

RANCANGAN GEOMETRI PELEDAKAN YANG EFISIEN UNTUK MENDAPATKAN DISTRIBUSI UKURAN FRAGMENTASI BATU GAMPING

Design of Efficient Blasting Geometry to Obtain Fragmentation Size Distribution of Limestone

MURAD*, SEPTAMI SETIAWATI** dan WAHDANIAH MUKHTAR**

Jurusan Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Tanjungpura Pontianak
Jl. Prof. Dr. H. Hadari Nawawi, Pontianak, Kalimantan Barat
Korespondensi e-mail: murad@teknik.untan.ac.id
*Kontributor Utama **Kontributor Anggota

ABSTRAK

Distribusi fragmentasi batuan hasil peledakan menjadi salah satu faktor penentu keberhasilan dari model rancangan metode peledakan untuk pembongkaran material galian. Perhitungan fragmentasi batuan hasil peledakan menggunakan teori R.L. Ash, C.J. Konya, dan ICI-Explosive. Metode untuk mengetahui ukuran fragmentasi batuan hasil peledakan dan analisis distribusi ukuran fragmentasi pada kegiatan peledakan menggunakan metode Kuz-Ram dan software *Split Desktop 4.0*. Desain rancangan geometri peledakan yang baik dari segi teknis dan ekonomis dapat menghasilkan target produksi sesuai dengan rancangan yang dibuat oleh perusahaan dalam menghasilkan ukuran fragmentasi rata-rata batu gamping < 50 cm. Geometri peledakan yang diterapkan oleh PT. Semen Padang menghasilkan volume perlubang 275 m³ dengan fragmentasi 53,46 cm. Hasil dari rancangan fragmentasi berdasarkan pada teori R.L. Ash dan metode Kuz-Ram menghasilkan volume perlubang sebesar 300,67 m³ dan ukuran fragmentasi sebesar 50,07 cm. Sementara itu, analisis metode C.J. Konya menghasilkan volume perlubang sebesar 422,4 m³ dengan ukuran fragmentasi rata-rata 44,17 cm, dan metode ICI-Explosive menghasilkan volume perlubang sebesar 285 m³ dengan ukuran fragmentasi rata-rata 47,86 cm. Berdasarkan perhitungan geometri peledakan, analisis fragmentasi serta perhitungan keekonomian menunjukkan bahwa geometri peledakan usulan menggunakan teori C.J. Konya lebih optimal dan memungkinkan untuk diterapkan karena menghasilkan volume peledakan perlubang yang lebih besar, persentase fragmentasi < 50 cm yang lebih tinggi sesuai dengan kapasitas *bucket*, serta total pendapatan dan keuntungan yang lebih besar dibandingkan dengan dua metode lainnya.

Kata kunci: fragmentasi, geometri, Kuz-Ram, peledakan, *Split Desktop 4.0*.

ABSTRACT

The rock fragmentation distribution resulting from blasting is one of the important factors of the blasting method design model for dismantling excavated materials. Calculation of rock fragmentation resulting from blasting using the R.L. Ash, C.J. Konya, and ICI-Explosive theories. The method for determining the size of rock fragmentation resulting from blasting and analysis of the fragmentation size distribution in blasting activities uses the Kuz-Ram method and *Split Desktop 4.0* software. A good blasting geometry design from a technical and economical point of view enables achieving target production according to the design made by the company in producing an average fragmentation size of limestone < 50 cm. Blasting geometry applied by PT. Semen Padang produces a hole volume of 275 m³ with a fragmentation of 53.46 cm. The results of the fragmentation design are based on the R.L. Ash theory and the Kuz-Ram method, with a volume of 300.67 m³ in each hole and a fragmentation size of 50.07 cm, while using C.J. Konya analysis resulted in a hole volume of 422.4 m³ with an average fragmentation of 44.17 cm, and ICI-Explosive method resulted in a hole volume of 285 m³ with an average fragmentation of 47.86 cm. Based on blasting geometry calculation, fragmentation analysis and economic calculations, it is shown that the blasting geometry suggestion using C.J. Konya theory is more optimal and feasible to apply because it results in a larger hole blasting volume, higher percentage of fragmentation of < 50 cm which is compatible with the bucket capacity, as well as higher revenue and profit compared to the other two methods.

Keywords: fragmentation, geometry, Kuz-Ram, blasting, *Split Desktop 4.0*.

PENDAHULUAN

Dalam kegiatan pertambangan sering dijumpai sifat batuan yang relatif keras sehingga untuk membeaikan batuan tersebut perlu proses peledakan. Proses peledakan ini bertujuan untuk menghancurkan batuan agar lebih mudah untuk digali dan dimuat kedalam alat angkut sehingga operasi penambangan dapat berjalan secara efektif dan efisien (Rinaldo, Heriyadi dan Prabowo, 2018).

Indikator keberhasilan proses peledakan ada beberapa macam, salah satunya adalah fragmentasi. Ukuran fragmentasi yang dihasilkan berpengaruh untuk proses penggalian dan pemuatan batuan/*ore* yang terledakkan. Suatu rancangan geometri peledakan yang optimal akan menghasilkan fragmentasi yang sesuai dengan perencanaan. Agar proses peledakan tersebut sesuai dengan sasaran perlu dikaji lebih lanjut rancangan geometri peledakan yang akan diterapkan di lapangan.

Bahan baku utama dalam pembuatan semen adalah batu gamping (*limestone*) yang mempunyai tingkat kekerasan yang tinggi sehingga tidak dapat digali secara langsung oleh alat gali muat seperti ekskavator maupun *power shovel*. Untuk membongkar batu gamping yang relatif keras tersebut, pengeboran dan peledakan dilakukan agar operasi penambangan berlangsung dengan efektif dan efisien. Selanjutnya, penanganan material hasil peledakan batu gamping dilakukan dengan penggalian dan pemuatan (Ridho dan Gusman, 2019).

Batu gamping tersebut diperoleh dari proses penambangan di lokasi tambang *quarry* Bukit Karang Putih PT. Semen Padang dengan cara tambang terbuka sistem *side hill type* yaitu sistem penambangan terbuka yang diterapkan untuk menambang batuan atau endapan mineral industri yang terletak di lereng bukit atau endapannya membentuk bukit (Samanlangi, 2016).

Kegiatan penambangan dilakukan dengan teknik pengeboran dan peledakan terlebih dahulu karena batuan yang ada di perusahaan PT. Semen Padang bersifat kompak dan masif, sehingga tidak dapat digali dengan menggunakan alat mekanis karena

mempertimbangkan faktor keamanan dan ekonomi.

Dalam suatu perencanaan kegiatan peledakan, ada beberapa faktor yang perlu diperhatikan, diantaranya tipe material, ketepatan pengeboran, pola geometri, dan bahan peledak yang digunakan. Pola geometri disesuaikan dengan tipe material dari blok peledakan agar hasil fragmentasi dapat memenuhi target yang ditetapkan.

Hasil pengamatan lapangan terkait fragmentasi kegiatan peledakan PT. Semen Padang menghasilkan fragmentasi hasil peledakan yang tidak seragam. Ukuran fragmentasi hasil peledakan bervariasi, mulai dari ukuran 30 cm, 50 cm, 70 cm, 80 cm, bahkan ada yang berukuran >100 cm. Umumnya kegiatan peledakan PT. Semen Padang menghasilkan fragmentasi hasil peledakan >50 cm. Variasi ukuran fragmentasi batuan hasil peledakan tersebut mempengaruhi produktivitas alat gali muat yang ada di lokasi penambangan PT. Semen Padang.

Observasi terhadap operasi peledakan yang ada saat ini meliputi geometri peledakan, pola lubang ledak, dan penggunaan bahan peledak, serta pengaruhnya terhadap kondisi batuan, sebagai pertimbangan rancangan peledakan (modifikasi) dalam rangka mengurangi *boulder* untuk meningkatkan produktivitas alat gali muat yang optimal. Fragmentasi besar dipengaruhi oleh adanya pengurangan bahan peledak atau bisa juga karena pada saat *charging* bahan peledak dalam hal ini *Ammonium Nitrate and Fuel Oil* (ANFO) tidak masuk secara optimal ke dalam lubang ledak (Bhandari, 1997).

