

## Sistem Stabilitas Lubang Buka-an Pengembangan dengan Menggunakan Baut Batuan (*Rockbolt*) dan Beton Tembak (*Shotcrete*) di Blok Cikoneng PT Cibaliung Sumberdaya, Kab. Pandeglang, Prov. Banten

<sup>1</sup>Eli Ambarini, <sup>2</sup>Febri Hirnawan, <sup>3</sup>Dono Guntoro

<sup>1,2</sup>*Prodi Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Islam Bandung,  
Jl. Tamansari No. 1 Bandung 40116*

email: <sup>1</sup>fhirnawan@ymail.com, <sup>2</sup>guntoro\_mining@yahoo.com

**Abstrak.** PT Cibaliung Sumberdaya yang beroperasi dalam penambangan emas menerapkan sistem tambang bawah tanah dengan metoda *cut and fill*. Aktifitas penambangannya tidak akan terlepas dari penggalian ubang bukaan, baik lubang bukaan produksi maupun pengembangan. Blok penambangan (Cikoneng dan Cibitung) masih dalam tahap pengembangan. Lokasi penelitian berada di lubang bukaan pengembangan blok Cikoneng dengan panjang area teliti 20,5 m. Penerapan sistem penguatan di lokasi penelitian tidak sesuai rekomendasi. *Rockbolt* dengan panjang 2 m seharusnya terpasang 9 buah dengan *shotcrete* setebal 8 cm. Namun pada keadaan aktual, *rockbolt* yang terpasang memiliki panjang 1,42 m. Hal tersebut karena keterbatasan *jumbo drill*, maka alternatif pemasangannya yaitu dengan *jet leg* yang hanya mampu memasang *rockbolt* sepanjang 1,5 m. Selain itu, ketersediaan *rockbolt* untuk daerah pengembangan hanya dengan panjang 1,42 m. Berdasarkan keadaan demikian, perlu kajian sistem penguatan dengan mempertimbangkan nilai faktor keamanan (FK), efektif, efisien, dan ekonomis. Permasalahan tersebut dapat diatasi dengan data empirik berupa klasifikasi massa batuan dengan metoda *Rock Mass Rating* (RMR), pemantauan keadaan aktual, serta perhitungan analitik baik teoritis maupun penerapan rekomendasi teoritis dalam keadaan aktual dengan *software* Phase 2 versi 8.0. Data tersebut dikombinasikan dengan hasil pemantauan sebagai perbandingan rekomendasi teoritis dan penerapan rekomendasi teoritis dalam keadaan aktual. Kajian model stabilitas lubang bukaan teoritis pada keadaan aktual menghasilkan 5 kombinasi. Kombinasi D diambil sebagai rekomendasi akhir sistem penguatan. Kombinasinya yaitu 3 buah *rockbolt* sepanjang 1,42 meter dan 4 buah *rockbolt* sepanjang 2,40 meter (*safety bolt*). FK minimum sebesar 2,21 dan menghabiskan biaya pembelian *rockbolt* sebesar Rp 985.050. Kata kunci : RMR, *Rockbolt*, dan *Shotcrete*.

### A. Pendahuluan

#### 1.1 Latar Belakang

Segala aktivitas penambangan bawah tanah dilakukan dengan membuat lubang bukaan, baik lubang bukaan produksi maupun pengembangan. Lubang bukaan dibuat dengan menjaga kestabilannya agar aman bagi pekerja dan peralatan tambang. Hal tersebut akan mempengaruhi produksi karena terhindar dari kerugian, seperti terjadinya runtuh. Salah satu cara pencegahannya yaitu dengan memberikan penguatan massa batuan yang mengalami pergerakan, sehingga meningkatkan nilai faktor keamanan (FK) untuk kestabilan lubang bukaan.

Lubang bukaan miring (*decline*) Cikoneng merupakan lubang bukaan pengembangan aktif di PT Cibaliung Sumberdaya, selain Cibitung *decline*. Saat ini penggaliannya berada di kemajuan 176,3 meter dengan kedalaman 126 meter. Penerapan rekomendasi penguatan dengan baut batuan (*rockbolt*) dan beton tembak (*shotcrete*) di Cikoneng *decline* dirasakan tidak sesuai karena keterbatasan alat pemasangan dan ketersediaan tipe penguatannya. Ketidaksiuaian tersebut mengakibatkan perlu dilakukan pemilihan alternatif dengan mengombinasikan *rockbolt* yang tersedia untuk daerah pengembangan

dan produksi, serta menentukan ketebalan *shotcrete* agar mencapai kesesuaian dengan mempertimbangkan FK, efektif, efisien, dan ekonomis.

