

Kajian Teknis Pengaruh Fragmentasi Hasil Peledakan di PT. Semen Padang

Muhammad Ridho^{1*} and Mulya Gusman^{1**}

¹Jurusan Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang

*ridho.m6602@gmail.com

**mgusman1974@gmail.com

Abstract. In mining activities with hard rock characteristics, it is necessary to do a blasting which aims to clean the rock, so that it can facilitate digging. The size of fragmentation as a result of blasting will affect to the digging time, the greater of the fragmentation that results will be the longer the time needed to digging the blasting material. Blasting geometry applied by PT. Semen Padang produces fragmentation measuring 53,86 cm with digging time of 14,29 seconds. In this study Blasting Geometry was used with ICI-explosive and RL. Ash theories. Where the fragmentation produced by the ICI-Explosive Theory is 47,86 cm with the digging time of 11,15 seconds, and with the Theory of RL. Ash fragmentation obtained is 43.71 cm with digging time of 8,6 seconds. Of the two theories, the theory of RL. Ash is better because it produces better fragmentation.

Keywords: Blasting Geometry, Fragmentation, Digging Time, Kuz-Ram, Regression Analysis.

1 Pendahuluan

Dalam kegiatan penambangan dengan karakteristik batuan yang keras, maka perlu dilakukan peledakan (*blasting*) yang bertujuan untuk memberaikan batuan tersebut, sehingga dapat mempermudah dalam kegiatan penggalian (*digging*). Kegiatan peledakan bertujuan untuk melepas atau memberaikan material dari batuan induknya agar ukuran fragmentasi yang dihasilkan dapat memudahkan kegiatan penambangan selanjutnya^[1].

Kegiatan pemberaian batuan dapat dilakukan dengan berbagai cara, metode yang digunakan tergantung dari sifat dan karakteristik batuan itu sendiri. Metode pemberaian batuan yang umum digunakan lebih dari empat abad yang lalu adalah pemboran dan peledakan^[2]. Ukuran fragmentasi akan mempengaruhi efisiensi dari kegiatan *loading* material dan proses pengolahan pada *primary crushing*^[3].

PT. Semen Padang merupakan pabrik semen tertua di Indonesia yang merupakan Badan Usaha Milik Negara (BUMN) yang terletak di Kelurahan Indarung Kecamatan Lubuk Kilangan yang jaraknya \pm 15 Km dari Pusat Kota Padang dengan ketinggian \pm 200 M dari permukaan laut. Bahan baku utama dalam pembuatan semen adalah batu gamping yang relatif keras, sehingga tidak dapat digali secara langsung oleh alat gali muat

seperti *excavator* maupun *power shovel*. Untuk membongkar batu gamping yang relatif keras tersebut dilakukan dengan pemboran dan peledakan, sehingga operasi penambangan berlangsung dengan efektif dan efisien. Selanjutnya, material hasil peledakan batu gamping dilakukan penggalian dan pemuatan.

Keberhasilan proses peledakan dipengaruhi oleh beberapa indikator, salah satunya adalah ukuran fragmentasi hasil peledakan. Dimana nantinya ukuran fragmentasi hasil peledakan akan mempengaruhi proses penggalian dan pemuatan material hasil peledakan.

Berdasarkan penelitian yang telah penulis lakukan kegiatan peledakan PT. Semen Padang menghasilkan fragmentasi hasil peledakan yang tidak seragam, ada yang berukuran 30 cm, 50 cm, 70 cm, 80 cm, bahkan ada yang berukuran >100 cm. Rata-rata kegiatan peledakan PT. Semen Padang menghasilkan fragmentasi hasil peledakan >50 cm. Sedangkan dengan kapasitas alat gali muat yaitu 15 m³, ukuran fragmentasi hasil peledakan yang optimal dimuat oleh alat gali muat tersebut adalah 37 cm–49 cm. Maka hal ini akan berdampak pada kegiatan penggalian (*digging*) material hasil peledakan. Dimana semakin besar fragmentasi yang dihasilkan akan membutuhkan waktu yang lama untuk menggali material hasil peledakan tersebut.

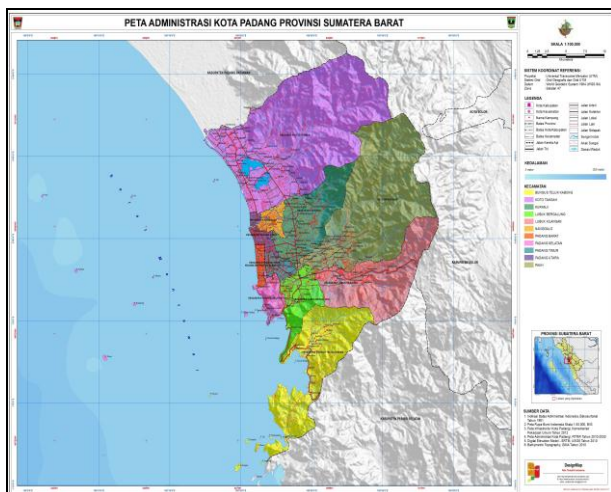
Berdasarkan permasalahan tersebut, perlu dilakukan pengkajian tentang pengaruh fragmentasi hasil peledakan di PT Semen Padang. Dimana semakin besar ukuran fragmentasi batuan hasil peledakan akan mengakibatkan semakin sulitnya alat gali muat untuk menggali dan memuat batuan tersebut, sedangkan semakin bagus dan seragam ukuran fragmentasi batuan hasil peledakan akan semakin mudah alat gali muat untuk menggali dan memuat batuan tersebut.

Hasil penelitian ini diharapkan mampu memberikan informasi sejauh mana keberhasilan peledakan yang dilakukan oleh PT. Semen Padang, sehingga perusahaan dapat menentukan geometri peledakan yang tepat untuk digunakan.

1.1 Lokasi Penelitian

Lokasi penambangan Batukapur berada di Bukit Karang Putih yang terletak di desa Karang Putih. Karang Putih adalah sebuah perkampungan kecil yang terletak ± 2 Km di sebelah Selatan Indarung dan terletak antara 0°56'51,66" LS sampai 0°57'50,56" LS dan 100°26'6,56" BT sampai dengan 100°26'51,76" BT.

Secara geografis wilayah Indarung mulai naik sampai kaki pegunungan Bukit Barisan membujur dari Utara ke Selatan Pulau Sumatera dengan ketinggian ± 200 mdpl dengan puncak ketinggian mencapai ± 500 mdpl.