Ukuran fragmentasi diharapkan tidak banyak menimbulkan kesulitan dalam proses penanganan, baik dalam pemuatan, pengangkutan, maupun peremukan. Untuk itu, ukuran fragmentasi diharapkan tidak melebihi 50 cm yang didasarkan oleh kemampuan alat gali muat dan mulut *crusher* untuk menerima umpan. Hasil fragmentasi peledakan ditemukan masih terdapat banyak bongkah (>50 cm). *Boulder* tersebut akan mempengaruhi produktivitas ekskavator yang digunakan.

Banyak cara yang dapat dilakukan dalam memperhitungkan distribusi hasil fragmentasi batuan, antara lain dengan menggunakan

metode Kuz-Ram dan metode *Image Analysis*. Kedua metode ini memiliki perbedaan yang cukup signifikan. Metode Kuz-Ram sangat memperhatikan distribusi ukuran fragmentasi batuan hasil peledakan, sedangkan metode *Image analysis* tidak terlalu memperhatikan distribusi ukuran fragmentasi batuan, tetapi langsung kepada tingkat keseragaman fragmentasi batuan (Harukadol dan Kopa, 2021).

Hasil kajian yang telah dilakukan peneliti sebelumnya antara lain, Trivedi, Singh dan Raina (2016); Akinbinu (2017); Hembram dkk. (2017); Perera dkk. (2017); Mendis dkk. (2018); Mohamed, Mahran dan Mohamed, (2020); Kiamba, Kinyua dan Kasomo, (2020); Paswan dkk. (2021); Mutinda dkk. (2021); Azizi dan Moomivand (2021); Xie dkk.(2021); Lawal (2021); Sundari (2022); Taiwo (2022); Pasaribu dan Yulhendra (2022) terkait rancangan geometri peledakan yang efisien ditinjau dari segi teknis dalam memprediksi dan menganalisis distribusi fragmentasi hasil peledakan.

Dalam penelitian ini dilakukan kajian teknis perancangan geometri peledakan dengan membandingkan hasil perhitungan geometri peledakan menggunakan tiga metode yaitu R.L. Ash, C.J. Konya, dan ICI-Explosive. Penelitian terdahulu umumnya hanya menggunakan satu atau kombinasi dua metode perhitungan geometri. Selain itu, penelitian ini juga menggabungkan aspek teknis dan ekonomis dari proses peledakan, sedangkan riset-riset terdahulu hanya mengkaji salah satu aspek saja.

Penelitian terapan ini bertujuan membuat desain rancangan geometri peledakan yang efisien dari segi teknis (menggabungkan tiga metode R.L Ash, C.J. Konya, dan ICI-Explosive) dan pertimbangan ekonomis terkait alat gali muat untuk mendapatkan ukuran fragmentasi batu gamping < 50 cm di PT. Semen Padang.

METODE

Pengolahan Data

Pengolahan data-data yang dilakukan dalam penelitian ini meliputi:

1. Perhitungan geometri peledakan aktual
2. Perhitungan fragmentasi hasil peledakan aktual menggunakan metode Kuz-Ram dan *software Split Desktop 4.0*.

3. Perhitungan geometri beberapa rancangan usulan berdasarkan teori R.L Ash, C.J. Konya, dan ICI-Explosive.
4. Perhitungan prediksi fragmentasi batuan dari beberapa hasil geometri peledakan usulan dengan metode Kuz-Ram.
5. Pemilihan dan uji coba geometri peledakan usulan terbaik.
6. Analisis distribusi fragmentasi batuan hasil geometri peledakan usulan dengan menggunakan *software Split Desktop 4.0*.

Geometri Peledakan R.L. Ash

Parameter yang digunakan dalam rancangan geometri peledakan menggunakan teori R.L. Ash (Ash, 1990) yaitu *burden* (B), spasi (S) kedalaman lubang ledak (L), *subdrilling* (J), tinggi jenjang (H), *stemming* (T), dan jumlah isian bahan peledak (PC).

$$B = \frac{Kb \text{terkoreksi} \times De}{39,30} \dots\dots\dots(1)$$

$$S = Ks \times B \dots\dots\dots(2)$$

$$T = Kt \times B \dots\dots\dots(3)$$

$$J = Kj \times B \dots\dots\dots(4)$$

$$H = Kh \times B \dots\dots\dots(5)$$

$$PC = H \times T \dots\dots\dots(6)$$

Keterangan:

- Kb terkoreksi = *burden* rasio terkoreksi
- De = diameter lubang ledak (inci)
- 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)

Geometri Peledakan C.J. Konya

Konya dan Walter (1990), menjelaskan parameter yang digunakan dalam rancangan geometri peledakan yaitu *burden* (B), spasi (S), *stemming* (T), *subdrilling* (J), kedalaman lubang ledak (H), tinggi jenjang (L), jumlah isian bahan peledak (PC), dan *loading density* (de).

$$B = 3,15 \times De \times \left(\frac{SGe}{SGr}\right)^{0,3} \dots\dots\dots(7)$$

Keterangan:

- B = *burden*
- De = diameter lubang ledak (inci)
- SGe = berat jenis bahan peledak yang dipakai
- SGr = berat jenis batuan yang dibongkar

$$S = \left(\frac{H+7(B)}{8}\right) \dots\dots\dots(8)$$

$$T = 0,70 \times B \dots\dots\dots(9)$$

$$J = 0,30 \times B \dots\dots\dots(10)$$

$$PC = H - T \dots\dots\dots(11)$$

$$PF = \frac{W \text{ handak}}{B \times S \times B \times H} \dots\dots\dots(12)$$

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*. Parameter yang dihitung yaitu tinggi jenjang (H), *burden* (B), spasi (S), *subgrade* (J), *stemming* (T), dan *powder factor* (PF).

$$H = 60D - 140D \dots\dots\dots(13)$$

$$B = 25D - 40D \dots\dots\dots(14)$$

$$S = 1B - 1,5B \dots\dots\dots(15)$$

$$T = 20D - 30D \dots\dots\dots(16)$$

$$J = 8D - 12D \dots\dots\dots(17)$$

$$PF = \frac{\text{Berat bahan peledak}}{\text{Volume batuan yang diledakkan}} \dots\dots\dots(18)$$

Keterangan:

D = diameter lubang ledak (m)

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 juga sebaliknya, jika fragmentasi yang dihasilkan semakin kecil maka semakin cepat waktu yang dibutuhkan oleh alat gali muat untuk menggali material hasil peledakan. 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):

$$X = A_o \times \left[\frac{V}{Q} \right]^{0,8} \times Q^{0,17} \times \left[\frac{E}{115} \right]^{-0,63} \dots\dots\dots(19)$$

Keterangan:

- X = rata-rata ukuran fragmentasi
- A_o = faktor batuan (*rock factor*)
- V = volume batuan per lubang
- Q = jumlah bahan peledak tiap lubang
- E = *relative weight strength* bahan peledak, untuk Dabex 73 = 87

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

$$R_x = E - \left(\frac{X}{X_c} \right)^n \dots\dots\dots(20)$$

$$X_c = \frac{X}{(0,693)^{1/n}} \dots\dots\dots(21)$$

$$n = \left[2,2 - 14 \frac{B}{D_e} \right] \times \left[\left(\frac{1+S/B}{2} \right)^{0,5} \right] \times \left[1 - \frac{W}{B} \right] \times \left[\frac{PC}{L} \right] \dots\dots\dots(22)$$

Keterangan:

- n = indeks keseragaman
- B = *burden* (m)
- D_e = diameter lubang ledak (mm)
- S = spasi (m)
- W = standar deviasi lubang bor (m)
- PC = panjang kolom isian (m)
- L = tinggi jenjang (m)
- X_c = karakteristik ukuran
- X = fragmentasi rata-rata
- R_x = persentase material yang tertahan (%)
- x = ukuran ayakan (cm)

Sedangkan untuk perhitungan faktor batuan dilakukan dengan pembobotan batuan. Persamaan faktor batuan adalah sebagai berikut:

$$BI = 0,5 \times (RMD + JPS + JPO + SGI + H) \dots\dots(23)$$

$$A = BI \times 0,12 \dots\dots\dots(24)$$

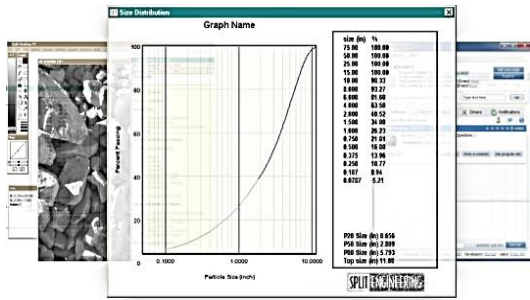
Split Desktop 4.0

Program *Split Desktop 4.0* dapat menyajikan distribusi ukuran dalam tiga format yaitu standar ISO, standar UK, dan standar sendiri. Selain itu juga dapat diketahui ukuran persentase lolos ayakan P₂₀, P₅₀, P₈₀, dan *top size* dapat dilihat pada Gambar 1 (Hexagon - Split Engineering, 2023).

