

# Evaluasi Rancangan Geometri Peledakan Berdasarkan Hasil Fragmentasi Batuan dan Getaran Tanah Pada PT. Koto Alam Sejahtera Kabupaten Lima Puluh Kota Provinsi Sumatera Barat.

Muhammad Ilham Cahyadi<sup>1\*</sup>, and Raimon Kopa<sup>1\*\*</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang, Indonesia

\*muhammadilhamcahyadi12345@gmail.com

\*\*[raimon\\_unp@yahoo.co.id](mailto:raimon_unp@yahoo.co.id)

**Abstarct.** Administratively, the mining location of PT. Koto Alam Sejahtera is located in Jorong Polong Duo, Nagari Koto Alam, Pangkalan Koto Baru, Lima Puluh Kota District, West Sumatra Province. Explosive hole drilling activities at PT. Koto Alam Sejahtera uses the Furukawa Rock Drill PCR200 engine and the explosives used are Pindad ANFO (PANFO). Based on the distribution analysis of rock fragmentation results from actual blasting geometry data, the average rock fragmentation results from blasting (for 4 blasting times) that passed at 60 cm in size with desktop split software was 76,88%. Based on the calculation of ground vibration from the actual data of blasting geometry using the Du Pont / USBM predictor method, the PPV values exceeding 5 mm / s occurred on February 17 and 22 2018, with a PPV value of 6,31 mm / s and 5,76 mm / s. Based on the results of split desktop software analysis, the results of rock fragmentation in the proposed design blasting geometry is 86,22%. Based on the results of the calculation of ground vibration of the Du Pont / USBM predictor method, the value of PPV in the proposed design of II blasting geometry was 4,80 mm / s.

**Keywords:** ANFO, Blasting Geometry, Ground Vibration, Kuz Ram, Rock Fragmentation, USBM Predictor..

## 1. Pendahuluan

PT. Koto Alam Sejahtera merupakan suatu usaha pertambangan dengan metode penambangan *quarry* dimana proses penambangan dimulai dengan melakukan *land clearing*, kemudian dilanjutkan dengan pengupasan *overburden*, pengeboran lubang ledak untuk proses peledakan, kemudian dilakukan peledakan berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan, kemudian batu andesit yang telah di blasting akan dibawa ke *crusher* dan dilakukan pengecilan ukuran sesuai dengan permintaan pembeli dan terakhir batu andesit dapat dibeli oleh pembeli langsung ke lokasi *stockpile*.

Dalam proses peledakan ada beberapa macam indikator keberhasilan dari peledakan itu sendiri, antara lain tercapainya target produksi volume peledakan, ukuran fragmentasi yang baik dan efek fisik dari getaran tanah (*ground vibration*) yang minimal akibat peledakan itu sendiri.

Permasalahan yang terjadi ialah berdasarkan pengamatan yang dilakukan penulis pada tanggal 13 s/d 22 Februari 2018 (terdapat 4 kali peledakan), rata – rata *boulder* ukuran diatas 60 cm ialah diatas 15%, yaitu sekitar 20% – 30%. Hal ini melebihi ketentuan yang

dinginkan oleh PT. Koto Alam sejahtera yaitu jumlah *boulder* dibawah 15% saja.

Permasalahan berikutnya ialah getaran tanah (*ground vibration*). Berdasarkan pengamatan yang dilakukan penulis, pada tanggal 17 dan 22 Februari 2018 nilai PPV nya ialah melebihi 5 mm/s pada jarak 300 meter. Hal ini tidak sesuai dengan SNI 7571 : 2010, dimana nilai PPV yang diizinkan ialah dibawah 5 mm/s pada jarak 300 meter.

Pengkajian kegiatan peledakan pada penambangan merupakan salah satu bagian penting dalam perencanaan suatu pekerjaan tambang, karena menyangkut aspek teknis dan ekonomis suatu proyek penambangan.

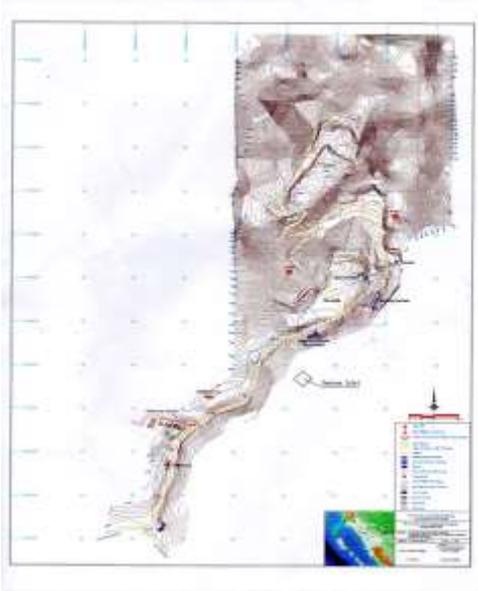
## 2. Lokasi Penelitian

Secara administratif lokasi pertambangan PT. Koto Alam Sejahtera berada di Jorong Polong Duo, Nagari Koto Alam, Kecamatan Pangkalan Koto Baru, Kabupaten Lima Puluh Kota, Provinsi Sumatera Barat. Secara detail koordinat Izin Usaha Penambangan (IUP) PT. Koto Alam Sejahtera dapat dilihat pada Tabel 1 dibawah ini:

**Tabel 1.** Koordinat Lokasi Pertambangan Batu Andesit PT. Koto Alam Sejahtera

No. Titik	Koordinat Geografis					
	Lintang Utara			Bujur Timur		
	Derajat	Menit	Detik	Derajat	Menit	Detik
1.	0	0	35,7	100	43	49,4
2.	0	0	35,7	100	43	55
3.	0	0	39,10	100	43	55
4.	0	0	39,10	100	43	58,6
5.	0	0	48,50	100	43	58,6
6.	0	0	48,50	100	43	49,40

PT. Koto Alam Sejahtera terletak di Kecamatan Pangkalan Koto Baru. Topografi daerah ini bervariasi antara dataran rendah dan berbukit - bukit dengan tinggi tempat terendah dari permukaan laut berada di waduk PLTA di nagari Tanjung Pauh (90 mdpl) dan daerah tertinggi berada pada Bukit Gadih (1330 mdpl) di nagari Koto Alam. Koto Alam Sejahtera dapat dilihat pada gambar 1 di bawah ini:



**Gambar 1.** Peta Topografi PT. KAS

### 3. Kajian Teori

#### 3.1. Rancangan Geometri Peledakan

Pada kegiatan pemboran dan peledakan di PT Koto Alam Sejahtera, menggunakan alat bor *Furukawa Rock Drill* PCR200 dan bahan peledakan Pindad ANFO. Beberapa dasar-dasar geometri yang harus diperhatikan ialah *burden*, *spacing*, *stemming*, kedalaman lubang ledak, *subdrilling*, dan lainnya. Rancangan geometri tersebut dapat dicari dengan beberapa metode sebagai berikut:

##### 3.1.1. Rancangan Geometri Peledakan Menurut R.L Ash

Berdasarkan pengalaman empirik yang diperoleh di berbagai tempat dengan jenis pekerjaan dan batuan yang berbeda-beda, rumusan-rumusan empirik yang dapat digunakan sebagai pedoman dalam rancangan awal suatu peledakan batuan. Terlebih dahulu mencari nilai KB pada R.L Ash ialah sebagai berikut:

$$KB = KB_{std} \times AF_1 \times AF_2 \tag{1}$$

$$AF_1 = \left[ \frac{SG_{std\ batuan}}{SG_{batu\ Andesit}} \right]^{1/3} \tag{2}$$

$$AF_2 = [SG_{PANFO} \times V_{ePANFO}^2 / SG_{std\ peledak} \times V_{std\ peledak}^2]^{1/3} \tag{3}$$

Keterangan:

KB = Koefisien *Burden*

SG = Berat Jenis Bahan Peledak Yang Digunakan (gr/cc)

Ve = Kecepatan Detonasi Bahan Peledak Yang Digunakan (fps)

SGstd = Berat Jenis Bahan Peledak Standar 1,20

Vstd = Kecepatan Detonasi Bahan Peledak Standar, 12.000 (fps)

##### 3.1.1.1. Burden

Menurut R.L. Ash harga *burden* tergantung pada harga *burden ratio* (KB) dan diameter lubang bor<sup>[1]</sup>. Adapun mencari nilai *burden* dengan metode R. L Ash ialah:

$$B = (KB \times DE) / 12 \tag{4}$$

Keterangan :

B = *Burden* (ft)

KB = Nisbah *Burden* Yang Telah Dikoreksi

DE = Diameter Lubang Ledak (Inchi)

##### 3.1.1.2. Spasi

*Spasi* yang lebih kecil dari ketentuan akan menyebabkan ukuran batuan hasil peledakan terlalu hancur. Tetapi jika *spasi* lebih besar dari ketentuan akan menyebabkan banyak terjadi bongkah (*boulder*) dan tonjolan (*stamp*) di antara dua lubang ledak setelah peledakan<sup>[2]</sup>. Besar *spasi* dapat ditentukan dengan rumus sebagai berikut:

$$S = KS \times B \tag{5}$$

Keterangan:

S = *spasi* (m).

B = *Burden* (m).

KS = *Spasi Ratio*

##### 3.1.1.3. Stemming

*Stemming* merupakan material yang dimasukkan kedalam lubang ledak setelah bahan peledak dimasukkan ke dalam lubang ledak. *Stemming* biasanya diambil dari *cutting* hasil pemboran lubang ledak, atau batuan dengan ukuran yang kecil<sup>[3]</sup>.

