

Analisis Pengaruh Geometri Peledakan Terhadap Fragmentasi Hasil Peledakan Dan *Digging time* Alat Gali Muat *Backhoe Caterpillar 6030* Pada Area *Pit Limit* PT. Semen Padang, Indarung, Provinsi Sumatera Barat

Muhammad Tareq Adha^{1*}, Raimon Kopa^{1**}

¹Jurusan Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang

*mtareq509@gmail.com

**raimon_unp@yahoo.co.id

Abstract. PT. Semen Padang is a mining company that uses the open pit mining method, namely Quarry Side Hill mining, which is a mining method carried out to excavate deposits of industrial minerals or non-metallic minerals. The rock to be transported to the crusher must be blasted first. The results of field observations of the actual blasting geometry applied by the company obtained fragmentation of boulder-sized blasting results with a percentage of $\pm 31\%$. The large percentage of boulder causes the diggability of the digging tool to be not optimal, where the digging time of the digging tool is not according to the company's target of below 12 seconds. This study aims to design the optimum blasting geometry to reduce the percentage of boulder so that loading activities become effective and the diggability of the digging tool increases. The research method is carried out by providing recommendations for blasting geometry based on the methods of C.J Konya and R.L. Ash. The proposed geometry applied in the field is: burden: 3 m, spacing of 3.5 m, stemming: 3 m, subdrilling: 1 m, ladder height: 8 m, blast hole depth: 9 m, powder column: 6 m, and powder factor : 0.26 kg/ton, where the boulder size fragmentation resulting from the analysis is 11.92%.

Keywords: *Blasting Geometry, Blasting Result Fragmentation, Digging time, C.J Konya, R.L. Ash.*

1 Pendahuluan

Kegiatan penambangan dilakukan untuk mendapatkan bahan galian yang berada dalam lapisan tanah atau batuan. Untuk mendapatkan suatu bahan galian harus dilakukan penggalian lapisan penutup yang terdiri dari beberapa jenis lapisan batuan tertentu yang harus dilakukan proses pembongkaran. Dalam industri pertambangan sering dijumpai sifat batuan yang relatif keras, sehingga tidak dapat digali secara langsung karena berpengaruh pada produktivitas alat gali dan muat yang digunakan. Adapun solusi dari permasalahan tersebut adalah dengan melakukan proses peledakan untuk membraikan batuan yang ada.

PT. Semen Padang merupakan perusahaan Semen Nasional yang memiliki IUP Penambangan batugamping di Bukit Karang Putih, Indarung, Padang Sumatera Barat. Batugamping merupakan bahan baku utama untuk pembuatan semen. Kegiatan penambangan Batugamping di Bukit Karang Putih oleh PT. Semen Padang dilakukan dengan sistem Quarry. Kegiatan produksi batugamping dilakukan dengan kegiatan peledakan. Kualitas dari hasil peledakan sangat menentukan keberhasilan kegiatan peledakan. Parameter keberhasilan dari suatu kegiatan peledakan adalah fragmentasi batuan hasil peledakan. Dalam proses peledakan ada beberapa macam indikator keberhasilan dari peledakan itu sendiri, salah satunya adalah persentase batuan yang berukuran boulder.

Dimana fragmentasi yang berukuran boulder berpengaruh pada proses pemuatan batugamping yang terledakkan.

Suatu proses peledakan akan menghasilkan batuan yang terberai menjadi fragmentasi. Fragmentasi batuan yang memiliki ukuran batuan yang berbeda-beda merupakan salah satu faktor untuk menentukan keberhasilan suatu peledakan. Karena Kegiatan peledakan memiliki dampak yang sangat signifikan terhadap proses selanjutnya seperti *loading*^[1]. Oleh karena itu, perusahaan memiliki target dari hasil peledakan atau fragmentasi yaitu kurang dari 20% berukuran >80 cm untuk mencapai target optimum dalam proses *digging* batugamping yang direncanakan oleh perusahaan yaitu <12 detik..

Adapun pola pemboran yang digunakan pada PT. Semen Padang adalah pola pemboran selang-seling (*staggered pattern*). Sedangkan pola peledakan yang digunakan adalah pola peledakan V -*Cut* atau *Corner Cut*, menyesuaikan posisi *free face*. Perencanaan peledakan berupa geometri peledakan dan penggunaan bahan peledak akan mempengaruhi hasil peledakan^[2].

Perencanaan peledakan berupa geometri peledakan dan penggunaan bahan peledak akan mempengaruhi hasil peledakan. Adapun geometri peledakan yang direncanakan oleh PT. Semen Padang yaitu *burden* 3 m, *spacing* 4 m, *subdrilling* 1 m,

Stemming 3 meter kedalaman lubang ledak 9 m, dan tinggi jenjang 8 m.

Pemasalahan yang terjadi dilapangan ialah berdasarkan pengamatan terdapat fragmentasi batuan hasil peledakan berukuran boulder (<80 cm). Dari hasil observasi penulis di lapangan, penulis menemukan hasil peledakan berupa boulder dengan persentase $\pm 30\%$. Hal ini dapat memperlambat kinerja alat gali muat dengan ukuran bucket yang 17 m³ yaitu waktu yang dibutuhkan untuk pengisian bucket (*digging time*), rata-rata *digging time* yang diperoleh melalui pengamatan lapangan ialah 15 detik dengan nilai tertinggi ialah 25 detik untuk satu kali *digging time* lebih besar. Nilai *digging time* yang tinggi dapat memengaruhi cycle time alat gali muat yang tidak sesuai standar alat yaitu 26 s.d 28 detik, dengan nilai cycle time rata-rata yaitu 32 detik.

