rock). From RMR value also obtained the maximum span value of tunnel is 3 m with collapse time 90 hours and collapsed load value 3.705 kg/ m². The kinematic potential of wedge at the tail gate THC-02 branch C-6 in three general direction joint set with strike/ dip value: N174⁰E / 79⁰, N141⁰E / 26⁰, N160⁰E / 59⁰ where FK value is 9,525 and the wedge stable.

Based on the data it can be recommended as follows: if using rock bolt required rock bolt (20 mm diameter, fully grouted) with length 4 m spacing between 1,5-2,0 m bolt on the wall and roof and added wiremesh mounted systematically, 50-100 mm thick shotcrete installation on the roof and 30 mm on the wall, if wooden support required wood 20 cm diameter, length 2 m, grade III (360 kg / cm²) and spacing 1,5 m.

Keywords: Tunnel, Geotechnical, Geomechanics (RMR-System), Rock Mass Quality, Safety Factor, Ground Support

A. PENDAHULUAN

CV. Tahiti Coal merupakan perusahaan yang bergerak dibidang tambang batubara menggunakan sistem penambangan tambang bawah tanah (*underground mining*) yang mulai beroperasi pada tahun 2005 dengan luas

WIUP sebesar 53,80 Ha terletak di Desa Sijantang, tepatnya di daerah Sangkar Puyuh, Kecamatan Talawi, Kota Sawahlunto.

Segala aktivitas bawah tanah dilakukan dengan membuat lubang bukaan, baik lubang bukaan sebagai *acces*

development maupun produksi. Penggalian suatu lubang bukaan pada massa batuan akan terjadi perubahan keseimbangan dari kondisi batuan itu sendiri. Hal ini dicerminkan dengan terjadinya runtuh batuan dan perubahan dimensi lubang bukaan di lokasi penggalian *tail gate* pada *tunnel* THC-02 sebagai akibat adanya perpindahan distribusi tegangan. Walaupun sudah melakukan penyanggaan, namun pemasangan sistem penyangga tersebut didasarkan pada pola keruntuhan yang terjadi pada saat pembukaan terowongan tanpa melalui kajian menyangkut karakteristik massa batuan dan kebutuhan sistem penyangga. Fokus penelitian dilakukan pada cabang C-6 *tail gate* THC-02 dengan kemajuan penggaliannya saat ini yaitu 105 m dan kedalaman lubang 76 m.

Untuk mengidentifikasi karakteristik massa batuan pada suatu lubang bukaan dapat dilakukan dengan beberapa metode analisis. Salah satunya analisis geomekanika. Analisis geomekanika ini

untuk menentukan kelas massa batuan, potensi ketidakstabilan dan rekomendasi *ground support* yang akan digunakan untuk menghindari adanya jatuhnya batuan dari bidang lemah yang terbentuk akibat aktivitas yang terjadi pada lubang bukaan tersebut.

B. DASAR TEORI

Menurut Hoek dan Brown (1980) 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).

Sistem *Rock Mass Rating* (RMR)

Rock Mass Rating 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, 1989).

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 diskontinyu

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 :

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>)

Sumber : Bieniawski, tahun 1989.

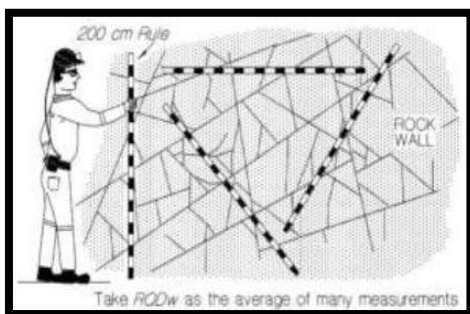
2. Rock Quality Design (RQD)

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*).

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 :

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

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



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

Sumber : Priest dan Hudson tahun 1976.

3. Spasi Diskontinuitas

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

4. Kondisi Bidang Diskontinu

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

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..

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.

Berdasarkan identifikasi 6 parameter diatas, maka dengan penjumlahan bobot setiap parameter digabungkan dalam penilaian sistem RMR (Tabel 2). Hasil dari penjumlahan bobot masing-masing parameter RMR kemudian digunakan untuk menentukan kelas batuanya berdasarkan tabel klasifikasi massa batuan (Tabel 3).

