

Identifikasi Peningkatan *Strength Factor* Dengan Metode Q-System Pada Terowongan Tambang Bawah Tanah Daerah Perambahan, Kota Sawahlunto, Sumatera Barat

(*Identification of Strength Factor Improvement Using the Q-System Method in Underground Mining Tunnels in Perambahan Area, Sawahlunto City, West Sumatra*)

Pebby Putra Juenda^{1*}, Harnani¹, Budhi Setiawan¹
¹Program Studi Teknik Geologi, Universitas Sriwijaya

* Korespondensi E-mail: pebbyputrajuenda112@gmail.com

Abstrak

Aktivitas penambangan bawah tanah (*Underground Mining*) di PT Allied Indo Coal Jaya daerah Perambahan, Kota Sawahlunto memiliki resiko terjadinya *subsidence* yang disebabkan berkurangnya daya dukung tanah akibat adanya penggalian lubang bukaan tambang bawah tanah. Penggalian lubang bukaan tambang bawah tanah akan mengakibatkan terganggunya kestabilan dari daerah tersebut seperti keruntuhan atap, ambrukan dinding tambang (*rib spalling*), dan penggelembungan lantai (*floor heave*). Penelitian ini dilakukan di 2 lokasi penelitian yaitu pada *Tunnel 6 Seam B* dan *Tunnel 3 Seam C* yang bertujuan untuk menentukan rekomendasi sistem penyanggaan pada lubang bukaan tambang bawah tanah (*Tunnel*) dengan menganalisis nilai geomekanika batuan dengan menggunakan metode *Rock Tunnelling Quality Index (Q-System)* sehingga nilai *Strength Factor* meningkat. Metode pengumpulan data dilakukan dengan observasi lapangan dan pengujian laboratorium sedangkan pengolahan data menggunakan *software Phase 8.0* dengan kriteria keruntuhan *Mohr-coulomb*. Hasil perhitungan dan pengolahan data didapatkan nilai *Strength Factor* pada *Tunnel 6 Seam B* adalah 1,04 (relatif stabil) dan *Tunnel 3 Seam C* adalah 0,84 (tidak stabil). Hasil ini menunjukkan *Tunnel 6 Seam B* dan *Tunnel 3 Seam C* harus dilakukan sistem penyanggaan. Setelah dilakukan sistem penyanggaan nilai *Strength Factor Tunnel 6 Seam B* meningkat menjadi 1,59 (stabil) dan *Tunnel 3 Seam C* meningkat menjadi 1,63 (stabil).

Kata kunci: Q-System, Geomekanika, Penyangga, Tunnel, Strength Factor

Abstract

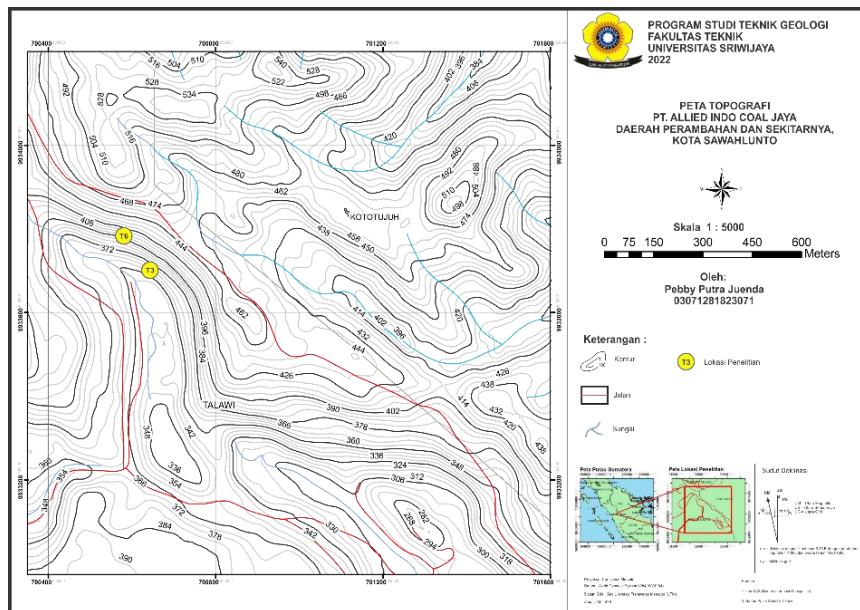
Underground mining activities (Underground Mining) at PT Allied Indo Coal Jaya Encroachment area, Sawahlunto City has the risk of subsidence due to reduced soil carrying capacity due to excavation of underground mine openings. The excavation of underground mine openings will result in disruption of the stability of the area such as roof collapse, rib spalling, and floor heave. This research was conducted in 2 research locations, namely Tunnel 6 Seam B and Tunnel 3 Seam C which aims to determine the recommendation of a buffer system in underground mine openings (Tunnel) by analyzing the geomechanical value of rocks using the Rock Tunnelling Quality Index (Q-System) method.) so that the Strength Factor value increases. Data collection methods were carried out by field observation and laboratory testing, while data processing used Phase 8.0 software with Mohr-Coulomb failure criteria. The results of calculations and data processing showed that the Strength Factor value in Tunnel 6 Seam B was 1,04 (relatively stable) and Tunnel 3 Seam C was 0,84 (unstable). These results indicate that Tunnel 6 Seam B and Tunnel 3 Seam C must be supported by a buffer system. After the buffering system was carried out the Strength Factor value of Tunnel 6 Seam B increased to 1,59 (stable) and Tunnel 3 Seam C increased to 1,63 (stable).