*Stemming* menurut C.J Konya disebut juga *collar*. Fungsi *stemming* adalah agar terjadi keseimbangan tekanan dan mengurung gas-gas hasil ledakan sehingga dapat menekan batuan dengan energi yang maksimal. Disamping itu *stemming* juga berfungsi untuk mencegah agar tidak terjadi batuan terbang (*flyrock*) dan ledakan tekanan udara (*airblast*) saat peledakan<sup>[4]</sup>. Untuk menghitung *stemming* dipakai persamaan:

$$T = KT \times B \tag{6}$$

Keterangan:

T = *Stemming* (m)

KT = *Stemming Ratio*

3.1.1.4. *Subdrilling*

Bila jarak *subdrilling* terlalu besar maka akan menghasilkan efek getaran tanah, sebaliknya bila *subdrilling* terlalu kecil maka akan mengakibatkan masalah tonjolan pada lantai jenjang (*toe*) karena batuan tidak akan terpotong sebatas lantai jenjangnya. Panjang *subdrilling* dapat ditentukan dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$J = KJ \times B \tag{7}$$

Keterangan:

J = *Subdrilling* (m)  
 KJ = *Subdrilling Ratio*

3.1.1.5. *Kedalaman Lubang*

Kedalaman lubang biasanya ditentukan berdasarkan kapasitas produksi yang diinginkan dan kapasitas dari alat muat. Sedangkan untuk menentukan kedalaman lubang dapat digunakan persamaan sebagai berikut:

$$L = H + J \tag{8}$$

Keterangan:

L = Kedalaman Lubang Ledak (m)  
 H = Tinggi Jenjang (m)  
 J = *Subdrilling* (m)

3.1.1.6. *kolom Isian*

Kolom isian adalah Panjang dari bagian kedalaman lubang ledak yang nantinya akan diisi dengan bahan peledak. Adapun nilai dari kolom isian dapat dicari dengan persamaan berikut:

$$PC = L - T \tag{9}$$

Keterangan:

PC = Kolom Isian (m)  
 L = Kedalaman Lubang Ledak (m)  
 T = Panjang Stemming (m)

3.1.2. *Rancangan Geometri Peledakan Menurut C.J Konya*

Geometri menurut *C.J Konya* merupakan cara untuk memperoleh hasil pembongkaran batuan sesuai dengan yang diinginkan, maka perlu suatu perencanaan ledakan dengan memperhatikan besaran - besaran geometri peledakan.

3.1.2.1. *Burden*

Rumus mencari *Burden* menurut *C.J Konya* ialah:

$$B = 3,15 \times d_e \times \sqrt[3]{\left(\frac{\rho_e}{\rho_r}\right)} \text{ atau } B = H / SF_{Konya} \tag{10}$$

Keterangan:

B = *Burden* (ft)  
 d<sub>e</sub> = Diameter Bahan Peledak (inchi)  
 ρ<sub>e</sub> = Berat Jenis Bahan Peledak (gr/cc)  
 ρ<sub>r</sub> = Berat Jenis Batuan (ton/bcm)  
 H = Tinggi Jenjang (m)  
 SF<sub>Konya</sub> = *Stiffness Ratio Konya* (1 s/d 4)

Untuk faktor koreksi berdasarkan geologi batuan dapat dibagi ke dalam 2 konstanta yaitu Kd yang merupakan koreksi terhadap posisi lapisan batuan dan Ks

yaitu koreksi terhadap struktur geologi batuan<sup>[4]</sup>. Hal ini dapat dilihat pada tabel 2 berikut:

**Tabel 2.** Koreksi Posisi lapisan Batuan dan Struktur Geologi

Number of Row	Kr
One or two row of holes	1
Third and subsequent rows or buffer blast	0.9
Rock Deposition	Kd
Bedding steeply dipping into cut	1.18
Bedding steeply dipping into face	0.95
Other cases of deposition	1
Geologic Structure	Ks
Heavily cracked, frequent weak joint, weakly cemented layers	1.3
Thin well-cemented layers with tight joints	1.1
Massive intact rock	0.95

Sedangkan perhitungan koreksi *burden* digunakan rumusan dibawah ini:

$$B_k = B \times Kr \times Kd \times Ks \tag{11}$$

Keterangan:

B<sub>k</sub> = *Burden* terkoreksi (m)  
 Kd = Faktor koreksi berdasarkan struktur geologi batuan  
 Ks = Faktor koreksi berdasarkan orientasi perlapisan  
 Kr = Faktor koreksi berdasarkan jumlah baris peledakan

3.1.2.2. *Spasi*

Deskripsi mengenai *spasi* ialah *spasi* terlalu besar maka fragmentasi tidak baik, dinding akhir yang ditinggalkan relatif tidak rata. *Spasi* terlalu kecil maka tekanan sekitar stemming lebih besar dan mengakibatkan gas hasil ledakan dihamburkan ke atmosfer dan diikuti dengan suara bising (*noise*)<sup>[4]</sup>.

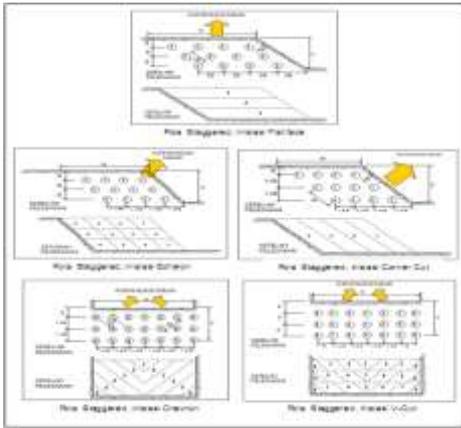
*Spasi* ditentukan berdasarkan sistem tunda yang direncanakan. Kemungkinan *spasi* nya dapat dijelaskan pada tabel 3 dibawah ini:

**Tabel 3.** Penentuan *Spasi* Geometri Peledakan Menurut *C.J Konya*

Sistem Penyalaan	H/B < 4	H/B > 4
Serentak	$S = \frac{H + 2B}{3}$	S = 2B
Tunda	$S = \frac{H + 7B}{8}$	S = 1,4 B

3.2. *Pola Peledakan*

Menurut Koesnaryo, berdasarkan arah runtuh batuan, pola peledakan diklasifikasikan antara lain *box cut* yaitu pola peledakan yang arah runtuh batuanya ke depan dan membentuk kotak, *exchelton cut* yaitu pola peledakan yang arah runtuh batuanya ke salah satu sudut dari bidang bebasnya dan "V" *cut* yaitu pola peledakan yang arah runtuh batuanya kedepan dan membentuk huruf V<sup>[5]</sup>. Beberapa contoh pola peledakan berdasarkan sistem inisiasi dapat dilihat pada gambar 2 dibawah ini:



Gambar 2. Pola Peledakan Berdasarkan Sistem Inisiasi

3.3. Produksi Peledakan

Produksi peledakan umumnya dinyatakan dengan *powder factor* (PF) dan massa batuan terberai. Umumnya rentang kriteria *powder factor* (PF) untuk peledakan setiap batuan tertentu telah diketahui berdasarkan data empiris di lapangan.

Isian bahan peledak yang digunakan sangatlah mempengaruhi terhadap distribusi ukuran *fragment* yang dibongkar dan mempengaruhi dalam aktivitas penambangan selanjutnya<sup>[6]</sup>.

*Loading density* merupakan jumlah isian bahan peledak per meter panjang kolom isian. Untuk menentukan *loading density* digunakan persamaan ini:

$$de = SG_{Handak} \times d^2 \times (\pi/4) \times 1000 \quad (14)$$

Keterangan:

- de = *Loading Density* (kg/m)
- SG<sub>Handak</sub> = Berat Jenis Bahan Peledak (gr/cc)
- d = Diameter Lubang Bor (m)

Kemudian tentukan banyaknya bahan peledak dalam setiap lubang, digunakan persamaan berikut :

$$E = PC \times de \quad (15)$$

Keterangan:

- E = Jumlah Bahan Peledak (kg)
- PC = Tinggi Kolom Isian (m)
- de = *Loading Density* (kg/m)

Terakhir didapat nilai *powder factor* (PF). *Powder factor* adalah suatu bilangan untuk menyatakan jumlah material yang diledakkan atau dibongkar oleh bahan peledak dalam jumlah tertentu, dapat dinyatakan dalam ton/kg atau kg/ton. Rumusnya ialah sebagai berikut :

$$PF = \frac{E}{\text{volume Batuan Terberai}} \quad (16)$$

Keterangan:

- PF = *Powder Factor* (kg/ton)
- E = Jumlah Bahan Peledak (kg)

3.4. Fragmentasi Batuan Hasil Peledakan

Fragmentasi adalah istilah umum untuk menunjukan ukuran setiap bongkah batuan hasil peledakan. Untuk tujuan tertentu, ukuran fragmentasi yang besar atau *boulder* diperlukan, misalmya disusun sebagai penghalang (*barrier*) ditepi jalan tambang. Namun

kebanyakan diinginkan ukuran fragmentasi yang kecil karena penanganan selanjutnya akan lebih mudah. Ukuran fragmentasi yang besar biasanya dibatasi oleh dimensi mangkok alat gali yang akan memuatnya ke dalam truck dan oleh ukuran *gap* bukaan *crusher*<sup>[7]</sup>.