Gambar 1. Peta Kesampaian Daerah

1.2 Keadaan Geologi

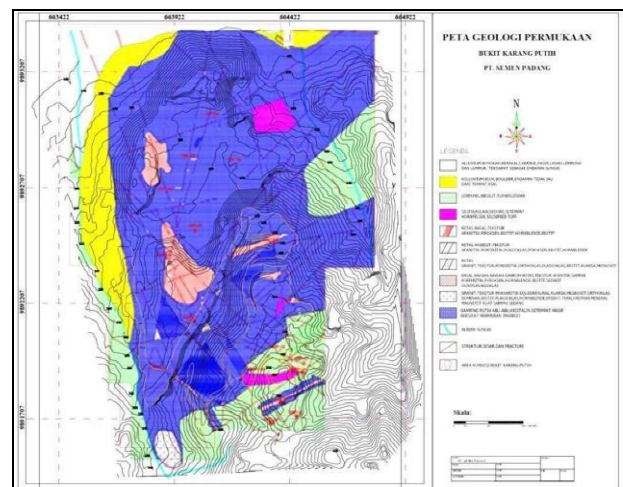
Keadaan geologi daerah ini merupakan bukit yang sangat terjal dengan sudut lereng alami mencapai 45°. Bukit Karang Putih pada umumnya ditempati oleh batu kapur (gamping) dengan terobosan batuan beku (basalt, andesit, granit). Lapisan batu kapur terletak di atas batuan endapan vulkanik dengan ketebalan 100-350 m. Di sebelah Selatan penambangan ditemukan batuan beku basalt.

Hal ini dapat diperkirakan bahwa di daerah ini juga ekstrusi basalt (proses pembentukan dari basalt menjadi batu kapur). Ekstrusi ini yang kemudian menyebabkan terjadinya penghamburlan batu kapur menjadi karst

dengan kristal-kristal yang besar-besar. Dinding-dinding bukit batu ini memperlihatkan gejala perapuhan melalui kekar-kekar yang terdapat di daerah tersebut yang menyebabkan rongga-rongga.

Morfologi Bukit Karang Putih terbagi dua unit morfologi, yaitu morfologi perbukitan terjal dan morfologi lembah. Morfologi perbukitan terjal menempati bagian Utara Tengah, Timur dan Selatan daerah penambangan. Mempunyai pegunungan berarah Barat-Laut Tenggara dan Timur-Barat. Mempunyai puncak yang landai ke arah utara dan puncak yang terjal serta ber relief kasar kearah Selatan. Morfologi ini berada pada ketinggian antara 262-525 m diatas permukaan laut, dan dibatasi oleh lereng yang terjal di bagian Utara, Barat, Timur dan Selatan dengan sudut Berkisar antara 45°-75°.

Morfologi lembah terletak dibagian barat dari penambangan, memanjang kearah Barat Laut-Tenggara, searah dengan pegunungan perbukitan dan arah aliran sungai. Morfologi ini berada pada ketinggian 250-400 mdpl. Umumnya ditempati oleh endapan vulkanik (tufa) dan bahan timbunan yang beaneka ragam.



Gambar 2. Peta Geologi Bukit Karang Putih

1.3 Sifat Fisik dan Mekanik

Berdasarkan hasil conto permukaan dan inti bor di laboratorium PT. Semen Padang di pertengahan 2010, diketahui sifat fisik batu kapur di Bukit Karang Putih adalah sebagai berikut:

- Warna : Putih/bening, Abu-abu tua sampai gelap
- Kekerasan : 3-5 Skala Mohs
- Belahan : Bentuk Sempurna
- Pecahan : Kaca bentuk earthy
- Sifat dalam : Dari yang keras, liat hingga brittle
- Density insitu (bcm) : 2,6 ton/m³
- Density loose (lcm) : 1,6 ton/m³

Kandungan unsur kimia (mineral), sebagai berikut:

- CaO : 52%
- CO₂ : 28%
- SiO₂ (Silika) : 6%
- H₂O : 4,4%

- MgO (Periklas) : 3%
- FeO (Gutit) : 0,7 %
- Mineral ikutan : TiO₂ (Rutil), Al₂O₃ (Korondum), Fe₂O₃ (Hematit)

Sedangkan untuk sifat mekanik Batu Kapur di Bukit Karang Putih dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

Tabel 1. Uji Geoteknik Batu Kapur Karang Putih

No	PARAMETER	SATUAN	PPTM	PTM	GAMMA
			1992	1996	EPSILON 1997
1	Bobot Isi	ton/m ³	-	2,68	2,68
2	Kuat Tekan	Mpa	-	60	-
3	Kuat Tarik	Mpa	-	4	-
4	Modulus Elastisitas	Gpa	-	-	15,12
5	Kohesi Puncak	Mpa	-	4	5
6	Kohesi Puncak Semu	Mpa	-	-	0,34
7	Sudut Geser Dalam Puncak	...°	-	35	41,16
8	Sudut Geser Dalam Semu	...°	-	-	14,62
9	Lereng Tunggal				
	Tinggi	M	-	30	30
	Kemiringan	...°	-	75	70
10	Lereng Keseluruhan				
	Tinggi	M	-	110	375
	Kemiringan	...°	60	66	57

2 Kajian Teori

2.1 Peledakan

Peledakan merupakan kegiatan pemecahan suatu material (batuan) dengan menggunakan bahan peledak untuk memberai tanah penutup, membongkar batuan padat atau material berharga atau endapan bijih yang bersifat kompak dari batuan induknya menjadi material yang cocok untuk dikerjakan dalam proses produksi berikutnya^[1]. Peledakan merupakan salah satu metode yang dapat digunakan untuk pembongkaran material. Teknik peledakan merupakan tindak lanjut dari kegiatan pemboran, dimana tujuannya adalah untuk melepaskan batuan dari batuan induknya agar menjadi fragmen-fragmen yang berukuran lebih kecil sehingga memudahkan dalam proses penanganan material selanjutnya.

Bahan peledak adalah suatu bahan kimia senyawa tunggal atau campuran berbentuk padat, cair, atau campurannya yang apabila diberi aksi panas, benturan, gesekan, atau ledakan awal akan mengalami suatu reaksi kimia eksotermis sangat cepat dan hasil reaksinya sebagian atau seluruhnya berbentuk gas disertai panas dan tekanan sangat tinggi yang secara kimia lebih stabil^[2]. Peledakan memiliki daya rusak yang bervariasi tergantung jenis bahan peledak yang digunakan dan tujuan digunakannya bahan peledak tersebut.

Suatu operasi peledakan dinyatakan berhasil dengan baik pada kegiatan penambangan apabila target produksi terpenuhi, penggunaan bahan peledak efisien yang dinyatakan dalam jumlah batuan yang berhasil dibongkar per kilogram bahan peledak (yang disebut *Powder Factor*), diperoleh fragmentasi ukuran merata dengan sedikit bongkah (kurang dari 15% dari jumlah

batuan yang terbongkar perpeledakan), diperoleh dinding batuan yang stabil dan rata (tidak ada *overbreak*, *overhang*, dan retakan-retakan), dan dampak terhadap lingkungan terminimalisir^[3].