Contoh gambar hasil peledakan dapat dilihat pada gambar 1



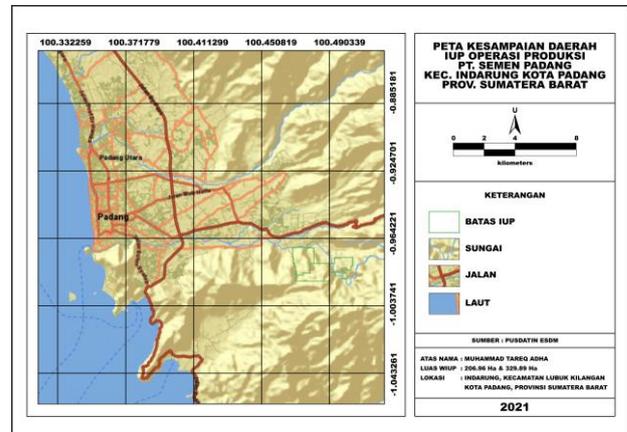
Gambar 1. Fragmentasi hasil peledakan di PT. Semen Padang

2 Lokasi Penelitian

Lokasi tambang PT Semen Padang berada di Bukit Karang Putih yang berada di daerah Indarung.,Kecamatan Lubuk Kilangan,Kota Padang,Provinsi Sumatera Barat kurang lebih 15 km di sebelah timur Kota Padang dengan ketinggian 350 mdpl. Lokasi penambangan batu kapur 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' 51.56" LS sampai 0° 57' 50.56" LS dan 100° 26' 51.76" BT sampai 100° 26' 56.56" BT. Lokasi penambangan batu kapur dihubungkan dengan jalan yang telah dibeton dan dapat dicapai dengan menggunakan kendaraan umum atau naik kendaraan milik PT Semen Padang. Tambang batu kapur sebagai bahan baku terletak pada daerah Karang Putih yang berjarak 1600 meter dari pabrik.

Bukit Karang Putih berumur kala miosen tengah dan *intrusi* batuan beku. Di sebelah Selatan daerah Bukit Karang Putih berumur kala *miosen* akhir. Satuan batuan yang paling muda yang terdapat di Bukit Karang Putih adalah *vulkanik* berumur *tersier* atau *kuarter* dan secara tidak selaras menutupi satuan batuan lain yang ada sebelumnya. Satuan batuan yang paling muda yang

terdapat di Bukit Karang Putih adalah *vulkanik* berumur *tersier* atau *kuarter* dan secara tidak selaras menutupi satuan batuan lain yang ada sebelumnya. Sedangkan terjadi secara *anorganik*, jenis batuan gamping yang terjadi dalam kondisi iklim dan suasana tertentu dalam air laut atau air tawar, *Magnesium*, lempung dan pasir merupakan unsur pengotor pengendap bersama-sama pada saat proses pengendapan.

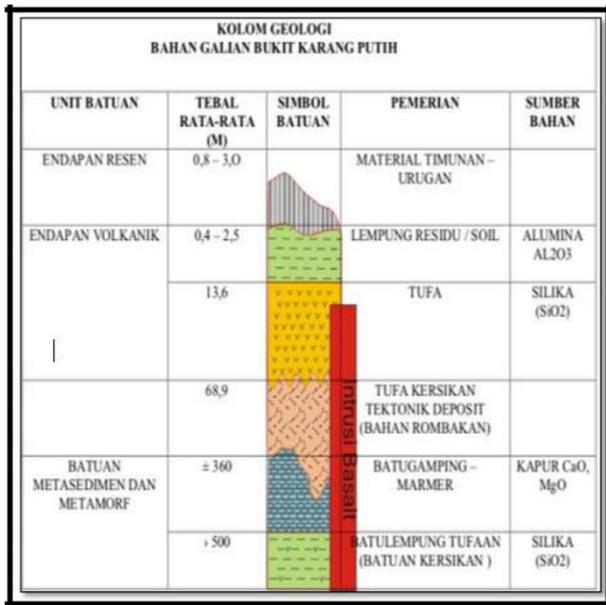


Gambar 2. Kesampaian Lokasi IUP PT. Semen Padang

Daerah penelitian termasuk ke dalam zona Pegunungan Barisan. Secara umum morfologi daerah Bukit Karang Putih termasuk dalam perbukitan lemah-kuat dan karst dengan kemiringan lereng 20° sampai dengan 65°. Daerah Bukit Karang Putih mempunyai luas kurang lebih 1 x 1,5 km², dengan daerah perbukitan yang terjal, terletak pada ketinggian 150 sampai dengan 560 m dari permukaan laut, yang didominasi oleh litologi batulempung yang telah mengalami perubahan menjadi batulempung tufa (batulempung kersikan) terdapat di Tenggara - Selatan daerah penelitian, secara menjari diendapkan batugamping sampai batugamping marmeran dan yang telah mengalami perlipatan yang kuat. Diatasnya secara tidak selaras diendapkan batuan vulkanik..

Berdasarkan hasil pemetaan geologi permukaan yang telah dilakukan oleh peneliti-peneliti terdahulu diketahui bahwa litologi dari yang tertua ke muda yang dijumpai di Bukit Karang Putih adalah sebagai berikut:

- Batugamping – Meta sedimen
Batugamping – meta sedimen, berwarna abu-abu kehitaman – abu-abu terang, kristalin, masif, batuan ini berbutir sangat halus-kasar (± 1 cm).
- Batulempung tufaan (Batuan Silika)
. Penyebaran dari batuan ini adalah dibagian Timur - Tenggara daerah penelitian, di puncak bukit Karang Putih, kemudian disepanjang lembah Selatan, di tebing-tebing dan longsoran. Secara struktur batulempung tufaan ini telah mengalami perlipatan yang kuat.
- Batuan Terobosan
Batuan terobosan yang dijumpai di daerah penyelidikan berupa batuan beku berkomposisi Basaltis.
- Endapan Alluvial
Singkapan yang paling muda yang dijumpai di daerah penyelidikan adalah endapan alluvial yang terdiri aneka macam jenis batuan,



Sumber: PT. Semen Padang

Gambar 3. Stratigrafi Bukit Karang Putih [3]

3 Kajian Teori

3.1 Rancangan Geometri Peledakan

Geometri peledakan sangat berpengaruh terhadap hasil peledakan seperti fragmentasi batuan, dan dampak peledakan. Dengan adanya perhitungan peledakan maka hasil peledakan dapat dikontrol dengan baik. Para ahli telah melakukan penelitian untuk mendapatkan pola geometri yang tepat dalam melakukan peledakan sesuai kondisi lapangan dan bahan peledak yang digunakan. Selain itu produsen bahan peledak juga menyediakan cara coba-coba (*rule of thumb*) untuk menentukan geometri peledakan. Adapun yang termasuk geometri peledakan adalah *burden*, *spacing*, *stemming*, *subdrilling* tinggi jenjang, kedalaman lubang ledak dan panjang *Powder Column*

Keberhasilan dalam suatu peledakan dapat dilihat salah satunya dengan ukuran fragmentasi batuan yang dihasil. Oleh karena itu untuk mendapatkan ukuran fragmentasi yang cocok maka kita harus dapat melakukan modifikasi terhadap geometri peledakan. Rancangan geometri ini dapat dicari dengan beberapa metode sebagai berikut:

3.1.1 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.