Keywords: Q-System, Geomechanics, Buffer, Tunnel, Strength Factor

1. Pendahuluan

PT Allied Indo Coal Jaya merupakan salah satu perusahaan tambang batubara yang melakukan pertambangan dengan sistem tambang terbuka dan sistem tambang bawah tanah yang berada di daerah Sawahlunto, Sumatera Barat. Industri pertambangan PT Allied Indo Coal Jaya didirikan pada tahun 1985 yang merupakan pertambangan batubara swasta. Kegiatan pertambangan bawah tanah

merupakan metode penambangan dengan segala sesuatu kegiatan pertambangan dilakukan di bawah tanah menurut Hartman et al. (1987). Penambangan bawah tanah sangat identik dengan resiko *subsidence* yang disebabkan oleh berkurangnya daya dukung tanah akibat adanya penggalian menurut Murad dan Ningsi (2018).



Gambar 1. Peta Topografi Pada Lokasi Penelitian.

Penggalian lubang bukaan akan mengakibatkan terganggunya kestabilan dari daerah tersebut seperti keruntuhan atap, ambrukan dinding tambang (*rib spalling*), dan penggelembungan lantai (*floor heave*). Hal ini dipengaruhi oleh kondisi geologi (adanya lipatan atau patahan), kondisi air tanah, sifat fisik dan sifat mekanik yang kurang baik dalam hal daya dukung batuan. Pembuatan *tunnel* pada daerah dengan kondisi batuan yang buruk (*very poor*) akan rentan terjadinya kegagalan geoteknik jika perencanaan penggalian tidak dilakukan dengan baik.

Potensi terjadi ketidakstabilan disekitar lubang bukaan tambang bawah tanah membutuhkan penanganan khusus, terutama masalah faktor keamanan dan perencanaan penyangga untuk menjamin keselamatan pekerja. Dalam mengidentifikasi nilai kualitas massa batuan dan rekomendasi jenis penyangga yang digunakan pada suatu lubang bukaan tambang dapat dilakukan dengan beberapa metode salah satunya dengan menggunakan metode *Rock Tunnelling Quality Index (Q-System)* menurut Barton et al. (1974).

Kegiatan penelitian memiliki maksud melakukan analisa geomekanika batuan terhadap kestabilan *Tunnel* sebagai lubang bukaan pada tambang bawah tanah di tempat penelitian dan analisa sifat fisik batuan dan analisa mekanik batuan yang menentukan nilai nilai kuat tekan (UCS) yang berdasarkan klasifikasi Beniaowski (1989) yang selanjutnya nilai tersebut dijadikan parameter yang dimasukkan kedalam metode *Rock Tunnelling Quality Index (Q-System)*. Adapun tujuan untuk menganalisis nilai geomekanika batuan, rekomendasi

penyangga pada *Tunnel* di lokasi penelitian dan menentukan nilai *Strength Factor* pada *tunnel* di daerah penelitian.

2. Metode

Penelitian yang dilakukan adalah penelitian terapan (*applied research*) yang memiliki fungsi mencari solusi tentang persoalan dan masalah tertentu dilokasi penelitian dengan tujuan utama yaitu dapat berguna untuk memecah permasalahan yang ada. Pengambilan data dibedakan menjadi data primer yang terdiri dari pengambilan sampel, dimensi *Tunnel*, pengukuran *Rock Quality Designation (RQD)*, Jumlah Kekar (*Joint Set Number/Jn*), Tingkat Kekasaran Kekar (*Joint Roughness Number/Jr*), Alterasi Kekar (*Joint Alteration Number/Ja*), Aliran Air Tanah (*Joint Water Reduction Number/Jw*) serta *Stress Reduction Factor (SRF)* dan data sekunder didapatkan dari studi literatur maupun dari pusat informasi yang ada dibagian *main planning* di perusahaan. Selanjutnya data tersebut diuji dilaboratorium. Data uji laboratorium merupakan data geomekanika dari hasil pengambilan sampel dilokasi penelitian dengan pengambilan secara *random sampling* sesuai dengan ketentuan Greminger (1982) dengan nilai $D/W = 1,0-1,4$ dan diperlukan faktor korelasi (P). Pengambilan sampel terdiri sampel Batubara didalam *Tunnel 6* pada *Seam B* dan *Tunnel 3* pada *Seam C*. Sedangkan sampel Batupasir dan Batulanau diambil di lereng sekitar *Tunnel* lokasi penelitian.