Tahapan untuk menentukan ukuran fragmentasi hasil peledakan menggunakan *software Split Desktop*, yaitu:

1. *Scale Image*
Menentukan skala yang akan ditentukan untuk setiap gambar yang diambil di lapangan.
2. *Find Particle*
Melakukan penggambaran otomatis dari fragmentasi pada masing-masing gambar yang diproses dan memungkinkan untuk diedit dengan cara didelineasi untuk memastikan hasil akurat.
3. *Done Editing*
Proses *editing* fragmentasi selesai dan disimpan di komputer.
4. *Compute Size*
Melibatkan perhitungan distribusi ukuran berdasarkan fragmen yang digambarkan.

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.



Gambar 1. Tampilan software Split Desktop 4.0

Fragmentasi Optimal *Bucket Excavator*

Untuk menentukan ukuran fragmentasi optimal yang diangkut atau dimuat oleh *bucket excavator* dapat digunakan persamaan berikut (Adha, 2017):

$$P_{degree} = (0,15-0,2)\sqrt[3]{E} \dots\dots\dots (25)$$

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.

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 (Nilasari dkk., 2017). Kondisi material hasil peledakan akan mempengaruhi tahanan gali (*digging resistance*) yang dialami oleh gigi-gigi *bucket* saat menggali material (Ghadafi, Komar dan Sudarmono, 2014).

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 juga sebaliknya.

Cycle Time

Cycle time merupakan total waktu yang dibutuhkan pada alat gali muat untuk menjalani satu siklus, 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 (Murad, 2022):

$$CT_m = T_{m1} + T_{m2} + T_{m3} + T_{m4} \dots\dots\dots (26)$$

Keterangan:

- CT_m = *cycle time* gali-muat (detik)
- T_{m1} = waktu menggali (*digging*) material (detik)
- T_{m2} = waktu *swing loaded* (detik)
- T_{m3} = waktu *dumping* (detik)
- T_{m4} = waktu *swing empty* (detik)

Analisis Regresi

Analisis regresi merupakan metode dalam statistika yang digunakan untuk mengetahui pola hubungan antara variabel bebas dan variabel terikat (Putri, Yulhendra dan Octova, 2018). 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. Analisis regresi non-linear yang digunakan adalah analisis regresi non-linier logaritmik.

HASIL DAN PEMBAHASAN

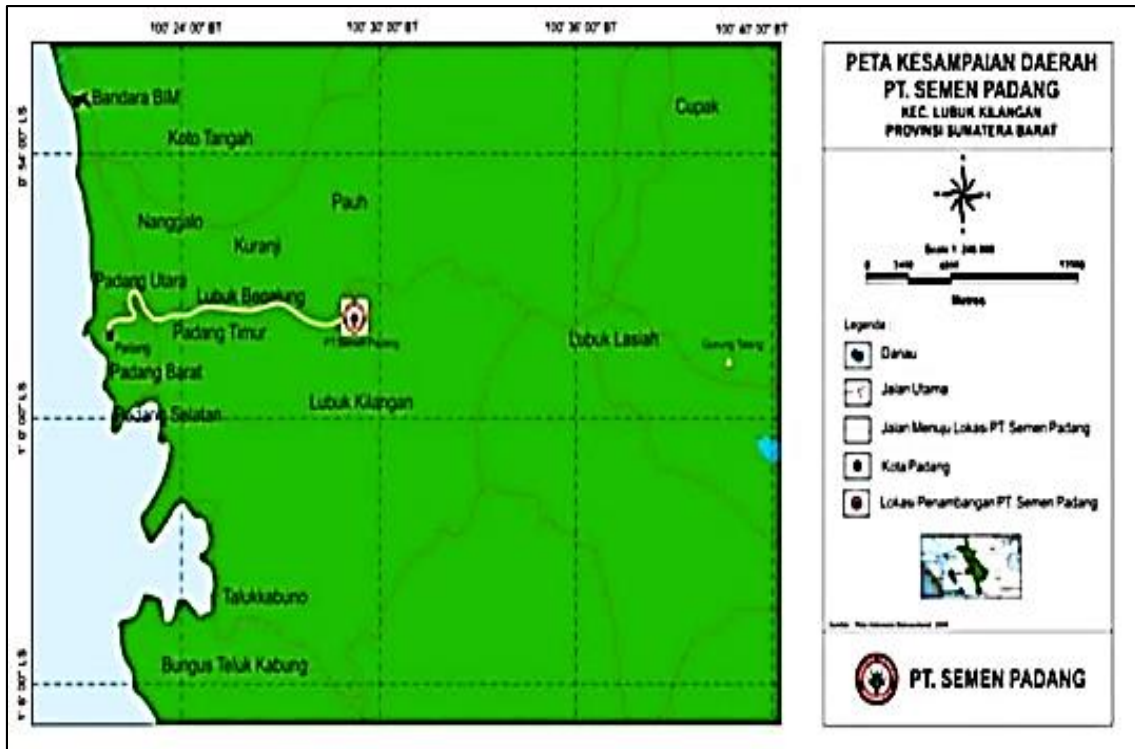
Geometri Peledakan Aktual

Penentuan geometri peledakan didapatkan dari PT. Semen Padang. Peta dan gambaran lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 2 dan 3.

Pola pengeboran di lokasi penelitian menggunakan pola persegi panjang (*rectangular pattern*) dimana jarak *burden* tidak sama dengan *spacing* (Gambar 4). Pola ini

digunakan karena dapat memberikan kondisi keseimbangan tekanan yang baik sehingga batuan tidak terkena pengaruh ledakan kecil. Geometri peledakan merupakan salah satu faktor yang akan menentukan hasil fragmentasi batuan di lapangan. Geometri peledakan yang

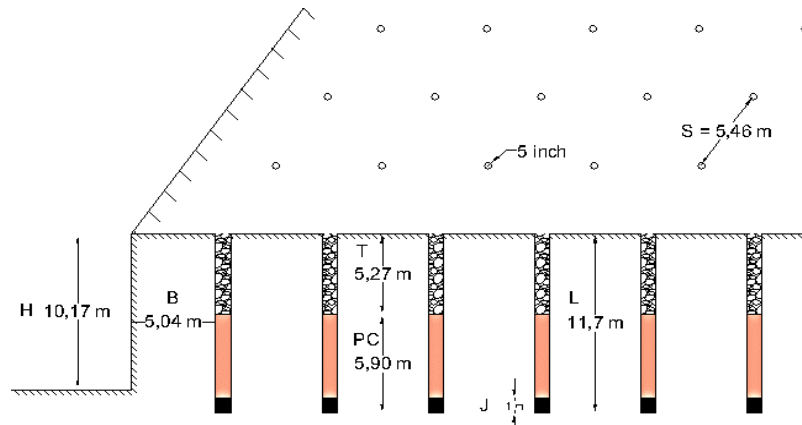
dimaksud meliputi *spacing*, *burden*, kedalaman lubang ledak, diameter lubang bor, panjang *stemming*, *subdrilling*, dan panjang kolom isian bahan peledak. Sketsa geometri peledakan aktual dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 2. Lokasi penelitian



Gambar 3. Lokasi tambang batu gamping PT. Semen Padang



Gambar 4. Sketsa geometri peledakan aktual

Geometri peledakan aktual dalam tiga kali peledakan didapat rata-ratanya dengan nilai *burden* (*B*) 5,04 m, *spacing* (*S*) 5,46 m, kedalaman lubang ledak (*L*) 11,7 m, *subdrilling* (*J*) 1 m, *stemming* (*T*) 5,27 m, tinggi jenjang (*H*) 10,17 m, *powder column* (*PC*) 5,90 m, Diameter lubang (*De*) 5 inci dan jumlah lubang ledak 150. Data geometri peledakan aktual seperti terlihat pada Tabel 1.