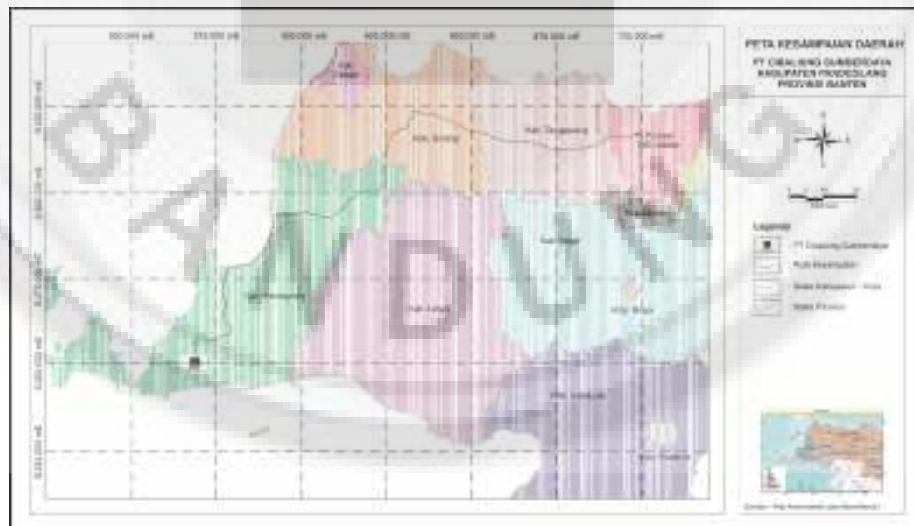
## 1.2 Maksud dan Tujuan

Maksud penelitian ini yaitu untuk mengetahui, menghitung, dan menentukan sejauh mana sistem penguatan *rockbolt* dan *shotcrete* dapat meningkatkan kestabilan lubang bukaan yang sesuai dengan mempertimbangkan nilai FK, efektif, efisien, dan ekonomis. Tujuannya :

1. Mengetahui kondisi klasifikasi massa batuan dengan metoda *Rock Mass Rating* (RMR).
2. Menghitung kebutuhan penguatan dengan kondisi geometri teoritis dan aktual berdasarkan pemantauan serta rekomendasinya.
3. Mengetahui nilai FK lubang bukaan dengan kondisi geometri teoritis setelah diberikan penguatan, dan kondisi geometri aktual berdasarkan hasil pemantauan serta berdasarkan rekomendasi sistem penguatan.
4. Menentukan alternatif pemilihan sistem pemasangan penguatan pada lubang bukaan pengembangan dengan kondisi aktual yang mempertimbangkan nilai FK, efektif, efisien, dan ekonomis.

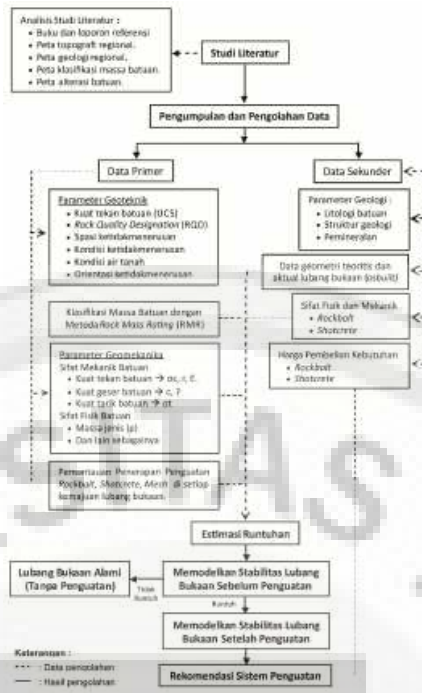
## 1.3 Lokasi dan Kesampaian Daerah

Secara administratif PT Cibaliung Sumberdaya terletak di Desa Mangkualam – Padasuka, Kecamatan Cimanggu, Kabupaten Pandeglang, Provinsi Banten. Lokasi penelitian berjarak +197 Km dari Jakarta, dan dapat ditempuh dengan menggunakan roda empat selama + 4 Jam. Rute perjalanan yang dilaluinya melewati Jakarta – Serang – Pandeglang – Labuan – Citeureup – Cibaliung. Peta lokasi kesampaian dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



