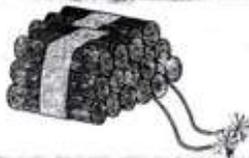


PROSIDING **SEMINAR** NASIONAL  
EFISIENSI DAN EFEKTIVITAS DALAM PELEDAKAN  
UNTUK MENCAPI SISTEM PENAMBANGAN  
YANG BAIK DAN BENAR



**Penyunting :**

Hasywir Thaib Siri  
Singgih Saptono  
Inmarlinianto



Program Studi Teknik Pertambangan  
Fakultas Teknologi Mineral  
Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta  
2014

## DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR.....	iii
SAMBUTAN KETUA PROGRAM STUDI TEKNIK PERTAMBANGAN FTM UPN "VETERAN" YOGYAKARTA .....	iv
DAFTAR ISI .....	v

### I. MAKALAH UTAMA

➤ <i>Quality of the Process Determine the Blast Outcome</i> Oleh: Andhiko Maharjono .....	01-1
➤ <i>Karakterisasi Massa Batuan Untuk Perencanaan Peledakan Lereng Penambangan</i> Oleh : Singih Saptono .....	02-1
➤ <i>Bahan Peledak Emulsi Curah Untuk Peledakan Batuan Reaktif Di Pertambangan (Bulk Emulsion For Reactive Ground)</i> Oleh : Herry Sudaryanto .....	03-1
➤ <i>Practical Ways To Reduce Bulk Explosive Consumption</i> Oleh : Johannes Dahiang Heru Utama .....	04-1
➤ <i>Penyelidikan Geoteknik untuk Menunjang Pekerjaan Pemberaian Batuan</i> Oleh : Budi Sulistianto .....	05-1

### II. MAKALAH PENDUKUNG

➤ <i>Analisis Recovery Gas Pada Proses Dewatering Sumur Cbm 2# Lapangan XX PT YY CBM Sekayu, Kabupaten Musi Banyuwangi Provinsi Sumatera Selatan.</i> Oleh : Hartono, Indah Setyowati, Gunawan Nusanto, Rizky Ferdian..	06-1
➤ <i>Dampak Eksplorasi Dan Eksploitasi Bahan Galian Terhadap Lingkungan Sekitar.</i> Oleh: Inmariinianto.....	07-1
➤ <i>Penentuan Lokasi Awal Dan Arah Penambangan Untuk Penjadwalan Produksi Pada Rancangan Teknis Penambangan Bijih Bauksit.</i> Oleh : Dwi Poetranto W.A, Suyono, Tegar Pandhu Mukty.....	08-1
➤ <i>Penentuan Zona Prospek Hidrokarbon Berdasarkan Analisis Data Geofisika Well Logging Pada Sumur "JRF" Lapangan "DHN" Formasi Talang Akar Cekungan Jawa Barat Utara.</i> Oleh : winda, Sudarsono, dan Jamroni Rizki Pauji.....	09-1

- *Penentuan Pengaruh Air Terhadap Kohesi Dan Sudut Gesek Dalam Pada Batugamping*  
Oleh : Singgih Saptono, Raden Hariyanto, Hasywir Thaib Siri  
M. Dadang Wahyudi..... 10-1
- *Kajian Splitsetgrouting sebagai Perkuatan Pada Penggalian Lubang Bukaan Tambang Bawah Tanah*  
Oleh : R. Hariyanto, Indri Lesta Siwidiani, dan Jetser T. Paleba ..... 11-1
- *Evaluasi Rencana Pascatambang Batubara Memakai Analisis Multidimensional Scaling*  
Oleh : Waterman, Shilvyanora Aprilia Rande ..... 12-1
- *Prospeksi Mineral Bijih Galena Di Kecamatan Klumbayan Barat, Kabupaten Tanggamus, Provinsi Lampung*  
Oleh : Abdul Rauf..... 13-1
- *Rancangan Teknis Penambangan Batubara Pada PT Dewa Ruci Mandiri Di Pit 9 Kecamatan Sebuku Kabupaten Nunukan Utara Kalimantan Utara*  
Oleh : Anton Sudyanto, Dra Indun Titisariwati, Martin Daniel Sinurat ..... 14-1
- *Rancangan Penambangan Tanah Liat Sebagai Bahan Baku Semen Di Desa Nglarangan, Kecamatan Tambakromo, Kabupaten Pati, Provinsi Jawa Tengah*  
Oleh : PriyoWidodo, D. P. Fransiskus..... 15-1
- *Konsep Evaluasi Kegiatan Pengeboran Pada Kegiatan Pertambangan*  
Oleh : Eddy Winamo, Wawong Dwi Ratminah ..... 16-1
- *Sustainable Mining for Sustainable Living*  
Oleh : Hamriani Ryka, Ketut Gunawan, Kresno..... 17-1
- *Proses Penetralan Air Asam Tambang ( Acid Mine Drainage )Pada Penambangan Batubara Dengan Menggunakan Media Kapur (  $\text{CaCO}_3$  )*  
Oleh : Sundoyo, Peter Eka Rosadi..... 18-1
- *Kajian Pencemaran Merkuri Akibat Pengolahan Bijih Emas Di Sungai Cikaniki Sub. Das Cisadane, Bogor*  
Oleh : Rachmat Ditya Narbudianto, Sudaryanto, Budiarto..... 19-1
- *Permodelan Rencana Penutupan Tambang Terbuka Batubara Dalam Upaya Pencapaian Pembangunan Yang Berkelanjutan Pada PT. Anugerah Bara Kaltim Job Site PT. Multi Sarana Avindo Di Kecamatan Lojangan Kabupaten Kutai Kartanegara Provinsi Kalimantan Timur*  
Oleh : Sundeck Hariyadi, Untung Sukamto, Dyah Probowati..... 20-1
- *Metode Pengelolaan Air Limbah Tambang Batubara*  
Oleh : Esty Martina Zeba, Rika Ernawati, Bambang Wisaksono..... 21-1

# **KAJIAN *SPLITSET GROUTING* SEBAGAI PERKUATAN PADA PENGGALIAN LUBANG BUKAAN TAMBANG BAWAH TANAH**

R. Hariyanto; Indri Lesta Siwidiani; Jetser T. Paleba  
Prodi Teknik Pertambangan FTM UPN"Veteran" Yogyakarta

## **ABSTRAK**

Kegiatan penggalian bahan galian pada massa batuan di bawah tanah untuk keperluan pemanfaatannya dapat mengakibatkan gangguan kesetimbangan gaya pada massa batuan tersebut. Massa batuan yang terganggu kesetimbangan gayanya akan mencapai kesetimbangan gaya yang baru salah satu caranya dengan melepaskan bebannya yaitu dengan keruntuhan. Agar keruntuhan tidak terjadi pada saat massa batuan mencapai kesetimbangan baru perlu ditambahkan perkuatan salah satunya adalah *splitset grouting*. *Splitset grouting* adalah salah satu jenis baut batuan yang dipakai untuk mendukung sistem penyangga batuan pada penggalian lubang bukaan tambang bawah tanah. Kekuatan *splitset grouting* sebagai sistem perkuatan lubang bukaan tambang bawah tanah akan dipengaruhi oleh lubang bor tempat terpasangnya *splitset*, spesifikasi *splitset*, memasang *splitset*, campuran *grouting*, dan panjang *grouting* yang dimasukkan ke dalam *splitset*. Kekuatan *splitset grouting* akan sesuai dengan fungsinya apabila penerapannya dilakukan dengan baik dan benar, sehingga dapat menghasilkan kekuatan yang sesuai dengan yang diinginkan, dan dapat menstabilkan lubang bukaan tambang bawah tanah.