2.2 Geometri Peledakan

2.2.1 Geometri Peledakan ICI-Explosive

Rancangan geometri peledakan *ICI-Explosive* merupakan salah satu cara untuk merancang geometri peledakan dengan coba-coba atau *trial and error* atau *rule of thumb*^[2]. Parameter yang dihitung yaitu tinggi jenjang (H), *burden* (B), spasi (S), *subgrade* (J), *stemming* (T), dan *powder factor* (PF).

$$H = 60D - 140D \quad (1)$$

$$B = 25D - 40D \quad (2)$$

$$S = 1B - 1,5B \quad (3)$$

$$T = 20D - 30D \quad (4)$$

$$J = 8D - 12D \quad (5)$$

$$\text{Powder Factor (PF)} = \frac{\text{Berat Bahan Peledak}}{\text{Volume Batuan yang diledakkan}} \quad (6)$$

Keterangan:

D = Diameter lubang ledak (m)

2.2.2 Geometri Peledakan RL. Ash

Parameter yang digunakan dalam rancangan geometri peledakan menggunakan Teori RL. Ash yaitu *burden* (B), spasi (S) kedalaman lubang ledak (L), *subdrilling* (J), tinggi jenjang (H), *stemming* (T), dan jumlah isian bahan peledak (PC)^[4].

$$B = \frac{Kb \text{ terkoreksi} \times De}{39,3} \text{ m} \quad (7)$$

$$S = Ks \times B \quad (8)$$

$$T = Kt \times B \quad (9)$$

$$J = Kj \times B \quad (10)$$

$$H = Kh \times B \quad (11)$$

$$PC = H - T \quad (12)$$

Keterangan:

- Kb terkoreksi* = *Burden ratio* terkoreksi
- De* = *Diameter lubang ledak* (inch)
- Ks* = *Spacing ratio* (1,0-2,0)
- Kt* = *Stemming ratio* (0,7-1,0)
- Kj* = *Subdrilling ratio* (0,2-0,4)
- Kh* = *Hole depth ratio* (1,5-4,0)

2.3 Fragmentasi Hasil Peledakan

Fragmentasi hasil peledakan adalah istilah umum untuk menunjukkan ukuran setiap bongkah batuan hasil peledakan. Ukuran fragmentasi tergantung pada proses selanjutnya. Untuk tujuan tertentu ukuran fragmentasi yang besar atau bongkah diperlukan, misalnya disusun sebagai penghalang ditepi jalan tambang. Namun kebanyakan diinginkan ukuran fragmentasi yang kecil karena penanganan selanjutnya akan lebih mudah.

Fragmentasi hasil peledakan adalah salah satu faktor untuk menentukan keberhasilan suatu produk^[5]. Dimana tingkat fragmentasi diharapkan dapat sesuai dengan kapasitas *bucket excavator* dalam pekerjaan *loading* material serta berpengaruh terhadap pengoptimalan kinerja *crusher* dalam meremukkan material.

Dalam Peledakan, ukuran partikel fragmentasi hasil peledakan dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

2.3.1 Over Size Boulder

Size (ukuran batuan) yang membutuhkan *secondary blasting*.

2.3.2 Fines

Ukuran batuan yang sangat kecil dan halus, dan produk menjadi susah dalam *transport*, dikarenakan *loose* material.

2.3.4 Mid – Range

Ukuran rata-rata partikel yang ekonomis dan dapat dilakukan transportasi yang sesuai dengan kriteria perusahaan.

2.4 Fragmentasi Hasil Peledakan dengan Metode Kuz-ram

Semakin besar ukuran fragmentasi yang dihasilkan maka akan semakin lama waktu yang dibutuhkan oleh alat gali muat untuk menggali material hasil peledakan, begitu sebaliknya jika fragmentasi yang dihasilkan semakin kecil maka semakin cepat waktu yang dibutuhkan oleh alat gali muat untuk menggali material hasil peledakan^[6].

Tingkat fragmentasi batuan merupakan tingkat pecahan material sebagai hasil dari proses peledakan. Untuk memperkirakan ukuran rata-rata fragmentasi batuan hasil peledakan secara teori dapat digunakan persamaan *Kuznetsov* (1973)^[3]:

$$X = A_o \times \left[\frac{V}{Q} \right]^{0,8} \times Q^{0,17} \times \left[\frac{E}{115} \right]^{-0,63} \quad (13)$$

Keterangan:

- X = Rata-rata ukuran fragmentasi
- Ao = Faktor batuan (*Rock Factor*),
- V = Volume batuan per lubang
- Q = Jumlah bahan peledak tiap lubang

E = *Relative Weight Srength* bahan Peledak, untuk $Dabex_{73} = 87$

Untuk menentukan distribusi bongkahan fragmentasi hasil peledakan dapat digunakan persamaan *Roslin-Ramler* yaitu:

$$Rx = e^{-\left(\frac{x}{Xc}\right)^n} \quad (14)$$

$$Xc = \frac{X}{(0,693)^{1/n}} \quad (15)$$

$$n = \left[2,2 - 14 \frac{B}{De} \right] \times \left[\left(\frac{1+S/B}{2} \right)^{0,5} \right] \times \left[1 - \frac{W}{B} \right] \times \left[\frac{PC}{L} \right]$$

(16)

Keterangan:

- n = Indeks Keseragaman
- B = *Burden* (m)
- De = Diameter Lubang Ledak (mm)
- S = Spasi (m)
- W = Standar Deviasi Lubang Bor (m)
- PC = Panjang Kolom Isian (m)
- L = Tinggi Jenjang (m)
- Xc = Karakteristik Ukuran
- X = Fragmentasi rata-rata
- Rx = Persentase material yang tertahan (%)
- x = Ukuran ayakan (cm)

Sedangkan untuk perhitungan faktor batuan dilakukan dengan pembobotan batuan *Lily* (1986). Persamaan faktor batuan adalah sebagai berikut^[7]:

$$BI = 0,5 \times (RMD + JPS + JPO + SGI + H) \quad (17)$$

$$A = BI \times 0,12 \quad (18)$$

Keterangan:

- BI = *Blastibility index*
- RMD = *Rock mass description*
- JPS = *Joint plane spacing*
- JPO = *Joint plane orientation*
- SGI = *Spesific gravity index*
- H = *Hardness*
- A = Faktor batuan

2.5 Fragmentasi Hasil Peledakan dengan Split Dekstop

Analisis fragmentasi hasil peledakan merupakan indeks dasar untuk mengevaluasi efisiensi dari desain peledakan dan produktivitas^[8]. Ada beberapa perangkat lunak komputer yang telah diterapkan untuk menganalisis distribusi ukuran fragmetasi hasil peledakan ini, diantaranya yaitu *Split Dekstop*, *WipFrag*, dan *FragScan*. Dalam pembahasan ini yang digunakan adalah *Split Dekstop*.

Ada lima langkah untuk menentukan ukuran fragmentasi hasil peledakan menggunakan *Software Split Dekstop*, yaitu^[9]:

2.5.1 Scale Image

Menentukan skala yang akan ditentukan untuk setiap gambar yang diambil di lapangan.

2.5.2 Find Particle

Melakukan penggambaran otomatis dari fragmentasi pada masing-masing gambar yang di proses dan memungkinkan untuk diedit dengan cara *didelineasi* untuk memastikan hasil akurat.

2.5.3 Done Editing

Proses *editing* fragmentasi selesai dan disimpan di komputer.

2.5.4 Compute Size

Melibatkan perhitungan distribusi ukuran berdasarkan fragmen yang digambarkan.

2.5.5 Graphs and Output

Menyangkut grafik dan berbagai output untuk menampilkan informasi distribusi fragmentasi yang ditampilkan dalam suatu grafik hubungan persen kumulatif material yang lolos dengan ukuran distribusi fragmentasi batuan yang telah ada pada gambar.