**Gambar 1.** Peta Lokasi Kesampaian PT Cibaliung Sumberdaya

### 1.4 Bagan Alir Penelitian



Gambar 1. Bagan Alir Penelitian

### 1.5 Keadaan Topografi dan Geologi Daerah

Topografi daerah penelitian memiliki elevasi berkisar 100 – 200 mdpl, bagian tertinggi berlokasi di Gunung Honje dengan ketinggian + 620 mdpl. Geologi daerah penelitian termasuk kedalam Formasi Honje yang terintrusi oleh satuan batuan andesitik – basaltik (Sudana dan Santosa, 1992), dengan struktur umum berarah barat laut – tenggara (Setiawan, Muklis, 2014).

## B. Landasan Teori

### 2.1 Klasifikasi Massa Batuan dengan *Rock Mass Rating*

Klasifikasi massa batuan digunakan sebagai metoda dalam perancangan model lubang bukaan. Menurut *Z.T Biniawski 1979*, yaitu :

- Kuat Tekan Batuan Utuh (*Uniaxial Compressive Strength*)
- Kualitas Bentuk Batuan (*Rock Quality Designation*)
- Spasi Ketidakhomogenan (*Spasi Of Discontinuous*)
- Kondisi Ketidakhomogenan (*Condition Of Discontinuous*)
- Kondisi Air Tanah (*Ground Water Condition*)
- Orientasi Ketidakhomogenan (*Orientation Of Discontinuous*)

Berikut tabel klasifikasi massa batuan dengan RMR untuk mendapatkan nilai kondisi massa batuan dan penentuan kelas massa batuan (Beniewski, 1979).

**Tabel 1. Klasifikasi Massa Batuan dengan Metoda Rock Mass Rating (RMR)**

Parameter		Selang Nilai				
1	Kuat Tekan	PLI (Mpa) >10	4 - 10	2 - 4	1 - 2	Kuat Tekan Rendah UCS
		UCS (Mpa) >250	100 - 250	50 - 100	25 - 50	5.25 1.5 < 1
2	RQD (%)	90 - 100	75 - 90	50 - 75	25 - 50	>25
	Bobot	15	12	7	4	2 1 0
3	Spasi (m)	>2	0.6 - 2	0.2 - 0.6	0.06 - 0.2	<0.06
	Bobot	20	15	10	8	5
Kondisi Bidang	Panjang	<1 m	1 - 3 m	3 - 10 m	10 - 20 m	>20 m
	Bobot	6	4	2	1	0
	Bukaan	Tidak Ada	Sangat rapat	Sedang	Lebar	Sangat Lebar
	Bobot	6	4	2	1	0
	Kekasaran	Sangat Kasat	Kasar	Sedang	Halus	Licin
	Bobot	6	4	2	1	0
	Isian	Tidak Ada	Keras <5 mm	Keras >5 mm	Lunak <5 mm	Lunak >5 mm
	Bobot	6	4	2	1	0
	Pelapukan	Tidak Lapuk	Lapuk	Sedang	Tinggi	Terurai / Hancur
	Bobot	6	4	2	1	0
5	Orientasi Strike/Dip (Bid. Kemenerusan)	Temak Lurus	Drive dip dip (45 - 90)	Drive dip dip (20 - 45)	Drive again dip (45 - 90)	Drive again dip (20 - 45)
	Dip Kemajuan	Sgt Untung	Untung	Sedang	Tidak Untung	
	Bobot	0	2	5	-10	
	Strike Sejajar Dip Kemajuan	dip (45 - 90)	Sangat tidak Untung	dip (20 - 45)	Sedang	dip (0 - 20)
6	Air Tanah pada Kekar	Aliran air	none	<10	10 - 25	25 - 125
	Tekanan air (Kpa)	0	<0,1	0,1 - 0,2	0,2 - 0,5	> 0,5
Kondisi umum	Kering	Lembab	Basah	Menetes	Mengalir	
	Bobot	15	10	7	4	0

Sumber : Bieniawski, (1979)