Kata kunci : perkuatan, *splitset grouting*

## **A. LATAR BELAKANG**

Bahan galian yang berada dalam massa batuan di bawah permukaan tanah, agar dapat dimanfaatkan, harus dilakukan penggalian terlebih dahulu terhadapnya. Penggalian adalah salah satu bagian dari kegiatan penambangan bahan galian. Kegiatan penambangan bawah tanah dilaksanakan dengan membentuk lubang-lubang bukaan bawah tanah.

Massa batuan pada kondisi aslinya adalah dalam keadaan stabil. Apabila dilakukan penggalian terhadapnya maka akan menyebabkan perubahan distribusi tegangan yang baru. Distribusi tegangan yang baru dapat mengakibatkan keruntuhan pada massa batuan jika massa batuan tidak mampu lagi menahan perubahan tegangan yang terjadi.

Peningkatan kemampuan massa batuan menahan tegangan agar tetap stabil dapat dilakukan dengan cara pemasangan perkuatan. Salah satu perkuatan yang digunakan adalah *splitset*, dan untuk meningkatkan kekuatan *splitset* yang dipasangkan dalam massa batuan dapat dikerjakan dengan memodifikasinya, yaitu dengan meng-*grouting*-nya dalam melaksanakan pemasangannya.

*Splitset grouting* dapat berpenampilan sesuai dengan fungsinya dipengaruhi oleh sistematisa pemasangan dan ukuran *splitset* dikaitkan dengan klasifikasi massa batuan, dan parameter kualitas *grouting* pada *splitset*. Kemampuan *splitset grouting* dalam memperkuat dinding lubang bukaan bawah tanah akibat penggalian dapat diketahui dari hasil uji *pullout* terhadap *splitset grouting* tersebut.

## **B. TUJUAN**

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji *splitset grouting* sebagai perkuatan pada penggalian lubang bukaan tambang bawah tanah.

## **C. METODE**

Metode penelitian diawali dengan kajian pustaka kemudian dilanjutkan dengan pengumpulan data lapangan (pengambilan data primer), pengumpulan data hasil penelitian sebelumnya (pengambilan data sekunder), pengolahan data dan melakukan analisis dari data yang ada untuk menyelesaikan masalah.

#### D. HASIL

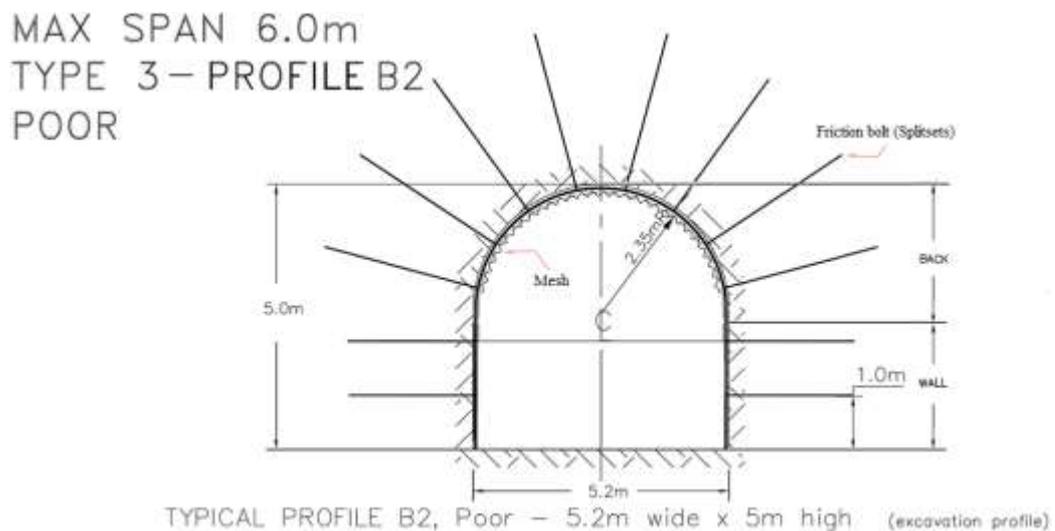
Penelitian ini dimaksudkan untuk mengkaji *splitset grouting* sebagai perkuatan pada penggalian lubang bukaan tambang bawah tanah yang dipasang di *Development Area Z* dan area *Sill Ore Y* pada studi kasus tambang bahan galian X. Lokasi penelitian di dua tempat tersebut masing-masing didominasi oleh batuan yang berbeda. *Development Area Z* didominasi oleh batuan andesit hematit, sedangkan untuk area *Sill Ore Y* didominasi oleh batuan diorit.

##### 1. Spesifikasi *splitset*

*Splitset* yang direkomendasikan pada masing-masing lokasi pemasangannya, yaitu di *Development Area Z* dan area *Sill Ore Y*, mempunyai spesifikasi seperti yang tertulis pada tabel 1. dan tabel 2. Profil pemasangannya pada masing-masing lokasi dapat dilihat pada gambar 1 dan gambar 2.

Tabel 1. Spesifikasi *Splitset* di *Development Area Z*

Posisi	Dimensi	Back	Wall
Type		Galv. Friction bolt	Galv. Friction bolt
Bolt	Length, (m)	3.0	2.4
	Spacing bolt, (m)	1.0	1.0
	Spacing ring, (m)	1.0	1.0

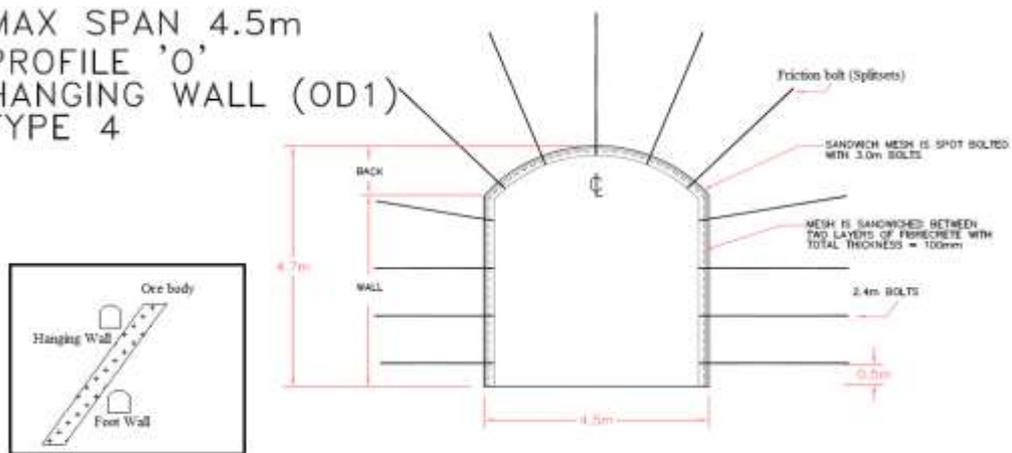


Gambar 1. Profil *Development Area Z*

Tabel 2. Spesifikasi *Splitset* di *Sill Ore Y*

Posisi	Dimensi	Back	Hanging Wall	Foot Wall
		Galv. Friction bolt	Galv. Friction bolt	
Bolt	Length, (m)	3.0	2.4	3.0
	Spacing bolt, (m)	1.0	1.0	1.0
	Spacing ring, (m)	1.0	1.0	1.0

MAX SPAN 4.5m  
 PROFILE 'O'  
 HANGING WALL (OD1)  
 TYPE 4



TYPICAL PROFILE O, HW, TYPE 4 – 4.5m wide x 4.7m high (excavation profile)

Gambar 2. Profil Sill Ore Y

## 2. Karakteristik Material Batuan

Hasil uji sifat fisik yang didapatkan adalah bobot isi dapat dilihat pada tabel 3., dan hasil uji sifat mekanik yang dihasilkan dari uji kuat tekan uniaksial dan uji geser langsung ditampilkan pada tabel 4.