2.6 Fragmentasi Optimal *Bucket Excavator*

Untuk menentukan ukuran fragmentasi optimal yang diangkut atau dimuat oleh *bucket excavator* dapat digunakan persamaan berikut^[3]:

$$Pdegree = (0,15 - 0,2)^3 \sqrt{E} \quad (19)$$

Keterangan:

Pdegree = ukuran optimal fragmentasi yang dimuat (cm)

E = kapasitas *bucket* (m³)

Fragmentasi yang sesuai dengan kapasitas *bucket excavator* akan mempermudah alat gali muat untuk menggali material hasil peledakan tersebut, sehingga *digging time* lebih cepat.

2.7 Digging Time dan Cycle Time Alat Gali Muat

2.7.1 Digging Time

Digging time adalah waktu yang digunakan oleh alat gali muat untuk menggaruk material yang akan dipindahkan. Pengamatan terhadap *digging time* merupakan salah satu parameter untuk memberikan

penilaian terhadap kinerja alat gali muat terhadap ukuran fragmen hasil peledakan^[10].

Kondisi material peledakan akan mempengaruhi tahanan gali (*digging resistance*) yang dialami oleh gigi-gigi *bucket* saat menggali material^[4]. Besarnya tahanan gali dipengaruhi oleh jenis material yang digali, apakah keras atau lunak, dan ukuran fragmentasinya. Fragmentasi berukuran *boulder* memiliki tahanan gali yang lebih besar, begitu pun sebaliknya.

2.7.2 Cycle Time

Cycle time merupakan total waktu pada alat gali muat, yang dimulai dari pengisian *bucket* sampai dengan menumpahkan muatan ke dalam alat angkut dan kembali kosong. Rumus untuk mencari waktu edar alat gali muat sebagai berikut:

$$CTm = Tm1 + Tm2 + Tm3 + Tm4 \quad [11] \quad (20)$$

Keterangan:

CTm = Waktu edar *excavator*, menit

Tm1 = Waktu menggali (*digging*) material, menit

Tm2 = Waktu berputar (*swing*) dengan *bucket* bermuatan, menit

Tm3 = Waktu menumpahkan muatan, menit

Tm4 = Waktu berputar (*swing*) dengan *bucket* kosong, menit

2.8 Analisis Regresi

Analisis regresi merupakan metode dalam statistika yang digunakan untuk mengetahui pola hubungan antara variabel bebas dan variabel terikat^[12]. Berdasarkan pola hubungannya, analisis regresi terbagi atas analisis regresi linear dan analisis regresi non-linear. Suatu model disebut model regresi non-linear apabila variabel-variabelnya ada yang berpangkat. Pada pembahasan ini yang digunakan adalah analisis regresi non-linear *logaritmatic*.

3 Metode Penelitian

Jenis penelitian yang dilakukan adalah penelitian terapan. Penelitian terapan dilakukan berkenaan dengan kenyataan-kenyataan praktis, penerapan, dan pengembangan ilmu pengetahuan yang dihasilkan oleh penelitian dasar. Tujuan utama penelitian terapan adalah mencari solusi tentang masalah-masalah tertentu sehingga dapat secara langsung diterapkan untuk memecahkan permasalahan yang dihadapi^[15].

4 Hasil dan Pembahasan

4.1 Target Ukuran Fragmentasi *Excavator*

Perhitungan ini dilakukan untuk menentukan ukuran fragmentasi hasil peledakan yang mudah diangkut atau

dimuat oleh *bucket excavator* atau sebgus-bagusnya ukuran fragmentasi hasil peledakan yang dimuat oleh *bucket excavator*, berikut adalah persamaannya:

$$P \text{ degree} = (0,15 - 0,2) \times \sqrt[3]{E}$$

$$P \text{ degree} = (0,15 - 0,2) \times \sqrt[3]{15 \text{ m}^3}$$

$$= 0,37 \text{ m} - 49 \text{ m} = 37 \text{ cm} - 49 \text{ cm}$$

Keterangan: E = Kapasitas *Bucket* (m^3)

Berdasarkan hasil perhitungan diatas, maka dapat ditentukan bahwa ukuran fragmentasi hasil peledakan yang optimal dimuat oleh *Bucket Excavator Caterpillar 6030* adalah berukuran 37 cm–49 cm.

4.2 Geometri Peledakan Aktual

Burden (B)	= 5,04 m
Spasi (s)	= 5,46 m
Kedalaman Lubang (L)	= 11,17 m
Subdrilling (J)	= 1 m
Stemming (T)	= 5,27 m
Tinggi Jenjang (H)	= 10,17
Panjang Isian (PC)	= 5,90 m

4.3 Perhitungan Fragmentasi Hasil Peledakan Menggunakan Metode *Kuz-ram*

Salah satu peledakan pada tanggal 4 April 2018:

Burden (B)	= 5 m
Spasi (s)	= 5 m
Kedalaman Lubang (L)	= 11,5 m
Subdrilling (J)	= 1 m
Stemming (T)	= 5 m
Tinggi Jenjang (H)	= 10,5 m
Panjang Isian (PC)	= 6,5 m
Volume Perlubang	= $B \times S \times H$
	= $5 \text{ m} \times 5 \text{ m} \times 10,5 \text{ m}$
	= $262,5 \text{ m}^3$

Loading Density (de)

$$de = \frac{1}{4} \times 3,14 (D)^2 \times SG \times 1000$$

$$de = \frac{1}{4} \times 3,14 (0,127)^2 \times 1,2 \times 1000$$

$$de = 15,19 \text{ Kg/m}$$

Pemakaian Handak Perlubang (Q)

$$Q = de \times PC$$

$$Q = 15,19 \text{ Kg/m} \times 6,5 \text{ m}$$

$$Q = 98,76 \text{ Kg}$$

$$\text{Powder Factor (PF)} = \frac{\text{Berat Bahan Peledak}}{\text{Volume Batuan yang diledakkan}}$$

$$\text{Powder Factor (PF)} = \frac{98,74 \text{ Kg}}{262,5 \text{ m}^3} = 0,38 \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{Fragmentasi Rata - Rata (X)} = A \times \left(\frac{V}{Q}\right)^{0,9} \times Q^{0,17}$$

$$X = 8,4 \times \left(\frac{262,5}{98,74}\right)^{0,9} \times 98,74^{0,17} \times \left(\frac{87}{115}\right)^{-0,63} = 47,79 \text{ cm}$$

Indeks Keseragaman (n)

$$n = \left[2,2 - 14 \frac{B}{De}\right] \times \left[\left(\frac{1 + S/B}{2}\right)^{0,5}\right] \times \left[1 - \frac{W}{B}\right] \times \left[\frac{PC}{L}\right]$$

$$= 1,02$$

$$\text{Karakteristik Ukuran (Xc)} = \frac{X}{(0,693)^{\frac{1}{n}}} = \frac{47,79}{(0,693)^{\frac{1}{1,02}}} = 68,45$$

