

# EVALUASI GEOMETRI PELEDAKAN TERHADAP FRAGMENTASI BATUAN DAN BIAYA PELEDAKAN PT. TEGUH SINARABADI, KABUPATEN KUTAI BARAT PROVINSI KALIMANTAN TIMUR

*(Evaluation of Blasting Geometry to Fragmentation of Rock and Blasting Cost on Pit Lisat PT. Teguh Sinarabadi, District West Kutai Province East Kalimantan)*

Dian Abimanyu, Tommy Trides, Sakhdillah  
Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas teknik, Universitas Mulawarman Samarinda  
E-mail: [dyan.abimanyu@gmail.com](mailto:dyan.abimanyu@gmail.com)

## Abstrak

Batuan yang telah terberaikan atau yang disebut fragmentasi merupakan hal yang penting dari suatu hasil peledakan, karena fragmentasi batuan merupakan dampak langsung dari hasil peledakan yang akan mempengaruhi tahap selanjutnya. Berdasarkan standard perusahaan tingkat keberhasilan dari kegiatan peledakan adalah tingkat presentase *boulder* yang di bawah 15 %. Untuk menghasilkan fragmentasi yang baik banyak hal yang mempengaruhi yaitu geometri peledakan salah satu hal yang dapat dikontrol. Untuk mengetahui tingkat fragmentasi hasil peledakan dapat digunakan metode perhitungan dengan model *kuz-ram* dan teknik langsung dengan metode *image analysis*. Perhitungan biaya yang dikeluarkan juga perlu dihitung untuk mengetahui apakah kegiatan peledakan yang dilakukan ekonomis atau tidak. Delapan kali peledakan didapatkan tingkat fragmentasi *boulder* prediksi dengan menggunakan model *kuz-ram* yaitu: 19,72%, 16,56%, 14,35%, 16,35%, 14,09%, 14,94%, 15,27%, 16,90%. Sedangkan perhitungan tingkat fragmentasi batuan secara aktual digunakan metode *image analysis* dengan menggunakan *software splitdektop 2.0*, dan didapatkan tingkat fragmentasi *boulder* yaitu: 20,77%, 19,58%, 15,90%, 17,35%, 15,80%, 16,92%, 16,60 %, 17,56 %. Dari masing masing kegiatan peledakan dihitung berapa biaya total peledakan yang dikeluarkan, dan didapatkan total biaya yang dikeluarkan yaitu: 0,256 \$/BCM, 0,281 \$/BCM, 309 \$/BCM, 0,284 \$/BCM, 0,322 \$/BCM, 0,300 \$/BCM, 0,282\$/BCM, 0,274 \$/BCM. Selanjutnya diberikan rekomendasi geometri peledakan yang baru berdasarkan persamaan R. L Ash (1963), C. J. Konya (1972), Anderson (1952), dan Austin Powder. Dari perhitungan biaya peledakan dicari persamaan hubungan antara biaya total peledakan dengan *powder factor* (PF) digunakan untuk mengestimasi biaya peledakan yang dikeluarkan sesuai dengan geometri usulan yang baru.

**Kata kunci:** Biaya Peledakan, Fragmentasi, *Image Analysis*, Korelasi, Model Kuz-ram, *Powder Factor* (PF).

## Abstract

The rock that has been erupted or called fragmentation was an important part of a blasting result, because the fragmentation of the rock is a direct impact of the explosion that will affect the next stage. Based on the company standard the success rate of the blasting activity is the percentage rate of boulder which is below 15%. To produce good fragmentation many things that affect blasting geometry is one of the things that can be controlled. To know the level of fragmentation of blasting results can be used calculation method with *kuz-ram* model and direct technique with *image analysis* method. The cost calculation also needs to be calculated to determine whether the blasting activity is economical or not. From eight explosions, boulder fragmentation was predicted by using *kuz-ram* model: 19,72%, 16,56%, 14,35%, 16,35%, 14,09%, 14,94%, 15,27 %, 16.90%. While the calculation of rock fragmentation level is actually used *image analysis* method using *splitdektop 2.0* software, and obtained the level of boulder fragmentation are: 20,77%, 19,58%, 15,90%, 17,35%, 15,80%, 16 , 92%, 16.60%, 17.56%. From each blasting activity is calculated how total blasting cost incurred, and obtained the total cost incurred are: 0.256 \$ / BCM, 0.281 \$ / BCM, 309 \$ / BCM, 0.284 \$ / BCM, 0.322 \$ / BCM, 0.300 \$ / BCM , 0.282 \$ / BCM, 0.274 \$ / BCM. Subsequently, a new blast geometry was proposed based on the R.L Ash equation (1963), C. J.Konya (1972), Anderson (1952), and Austin Powder. From the explosive cost calculation sought the equation of the relationship between the total cost of blasting and the powder factor (PF) is used to estimate the blasting cost incurred in accordance with the new usability geometry.