Tabel 3. Sifat Fisik

Parameter	Tipe Batuan				
	Development Area Z		Sill Ore Y		
	Andesit Hematit	Andesit Prophylic	Andesit Fragmental	Diorit	Hematite Solid
Bobot Isi Batuan (ton/m <sup>3</sup> )	2,36	2,55	2,57	2,34	2,51

Tabel 4. Sifat Mekanik

Parameter	Tipe Batuan				
	Development Area Z		Sill Ore Y		
	Andesit Hematit	Andesit Prophylic	Andesit Fragmental	Diorit	Hematite Solid
Kuat Tekan Uniaksial (MPa)	63,05	55,01	41,3	28,9	21,7
Modulus Elastisitas (MPa)	55,75	23,9	26,1	19,2	26,28
Poisson's Ratio	0,28	0,23	0,26	0,25	0,23
Sudut geser dalam (°)	25,3	26,7	23,1	21,2	30,6
Kohesi (MPa)	12,03	8,24	9,11	15,31	20,16

### 3. Klasifikasi Massa Batuan

Klasifikasi massa batuan di lokasi pemasangan perkuatan *splitset* dibutuhkan untuk menentukan ukuran *splitset* dikaitkan dengan karakteristik massa batuan. Nilai klasifikasi massa batuan ditentukan berdasarkan sistem RMR dan nilai RMR untuk masing-masing lokasi pemasangan *splitset* dapat dilihat pada tabel 5 dan tabel 6.

Tabel 5. Nilai RMR Massa Batuan di *Development Area Z*

Parameter	Nilai	Description	Rating
Kekuatan batuan utuh (MPa)	63,05	moderately weak-strong rock	5
RQD (%)	30-50	poor rock	8
Spasi rekahan (mm)	77	50-100 mm	8
Kondisi rekahan	<5mm	slicken-side/gouge,<5mm	10
Kondisi air tanah	Moist	<10 liter/menit	10
Orientasi kekar	Tunnel	Moderately	-5
		Total	36

Berdasarkan nilai RMR 36 ditentukan ukuran *friction bolt* (*splitset*) di *Development Area Z*, yaitu panjang 2,4 m pada dinding dan 3,0 m pada atap terowongan, jarak *splitset* dari lantai adalah 1 m.

Tabel 6. Nilai RMR Massa Batuan di *Sill Ore Y*

Parameter	Nilai	Description	Rating
Kekuatan batuan utuh (MPa)	28.9	moderately weak-strong rock	5
RQD (%)	20-25	Very poor rock	3
Spasi rekahan (mm)	65	50-100 mm	8
Kondisi rekahan	<5mm	slicken-side/gouge,<5mm	10
Kondisi air tanah	Dripping	10-25 liter/menit	4
Orientasi kekar	Tunnel	Moderately	-5
		Total	25

Berdasarkan nilai RMR 25 ditentukan ukuran *friction bolt* (*splitset*) di *Sill Ore Y*, yaitu panjang 2,4 m pada dinding dan 3,0 m pada atap terowongan, jarak *splitset* dari lantai adalah 0,5 m.

### 4. Perkuatan *Splitset* di Lokasi Penelitian

#### a. Ukuran panjang dan spasi *splitset*

Ukuran panjang dan spasi *splitset* didasarkan pada lebar (L) lubang bukaan, hasilnya dapat dilihat pada tabel 7 dan tabel 8.

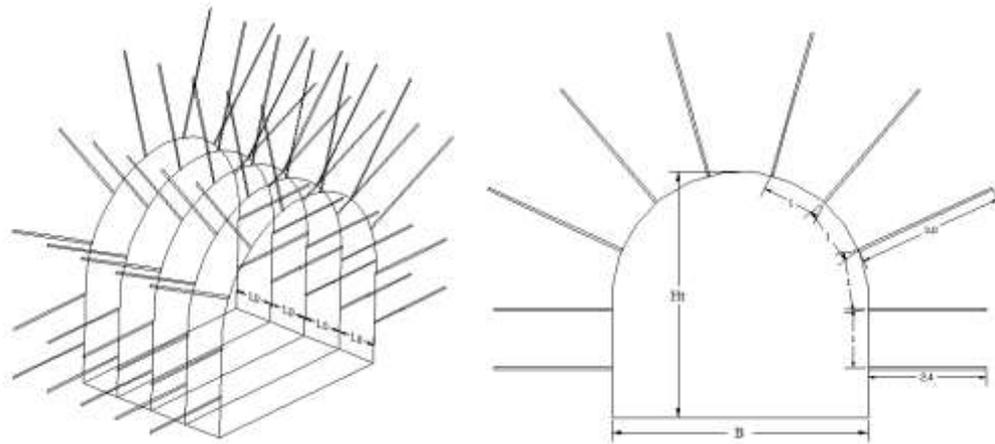
Tabel 7. Ukuran panjang *splitset*

Panjang <i>splitset</i> (m)	<i>Development Area Z</i>	<i>Sill Ore Y</i>	Rata-rata
Atap Kuat, $l = 1/3 L$	1,73	1,50	1,62
Atap Lemah, $l = 1/2 L$	2,60	2,25	2,43

Tabel 8. Ukuran spasi *splitset*

Spasi <i>splitset</i> (m)	<i>Development Area Z</i>	<i>Sill Ore Y</i>	Rata-rata
Spasi, $b = 2/3 l_{Kuat}$	1,15	1,0	1,08
Spasi, $b = 2/3 l_{Lemah}$	1,73	1,5	1,62
Spasi, $b = 2/9 L$	1,16	1,0	1,08

*Splitset* di lokasi penelitian yang digunakan dengan ukuran panjang 2,4 m dan 3 m, spasi antar *bolt* dan spasi antar *ring* 1 m sesuai dengan rekomendasi yang ada. Geometri pemasangan *splitset* yang digunakan pada lokasi penelitian dapat dilihat pada gambar 3 berikut ini.