Menurut Z. T Bieniewski (1979), setelah nilai RMR, selanjutnya menentukan kondisi

Menurut Z. T Bieniewski (1979), setelah nilai RMR, selanjutnya menentukan kondisi massa batuan berdasarkan kelas massa batuan

**Tabel 2 Kondisi Massa Batuan berdasarkan Klasifikasi Rock Mass Rating**

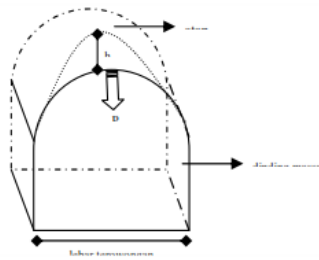
Rock Class	Rock Rating	Rock Type	Rock Properties	
			c (Kpa)	Φ (°)
I	81 - 100	Sangat Baik	> 400	> 45
II	61 - 80	Baik	300 - 400	35 - 45
III	41 - 60	Sedang	200 - 300	25 - 35
IV	21 - 40	Jelek	100 - 200	15 - 25
V	< 20	Sangat Jelek	< 100	< 15

Sumber : Beniawski, (1979)

## 2.2 Sistem Penyanggaan

### 2.2.1 Estimasi Runtuhan

Menurut klasifikasi geomekanik sistem RMR, tinggi runtuh (ht) dan beban runtuh (P) yang akan diterima penyangga.



Sumber : Unal., 1983

**Gambar 2.** Tinggi dan Beban Runtuh Batuan

Persamaannya yaitu sebagai berikut :

- Tinggi runtuh ( $ht$ )  

$$ht = \frac{100-RMR}{100} \times B$$
- Beban runtuh ( $P_{RMR}$ )  

$$P_{RMR} = \frac{100-RMR}{100} \times \rho$$
- Beban Luas Atap ( $W$ )  

$$W = P \times B \times \text{kemajuan tambang}$$

Keterangan :

- $B$  = Lebar lubang bukaan (m)
- $\rho$  = Density batuan ( $kg/m^3$ )

### 2.2.2 Baut Batuan dengan Pengikatan Geser

Komponen penunjang yang digunakan bersama baut batuan adalah *face plate*, *wire mesh* dan *shotcrete*. Baut batuan yang digunakan di PT Cibaliung Sumberdaya adalah jenis *split set*.



Sumber : B. Stilborg (1986).

**Gambar 3** Split Set dan Tipe Face Plate

Selain itu, Barton et.al (1980) memberikan juga informasi mengenai perhitungan panjang *rockbolt*, kebutuhan pemasangan *rockbolt* dalam satu baris serta kerapatannya.

- Panjang *rockbolt* ( $L$ )  

$$L = \frac{2 \times 0,15 B}{ESR}$$
  - Kebutuhan *rockbolt* ( $n$ )  

$$n = (W \times FK) / C$$
  - Kerapatan pemasangan *rockbolt*  

$$s = L / n$$
- Ket Keterangan :
- $B$  = Lebar pada lubang bukaan (m)
  - $ESR$  = Faktor penguatan pada lubang bukaan (m)
  - $W$  = Beban luas atap setiap kemajuan bukaan (ton)
  - $FK$  = Faktor keamanan yang direncanakan
  - $C$  = Kapasitas *rockbolt* (MPa)
  - $L$  = Lebar pemasangan *rockbolt* (m)

## C. Hasil dan Pembahasan

### 3.1 Hasil

Kegiatan yang dilakukan berupa pemetaan geoteknik pada lubang bukaan sepanjang 20,5 m. Data yang diambil merupakan data umum dan parameter klasifikasi masaa batuan dengan metoda RMR. Data umum berupa kemajuan, elevasi dan arah lubang bukaan, sedangkan parameter klasifikasi massa batuan dengan RMR berupa kekuatan batuan utuh, RQD, spasi ketidakteraturan, kondisi ketidakteraturan, kondisi air tanah dan kedudukan kekar pada lubang bukaan. Berikut data hasil pengamatan yang dilakukan :