**Keywords:** Blasting Cost, Correlation, Fragmentation, *Image Analysis*, *Kuz-ram Model*, *Powder Factor* (PF).

## PENDAHULUAN

PT. Teguh Sinarabadi adalah salah satu perusahaan tambang batubara yang menggunakan metode peledakan dalam kegiatan pembongkaran material *interburden*. Material hasil peledakan akan terberaikan, batuan yang telah terberaikan

atau yang disebut fragmentasi merupakan hal yang penting dari suatu hasil peledakan dikarenakan hasilnya akan mempengaruhi pada kegiatan selanjutnya.

Tujuan dari pekerjaan pemboran dan optimal, yaitu peledakan yang menghasilkan

fragmentasi yang sesuai kebutuhan dengan biaya keseluruhan untuk pemboran, peledakan, pemuatan, pengangkutan dan proses berikutnya yang paling rendah. Sehingga dilakukan analisis untuk fragmentasi batuan hasil kegiatan peledakan untuk mengetahui faktor apa saja yang mempengaruhi hasil peledakan dengan perencanaan yang telah dilakukan dan perhitungan biaya yang dikeluarkan.

Penerapan geometri aktual dilapangan akan mempengaruhi langsung hasil dari kegiatan peledakan terutama fragmentasi batuan, ukuran dari fragmentasi batuan akan mempengaruhi langsung produktifitas alat gali muat. Penggunaan bahan peledak dan perlengkapan peledakan tergantung terhadap penerapan geometri peledakan, sehingga biaya yang dikeluarkan terhadap peledakan pun akan berbeda-beda. Sehingga perlu dilakukan evaluasi untuk mengetahui seberapa efektif dan efisiennya penerapan geometri peledakan yang telah dilakukan.

## METODOLOGI

Pengambilan data dilakukan langsung di lapangan untuk mengetahui geometri aktual yang diterapkan di lapangan. Geometri peledakan, isian bahan peledak, dan distribusi ukuran fragmen hasil peledakan diamati di 8 lokasi pengamatan pada blok 27-32.

### Metode Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan dengan dua cara, yaitu melakukan pengamatan dan pengambilan data di lapangan. Kondisi lapangan dan gambaran aktivitas peledakan diamati secara langsung di lapangan. Sedangkan pengambilan data di lapangan diperoleh dari data utama (primer) dan literatur-literatur yang berhubungan dengan permasalahan yang ada (data sekunder).

Data utama terdiri atas isian bahan peledak, geometri peledakan, penggunaan peralatan dan perlengkapan peledakan, gaji *crew blasting*, *digging time* dan *digging rate* alat gali-muat, foto hasil peledakan serta data jenis material dan *specific gravity*. Sedangkan data penunjang (sekunder) yang digunakan meliputi metode peledakan, jenis handak, harga perlengkapan dan peralatan peledakan.

### Metode Pengolahan Data

Hubungan pengaruh isian bahan peledak terhadap hasil fragmentasi dari data aktual di lapangan dianalisis menggunakan pendekatan persamaan regresi polinomial orde 2. Sebagai analisa distribusi fragmentasi digunakan 2 metode yang pertama analisa secara teoritis menggunakan

model kuz-ram dan yang kedua digunakan metode *image analysis* untuk mengetahui distribusi fragmentasi secara aktual. Selanjutnya dicari hubungan antara *digging time* material hasil kegiatan *blasting* dengan rata-rata ukuran fragmentasi dan distribusinya untuk mengetahui pengaruh fragmentasi terhadap *digging time* dan *digging rate* alat gali-muat.

Perhitungan biaya peledakan didasarkan pada penggunaan bahan peledak, biaya pemboran, penggunaan perlengkapan peledakan, gaji *crew blasting*. Dari perhitungan biaya peledakan dicari hubungan antara biaya yang dikeluarkan dengan penggunaan bahan peledak serta distribusi fragmentasi yang dihasilkan. Persamaan ini selanjutnya digunakan untuk menentukan estimasi biaya yang dikeluarkan apabila menggunakan geometri usulan yang baru. Penentuan geometri usulan digunakan persamaan R.L Ash, C.J Konya, Anderson dan Austin Powder.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Geometri Peledakan Aktual

Dari hasil pengamatan dilapangan didapatkan hasil geometri peledakan aktual (Tabel 1). Dalam perencanaannya, parameter geometri peledakan yang digunakan adalah *burden* 9 m, *spacing* 10 m, kedalaman 11 m, *stemming* 6,5 m, dan *column charge* 4,5 m. Akan tetapi dalam penerapan aktualnya terjadi deviasi-deviasi yang disebabkan tingkat akurasi pemboran tidak presisi menyebabkan perbedaan geometri secara *plan* dan aktual. Lokasi peledakan yang tidak rata dan sempit menyebabkan alat bor tidak dapat bekerja secara maksimal, akibatnya akan mempengaruhi akurasi pemboran. Sehingga akan mempengaruhi pola pemboran. Geometri peledakan aktual dapat dilihat pada tabel 1.

Pada lokasi peledakan IB D B30-31 terjadi peningkatan *PF*, *PF* aktual yang digunakan 0,26 kg/BCM, hal ini dikarenakan geometri peledakan yang lebih rapat. Peningkatan ini dilakukan karena diharapkan fragmentasi hasil peledakan yang dihasilkan sesuai dengan standard yang diinginkan, sehingga target produksi pun tercapai. Selain itu lokasi peledakan yang sempit membuat alat bor tidak dapat bekerja secara maksimal, sehingga terdapat beberapa lubang yang berdekatan.