Gambar 3. Geometri pemasangan *splitset*

b. Spesifikasi *splitset* diameter 47 mm

*Friction bolt* dan *face plate* yang digunakan adalah buatan *Dywidag System International (DSI), Canada*. *Friction bolt* yang dipakai adalah *splitset* jenis *galvanized* dan jenis *plate* yang dipakai adalah *Dome Plate Fitted Into The Butterfly Plate*. Klasifikasi jenis *splitset* dan *face plate* yang digunakan di lokasi penelitian ditunjukkan pada tabel 9 dan tabel 10 sebagai berikut :

Tabel 9. Spesifikasi *Friction Bolt (Splitset)* dengan Diameter 47 mm

47mm Bolt	Minimum		Typical	
Yield Strength	345MPa	120kN	445MPa	160kN
Ultima Ultimate Tensile Strength of Tube	460MPa	165kN	510MPa	180kN
Friction Bolt Diameter	47mm			
Hole Diameter Range	43mm min. 45.5mm			
Mass Per Metre	2.79			
Cross Sectional Area	355mm <sup>2</sup>			
Length	Back		3.0	
	Wall		2.4	

Tabel 10. Spesifikasi *Face Plate*

Length x Width	Thickness	Hole Diameter	Net Weight Black	Net Weight Galv.
300 x 278 mm 12 x 11 inch	1.9 mm	50 mm = 2 inch	2.87 lbs	2.95lbs

c. Kapasitas Perkuatan *Splitset*

Perhitungan perkuatan *splitset* dilakukan pada dua area penelitian yaitu *Development Z* dan *Sill Ore Y* untuk mengetahui berapa besar beban yang diterima oleh perkuatan *splitset* serta faktor keamanan dari perkuatan *splitset* yang diterapkan pada lokasi penelitian. Perhitungan kapasitas perkuatan *splitset* ini dilakukan berdasarkan penerapan yang dilakukan dilapangan. Berdasarkan data seperti bobot isi batuan, dimensi dari lubang bukaan, tinggi beban batuan (*Loosened Rock Zone*) sesuai hasil perhitungan, serta rancangan pemasangan *splitset* (spasi antar bolt dan spasi antar ring) dapat diketahui beban pada *splitset*. Hasil perhitungan kapasitas perkuatan *splitset* yang diberikan dapat dilihat pada tabel 11 berikut ini.

Tabel 11. Hasil Perhitungan Kapasitas Perkuatan *Splitset*

No.	Lokasi Penelitian	<i>Development Area Z</i>	<i>Sill Ore Y</i>
1.	Type Batuan	Andesit Hematit	Diorit
2.	Bobot isi (ton/m <sup>3</sup> )	2,36	2,34
3.	Span (m)	5,2	4,5
4.	Spasi <i>bolt</i> (m)	1	1
5.	Spasi <i>Ring</i> (m)	1	1
6.	Tinggi Runtuh (H <sub>p</sub> ) (m)	3,328	3,375
7.	Beban Batuan (P) (ton/m <sup>2</sup> )	7,854	7,897

Sedangkan besarnya beban yang diterima perkuatan *splitset* diperoleh berdasarkan bobot isi dan tinggi runtuh dari batuan. Faktor keamanan yang diharapkan yaitu 2 dengan spasi antar *bolt* dan spasi antar *ring* sesuai rekomendasi yaitu 1 m, maka perkuatan *splitset* akan mendapat beban sebagai berikut:

*Development Z*,  $W = 15,708 \text{ ton/m}^2$

*Sill Ore Y*,  $W = 15,795 \text{ ton/m}^2$

### 5. Modifikasi Perkuatan *Splitset* dan *Grouting* di Lokasi Penelitian

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan sebelumnya diperoleh bahwa kekuatan yang dihasilkan oleh *splitset* dengan menggunakan penambahan material *grout* adalah empat kali lebih besar dibandingkan dengan *splitset* yang tidak *digrouting*. Secara umum *grouting* membantu *splitset* agar tidak bergeser sehingga mampu bekerja lebih maksimal. Hasil penelitian tersebut diharapkan *splitset* yang telah *digrouting* akan mampu menyangga beban yang lebih besar dengan adanya modifikasi ini.

#### a. Pemasangan *Splitset* dan *Grouting*

Pemasangan *splitset* pada setiap tipe batuan dan tiap lokasi berbeda sesuai dengan standar yang diterapkan, namun secara umum pemasangan baut batuan adalah sebagai berikut :

- 1). Sebelum pengeboran dilakukan, dinding dan atap *difibrecrete* pada ketebalan 50 mm terlebih dahulu untuk mencegah batuan jatuh dan membantu perkuatan batuan untuk sementara waktu (minimal 1 hari atau 24 jam).
- 2). Pengeboran pada batuan dilakukan dengan menggunakan *Machine Drill Tamrock Axera D07-260*, untuk membuat lubang bor dengan diameter 42 mm pada batuan tipe 3 dan diameter 40 mm pada batuan tipe 4, dengan kedalaman 2,5 m dan 3 m.
- 3). *Splitset* dan *plate* kemudian dimasukkan ke dalam lubang bor dengan menggunakan *drill bit* jenis *button bit*, apabila ditambahkan dengan *weld mesh*, maka pemasangan dilakukan bersamaan antara *splitset* dan *weld mesh*.
- 4). Menginjeksikan material *grout* ke batang *splitset* untuk menambah kekuatan *splitset*.
- 5). Setelah semua *splitset* dipasang, dilanjutkan dengan penyemprotan *fibrecrete* kembali.

#### b. Material *Grout* di Lokasi Penelitian

Metode pencampuran material *grout* yang digunakan di lokasi penelitian adalah *wet mix method*. Material *grout* dalam *wet mix method*, memerlukan bahan-bahan campuran sesuai dengan standar yang ada .

Adapun material yang digunakan dalam pencampuran *grouting* adalah sebagai berikut :

##### 1). Semen

Jenis produksi semen yang digunakan sebagai bahan dasar untuk pembuatan semen *grouting* adalah semen tonasa tipe *portland*, dengan berat isi 50 kg per sak. Hasil penelitian yang telah dilakukan oleh devisi *paste plant*, semen tonasa dengan tipe *portland* adalah tipe semen yang cocok untuk digunakan sebagai bahan campuran material *grout* di tempat penelitian.

##### 2). Air

Air yang digunakan untuk pekerjaan *grouting* adalah air yang berasal dari mata air yang terletak di sekitar lokasi penambangan. Air tersebut ditampung ke tangki penampungan air dan kemudian

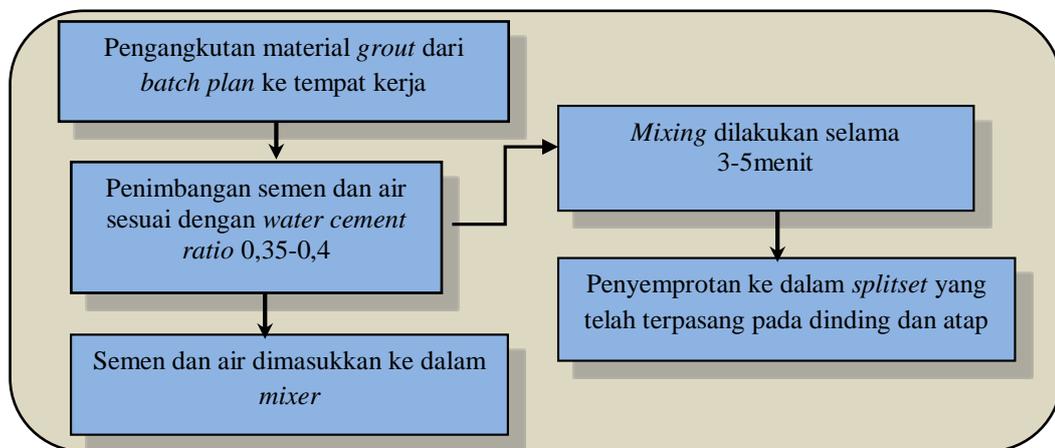
dipompa menuju lokasi pekerjaan. Perbandingan antara air dan semen (water cement ratio) yang digunakan untuk *grouting* merupakan perbandingan berat. *Water cement ratio* yang digunakan pada area penelitian sebesar 0,35 – 0,4 (35 liter sampai 40 liter air untuk penggunaan 100 kg semen). Jumlah kebutuhan material *grout* sesuai dengan jumlah *splitset* yang dipasangkan pada dinding batuan di lokasi penelitian sebagai berikut (lihat tabel 12) :