3.1.1.1 Burden

Burden adalah jarak tegak lurus antara lubang ledak terhadap bidang bebas terdekat dan merupakan arah pemindahan batuan (*displacement*) akan terjadi^[4].

Besarnya *burden* tergantung dari karakteristik batuan, karakteristik bahan peledak dan diameter lubang ledak. Adapun rumus mencari *burden* menurut C.J Konya ialah sebagai berikut :

$$B = 3.15 \times de \times \sqrt[3]{\frac{\rho_e}{\rho_r}} \tag{1}$$

Keterangan :

- B = *Burden* (ft)
- de = Diameter Bahan Peledak (in)
- ρ_e = Berat Jenis Bahan Peledak (gr/cc)
- ρ_r = Berat Jenis Batuan (ton/bcm)

Tabel 1. 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 :

$$B_k = B \times Kr \times Kd \times Ks \tag{2}$$

Keterangan :

- Bk = *Burden* Terkoreksi (m)
- Kd = Faktor Koreksi Berdasarkan Struktur Geologi Batuan
- Ks = Faktor Koreksi Berdasarkan Orientasi Perlapisan
- Kr = Faktor Koreksi Berdasarkan Jumlah Baris Peledakan,
- Kr = Jumlah baris lubang ledala

3.1.1.2 Spacing

Spacing ditentukan berdasarkan sistem tunda yang direncanakan dan kemungkinannya. Kemungkinan *spasi* nya dapat dijelaskan pada Tabel 5 dibawah ini.

Tabel 2. 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	$S = \frac{H + 7B}{8}$	$S = 1,4B$

3.1.1.3 Stemming

stemming juga berfungsi untuk mencegah agar tidak terjadi batuan terbang (*flyrock*) dan ledakan tekanan udara (*airblast*) saat peledakan. Umumnya pencarian nilai *stemming* ialah sebagai berikut :

$$T = K_s \times B \tag{3}$$

- Batuan massif, $k_s = 1$
- Batuan berlapis, $k_s = 0,7$

3.1.1.4 Subdrilling

Tingginya *subdrilling* tergantung dari struktur dan jenis batuan dan arah lubang bor. Pada lubang bor yang miring, *subdrilling* lebih kecil. Adapun rumus mencari nilai *subdrilling* ialah :

$$J = 0.3 \times B \tag{4}$$

Keterangan :

- J = *Subdrilling* (m)
- K_j = Koefisien *Subdrilling*
- B = *Burden* (m)

3.1.1.5 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 :

$$PC = L - T \tag{5}$$

Keterangan :

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

3.1.2 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 *K_b* pada R.L Ash ialah sebagai berikut:

$$K_b \text{ terkoreksi} = K_{bstd} \times AF_1 \times AF_2 \tag{6}$$

$$AF_1 = \sqrt[3]{\frac{SG \text{ DABEX} \times V(\text{DABEX})^2}{SG \text{ std} \times V(\text{std})^2}} \tag{7}$$

$$AF_2 = \sqrt[3]{\frac{D_{std}}{D}} \tag{8}$$

$$B = \frac{K_b \text{ koreksi} \times De}{12} \tag{9}$$

- K_b* = *Burden Ratio*
- De* = Diameter lubang tembak (*inchi*)
- K_{bstd}* = *Burden ratio standard* (25)
- AF₁* = *Adjustment factor* terhadap bahan peledak
- AF₂* = *Adjustment factor* terhadap densitas batuan
- SG* = *Specific gravity* bahan peledak (*DABEX=1.2*)
- SG_{std}* = *Specific gravity standard* (1.2)
- Ve* = Kecepatan ledak (*DABEX 73 = 17.400 m/s*)
- Ve_{std}* = Kecepatan ledak standar (12.000 ft/s)
- D_{std}* = Densitas standar (160 lb/ft³)
- D_{batuan}* = Densitas batuan

3.1.2.1. Burden

Burden adalah jarak dari lubang tembak dengan bidang bebas yang terdekat, dan arah di mana perpindahan akan terjadi. Maka untuk mencari nilai *burden* dengan metode R. L Ash ialah :

$$B = \frac{K_b \text{ koreksi} \times De}{12} \tag{10}$$

3.1.2.2. Spacing

Besar *spacing* dapat ditentukan dengan rumus sebagai berikut :

$$S = B \times K_s \tag{11}$$

Keterangan :

- S = *Spacing* (meter)
- B = *Burden* (meter)
- K_s* = *Spacing ratio*

3.1.2.3. Stemming

Stemming adalah tempat material penutup di dalam lubang bor di atas kolom isian bahan peledak. Fungsi *stemming* adalah agar terjadi stress balance dan untuk mengurung gas-gas hasil ledakan agar dapat menekan batuan dengan kekuatan yang besar. Untuk menghitung *stemming* dipakai persamaan:

$$T = K_t \times B \tag{12}$$

Keterangan :

- K_t* = *Stemming ratio*
- T = *Stemming* (meter)
- B = *Burden* (meter)

3.1.2.4. Subdrilling

Subdrilling adalah tambahan kedalaman dari lubang bor di bawah lantai jenjang yang dibuat agar jenjang yang dihasilkan sebatas dengan lantainya dan lantai yang dihasilkan rata. Panjang *subdrilling* dapat ditentukan dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$J = K_j \times B \quad (13)$$

Keterangan :

K_j = *Subdrilling ratio*
 J = *Subdrilling* (meter)
 B = *Burden* (meter)

3.1.2.5. Kedalaman Lubang Ledak

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:

$$L = K_h \times B \quad (14)$$

Keterangan :

K_h = *Hole depth ratio*
 L = *Kedalaman lubang ledak* (meter)
 B = *Burden* (meter)

3.1.2.6. Powder Column

$$PC = L - T \quad (14)$$

Keterangan :

PC = *Panjang Powder Column* (meter)
 L = *Kedalaman lubang ledak* (meter)
 T = *Stemming* (meter)

3.2 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.