Metode *Rock Tunnelling Quality Index (Q-System)*

Klasifikasi massa batuan *Rock Tunnelling*

Quality Index diperlukan untuk pemasangan penyangga pada penggalian bawah tanah. *Q-System* telah dikembangkan oleh NGI (Norwegian Geotechnical Institute) antara tahun 1971 hingga 1974 Barton et al. (1974) sehingga sering dikenal juga dengan *NGI Classification System*. Nilai *Q* memberikan deskripsi dari stabilitas massa batuan pada bukaan bawah tanah, tingginya nilai *Q* menandakan indikasi batuan tersebut memiliki stabilitas yang baik dan nilai yang rendah menandakan stabilitas yang buruk Barton et al. (1974). Nilai *Q* didapat dari 6 parameter yang dihitung dengan menggunakan rumus berikut :

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

Keterangan :

- RQD : Bobot nilai *Rock Quality Designation*
 J_n : Bobot nilai *Joint Set Number*
 J_r : Bobot nilai *Joint Roughness Number*
 J_a : Bobot nilai *Joint Alteration Number*
 J_w : Bobot nilai *Joint Water Reduction Factor*
 SRF : Bobot nilai *Stress Reduction Factor*

Sistem Penyanggaan Berdasarkan Rekomendasi Q-System

Parameter lain untuk menentukan lubang bukaan memerlukan sistem penyanggaan yaitu parameter dimensi ekuivalen (De). Ada 2 faktor lain yang menentukan pendukung dalam desain bukaan bawah tanah dengan persyaratan keselamatan yaitu dimensi terowongan seperti lebar dan ketinggian. Dalam menentukan lubang bukaan tambang bawah tanah perlu atau tidak menggunakan penyangga itu ditentukan terlebih dahulu nilai *span* maksimum pada lubang bukaan yang diukur panjang *scanline* yaitu 15 m di *Tunnel* lokasi penelitian. Adapun perhitungan menggunakan persamaan Barton et al. (1993) yaitu sebagai berikut:

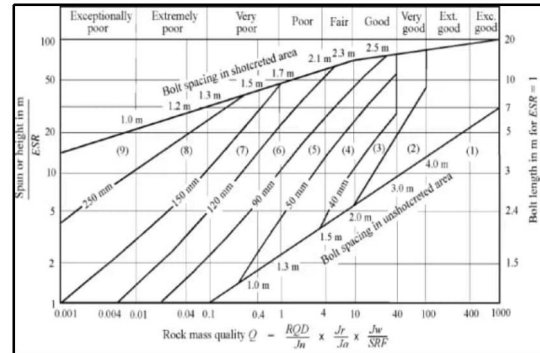
$$\text{Bentang Maksimal Tanpa Penyangga} = 2(ESR)Q^{0.4}$$

Keterangan :

ESR = *Excavation Support Ratio*

Q = Nilai *Q-System*

Nilai ESR berhubungan dengan tujuan penggunaan lubang bukaan tersebut dan tingkat keamanan yang diinginkan untuk sistem penyanggaan.



Gambar 2. Kurva Rekomendasi Jenis Penyangga Berdasarkan Nilai *Q-System* Menurut Grimstad & Barton (1993).

Adapun dalam menentukan nilai *Strength Factor* pada lokasi penelitian dibutuhkan nilai sigma 1 dan sigma 3. Nilai sigma 1 (σ_1) yang merupakan nilai tegangan mula-mula vertikal (tegangan mayor) sedangkan nilai sigma 3 (σ_3) merupakan tegangan mula-mula horizontal (nilai tegangan minor). Persamaan yang digunakan untuk menentukan nilai sigma 1 (σ_1) dan sigma 3 (σ_3) yaitu menggunakan teori tegangan pembebanan dengan rumus sebagai berikut :

$$\sigma_v = \gamma \cdot h$$

$$\sigma_h = \frac{1-\nu}{\nu} \cdot \sigma_v$$

Keterangan :

- σ_v = Sigma 1 (MPa)
 h = Kedalaman lapisan (m)
 σ_h = Sigma 3 (MPa)
 ν = *Poisson Ratio*
 γ = *Unit Weight* (MN/m³)