Tabel 12. Kebutuhan Pemakaian Material *Grout* dengan *Water Cement Ratio* 0,35

No.	Parameter	<i>Development Area Z</i>	<i>Sill Ore Y</i>
1.	Jumlah <i>Splitset</i>	196	198
2.	Volume <i>Splitsets</i> (m <sup>3</sup> )	3,669	3,620
3.	Jumlah Semen (kg)	600	450
4.	Jumlah Air (liter)	221,73	157,5
5.	Volume Semen+Air (m <sup>3</sup> )	0,412	0,300

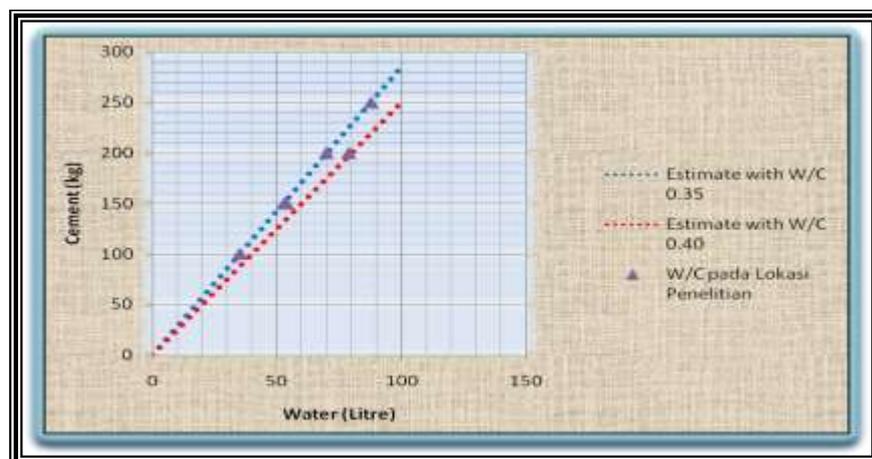
c. Proses Pencampuran Material *Grout*

Diagram alir proses pencampuran dan penyemprotan ke dalam *splitset* yang dilakukan dapat dilihat pada gambar 4 berikut ini :



Gambar 4. Diagram Alir Proses Pencampuran dan Penyemprotan *Grout* ke Dalam *Splitset*

Data hasil pengujian pencampuran air dan semen dengan menggunakan *water cement ratio* dilokasi penelitian dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 5. Grafik *Water Cement Ratio* untuk *Grouting* di Lokasi Penelitian

d. Penyemprotan Material *Grout* ke dalam *Splitset*

Penyemprotan material *grout* dilakukan pada *splitset* yang telah terpasang pada dinding dan atap. *Splitset* diisi dengan material *grout* sampai penuh, estimasi waktu rata-rata yang dibutuhkan untuk menginjeksikan material *grout* pada *splitset* adalah 9 detik/meter. Berikut merupakan data *cycle time* (*setup time, mixing time, break tme, down time, insert grout time*) pada saat *grouting* dilakukan di lokasi penelitian (lihat table 13 dan 14).

Tabel 13. Data *grouting cycle time* pada *Development Area Z*

NO.	DATE	TOTAL SPLITSET (item)	SET UP TIME (MINUTE)	MIXING TIME (MINUTE)	BREAK TIME (MINUTE)	DOWN TIME (MINUTE)	INSERT GROUT TIME (MINUTE)	DURATION (MINUTE)
1	11/08/2011	48	0:06:01	0:04:20	0:12:20	-	0:05:22	0:28:03
2	18/08/2011	64	0:01:33	0:07:32	0:06:29	0:35:13	0:07:34	0:58:21
3	25/08/2011	84	0:05:40	0:05:22	0:05:04	-	0:24:26	0:40:32

Tabel 14. Data *grouting cycle time* pada area *Sill Ore Y*

NO.	DATE	TOTAL SPLITSET (item)	SET UP TIME (MINUTE)	MIXING TIME (MINUTE)	BREAK TIME (MINUTE)	DOWN TIME (MINUTE)	INSERT GROUT TIME (MINUTE)	DURATION (MINUTE)
1	01/09/2011	104	0:02:55	0:05:09	0:08:46	0:38:44	0:58:51	1:54:25
2	08/09/2011	50	0:02:25	0:05:43	0:04:24	-	0:45:51	0:58:23
3	15/09/2011	44	0:01:12	0:04:49	0:02:46	-	0:23:51	0:32:38

e. Kekuatan *Splitset Grouting*

Kekuatan *splitset grouting* dalam mengikat massa batuan ditentukan berdasarkan hasil uji pull out test yang dilakukan terhadap *splitset grouting* yang terpasang. Standar kekuatan yang ditentukan adalah *splitset grouting* harus mencapai *pull out strength* sebesar 3,3 ton/m (8 ton untuk *splitset* dengan panjang 2,4 m atau 10 ton untuk *splitset* dengan panjang 3 m). Pengujian kekuatan *splitset grouting* ini dilakukan dengan menggunakan alat *pull tester* sesuai dengan prosedur penggunaan alat. Hubungan antara kekuatan yang dihasilkan oleh *splitset* terhadap faktor keamanan pada conto di lokasi penelitian dapat dilihat pada tabel 15.

## E. PEMBAHASAN

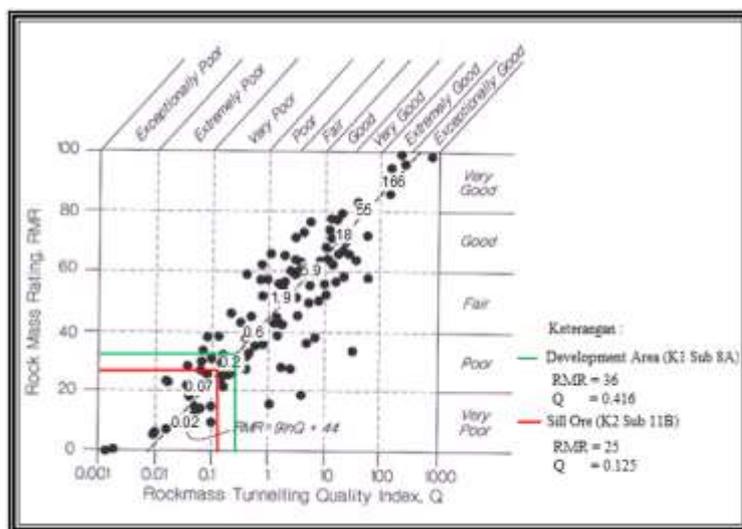
### 1. Klasifikasi Massa Batuan

Metode rancangan empiris digunakan untuk menganalisis kestabilan lubang bukaan pada lokasi penelitian, yaitu menguji stabilitas terowongan berdasarkan analisis statistik dari data observasi bawah tanah. Klasifikasi massa batuan adalah pendekatan empiris yang paling banyak dikenal. Metode klasifikasi massa batuan yang digunakan di lokasi penelitian untuk menyelesaikan masalah adalah metode berdasarkan klasifikasi geomekanika oleh Bieniawski (1989). Hasil perhitungan pembobotan diperoleh nilai RMR yang berbeda pada lokasi penelitian yaitu 36 untuk *Development Area Z* didominasi oleh batuan andesit hematit dan 25 pada area *Sill Ore Y* didominasi oleh batuan diorit. Berdasarkan nilai RMR tersebut maka klasifikasi massa batuan pada lokasi penelitian termasuk ke dalam kelas batuan IV (description = poor).