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

$$de = SG_{\text{Handak}} \times d^2 \times (\pi/4) \times 1000 \quad (15)$$

Keterangan :

de = *Loading Density* (kg/m)
 SG_{handak} = *Berat Jenis Bahan Peledak* (gr/cc)
 d = *Diameter Lubang Bor* (m)

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

$$E = PC \times de \quad (16)$$

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:

$$PF = \frac{E}{\text{tonase batuan terberai}} \quad (\text{kg/ton}) \quad (17)$$

3.3 Fragmentasi Batuan Hasil Peledakan

Fragmentasi adalah bentuk material hasil peledakan berdasarkan ukuran tertentu. Analogi dengan mekanisme penggerusan, energi diteruskan pada batuan oleh batuan peledak dan terjadi pemantulan gelombang kejut berkali-kali yang melibatkan serangkaian interaksi dalam individual blok. Hal tersebut mengakibatkan blok tersebut pecah menjadi ukuran yang lebih kecil dan terbentuklah permukaan-permukaan baru. 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^[5]. Klasifikasi ukuran partikel fragmentasi hasil peledakan dapat dilihat seperti berikut^[6].

- *Over Size*
Boulder size (ukuran bongkah) yang membutuhkan *Secondary blasting* atau disebut juga peledakan ulang.
- *Fines*
 Ukuran batuan yang sangat kecil dan halus, dan product menjadi susah dalam *transport*, dikarenakan *loose material*.
- *Mid-Range*
 Ukuran rata-rata partikel yang ekonomis dan dapat dilakukan transportasi yang sesuai dengan kriteria perusahaan.

Terdapat 4 metode pengukuran fragmentasi batuan yaitu metode pengayakan (*sieving*), *boulder counting* (*production statistic*), *image analysis* (*photographic*), manual (*measurement*)^[1].

3.3.1. Prediksi Distribusi Fragmentasi Batuan Menurut Kuz - Ram

Perhitungan fragmentasi dapat dilakukan dengan metoda perhitungan Kuz Ram^[7]. Perkiraan distribusi ukuran fragmentasi hasil peledakan berdasarkan metode Kuz-Ram membutuhkan beberapa masukan data, diantaranya faktor batuan, geometri peledakan, dan jumlah bahan peledak. Adapun untuk menentukan hasil perhitungan maka didapatkan :

3.3.1.1. *Nilai faktor batuan (A)*

Nilai faktor batuan (A) pada perhitungan Kuz-Ram menggunakan beberapa parameter yang akan menentukan *Rock Factor* (A). Adapun parameter tersebut seperti pada Tabel 3

Tabel 3. Pembobotan massa batuan

PARAMETER	RATING
<i>Rock Mass Description (RMD)</i>	
1. <i>Powdery/Friable</i>	10
2. <i>Blocky</i>	20
3. <i>Totally massive</i>	50
<i>Joint Mass Description (JPS)</i>	
1. <i>Close (Spacing < 0,1 m)</i>	10
2. <i>Intermediate (Spacing 0,1 – 1 m)</i>	20
3. <i>Wide (Spacing > 1 m)</i>	30
<i>Joint Plane Orientation (JPO)</i>	
1. <i>Horizontal</i>	10
2. <i>Dip out of face</i>	20
3. <i>Strike normal to face</i>	30
4. <i>Dip into face</i>	40
<i>Specific Gravity Influence (SGI)</i>	SGI – 25 × SG - 50
<i>Hardness (H) Skala mohs</i>	1 – 10
<i>Blastibility Index (BI)</i>	0,5 x (RMD+JPS+JPO+SGI+H)
<i>Rock Factor (A)</i>	0,12 x BI

3.3.1.2 Fragmentasi rata-rata (Xm)

Fragmentasi rata-rata (Xm) dari perhitungan yang menggunakan metoda Kuz Ram, dapat dicari menggunakan persamaan dengan memasukan beberapa parameter yang telah diketahui.

$$X_{rata-rata} = A \left(\frac{V_o}{Q_e} \right)^{0.8} Q^{0.1667} \left(\frac{E}{115} \right)^{-0.63} \tag{18}$$

Keterangan :

- Xm = Ukuran Rata - Rata Fragmentasi Batuan (cm)
- A = Faktor Batuan
- Vo = Jumlah batuan per lubang tembak (B x S x L) m³
- Qe = Massa bahan peledak per lubang tembak (Kg)
- E = RWS bahan peledak : DABEX = 77

3.3.1.3 Ukuran Fragmentasi

Langkah selanjutnya yang harus dilakukan yaitu mencari karakteristik ukuran (Xc), setelah itu menentukan indeks keseragaman batuan (n), lalu melakukan perhitungan untuk mencari persentase ukuran batuan dengan menggunakan persamaan Rossin Ramler.

$$X_c = \frac{X_m}{(0.693)^{\frac{1}{n}}} \tag{19}$$

$$n = \left(2.2 - \frac{14B}{d} \right) \left[\left(\frac{1 + \frac{s}{b}}{2} \right)^{0.5} \right] x \left(1 - \frac{W}{B} \right) x \left(\frac{PC}{L} \right) \tag{20}$$

$$R = e^{-\left(\frac{X}{X_c} \right)^n} \tag{21}$$

Keterangan

- R = Persentase Ukuran Batuan (%)
- Xc = karakteristik ukuran (cm)
- X = Ukuran Ayakan (cm)

- n = Indeks Keseragaman
- e = Konstanta Eksponensial (2,71828)
- B = *Burden*
- S = *Spacing*
- D = Diameter lubang ledak
- W = Standar deviasi
- PC = *Powder Column*
- H = Tinggi jenjang

3.3.2. Perhitungan Fragmentasi menggunakan Software Split Desktop

Distribusi fragmentasi dapat dihitung secara teoritis dari keadaan geologi, jenis batuan, jenis bahan peledak dan geometri peledakan yang diterapkan [8].

Pengukuran fragmentasi dilakukan dengan cara *image analysis (Photographic)*, metode ini menggunakan perangkat lunak (*Software*) dalam melakukan analisis fragmentasi. Fragmentasi hasil peledakan aktual pada didapatkan dengan cara mengambil foto di lapangan, dan dianalisis dengan *software split desktop*. Untuk pembandingan digunakan helm yang berukuran panjang 28 cm. Dan pada akhirnya, *software* akan menganalisis persentase ukuran batuan dalam foto. Dalam penelitian ini, akan menggunakan *software split desktop 2.0*.