Keberhasilan suatu peledakan biasanya dapat dilihat dari ukuran fragmentasi batuan yang dihasilkan. Oleh karena itu, ukuran fragmentasi batuan hasil peledakan menjadi hal yang sangat penting untuk diperhatikan. Isian bahan peledak berpengaruh terhadap persentase fragmentasi berukuran *boulder* yang dihasilkan<sup>[6]</sup>.

Menurut Hustrulid, terdapat 4 metode pengukuran fragmentasi batuan yaitu metode pengayakan (*sieving*), *boulder counting* (*production statistic*), *image analysis* (*photographic*), manual (*measurement*)<sup>[8]</sup>.

3.4.1. Prediksi Distribusi Fragmentasi Batuan Menurut Kuz - Ram

Persamaan *Kuznetsov* memberikan ukuran fragmentasi batuan rata - rata dan persamaan *Rossin - Rammler* menentukan persentase material yang tertampung di ayakan dengan ukuran tertentu<sup>[9]</sup>.

Persamaan *Kuznetsov* adalah sebagai berikut:

$$\bar{x} = Ax \left( \frac{V_o}{Q} \right)^{0.8} \times Q^{0.1667} \left( \frac{E}{115} \right)^{-0.63} \quad (17)$$

Keterangan:

- $\bar{X}$  = Ukuran Rata - Rata Fragmentasi Batuan (cm)
- A = Faktor Batuan
- V<sub>o</sub> = Volume Batuan Terbongkar (m<sup>3</sup>)
- Q = Berat Bahan Peledak Tiap Lubang (kg)
- E = RWS Bahan Peledak ; ANFO = 100, TNT = 115

Untuk menentukan distribusi fragmentasi batuan hasil peledakan digunakan persamaan *Rossin - Rammler*:

$$R = e^{-\left(\frac{X}{Xc}\right)^n} \quad (18)$$

Keterangan:

- R = Persentase Massa Batuan Tertahan Ukuran X (%)
- Xc = Karakteristik Ukuran (cm)
- X = Ukuran Ayakan (cm)
- n = Indeks Keseragaman
- e = Konstanta Eksponensial (2,7182818)

Xc dihitung dengan menggunakan rumus berikut ini:

$$Xc = \frac{x}{(0,693)^{1/n}} \quad (19)$$

Keterangan:

- Xc = Karakteristik Ukuran (cm)
- X = Ukuran Ayakan (cm)
- n = Indeks Keseragaman

Indeks n adalah indeks keseragaman yang dikembangkan oleh *Cunningham* dengan menggunakan parameter dari desain peledakan. Indeks keseragaman (n) ditentukan dengan persamaan di bawah ini:

$$n = \left( 2,2 - \frac{14B}{D} \right) \left( 1 - \frac{W}{B} \right) \left( 1 + \frac{A-1}{2} \right) \left( \frac{PC}{H} \right) \quad (20)$$

Keterangan:

- B = *Burden* (m)
- D = *Diameter* (mm)
- W = *Standar Deviasi Lubang Bor* (m)
- A = *Ratio Spasi/Burden*
- PC = *Panjang Muatan Handak* (m)
- H = *Tinggi Jenjang* (m)

*Rock blastability Indeks* (BI) adalah daya tahan batuan terhadap peledakan, dipengaruhi oleh keadaan batuan dan tingkat sedimentasi. Pada batuan kompak dan keras, peledakan dapat dikontrol dengan baik sedangkan pada batuan yang banyak rekahannya, sebagian energi peledakan akan diteruskan ke dalam rekahan dan energi peledakan menjadi berkurang untuk membongkar massa batuan<sup>[10]</sup>. Secara lebih jelasnya dapat dilihat pada tabel 4 dibawah ini:

**Tabel 4.** Pembobotan Batuan

Parameter	Pembobotan
<i>Rock Mass Description (RMD)</i>	
▪ <i>Powdery / Friable</i>	10
▪ <i>Blocky</i>	20
▪ <i>Totally massive</i>	50
<i>Joint Mass Description (JPS)</i>	
▪ <i>Close (Spasi &lt; 0,1 m)</i>	10
▪ <i>Intermediate (Spasi 0,1 - 1 m)</i>	20
▪ <i>Wide (Spasi &gt; 1 m)</i>	50
<i>Joint Plane Orientation (JPO)</i>	
▪ <i>Horizontal</i>	10
▪ <i>Dip out of face</i>	20
▪ <i>Strike normal to face</i>	30
▪ <i>Dip into face</i>	40
<i>Spesific Gravity Influence (SGI)</i>	
<i>SGI = 25 x SG - 50</i>	
<i>Hardness (H)</i>	1 - 10

Hubungan antara kelima parameter tersebut terhadap BI dapat dilihat pada persamaan berikut:

$$BI = 0,5 \times (RMD+JPS+JPO+SGI+H) \quad (21)$$

Keterangan:

- BI = *Blasting Indeks*
- RMD = *Rock Mass Description*
- JPS = *Joint Mass Description*
- SGI = *Spesific Gravity Influence*
- H = *Hardness*

Persamaan yang memberikan hubungan antara faktor batuan dengan indeks kemampuledakkan suatu batuan adalah sebagai berikut:

$$RF = 0,12 \times (BI) \quad (22)$$

Keterangan:

- RF = *Rock Factor*
- BI = *Blasting Indeks*

### 3.4.2. Analisis Distribusi Fragmentasi Batuan dengan Software Split Dekstop

Distribusi fragmentasi dapat dihitung secara teoritis dari keadaan geologi, jenis batuan, jenis bahan peledak dan geometri peledakan yang diterapkan<sup>[11]</sup>.

Menurut Mc. Gregor, peledakan dikatakan berhasil apabila banyaknya batuan hasil peledakan (fragmentasi) lebih besar dari batuan hasil peledakan yang berupa bongkahan (*boulder*), dimana jumlah bongkah batuan yang dihasilkan harus dibawah 15 %<sup>[12]</sup>.

Program ini dirancang untuk menentukan ukuran fragmentasi batuan berdasarkan analisis gambar digital yang diambil dari hasil peledakan di lapangan.

Berdasarkan data-data gambar digital yang didapatkan di lapangan, program ini dapat melakukan penggambaran pada batas - batas (*split*) batuan yang terkumpul banyak secara otomatis. Setelah dilakukan pengeditan, dari hasil penggambaran tersebut kemudian dianalisis ukuran (*compute size*) untuk menghasilkan suatu *output* berupa informasi distribusi fragmentasi yang ditampilkan dalam suatu grafik hubungan persen kumulatif material yang lolos dengan ukuran fragmen batuan yang telah ada pada gambar<sup>[12]</sup>.

Langkah pengoperasian program *split desktop 3.1/Split Engineering 2010* pada perangkat komputer/laptop adalah<sup>[8]</sup>:

- 1) *Scale Image*, program ini memungkinkan menentukan skala yang akan ditentukan untuk setiap gambar yang diambil di lapangan.
- 2) *Find Particle*, melakukan penggambaran otomatis dari fragmentasi batuan masing – masing gambar yang di proses dan memungkinkan mengedit fragmentasi batuan dengan cara didelineasi untuk memastikan hasil akurat.
- 3) *Done Editing*, edit fragmentasi batuan selesai dan disimpan di computer.
- 4) *Compute Size*, melibatkan perhitungan distribusi ukuran berdasarkan fragmentasi batuan yang digambarkan.
- 5) *Graphs and Output*, menyangkut grafik dan berbagai *output* untuk menampilkan informasi distribusi fragmentasi batuan yang ditampilkan dalam suatu grafik hubungan persen kumulatif material yang lolos dengan ukuran distribusi fragmentasi batuan yang telah ada pada gambar.

### 3.5. Getaran Tanah (*Ground Vibration*) Hasil Peledakan

Getaran tanah (*ground vibration*) adalah gelombang yang bergerak di dalam tanah disebabkan oleh adanya sumber energi. Sumber energi tersebut dapat berasal dari alam, seperti gempa bumi atau adanya aktivitas peledakan<sup>[13]</sup>.

Sebagai gelombang seismik perjalanan melalui batu, ada gerakan partikel. Ini sering disebut sebagai getaran. Gerakan partikel tanah terjadi dalam tiga dimensi yang vertikal, radial dan melintang. Ketika ada getaran setiap partikel memiliki kecepatan dan kecepatan maksimum disebut sebagai *peak particle velocity* atau PPV<sup>[14]</sup>.

Analisis kuantitas bahan peledak dan jarak terhadap getaran tanah, dicoba menerapkan persamaan seismograf dengan rumus *scale distance*, yaitu sebagai berikut:

$$SD = \left( \frac{D}{W^{0.5}} \right) \quad (23)$$

Pada rumus *scale distance*, faktor yang paling mempengaruhi nilai PPV adalah isian bahan peledak dan jarak pengukuran<sup>[15]</sup>.