**Tabel 1.** Geometri peledakan aktual

Date	< 20 cm	20 - 40 cm	40 - 100 cm	> 100 cm	X (cm)
8 Agustus	29.50%	13.03%	36.71%	19.72%	41.84
9 Agustus	28.43%	14.77%	37.23%	16.56%	37.78
10 Agustus	43.52%	12.43%	28.14%	14.35%	34.99
12 Agustus	26.31%	20.76%	35.59%	16.35%	37.51
18 Agustus	39.36%	13.35%	31.50%	14.09%	34.66
21 Agustus	28.95%	16.78%	37.36%	14.94%	35.73
22 Agustus	25.49%	17.91%	40.02%	15.27%	36.11
25 Agustus	41.52%	13.19%	27.73%	16.90%	38.21

**Powder Factor Aktual Peledakan**

**Tabel 2.** Powder Factor aktual peledakan

Tanggal Peledakan	Lokasi	PF (kg/bcm)
8/8/2017	IB 13L B28-29	0.18
9/8/2017	IB 12 B28	0.22
10/8/2017	IB 8 B30	0.22
12/8/2017	IB 5 B27	0.23
18/08/2017	IB D B30-31	0.26
21/08/2017	IB 8 B27	0.23

Perbedaan *powder factor* pada masing-masing kegiatan peledakan dipengaruhi oleh geometri peledakan yang diterapkan langsung dilapangan. Jarak *spasi*, *burden* dan kedalaman lubang ledak. Dari data di atas dapat dilihat bahwa *powder factor* paling tinggi ada pada tanggal 18/8/2017 yaitu peledakan pada Pit Lisat Seam D B30-31, sedangkan *powder factor* paling rendah ada pada peledakan tanggal 8/8/2017 di lokasi 28 Pit Lisat IB 13L Block 28-29.

**Analisa Fragmentasi Dengan Menggunakan Model Kuz-Ram**

Dari data pengamatan yang telah dilakukan mengenai geometri peledakan, sifat fisik dan mekanik batuan, bobot batuan, kondisi geologi, dan sifat dari bahan peledak. Dapat ditentukan rata-rata fragmentasi yang dihasilkan dan distribusi ukurannya menggunakan model *Kuz-Ram*. Dimana model ini dipakai untuk menentukan secara teoritis atau prediksi hasil fragmentasi yang akan dihasilkan berdasarkan parameter di atas. Adapun perhitungan lengkapnya dapat dilihat pada lampiran.

Berikut data distribusi fragmentasi teoritis yang akan dihasilkan dari masing-masing peledakan.

**Tabel 3.** Distribusi fragmentasi batuan model kuz-ram

Tanggal Peledakan	Lokasi	Geometri Peledakan (m)					Loading Density Aktual (kg/m)
		Burden	Spasi	Depth	Stemming	PC	
8/8/2017	IB 13L B28-29	8.8	10.0	6.8	3.8	3.0	36.91
9/8/2017	IB 12 B28	8.5	9.7	7.2	3.9	3.3	38.71
10/8/2017	IB 8 B30	8.3	9.8	4.9	2.8	2.2	37.88
12/8/2017	IB 5 B27	8.8	9.5	8.0	4.2	3.9	39.39
18/08/2017	IB D B30-31	7.5	9.9	8.6	4.4	4.1	39.53
21/08/2017	IB 8 B27	7.8	9.9	7.5	4.1	3.5	38.31
22/08/2017	IB 5 B32-33	8.7	9.6	9.0	4.6	4.4	39.05
25/08/2017	IB 13 B28	8.6	9.9	6.2	5.5	2.9	38.11

**Analisa Fragmentasi Dengan Menggunakan Teknik Image Analysis**

Hasil fragmentasi dari kegiatan peledakan dilapangan dapat ditentukan langsung menggunakan teknik *image analysis* dengan bantuan *software*. Metode ini digunakan untuk mengevaluasi hasil dengan mengambil input data berupa foto digital fragmentasi yang telah terdapat pembandingnya didalamnya, selanjutnya dari hasil foto digital akan dilakukan analisis menggunakan *software* pada komputer. Dari pengamatan didapatkan hasil dari analisis menggunakan *software split desktop 2.0* didapatkan rata-rata fragmentasi yang dihasilkan dan distribusi ukurannya sebagai berikut:

**Tabel 4.** Distribusi fragmentasi batuan teknik *image analysis*

Date	< 20 cm	20 - 40 cm	40 - 100 cm	> 100 cm	X (cm)
8 Agustus	29.50%	13.03%	36.71%	20.77%	43.58
9 Agustus	28.43%	14.77%	37.23%	19.58%	40.46
10 Agustus	43.52%	12.43%	28.14%	15.90%	38.44
12 Agustus	26.31%	20.76%	35.59%	17.35%	38.86
18 Agustus	39.36%	13.35%	31.50%	15.80%	35.78
21 Agustus	28.95%	16.78%	37.36%	16.92%	35.83
22 Agustus	25.49%	17.91%	40.02%	16.60%	39.30
25 Agustus	41.52%	13.19%	27.73%	17.56%	41.21