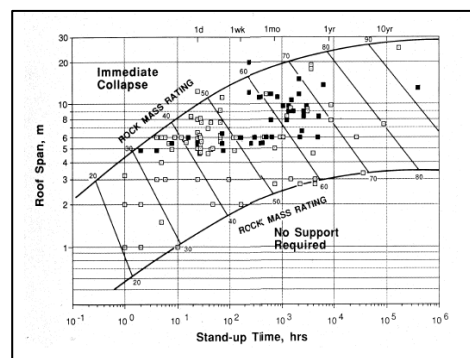
Tabel 3. Kualitas Massa Batuan

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

Sumber : Bieniawski, tahun 1989

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 grafik interpolasi *stand up time* geomekanik dari grafik yang dapat dilihat pada Gambar 2.



Sumber: Bieniawski, tahun 1989

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

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

A. CLASSIFICATION PARAMETERS AND THEIR RATINGS									
Parameter		Range of values							
1	Strength of intact rock material	Point-load strength index	>10 MPa	4-10 Mpa	2-4 Mpa	1-2 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	
2	Drill core quality RQD		90%-100%	75%-90%	50%-75%	25%-50%	< 25%		
	Rating		20	17	13	8	3		
3	Spacing of discontinuities		>2 m	0.6-2 m	200-600 mm	60-200mm	< 60 mm		
	Rating		20	15	10	8	5		
4	Condition of discontinuities (see E)		Very rough surfaces Not continuous No separation 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		
5	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		
B. 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				
C. ROCK MASS CLASSES DETERMINED FROM TOTAL RATINGS									
Rating		100-81	80-61	60-41	40-21	< 21			
Class number		I	II	III	IV	V			
Description		Very good rock	Good rock	Fair rock	Poor rock	Very poor rock			
D. MEANING OF ROCK CLASSES									
Class number		I	II	III	IV	V			
Average stand-up time		20 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			
Cohesion of rock mass (kPa)		> 400	300-400	200-300	100-200	< 100			
Friction angle of rock mass (deg)		> 45	35-45	23-35	15-25	< 15			
E. GUIDELINES FOR CLASSIFICATION OF DISCONTINUITY conditions									
Discontinuity length (persistence)		< 1m	1-3 m	3-10	10-20	> 20 m			
Rating		6	4	2	1	0			
Separation (aperture)		None	< 0.1 mm	0.1-1.0 mm	1-5 mm	> 5			
Rating		6	5	4	1	0			
Roughness		Very rough	Rough	Slightly rough	Smooth	Slickensided			
Rating		6	5	3	1	0			
Infilling (gauge)		6	Hard filling < 4mm	Hard filling > 5mm	Soft filling < 5mm	Soft filling > 5mm			
Rating			4	2	2	0			
Weathering		Unweathered	Slightly weathered	Moderately weathered	Highly weathered	Decomposed			
Rating		6	5	3	1	0			
F. EFFECT OF DISCONTINUITY STRIKE AND DIP ORIENTATION IN TUNNELLING**									
Strike perpendicular to tunnel axis None					Strike parallel to tunnel axis				
Drive with dip-Dip 45-90°		Drive with dip-Dip 20-45°			Dip 45-90°		Dip 20-45°		
Very favourable		Favourable			Very unfavourable		Fair		
Drive against dip-Dip 45-90°		Drive against dip-Dip 20-45°			Dip 0-20 – Irrespective of strike°				
Fair		Unfavourable			Fair				

Menurut Unal (1983) 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 :

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

Keterangan B = lebar terowongan (m)

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

Keterangan

γ = densitas batuan (ton/m^3)

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*.

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.

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

Rekomendasi Sistem Penyanggan

Menurut Bieniawski (1989), rekomendasi sistem penyanggan/penguatan massa batuan dapat menentukan seberapa panjang terowongan yang aman tanpa disangga dengan waktu swasangganya. Selain itu, Bieniewski juga menentukan jenis, diameter, dan panjang dari baut batuan (*rockbolt*), jejaring besi (*steel set*), beton tembak (*shotcrete*), dan beton cor (*concrete*) seperti yang dijelaskan pada Tabel 4.