3. Hasil dan Pembahasan Dimensi Tunnel

Dimensi *Tunnel* merupakan pengukuran yang dilakukan di terowongan tambang bawah tanah dengan parameter yang di ukur yaitu lebar lantai (*Floor*), tinggi, dan lebar atap (*Cap*). Pengukuran dimensi *Tunnel* dilakukan secara langsung dengan menggunakan meteran. Tipe dari penampang terowongan di lokasi penelitian yaitu tipe trapesium. Adapun hasil pengukuran dimensi terowongan pada *Tunnel 6 Seam B* dan *Tunnel 3 Seam C* adalah sebagai berikut:

Tabel 1. Dimensi *Tunnel* di Lokasi Penelitian

Tunnel	Dimensi Tunnel (m)			Seam
	Lebar Lantai (Floor)	Tinggi	Lebar Atap (Cap)	
Tunnel 6	3,0	2,6	2,5	Seam B
Tunnel 3	3,9	3,0	2,75	Seam C

Sifat Fisik Batuan

Sifat fisik batuan ditentukan dari hasil penimbangan berat sampel batuan (Batubara, Batupasir dan Batunalau) yang berbentuk

irregular dengan masing-masing 5 sampel yang ditimbang di neraca dengan ketelitian 0,01 gr dan diambil nilai rata-ratanya.

Tabel 2. Hasil Pengolahan Sifat Fisik Batuan pada *Seam B* dan *Seam C*

Seam	Tunnel	Sampel Batuan	Parameter Pengujian			Unit Weight (kn/m^3)
			Bobot isi Asli $l_{yn} (gr/cm^3)$	Bobot isi Kering $l_{yo} (gr/cm^3)$	Bobot isi Jenuh $l_{yw} (gr/cm^3)$	
Seam B	Tunnel 6	Coal	1,24	1,24	1,24	12,16
		Sandstone	3,24	3,2	3,26	31,77
Seam C	Tunnel 3	Coal	1,32	1,32	1,33	12,94
		Siltstone	4,68	4,66	4,70	45,89

Sifat Mekanik Batuan

Selanjutnya dilakukan pengujian sifat mekanik dengan merusak sampel (*destructive test*). Pengujian dilakukan dengan alat *Point Load Index* untuk mendapatkan nilai kuat tekan (UCS), kuat Tarik, kohesi (c), sudut geser dalam (ϕ) dan

Poisson Ratio. Hasil pengujian akan menjadi parameter untuk membuat model *Tunnel* yang menjadi data *input* dalam pengolahan data pada aplikasi *Phases2 8.0*. Adapun hasil perhitungan sifat mekanik pada *Tunnel 6 Seam B* dan *Tunnel 3 Seam C* terdapat pada Tabel 3.

Tabel 3. Perhitungan Sifat Mekanik Pada *Tunnel 6 Seam B* dan *Tunnel 3 Seam C*

Tunnel	Sampel	No	F	Is (kg/cm^2)	Nilai UCS		Kuat Tarik (MPa)	Kohesi (c)	Sudut Geser Dalam (ϕ)	Poisson Ratio (ν)
					kg/cm^2	MPa				
Tunnel 6	Coal	1	1,13	0,68	15,64	1,53	0,161	0,206	48,65	0,2414
		2	1,1	0,73	16,79	1,647				
		3	1,14	0,63	14,49	1,421				
		4	1,1	0,74	17,02	1,669				
		5	1,08	0,8	18,4	1,805				
	Rata-rata		1,11	0,725	16,468	1,6144	0,309	0,395	48,642	0,2415
	Sandstone	1	1,05	1,38	31,74	3,113				
		2	1,03	1,55	35,65	3,496				
		3	1,09	1,21	27,83	2,731				
		4	1,03	1,39	31,97	3,136				
	Rata-rata		1,052	1,374	31,602	3,0998	0,227	0,413	48,684	0,2413
Tunnel 3	Coal	1	1,1	0,84	19,32	1,895				
		2	1,06	0,87	20,01	1,962				
		3	1,08	0,94	21,62	2,119				
		4	1	1,21	27,83	2,73				
		5	1,06	1,19	27,37	2,684				
	Rata-rata		1,06	1,01	23,23	2,278	0,432	0,786	48,601	0,2416
	Siltstone	1	1,08	1,63	37,49	3,677				
		2	1,04	2,21	50,83	4,986				
		3	1,1	1,92	44,16	4,332				
		4	1,12	1,82	41,86	4,106				
	Rata-rata		1,086	1,916	44,068	4,3226				

Hasil pengujian dan pengolahan data terhadap sampel batuan pada *Tunnel 6 Seam B* dan *Tunnel 3 Seam C* didapatkan nilai UCS pada lokasi penelitian mayoritas tergolong kelas batuan sangat lemah (*very weak*) dengan nilai kuat tekan

<5 MPa sebagaimana ditentukan pada Klasifikasi Beniaowski (1989).