Nilai PPV menggunakan pendekatan metode *Du Pont/USBM predictor*, yaitu sebagai berikut:

$$PPV = K \times (D/W^B)^{-n} \quad (24)$$

Keterangan:

- SD = *Scale Distance* (m/kg<sup>0,5</sup>)
- B = *Site Constants*
- K = *Konstanta PPV*
- n = *Indeks Scale Distance*

PPV = *Peak particle Velocity* (mm/s)

W = Maksimum Delay Handak (kg)

D = Jarak Titik Ke Lokasi Peledakan (m)

Selanjutnya data getaran dibandingkan dengan baku mutu SNI 7571:2010. Jika tingkat getaran di atas baku mutu, maka perusahaan tambang mesti merubah rancangan peledakan agar getaran aman terhadap bangunan<sup>[16]</sup>. Adapun baku mutu SNI 7271 : 2010 dapat dilihat pada tabel 5 berikut:

**Tabel 5.** Baku Mutu SNI 7571 : 2010

Kelas	Jenis Bangunan	Peak Vektor Sum (mm/s)
1	Bangunan kuno yang dilindungi Undang-Undang benda cagar budaya (Undang-Undang No. 6 tahun 1992)	2
2	Bangunan dengan pondasi, pasangan bata dan adukan semen saja, termasuk bangunan dengan pondasi dari kayu dan lantainya diberi adukan semen.	3
3	Bangun dengan pondasi, pasangan bata dan adukan semen diikat dengan slope beton	5
4	Bangunan dengan pondasi, pasangan bata dan adukan semen slope beton, kolom dan rangka diikat dengan ring balk.	7-20
5	Bangunan dengan pondasi, pasangan bata dan adukan semen, slope beton, kolom dan diikat dengan rangka baja.	12-40

Sumber: BSNi 2010

Dengan nilai PPV yang telah diperhitungkan, Pengontrolan jumlah bahan peledak dan waktu tunda (*delay time*) dapat diatur agar hasil getaran tanah disesuaikan dengan nilai SNI yang berlaku pada daerah tersebut sehingga tingkat getaran tanah yang aman tercapai.

### 3.6. Faktor Yang Mempengaruhi Fragmentasi Batuan dan Getaran Tanah

Tingkat fragmentasi batuan dan efek getaran tanah dari hasil peledakan merupakan suatu petunjuk yang sangat penting dalam menilai keberhasilan dari suatu kegiatan peledakan, dimana material yang memiliki ukuran seragam lebih diharapkan daripada material yang banyak berukuran bongkah dan kekuatan serta lama waktu getaran yang aman dan masih dibatas yang diizinkan juga sangat diharapkan.

#### 3.6.1. Sifat Fisik Batuan

Batuan andesit merupakan batuan beku intermediat. Batuan beku atau batuan igneus (dari Bahasa Latin: *ignis*, "api") adalah jenis batuan yang terbentuk dari magma yang mendingin dan mengeras, dengan atau tanpa proses kristalisasi, baik di bawah permukaan sebagai batuan intrusif (*plutonik*) maupun di atas permukaan sebagai batuan ekstrusif (vulkanik). Magma ini dapat berasal dari batuan setengah cair ataupun batuan yang sudah ada, baik di mantel ataupun kerak bumi. Umumnya, proses pelelehan terjadi oleh salah satu dari proses-proses kenaikan temperatur, penurunan tekanan, atau perubahan komposisi<sup>[17]</sup>.

Batu Andesit pada PT. Koto Alam Sejahtera memiliki densitas batuan 2,47 ton/m<sup>2</sup>. Batuan dengan densitas ini terbilang batuan yang memiliki karakteristik batuan yang keras dan kompak.

#### 3.6.2. Kekerasan batuan

Kuat tekan dan kuat tarik merupakan parameter awal untuk menentukan suatu proses peledakan. Kekuatan batuan, biasanya mengacu pada gaya yang diperlukan untuk pecah pada suhu dan tekanan permukaan tertentu. Setiap batuan mempunyai kekuatan yang berbeda - beda, walaupun terdiri dari jenis yang sama. Hal ini dikarenakan kondisi pembentukannya juga berbeda - beda<sup>[17]</sup>.

Batu andesit rata – rata di PT. Koto Alam Sejahtera memiliki kuat tekan 120 Mpa dan kuat tarik 80 Mpa.

#### 3.6.3. Struktur Batuan

Batuan beku intrusif adalah batuan beku yang proses pembekuannya berlangsung dibawah permukaan bumi. berdasarkan kedudukannya terhadap perlapisan batuan yang diterobosnya struktur tubuh batuan beku intrusif terbagi menjadi dua yaitu konkordan dan diskordan<sup>[17]</sup>. Kenampakan struktur geologi batuan andesit pada PT. Koto Alam Sejahtera dapat dilihat pada gambar 3 berikut ini :



**Gambar 3.** Karakteristik Batuan di PT. KAS

#### 3.6.4. Air Tanah

Kondisi air tanah sangat mempengaruhi proses peledakan, jika kandungan air tanah pada suatu daerah blok peledakan sangat tinggi, bahan peledak (ANFO) kemungkinan tidak akan meledak atau rusak dan akan terjadi *misfire*<sup>[7]</sup>.

Untuk mengatasi hal ini bahan peledak perlu dibungkus dengan bahan yang tahan air (kondom).

#### 3.6.5. Kemiringan Lubang Ledak

Kemiringan lubang ledak secara teoritis ada dua, yaitu lubang ledak tegak dan lubang ledak miring. Menurut Mc Gregor K. kemiringan lubang ledak antara 10 – 20 dari bidang vertikal yang biasanya digunakan pada tambang terbuka telah memberikan hasil yang baik<sup>[2]</sup>.

#### 3.6.6. Pola Pemboran

Pola pemboran merupakan suatu pola pada kegiatan pemboran dengan menempatkan lubang-lubang bor secara sistematis. Berdasarkan letak lubang bor maka pola pemboran pada umumnya dibedakan menjadi dua macam, yaitu pola pemboran sejajar dan pola pemboran selang-seling<sup>[2]</sup>.

### 3.6.7. Geometri Peledakan

Peledakan merupakan suatu rancangan yang diterapkan pada suatu kegiatan pembeaian batuan yang meliputi *burden, spasi, stemming, subdrilling, powder charge*, tinggi jenjang dan kedalaman lubang ledak.

*Stemming* akan menambah fragmentasi dan perpindahan batuan dengan mengurangi keluarnya gas ledakan bertekanan tinggi ke udara bebas. Ukuran material yang digunakan pada PT. Koto Alam Sejahtera untuk pengisian *stemming* ialah batuan andesit medium (0,5 – 1 cm).

### 3.6.8. Kondisi Cuaca

Dalam suatu operasi peledakan, proses pengisian dan penyambungan rangkaian lubang ledak dilakukan pada cuaca normal dan harus dihentikan ketika cuaca mendung apalagi disertai kilat, yang akan membahayakan apabila menggunakan metode peledakan listrik, karena kilatan dapat mengaktifasi aliran listrik, sehingga akan terjadi prematur<sup>[7]</sup>.

### 3.7. Biaya Operasional (*Operational Cost*)

Biaya sebenarnya diketahui ada dua istilah biaya yang mendapat perhatian<sup>[18]</sup>, yaitu:

- 1) Biaya (*cost*), yang dimaksud dengan biaya di sini adalah semua pengorbanan yang dibutuhkan dalam rangka mencapai suatu tujuan yang diukur dengan nilai uang.
- 2) Pengeluaran (*expenche*), yang dimaksud dengan *expenche* ini biasanya yang berkaitan dengan sejumlah uang yang dikeluarkan atau dibayarkan dalam rangka mendapatkan sesuatu hasil yang diharapkan.

Biaya operasional (*operational cost*) yaitu biaya yang dikeluarkan dalam rangka menjalankan aktivitas usaha tersebut sesuai dengan tujuan. Biaya ini biasanya dikeluarkan secara rutin atau periodik waktu tertentu<sup>[18]</sup>. sehingga secara umum persamaan *income* pada operasional peledakan ialah sebagai berikut:

$$income = revenue - expence \quad (25)$$

Keterangan:

*income* = Nilai Aliran Uang (Rupiah)

*revenue* = Harga Batuan Yang diberaikan/diledakkan

*expence* = Biaya pengeluaran kegiatan peledakan

Secara sederhana, untuk mengetahui suatu penghasilan (*income*) tersebut layak ekonomis atau tidak, diperlukan suatu ukuran/kriteria tertentu dalam penentuan nilainya, yaitu jika *income* > 0, artinya kegiatan operasional akan menguntungkan/ layak (*feasible*), jika : *income* < 0, artinya kegiatan operasional tidak menguntungkan/ layak (*unfeasible*).

## 4. Metode Penelitian

Metodologi penelitian adalah ilmu mengenai jalan yang dilewati untuk mencapai pemahaman. Jalan tersebut harus ditetapkan secara bertanggung jawab ilmiah dan data yang dicari untuk membangun/memperoleh pemahaman harus melalui syarat ketelitian. artinya harus dipercaya kebenarannya<sup>[19]</sup>.

## 4.1 Jenis Penelitian

Jenis penelitian ini merupakan jenis penelitian terapan dari segi penggunaannya, dimana konsep – konsep yang digunakan cenderung operasional dan bukan konsep yang abstrak. Bahkan secara *ekstrem* dikatakan bahwa penelitian terapan cenderung tidak (atau mengabaikan) teori dalam penyusunan rancangan penelitiannya<sup>[19]</sup>.

Berdasarkan data yang diambil, jenis penelitian ini merupakan jenis penelitian data *kontinum*. Data *kontinum* merupakan data dalam bentuk angka/bilangan yang diperoleh berdasarkan hasil pengukuran. Data *kontinum* dapat berbentuk bilangan bulat atau pecahan tergantung jenis skala pengukuran yang digunakan<sup>[20]</sup>.