Tabel 4. Rekomendasi Penyangga

Kelas MR	Metode Penggalian	Baut Batuan (Diameter 20mm, fully grouted)	Beton Tembak	Steel 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 <i>wire mesh</i>	50mm pada atap	Tidak dibutuhkan
III	Top heading and bench 1,5-3m kemajuan pada top heading, penyangga setelah peledakan. Penyangga penuh 10m dari face	Baut batuan panjang 4m, spasi 1,5-2 m pada dinding dan atap, serta pemasangan <i>wire mesh</i>	50-100 mm pada atap, 100 mm pada dinding	Tidak dibutuhkan
IV	Top heading and bench 1-1,5m kemajuan pada top heading, penyangga sesegera mungkin pada saat penggalian. Penyangga penuh 10m dari face	Baut batuan panjang 4m, spasi 1,5-2m pada dinding dan atap, serta pemasangan <i>wire mesh</i>	100-150mm pada atap, 100mm pada dinding	Rmgan 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 <i>wire mesh</i>	150-200mm pada atap, 150 mm pada dinding, 50mm pada face	Medium s/d berat, dengan spasi 0,75 m. Forepoling jika dianggap perlu

Sumber : Bieniawski, tahun 1989

C. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menganalisis kelas massa batuan yang terdapat pada lubang bukaan yang sering mengalami keruntuhan, desain penelitian ini akan mengambil data uji sifat fisik dan mekanik batuan serta struktur geologi yang menyebabkan terdapatnya bidang lemah yang dapat mempengaruhi kekuatan batuan tersebut sehingga dapat menimbulkan ambrukan pada lokasi terowongan, yang kemudian akan dilakukan pengolahan data dan evaluasi.

Menurut tujuannya penelitian ini termasuk jenis penelitian terapan yang dikerjakan dengan maksud menerapkan,

menguji, dan mengevaluasi kemampuan suatu teori dalam pemecahan suatu masalah praktis.

Metode analisis data yang digunakan adalah metode analisis kuantitatif yaitu berdasarkan teori perhitungan dan memberikana keluaran yang bersifat kuantitatif atau berbentuk angka.

Pengumpulan data dilakukan dengan metode observasi. Data yang dikumpulkan dari lapangan berupa data RMR batuan yakni nilai RQD, PLI, kondisi kekar, isian kekar, kekasaran kekar.

Teknik analisis data pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pengujian sifat fisik dan kuat tekan batuan dilakukan di Laboratorium Tambang Jurusan Teknik Pertambangan Universitas Negeri Padang.
2. Pemetaan Geoteknik
3. Perhitungan Nilai RMR dengan cara mengisi nilai bobot dari parameter-parameter RMR-sistem.

4. Menghitung nilai *stand up time* dengan nilai *span* dari hasil pembobotan nilai RMR.
5. Menghitung beban runtuh batuan menggunakan nilai RMR.
6. Menganalisa arah umum *joint* menggunakan program *Dips*
7. Menganalisa baji menggunakan program *Unwedge*
8. Rekomendasi jenis penyanggaan berdasarkan penilaian massa bataun dengan RMR sistem.

D. HASIL DAN PEMBAHASAN

Jenis batuan di dalam lubang bukaan terdiri atas *siltstone* (atap) dan batubara pada dindingnya. Dengan arah penggalian N153°E/29. Pengambilan data kuat tekan batuan dilakukan dengan melakukan pengujian laboratorium dengan nilai kuat tekan batuan rata-rata sebesar 27,01 Mpa untuk batubara dan *siltstone* sebesar 30,31 Mpa termasuk pada kategori sedang. Dari hasil penjumlahan nilai pembobotan untuk klasifikasi massa batuan pada lokasi penelitian, maka dapat dijelaskan bahwa

kelas massa batuan di lokasi tersebut dapat dilihat pada Tabel 5 berikut.

Tabel 5. Parameter pembobotan Kelas Massa Batuan RMR

No	Parameter	Rating RMR			
		Right	Roof	Left	
1	Rock strength (UCS)	4	4	4	
2	Rock Quality Design (RQD)	13	13	13	
3	Spacing of Discontinuities	8	8	8	
4	Condition	Persistence	4	6	4
		Aperature	4	4	6
		Roughness	3	3	3
		Infilling	6	2	6
		Weathering	3	3	3
5	Ground Water	10	10	10	
6	Strike and dips of Joint set	-12	-10	-5	
Total Rating		43	43	50	

Dari Tabel 5 di atas didapatkan nilai RMR rata-rata penyusun batuan pada tail gate THC-02 cabang C-6 sebesar 45,3. Berdasarkan Tabel 13 nilai RMR sebesar 45,3 tergolong kelas III dengan kualitas massa batuan sedang (*fair rock*).