Perhitungan Nilai Q-Sistem

Perhitungan Nilai Q-System merupakan dasar dalam analisa kestabilan *Tunnel* pada lokasi penelitian yang bertujuan untuk menentukan

rekomendasi penyangga dalam tambang bukaan bawah tanah. Hasil perhitungan nilai Q-System sebagaimana dalam Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Perhitungan Nilai Q-System pada *Tunnel 6 Seam B* dan *Tunnel 3 Seam C*.

Lokasi Penelitian		Sampel Batuan	Parameter Perhitungan Nilai Q-System						Nilai Q-System
			RQD	Jn	Jr	Ja	Jw	SRF	
Seam B	Tunnel 6	Coal	98,87%	3,57	1,74	2,01	1,0	15	1,59
		Sandstone	99,58%	1,33	3	2,6	1,0	15	5,75
Seam C	Tunnel 3	Coal	97,72%	5,26	3	2,06	1,0	15	1,8
		Siltstone	99,60%	1,33	3	3	1,0	15	4,99

Rekomendasi Penyangga

Adapun perhitungan menggunakan persamaan Barton et al. (1993) dan hasil perhitungan bentang maksimum tanpa penyangga terdapat pada Tabel 5 yaitu sebagai berikut. Dari hasil perhitungan *span* maksimum tanpa penyangga pada *Tunnel 6 Seam*

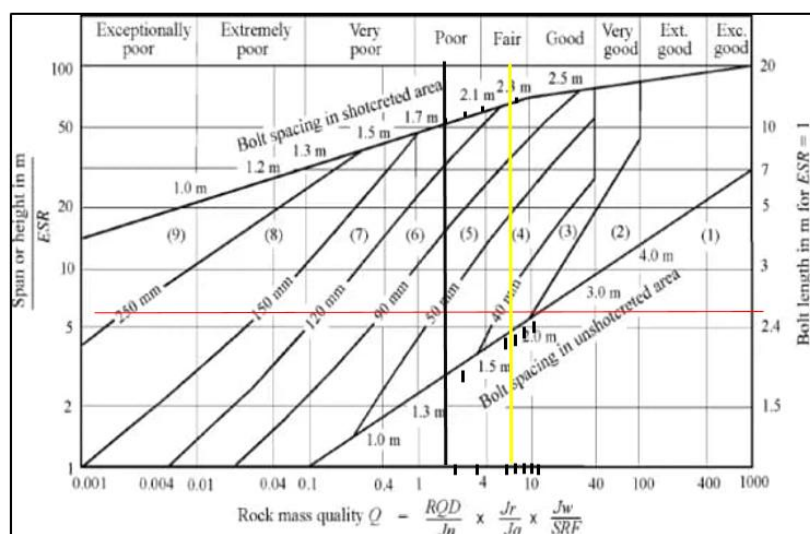
B dan *Tunnel 3 Seam C* didapatkan semua *Tunnel* di bawah nilai *scanline* yaitu 15 m. Hal ini mengidentifikasikan bahwa dalam panjang *span* segitu akan mengalami keruntuhan sehingga harus dilakukan pemasangan penyangga.

Tabel 5. Nilai *Span* Maksimum Tanpa Penyangga

Lokasi Penelitian	Sampel Batuan	ESR	Q	Span Maksimal Tanpa Penyangga (m)
Seam Tunnel B 6	Coal	2,5	1,59	6
	Sandstone	2,5	5,75	10
Seam Tunnel C 3	Coal	2,5	1,8	6,3
	Siltstone	2,5	4,99	9,5

Dalam menentukan rekomendasi penyangga diperlukan nilai Q-System dan nilai ekuivalen (De). Parameter tersebut dimasukkan kedalam kurva Grimstad & Barton (1993). Dari kurva

rekomendasi jenis penyangga pada Gambar 3 dan Gambar 4. Kemudian didapatkan rekomendasi penyangga untuk *Tunnel 6* adalah sebagaimana dalam Tabel 6 dan *Tunnel 3* pada Tabel 7.