## 4.2. Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data yang penulis lakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

### 4.2.1. Studi Literatur

Studi literatur merupakan mencari referensi teori yang relevan dengan kasus atau permasalahan yang diangkat pada penelitian ini. Adapun referensi ini dapat ditemukan atau dicari pada buku, jurnal dan artikel ilmiah. Studi literatur yang dilakukan ialah pengumpulan data-data dari literatur-literatur dan internet tentang hasil kegiatan peledakan.

### 4.2.2. Pengambilan Data

Jenis data yang diambil dalam penelitian ini adalah data primer dan data sekunder. Pengambilan data pada penelitian dilakukan sebanyak 5 kali pengukuran dan pengamatan.

Data primer yang diukur dan diamati pada penelitian ini adalah nilai geometri peledakan, spesifikasi dan harga bahan peledak yang digunakan, hasil foto/gambar batuan dari hasil kegiatan peledakan, persamaan regresi linear dari *simulation ground vibration report data* pada PT. Koto Alam Sejahtera, Densitas batuan yang diledakkan, kekerasan batuan yang diledakkan, deskripsi umum batuan yang diledakkan (*RMD, JPS dan JPO*) dan harga batuan yang diledakkan dalam keadaan *RAW*.

Adapun data sekunder yang penulis himpun pada penelitian ini adalah peta lokasi perusahaan, peta topografi dan wilayah IUP, kondisi umum geologi perusahaan, ukuran *boulder* dan jumlah presentase nya yang diterapkan, standar tingkat getaran tanah yang dijadikan acuan keadaan aman.

### 4.2.3. Pengolahan Data

Data-data yang telah diambil nantinya akan diolah, baik secara teknik menggunakan perangkat lunak maupun secara teoritis berdasarkan teori-teori yang ada.

## 4.3. Teknik Analisis Data

Teknik analisis data yang dilakukan pada penelitian ini meliputi perhitungan produksi, perhitungan dan analisis distribusi fragmentasi batuan, perhitungan getaran tanah

(ground vibration) dan perhitungan biaya dari data aktual geometri peledakan.

Kemudian setelahnya akan dilakukan evaluasi geometri peledakan. Adapun analisis data yang dilakukan meliputi perhitungan rancangan usulan peledakan (geometri, loading density, powder factor dan massa batuan yang terberai) agar tercapai hasil fragmentasi yang baik dan getaran tanah (ground vibration) yang minimal, perhitungan dan analisis distribusi fragmentasi batuan, perhitungan getaran tanah (ground vibration) dan perhitungan biaya operasional dari hasil rancangan usulan geometri peledakan.

4.3.1. Perhitungan Produksi Peledakan

Perhitungan produksi peledakan menggunakan parameter – parameter yaitu *burden*, *spasi*, jumlah lubang, kedalaman lubang ledak, densitas bahan peledak yang digunakan dan densitas batuan yang diberaiakan.

Adapun output yang didapat berupa *loading density*, jumlah bahan peledak yang digunakan, massa batuan yang terberai dan *powder factor*.

4.3.2. Prediksi Distribusi Fragmentasi Batuan

Prediksi distribusi fragmentasi batuan dihitung dengan metode *Kuz – Ram*, dimana parameter – parameter yang dibutuhkan ialah *burden*, *spasi*, diameter lubang ledak, *loading density*, faktor batuan, kedalaman lubang, jumlah bahan peledak per lubang, nilai RWS bahan peledak, tinggi jenjang yang diharapkan, standar deviasi lubang dan ukuran ayakan yang digunakan.

Adapun output yang didapat berupa nilai *powder coloumn*, *stemming*, fragmentasi rata – rata, indeks keseragaman, karakteristik batuan, material yang tertahan dan lolos pada ayakan.

4.3.3. Analisis Distribusi Fragmentasi Batuan

Analisis distribusi fragmentasi batuan dilakukan dengan software *ACDSee Profesional 2018* dan software *split dekstop 2.0*, dimana parameter yang dibutuhkan berupa foto dari batuan yang telah diberaiakan.

Adapun output yang didapat berupa grafik dari presentase distribusi fragmentasi batuan dengan berbagai ukuran ayakan.

4.3.4. Perhitungan Getaran Tanah (Ground Vibration)

Perhitungan getaran tanah dilakukan dengan menggunakan metode/persamaan *Du Pont/USBM predictor*, dimana parameter – parameter yang dibutuhkan ialah jarak aman pengukuran, jumlah bahan peledak per lubang, jumlah lubang, jumlah inisiasi *delay* detonator, konstanta PPV dan *indeks scale distance* yang berlaku pada PT. Koto Alam Sejahtera.

Adapun output yang didapat berupa grafik nilai PPV terhadap jarak aman pengukuran dan juga jarak – jarak lainnya.

4.3.5. Perhitungan Biaya Operasional Peledakan

Perhitungan mengenai biaya operasional peledakan membutuhkan parameter – parameter diantaranya harga bahan peledak dan perlengkapannya yang digunakan dan harga batuan yang telah diberaiakan.

Adapun output dari biaya operasional peledakan ini adalah nilai *income* (pendapatan) dari kegiatan peledakan yang telah dilakukan.

5. Hasil dan Pembahasan

5.1. Data Aktual Geometri Peledakan

Kegiatan peledakan mengenai data aktual geometri peledakan di PT. Koto Alam Sejahtera selama penulis melakukan penelitian, dilakukan sebanyak 4 kali peledakan dimulai tanggal 13 Februari sampai dengan tanggal 22 Februari 2018. Pola pemboran yang digunakan ialah pola zig – zag persegi (*square staggered drill pattern*), pola ini diterapkan karena distribusi energi lubang ledak akan lebih merata terhadap batuan yang diledakkan sehingga hasil fragmentasi batuan akan lebih baik. Peledakan menggunakan sistem rangkaian paralel – seri, dimana setiap satu kali ledak, jumlah lubang yang diledakkan sekitar 10 sampai dengan 30 lubang. Begitu seterusnya hingga semua lubang diledakkan. Hal ini dilakukan untuk mengurangi tingkat getaran tanah yang terjadi. Pola peledakan yang dipakai ialah *echelon cut*. Peletakkan nomor *delay* diatur dengan memposisikan nomor *delay* yang paling rendah berada didekat *free face* (baris pertama). Hal ini diharapkan agar arah *flyrock* menuju ke area *free face*. Data aktual geometri peledakannya dapat dilihat pada tabel 6 berikut ini:

Tabel 6. Data Aktual Geometri Peledakan

No.	Hari/Tanggal	Lokasi	Geometri Aktual Peledakan										
			B	S	H	L	d	N	PANFO (kg/Lubang)	PANFO (kg)	Dynamite (kg/Lubang)	Dynamite (kg)	E
1	13 Februari 2018	Bench 1	2	2	2.5	3	0.0762	25	4	100	0.07	1.8	101.80
			2	2	5	6		30	9	270	0.10	3.0	273.00
			0	0	8	9		0	0	0	0.20	0.0	0.00
2	17 Februari 2018	Bench 2	0	0	2.5	3	0.0762	0	0	0	0.07	0.0	0.00
			2	2	5	6		55	12.2	671	0.10	5.5	676.50
			0	0	8	9		0	0	0	0.20	0.0	0.00
3	19 Februari 2018	Bench 2 & 3	2	2	2.5	3	0.0762	55	4.5	247.5	0.07	3.9	251.40
			2	2	5	6		26	6.5	169	0.10	2.6	171.60
			0	0	8	9		0	0	0	0.20	0.0	0.00
4	22 Februari 2018	Bench 2 & 3	2.2	2.3	2.5	3	0.0762	59	5	295	0.07	4.1	299.10
			2.2	2.3	5	6		43	7	301	0.10	4.3	305.30
			0	0	8	9		0	0	0	0.20	0.0	0.00

Berdasarkan tabel diatas, didapat jumlah bahan peledak yang digunakan pada tanggal 13 Februari ialah 374,80 kg, tanggal 17 Februari ialah 675,5 kg, tanggal 19 Februari ialah 423,0 kg dan tanggal 22 Februari ialah 604,4 kg.

5.1.1. *Produksi Peledakan Dari Data Aktual Geometri Peledakan*

Perhitungan produksi dari data aktual geometri peledakan dihitung dengan berbagai ukuran kedalaman lubang ledak, dimulai pada tanggal 13 Februari 2018 s/d 22 Februari 2018. Adapun hasil produksi peledakan dari data aktual dapat dilihat pada tabel 7 berikut ini:

**Tabel 7.** Hasil Produksi Dari Data Aktual Geometri Peledakan

No.	Hari/Tanggal	Lokasi	Hasil Produksi Peledakan					
			L	SG	de	PF	V	M
1	Selasa, 13 Februari 2018	Bench 1	3		3.88	0.16	250.00	617.50
			6	0.85	3.88	0.18	600.00	1482.00
			9		3.88	0.00	0.00	0.00
2	Sabtu, 17 Februari 2018	Bench 2	3		3.88	0.00	0.00	0.00
			6	0.85	3.88	0.25	1100.00	2717.00
			9		3.88	0.00	0.00	0.00
3	Senin, 19 Februari 2018	Bench 2 & 3	3		3.88	0.19	550.00	1358.50
			6	0.85	3.88	0.13	520.00	1284.40
			9		3.88	0.00	0.00	0.00
4	Kamis, 22 Februari 2018	Bench 2 & 3	3		3.88	0.16	746.35	1843.48
			6	0.85	3.88	0.11	1087.90	2687.11
			9		3.88	0.00	0.00	0.00

Berdasarkan hasil perhitungan diatas, didapat jumlah batuan yang terberai pada tanggal 13 Februari ialah 2099,5 ton, tanggal 17 Februari ialah 2717 ton, tanggal 19 Februari ialah 2642,9 ton dan tanggal 22 Februari ialah 4530,59 ton.