Perhitungan Fragmentasi Hasil Peledakan Menggunakan Metode Kuz-Ram

Perhitungan dilakukan dengan mengambil salah satu kegiatan peledakan pada tanggal 6 Oktober 2022 dengan data geometri peledakan sebagai berikut, adapun rekapan hasilnya dapat dilihat pada Tabel 2:

Burden (*B*) = 4,9 m
Spasi (*S*) = 5,4 m
 Kedalaman Lubang (*L*) = 11,6 m
Subdrilling (*J*) = 1 m
Stemming (*T*) = 5,24 m
 Tinggi Jenjang (*H*) = 10,25 m
 Panjang Isian (*PC*) = 5,9 m
 Volume Perlubang = $B \times S \times H$
 = $4,9\text{m} \times 5,4\text{m} \times 10,25\text{m}$
 = $271,215\text{ m}^3$

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*)

$Q = de \times PC$

$$Q = 15,19\text{ kg/m} \times 5,9\text{ m}$$

$$Q = 89,621\text{ kg}$$

$$PF = \frac{\text{Berat bahan peledak}}{\text{Volume batuan yang diledakkan}}$$

$$PF = \frac{89,621\text{ kg}}{271,215\text{ m}^3} = 0,33\text{ kg/m}^3$$

Fragmentasi rata-rata (*X*)

$$= A_0 \times \left[\frac{V}{Q} \right]^{0,8} \times Q^{0,17} \times \left[\frac{E}{1115} \right]^{-0,63}$$

$$= 8,4 \times \left[\frac{271,215}{89,621} \right]^{0,8} \times 89,621^{0,17} \times \left[\frac{87}{1115} \right]^{-0,63}$$

$$= 52,05\text{ cm}$$

Indeks Keseragaman (*n*)

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

$$n = \left[2,2-14 \frac{4,9}{127} \right] \times \left[\left(\frac{1+5,4/4,9}{2} \right)^{0,5} \right] \times \left[1 - \frac{0}{4,9} \right] \times \left[\frac{5,9}{11,6} \right]$$

$$n = 0,9$$

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

$$Xc = \frac{52,05}{(0,693)^{1/0,9}} = 78,20$$

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

$$Rx = e^{-\left(\frac{X}{Xc} \right)^n} \times 100\%$$

$$Rx = e^{-\left(\frac{49}{78,20} \right)^{0,9}} \times 100\% = 50,26\%$$

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

$$Yx = 100\% - 50,26\% = 49,74\%$$

Tabel 1. Geometri peledakan aktual

No	Tanggal	Lokasi	B (m)	S (m)	L (m)	J (m)	T (m)	H (m)	PC (m)	De (inci)
1	05/10/2022	Front 5	5,1	5,5	11,8	0,95	5,25	10,1	6	5
2	06/10/2022	Front 5	4,9	5,4	11,6	1	5,24	10,25	5,9	5
3	07/10/2022	Front 5	5,05	5,45	11,6	1,05	5,3	10,23	5,7	5
4	08/10/2022	Front 5	5,1	5,5	11,8	1	5,3	10,1	6	5
Total			20,15	21,85	46,8	4	21,09	40,68	23,6	20
Rata-rata			5,04	5,46	11,7	1	5,27	10,17	5,90	5

Tabel 2. Fragmentasi hasil peledakan aktual

No	Tanggal	Lokasi	Fragmentasi Rata-Rata (X) (cm)	49 cm		80 cm	
				RX (%)	YX (%)	RX (%)	YX (%)
1	05/10/2022	Front 5	53,43	52,76	47,24	37,93	62,07
2	06/10/2022	Front 5	52,05	50,26	49,74	34,30	65,70
3	07/10/2022	Front 5	54,91	53,06	46,94	38,72	61,28
4	08/10/2022	Front 5	53,43	52,76	47,24	37,93	62,07
Rata-rata			53,46	52,21	47,79	37,22	62,78

Digging Time Hasil Peledakan

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

Digging time merupakan waktu penggalian yang dibutuhkan oleh alat gali muat yang dihitung ketika *bucket* mulai menancap pada fragmen hasil peledakan kemudian bergerak menggali dan mengangkat sampai posisi lepas dari batuan yang digali. Pengambilan data *digging time* dilakukan pada setiap lokasi peledakan yang diamati dan alat gali muat yang diamati adalah excavator jenis Caterpillar EC 03.

Dari hasil pengamatan yang dilakukan terlihat bahwa fragmentasi berukuran besar (*boulder*) membutuhkan waktu penggalian (Tabel 3) dan *cycle time* (Tabel 4) yang lebih lama dibandingkan fragmentasi yang berukuran lebih kecil. Hal ini disebabkan karena tahanan gali (*digging resistance*) yang dialami oleh gigi-gigi *bucket* alat muat saat menggali lebih besar pada material yang berukuran *boulder*. Hal lain yang mempengaruhi waktu penggalian juga disebabkan karena kondisi keras atau lunak material yang akan digali.



Gambar 5. Kegiatan *loading* batuan hasil peledakan

Tabel 3. *Digging time* material hasil peledakan

Tanggal	Fragmentasi (cm)	<i>Digging Time</i> (detik)	Volume (m ³)
1 05/10/2022	53,43	12,30	305
2 06/10/2022	52,05	11,90	265
3 07/10/2022	54,91	12,80	246
4 08/10/2022	53,43	12,40	285
Jumlah	213,82	49,40	1.101,00
Rata-rata	53,46	12,40	275,25

Tabel 4. *Cycle time* eskavator EC 03

<i>Digging Time</i>	<i>Swing Loaded</i>	<i>Dumping</i>	<i>Swing Empty</i>	<i>Cycle Time</i>
12,3	9	8	7	36,3
11,9	9	7	7	34,9
12,8	8	8	8	36,8
12,4	9	8	7	36,4

Geometri Usulan

Geometri peledakan teori R.L. Ash

Diketahui:

- K_{bstd} = 30
- SGe = Berat jenis bahan peledak yang dipakai 1,20 g/cc
- SG_{std} = Berat jenis bahan peledak standar = 1,20 g/cc
- V_{edabex} = 5.300 m/s
- = 17.388 f/s
- V_{estd} = 12.000 f/s
- De = Diameter lubang ledak = 5 inci
- D = Bobot isi batu gamping = 2,65 ton/m³ = 165 lb/ft
- D_{std} = Bobot isi batuan standar = 2,56 ton/m³ = 160 lb/ft

- Burden (B)

Faktor Penyesuaian (*Adjustment Factor*)

$$AF1 = \frac{(D_{std})^{\frac{1}{3}}}{D}$$

$$AF1 = \frac{(160)^{\frac{1}{3}}}{D165} = 0,99$$

$$AF2 = \left(\frac{SG \times (V_e)^2}{SG_{std} \times (V_{estd})^2} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$AF2 = \left(\frac{1,2 \times (17388)^2}{1,2 \times (12000)^2} \right)^{\frac{1}{3}} = 1,28$$

$$K_{bterkoreksi} = K_{bstandar} \times AF1 \times AF2$$

$$K_{bterkoreksi} = 30 \times 0,99 \times 1,23 = 38,02$$

$$B = \frac{38,02 \times 5}{39,30}$$

$$B = 4,8m$$

- Spasi (S)

$$S = K_s \times B = 1,2 \times 4,8m = 5,8m$$

- Stemming (T)

$$T = K_t \times B = 0,7 \times 4,8m = 3,3 m$$

- Subdrilling (J)

$$J = K_j \times B = 0,3 \times 4,8m = 1,4m$$

- Kedalaman Lubang ledak (L)

$$L = K_l \times B = 2,54 \times 4,8m = 12,2m$$

- Tinggi Jenjang (H)

$$H = L - J = 12,2m - 1,4m = 10,8m$$

- Panjang Kolom Isian (PC)

$$PC = L - T = 12,2m - 3,3m = 8,9m$$

- Volume Peledakan (V)

$$V = B \times S \times H = 4,8m \times 5,8m \times 10,8m = 300,67m^3$$

- Loading Density (de)

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

$$= \frac{1}{4} \times 3,14 \times (0,127 m)^2 \times 1,2 \times 1000 = 15,19 kg/m$$

- Pemakaian Handak Perlubang (Q)

$$Q = de \times PC = 15,19 kg/m \times 8,9 m = 135,22 kg$$

$$PF = \frac{\text{Berat bahan peledak}}{\text{Volume batuan yang diledakkan}}$$

$$PF = \frac{135,22 kg}{300,67 m^3} = 0,45 kg/m^3$$

- Fragmentasi rata-rata (X)