Jika nilai RMR dikorelasikan ke *Q-system*, maka diperoleh nilai Q sebesar 0,416 untuk *Development Area Z* dan nilai Q sebesar 0,125 untuk area *Sill Ore Y*. Berdasarkan gambar 6, dengan nilai Q = 0,416 dan 0,125, maka batuan pada area penelitian dapat dikategorikan ke dalam kelas *very poor rock* (klasifikasi Q-System).

Tabel 15. Hasil *Pull Out Test Splitsets*

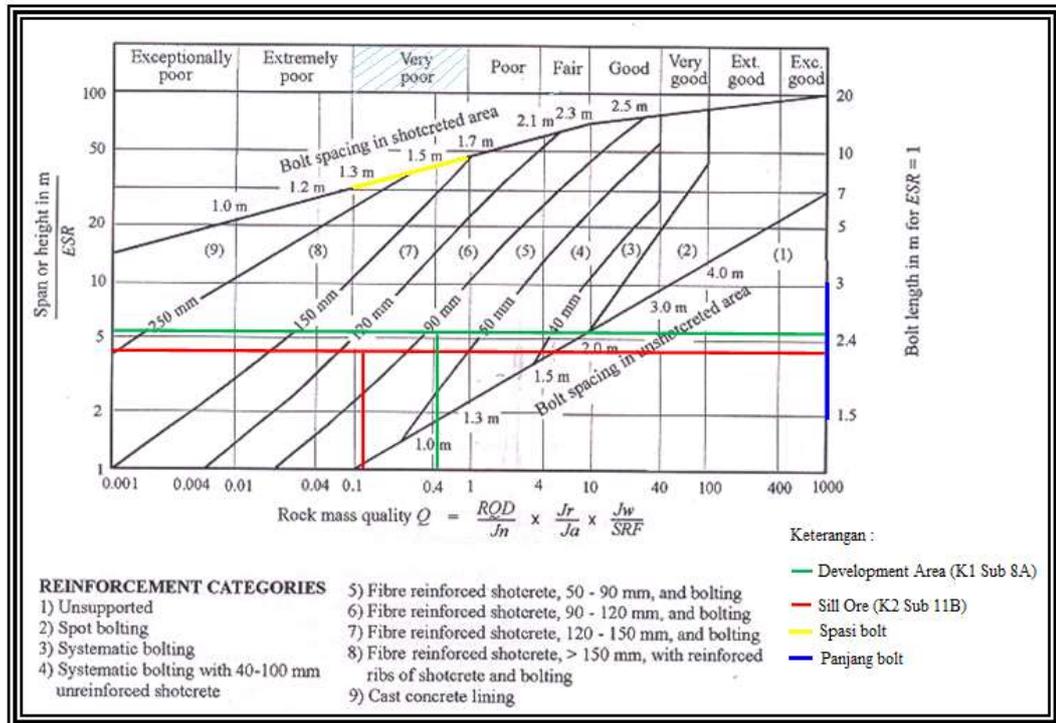
No. Conto	Lokasi	Panjang Splisets (m)	Panjang Grout (m)	Beban Batuan (ton/m <sup>2</sup> )	Kekuatan splitsets (ton)	Faktor Keamanan
1.	Development Area Z	2,4	1,8	7,854	17,0	2,16
2.		2,4	1,5	7,854	15,0	1,91
3.		2,4	0,4	7,854	5,0	0,64
4.		2,4	0,5	7,854	5,0	0,64
5.		2,4	0,4	7,854	3,0	0,38
6.		2,4	0,35	7,854	4,0	0,51
7.		2,4	0,2	7,854	1,0	0,12
8.		2,4	0,5	7,854	2,0	0,25
9.		2,4	1,3	7,854	9,0	1,14
10.		2,4	0,3	7,854	6,0	0,76
11.		2,4	0,5	7,854	6,0	0,76
12.		2,4	1,3	7,854	8,0	1,01
13.		2,4	1,7	7,854	15,0	1,91
14.		2,4	2	7,854	15,0	1,91
15.	Sill Ore Y	2,4	0,3	7,897	3,0	0,37
16.		2,4	0,6	7,897	5,0	0,63
17.		2,4	0,9	7,897	6,0	0,76
18.		2,4	1,7	7,897	9,0	1,14
19.		2,4	1,8	7,897	10,0	1,26
20.		2,4	2,2	7,897	15,0	1,89
21.		2,4	1,7	7,897	14,0	1,77
22.		2,4	0,6	7,897	4,0	0,50
23.		2,4	1,9	7,897	13,0	1,64
24.		2,4	0,7	7,897	3,0	0,37
25.		2,4	0,5	7,897	7,0	0,88
26.		2,4	0,2	7,897	5,0	0,63
27.		2,4	0,3	7,897	4,0	0,50
28.		2,4	0,6	7,897	2,0	0,25



Gambar 6. Klasifikasi *RMR-System* dan *Q-System* (Bieniawski, 1993) pada Lokasi Penelitian

## 2. Rekomendasi Perkuatan

Grafik hubungan nilai  $Q$  dan  $span$  menunjukkan bahwa dengan  $span$  5,2 m pada *Development Area* Z dan 4,5 m pada *Sill Ore* Y serta asumsi nilai  $ESR = 1$ , maka panjang *bolt* yang direkomendasikan adalah antara 1,5 m sampai dengan 3 m (lihat gambar 7).



Gambar 7. Rekomendasi Perkuatan Berdasarkan  $Q$ -System

Berdasarkan grafik diatas dapat dilihat bahwa perkuatan yang digunakan menurut  $Q$ -System yaitu bolting dengan panjang bolt 2,4 m sampai 3 m serta spasi antar bolt 1,5 m sampai 1,7 m untuk *Development Area* Z. Sedangkan untuk *Sill Ore* Y perkuatan yang direkomendasikan adalah bolting dengan panjang bolt 1,5 m sampai 2,4 m serta spasi antar bolt 1,3 m sampai 1,5 m.

Perbandingan rekomendasi perkuatan yang diberikan oleh  $RMR$ -System dan  $Q$ -System dengan rekomendasi sesuai dengan yang terpasanga di lokasi penelitian dapat dilihat pada tabel 16.

Hasil rekomendasi perkuatan yang diberikan berdasarkan  $RMR$ -System dan  $Q$ - serta perhitungan untuk menentukan panjang dan spasi *splitset* yang diberikan menunjukkan bahwa perbedaan terdapat pada panjang dan spasi dari *rock bolt*. Spasi yang digunakan pada lokasi penelitian lebih baik karena menggunakan ukuran panjang yang lebih panjang dan spasi yang lebih dekat. Berdasarkan ukuran yang digunakan tersebut akan memberikan faktor keamanan yang lebih besar karena distribusi beban yang diberikan untuk tiap *bolt* semakin kecil.