**Perbandingan Hasil Fragmentasi Teoritis dan Aktual**

Hasil Fragmentasi batuan peledakan dapat dievaluasi dengan membandingkan perhitungan distribusi fragmentasi secara teoritis dan aktual. Hal ini dilakukan untuk mengontrol fragmentasi hasil peledakan. Ada beberapa perbedaan antara fragmentasi yang diukur dan prediksi, seperti yang diharapkan, mengingat sifat bahan peledak, keadaan geologi dan variabilitas batuan. Karena semakin besar skala operasi dan semakin besar lubang dan semakin bervariasi batuan dan keadaan geologinya (Konya, 1991).

Dari hasil pengamatan dan perhitungan yang dilakukan didapatkan tingkat *error* evaluasi hasil dari perhitungan teoritis dan aktual lebih kecil dari 10 %. Adapaun perbandingan antara keduanya adalah sebagai berikut:

**Tabel 5.** Perbandingan distribusi fragmentasi batuan model kuz-ran dan teknik *image analysis*

Tanggal	Teoritis			Actual			S.Dev Boulder
	< 20 cm	20 - 100 cm	> 100 cm	< 20 cm	20 - 100 cm	> 100 cm	
8 Agustus	27.72%	52.55%	19.72%	29.50%	49.74	20.77%	0.52%
9 Agustus	30.21%	53.23%	16.56%	28.43%	52.00	19.58%	1.51%
10 Agustus	32.18%	53.47%	14.35%	43.52%	40.57	15.90%	0.78%
12 Agustus	30.38%	53.26%	16.35%	26.31%	56.35	17.35%	0.50%
18 Agustus	32.43%	53.48%	14.09%	39.36%	44.85	15.80%	0.85%
21 Agustus	31.63%	53.43%	14.94%	28.95%	54.13	16.92%	0.99%
22 Agustus	31.33%	53.40%	15.27%	25.49%	57.92	16.60%	0.66%
25 Agustus	29.92%	53.18%	16.90%	41.52%	40.92	17.56%	0.33%

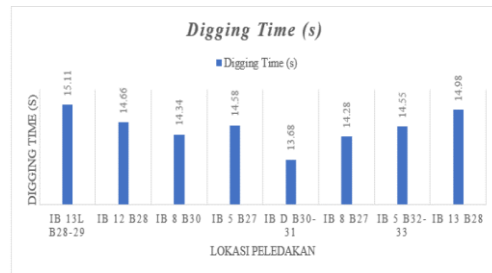
**Perhitungan Digging Time dan Digging Rate Terhadap Material Blasting**

Hasil fragmentasi aktual akan mempengaruhi *digging time* alat gali-muat, semakin besar ukuran fragmentasi batuan maka akan semakin lama waktu untuk alat gali muat menancapkan gigi *bucket* hingga terisi sehingga akan mempengaruhi *cycle time* alat, dan efektifitas kerja alat pun semakin kecil, namun sebaliknya semakin kecil hasil fragmentasi yang dihasilkan maka *digging time* alat gali-muat akan lebih cepat, sehingga mempercepat *cycle time* dan menaikkan efektifitas kerja alat. Dari hasil peledakan selanjutnya dilakukan pengambilan data *digging time* alat gali-muat, untuk hal ini alat gali-muat yang digunakan adalah Liebherr 9350. Berikut data *digging time* alat gali-muat pada masing-masing hasil material dari kegiatan peledakan:

**Tabel 6.** Rata-rata fragmentasi, *digging time*, *digging rate*

Lokasi	Alat Gali-muat	Av.Fragmentasi (cm)	Digging Time (s)	Digging Rate (BCM/Jam)
IB 13L B28-29	Exc-Liberr 9350 (2392)	43.58	15.11	1180.29
IB 12 B28	Exc-Liberr 9350 (1639)	40.46	14.66	1432.61
IB 8 B30	Exc-Liberr 9350 (2392)	38.44	14.34	1468.56
IB 5 B27	Exc-Liberr 9350 (2393)	38.86	14.58	1459.79
IB D B30-31	Exc-Liberr 9350 (7022)	35.78	13.68	1541.29
IB 8 B27	Exc-Liberr 9350 (2393)	35.83	14.28	1473.22
IB 5 B32-33	Exc-Liberr 9350 (2392)	39.30	14.55	1450.47
IB 13 B28	Exc-Liberr 9350 (2393)	41.21	14.98	1358.80

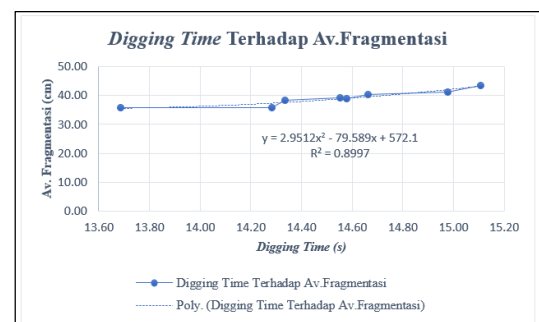
Untuk lebih memudahkan maka hasil *digging time* dari masing-masing lokasi peledakan disajikan dalam bentuk grafik, sebagai berikut :