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

$$= 8,4 \times \left[\frac{300,67}{135,22} \right]^{0,8} \times 135,22^{0,17} \times \left[\frac{87}{115} \right]^{-0,63}$$

$$= 50,07 cm$$

- Indeks Keseragaman (n)

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

$$= \left[2,2-14 \frac{4,8}{127} \right] \times \left[\frac{1+5,8/4,8}{2} \right]^{0,5} \times \left[1 - \frac{0}{4,8} \right] \times \left[\frac{8,9}{12,2} \right]$$

$$= 1,28$$

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

$$Xc = \frac{50,07}{(0,693)^{1/1,28}} = 66,68$$

- Persentase Fragmentasi ≥ 49 cm (Rx 49)

$$Rx = e^{-\left(\frac{X}{Xc}\right)^n} \times 100\%$$

$$Rx = e^{-\left(\frac{49}{66,68}\right)^{0,9}} \times 100\% = 46,87\%$$

- Persentase Fragmentasi ≤ 49 cm (Yx 49)

$$Yx = 100\% - 46,87\% = 53,13\%$$

- Persentase Fragmentasi ≥ 80 cm (Rx80)

$$Rx = e^{-\left(\frac{X}{Xc}\right)^n} \times 100\%$$

$$Rx = e^{-\left(\frac{80}{66,68}\right)^{0,9}} \times 100\% = 30,79\%$$

- Persentase Fragmentasi ≤ 80 cm (Yx 80)

$$Yx = 100\% - 30,77\% = 69,21\%$$

Geometri peledakan teori C.J. Konya

Untuk memperoleh hasil pembongkaran batuan sesuai dengan yang diinginkan, maka perlu suatu perencanaan peledakan dengan memperhatikan besaran-besaran geometri peledakan. Rancangan geometri peledakan menurut teori C.J. Konya sebagai berikut:

- Burden (B)

$$B = 3,15 \times De \times \left(\frac{SGe}{SGr} \right)^{0,33}$$

$$B = 3,15 \times 5 \times \left(\frac{1,20}{2,50} \right)^{0,33}$$

$$= 12,362 ft = 3,7 m \approx 4 m$$

$$De = 5 \text{ inci}$$

- SGe = berat jenis bahan peledak yang dipakai = 1,2
 SGr = berat jenis batu gamping = 2,50
- Spacing (S)
 $S = 2 \times 4 \text{ m} = 8 \text{ m}$
 - Stemming (T)
 $T = 0,70 \times 4 \text{ m} = 2,8 \text{ m}$
 - Subdrilling (J)
 $J = 0,30 \times 4 \text{ m} = 1,2 \text{ m}$
 - Kedalaman Lubang Ledak (H)
 $H = L + J = 15 + 1,2 = 16,2 \text{ m}$
 - Tinggi Jenjang (L)
 $L = 15 \text{ m}$
 - Charger Length (PC)
 $PC = 16,2 - 2,8 = 13,4 \text{ m}$
 - Volume Peledakan (V)
 $V = B \times S \times H = 4 \text{ m} \times 8 \text{ m} \times 13,2 \text{ m} = 422,4 \text{ m}^3$
 - Loading Density (de)
 $de = 0,508 \times De^2 \times SG$
 $= 0,508 \times 25 \times 1,2$
 $= 15,24 \text{ kg/m}$
 - Pemakaian Handak Perlubang (Q)
 $Q = de \times PC = 15,24 \text{ kg/m} \times 13,4 \text{ m}$
 $= 204,75 \text{ kg}$
 - $PF = \frac{\text{Berat bahan peledak}}{\text{Volume batuan yang diledakkan}}$
 $PF = \frac{204,75 \text{ kg}}{422,4 \text{ m}^3} = 0,48 \text{ kg/m}^3$
 - Fragmentasi rata-rata (X)
 $= Ao \times \left[\frac{V}{Q}\right]^{0,8} \times Q^{0,17} \times \left[\frac{E}{115}\right]^{-0,63}$
 $= 8,4 \times \left[\frac{422,4}{204,75}\right]^{0,8} \times 204,75^{0,17} \times \left[\frac{87}{115}\right]^{-0,63}$
 $= 44,17 \text{ cm}$
 - Indeks Keseragaman (n)
 $n = \left[2,2 - 14 \frac{B}{De}\right] \times \left[\frac{1+S/B}{2}\right]^{0,5} \times \left[1 - \frac{W}{B}\right] \times \left[\frac{PC}{L}\right]$
 $n = \left[2,2 - 14 \frac{4}{127}\right] \times \left[\frac{1+8/4}{2}\right]^{0,5} \times \left[1 - \frac{0}{4}\right] \times \left[\frac{16}{12}\right]$
 $n = 2,87$
 - Karakteristik Ukuran (Xc) = $\frac{X}{(0,693)^{1/n}}$
 $Xc = \frac{40,42}{(0,693)^{1/2,87}} = 45,93$
 - Persentase Fragmentasi $\geq 49 \text{ cm}$ (Rx 49)
 $Rx = e^{-\left(\frac{X}{Xc}\right)^n} \times 100\%$
 $Rx = e^{-\left(\frac{49}{53,02}\right)^{2,87}} \times 100\% = 45,05\%$
 - Persentase Fragmentasi $\leq 49 \text{ cm}$ (Yx 49)
 $Yx = 100\% - 45,05\% = 54,95\%$
 - Persentase Fragmentasi $\geq 80 \text{ cm}$ (Rx80)
 $Rx = e^{-\left(\frac{X}{Xc}\right)^n} \times 100\%$

- $Rx = e^{-\left(\frac{80}{53,02}\right)^{2,87}} \times 100\% = 3,85\%$
- Persentase Fragmentasi $\leq 80 \text{ cm}$ (Yx 80)
 $Yx = 100\% - 3,85\% = 96,15\%$

Geometri peledakan teori ICI-Explosive

- Tinggi Jenjang (H) = $60d - 140d$
 $= 75 \times 0,127 \text{ m} = 9,52 \text{ m} \approx 9,5 \text{ m}$
- Burden (B) = $25d - 40d = 39 \times 0,127 \text{ m}$
 $= 4,95 \text{ m} \approx 5 \text{ m}$
- Spasi (S) = $1B - 1,5B = 1,2 \times 5 \text{ m} = 6 \text{ m}$
- Subdrilling (J) = $8d - 12d = 12 \times 0,127 \text{ m}$
 $= 1,52 \text{ m} \approx 1,5 \text{ m}$
- Stemming (T) = $20d - 30d = 30 \times 0,127 \text{ m}$
 $= 3,81 \text{ m} \approx 3,8 \text{ m}$
- Kedalaman Lubang (L) = $H + J$
 $= 9,5 \text{ m} + 1,5 \text{ m} = 11 \text{ m}$
- Panjang Isian (PC) = $L - T = 11 \text{ m} - 3,8 \text{ m}$
 $= 7,2 \text{ m}$
- Volume Perlubang (V) = $B \times S \times H$
 $= 5 \text{ m} \times 6 \text{ m} \times 9,5 \text{ m} = 285 \text{ m}^3$
- 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)
 $Q = de \times PC = 15,19 \text{ kg/m} \times 7,2 \text{ m}$
 $Q = 109,37 \text{ kg}$
- $PF = \frac{\text{Berat bahan peledak}}{\text{Volume batuan yang diledakkan}}$
 $PF = \frac{109,37 \text{ kg}}{285 \text{ m}^3} = 0,38 \text{ kg/m}^3$
- Fragmentasi rata-rata (X)
 $= Ao \times \left[\frac{V}{Q}\right]^{0,8} \times Q^{0,17} \times \left[\frac{E}{115}\right]^{-0,63}$
 $= 8,4 \times \left[\frac{285}{109,37}\right]^{0,8} \times 109,37^{0,17} \times \left[\frac{87}{115}\right]^{-0,63}$
 $= 47,86 \text{ cm}$
- Indeks Keseragaman (n)
 $n = \left[2,2 - 14 \frac{B}{De}\right] \times \left[\frac{1+S/B}{2}\right]^{0,5} \times \left[1 - \frac{W}{B}\right] \times \left[\frac{PC}{L}\right]$
 $n = \left[2,2 - 14 \frac{5}{127}\right] \times \left[\frac{1+6/5}{2}\right]^{0,5} \times \left[1 - \frac{0}{5}\right] \times \left[\frac{7,2}{11}\right]$
 $n = 1,13$
- Karakteristik Ukuran (Xc) = $\frac{X}{(0,693)^{1/n}}$
 $Xc = \frac{47,86}{(0,693)^{1/1,13}} = 66,21$
- Persentase Fragmentasi $\geq 49 \text{ cm}$ (Rx 49)
 $Rx = e^{-\left(\frac{X}{Xc}\right)^n} \times 100\%$
 $Rx = e^{-\left(\frac{49}{66,21}\right)^{1,13}} \times 100\% = 49,08\%$
- Persentase Fragmentasi $\leq 49 \text{ cm}$ (Yx 49)
 $Yx = 100\% - 49,08\% = 50,92\%$
- Persentase Fragmentasi $\geq 80 \text{ cm}$ (Rx80)

$$R_x = e^{-\left(\frac{x}{x_c}\right)^n} \times 100\%$$

$$R_x = e^{-\left(\frac{80}{66,21}\right)^{1,13}} \times 100\% = 28,99\%$$

- Persentase Fragmentasi ≤ 80 cm ($Y_x 80$)
 $Y_x = 100\% - 28,99\% = 71,01\%$.