5.1.2. *Fragmentasi Batuan Dari Data Aktual Geometri Peledakan*

Pada PT. Koto Alam Sejahtera berlaku bahwa ukuran fragmentasi batuan yang dikatakan *boulder* ialah batuan yang tertahan pada ukuran ayakan 60 cm maksimal 15% dari setiap kegiatan peledakan.

Adapun analisis mengenai distribusi fragmentasi batuan dari data aktual geometri peledakan menggunakan software *split dekstop*. Hasil analisisnya dalam bentuk tabel 8 berikut ini:

**Tabel 8.** Hasil Presentase *Boulder* Dari Data Aktual Geometri Peledakan

No.	Hari/Tanggal	Presentase <i>Boulder</i> (%)	Keterangan
1	13 Februari 2018	19.01	
2	17 Februari 2018	16.88	
3	19 Februari 2018	30.49	
4	22 Februari 2018	48.72	
Rata - Rata		28.77	Tidak Baik

Rata - rata *boulder* batuan (selama 4 kali peledakan) berukuran 60 cm ialah 28,77%. Hal ini tidak sesuai dengan ketentuan yang berlaku di PT. Koto Alam Sejahtera.

5.1.3. *Getaran Tanah Dari Data Aktual Geometri Peledakan*

Perhitungan nilai PPV getaran tanah dilakukan dengan menggunakan metode *Du Pont/USBM predictor*. Adapun Persamaan regresi dari nilai PPV getaran tanah (*ground vibration*) yang telah diuji dan berlaku pada PT. Koto Alam Sejahtera ialah sebagai berikut:

$$PPV = 1143 \times SD^{-1.6} \tag{26}$$

Hasil perhitungan tersebut dapat dilihat pada tabel 9 berikut ini:

**Tabel 9.** Hasil Getaran Tanah Dari Data Aktual Geometri Peledakan

No.	Hari/Tanggal	Nilai PPV	Kondisi
1	13 Februari 2018	3.93	Aman
2	17 Februari 2018	6.31	Tidak Aman
3	19 Februari 2018	4.33	Aman
4	22 Februari 2018	5.76	Tidak Aman

Berdasarkan gambar – gambar grafik diatas dengan menggunakan metode *Du Pont/USBM predictor*, didapat nilai PPV yang melebihi 5 mm/s terjadi pada tanggal 17 dan 22 Februari 2018, yaitu dengan nilai PPV sebesar 6,31 mm/s dan 5,76 mm/s.

5.1.4 *Biaya Operasional Dari Data Aktual Geometri Peledakan*

Perhitungan biaya operasional dari hasil data aktual geometri peledakan meliputi perhitungan biaya PANFO, *Dynamite Power 90* dan detonator elektrik dan harga batuan andesit yang terberai dari hasil peledakan. seperti terdapat pada tabel 10 berikut ini:

**Tabel 10.** Hasil Biaya Operasional Dari Data Aktual Geometri Peledakan

No.	Hari/Tanggal	Revenue	Expence	Income
1	13 Februari 2018	125,970,000.-	6,230,000.-	119,740,000.-
2	17 Februari 2018	163,020,000.-	10,185,000.-	152,835,000.-
3	19 Februari 2018	158,574,000.-	7,497,000.-	151,077,000.-
4	22 Februari 2018	271,835,400.-	10,370,000.-	261,465,400.-

Berdasarkan tabel perhitungan diatas, didapat nilai *income* (penghasilan) pada tanggal 13 Februari 2018 ialah Rp. 119.740.000,- , tanggal 17 Februari 2018 ialah Rp. 152.835.000,- , tanggal 19 Februari 2018 ialah Rp. 151.077.000,- dan tanggal 22 Februari 2018 ialah Rp. 261.465.400,- .

5.1.5. *Pembahasan Dari Data Aktual Geometri Peledakan*

Berdasarkan yang telah diuraikan diatas, terdapat hasil peledakan yang tidak memenuhi kriteria yang ditentukan oleh PT. Koto Alam Sejahtera, yaitu:

- 1) Rata - rata *boulder* batuan berukuran diatas 60 cm ialah 28,77% dari jumlah batuan yang diledakkan (4 kali peledakan). Hal ini melebihi ketentuan yang diinginkan oleh PT. Koto Alam sejahtera yaitu jumlah *boulder* dibawah 15% saja.
- 2) Adanya nilai PPV melebihi batas SNI 7571 : 2010 yang diizinkan pada jarak 300 meter, yaitu 6,31 mm/s pada tanggal 17 Februari 2018 dan 5,76 mm/s pada tanggal 22 Februari 2018.

Salah faktor yang paling mempengaruhi dari hasil fragmentasi batuan dan getaran tanah tersebut ialah dari geometri peledakannya. Nilai *powder coloumn* (kolom isian) sangat mempengaruhi proses pemecahan batuan,

terutama pada tahap II (*quast-static loading*). Jika *powder coloumn* (kolom isian) terlalu kecil, gelombang kejut yang dihasilkan sejumlah ANFO tidak terpantulkan dengan baik, maka gelombang tarik (*tension wave*) tidak mampu mengimbangi tekanan (*compression*) pada batuan. Sehingga batuan tidak terberaikan dengan baik.

nilai *powder coloumn* (kolom isian) dengan presentase *boulder* (ayakan > 60 cm) dapat dilihat pada grafik gambar 4 berikut:



**Gambar 4.** Grafik Hubungan *Powder Coloumn* Dengan Presentase *Boulder*

Pada grafik diatas, nilai faktor korelasi antara *powder coloumn* dengan presentase *boulder* ialah -0,752. Faktor korelasi bernilai negatif dan menjauhi angka 0. Maka korelasi antara kedua variabel tersebut memiliki hubungan yang cukup kut dan bersifat berlawanan. Artinya ialah peningkatan nilai *powder coloumn* akan diikuti dengan penurunan presentase *boulder*.

Adapun hubungan antara nilai *powder coloumn* (kolom isian) dengan nilai PPV pada getaran tanah dapat dilihat pada grafik gambar 5 berikut:



**Gambar 5.** Grafik Hubungan *Powder Coloumn* Dengan Nilai PPV

Pada grafik diatas, nilai faktor korelasi antara *powder coloumn* dengan nilai PPV ialah 0,506. Faktor korelasi bernilai positif dan menjauhi angka 0. Maka korelasi antara kedua variabel memiliki hubungan cukup kuat dan tersebut bersifat searah. Artinya ialah peningkatan nilai *powder coloumn* akan diikuti dengan kenaikan nilai PPV.

## 5.2. Rancangan Usulan dan Uji Coba Rancangan Usulan Geometri Peledakan

### 5.2.1. Rancangan Usulan Geometri Peledakan

Rancangan usulan geometri peledakan dilakukan untuk dapat tercapainya hasil fragmentasi batuan yang baik yaitu sebesar 15% pada ukuran batuan 60 cm, getaran tanah yang minimal yaitu dengan nilai PPV < 5 mm/s dijarak 300 meter dan nilai *income* (pendapatan) positif, yaitu *income* (pendapatan) > 0.

Perhitungan rancangan usulan geometri peledakan menggunakan metode *C.J konya* dan *R.L Ash*. Dimana Perbandingan rancangan usulan geometri peledakan tersebut dapat dilihat pada tabel 11 berikut ini:

**Tabel 11.** Perbandingan Rancangan Usulan Geometri Peledakan

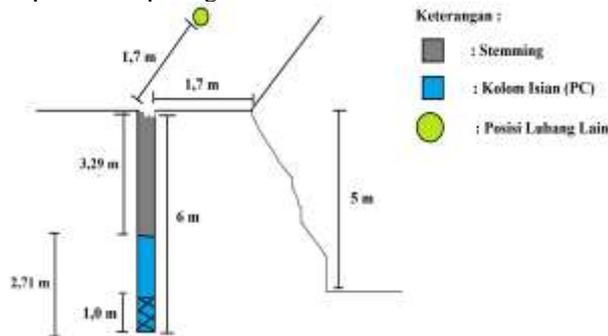
No.	Parameter Perbandingan	Simbol	Nilai		Satuan	Keterangan
			<i>R.L Ash</i>	<i>C.J Konya</i>		
1	Rancangan Geometri Peledakan					
	a. <i>Burden</i>	B	1.7	1.6	Meter	
	b. <i>Spasi</i>	S	1.7	1.9		
	c. Kedalaman Lubang 3 Meter					
	1) <i>Stemming</i>	T	1.77	1.82	Meter	
	2) Jumlah ANFO	Q	4.76	4.56	Kg/lubang	
	3) Jumlah Lubang	N	29	26	Lubang	
	d. Kedalaman Lubang 6 Meter					
	1) <i>Stemming</i>	T	3.37	3.47	Meter	
	2) Jumlah ANFO	Q	10.22	9.8	Kg/lubang	
3) Jumlah Lubang	N	28	27	Lubang		
2	Total Produksi Batuan					
	a. <i>Powder Factor</i>	PF	0.28	0.26	Kg/Ton	
	b. Total Batuan Andesit Terberai	M	1516.90	1501.76	Ton	Tercapai
3	Fragmentasi Batuan (Ayakan 60 cm)					
	a. Material Tertahan Rata - Rata	R Rata - Rata	14.93	14.95	%	Baik
	b. Material Lolos Rata - Rata	Y Rata - Rata	85.07	85.05		
4	Getaran tanah					
	a. <i>Peak Particle Velocity</i>	PPV	4.38	4.83	mm/s	
	b. Kondisi	Status				Aman
5	Hasil Biaya Operasional Peledakan					
	a. <i>Cashflow</i>	Cf	84,035,400.00	83,748,520.00		Ekonomis