3.4 Digging time Alat Gali Muat.

Waktu gali (*digging time*), merupakan waktu yang dibutuhkan oleh alat gali untuk mengisi bucket. Pengisian bucket sangat dipengaruhi oleh kondisi material, tenaga alat gali, kondisi kuku bucket. Material bersifat keras akan meningkatkan tahanan gali (*digging resistance*), yang menyulitkan alat gali dalam menggaruk material. *Digging time* merupakan bagian dari aspek yang dihitung untuk penentuan waktu edar (*cycle time*)^[9]. *Cycle time* merupakan waktu total yang dibutuhkan alat gali dalam melakukan satu kali siklus kegiatan. *Cycle time* alat gali muat terdiri dari 4 kegiatan dalam satu siklus yaitu, *digging time*, *swing isi*, waktu *dumping*. *swing* kosong.

3.5 Analisis Statistik

3.5.1 Analisis Korelasi

Korelasi merupakan suatu hubungan antara satu variabel dengan variabel lainnya dalam bentuk diagram pencar (*scatterplot*) yang menunjukkan hubungan antara kedua variabel tersebut, dimana koefisien korelasi (ρ) mempunyai nilai -1 ≤ ρ ≤ 1.

3.5.2 Koefisien Determinasi

Koefisien *determinasi* (R²) adalah bagian dari keragaman total variable terikat (Y) yang dapat diterangkan oleh keragaman variable bebas (X). Koefisien ini dihitung dengan mengkuadratkan koefisien korelasi. Adapun interpretasi dari nilai koefisien determinasi dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Interpretasi nilai Koefisien Determinasi (R^2).^[10]

R^2	Interpretasi
0,00 – 0,25	Tidak ada hubungan/hubungan lemah
0,26 – 0,50	Hubungan sedang
0,51 – 0,75	Hubungan kuat
0,76 – 1,00	Hubungan sangat kuat/sem sempurna

3.5.3. Regresi

Analisis regresi digunakan untuk memberikan penjelasan hubungan antara dua jenis variabel atau lebih yaitu hubungan antara variabel dependen atau variabel kriteria dengan variabel independen atau variabel predictor

4 Metode Penelitian

4.1 Jenis 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^[11]

4.2 Teknik Pengumpulan Data

Cara pengambilan data - data yang diperlukan dalam penelitian ini meliputi :

1. Studi kepustakaan, yaitu pengumpulan data-data dari literatur-literatur dan internet tentang hasil kegiatan peledakan.
2. Observasi lapangan, yaitu pengamatan di lapangan meliputi kegiatan peledakan.
3. Wawancara dengan instruktur lapangan serta orang-orang yang ahli dibidangnya.

Adapun data – data yang dikumpulkan terbagi menjadi dua, yaitu :

4.2.1. Data Primer

Data Primer meliputi :

- Geometri peledakan aktual
- Hasil foto/gambar fragmentasi batuan dari hasil kegiatan peledakan.
- *Digging time* alat gali muat

4.2.2 Data Sekunder

Data Sekunder meliputi :

- Gambaran umum daerah penyelidikan
- Data *Blast Report*
- Data Geologi
- *Hand Book* alat gali muat
- Data Karakteristik Bahan Peledak DABEX
- Data sifat fisik dan mekanik batuan

4.3. Teknik Pengolahan Data

Adapun pengolahan data-data yang diperlukan dalam penelitian ini meliputi :

1. Perhitungan dan distribusi fragmentasi batuan dengan *software split desktop* dari geometri peledakan aktual, dan *digging time* aktual alat gali muat
2. menganalisis pengaruh geometri peledakan terhadap fragmentasi hasil peledakan serta *digging time* alat gali muat dari hasil geometri peledakan aktual.
3. Perhitungan geometri rancangan usulan berdasarkan teori R.L Ash dan C.J Konya
4. Perhitungan prediksi fragmentasi batuan hasil geometri peledakan usulan dengan metode Kuz – Ram.

4.4 Teknik Analisis Data

Teknik analisis data yang dilakukan pada penelitian ini meliputi perhitungan dan analisis distribusi fragmentasi batuan, analisis *digging time* alat gali muat, dan analisis statistik dengan menggunakan *software Microsoft Excel*. Kemudian setelahnya akan dilakukan evaluasi geometri peledakan.

Analisis distribusi fragmentasi aktual dilakukan dengan *software Split Desktop 2.0*, dimana parameter yang dibutuhkan berupa foto dari batuan yang telah diberaikan. Adapun *output* yang didapat berupa grafik dari presentase distribusi fragmentasi batuan dengan berbagai ukuran ayakan.

Sedangkan *digging time* alat gali muat dapat diperhatikan setelah kegiatan peledakan selesai ketika alat gali muat mulai menggali (*digging*) material yang telah terberaikan. Adapun *output* yang akan diperoleh dari kegiatan ini ialah waktu menggali (*digging time*) alat gali muat yang seminimal mungkin.

5 Hasil dan Pembahasan

5.1 Kegiatan Peledakan

5.1.1 Data Geometri Peledakan Aktual

Pengamatan dilakukan sebanyak 15 kali peledakan di area Pit Limit PT. Semen Padang tanggal 5 Januari 2021 sampai dengan tanggal 5 Februari 2021. Dalam kegiatan peledakan penulis mengambil data geometri peledakan aktual sebagai berikut:

Tabel 5. Data geometri peledakan aktual

no	tanggal	B	S	L	H	PC	T	J
1	5/1/21	3.5	3.9	10.4	9.1	5.7	4.7	1.3
2	6/1/21	3.3	3.6	7.0	5.9	4.0	3.0	1.1
3	7/1/21	3.5	3.8	10.6	9.3	6.0	4.5	1.3
4	8/1/021	3.3	3.7	9.5	8.4	5.5	4.0	1.1
5	9/1/21	3.2	3.6	10.6	9.4	6.4	4.3	1.3
6	12/1/21	3.4	3.6	9.1	8.0	5.5	3.6	1.1
7	13/1/21	3.3	3.6	6.6	5.4	3.8	2.8	1.2
8	14/1/21	3.5	3.8	8.2	7.2	4.5	3.7	1.0
9	15/1/21	3.3	3.6	10.7	9.5	5.7	5.0	1.2