Dari hasil perhitungan nilai RMR sehingga nilai *span* maximum dan *stand up* dapat dihitung dengan menggunakan grafik hubungan antara *stand up time* dengan *span* berdasarkan nilai RMR terendah yaitu 43 seperti terlihat pada Tabel 6 berikut.

Tabel 6. Nilai *stand up time* lokasi penelitian

RMR	Span maximum (m)	Stand up time (jam)
43	5	40
	4	60
	3	90
	2	200

Dalam *span* dan asumsi kemajuan lubang bukaan yang telah diketahui serta hasil perhitungan RMR dapat digunakan untuk menghitung nilai tinggi runtuan (H_t) dan beban runtuh (P_{RMR}). Tabel 7 berikut merupakan hasil perhitungan nilai H_t , dan P_{RMR} ,

Tabel 7. Nilai tinggi runtuh dan beban runtuh.

RMR	Dimensi tunnel		γ (ton/m ³)	H_t (m)	P_{RMR} (ton/m ²)
	L (m)	T (m)			
43	2,5	2	2,6	1,325	3,705

Rekomendasi penyangga kayu pada lubang bukaan akan dihitung untuk mengetahui tegangan yang timbul pada penyangga kayu. Berikut merupakan data properties kayu yang digunakan pada lokasi penelitian:

cap

$$\sigma_t = 3.705 \text{ Kg/cm}^2$$

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

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

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

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

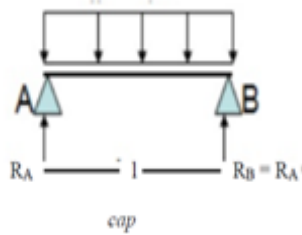
$$q_t = 5.557,5 \text{ Kg/m}$$

$$R_b = 5.557,5 \text{ Kg}$$

$$M_{\max} = 277.875 \text{ Kgcm}$$

$$W = 785 \text{ cm}^3$$

$$\sigma_b = 353,98 \text{ Kg/cm}^2 \text{ (pada cap)}$$



side post

$$q_t = 5.557,5 \text{ Kg/m}$$

$$\alpha = 81^\circ$$

$$M_{\max} = 277.875 \text{ Kgcm}$$

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

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

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

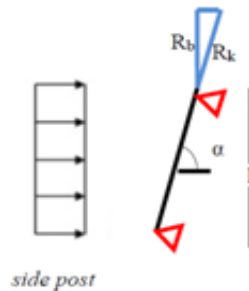
$$= 785 \text{ cm}^3$$

$$\omega = 1,36$$

$$R_k = 5.626,8 \text{ Kg}$$

$$F = 314 \text{ cm}^2$$

$$\sigma_b = 325,254 \text{ Kg/cm}^2$$



Keterangan:

σ_t = Tekanan pada atap (Kg/cm^2)

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 ($^\circ$)

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 (m^3)

σ_b = Kuat tekan batuan runtuh (Kg/cm^2)

Berdasarkan perhitungan penyanggaan kayu dibutuhkan kayu diameter 20 cm,

nilai kuat tekan kelas III (360 Kg/cm^2) dan jarak antar penyangga 1,5 m.

Potensi Keruntuhan Baji

Dalam penelitian ini analisis potensi keruntuhan dilakukan pada kemajuan 94-105 meter *front* kerja C-6 di *tail gate* THC-02 dan ditentukan dengan metode analitik. Data yang digunakan diperoleh dari hasil pengujian laboratorium dan penggunaan software *roclab*.

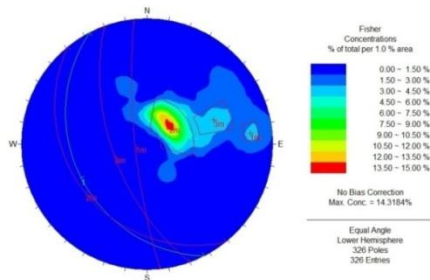
Tabel 8. Data input pada software roclab

No	Data masukan	Nilai
1	Kuat tekan batuan	30,31 Mpa
2	GSI	42
3	Jenis batuan (Mi)	7
4	Metode penggalian (D)	0
5	Kedalaman lubang	76 m
6	Bobot isi	2,6 ton/ m ³