## 3. Modifikasi Perkuatan *Splitset* dan *Grouting*

### a. Analisis Perkuatan *Splitset*

Hasil perhitungan panjang dan spasi *splitsets* (lihat tabel 7 dan 8) bila dibandingkan dengan panjang dan spasi yang diterapkan di lokasi penelitian (*Development Area* Z dan area *Sill Ore* Y) yaitu panjang 2,4 m dan 3 m, dengan spasi antar bolt dan spasi antar ring 1 m sesuai rekomendasi yang ditetapkan, menunjukkan bahwa panjang *splitset* yang direkomendasikan lebih panjang serta spasi yang lebih kecil dari hasil pendekatan-pendekatan empiris tersebut. Hal ini dilakukan dengan tujuan agar *splitset* di lokasi penelitian dapat bekerja secara maksimal dan lebih aman dalam menjaga kestabilan lubang bukaan.

Tabel 16. Perbandingan Rekomendasi Perkuatan

Lokasi Penelitian	Berdasarkan Klas Massa Batuan		Terpasang di Lokasi
	RMR-System	Q-System	
Development Area Z RMR-System = 36 Q-System = 0,416	<i>rock bolt</i> (splitset) dengan interval 1 -1,5 m sepanjang bukaan.	<i>rock bolt</i> (splitset) dengan spasi 1,5 - 1,7 m dan panjang 2 - 2,4 m sepanjang bukaan.	<i>friction bolts</i> (splitset) panjang 2,4 m pada dinding dan dan 3,0 m pada atap terowongan, jarak <i>splitset</i> dari lantai adalah 1 m dan spasi antar <i>bolt</i> 1 m.
Sill Ore Area Y RMR-System = 25 Q-System = 0,125	<i>rock bolt</i> (splitset) dengan interval 1 -1,5 m sepanjang bukaan.	<i>rock bolt</i> (splitset) dengan spasi 1,3 - 1,5 m dan panjang 1,5 - 2,4 m sepanjang bukaan.	<i>friction bolts</i> (splitset) dengan panjang 2,4 m pada dinding dan dan 3,0 m pada atap terowongan, jarak <i>splitsets</i> dari lantai adalah 0,5 m dan spasi antar <i>bolt</i> 1 m.

b. Analisis Parameter Kualitas *Grouting* pada *Splitset*

Ada beberapa parameter yang digunakan untuk menentukan kualitas *grouting* pada perkuatan *splitset* dengan didasarkan pada hasil *pull out test* yaitu :

1). Material *Grout* di Lokasi Penelitian

a). Semen

Semen merupakan bahan yang mudah rusak bila terkena air atau cairan, maka harus diperhatikan pada saat penanganan dan penyimpanan semen agar kualitas semen tidak berubah dan tidak rusak. Semen yang digunakan untuk *grouting* adalah semen Tonasa tipe *portland* dengan kemasan 50 kg per sak. Sulitnya mengestimasi pemakaian semen sesuai dengan banyaknya *splitset* yang akan digrouting menjadi kendala utama. Apabila semen *grouting* yang telah dicampur dan masih meninggalkan sisa setelah pekerjaan selesai, maka semen akan mengalami pengerasan dan harus dibuang untuk membersihkan *mixer* seperti kondisi awal. Hal ini menimbulkan pemborosan material dan apabila saat pembersihan tidak dilakukan dengan baik maka akan mempercepat kerusakan alat *mixer* dan *pump*, sehingga dapat menurunkan kinerja dari *mixer* dan *pump* yang digunakan untuk pekerjaan selanjutnya.

b). Air

Penggunaan air dilokasi penelitian sesuai dengan *water cement ratio* (w/c ratio) yang telah ditentukan yaitu 0,35 ( $\leq 0,4$ ). Pada lokasi penelitian dilakukan pencampuran material *grout* sebanyak enam kali.

2). *Water Cement Ratio*

*Water cement ratio* pada penelitian ini dilakukan berurutan sesuai dengan nomor urut *bolt* pada pengujian *pull out test*. *Water cement ratio* 1,2,3 yaitu 0,36, 0,4, 0,35 dilakukan di *Development Area Z* untuk *bolt* dengan nomor urut pengujian 1 sampai 14. Sedangkan *water cement ratio* 4,5,6 dilakukan di area *Sill Ore Z* untuk *bolt* dengan nomor urut pengujian berikutnya yaitu 15 sampai 28 (lihat tabel 17).

Komposisi pencampuran material *grout* yang telah sesuai standar yaitu *water cement ratio* 0,35 sampai 0,4 kekuatan maksimal yang diberikan pada *Development Area Z* adalah 7,08 ton/m atau 17 ton untuk *bolt* dengan panjang 2,4 m. Sementara untuk area *Sill Ore Y* kekuatan maksimalnya adalah 6,25 ton/m atau 15 ton untuk *bolt* dengan panjang 2,4 m.

Tabel 17. berikut ini memperlihatkan perhitungan perbandingan antara jumlah penggunaan air dan semen dari keenam pencampuran diperoleh *water cement ratio* sebagai berikut :

Tabel 17. *Water Cement Ratio* Pada Lokasi Penelitian

No.	Lokasi Penelitian	Air (Liter)	Semen (kg)	Air + Semen (kg)	<i>Water Cement Ratio</i>
1.	<i>Development Area Z</i>	54,26	150	204,26	0,36
2.		79,21	200	279,21	0,40
3.		88,26	250	338,26	0,35
4.	<i>Sill Ore Y</i>	70	200	270	0,35
5.		52,5	150	202,5	0,35
6.		35	100	135	0,35

### 3). Analisis Proses Pencampuran

Proses Pencampuran material *grout* memiliki salah satu masalah utama yaitu perkiraan penggunaan semen. Agar jumlah semen dan air yang digunakan terkontrol, maka air diukur dengan menggunakan gelas ukur dengan kapasitas 1,5 liter sesuai dengan jumlah semen yang digunakan sehingga *water cement ratio* 0,35 dapat tercapai (gambar 8).



Gambar 8. Proses Pencampuran *water cement ratio* 0.35

Pengukuran yang dilakukan terdapat dua kali pencampuran yang mencapai *water cement ratio* diatas 0,35 (0,36 dan 0,4). Hal ini disebabkan pada saat pencampuran material *grout*, pompa mengalami macet akibat material yang mengeras didalam pompa sehingga perlu adanya penambahan air.

### 4). Analisis Penyemprotan Material *Grout* ke Dalam *Splitset*

Data *grouting cycle time* (tabel 13 dan 14) menunjukkan bahwa waktu pencampuran (mixing time) yang diterapkan telah sesuai dengan waktu yang dibutuhkan untuk proses pencampuran antara material semen dan air (*grout*) berdasarkan standar yang digunakan yaitu 3 menit hingga 5 menit. Proses penyemprotan material *grout* ke dalam *splitset* tidak dapat berjalan dengan baik. Hal ini disebabkan karena pada saat penyemprotan material *grout* ke dalam *splitset*, terdapat batuan hancur hasil dari proses pembongkaran (*blasting*) yang telah mengisi *splitset* melalui celah pada batang *splitset*. Sehingga *delivery hose* yang digunakan untuk menyemprotkan material *grout* tidak dapat masuk ke dalam *splitset* dengan baik.