10	18/1/21	3.3	3.7	8.3	7.3	4.6	3.7	1.0
11	19/1/21	3.2	3.5	9.8	8.6	5.5	4.3	1.2
12	20/1/21	3.2	3.5	10.0	8.8	5.5	4.5	1.2
13	21/1/21	3.2	3.6	4.2	3.2	2.3	1.9	1.0
14	22/1/21	3.3	3.7	10.0	8.8	5.6	4.4	1.2
15	25/1/21	3.5	3.9	10.5	9.3	6.2	4.3	1.2
Rata-rata		3.3	3.7	9.0	7.9	5.1	3.9	1.2

Berdasarkan Tabel 2, geometri peledakan aktual ketika observasi menunjukkan rata rata nilai 3,3 m *burden*, 3,7 m *spasi* dan 1,2 m *sub-drilling*, kedalaman lubang ledak (L) 9, tinggi jenjang (H) 7,9 m dan *Stemming* (T) 3,9 m.

5.1.2 Fragmentasi Batuan Dari Data Aktual Geometri Peledakan

Hasil dari perhitungan ukuran fragmentasi batuan dengan menggunakan *software split dekstop* dapat dilihat pada tabel di bawah ini. Tabel 6 menunjukkan bahwa hasil fragmentasi distribusi batuan yang memenuhi ketentuan pada PT. Semen Padang, yaitu jumlah *boulder* (batuan > 80 cm) yang tertahan ialah diatas 20%.

Tabel 6. Fragmentasi batuan berukuran boulder pada peledakan aktual

No	Tanggal	Tertahan	Lolos
1	5/1/2021	43.14%	56.86%
2	6/1/2021	27.57%	72.43%
3	7/1/2021	40.68%	59.32%
4	8/1/2021	35.06%	64.94%
5	9/1/2021	25.55%	74.45%
6	12/1/2021	30.06%	69.94%
7	13/1/2021	22.18%	77.82%
8	14/1/2021	43.97%	56.03%
9	15/1/2021	28.03%	71.97%
10	18/1/2021	31.69%	68.31%
11	19/1/2021	26.18%	73.82%
12	20/1/2021	21.91%	78.09%
13	21/1/2021	21.59%	78.41%
14	22/1/2021	34.92%	65.08%
15	25/1/2021	38.95%	61.05%
rata-rata		31.43%	68.57%

Berdasarkan tabel diatas dapat dilihat bahwa rata-rata persentase fragmentasi boulder yang tertahan adalah sebesar 31,43% sementara harapan dari perusahaan fragmentasi *boulder* dibawah 20%.

5.2 Digging time Aktual Hasil Peledakan

Pengambilan data *digging time* dilakukan pada setiap peledakan dengan alat gali muat yang diamati adalah excavator jenis Backhoe Caterpillar 6030 berkapasitas bucket 17 m³. Dari observasi 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 kuku *bucket* saat menggali lebih besar pada material yang berukuran *boulder*. Selain itu juga disebabkan karena keras atau lunaknya material

yang akan digali. Berdasarkan pengamatan dan perhitungan data yang dilakukan pada area peledakan maka didapatkan nilai *digging time* seperti pada Tabel 7.

Tabel 7. Data Digging time Broken Material

No	Tanggal	Min	Max	Rata-Rata
1	5/1/2021	8	26	17.96
2	6/1/2021	9	21	13.86
3	7/1/2021	9	28	18.65
4	8/1/2021	8	25	15.56
5	9/1/2021	8	23	13.64
6	12/1/2021	9	24	14.77
7	13/1/2021	8	21	13.08
8	14/1/2021	8	27	18.55
9	15/1/2021	8	21	13.30
10	18/1/2021	9	23	16.46
11	19/1/2021	8	24	13.90
12	20/1/2021	8	22	13.53
13	21/1/2021	9	23	13.50
14	22/1/2021	9	22	15.57
15	25/1/2021	8	22	16.88
rata-rata		8.40	23.47	15.28

5.3 Analisis Statistik Hubungan Geometri Peledakan, Hasil Fragmentasi Peledakan Ukuran Boulder, Dan Digging time Alat Gali Muat

5.3.1 Analisis Statistik Pengaruh Geometri Peledakan Terhadap Fragmentasi Peledakan

Parameter- parameter yang dianalisis adalah geometri peledakan berupa *burden*, *spasi*, kedalaman lubang, *powder column*, *powder factor*, *stemming*, *subdrilling*, dan diameter lubang. Adapun hasil analisis statistik pengaruh geometri peledakan terhadap fragmentasi peledakan berukuran *boulder* dapat dilihat pada tabel 8 di bawah ini.

Tabel 8. Hasil Analisis Statistik Pengaruh Geometri Peledakan Terhadap Fragmentasi Peledakan

Parameter	R ²	Interpretasi	persamaan regresi
Burden	0.7742	Sangat Kuat	$y = 0.5749x - 1.6021$
Spacing	0.8044	Sangat Kuat	$y = 0.5381x - 1.6622$
Lubang Ledak	0.1791	Lemah	$y = 0.0174x + 0.157$
Powder Column	0.1651	Lemah	$y = 0.0286x + 0.1681$
Stemming	0.1793	Lemah	$y = 0.0397x + 0.1585$
Tinggi Jenjang	0.1882	Lemah	$y = 0.0185x + 0.1684$
subdrill	0.0089	Lemah	$y = 0.0712x + 0.232$
Powder factor	0.7938	Sangat Kuat	$y = -3.8095x + 1.0627$

Berdasarkan tabel 8, terlihat bahwa pengaruh geometri peledakan terhadap fragmentasi boulder yaitu yang memiliki korelasi tinggi adalah *burden*, *spacing* dan *powder factor* dengan nilai koefisien determinasi sebesar 0,774; 0,804; dan 0,794.

5.3.2 Analisis Statistik Pengaruh Geometri Peledakan dan Fragmentasi Peledakan terhadap digging time alat gali muat

Pengaruh Geometri Peledakan dan hasil fragmentasi peledakan terhadap diggability alat gali muat perlu dikaji terutama pengaruh fragmentasi peledakan ukuran boulder terhadap digging time alat gali muat. Parameter geometri peledakan yang ingin diketahui pengaruhnya terhadap digging time alat gali muat adalah parameter yang memiliki pengaruh kuat terhadap fragmentasi peledakan yang berukuran boulder yaitu *burden*, *spacing*, dan *powder factor*. Adapun hasil analisis statistik pengaruh geometri peledakan dan Fragmentasi Peledakan berukuran boulder terhadap digging time alat gali muat dapat dilihat pada tabel 9 di bawah ini.