**Gambar 1.** Grafik *digging time* alat gali-muat pada masing-masing material kegiatan peledakan

Grafik di atas menunjukkan perbandingan *digging time* dari masing-masing lokasi peledakan, dapat dilihat bahwa *digging time* alat gali-muat paling kecil pada material hasil peledakan di lokasi IB D Block 30-31 dengan waktu 13,68 detik. Waktu ini merupakan waktu standar bagi alat gali-muat Liebherr 9350 untuk melakukan penggalian. Sedangkan rata-rata *digging time* paling tinggi ada pada material hasil peledakan di lokasi seam 13L block 28-29. *Digging time* alat gali-muat sangat berpengaruh terhadap material yang digalnya, dalam hal ini bergantung pada fragmentasi hasil peledakan. Dimana semakin kecil fragmentasi yang dihasilkan dari kegiatan peledakan maka *digging time* pun akan lebih kecil dan *bucket fill factor* pun akan meningkat, sehingga mempercepat *cycle time* alat gali-muat dan mempercepat pengisian material ke alat angkut.

Hubungan antara fragmentasi batuan hasil peledakan dengan *digging time* alat gali muat Liebherr 9350 dapat dilihat dari grafik berikut :



**Gambar 2.** Grafik hubungan antara *digging time* alat gali-muat pada masing-masing material kegiatan peledakan dengan rata-rata fragmentasi

Dari grafik di atas dapat dilihat bahwa semakin kecil hasil fragmentasi yang dihasilkan maka semakin kecil pula *digging time* dari alat gali-muat. Dapat dilihat bahwa nilai determinasi ( $R^2$ ) dari persamaan yaitu 0,89 yang artinya fragmentasi dan *digging time* memiliki korelasi yang kuat antar satu sama lain. Dimana ukuran fragmentasi sangat mempengaruhi waktu gali dari alat gali-muat.

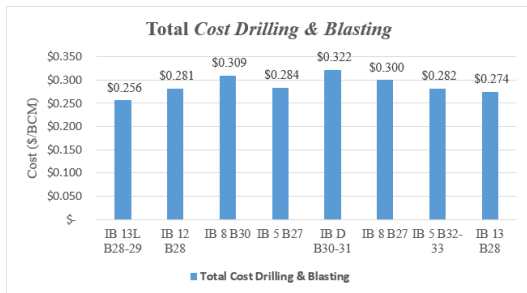
**Hubungan Fragmentasi dengan Biaya Pemboran dan Peledakan**

Hasil dari perhitungan biaya pemboran dan peledakan pada masing-masing kegiatan peledakan adalah sebagai berikut :

**Tabel 7.** Presentase *boulder*, total biaya peledakan

Tanggal Peledakan	Lokasi	Presentase <i>boulder</i> (%)	Cost (\$/BCM)
8/8/2017	IB 13L B28-29	19.17%	\$ 0.256
9/8/2017	IB 12 B28	15.97%	\$ 0.281
10/8/2017	IB 8 B30	16.60%	\$ 0.309
12/8/2017	IB 5 B27	17.44%	\$ 0.284
18/08/2017	IB D B30-31	17.77%	\$ 0.322
21/08/2017	IB 8 B27	17.87%	\$ 0.300
22/08/2017	IB 5 B32-33	16.23%	\$ 0.282
25/08/2017	IB 13 B28	17.50%	\$ 0.274

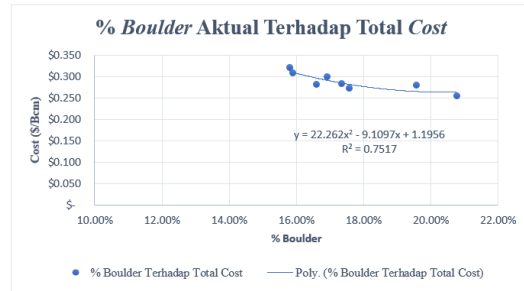
Dari perhitungan biaya pemboran dan peledakan didapatkan bahwa peledakan dengan biaya paling tinggi ada pada peledakan di lokasi Seam D Block 30-31 dengan total biaya 0,322 \$/BCM dan biaya paling rendah ada pada lokasi peledakan di Seam 13L Block 28-29 dengan total biaya 0.256 \$/BCM. Untuk lebih mudahnya berikut grafik perbandingan biaya total pemboran dan peledakan pada masing-masing lokasi :



**Gambar 4.** Grafik total biaya pemboran dan peledakan pada masing-masing kegiatan peledakan

Dari data distribusi fragmentasi hasil peledakan dan total biaya pemboran serta peledakan, dapat ditentukan persamaan polynomial orde 2 yang selanjutnya persamaan ini dapat digunakan untuk memprediksi model biaya pemboran dan peledakan yang akan dikeluarkan dengan distribusi fragmentasi yang diinginkan. Untuk persamaan dapat dilihat pada gambar 3. Nilai determinasi ( $R^2$ ) yaitu 0,75 menunjukkan bahwa distribusi *boulder* berkorelasi kuat dengan total biaya pemboran dan peledakan. Dimana untuk menghasilkan *boulder* yang sedikit maka perlu dikeluarkan biaya yang lebih besar, karena ini bergantung terhadap penggunaan bahan peledak.