**Tabel 3. Pengumpulan dan Pengolahan Data Parameter Geoteknik**

General Situation	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1 Waktu Pengamatan	29-10-14	31-10-14	01-11-14	09-11-14	04-11-14	05-11-14	08-11-14	09-11-14	11-11-14	12-11-14	14-11-14	10-11-14
2 Chainage (m)	177,8	179,5	182,5	184,1	185,5	187,0	188,0	188,4	190,9	192,7	194,7	196,8
3 Advance (m)	176,3	177,8	179,5	182,5	184,1	185,5	187,0	188,0	189,4	190,9	192,7	194,7
4 Kemajuan Terowongan	1,5	1,7	3,0	1,6	1,4	1,5	1,0	1,4	1,5	1,8	2,0	2,1
5 Elevasi Atas (mL)	1044,141	1044,196	1043,198	1042,125	1042,216	1042,558	1043,099	1042,798	1042,748	1042,779	1042,302	1043,698
6 Arah Terowongan	N 32° E	N 32° E	N 30° E	N 30° E	N 30° E	N 30° E	N 33° E	N 2° E	N 2° E	N 8° E	N 8° E	N 8° E
7 kedudukan	Pas. Kekar 1	N 11° E / 50°	N 11° E / 80°	N 14° E / 30°	N 24° E / 60°	N 24° E / 70°	N 35° E / 80°	N 10° E / 80°	N 3° E / 80°	N 4° E / 80°	N 8° E / 80°	N 9° E / 85°
	Pas. Kekar 2	N 33° E / 65°	N 13° E / 85°	N 12° E / 15°	N 12° E / 15°	N 9° E / 85°	N 17° E / 65°	N 19° E / 85°	N 8° E / 82°	N 17° E / 65°	N 17° E / 68°	N 17° E / 64°
	Pas. Kekar 3	N 11° E / 5°	N 14° E / 12°	-	-	-	-	N 18° E / 80°	N 17° E / 65°	N 12° E / 82°	N 10° E / 85°	N 8° E / 82°
<b>Bobot Parameter Rock Mass Rating</b>												
8 Kekuatan Batuan	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	6,7	7,0
9 Kekar/m (R)	Kiri	9	10	7	4	9	8	9	3	5	6	3
	Tengah	8	7	9	10	6	7	6	5	5	7	4
	Kanan	9	9	5	8	7	6	7	2	4	5	2
10 Rock Quality Designation (RQD)		75,2	78,4	84,2	82,8	83,2	84,8	83,2	95,2	91,9	87,7	93,7
		13,8	13,8	15,5	14,9	15,2	15,5	15,2	18,0	17,4	16,2	18,1
11 Spasi Ketidakteraturan		14,3	14,3	12,9	15,0	15,0	15,0	14,3	14,3	14,3	14,3	14,3
		4,7	4,0	3,0	4,0	2,0	2,0	3,3	3,3	3,0	2,7	2,7
12 Kondisi	Kemenerusan	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0
	Kekasaran	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
	Silau	4,0	4,0	4,0	4,0	3,0	4,0	4,0	4,0	3,3	3,3	3,3
	Pelepuhan	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
13 Kondisi Air Tanah	7,0	7,0	7,0	5,0	9,0	10,0	9,0	6,3	5,7	5,7	5,7	6,3
14 Orientasi Struktur	-9,7	-9,7	-5,0	-5,0	-9,7	-12,0	-12,0	-12,0	-12,0	-12,0	-12,0	-12,0
<b>Total Rating</b>	<b>55,1</b>	<b>54,4</b>	<b>57,5</b>	<b>58,9</b>	<b>55,5</b>	<b>55,5</b>	<b>53,5</b>	<b>54,9</b>	<b>53,0</b>	<b>53,2</b>	<b>53,1</b>	<b>53,2</b>
15 Kelas Massa Batuan	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III
16 Tipe Massa Batuan	Sedang	Sedang	Sedang	Sedang	Sedang	Sedang	Sedang	Sedang	Sedang	Sedang	Sedang	Sedang

Data tersebut diolah untuk menghasilkan estimasi runtunan yang kemudian dipakai untuk menentukan jumlah, spasi dan kerapatan pemasangan *rockbolt* dan ketebalan shotcrete. Estimasi runtuh didapatkan dari hasil rata-rata pengamatan setiap kemajuan peledakan sedangkan jumlah, spasi dan kerapatan pemasangan *rockbolt* yang didapatkan berdasarkan perhitungan dengan menggunakan persamaan Barton et.al (1980). Di samping ini tabel selengkapnya:

Keterangan :

- (\*) Hasil perhitungan
- (\*\*) Pemasangan aktual
- (\*\*\*) Pembulatan

**Tabel 5. Hasil Pengolahan Data Estimasi Runtunan**

Parameter	Nilai	Satuan
RMR Rata-rata	54,8	-
Tinggi Runtuh	1,06	m
Beban Runtuh	2,84	ton/m <sup>2</sup>
Beban luas atap per meter	19,43	ton/m
Lebar lubang bukaan	4,0	m
Lebar Pemasangan Bolt	11,3	m
Kemajuan lubang bukaan	1,0	m
Faktor ESR	1,3	-
Panjang <i>Rockbolt</i> (*)	2,0	m
Panjang <i>Rockbolt</i> (**)	1,42	m
Beban Batuan per meter	19,43	ton/m
Kapasitas <i>Rockbolt</i>	4,50	ton/m
Kebutuhan <i>Rockbolt</i> (*)	8,64	buah
Kebutuhan <i>Rockbolt</i> (***)	9	buah
Spasi <i>rockbolt</i> dalam 1 baris	1,25	m
Kerapatan <i>Rockbolt</i>	0,56	m
Ketebalan Shotcrete	8,00	cm

Data lain yang menjadi acuan dalam penentuan sistem penguatan ini adalah hasil uji *properties* batuan yang digunakan untuk pemodelan lubang bukaan. *Software* yang digunakan yaitu Phase 2 versi 8.0. Estimasi runtuh batuan pada lubang bukaan dan *properties* batuan akan dihitung untuk mengetahui model dan nilai FK lubang bukaan. Di samping ini hasil uji *properties* batuan :

**Tabel 6 Rock Properties**

Parameter Batuan	Nilai	Satuan
Berat jenis	2,69	Ton/m
Modulus Elastisitas	2.216,416	MPa
Poission Ratio	0,237	-
Kuat Tekan	16.845	MPa
Kuat Tarik	0,684	MPa
Kohesi	0,26	MPa
Sudut Geser Dalam	32,82	Derajat

Kondisi teoritis sebelum penguatan. Geometri lubang bukaannya 4,0 x 4,2 m, dengan FK 1,04 (kritis) → perlu penguatan.



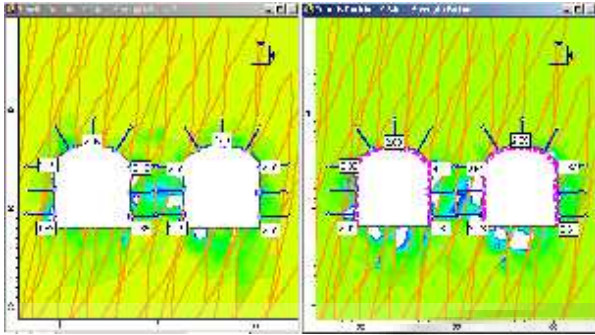
**Gambar 4.** Model FK Teoritis Sebelum Penguatan

Kondisi aktual sebelum penguatan. Geometri lubang bukaan dari pemantauan, dengan FK 1,04 (kritis) → perlu penguatan.



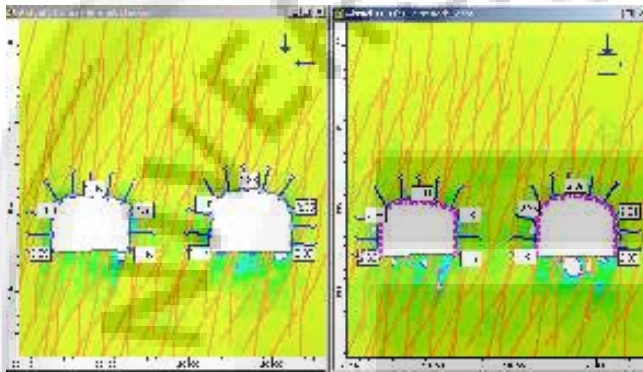
**Gambar 5.** Model FK Aktual Sebelum Penguatan

Kondisi teoritis setelah penguatan (*rockbolt* 9 buah, dan *shotcrete* 8 cm). FK setelah diberikan *rockbolt* dan *shotcrete* sebesar 2,09 – 4,49 (aman).