Tabel 9. Hasil Analisis Statistik Pengaruh Geometri Peledakan dan Fragmentasi Peledakan terhadap digging time alat gali muat

Parameter	R ²	Interpretasi hubungan	Persamaan Regresi
Burden	0.7279	Kuat	$y = 0.5749x - 1.6021$
Spacing	0.7586	Sangat Kuat	$y = 13.51x - 34.347$
Powder factor	0.6935	Kuat	$y = -92.061x + 33.367$
Boulder	0.8976	Sangat Kuat	$y = 24.496x + 7.5808$

5.4. Rancangan Usulan Geometri Peledakan untuk Mengurangi Fragmentasi Boulder Agar Target Digging time Alat Gali Muat Tercapai

5.4.1 Rancangan Usulan Geometri peledakan Berdasarkan Teori C.J Konya dan Hasil Fragmentasi yang Dihasilkan

Adapun hasil perhitungan dari rancangan usulan geometri menurut C.J Konya^[12] dapat dilihat pada tabel 10 berikut.

Tabel 10. Rancangan Usulan Geometri peledakan Berdasarkan Teori C.J Konya

No	Parameter	Nilai
1	Burden (B)	3.0
2	Spacing (S)	3.5
3	Tinggi Jenjang (H)	8.0
4	Stemming (T)	3.0
5	Subdrilling (J)	1.0
6	Hole Depth (L)	9.0
7	Powder Column	6.0

Adapun hasil perhitungan fragmentasi peledakan dari rumusan Kuz-Ram bisa dilihat pada tabel 11 berikut ini.

Tabel 11. Fragmentasi rumusan kuzram dari peledakan Berdasarkan Teori C.J Konya

No	Parameter	Nilai
1	Fragmentasi rata-rata (Xm)	27.15
2	Indeks Keseragaman (n)	1.24
3	karakteristik ukuran (xc)	36.50
4	persentasi boulder	7.10%

5.4.2 Rancangan Usulan Geometri peledakan Berdasarkan Teori R.L Ash dan Hasil Fragmentasi yang Dihasilkan

Adapun hasil perhitungan dari rancangan usulan geometri menurut R.L Ash^[13] dapat dilihat pada tabel 12 berikut.

Tabel 12. Rancangan Usulan Geometri peledakan Berdasarkan Teori R.L Ash

No	Parameter	Nilai
1	Burden (B)	3.2
2	Spacing (S)	3.6
3	Tinggi Jenjang (H)	8.0
4	Stemming (T)	3.2
5	Subdrilling (J)	1.2
6	Hole Depth (L)	9.0
7	Powder Column	5.8

Adapun hasil perhitungan fragmentasi peledakan dari rumusan Kuz-Ram bisa dilihat pada tabel 13 berikut

Tabel 13. Fragmentasi rumusan kuzram dari peledakan Berdasarkan Teori R.L Ash

No	Parameter	Nilai
1	Fragmentasi rata-rata (Xm)	29,59
2	Indeks Keseragaman (n)	1,17
3	karakteristik ukuran (xc)	40,45
4	persentasi boulder	10,81%

5.4.3. Perbandingan prediksi fragmentasi Kuz-Ram dan Prediksi Fragmentasi Software Split Dekstop dari Peledakan aktual

Tabel 14. Perbandingan prediksi fragmentasi Kuz-Ram dan Prediksi Fragmentasi Software Split Dekstop

No	Tanggal	Kuz-Ram	Split Desktop	Ratio
1	5/1/2021	24.2%	43.1%	1.78
2	6/1/2021	15.8%	27.6%	1.75
3	7/1/2021	22.3%	40.7%	1.83
4	8/1/2021	18.0%	35.1%	1.95
5	9/1/2021	15.2%	25.6%	1.68
6	12/1/2021	16.8%	30.1%	1.79
7	13/1/2021	14.6%	22.2%	1.52
8	14/1/2021	22.7%	44.0%	1.93
9	15/1/2021	22.6%	28.0%	1.24
10	18/1/2021	19.7%	31.7%	1.61
11	19/1/2021	17.5%	26.2%	1.50
12	20/1/2021	18.5%	21.9%	1.18
13	21/1/2021	11.7%	21.6%	1.85
14	22/1/2021	19.9%	34.9%	1.75
15	25/1/2021	21.3%	39.0%	1.83
rata-rata		18.7%	31.4%	1.68

Berdasarkan tabel 14, diketahui perbandingan antara prediksi fragmentasi peledakan aktual menggunakan metode Kuz-Ram dan Split Dekstop sebesar 1 : 1,68. Maka didapatkan prediksi fragmentasi geometri usulan I sebesar 11,92%, sedangkan geometri usulan II sebesar 18,384%. Berdasarkan analisis tersebut maka dapat dipilih rancangan usulan geometri peledakan yang direkomendasikan adalah rancangan usulan I.

5.5 Prediksi *Digging time* Hasil Geometri Usulan

Untuk mengetahui berapa waktu yang dibutuhkan oleh gali muat untuk menggali material hasil peledakan dapat diketahui dengan persamaan berdasarkan hasil analisis regresi berikut

$$y = 24.496x + 7.5808$$

keterangan:

y = *digging time* alat gali muat

x = persentase fragmentasi yang berupa *boulder*

Jadi dengan fragmentasi *boulder* sebesar 11,92% cm diperkirakan rata-rata waktu yang dibutuhkan untuk menggali material hasil peledakan atau (*digging time*) adalah 10,5 detik

5.6 Perbandingan Antara Geometri Peledakan Aktual dengan Usulan

Perbandingan hasil peledakan aktual dan rancangan usulan untuk melihat seberapa besar perbandingan antara kedua parameter tersebut dan hasil yang didapatkan. Adapun perbandingan hasil peledakan aktual dengan peledakan rancangan usulan bisa dilihat pada Tabel 15 berikut ini.