Persentase fragmentasi $\geq 49 \text{ cm}$ (RX)

$$RX = e^{-\left[\frac{x}{Xc}\right]^n} \times 100 \%$$

$$RX = e^{-\left[\frac{49}{68,45}\right]^{1,02}} \times 100 \% = 48,16 \%$$

Persentase Fragmentasi $\leq 49 \text{ cm}$ (YX)

$$YX = 100 \% - 48,16 \% = 51,84 \%$$

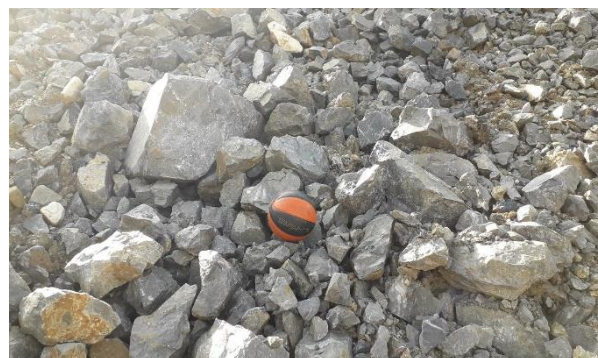
Tabel 2. Fragmentasi Hasil Peledakan

NO	Tanggal	front	Fragmentasi Rata-Rata (X) (cm)	49 cm (%)		80 cm (%)	
				RX	YX	RX	YX
1	4-Apr	5	47,79	48,16	51,84	30,33	69,67
2	5-Apr	5	49,50	52,25	47,75	34,66	65,34
3	6-Apr	5	51,43	56,94	43,06	39,88	60,12
4	17-Apr-18	5	52,03	42,45	57,55	24,68	75,32
5	20-Apr	5	49,42	48,67	51,33	30,87	69,13
6	24-Apr	5	62,74	62,33	37,67	46,22	53,78
7	26-Apr	5	64,13	63,48	36,52	47,62	52,38
Rata - Rata			53,86	53,47	46,53	36,32	63,68

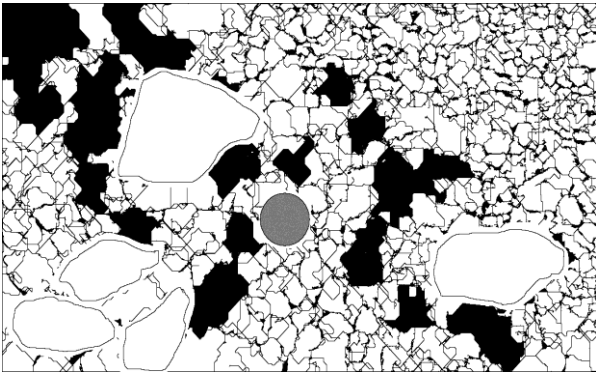
4.4 Perhitungan Fragmentasi Hasil Peledakan Menggunakan *Split Dekstop*

Dalam pengambilan foto setiap fragmentasi hasil peledakan menggunakan peralatan seperti bola pembeding dan kamera. Sebelum menganalisis foto fragmentasi hasil peledakan menggunakan *Software Split Dekstop*, maka harus diketahui terlebih dahulu berapa diameter bola yang digunakan sebagai pembeding. Peneliti menggunakan bola basket dengan diameter 23 cm sebagai pembeding hasil fragmentasi.

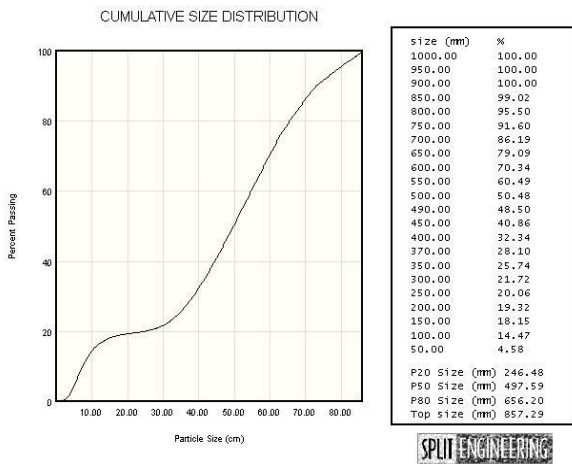
Berikut adalah salah satu perhitungan distribusi fragmentasi hasil peledakan menggunakan *Software Split Dekstop* untuk peledakan pada tanggal 17 April 2018:



Gambar 3. Fragmentasi Aktual



Gambar 4. Hasil Delienasi



Gambar 5. Distribusi Ukuran Fragmentasi dengan Split Dekstop

4.5 Digging Time Material Hasil Peledakan

Material hasil dari peledakan akan digali dan dimuat oleh excavator ke dump truck sebelum dipindahkan ke unit crusher. Waktu yang dibutuhkan oleh alat gali muat untuk melakukan penggalian (*digging time*) dipengaruhi oleh ukuran fragmentasi hasil peledakan.



Gambar 6. Kegiatan Loading Batuan Hasil Peledakan

Digging time merupakan waktu yang dibutuhkan oleh alat gali muat mulai dari gigi gali kontak ke batuan sampai bucket terisi penuh dan posisi mulai terangkat sebelum melakukan *swing* ke dump truck. Pengambilan

data *digging time* dilakukan pada setiap lokasi peledakan yang diamati dan alat gali muat yang diamati adalah excavator jenis Caterpillar EC 03.

Dari pengamatan yang dilakukan terlihat bahwa fragmentasi berukuran besar (*boulder*) membutuhkan waktu penggalian yang lebih lama dibandingkan fragmentasi yang berukuran lebih kecil. Hal ini disebabkan karena tahanan gali (*digging resistance*) yang dialami oleh gigi-gigi bucket saat menggali lebih besar pada material yang berukuran *boulder*. Selain itu juga disebabkan karena keras atau lunaknya material yang akan digali.

Tabel 3. Digging Time Material Hasil Peledakan

NO	TANGGAL	front	FRAGMENTASI	DIGGING TIME	VOLUME (m ³)
1	4-Apr	5	47,79	11	262,5
2	5-Apr	5	49,50	12	257,5
3	6-Apr	5	51,43	14	245
4	17-Apr	5	52,03	13	306
5	20-Apr	5	49,42	12	270,4
6	24-Apr	5	62,74	18	300
7	26-Apr	5	64,13	20	318
Jumlah			377,04	100	1959,4
Rata - Rata			53,86	14,29	279,91

Tabel 4. Cycle Time Excavator EC 03

DIGGING TIME (s)	SWING ISI (s)	Waktu Tumpah (s)	SWING KOSONG (s)	CYCLE TIME (s)
11	8	6	7	32
12	8	6	8	34
14	7	7	8	36
13	9	8	7	37
12	8	6	7	33
18	9	7	8	42
20	9	7	7	43

4.6 Geometri Usulan

Ukuran fragmentasi yang optimal berdasarkan kapasitas dari Bucket Excavator EC 03 adalah 37 cm-49 cm, sedangkan ukuran fragmentasi rata-rata aktual dari hasil peledakan adalah 53,86 cm, sehingga membutuhkan waktu untuk menggali (*digging time*) material 14,29 detik.