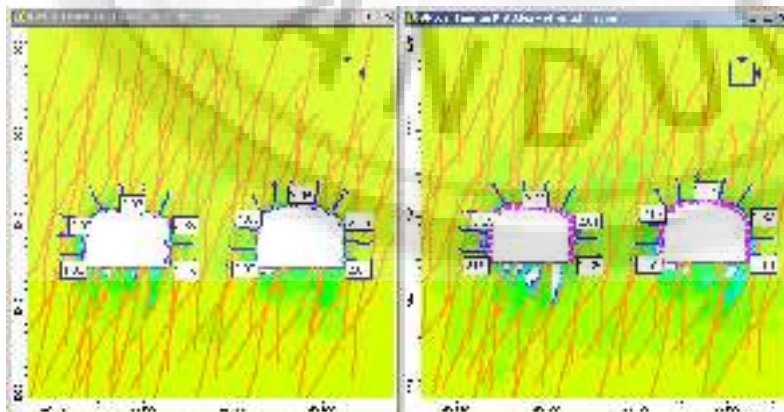
**Gambar 6.** Model FK Teoritis Setelah Penguatan

Kondisi aktual berdasarkan pemantauan (*rockbolt* 11 buah, dan *shotcrete* 5,5 cm). FK setelah dipasang *rockbolt* dan *shotcrete* sebesar 2,09 – 2,61 (aman).



**Gambar 7.** Model FK Aktual Hasil Pemantauan

Aplikasi rekomendasi sistem penguatan (*ground support recommendation / GSR*) yang sesuai yaitu kondisi aktual yang menerapkan rekomendasi sistem penguatan secara teoritis. Kondisi tersebut membutuhkan penguatan sebanyak 10 buah *rockbolt* dan tebal *shotcrete* 9 cm. Berdasarkan Gambar 8, FK yang didapat kan setelah dipasang *rockbolt* dan *shotcrete* yaitu 2,09 – 2,61 (aman).



**Gambar 8.** Model FK GSR di Kondisi Aktual



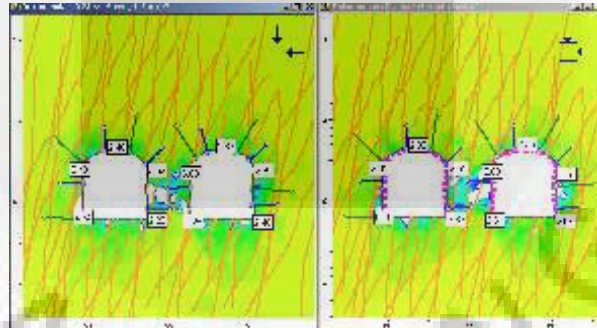
### 3.2 Pembahasan

Ketidaktersediaan *rockbolt* sepanjang 2 m di lapangan, menyebabkan pemanfaatan dengan menggunakan *rockbolt* yang digunakan di lubang bukaan produksi dan pengembangan. *Rockbolt* yang digunakan di lubang bukaan pengembangan sepanjang 1,42 m, sedangkan di lubang bukaan produksi sepanjang 2,40 m. *Rockbolt* yang biasa digunakan di lubang produksi akan menjadi *rockbolt* pengganti untuk menyesuaikan kebutuhan GSR di lapangan. Hal ini *rockbolt* pengganti tersebut disebut sebagai *safety bolt*. Tabel 7 merupakan tabel 5 hasil perhitungan untuk 5 kajian dalam mengombinasikan dua *rockbolt* di lubang bukaan pengembangan.

Tabel 7 Hasil Perhitungan Kombinasi Rockbolt

Tipe	Jumlah (Buah)		Kebutuhan Rockbolt 2,40 M	Spasi (m)		FK		FK Min	Harga (Rp)		Total Harga (Rp)
	Rockbolt 1,42 M	Rockbolt 2,40 M		Rockbolt 1,42 M	Rockbolt 2,40 M	Rockbolt 1,42 M	Rockbolt 2,40 M		Rockbolt 1,42 M	Rockbolt 2,40 M	
A	6	1,4	2	1,88	5,64	1,39	0,86	2,25	722.700	335.500	1.058.200
B	5	2,0	3	2,26	3,76	1,16	1,29	2,44	602.250	503.250	1.105.500
C	7	0,9	2	1,61	5,64	1,62	0,86	2,48	843.150	335.500	1.178.650
D	4	2,5	3	2,82	3,76	0,93	1,29	2,21	481.800	503.250	985.050
E	3	3,0	4	3,76	2,82	0,69	1,72	2,41	361.350	671.000	1.032.350