Berdasarkan tabel diatas, maka rancangan usulan geometri peledakan yang akan diuji cobakan ialah rancangan *R.L Ash*, hal ini didasari pada:

- 1) Produksi peledakan rancangan usulan I lebih tinggi daripada rancangan usulan II, yaitu 1516,90 ton.
- 2) Presentase material batuan yang tertahan pada ayakan 60 cm rancangan usulan I lebih rendah dari rancangan usulan II, yaitu 14,93%.
- 3) Nilai PPV pada rancangan usulan I lebih rendah daripada rancangan usulan II, yaitu sebesar 4,38 mm/s. Sehingga getaran tanah rancangan usulan I lebih aman.
- 4) Nilai *income* (pendapatan) pada rancangan usulan I lebih tinggi daripada rancangan usulan II, yaitu sebesar Rp. 84.035.400,-. Sehingga secara ekonomis rancangan usulan I lebih layak dilakukan.
- 5) Nilai *burden* dan *spasi* yang sama akan lebih memudahkan pekerjaan juru bor dan *helper* pemboran secara teknis dalam membuat lubang ledak. Sehingga pembuatan lubang bor akan lebih cepat terselesaikan.

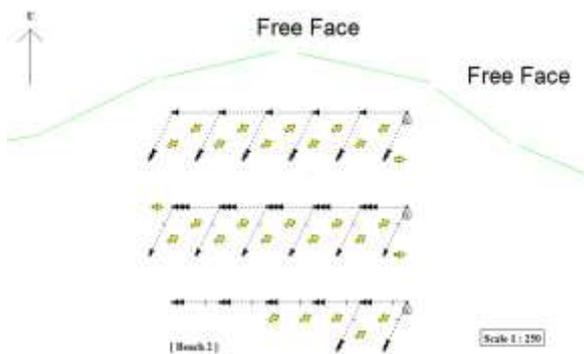
**5.2.2. Uji Coba Rancangan Usulan Geometri Peledakan**

Dalam uji coba, Metode geometri yang diuji ialah rancangan usulan I (metode *R.L Ash*) dengan jumlah ANFO yang digunakan untuk kedalaman lubang bor 6 meter ialah 10,5 kg. Sehingga geometri peledakannya dapat dilihat pada gambar 6 berikut ini:



**Gambar 6.** Geometri Peledakan Dari Uji Coba Rancangan Usulan

Adapun *layout* peledakan usulan dapat dilihat pada gambar 7 berikut:



**Gambar 7.** *Layout* Peledakan Dari Uji Coba Rancangan Usulan

Berdasarkan *layout* diatas, nomor *delay* yang dipakai ialah 01, 04, 07, 10 dan 13. Pola pemboran yang

diterapkan ialah zig – zag persegi (*square staggered drill pattern*) dan pola peledakan ialah *echelon cut*.

**5.2.3. Produksi Peledakan Dari Uji Coba Rancangan Usulan**

Dalam uji coba jumlah lubang yang dibuat untuk 6 meter ialah 32 lubang. Adapun hasil perhitungan produksinya dapat dilihat pada tabel 12 berikut:

**Tabel 12.** Hasil Produksi Peledakan Dari Uji Coba Rancangan Usulan

No.	Geometri Peledakan	Lokasi	Hasil Produksi Peledakan					
			L	SG	de	PF	V	M
1	Usulan	Bench 2	6	0.85	3.8	0.3	462.4	1142.13

Berdasarkan hasil perhitungan diatas, didapat jumlah batuan terberai pada uji coba rancangan usulan geometri peledakan ialah 606,76 ton untuk kedalaman 3 meter dan 1142,13 ton untuk kedalaman 6 meter. Sehingga total batuan terberai ialah 1748,89 ton.

**5.2.4. Distribusi Fragmentasi Batuan Dari Uji Coba Rancangan usulan**

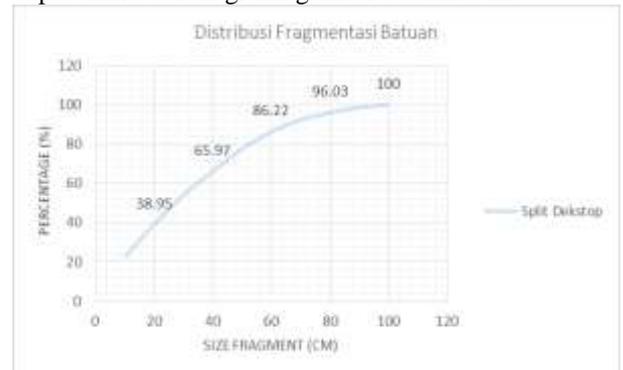
Prediksi distribusi fragmentasi batuan dari data aktual geometri peledakan dapat dilihat pada tabel 13 berikut:

**Tabel 13.** Prediksi Distribusi Fragmentasi Batuan Dari uji Coba Rancangan Usulan

No.	Detail	Nilai	Satuan
1	Tanggal Kegiatan Peledakan	27/02/18	
2	Hasil Distribusi Fragmentasi Batuan		
	a.) Fragmentasi Rata - Rata	21.32	cm
	b.) Indeks Keseragaman	1.02	
	c.) Karakteristik batuan	30.54	cm
	d.) Material Yang tertahan Ayakan (60 cm)		
	1) Metode Kuz - Ram	13.65	%
e.) Material yang Lolos Ayakan (60 cm)			
1) Metode Kuz - Ram	86.35	%	

Pada tabel diatas, hasil perhitungan distribusi fragmentasi batuan untuk material rata – rata yang tertahan pada ukuran *boulder* (ukuran ayakan 60 cm) telah memenuhi ketentuan di PT. Koto Alam Sejahtera, yaitu 13,65%.

Analisis distribusi fragmentasi batuan dari hasil rancangan usulan geometri peledakan didapat dengan menggunakan software *split desktop*. Hasil analisisnya dapat dilihat dalam grafik gambar 8 berikut ini:

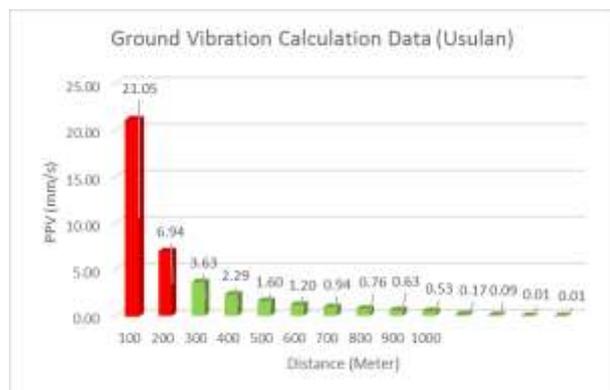


**Gambar 8.** Grafik Distribusi Fragmentasi Batuan Dari Uji Coba Rancangan Usulan

Material rata – rata yang tertahan pada ukuran *boulder* (ukuran ayakan 60 cm) telah memenuhi ketentuan di PT. Koto Alam Sejahtera, yaitu 13,78 %.

### 5.2.5. Getaran Tanah Dari Data Aktual Geometri Peledakan

Dalam uji coba, jumlah nomor *delay* detonator yang digunakan ialah 5 nomor *delay* (*delay* 01, 04, 07, 10 dan 13). Hasil perhitungan tersebut dapat dilihat pada grafik gambar 9 berikut ini:



**Gambar 9.** Grafik Hubungan PPV Terhadap Jarak Dari Uji Coba Rancangan Usulan

Pada gambar grafik diatas, nilai PPV dari uji coba rancangan usulan geometri peledakan ialah 3,63 mm/s.

### 5.2.6. Biaya Operasional Peledakan Dari Uji Coba Rancangan Usulan

Perhitungan biaya operasional dari hasil rancangan usulan geometri peledakan meliputi perhitungan biaya PANFO (Pindad – ANFO), *Dynamite Power 90* dan detonator elektrik yang digunakan serta harga batuan andesit yang terberai dari hasil peledakan. Adapun hasil perhitungannya dapat dilihat pada tabel 14 berikut:

**Tabel 14.** Hasil Biaya Operasional Dari Uji Coba Rancangan Usulan

No.	Geometri Peledakan	Revenue	Expence	Income
1	Usulan	68,527,800.-	5,240,000.-	63,287,800.-

Hasil nilai *income* (penghasilan) rancangan usulan geometri peledakan ialah Rp. 63.287.800,-. maka secara ekonomis kegiatan layak dilakukan/menguntungkan.