Untuk mengatasi hal tersebut perlu dilakukan kajian terhadap geometri peledakan untuk mendapatkan fragmentasi hasil peledakan yang optimal sesuai dengan kapasitas bucket alat gali muat yaitu 37 cm-49 cm. Teori yang digunakan yaitu Teori ICI-Explosive dan RL Ash.

4.6.1 Geometri Peledakan Berdasarkan Teori ICI-Explosive

Geometri usulan menggunakan Teori ICI-Explosive untuk mendapatkan ukuran fragmentasi hasil peledakan yang sesuai dengan kapasitas bucket dari excavator yaitu:

- Tinggi Jenjang (H) = 60 d – 140 d
= 75 x 0,127 m
= 9,52 m ≈ 9,5 m
- Burden (B) = 25d – 40d
= 39 x 0,127 m
= 4,95 m ≈ 5 m
- Spasi (S) = 1B – 1,5B
= 1,2 x 5 m
= 6 m
- Subdrilling (J) = 8d – 12d
= 12 x 0,127 m
= 1,52 m ≈ 1,5 m
- Stemming (T) = 20d – 30d
= 30 x 0,127 m
= 3,81 m ≈ 3,8 m
- Kedalaman Lubang (L) = H + J
= 9,5 m + 1,5 m
= 11 m
- Panjang Isian (PC) = L - T
= 11 m – 3,8 m
= 7,2 m
- Volume Perlubang (V) = B x S x H
= 5 m x 6 m x 9,5 m
= 285 m³

- Loading Density (de)
de = ¼ x 3,14 x (D)² x SG x 1000
de = ¼ x 3,14 x (0,127 m)² x 1,2 x 1000
de = 15,19 Kg/m

- Pemakaian Handak Perlubang (Q)
Q = de x PC
Q = 15,19 kg/m x 7,2 m
Q = 109,37 Kg

- Powder Factor (PF)
$$PF = \frac{\text{Berat Bahan Peledak}}{\text{Volume Batuan yang diledakkan}}$$
$$PF = \frac{109,37}{285} = 0,38 \text{ Kg/m}^3$$

- Fragmentasi Rata – Rata (X)
$$X = A \times \left(\frac{V}{Q}\right)^{0,8} \times Q^{0,17} \times \left(\frac{E}{115}\right)^{-0,63}$$
$$X = 8,4 \times \left(\frac{285}{109,37}\right)^{0,8} \times 109,37^{0,17} \times \left(\frac{87}{115}\right)^{-0,63} = 47,86 \text{ cm}$$

- Indeks Keseragaman (n)
$$n = \left[2,2 - 14 \frac{B}{De}\right] \times \left[\left(\frac{1 + \frac{S}{B}}{2}\right)\right]^{0,5} \times \left[1 - \frac{W}{B}\right] \times \left[\frac{PC}{H}\right]$$
$$n = \left[2,2 - 14 \frac{5}{5}\right] \times \left[\left(\frac{1 + \frac{6}{5}}{2}\right)\right]^{0,5} \times \left[1 - \frac{0}{5}\right] \times \left[\frac{7,2}{9,5}\right]$$
$$= 1,37$$

- Karakteristik Ukuran (Xc)

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

$$Xc = \frac{47,86}{(0,693)^{1/1,37}} = 62,49 \text{ cm}$$

- Persentase Fragmentasi ≥ 49 cm (Rx 49)

$$Rx = e^{-\left[\frac{x}{Xc}\right]^n} \times 100 \%$$

$$Rx = e^{-\left[\frac{49}{62,49}\right]^{1,37}} \times 100 \%$$

$$= 34,03 \%$$

- Persentase Fragmentasi ≤ 49 cm (Yx 49)

$$Yx = 100 \% - 34,03 \% = 65,97 \%$$

- Persentase Fragmentasi ≥ 80 cm (Rx 80)

$$Rx = e^{-\left[\frac{x}{Xc}\right]^n} \times 100 \%$$

$$Rx = e^{-\left[\frac{80}{62,49}\right]^{1,37}} \times 100 \%$$

$$= 17,21 \%$$

- Persentase Fragmentasi ≤ 80 cm (Yx 80)

$$Yx = 100 \% - 17,21 \% = 82,79 \%$$

Dengan kecilnya ukuran fragmentasi akan berkurangnya waktu penggalian (*digging time*) material hasil peledakan. Dari geometri usulan menggunakan ICI-Explosive didapatkan fragmentasi rata-rata yaitu 47,86 cm, dimana ukuran ini sudah termasuk kedalam ukuran yang optimal dimuat oleh Bucket Excavator EC 03 yaitu 37 cm-49 cm, dengan lebih kecilnya ukuran fragmentasi dari geometri usulan akan mempercepat waktu untuk menggali material hasil peledakan.

4.6.2 Geometri Peledakan Berdasarkan RL. Ash

Diketahui:

- B = Burden
- Kb_{std} = 30
- SG = Berat jenis bahan peledak yang dipakai
= 1,20 gr/cc
- SG_{std} = Berat jenis bahan peledak standar
= 1,20 gr/cc
- Ve_{dabex} = 5300 m/s
= 17388 f/s
- Ve_{std} = 12000 f/s
- De = Diameter lubang ledak = 5 inchi
- D = Bobot isi batu gamping
= 2,65 ton/m³
= 165 lb/ft
- D = Bobot isi batuan standar
= 2,56 ton/m³
= 160 lb/ft

- Burden (B)

Faktor Penyesuaian (*Adjustment Factor*)

$$Af1 = \frac{(D_{std})^{\frac{1}{3}}}{D}$$

$$Af1 = \left(\frac{160}{165}\right)^{1/3} = 0,99$$

$$Af2 = \left(\frac{SG \times (Ve)^2}{SG_{std} \times (Ve_{std})^2}\right)^{1/3}$$

$$Af2 = \left(\frac{1,2 \times (17388)^2}{1,2 \times (12000)^2} \right)^{1/3} = 1,28$$

$$Kbterkoreksi = Kbstandar \times Af1 \times Af2$$

$$Kbterkoreksi = 30 \times 0,99 \times 1,28 = 38,02$$

$$B = \frac{Kb \times De}{39,3}$$

$$B = \frac{38,02 \times 5}{39,3} = 4,8 \text{ m}$$

- Spasi (B)

$$S = B \times Ks = 4,8 \text{ m} \times 1,2 = 5,8 \text{ m}$$

- Stemming (T)

$$T = B \times Kt = 4,8 \text{ m} \times 0,7 = 3,3 \text{ m}$$

- Subdrilling (J)

$$J = B \times Kj$$

$$J = 4,8 \text{ m} \times 0,3 = 1,4 \text{ m}$$

- Kedalaman Lubang ledak (L)

$$L = B \times Kl$$

$$L = 4,8 \text{ m} \times 2,54 = 12,2 \text{ m}$$

- Tinggi Jenjang (H)

$$H = L - J$$

$$H = 12,2 \text{ m} - 1,4 \text{ m} = 10,8 \text{ m}$$

- Panjang Kolom Isian (PC)

$$PC = L - T$$

$$PC = 12,2 \text{ m} - 3,3 \text{ m} = 8,9 \text{ m}$$

- Volume Peledakan (V)

$$V = B \times S \times H$$

$$V = 4,8 \text{ m} \times 5,8 \text{ m} \times 10,8 \text{ m} = 300,67 \text{ m}^3$$