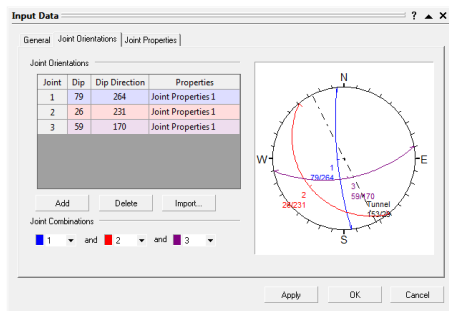
Tabel 9. Nilai parameter roclab

No	Parameter	Nilai
1	Kohesi (c)	0,297 Mpa
2	Sudut geser dalam (phi)	40,23 ⁰
3	Kuat tarik	0,037 Mpa
4	Jari-jari kurva Mohr	3,307 Mpa
5	Modulus Young	3063,36 Mpa

Dalam analisis potensi keruntuhan baji, program komputer yang digunakan adalah *Dips* dan *Unwadge*. Pengukuran *joint-joint* dilakukan dengan membuat *scanline* sepanjang 1 meter dengan panjang lubang bukaan 11 meter. Arah umum *joint* yang terdapat pada lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 3 dan Gambar 4.



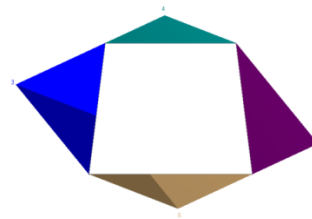
Gambar 3. Arah umum dan hasil pengelompokan *joint* pada lokasi penelitian



Gambar 4. Nilai arah umum *joint* pada lokasi penelitian

Pada Gambar 4 dapat diketahui bahwa ada tiga arah umum *joint* berdasarkan program *dips*. Arah umum yang diperoleh dari analisa *dips* akan digunakan pada program *Unwedge* untuk mengetahui *possible wedge* untuk mengetahui baji yang memiliki *safety of factor* lebih kecil dari 1.5 yang ada pada kemajuan 94-105 m C-6 *tail gate* THC-02 (Gambar 5)

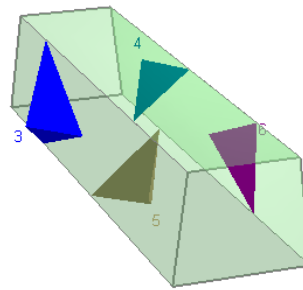
Wedge view front



Upper Left wedge [3]
 FS: 9.525
 Volume: 807.438 m3
 Weight: 21.397 MN
 Joint Normal Forces: 1) 3.65 MN, 2) 0.00 MN, 3) 10.88 MN
 Joint Shear Strengths: 1) 85.48 MN, 2) 37.59 MN, 3) 44.86 MN

Roof wedge [4]
 FS: 10.970
 Volume: 196.426 m3
 Weight: 5.205 MN
 Joint Normal Forces: 1) 0.99 MN, 2) 0.00 MN, 3) 0.00 MN
 Joint Shear Strengths: 1) 20.98 MN, 2) 21.45 MN, 3) 9.21 MN

Wedge view perspective



Floor wedge [5]
 FS: 41.123
 Volume: 383.645 m3
 Weight: 10.167 MN
 Joint Normal Forces: 1) 4.08 MN, 2) 11.31 MN, 3) 0.00 MN
 Joint Shear Strengths: 1) 34.92 MN, 2) 67.0 MN, 3) 12.41 MN

Lower Right wedge [6]
 FS: stable
 Volume: 511.869 m3
 Weight: 13.565 MN

Gambar 5. Kombinasi *joint* yang membentuk baji pada kemajuan 94-105 m C-6 *tail gate* THC-02

Baji yang terbentuk pada kemajuan 94-105 m C-6 *tail gate* THC-02 memiliki *safety factor* 9,525 dan baji tersebut stabil sehingga tidak perlu diberi perkuatan lebih.

Rekomendasi penyangga untuk lokasi penelitian berdasarkan klasifikasi RMR sistem. Lokasi massa batuan yang berada pada kelas III disarankan untuk pemasangan penyanggaan dilakukan setelah penggalian dengan memasang penyangga penuh 10 meter dari permukaan

kerja. *Ground support* yang direkomendasikan adalah: *Rock bolt* (diameter 20 mm, *fully grouted*) dengan panjang 4 m yang dipasang secara sistematis, dengan spasi antar baut batuan 1,5-2 meter pada dinding dan atap serta ditambahkan dengan *wiremesh*. Selain itu juga di dilakukan pemasangan *shotcrete* setebal 50-100 mm pada atap dan 30 mm pada dinding. Hal ini bertujuan sebagai penambah kekuatan penyanggaan pada lubang bukaan.