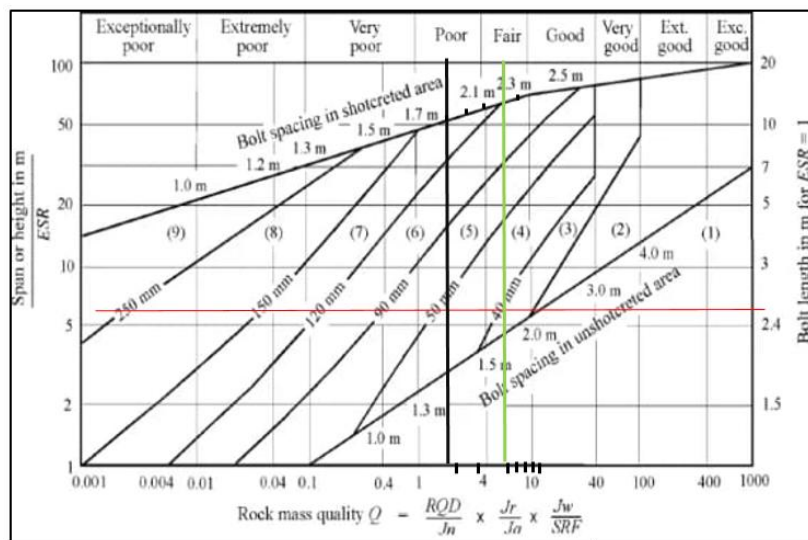
Gambar 3. Kurva Rekomendasi Jenis Penyangga Pada *Tunnel 6* Berdasarkan Nilai Q-System.

Tabel 6. Rekomendasi Penyangga Tunnel 6 Pada Seam B

Lokasi Penelitian	Nilai Q	De	Kelas Batuan	Tebal Shotcrete (mm)	Spasi Rockbolt Inhotcret Area (m)	Spasi Rockbolt Unshotcrete (m)	Panjang Rockbolt
Tunnel 6 Coal	1,59	6	Poor	49	1,82	1,34	2,5
Sandstone	5,75	6	Fair	40	2,18	1,65	2,5

Berdasarkan kurva rekomendasi penyangga Tunnel 6 diatas dengan nilai Q-System Batubara 1,59 serta dimensi ekuivalen sebesar 6 dengan kelas batuan buruk (*poor*). Dalam rekomendasi penyangga yang digunakan adalah pemasangan *rockbolt* tanpa menggunakan *shotcrete* yang direkomendasikan pemasangan *rockbolt* sepanjang 2,5 m dengan jarak antar *rockbolt*

1,34 m. Adapun untuk nilai Q-System Batupasir yaitu 5,75 serta dimensi ekuivalen sebesar 6 dengan kelas batuan lumayan (*fair*). Dalam rekomendasi penyangga yang digunakan yaitu pemasangan *rockbolt* tanpa menggunakan *shotcrete* direkomendasikan pemasangan *rockbolt* sepanjang 2,5 m dengan jarak antar *rockbolt* 1,65 m.



Gambar 4. Kurva Rekomendasi Jenis Penyangga Pada Tunnel 3 Berdasarkan Nilai Q-System.

Tabel 7. Rekomendasi Penyangga Tunnel 3 Pada Seam C

Lokasi Penelitian	Nilai Q	De	Kelas Batuan	Tebal Shotcrete (mm)	Spasi Rockbolt Inhotcret Area (m)	Spasi Rockbolt Unshotcrete (m)	Panjang Rockbolt
Tunnel 3 Coal	1,8	6	Poor	50	1,80	1,35	2,5
Siltstone	4,99	6	Fair	41	2,15	1,60	2,5

Dari kurva diatas, rekomendasi penyangga untuk Tunnel 3 yaitu nilai Q-System Batubara 1,80 serta dimensi ekuivalen sebesar 6 dengan kelas batuan buruk (*poor*). Dalam rekomendasi penyangga yang digunakan yaitu pemasangan *rockbolt* tanpa menggunakan *shotcrete* yang direkomendasikan pemasangan *rockbolt* sepanjang 2,5 m dengan jarak antar *rockbolt* 1,35 m. Adapun untuk nilai Q-System Batulanau yaitu 4,99 serta dimensi ekuivalen sebesar 6 dengan kelas batuan lumayan (*fair*). Dalam rekomendasi penyangga yang digunakan yaitu

pemasangan *rockbolt* tanpa menggunakan *shotcrete* yang direkomendasikan pemasangan *rockbolt* sepanjang 2,5 m dengan jarak antar *rockbolt* 1,60 m.