Panjang maksimal *splitset* yang dapat digrouting pada *Development Area Z* dan *Sill Ore Y* masing-masing adalah 2 m dan 2,2 m dengan kekuatan yang dihasilkan yaitu 15 ton. Dari data grafik hasil *pull out test* pada lokasi penelitian dapat dilihat bahwa untuk *splitset* yang digrouting dengan panjang lebih dari 1 m dapat mencapai angka minimal 3,3 ton/m.

#### 4. Analisis Kekuatan Splitset Grouting

Analisis kekuatan *splitset grouting* didasarkan pada hasil *pull out test*. Kekuatan splitset grouting dipengaruhi oleh panjangnya bagian splitset yang tergrouting. Hal ini dapat dikorelasikan dengan tabel 12 yang menuliskan kebutuhan material grouting dan tabel 15 yang menuliskan panjang splitset tergrouting serta kekuatan yang dihasilkan.

Berdasarkan tabel 12 dapat dilihat hubungan antara jumlah kebutuhan material *grout* yang digunakan dan jumlah *splitset* yang dipasangkan pada dinding batuan di lokasi penelitian. Jumlah *splitset* yang digrouting pada lokasi *Development Area Z* adalah 196 (volume splitsets yang harus digrouting yaitu  $3,669 \text{ m}^3$ ) tidak sebanding dengan volume total material *grout* yang digunakan yaitu  $0,412 \text{ m}^3$ . Begitu pula dengan jumlah *splitset* yang digrouting pada lokasi *Sill Ore Y* adalah 198 (volume splitsets yang harus digrouting yaitu  $3,620 \text{ m}^3$ ) tidak sebanding dengan volume total material *grout* yang digunakan yaitu  $0,3 \text{ m}^3$ . Data tersebut menunjukkan bahwa material *grout* yang digunakan lebih sedikit. Hal ini menunjukkan bahwa target *splitset* yang seharusnya diisi penuh dengan material *grout* tidak dapat terlaksana. Akibatnya kekuatan splitset grouting yang dihasilkan tidak semuanya sesuai dengan standar yang ditetapkan, 3,3 ton/m.

Kekuatan splitset grouting berdasarkan hasil *pull out test* yang diperoleh (lihat tabel 15), menunjukkan bahwa beban minimal yang didapat dari *pull out test* pada lokasi penelitian yaitu 1 ton dengan panjang grout 0,2 m. Data tersebut apabila dikonversikan dalam kekuatan per meter dihasilkan 0,42 ton/m (beban 1 ton, *splitset* dengan panjang 2,4 m), tidak sesuai dengan standar yang ditetapkan. Sedangkan beban maksimal yang diperoleh pada lokasi penelitian yaitu 17 ton dengan faktor keamanan 2,16 dan panjang grout 1,8 m, serta kekuatan 7,08 ton/m.

Data hasil *pull out test* juga memperlihatkan bahwa kekuatan splitset grouting yang dihasilkan tidak secara linear berhubungan dengan panjang bagian splitset yang tergrouting. Hal ini ditunjukkan pula di tabel 15, dengan panjang bagian splitset yang tergrouting sama (1,8 m) tetapi kekuatan hasil *pull out test* yang didapat tidak sama, yaitu 17 ton (*Development area Z*) dan 10 ton (*Sill ore Y*). Berarti bahwa kekuatan splitset grouting tidak hanya dipengaruhi oleh proses groutingnya saja tetapi juga dipengaruhi oleh karakteristik massa batuan. Klasifikasi massa batuan di *Development area Z* nilai RMR nya 36 dan di *Sill ore Y* nilai RMR nya 25, semakin tinggi nilai RMR nya semakin besar kekuatan *splitset grouting* yang dihasilkan.

Berdasarkan hasil *pull out test* diketahui pula bahwa untuk mendapatkan faktor keamanan lebih besar 1,5 sebaiknya panjang grout pada *splitset* adalah 1,5 m di *Development area Z* dan 2,0 m di *Sill ore Y*.

#### F. KESIMPULAN

1. Nilai RMR yang berbeda pada lokasi penelitian yaitu 36 untuk *Development Area Z* didominasi oleh batuan andesit hematit dan 25 pada area *Sill Ore Y* didominasi oleh batuan diorit.
2. Rekomendasi perkuatan berdasarkan klasifikasi massa batuan adalah *bolting* dengan panjang *bolt* 2,4 m sampai 3 m serta spasi antar *bolt* 1,5 m sampai 1,7 m untuk *Development Area Z*. Sedangkan untuk *Sill Ore Y* perkuatan yang direkomendasikan adalah *bolting* dengan panjang *bolt* 1,5 m sampai 2,4 m serta spasi antar *bolt* 1,3 m sampai 1,5 m.
3. Modifikasi Perkuatan *Splitset* dan *Grouting*
  - a. Panjang dan spasi *splitsets* yang diterapkan di lokasi penelitian (*Development Area Z* dan area *Sill Ore Y*) yaitu panjang 2,4 m dan 3 m, dengan spasi antar *bolt* dan spasi antar *ring* 1 m.
  - b. *Water cement ratio* pada penelitian sesuai yang disyaratkan, yaitu 0.35- 0.4.
  - c. Minimal panjang grouting adalah 1 m untuk mendapatkan kekuatan 3,3 ton/m, (FK=1).
4. Kekuatan *Splitset Grouting* dipengaruhi oleh panjang grouting dan klas massa batuan (Nilai RMR).
5. Panjang grouting minimum 1,5 m pada *Development area Z* dan 2,0 m pada *Sill ore Y* untuk mendapatkan faktor keamanan (FK) > 1,5.

#### G. DAFTAR PUSTAKA

1. Bieniawski, ZT., 1989, *Engineering Rock Mass Classifications*, Mining and Mineral Resources Research Institute, The Pennsylvania State University, John Wiley & Sons, Inc., New York.
2. Bieniawski, ZT., 1984, *Rock Mechanics Design in Mining and Tunneling*, Mining and Mineral Resources Research Institute, The Pennsylvania State University, John Wiley & Sons, Inc., New York.
3. Biron, Cemal., 1983, *Design of Support in Mines*, Mining and Mineral Resources Research Institute, The Pennsylvania State University, John Wiley & Sons, Inc., New York.
4. Bengt Stillborg, 1986, *Professional Users Handbook for Rock Bolting*, Trans Tech Publications.
5. Brady, BHG., Brown, ET., 1985, *Rock Mechanics for Underground Mining*, George Allen & Unwin (Publishers) Ltd., 40 Moseum Street, London WC1A 1LU, UK.
6. Brown, ET., Hoek, E., 1980, *Underground Excavations in Rock*, The Institution of Mining and Metallurgy, London .
7. Bawden, WF., Kaiser, PK., Hoek, E., 1995, *Support of Underground Excavations in Hard Rock*, AA Balkema, Rotterdam, Brookfield.
8. Jean Hutchinson, D., Diederichs, Mark S., 1996, *Cablebolting in Underground Mines*, BiTech Publishers Ltd, Canada.
9. M. Ashraf Mahtab, Piergiorgo Grasso, 1992, *Geomechanics Principles in the Design of Tunnels and Caverns in Rock*, Elsevier Science Publishers B.V., Amesterdam.
10. Villaescusa, E., Windsor, Christopher R., Thompson, A. G., 1999, *Rock Support and Reinforcement Practice in Mining*, Balkema, Rotterdam.
11. Warner, James P.E., (2004), *Practical Handbook of Grouting*, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.