E. SIMPULAN DAN SARAN

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

1. Berdasarkan nilai kuat tekan batuan rata-rata sebesar 27,01 Mpa untuk batubara dan *siltstone* sebesar 30,31 Mpa, kondisi batuan pada lubang bukaan *tail gate* THC-02 cabang C-6 termasuk pada kategori sedang dengan tingkat pelapukan cukup lapuk (*moderately weather*).
2. Dalam klasifikasi massa batuan berdasarkan metode RMR sistem diperoleh massa batuan pada lokasi penelitian berada pada kelas III (*fair rock*) dengan nilai RMR rata-rata 45,3.
3. Potensi runtuh baji pada lokasi penelitian *tail gate* THC-02 cabang C-6 terdapat pada tiga arah umum *joint* set dengan nilai *strike/dip* sebesar: N174⁰E/79⁰ , N141⁰E/ 26⁰, N160⁰E/59⁰ dimana nilai FKnya adalah 9,525 dan baji tersebut stabil.
4. Rekomendasi penyanggaan berdasarkan klasifikasi RMR-sistem didapatkan nilai untuk *span maximum tail gate* THC-02 cabang C-6 adalah 3 m dengan waktu runtuh 90 jam dan nilai beban runtuh 3.705 Kg/m². Berdasarkan data tersebut maka dapat di rekomendasikan penyangga sebagai berikut:
 - jika menggunakan *rock bolt* dibutuhkan *rock bolt* (diameter 20 mm, *fully grouted*) dengan panjang 4 m, spasi antar *bolt* 1,5-2,0 m pada dinding dan atap serta ditambah *wiremesh* yang

dipasang secara sistematis, pemasangan *shotcrete* tebal 50-100 mm pada atap dan 30 mm pada dinding,

- jika menggunakan penyangga kayu dibutuhkan kayu diameter 20 cm, panjang 2 m, nilai kuat tekan kelas III (kuat tekan 360 Kg/cm²) dan jarak antar penyangga 1,5 m.

DAFTAR PUSTAKA

- Abbas, Syed Muntazir. 2000. *Rock Mass Clasification Systems*.
- Arif Irwandi. 2016. *Geoteknik Tambang*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.
- Astawe, Made R., Kramadibrata Suseno, and Kresna, Ridho W. 2010. *Mekanika Batuan*. Bandung : ITB.
- Bieniawski, Z.T., 1976, *Rock Mass Clasifications in Rock Engineering*, Proceeding Symposium on Exploration for Rock Engineering, Ed. Z.T. Bieniawski, A.A. Balkema, Rotterdam, p. 97-106.
- Bieniawski, Z.T., 1984, *Rock Mechanics Design in Mining and Tunnelling*, The Pennsylvania State University, A.A. Balkema, Rotterdam, p. 272.
- Bieniawski, Z.T., 1989, *Engineering Rock Mass Clasifications*, John Wiley & Sons, New York, p. 251.
- Bieniawski Z. T. 1990. *Tunnel Design By Rock Mass Clasifications*.
- Eddy Winarno dan Sudaryanto. 2010. *Buku Panduan Praktek Tambang Bawah Tanah*. Yogyakarta: FTM UPN "Veteran".
- Hoek, E., 2007, *Practical Rock Engineering*, RocScience.
- Hudson J. A. 1940. *Rock Mechanics Principles in Engineering Practice*. London: CIRIA.
- Hoek E. dan E. T. Brown. 1980. *Underground Excavation in Rock*. London: Institution of Mining and Metallurgy.
- Koppa. Raimon. 1990. *Bahan Ajar Studi Teknik Terowongan*. Padang. FT UNP.
- Laubscher, D.H., 1984. *Design Aspects and Effectiveness of Support Systems in Difference Mining Condition* : Transactions of the Institution of Mining and Metalurgi, v. 93, p. A70-A82.
- Mississippi: Geotechnical Laboratory, US Army Engineer Waterways Experiment Station .
- Rocscience. 2013. *DIPS User's Guide*. Toronto USA : Rocscience inc.