Geometri usulan menggunakan teori R.L. Ash melebihi atau tidak termasuk kedalam ukuran yang optimal dimuat oleh *bucket excavator EC 03* dengan fragmentasi rata-rata sebesar 50,07 cm. Perhitungan dari teori C.J. Konya menghasilkan fragmentasi rata-rata sebesar 44,17 cm, ukuran ini sesuai dengan ukuran yang optimal dimuat oleh *bucket excavator EC 03* (Tabel 5).

Tabel 5. Spesifikasi ekskavator EC 03 (*hydraulic excavator Cat 6030*)

Item	Satuan
Engine output - SAE J1995	1230 kW
Bucket payload	30 t
Operating weight	294 t
Standard track pads	1000 mm
Operating weight	298300 kg
Ground pressure	22,2 N/cm ²
Standard track pads	1000 mm
Operating weight	299400 kg
Ground pressure	22,3 N/cm ²

Selanjutnya, perhitungan menggunakan teori ICI-Explosive menghasilkan fragmentasi yang sesuai dengan kapasitas *bucket* yaitu sebesar 47,86 cm. Fragmentasi ukuran yang sesuai dengan kapasitas *bucket excavator EC 03* akan

mempermudah kinerja alat gali muat dalam menggali material hasil peledakan.

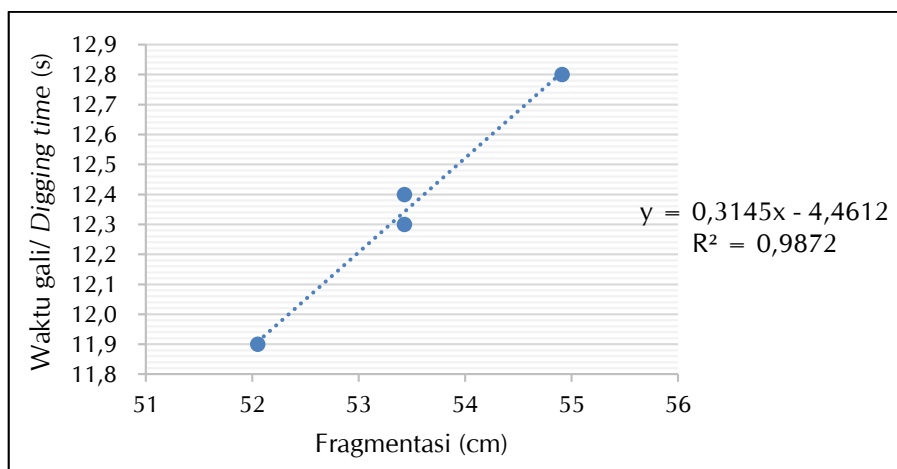
Analisis Regresi

Untuk mengetahui berapa waktu yang dibutuhkan oleh alat gali muat dalam menggali material hasil peledakan, berdasarkan fragmentasi batuan hasil peledakan dari geometri usulan, analisis dari kedua variabel tersebut perlu dilakukan dengan menggunakan analisis regresi (Tabel 6). Pada pembahasan ini analisis yang digunakan adalah analisis regresi logaritmik. Kurva analisis regresi logaritmik antara fragmentasi hasil peledakan dan waktu gali/*digging time* dapat dilihat pada Gambar 6.

Tabel 6. Data fragmentasi dan *digging time*

No	Tanggal	Lokasi	Fragmentasi (cm)	Digging Time (dtk)	Volume (m ³)
1	5/10/22	Front 5	53,43	12,3	305
2	5/10/22	Front 5	52,05	11,9	265
3	5/10/22	Front 5	54,91	12,8	246
4	5/10/22	Front 5	53,43	12,4	285
Jumlah			213,82	49,4	1.101
Rata-rata			53,46	12,4	275,25

Dari Gambar 6 dapat dilihat bahwa koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,9872. Dibandingkan dengan analisis yang lain, analisis regresi logaritmik memiliki nilai koefisien determinasi (R^2) yang paling tinggi, sehingga analisis regresi logaritmik akan digunakan dalam pembahasan ini, dengan koefisien korelasi 0,98.



Gambar 6. Kurva analisis regresi logaritmik antara fragmentasi hasil peledakan dan waktu gali/ *digging time*

Adapun persamaan yang didapatkan yaitu:

$$Y = 0,3145(x) - 4,4612 \dots\dots\dots(27)$$

Keterangan:

Y = Prediksi nilai *digging time*

x = Fragmentasi geometri usulan

Prediksi *Digging Time*

Geometri usulan menggunakan teori R.L. Ash secara teoritis mendapatkan fragmentasi hasil peledakan sebesar 50,07 cm. Sedangkan untuk mengetahui berapa waktu yang dibutuhkan oleh gali muat untuk menggali material hasil peledakan dapat diketahui dengan persamaan 27.

$$Y = 0,3145(x) - 4,4612$$

$$Y = 0,3145(50,07) - 4,4612$$

$$Y = 11,29 \text{ detik}$$

Waktu yang dibutuhkan untuk menggali material hasil peledakan (*digging time*) adalah 11,29 detik.

Dengan menggunakan perhitungan yang sama menggunakan Persamaan 27, fragmentasi hasil peledakan menggunakan teori C.J. Konya sebesar 44,17 cm dengan perkiraan waktu yang dibutuhkan untuk menggali material hasil peledakan atau (*digging time*) adalah 9,43detik.

Selanjutnya, geometri usulan menggunakan teori ICI-Explosive menghasilkan fragmentasi hasil peledakan sebesar 47,86 cm dengan perkiraan waktu yang dibutuhkan untuk menggali material hasil peledakan atau (*digging time*) adalah 10,59 detik.

Berdasarkan Tabel 7 dapat dilihat bahwa geometri peledakan aktual rata-rata

menghasilkan volume peledakan 275 m³ perlubang, dengan fragmentasi sebesar 53,46 cm. Geometri usulan menggunakan teori R.L. Ash menghasilkan volume peledakan 300,7 m³ perlubang, dengan fragmentasi sebesar 50,7 cm. Geometri usulan menggunakan teori C.J. Konya menghasilkan volume perlubang 422,4 m³, dengan fragmentasi berukuran 40,42 cm. Selanjutnya geometri usulan menggunakan teori ICI-Explosive menghasilkan volume peledakan 285 m³ perlubang, dengan fragmentasi sebesar 47,86 cm. Berdasarkan Tabel 5, geometri peledakan usulan menggunakan teori C.J. Konya lebih memungkinkan untuk diterapkan karena mendapatkan volume peledakan perlubang yang lebih besar dan fragmentasi yang sesuai dengan kapasitas *bucket* daripada geometri aktual R.L. Ash dan ICI-Explosive.