Berikut grafik perbandingan antara distribusi fragmentasi yang berukuran > 100 cm:



**Gambar 3.** Grafik persamaan antara persen *boulder* aktual dengan total biaya peledakan

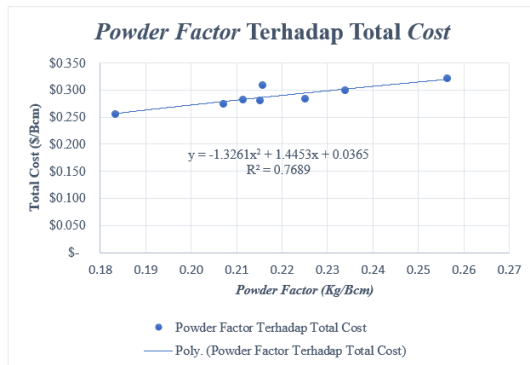
**Powder Factor Terhadap Biaya Pemboran dan Peledakan**

*Powder factor* merupakan salah parameter untuk menentukan apakah ekonomis atau tidak suatu kegiatan peledakan. Maka dari itu perlu diketahui *powder factor* optimum, dengan hasil fragmentasi yang baik namun dengan biaya total pemboran dan peledakan yang seefektif mungkin. Dari 8 kali peledakan didapatkan nilai rentan *powder factor* dan biaya total untuk pemboran dan peledakan sebagai berikut :

**Tabel 8.** *Powder Factor*, Total biaya pemboran dan peledakan

Lokasi	PF (kg/bcm)	Total Cost (\$/BCM)
IB 13L B28-29	0.18	\$ 0.256
IB 12 B28	0.22	\$ 0.281
IB 8 B30	0.22	\$ 0.309
IB 5 B27	0.23	\$ 0.284
IB D B30-31	0.26	\$ 0.322
IB 8 B27	0.23	\$ 0.300
IB 5 B32-33	0.21	\$ 0.282
IB 13 B28	0.21	\$ 0.274

Untuk lebih jelasnya data disajikan dalam bentuk grafik perbandingan antara *powder factor* dengan total biaya untuk pemboran dan peledakan, selanjutnya dari grafik perbandingan dihitung persamaan polynomial orde 2. Didapatkan persamaan pada gambar 5. Dengan nilai determinasi ( $R^2$ ) yaitu 0,76 menunjukkan korelasi yang baik antara *powder factor* dengan total biaya peledakan yang dikeluarkan. Selanjutnya persamaan antara *PF* dan biaya yang dikeluarkan digunakan untuk mengestimasi total biaya peledakan yang akan dikeluarkan dengan menggunakan geometri usulan dengan nilai *powder factor* tertentu.



**Gambar 5.** Grafik persamaan antara *PF* dengan total biaya peledakan

### Evaluasi Peledakan

Geometri peledakan sangat berpengaruh terhadap fragmentasi hasil kegiatan peledakan. Ukuran *burden* dan spasi yang berbeda secara aktual dengan *plan* tentunya akan berpengaruh terhadap hasil fragmentasi. Perbedaan ukuran spasi dan *burden* antara aktual dan *plan* sering terjadi pada saat proses peledakan. Selain geometri peledakan, bahan peledak yang digunakan, dan pola peledakan yang perlu diperhatikan juga sifat fisik dan mekanik batuan serta kondisi struktur geologi pada area yang akan diledakkan. Penentuan geometri peledakan mulai dari *burden*, spasi, panjang kolom isian, *stemming*, tinggi jenjang, *subdrilling*, dan kedalaman lubang ledak harus memperhatikan karakteristik massa batuan dan kondisi geologi setempat agar dapat memperoleh fragmentasi yang diharapkan.

Ukuran *burden* dan spasi saat ini yaitu 9 m dan 10 m dilokasi penelitian belum dikatakan baik karena perambatan gelombang detonasi yang dihasilkan dari lubang ledak sampai dikembalikannya energi berupa energi tensile menjadi lama dan membuat asosiasi antar gelombang menjadi tidak maksimal.