### 5.2.7. Pembahasan Dari Uji Coba Rancangan usulan Geometri Peledakan

Berdasarkan hasil uraian diatas, uji coba rancangan usulan geometri peledakan telah memenuhi kriteria hasil peledakan yang ditentukan. Hal ini didasari pada:

- 1) Material rata – rata tertahan pada ukuran *boulder* (ukuran ayakan 60 cm) telah memenuhi kriteria di PT. Koto Alam Sejahtera, yaitu 13,78 %.
- 2) Hasil nilai PPV dijarak 300 meter pada rancangan usulan geometri peledakan telah memnuhi ketentuan dari PT. Koto Alam Sejahtera, yaitu 3.63 mm/s.
- 3) Hasil nilai *cashflow* rancangan usulan geometri peledakan ialah Rp. 63.287.800,- . Jika nilai *cash flow* > 0, maka secara ekonomis kegiatan layak dilakukan/menguntungkan.

## 6. Kesimpulan dan Saran

### 6.1. Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang dapat diambil ialah sebagai berikut:

1. Analisis distribusi hasil fragmentasi batuan dari data aktual geometri peledakan, rata – rata fragmentasi batuan hasil peledakan (selama 4 kali peledakan) yang tertahan pada ukuran 60 cm dengan software *Split Desktop* ialah 28,77%.
2. Perhitungan getaran tanah (*ground vibration*) dari data aktual geometri peledakan menggunakan metode *Du Pont/USBM predictor*, didapat nilai PPV yang melebihi 5 mm/s terjadi pada tanggal 17 dan 22 Februari 2018, yaitu dengan nilai PPV sebesar 6,31 mm/s dan 5,76 mm/s.
3. Berdasarkan hasil perhitungan biaya diatas, didapat nilai *income* (pendapatan) pada tanggal 13 Februari 2018 ialah Rp. 119.740.000,- , tanggal 17 Februari 2018 ialah Rp. 152.835.000,- , tanggal 19 Februari 2018 ialah Rp. 151.077.000,- dan tanggal 22 Februari 2018 ialah Rp. 261.465.400,- .
4. Nilai *burden*, *spasi*, *stemming*, *powder coloumn*, *subdrilling* dan jumlah lubang ledak dari uji coba rancangan usulan geometri peledakan berturut – turut ialah 1,7 meter, 1,7 meter, 3,29 meter, 2,71 meter, 1,0 meter dan 32 lubang.
5. Analisis distribusi hasil fragmentasi batuan dari uji coba rancangan usulan geometri peledakan, didapat hasil fragmentasi batuan yang tertahan pada ayakan 60 cm dengan software *split desktop* ialah 86,22%.
6. Perhitungan getaran tanah (*ground vibration*) dari uji coba rancangan usulan geometri peledakan dengan metode *Du Pont/USBM predictor*, didapat nilai PPV ialah 3.63 mm/s.
7. Perhitungan biaya operasional dari uji coba rancangan usulan geometri peledakan, didapat nilai *cashflow* untuk uji coba rancangan usulan geometri peledakan ialah Rp. 63.287.800,-.

### 6.2. Saran

Adapun saran yang ingin penulis sampaikan adalah sebagai berikut:

1. Adanya penelitian lanjutan yang mengkaji faktor lainnya selain nilai distribusi fragmentasi batuan dan getaran tanah, sehingga dapat dilihat geometri peledakan seperti apa yang memiliki hasil peledakan yang terbaik.
2. Evaluasi nilai getaran tanah hasil peledakan yang dilakukan dalam penelitian ini hanya menggunakan satu metode saja, sehingga tidak ada pembandingan yang dapat ditarik keputusan dan kesimpulan yang mumpuni. Diharapkan ada penelitian lanjutan dengan metode analisis yang berbeda, sehingga dapat dilihat metode mana yang lebih baik.
3. Diharapkan adanya *safety talk* mengenai kegiatan peledakan untuk semua operator dan *helper* pemboran/peledakan minimal dua kali dalam seminggu.

4. Bahan pengisian *stemming* dianjurkan menggunakan batuan andesit berukuran abu/medium (0,5 – 1 cm).

## Daftar Pustaka

- [1] W. Hustrulid. *Blasting Principal For Open Pit Mining Volume 1*. U.S.A ; Theoretical Foundations Colorado School of Mines. (1999).
- [2] H. Sihombing. *Kegiatan Pemboran Dalam Pembuatan Lubang Ledak Pada Tambang Andesit PT. Ansar Terang Crushindo Sumatera Barat*. Medan : Laporan Kerja Praktek Institut Teknologi Medan. (2016).
- [3] M. Gomis. *Identifikasi Tingkat Keseragaman Batuan Hasil Peledakan Dengan Metode Kuz – Ram dan Metode Koefisien Tekstur Pada Front I Tambang Quarry PT. Semen Padang*. Padang : Skripsi Universitas Negeri Padang. (2015).
- [4] T. A. Sunaryadi. *Penyusunan Program Aplikasi Komputasi Perancangan Peledakan Pada Tambang Terbuka Dengan Menggunakan Bahasa Pemrograman Visual Basic 6*. Yogyakarta : Skripsi UPN Veteran Yogyakarta. (2011).
- [5] H. Paranisha. *Analisis Tingkat Getaran Tanah (Ground Vibration Level) Hasil Peledakan Lapisan Interburden B2C Pada Tambang Air Laya (TAL) Barat PT. Bukit Asam (persero) TBK Unit Penambangan Tanjung Enim, Sumatera Selatan*. Padang : Skripsi Universitas Negeri Padang. (2017).
- [6] A. A. Syafi. *Evaluasi Isian Bahan Peledak Menggunakan Analisis Distribusi Ukuran fragmen Pada Peledakan Batuan Penutup di Tambang Terbuka Batubara*. Kalimantan Selatan : Jurnal Himasapta universitas Lambung Mangkurat. (2016).
- [7] M. Y. Kurniawan. *Perbandingan Fragmentasi Peledakan Dengan Menggunakan Metode Manual dan Image Analisis di PT. Semen Padang (PERSERO) Tbk, Bukit Karang Putih Indarung Sumatera Barat*. Banda Aceh Darussalam : Tugas Akhir Universitas Syiah Kuala. (2016).
- [8] V. I. Pancarani. *Perhitungan Hasil Peledakan Batu Kapur Dengan Menggunakan Metode Kuz – Ram dan Metode High Speed Photography di PT. Semen Padang*. Padang : Laporan Praktek Lapangan Industri Universitas Negeri Padang. (2017).
- [9] G. A. Nilasari. *Evaluasi Geometri Berdasarkan Fragmentasi Hasil Peledakan Pada Penambangan Batu Gamping di PT. Semen Sentosa*. Kalimantan Selatan : Jurnal Himasapta Universitas Lambung Mangkurat. (2017).
- [10] M. A. Ghadafi. *Kajian Teknis Geometri Peledakan Berdasarkan Analisis Blastibility dan Digging Rate Alat Gali Muat Di Pit MT 4 Tambang Air Laya PT. Bukit Asam (Persero) Tbk Tanjung. Sumatera Selatan : Jurnal Ilmiah Universitas Sriwijaya*. (2017).
- [11] R. Susanti. T. A. Cahyadi. *Kajian Teknis Operasi Peledakan Untuk Meningkatkan Nilai Perolehan Hasil Peledakan di Tambang Batubara Kabupaten Kutai Kartanegara Provinsi Kalimantan Timur*. Yogyakarta : Jurnal Seminar Nasional Kebumihan. (2011).
- [12] Febrianto. *Perencanaan Ulang Geometri Peledakan Untuk Mendapatkan Fragmentasi Yang Optimum Di Lokasi Penambangan Front IV Quarry PT. Semen Padang*. Padang : Tugas Akhir Universitas Negeri Padang. (2014).
- [13] Rudini. *Analisis Ground Vibration Pada Peledakan Overburden Di Panel 4 Pit J PT. Kaltim Prima Coal, Sangatta, Kalimantan Timur*. Yogyakarta : Jurnal Ilmiah UPN Veteran Yogyakarta. (2012).
- [14] Rusmawarni. dkk. *Evaluasi Isian bahan Peledak Berdasarkan Ground Vibration Hasil Peledakan Overburden Pada Tambang Batubara di Kalimantan Selatan*. kalimantan Selatan : Jurnal Himasapta Universitas Lambung Mangkurat. (2016).
- [15] F. fadhly. dkk. *Analisis Ground Vibration Pada Kegiatan Peledakan Dengan Metoda Peak Particle Velocity Beserta Pengaruhnya Terhadap Bangunan di PT. Pama Persada Nusantara Distrik MTBU Job Site Tanjung Enim*. Padang : Jurnal Ilmiah Universitas Negeri Padang. (2014).
- [16] A. A. M. Simbolon. dkk. *Dampak Kegiatan Peledakan Pertambangan Andesit Terhadap Lingkungan Pemukiman di Gunung Sudamanik Kecamatan Cigudeg Kabupaten Bogor*. Bogor : Jurnal Manusia dan Lingkungan Institut Pertanian Bogor. (2015).
- [17] D. Noor. *Pengantar Geologi*. Bogor : Buku Panduan Belajar Geologi Edisi Kedua Universitas Pakuan. (2012).
- [18] M. Giatman. *Ekonomi Teknik*. Jakarta : Buku Produksi PT. Raja Grafindo Persada. (2006).
- [19] Priyono. *Metode Penelitian Kuantitatif*. Sidoarjo : Zifatama publishing Edisi Revisi 2016. (2016).
- [20] S. Siyoto, A. Sodik. *Dasar Metodologi Penelitian*. Yogyakarta : Literasi Media Publishing Cetakan 01. (2015).