Peningkatan Nilai Strength Factor

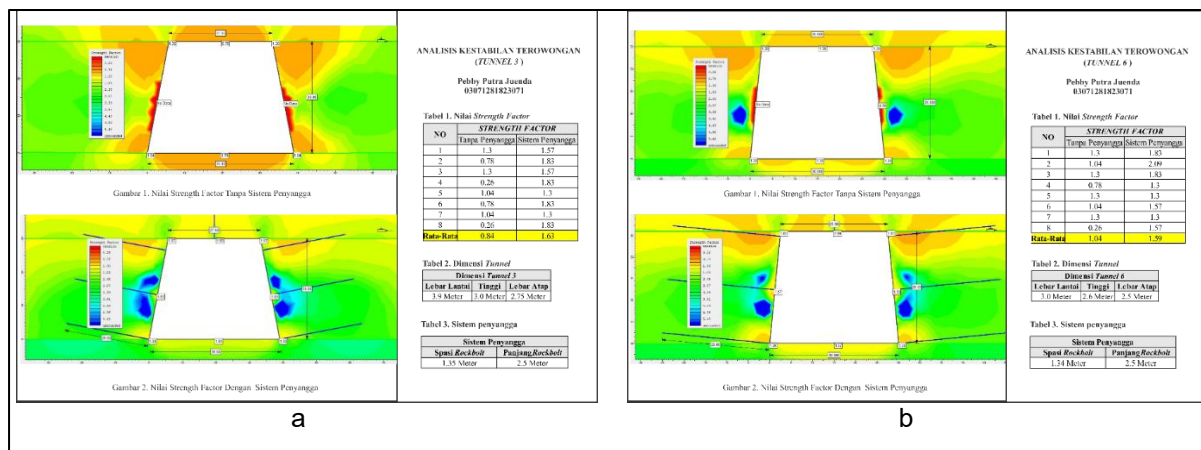
Dalam menentukan nilai *Strength Factor* pada tiap-tiap lokasi penelitian menggunakan *software Phase2 8.0* dengan kriteria *Mohr-Coulumb*. Adapun parameter-parameter yang diinput sebagaimana yang terdapat pada Tabel 8 berikut.

Tabel 8. Data *Input* dalam *Software Phase2 8.0*

Lokasi Penelitian	Litologi	Kuat Tarik (Mpa)	Kohesi (c)	Sudut Geser Dalam (ϕ)	Poisson Ratio (ν)	Modulus young (Mpa)	Unit Weight (mn/m^3)	Sigma 1	Sigma 3
Seam Tunnel B 6	Coal	0,161	0,206	48,65	0,2414	11,66	0,1216	0,863	0,274
	Sandstone	0,309	0,395	48,642	0,2415	17,90	0,3177		
Seam Tunnel C 3	Coal	0,227	0,413	48,684	0,2413	12,16	0,1294	1,035	0,329
	Siltstone	0,432	0,786	48,601	0,2416	17,07	0,4589		

Setelah data pada Tabel 8 di atas diinput dalam aplikasi *Phase2 8.0* berhasil. Selanjutnya dapat memasukkan data dari rekomendasi penyangga supaya nilai *Strength Factor* mengalami peningkatan yang artinya kondisi *Tunnel*

menjadi stabil. Adapun hasil pemodelan kestabilan *Tunnel* pada *Seam B* dan *Seam C* untuk nilai *Strength Factor* adalah sebagai berikut.



Gambar 5. Hasil analisa Kestabilan Terowongan: (a) *Tunnel 6*, dan (b) *Tunnel 3*.

Dari gambar diatas, hasil analisa pada *Tunnel 6* didapatkan nilai *Strength Factor* tanpa menggunakan rekomendasi penyanggaan memiliki nilai kisaran 0,26 sampai 1,3 dengan nilai rata-rata nilai sebesar 1,04 (relatif stabil = 1–1,25) dengan kondisi dinding bagian tengah *Tunnel 6* rawan ambruk (*ribspalling*) dan keruntuhan atap. Maka, untuk meningkatkan nilai kestabilan *Tunnel 6* dapat diberi *support* yang berdasarkan rekomendasi *Q-System* yaitu pemberian panjang *rockbolt* 2,5 meter dengan spasi antar *rockbolt* 1,34 meter. Adapun untuk nilai *Strength Factor* setelah dilakukan pemasangan penyangga didapatkan peningkatan dari rata-rata 1,04 menjadi 1,59 dengan kisaran nilai 1,3 sampai 2,09.

Sedangkan, hasil analisa pada *Tunnel 3* didapatkan nilai *Strength Factor* tanpa menggunakan rekomendasi penyanggaan memiliki nilai kisaran 0,26 sampai 1,3 dengan nilai rata-rata nilai sebesar 0,84 (tidak stabil=< 1) dengan kondisi dinding bagian tengah beresiko ambruk (*ribspalling*) dan keruntuhan atap. Maka, untuk meningkatkan nilai kestabilan *Tunnel 3* dapat diberi *support* yang berdasarkan

rekomendasi *Q-System* yaitu panjang *rockbolt* 2,5 meter dengan spasi antar *rockbolt* 1,35 meter. Adapun untuk nilai *Strength Factor* setelah dilakukan pemasangan penyangga meningkat dari rata-rata 0,84 menjadi 1,63 dengan kisaran nilai 1,3 sampai 1,83