Biaya Pengeboran, Peledakan, Pemuatan dan Pengangkutan

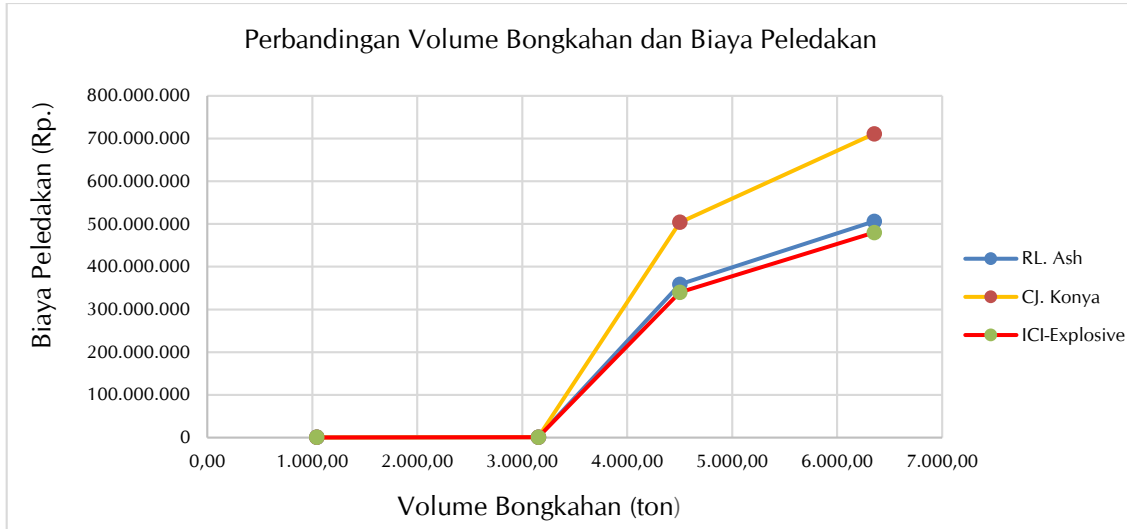
Perhitungan biaya pengeboran, peledakan, pemuatan dan pengangkutan mengacu kepada penelitian Afrila, Sumarya dan Yulhendra (2018) serta Novalia, Farid dan Megasukma (2022), yang melakukan penelitian pada lokasi yang sama dengan asumsi kenaikan biaya alat, bahan dan upah sebesar 30%.

- Biaya pengeboran Rp 1.041,33/ton
- Biaya peledakan Rp 3.152,33/ton
- Biaya pemuatan Rp 4.500,41/ton
- Biaya pengangkutan Rp 6.352,05/ton

Total biaya kegiatan pengeboran, peledakan, pemuatan dan pengangkutan adalah sebesar Rp 10.349,08/ton. Perbandingan volume bongkahan dan biaya peledakan untuk masing-masing metode dapat dilihat pada Gambar 7 dan Tabel 8.

Tabel 7. Perbandingan geometri peledakan aktual dan usulan

Aktual			Usulan								
Volume Fragmentasi (m ³)	<i>Digging Time</i> (cm)	<i>Digging Time</i> (S)	R.L. Ash			C.J. Konya			ICI-Explosive		
			Volume Fragmentasi (m ³)	<i>Digging Time</i> (cm)	<i>Digging Time</i> (S)	Volume Fragmentasi (m ³)	<i>Digging Time</i> (cm)	<i>Digging Time</i> (S)	Volume Fragmentasi (m ³)	<i>Digging Time</i> (cm)	<i>Digging Time</i> (S)
275	53,46	12,40	300,7	50,07	11,29	422,4	44,17	9,43	285	47,86	10,59



Gambar 7. Kurva perbandingan volume bongkahan dan biaya peledakan

Tabel 8. Perbandingan volume bongkahan dan biaya peledakan

Kegiatan	Biaya (Rp/ton)	Rancangan Usulan					
		R.L. Ash		C.J. Konya		ICI-Explosive	
		Volume (Ton)	Biaya (Rp)	Volume (Ton)	Biaya (Rp.)	Volume (Ton)	Biaya (Rp.)
Pengeboran	1.041,33	79.678	275.952	111.936	275.952	75.525	275.952
Peledakan	3.152,33		835.367		835.367		835.367
Pemuatan	4.500,41		358.581.643		503.757.894		339.893.465
Pengangkutan	6.352,05		506.115.781		711.023.069		479.738.576
Jumlah			865.808.744		1.215.892.282		820.743.361
Harga Jual 45.000/m ³			1.353.015.000		1.900.820.000		1.282.500.000
Selisih/Penghematan			487.206.256		684.907.718		461.756.639
Biaya							

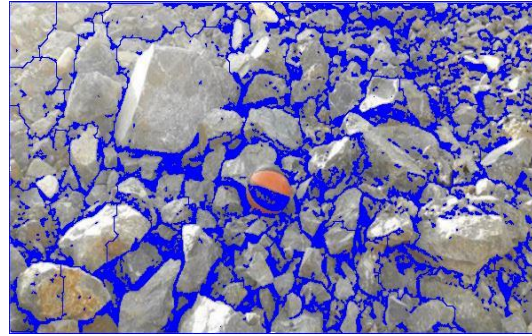
Perhitungan biaya dengan rancangan usulan teori R.L. Ash menghasilkan volume bongkaran 300,67 m³ dengan jumlah lubang ledak rata-rata 100 setara 79.678 ton membutuhkan biaya sebesar Rp 865.808.744,-. Biaya yang dibutuhkan menggunakan rancangan C.J. Konya sebanyak 100 lubang ledak menghasilkan volume bongkaran 422,4 m³ perlubang dengan total jumlah bongkaran sebanyak 111.936 ton membutuhkan biaya sebesar Rp 1.215.892.282,-. Selanjutnya untuk biaya yang dikeluarkan menggunakan rancangan teori ICI-Explosive dengan jumlah 100 lubang ledak menghasilkan volume bongkaran batuan sebanyak 285 m³ perlubang dengan total jumlah bongkaran sebanyak 75.525 ton membutuhkan biaya sebesar Rp 820.743.361,-.

Perhitungan Fragmentasi Hasil Peledakan Menggunakan *Split Desktop 4.0*

Dalam pengambilan foto setiap fragmentasi hasil peledakan menggunakan peralatan seperti bola sebagai ukuran pembanding dan kamera. Sebelum menganalisis foto fragmentasi hasil peledakan menggunakan *software Split Desktop*, diameter bola yang digunakan sebagai pembanding perlu diketahui. Dalam penelitian ini, bola basket dengan diameter 23 cm digunakan sebagai pembanding hasil fragmentasi. Hasil fragmentasi aktual dan hasil delineasi dengan *Split Desktop 4.0* untuk peledakan pada tanggal 11 Oktober 2022 dapat dilihat pada Gambar 8 dan 9.

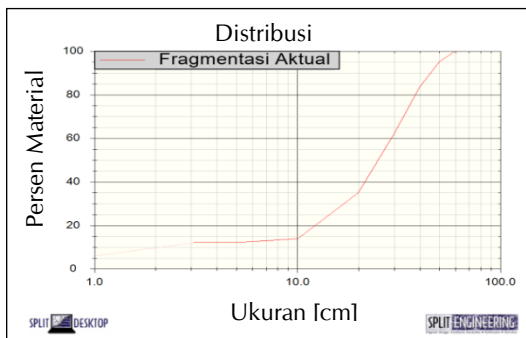


Gambar 8. Fragmentasi aktual



Gambar 9. Hasil delineasi dengan *Split Desktop 4.0*

Grafik distribusi ukuran fragmentasi dengan *Split Desktop 4* seperti terlihat pada Gambar 10 dan fragmentasi ukuran mulai 1 sampai dengan 60 cm serta % lolos dan tertahan dapat dilihat pada Tabel 9.