Terdapatnya bidang bebas pada kegiatan peledakan juga akan mempengaruhi hasilnya. Karena fungsi dari bidang bebas adalah sebagai pengantar energi pada lubang ledak. Ukuran *stemming* juga memiliki peranan penting dalam menjaga distribusi energi peledakan tetap seimbang antara daerah yang terisi bahan peledak dan daerah yang tidak terisi bahan peledak. Jika *stemming* terlalu pendek maka pada saat peledakan lubang akan terbongkar terlalu cepat karena tidak termampatkan dengan baik maka gas yang dihasilkan oleh bahan peledak yang meledak di dalam lubang ledak akan keluar dan tekanannya akan berkurang (*loose energy*) sehingga tidak cukup kuat untuk membuat rekahan dan memecah batuan. Akibat terjadinya *loose energy* ini adalah fragmentasi yang dihasilkan

buruk uran besar. Pada daerah penelitian digunakan material *drill cutting* sebagai *stemming* untuk mengunci gas peledakan di dalam lubang ledak. Material *drill cutting* ini cukup baik untuk digunakan sebagai *stemming* di lokasi peledakan pada lubang kering akan tetapi pada lubang basah material ini kurang efektif karena material *drill cutting* ini memiliki kelembaman yang rendah terhadap air. Namun akan lebih baik apabila ukuran material *stemming* 10%-15% dari diameter lubang ledak.

Biaya pemboran dan peledakan yang dikeluarkan juga bergantung berdasarkan bahan peledak yang dikeluarkan. Sehingga geometri peledakan menjadi hal yang perlu diperhatikan agar penggunaan bahan peledak seefektif mungkin dalam kegiatan peledakan.

### Faktor Yang Mempengaruhi Fragmentasi Batuan Hasil Peledakan

Setelah dilakukan pengamatan terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi fragmentasi hasil dari kegiatan peledakan, yaitu:

- Geometri peledakan aktual, penerapan geometri peledakan sangat mempengaruhi ukuran batuan hasil dari kegiatan peledakan. Jarak spasi, *burden*, kedalaman lubang bor, *stemming*, akan berpengaruh langsung.
- Sifat massa batuan, sifat dari massa batuan yang berbeda-beda pada lokasi peledakan akan mempengaruhi hasil fragmentasi, hal ini mengakibatkan tidak meratanya fragmentasi batuan hasil peledakan.
- Struktur geologi, hal ini merupakan salah satu hal yang tidak dapat dikontrol. Salah satu faktor yang harus diperhatikan dalam merencanakan suatu operasi peledakan adalah struktur geologi. Adanya ketidakmenerusan dalam sifat batuan akan mempengaruhi perambatan gelombang energi dalam batuan. Jika perambatan energi melalui bidang perlapisan, maka sebagian gelombang akan dipantulkan dan sebagian lagi akan dibiaskan dan diteruskan, karena adanya sebagian gelombang yang dipantulkan maka kekuatan energi peledakan akan berkurang.
- Penggunaan Bahan Peledak (*powder factor*), semakin besar penggunaan bahan peledak atau nilai *PF* yang digunakan maka semakin kecil ukuran fragmentasi yang dihasilkan begitupun sebaliknya semakin kecil nilai *PF* semakin besar ukuran fragmentasinya. Penggunaan *PF* disesuaikan terhadap sifat massa batuan yang akan diledakkan.
- Adanya *free face*, Perpindahan kedepan material yang diledakkan dapat terjadi dengan mudah jika mempunyai bidang



bebas yang cukup. Pergerakan massa batuan adalah perlu untuk memungkinkan terjadinya propagasi retakan. Dengan bertambahnya pergerakan ini akan membantu propagasi retakan dan memperbaiki fragmentasi.

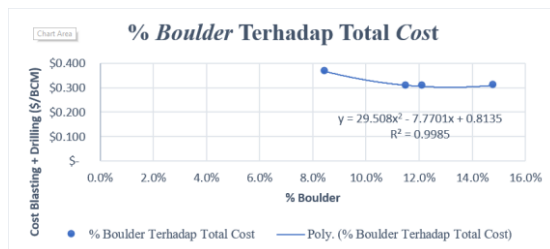
- f. Pola *Pemboran* dan peledakan, terdapat dua jenis pola pemboran yaitu pola *staggered* (zig-zag) dan pola *pattern* (sejajar). Dalam penerapannya pola zig-zag lebih baik dibandingkan dengan pola sejajar dikarenakan hasil fragmentasi yang akan lebih beragam dibandingkan dengan pola sejajar namun untuk penerapan dilapangannya akan lebih sulit penanganannya.

**Geometri Usulan**

Setelah dilakukan perhitungan dan analisis data seperti di atas, disimpulkan bahwa perlu dilakukannya *redesign* atau pembuatan rencana geometri peledakan yang baru. Dalam hal ini penulis menggunakan 4 persamaan untuk menentukan geometri peledakan usulan, dimana selanjutnya dari ketiga geometri peledakan yang baru ini dilakukan simulasi hasil fragmentasi yang dihasilkan dan estimasi biaya total pengeboran dan peledakan per BCM nya. Perhitungan geometri yang digunakan adalah persamaan R.L Ash (1963), C.J Konya (1972), Anderson (1952) dan persamaan dari Austin Powder (2002). Dari keempat geometri ini dilakukan simulasi dari segi teknis dan ekonomis untuk menentukan geometri peledakan yang optimal. Persamaan R.L Ash, C.J Konya, Anderson, dan Austin Powder:

**Tabel 9.** Geometri usulan dan estimasi fragmentasi dan biaya yang dikeluarkan

Persamaan	Geometri (m)					PF	Est. Av. Fragmentasi (m)	Est. % Boulder	Est. Cost (\$/Bcm)
	Spasi	Burden	Depth	Stemming	Column Charge				
R.L Ash	9,5	8,5	9	4,5	4,5	0,24	36,27	14,18%	\$ 0,310
C.J Konya	9,5	6,8	9	6	4	0,30	28,06	10,51%	\$ 0,361
Anderson	7	5,5	9	6,9	2,1	0,24	32,05	11,50%	\$ 0,309
Austin Powder	7	6	9	6,6	2,4	0,24	32,85	12,13%	\$ 0,307



**Gambar 6.** Grafik hubungan antara persen *boulder* dengan total biaya peledakan

Dari 4 persamaan di atas, dianggap persamaan Austin Powder lah yang paling optimal dimana menghasilkan fragmentasi *boulder* di bawah 15%

yaitu 12,13% dengan biaya kurang lebih 0,307 \$/BCM dan diharapkan *digging time* dan *digging rate* alat gali-muat Liebherr 9350 lebih optimal

**KESIMPULAN DAN SARAN**

Dari hasil pengamatan dan perhitungan yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa:

1. Dalam penerapannya parameter geometri peledakan yang digunakan yaitu spasi 10 m dan *burden* 9 m dengan kedalaman lubang yang beragam dengan kisaran 3 – 11 m.
2. Dari 8 kali kegiatan peledakan, setelah dilakukan analisis menggunakan model Kuz-Ram hasil fragmentasi batuan yang dihasilkan pada masing-masing area peledakan rata rata adalah sekitar 34,66 – 41,84 cm, dengan presentasi *boulder* ukuran >100 cm berkisar antara 13,54 % - 19,09%.
3. Hasil fragmentasi peledakan dilakukan perhitungan menggunakan teknik *image analysis* melalui inputan foto digital hasil peledakan, hal ini dilakukan untuk mengontrol fragmentasi aktual dari kegiatan peledakan. Didapatkan analisis fragmentasi batuan rata-rata 35,78 – 43,58 cm, dengan presentase *boulder* berkisar antara 15,80 % - 20,77 %.
4. Faktor yang mempengaruhi hasil fragmentasi batuan adalah geometri peledakan yang belum optimal, sehingga perlu dilakukan upaya perbaikan geometri peledakan agar didapatkan hasil fragmentasi yang optimal yang selanjutnya diharapkan dapat mempercepat *digging time* gali-muat, menaikkan *bucket fill factor*, dan menaikkan *digging rate* gali-muat.
5. Berdasarkan Perhitungan menggunakan 4 persamaan yaitu R.L Ash, C.J Konya, Anderson, dan Austin powder. Didapatkan geometri peledakan yang optimal adalah persamaan Austin Powder dengan spasi 7 m, *burden* 6 m, kedalaman 9 m, *stemming* 6.6 m, *column charge* 2.4 m dengan *powder factor* 0,24 kg/BCM. Dengan geometri ini diestimasi fragmentasi *boulder* 12,3 % dengan total biaya pemboran dan peledakan 0,305 \$/BCM diharapkan dapat menaikkan *digging rate* alat gali-muat menjadi 1716 BCM/Jam.

**UCAPAN TERIMA KASIH**

Terima kasih kepada PT. Teguh Sinarabadi yang telah memberikan kesempatan untuk melakukan penelitian dan bimbingan kepada penyusun selama proses penelitian.

### DAFTAR PUSTAKA

- Austin Powder. 2002. *The Blasters Guide: Common Formulas Used For Blast Design*. Austin Powder Company.
- Bhandari, Sushil. 1997. *Engineering Rock Blasting Operations*. A.A Balkema: Rotterdam.
- Gokhale, Balchandra. 2009. *Rotary Drilling and Blasting in Large Surface Mines*. CRC Press: New York
- Hustrulid, William. 1999. *Blasting Principles For Open Pit Mining : Vol 1 – Generally Design Concepts*. 1999. A.A Balkema: Brookfield.
- Jimeno, Carlos Lopez, dkk. 1995. *Drilling and Blasting Of Rocks*. A.A Balkema: Rotterdam.
- Kartodharmo, Moelhim.1990. *Teknik Peledakan*. Institut Teknologi Bandung
- Koesnaryo. 2001. *Rancangan Peledakan Batuan*. Fakultas Teknologi Mineral UPN Veteran: Yogyakarta.
- Koesnaryo, S. 1988. *Bahan Peledak dan Metode Peledakan*. Fakultas Teknologi Mineral UPN Veteran : Yogyakarta.
- Konya, Calvin dkk. 1991. *Rock Blasting and Overbreak Control*. National Highway Institute.
- Konya, Calvin dkk. 1990. *Surface Blast Design*. National Highway Institute.
- Rustan, Agne. 1998. *Rock Blasting Terms and Symbols*. A.A Balkema : Rotterdam.
- Sandvik, Tamrock. 1999. *Rock Excavation Handbook*. Sandvik Tamrock Corp
- Siddiqui, Shah dan Behan. 2009. *Measurement of Size Distribution of Blasted Rock Using Digital Image Processing*. pp: 81-93.