4. Kesimpulan

Dari hasil perhitungan *Q-System* pada *Tunnel 6 Seam B* nilai sampel Batubara yaitu 1,59 dengan kelas batuan *poor* (buruk) dan sampel Batupasir adalah 5,75 dengan kelas batuan *fair* sedangkan pada *Tunnel 3 Seam C* sampel Batubara yaitu 1,8 kelas batuan *poor* (buruk) dan sampel Batulanau adalah 4,99 kelas batuan *fair*. Dalam perhitungan *span* maksimum tanpa penyangga didapatkan semua *Tunnel* nilainya dibawah panjang *scanline* 15 meter dengan rincian *Tunnel 6* yaitu 6 meter dan *Tunnel 3* yaitu 6,3 meter sehingga perlu dilakukan sistem penyanggaan. Rekomendasi penyanggaannya yaitu pada *Tunnel 6 Seam B* pemasangan *rockbolt* sepanjang 2,5 m dengan jarak spasi 1,34 m sedangkan pada *Tunnel 3 Seam C* yaitu

pemasangan *rockbolt* sepanjang 2,5 m dengan jarak *spasi* 1,35 m. Setelah dilakukan penyanggaan, nilai *Strength Factor* pada tiap *Tunnel* mengalami peningkatan yaitu pada *Tunnel 6 Seam B* sebelumnya 1,04 (relatif stabil) menjadi 1,59 (stabil) dan *Tunnel 3 Seam C* sebelumnya 0,84 (tidak stabil) menjadi 1,63 (stabil).

Ucapan Terimakasih

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada dosen pembimbing ibu Harnani, S.T., M.T. sekaligus dosen pembimbing akademik dan Bapak Budhi Setiawan, S.T., M.T., Ph.D. yang senantiasa memberikan dukungan dalam bentuk saran dan arahan dalam proses pengerjaan publikasi ilmiah ini. Serta penulis mengucapkan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah berkontribusi dalam melancarkan penelitian ini.

Daftar Pustaka

- Barton, N. R., Lien, R. and Lunde, J., 1974. Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support. *Rock Mech.* 6(4), 189-239.
- Barton, L., 1993. *Crisis in Organizations: Managing and Communications in the Heat of Chaos*. Cincinnati: South-Western Publishing.
- Bieniawski, Z., T., 1989. *Engineering Rock Mass Classifications*. Wiley: New York. Hal: 272.
- Federico, A. and G. Elia, G., 2009. At-Rest Earth Pressure Coefficient And Poisson's Ratio In Normally Consolidated Soils Les Coefficients, *Proceedings Of The International Conference On Soil Mechanics And Geotechnical Engineering*, Page 7 – 10.
- Greminger, M., 1982. Experimental studies of the influence of rock anisotropy on size and shape effects in point load testing. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Science & Geomechanics Abstract*, 19, hal. 241-246.
- Grimstad, E. and Barton, N., 1993. Updating the Q-System for NMT. *Proceedings of the International Symposium on Spray Concrete*, Fagernes, 22-26 October 1993, 46-66.
- Hartmann, H. T., Kester. D. E., & Davies, R. T., 1997. *Plant propagation. Principles and practices*. Englewood Cliffs, New Jersey: Regent Prentice Hall.
- Irwandi, A., 2016, *Geoteknik Tambang*, PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Murad dan Indah, S. N., 2018. *Analisis Kuat Tekan Terhadap Waktu Stand Up C1-G Pertambangan Bawah Tanah PT. Nusa Alam Lestari*, Sawahlunto, Sumatra Barat.
- Nata, R. A. dan Murad, 2017, *Stand Up Time In Tunnel Base On Rock Mass Rating Bieniawski 1989*, AIP Proceedings, Page 1 – 8.
- Pribadi, R., S., dan Hariyadi, S., 2015. *Kajian Geologi Teknik Pada Rencana Pembuatan Tunnel Tambang Bawah Tanah, Kalimantan Timur*: Universitas Kutai Kartanegara, Page 57 – 66.
- Putra, F. A. T., Singgih S. dan Peter E. R., 2015. *Kajian Geoteknik Terhadap Rancangan Penambangan Batubara Bawah Tanah Metode Shortwall Di CV. Artha Pratama Jaya Kecamatan Muara Jawa Kabupaten Kutai Kartanegara Provinsi Kalimantan Timur*, Yogyakarta: UPN, Page 37 – 45.
- Rahman, A. dan Muhyiddin, F., N., 2018. *Uji Laboratorium Mekanika Batuan Menggunakan Metode Unconfined Compressive Strength (UCS) Pada Batuan Inti (CORE) Batu Pasir, Balongan Indramayu, AKAMIGAS*, Page 35 – 41.