- Loading Density (de)

$$de = \frac{1}{4} \times 3,14 \times (D)^2 \times SG \times 1000$$

$$de = \frac{1}{4} \times 3,14 \times (0,127 \text{ m})^2 \times 1,2 \times 1000$$

$$de = 15,19 \text{ Kg/m}$$

- Pemakaian Handak Perlubang (Q)

$$Q = de \times PC$$

$$Q = 15,19 \text{ kg/m} \times 8,9 \text{ m} = 135,22 \text{ Kg}$$

- Powder Factor (PF) = $\frac{\text{Berat Bahan Peledak}}{\text{Volume Batuan yang diledakkan}}$

$$\text{Powder Factor (PF)} = \frac{135,22}{300,67} = 0,45 \text{ Kg/m}^3$$

- Fragmentasi Rata - Rata (X) = $A \times \left(\frac{V}{Q}\right)^{0,8} \times Q^{0,17} \times \left(\frac{E}{115}\right)^{-0,63}$

$$X = 8,4 \times \left(\frac{300,67}{135,22}\right)^{0,8} \times 135,22^{0,17} \times \left(\frac{87}{115}\right)^{-0,63} = 43,71 \text{ cm}$$

- Indeks Keseragaman (n)

$$n = \left[2,2 - 14 \frac{B}{De} \right] \times \left[\left(\frac{1 + \frac{S}{B}}{2} \right) \right]^{0,5} \times \left[1 - \frac{W}{B} \right] \times \left[\frac{PC}{H} \right]$$

$$n = 1,52$$

- Karakteristik Ukuran (Xc) = $\frac{X}{(0,693)^{1/n}}$

$$\text{Karakteristik Ukuran (Xc)} = \frac{43,71}{(0,693)^{1,52}} = 55,63 \text{ cm}$$

- Persentase Fragmentasi ≥ 49 cm (Rx 49)

$$Rx = e^{-\left[\frac{x}{Xc}\right]^n} \times 100 \%$$

$$Rx = e^{-\left[\frac{49}{55,63}\right]^{1,52}} \times 100 \% = 26,21 \%$$

- Persentase Fragmentasi ≤ 49 cm (Yx 49)

$$Yx = 100 \% - 26,21 \% = 73,79 \%$$

- Persentase Fragmentasi ≥ 80 cm (Rx 80)

$$Rx = e^{-\left[\frac{x}{Xc}\right]^n} \times 100 \%$$

$$Rx = e^{-\left[\frac{80}{55,63}\right]^{1,52}} \times 100 \% = 11,23 \%$$

- Persentase Fragmentasi ≤ 80 cm (Yx 80)

$$Yx = 100 \% - 11,23 \% = 88,77 \%$$

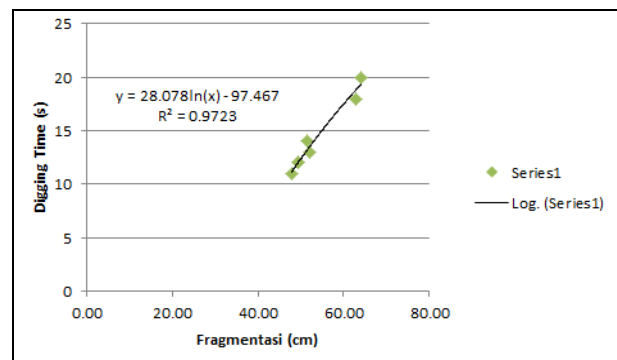
Berdasarkan geometri peledakan Teori *RL Ash* didapatkan fragmentasi hasil peledakan berukuran 43,71 cm.

Geometri usulan menggunakan Teori *ICI-Explosive* dan *RL Ash* menghasilkan fragmentasi yang sesuai dengan kapasitas *bucket* yaitu masing-masing 47,86 cm dan 43,71 cm. Fragmentasi ini akan mempermudah kinerja alat gali muat dalam menggali material hasil peledakan.

4.7 Analisis Regresi

Untuk mengetahui berapa waktu yang dibutuhkan oleh alat gali muat dalam menggali material hasil peledakan, berdasarkan fragmentasi batuan hasil peledakan dari geometri usulan, maka perlu dilakukan analisis dari kedua variabel tersebut menggunakan analisis regresi.

Pada pembahasan ini analisis yang digunakan adalah analisis regresi *logaritmatic*.



Gambar 7. Kurva Analisis Regresi *Logaritmatic* Antara Fragmentasi Hasil Peledakan dan *Digging Time*

Dari grafik hubungan antara fragmentasi hasil peledakan terhadap *digging time* diatas dapat dilihat bahwa koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,9723. Dibandingkan dengan analisis yang lain analisis regresi *logaritmatic* memiliki nilai koefisien determinasi (R^2) yang paling tinggi, sehingga pada pembahasan ini digunakan analisis regresi *logaritmatic*, dengan koefisien korelasi 0,986. Adapun persamaan yang didapatkan yaitu:

$$Y = 28,078 \ln(x) - 97,467 \quad (21)$$

Keterangan:

Y = Prediksi nilai *digging time*

x = Fragmentasi geometri usulan

4.7.1 Prediksi *Digging Time* Berdasarkan Fragmentasi dari Teori *ICI-Explosive*

Geometri usulan menggunakan Teori *ICI-Explosive* secara teoritis mendapatkan fragmentasi hasil peledakan yaitu 47,86 cm. Sedangkan untuk mengetahui berapa waktu yang dibutuhkan oleh gali muat untuk menggali material hasil peledakan dapat diketahui dengan persamaan 21.

$$Y = 28,078 \ln(x) - 97,467$$

$$Y = 28,078 \ln(47,86) - 97,467$$

$$Y = 11,15 \text{ detik}$$

Jadi dengan fragmentasi berukuran 47,86 cm diperkirakan waktu yang dibutuhkan untuk menggali material hasil peledakan (*digging time*) adalah 11,15 detik.

4.7.2 Prediksi *Digging Time* Berdasarkan Fragmentasi dari Teori *RL. ASH*

Geometri usulan menggunakan Teori *RL. Ash* secara teoritis mendapatkan fragmentasi hasil peledakan yaitu 43,71 cm. Sedangkan untuk mengetahui berapa waktu yang dibutuhkan oleh gali muat untuk menggali material hasil peledakan dapat diketahui dengan persamaan 21.

$$Y = 28,078 \ln(x) - 97,467$$

$$Y = 28,078 \ln(43,71) - 97,467$$

$$Y = 8,6 \text{ detik}$$

Jadi dengan fragmentasi berukuran 43,71 cm diperkirakan waktu yang dibutuhkan untuk menggali material hasil peledakan atau (*digging time*) adalah 8,6 detik.