Berdasarkan Tabel 7, kombinasi yang sesuai dengan mempertimbangkan nilai FK, efektif, efisien, dan ekonomis adalah kombinasi D. Kombinasi tersebut memasang 4 buah *rockbolt* dan 3 buah *safety bolt*. FK minimum sebelum diberikan *shotcrete* 2,41 dengan total harga kebutuhan pembelian *rockbolt* dan *safety bolt* ini yaitu Rp. 985.050,-. Gambar 8 merupakan model stabilitas dari lubang bukaan dengan penguatan kombinasi D.



Gambar 9. Model Kombinasi D

#### D. Kesimpulan

Kesimpulan yang didapatkan dari hasil penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bobot rata-rata massa batuan pada kemajuan 176,3 m – 196,8 m atau sepanjang 20,5 meter yaitu 54,8 dengan rentang 53,0 – 58,9. Berdasarkan klasifikasi massa batuan dengan metoda *Rock Mass Rating* (RMR), nilai tersebut termasuk kedalam kelas III (tiga) dengan tipe massa batuan yang sedang.
2. Berdasarkan nilai FK yang kritis, maka kebutuhan penguatan untuk meningkatkan FK dengan nilai 2 untuk masing-masing kondisi adalah sebagai berikut :

Tabel 8. Kebutuhan Penguatan Berbagai Kondisi

No	Kondisi	Panjang Rockbolt	Banyak Rockbolt	Spasi Rockbot	Tebal Shotcrete
1	Teoritis (GSR)	2,00 m	9 buah	1,25 m	8,0 cm
2	Aktual hasil pemantauan	1,42 m	11 buah	-	5,5 cm
3	Penerapan GSR pada aktual	2,00 m	10 buah	1,04 m	9,0 cm

3. Berdasarkan perhitungan kebutuhan penguatan, maka nilai FK yang didapatkan setelah diberikan penguatan pada masing-masing kondisi yaitu sebagai berikut:

**Tabel 9. Nilai FK dari Berbagai Kondisi**

No	Kondisi	Nilai Faktor Keamanan (FK)				
		A	B	C	D	E
1	Teoritis (GSR)	2,35	2,35	2,09	4,43	2,61
2	Aktual hasil pemantauan	2,35	2,35	2,09	2,61	2,35
3	Penerapan GSR pada aktual	2,09	2,09	2,35	2,61	2,35

4. Berdasarkan perhitungan dan model FK pada dari 5 kajian, maka GSR yang paling efektif, efisien, dan ekonomis adalah kombinasi D. Kombinasi ini memasang 3 buah *rockbolt* sepanjang 1,42 m dan 4 buah *rockbolt (safety bolt)* sepanjang 2,40 m, serta menghabiskan biaya pembelian rockbolt sebesar Rp 985.000,-.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Barton, N., R. Lien, dan J. Lunde. 1974. Engineering Classification of Rock Masses for the Design of Tunnel Support. *Rock Mech.* 6, pp. 183-236.
- Bieniawski, Z.T., 1979. The Geomechanics Classification in Rock Engineering Applications. Proc. 4th Int. Cong. *Rock Mech.*, ISRM, Montreux, vol. 2.
- B. Stillborg, 1986. Professional Users Handbook for Rock Bolting. Lulea, Germany.
- Lauffer, H., 1958. Gebirgsklassifizierung fur den Stollenbau. *Geol. Bauwesen* 74
- Setiawan, Mukhlis., Suprpto, dan Harjanto. Agus., 2014. Geologi dan Mineralisasi Endapan Epitermal Sulfidasi Rendah Daerah Mangkualam dan Sekitarnya, Kec. Cimanggu, Kab.Pandeglang, Prov. Banten. *Jurnal Ilmiah Geologi Pangea*. Vol. 1, No. 2.
- Sudana, D. dan Santosa, S., 1992. Geology of The Cikarang Quadrangle, Java : Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung, 13 pp.
- Unal, E., 1983. Development of Design Guidelines and roof control standard for coal mine roofs, PH. D. Thesis, Penn. State Univ., USA.