Gambar 10. Distribusi ukuran fragmentasi dengan *Split Desktop 4.0*

Tabel 9. Fragmentasi aktual

Ukuran (cm)	% Lolos	% Tertahan
60	100,00	0
50	95,13	4,87
40	83,40	16,60
30	62,32	37,68
20	34,94	65,06
10	13,90	86,10
5	12,20	87,80
1	6,10	83,90

KESIMPULAN

Geometri peledakan usulan menggunakan teori C.J. Konya dengan ukuran *burden* 4m, *spacing* 8 m, *stemming* 2,8 m, *subdrilling* 1,2 m, kedalaman lubang ledak 16,2 m, tinggi jenjang 15 m, panjang kolom isian 13,4 m

menghasilkan volume perlubang 422,4 m³. Hasil rancangan dengan metode Kuz-Ram didapatkan fragmentasi rata-rata sebesar 44,17 cm. Berdasarkan metode Kuz-Ram dan *software Split Desktop 4.0* geometri peledakan usulan menggunakan teori C.J. Konya lebih optimal dari segi teknis dan pertimbangan ekonomis serta memungkinkan untuk diterapkan karena mendapatkan volume peledakan perlubang yang lebih besar dan fragmentasi < 50 cm serta sesuai dengan kapasitas *bucket*. Selain itu, usulan teori C.J. Konya juga menghasilkan pendapatan serta keuntungan yang lebih besar bagi perusahaan jika dibandingkan dengan dua metode lainnya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Departemen Tambang dan Pengelolaan Bahan Baku beserta staf PT. Semen Padang yang telah membantu dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Adha, R.L. (2017) *Pengaruh fragmentasi hasil peledakan terhadap produktivitas alat gali muat di PT. Semen Padang, Bukit Karang Putih Indarung, Sumatera Barat*. Universitas Syiah Kuala.
- Afrila, E.R., Sumarya, S. dan Yulhendra, D. (2018) "Analisis biaya produksi penambangan batu kapur pada bulan April 2017 di Bukit Karang Putih PT. Semen Padang," *Jurnal Bina Tambang*, 3(1), hal. 470–480.
- Akinbinu, V.A. (2017) "Multivariate analysis of fracture toughness, brittleness and blasting geometric ratios for the prediction of

- fragmentation output," *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 93, hal. 324–329. Tersedia pada: <https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2016.12.014>.
- Ash, R.L. (1990) "Design of blasting rounds," in B.A. Kennedy (ed.) *Surface Mining*. 2nd Editio. Colorado: Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc., hal. 565–583.
- Azizi, A. dan Moomivand, H. (2021) "A new approach to represent impact of discontinuity spacing and rock mass description on the median fragment size of blasted rocks using image analysis of rock mass," *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 54(4), hal. 2013–2038. Tersedia pada: <https://doi.org/10.1007/s00603-020-02360-4>.
- Bhandari, S. (1997) *Engineering rock blasting operations*. Rotterdam: A.A. Balkema.
- Ghadafi, M.A., Komar, S. dan Sudarmono, D. (2014) "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 Sriwijaya*, 2(3).
- Harukadol, T. dan Kopa, R. (2021) "Evaluasi rancangan geometri peledakan untuk mengoptimalkan hasil peledakan pada penambangan batu andesit di PT. Bintang Sumatera Pacific Pangkalan Koto Baru Kabupaten 50 Kota Provinsi Sumatera Barat," *Jurnal Bina Tambang*, 6(1), hal. 24–36.
- Hembram, P., Sawmliana, C., Singh, R.K., Pal Roy, P. dan Thakare, R. (2017) "Effect of layer thickness of rocks on blast fragmentation - case study in a limestone mine," *Journal of Mines, Metals and Fuels*, 65(6), hal. 375–379.
- Hexagon - Split Engineering (2023) *Split Engineering*.
- Kiamba, M.E., Kinyua, E. dan Kasomo, R.M. (2020) "Limestone fragmentation analysis using real time digital imaging," *African Journal of Mining, Entrepreneurship and Natural Resource Management*, 1(2), hal. 51–58.
- Konya, C.J. dan Walter, E.J. (1990) *Surface blast design*. Prentice Hall.
- Kuznetsov, V.M. (1973) "The mean diameter of the fragments formed by blasting rock," *Soviet mining science*, 9(2), hal. 144–148. Tersedia pada: <https://doi.org/10.1007/BF02506177>.
- Lawal, A.I. (2021) "A new modification to the Kuz-Ram model using the fragment size predicted by image analysis," *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 138, hal. 104595. Tersedia pada: <https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2020.104595>.
- Mendis, H.C.V.S., Wimalagunasekara, K.R., Jinadasa, M.L.S., Hemalal, P.V.A., Dharmaratne, P.G.R. dan Chaminda, S.P. (2018) "Optimizing the specific charge for limestone blasting at Aruwakkalu limestone quarry," in *Proceedings of International Symposium on Earth Resources Management and Environment*. University of Moratuwa, hal. 21–27.
- Mohamed, M.T., Mahran, T. dan Mohamed, Y.S. (2020) "Determination of bench blast design parameters for limestone quarry at Gable Okheider, Al Ain El Sukhna - West of Gulf of Suez, Egypt," *Journal of Engineering Sciences*, 48(1), hal. 54–64. Tersedia pada: <https://doi.org/10.21608/jesaun.2020.109054>.
- Murad, M.S. (2022) *Operasional tambang terbuka*. Pontianak: Untan Press.
- Mutinda, E.K., Alunda, B.O., Maina, D.K. dan Kasomo, R.M. (2021) "Prediction of rock fragmentation using the Kuznetsov-Cunningham-Ouchterlony model," *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 121(3), hal. 107–112. Tersedia pada: <https://doi.org/10.17159/2411-9717/1401/2021>.
- Nilasari, G.A., Nurhakim, N., Riswan, R. dan Gunawan, H. (2017) "Evaluasi geometri berdasarkan fragmentasi hasil peledakan pada penambangan batugamping di PT. Semen Tonasa," *Jurnal Himasapta*, 2(02). Tersedia pada: <https://doi.org/10.20527/jhs.v2i02.943>.
- Novalia, H., Farid, F. dan Megasukma, Y. (2022) "Kajian biaya peledakan pada proses pembongkaran batu kapur di PT. Semen Padang," *COMSERVA: Jurnal Penelitian dan Pengabdian Masyarakat*, 1(9), hal. 683–699.
- Pasaribu, P. dan Yulhendra, D. (2022) "Evaluasi teknis geometri peledakan terhadap fragmentasi batu gamping di PT. Indocement Tunggul Prakarsa Tbk. Desa Palimanan Barat, Kecamatan Gempol, Kabupaten Cirebon, Jawa Barat," *Jurnal Bina Tambang*, 7(2), hal. 190–197.
- Paswan, R.K., Roy, M.P., Shankar, R. dan Singh, P.K. (2021) "Blast vibration and fragmentation control at heavily jointed limestone mine," *Geotechnical and Geological Engineering*, 39, hal. 3469–3485. Tersedia pada: <https://doi.org/10.1007/s10706-021-01705-2>.

- Perera, W.D.S., Epa, N.B.M., Neligama, D.A., Hemalal, P.V.A. dan Dharmaratne, P.G.R. (2017) "Optimizing the specific charge for limestone blasting at Aruwakkalu limestone quarry," in. University of Moratuwa, hal. 33–42.
- Putri, M., Yulhendra, D. dan Octova, A. (2018) "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," *Jurnal Bina Tambang*, 3(1), hal. 588–607.
- Ridho, M. dan Gusman, M. (2019) "Kajian teknis pengaruh fragmentasi hasil peledakan di PT. Semen Padang," *Jurnal Bina Tambang*, 4(1), hal. 424–434.
- Rinaldo, R., Heriyadi, B. dan Prabowo, H. (2018) "Analisis pengaruh parameter geomekanika batuan terhadap kegiatan peledakan pada front penambangan Blok A2 di CV. Triarga Nusatama, Kecamatan Lareh Sago Halaban, Kabupaten Lima Puluh Kota, Sumatera Barat," *Jurnal Bina Tambang*, 3(3), hal. 1163–1173.
- Samanlangi, A.I. (2016) *Sistem Penambangan*. Edisi I. Diedit oleh E. Risanto. Yogyakarta: Penerbit Andi.
- Sundari, W. (2022) "Analisis pencapaian target fragmentasi peledakan melalui redesign geometri peledakan di Pt. Andesit Lumbang Sejahtera di Desa Bandar Dalam Kecamatan Sidomulyo Kabupaten Lampung Selatan Provinsi Lampung," *Jurnal Teknologi*, 16(1), hal. 54–58.
- Taiwo, B.O. (2022) "Effect of charge load proportion and blast controllable factor design on blast fragment size distribution," *Journal of Brilliant Engineering*, 3(3), hal. 1–6. Tersedia pada: <https://doi.org/10.36937/ben.2022.4660>.
- Trivedi, R., Singh, T.N. dan Raina, A.K. (2016) "Simultaneous prediction of blast-induced flyrock and fragmentation in opencast limestone mines using back propagation neural network," *International Journal of Mining and Mineral Engineering*, 7(3), hal. 237–252. Tersedia pada: <https://doi.org/10.1504/IJMME.2016.078350>.
- Xie, C., Nguyen, H., Bui, X.-N., Choi, Y., Zhou, J. dan Nguyen-Trang, T. (2021) "Predicting rock size distribution in mine blasting using various novel soft computing models based on meta-heuristics and machine learning algorithms," *Geoscience Frontiers*, 12(3), hal. 101108. Tersedia pada: <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2020.11.005>.