4.7.3 Perbandingan Geometri Peledakan Aktual dengan Usulan

Tabel 5. Perbandingan Geometri Peledakan Aktual dan Usulan

AKTUAL			USULAN					
VOLUME (m ³)	FRAGMENTASI (cm)	DIGGING TIME (s)	ICI EXPLOSIVE			RL. ASH		
			VOLUME (m ³)	FRAGMENTASI (cm)	DIGGING TIME (s)	VOLUME (m ³)	FRAGMENTASI (cm)	DIGGING TIME (s)
279,91	53,86	14,29	285	47,86	11,15	300,67	43,71	8,6

Dari Tabel diatas dapat dilihat bahwa geometri peledakan aktual rata-rata menghasilkan volume peledakan 279,91 m³ perlubang, dengan fragmentasi sebesar 53,86 cm dan *digging time* 14,29 detik. Sedangkan geometri usulan dengan Teori *ICI-Explosive* menghasilkan volume peledakan 285 m³ perlubang, dengan fragmentasi sebesar 47,86 cm dan *digging time* 11,15 detik. Geometri usulan menggunakan Teori *RL.Ash* menghasilkan volume perlubang 300,67 m³, dengan fragmentasi berukuran 43,71 cm dan *digging time* 8,6 detik.

Sehingga dapat disimpulkan geometri peledakan usulan menggunakan Teori *RL. Ash* lebih bagus digunakan karena mendapatkan volume peledakan perlubang, fragmentasi, dan *digging time* yang lebih bagus dari pada geometri aktual dan *ICI-Explosive*.

5 Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

1. Volume yang didapatkan perlubang ledak adalah 279,91 m³.
2. Ukuran rata-rata fragmentasi hasil peledakan aktual menggunakan Teori *Kuz-ram* adalah 53,86 cm.
3. Waktu yang dibutuhkan oleh *Excavator EC 03* untuk menggali fragmentasi hasil peledakan dengan ukuran 53,86 cm adalah 14,29 detik
4. *Design* geometri peledakan usulan yang lebih baik adalah menggunakan Teori *RL. Ash*, dengan *burden* 4,8 m, *spasi* 5,8 m, *stemming* 3,3 m, *subdrilling* 1,4 m, kedalaman lubang ledak 12,2 m tinggi jenjang 10,8 m, panjang kolom isian 8,9 m. Dimana dengan geometri peledakan tersebut menghasilkan volume perlubang ledak 300,67 m³ dengan fragmentasi berukuran 43,71 cm.
5. Ukuran fragmentasi hasil peledakan akan mempengaruhi *digging time* material hasil peledakan tersebut. Semakin besar fragmentasi yang dihasilkan akan semakin lama waktu yang dibutuhkan untuk menggali material tersebut. Dengan geometri usulan menggunakan Teori *ICI-Explosive* menghasilkan *digging time* 11,15 detik sedangkan menggunakan Teori *RL. Ash* 8,6 detik.

8.2 Saran

1. Geometri peledakan hendaknya diperhatikan lagi agar fragmentasi hasil peledakan menghasilkan ukuran yang sesuai dengan ukuran optimal *bucket excavator*.
2. Meningkatkan pengawasan terhadap pemboran dan peledakan terutama saat pengisian *DABEX* dan saat pemadatan *stemming* agar peledakan menghasilkan hasil yang optimal.
3. Pengisian bahan peledak hendaknya disesuaikan dengan perhitungan teoritis agar fragmentasi hasil peledakan mencapai target ukuran fragmentasi yang diinginkan.
4. Ukuran fragmentasi hasil peledakan hendaknya berkisar antara 37 cm–49 cm, sehingga penggalian batuan hasil peledakan tidak membutuhkan waktu yang lama dan sesuai dengan ukuran yang sebaiknya dimuat oleh *bucket excavator*.

Daftar Pustaka

- [1] Bhandari, Sushil. *Engineering Rock Blasting Operation*. India : Department of Mine Engineer J.N.V University Jodhpur. (1997).
- [2] Kopa, Raimon. *Hand Out Teknik Peledakan*. Padang : UNP. (2016).
- [3] Adha, R. L. *Pengaruh Fragmentasi Hasil Peledakan Terhadap Produktivitas Alat Gali Muat di PT. Semen Padang, Bukit Karang Putih Indarung, Sumatera Barat*. ETD Unsyiah. (2017).

- [4] Ghadafi, M. A., Komar, S., & Sudarmono, D. *Kajian Teknis Geometri Peledakan Berdasarkan Analisis Blastability dan Digging Rate Alat Gali Muat di PIT MT-4 Tambang Air Laya PT. Bukit Asam (Persero) Tbk Tanjung Enim, Sumatera Selatan*. Jurnal Ilmu Teknik, 2(3). (2014).
- [5] Handayan, R. L. *Pengaruh Geometri Peledakan Terhadap Fragmentasi Batuan pada PT. Pamapersada Nusantara Site Adaro Provi*. Jurnal Geomine, 3(1). (2015).
- [6] Abimanyu, D. *Evaluasi Geometri Peledakan Terhadap Fragmentasi Batuan dan Biaya Peledakan PT. Teguh Sinarabadi, Kabupaten Kutai Barat Provinsi Kalimantan Timur*. Jurnal Teknologi Mineral FT UNMUL, 6(2). (2018).
- [7] Safarudin, S., Purwanto, P., & Djamaluddin, D. *Analisis Pengaruh Geometri Peledakan Terhadap Fragmentasi dan Digging Time Material Blasting*. Jurnal Penelitian Enjiniring (JPE), 20(2), 54-62. (2016).
- [8] Han, J. H., & Song, J. J. *Statistical Estimation of Blast Fragmentation by Applying Stereophotogrammetry to Block Piles*. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 68, 150-158. (2014).
- [9] Sinaga, F. H., & Kopa, R. *Analisis Pengaruh Double Deck Primer Terhadap Fragmentasi Batu Kapur di Quarry D Blok 2 Lokasi 198 PT. Indocement Tunggal Prakarsa Tbk. Citeureup Bogor-Jawa Barat*. Bina Tambang, 3(3), 994-1003.(2018).
- [10] Nilasari, G. A., Nurhakim, N., Riswan, R., & Gunawan, H. *Evaluasi Geometri Berdasarkan Fragmentasi Hasil Peledakan pada Penambangan Batu Gamping di PT. Semen Tonasa*. Jurnal Himasapta, 2(2).(2017).
- [11] Fitriani, Toha, M. Taufik, Bochori. *Kajian Teknis Pengaruh Fragmentasi Terhadap Digging Time Excavator PC 2000 pada Peledakan Interburden B2C di Tambang Air Laya, di PT. Bukit Asam (Persero), Tbk. Tanjung Enim, Sumatera Selatan*. Jurnal Ilmu Teknik FT UNSRI. (2015)
- [12] Hosmer, D. W., & Lemeshow, S. *Applied Logistic Regression*. John Wiley & Sons. New York. (2000).
- [13] Putri, M., Yulhendra, D., & Octova, A. *Optimasi Geometri Peledakan Untuk Mencapai Target Fragmentasi dan Diggability Dalam Pemenuhan Target Produktivitas Ore di Pit Durian Barat dan Pit South Osela Site Bakan PT. J Resources Bolaang Mongondow Sulawesi Utara*. Bina Tambang, 3(1), 588-60.(2018).