Tabel 15. Perbandingan Antara Geometri Peledakan Aktual dengan Usulan

Parameter	Usulan	Aktual
<i>Burden</i>	3,0	3,3
<i>Spacing</i>	3,5	3,7
Lubang Ledak	9,0	9,0
<i>Powder Column</i>	6,0	5,1
<i>Stemming</i>	3,0	3,9
<i>Tinggi Jenjang</i>	8,0	7,9
<i>subdrilling</i>	1,0	1,2
<i>Powder factor</i>	0,26	0,19
Rata-rata <i>boulder</i>	11,92%	31,43%
Rata-rata <i>digging time</i>	10,5 s	15,28 s

6 Penutup

6.1 Kesimpulan

1. Dari hasil perhitungan fragmentasi batuan hasil peledakan aktual perusahaan diperoleh rata-rata persentase fragmentasi berukuran *boulder* berdasarkan *software split dekstop* sebesar 31,43% sehingga rata-rata fragmentasi *boulder* yang dihasilkan ini masih tergolong buruk karena fragmentasi berukuran *boulder* yang dihasilkan masih tergolong banyak. Adapun hasil dari pengamatan terhadap *digging time* alat gali muat *Excavator Backhoe* CAT 6030 didapatkan rata-rata *digging time* alat gali muat terhadap material hasil peledakan sebesar 15,28 detik.
2. Hubungan antara geometri peledakan terhadap fragmentasi batuan hasil peledakan dijelaskan

melalui persamaan regresi linear dimana dari hasil regresi linear didapatkan parameter yang memiliki pengaruh besar terhadap fragmentasi batuan hasil peledakan adalah *burden*, *spacing*, dan *powder factor*, dengan nilai koefisien determinasi (R^2) 0,774; 0,804; dan 0,794. Kemudian hubungan antara geometri peledakan dan fragmentasi batuan hasil peledakan berukuran *boulder* terhadap *digging time* alat gali muat dijelaskan melalui persamaan regresi linear dimana parameter geometri peledakan yang dianalisis adalah *burden*, *spacing*, dan *powder factor*, dari hasil regresi linear didapatkan nilai koefisien determinasi (R^2) 0,7279; 0,7586; dan 0,6935, sedangkan parameter fragmentasi hasil peledakan berukuran *boulder* memiliki koefisien determinasi (R^2) 0,8976

3. Rekomendasi geometri peledakan guna memperbaiki fragmentasi batuan hasil peledakan, maka digunakan teori C.J Konya diperoleh rancangan geometri peledakan dengan *burden* 3 m, *spasi* 3,5 m, kedalaman lubang ledak 9 m, *PC* 6 m, *powder factor* 0,26 kg/ton. Selanjutnya digunakan metode R.L Ash guna memperbaiki fragmentasi batuan hasil peledakan dan diperoleh rancangan geometri peledakan dengan nilai: *burden* 3,2 m, *spasi* 3,6 m, kedalaman lubang ledak 9 m, *powder column* 5,8 m, dan *powder factor* 0,23 kg/ton.
4. Dari hasil perhitungan geometri peledakan usulan maka dipilih geometri metode C.J Konya, dengan prediksi fragmentasi batuan yang berukuran *boulder* sebesar 11,92% dan prediksi rata-rata *digging time* alat gali muat selama 10,5 detik

6.2 Saran

1. Geometri yang telah direncanakan oleh perusahaan sebaiknya diperiksa terlebih dahulu sebelum dilakukan peledakan.
2. Untuk kedepannya, penulis menyarankan agar dalam kegiatan peledakan yang dilakukan PT. Semen Padang supaya mempersiapkan lokasi peledakan yang optimal, seperti menyiapkan area lokasi sebelum dilakukan pemboran, serta selalu mengawasi kinerja alat bor agar tidak didapatkan kedalaman dan kemiringan lubang yang tidak sesuai dengan direncanakan, karena dengan kedalaman dan kemiringan lubang yang berbeda-beda, peledakan akan tidak berjalan dengan optimal.

Daftar Pustaka

- [1] Kulatilake, P. H. S. W., Qiong, W., Hudaverdi, T., & Kuzu, C. (2010). Mean particle size prediction in rock blast fragmentation using neural networks. *Engineering Geology*, 114(3-4), 298-311.
- [2] Safarudin, S., Purwanto, P., & Djamaluddin, D. (2016). Analisis Pengaruh Geometri Peledakan Terhadap Fragmentasi dan *Digging time* Material Blasting. *Jurnal Penelitian Enjiniring (JPE)*, 20(2), 54-62.
- [3] Anonim PT. Semen Padang

- [4] Cahyadi, M. I., & Kopa, R. (2019). Evaluasi Rancangan Geometri Peledakan Berdasarkan Hasil Fragmentasi Batuan dan Getaran Tanah Pada PT. Koto Alam Sejahtera Kabupaten Lima Puluh Kota Provinsi Sumatera Barat. *Bina Tambang*, 4(1), 140-152.
- [5] Nilasari, G.A., Nurhakim, N., Riswan, R. and Gunawan, H., 2017. Evaluasi Geometri Berdasarkan
- [6] Fragmentasi Hasil Peledakan pada Penambangan Batu Gamping di PT. Semen Tonasa. *Jurnal Himasapta*, 2(2).
- [7] Hustrulid, W. A. (1999). *Blasting principles for open pit mining: general design concepts*. Balkema
- Cunningham, C. V. B. (2005, September).
- [8] The Kuz-Ram fragmentation model–20 years on. In *Brighton conference proceedings* (pp. 201-210). European Federation of Explosives Engineers, England.
- [9] Santika Adhi., 2012. *Kajian Teknis Peledakan Pada Kegiatan Pembongkaran Lapisan Penutup Untuk Meningkatkan Produktivitas Alat Muat Di PT. Thiess Contractors Indonesia Melak, Kalimantan Timur.*, pp.1-6.
- [10] Putri, M., Yulhendra, D., & 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.
- [11] Hastono (2006). *Analisis Data SPSS*. Universitas Indonesia.
- [12] Sukardi, P. D. (2003). *Metodologi penelitian pendidikan*. Jakarta: Bumi Aksara, 34.
- [13] Konya, C. J., & Walter, E. J. (1991). *Rock blasting and overbreak control* (No. FHWA-HI-92-001; NHI-13211). United States. Federal Highway Administration.
- [14] Ash, R. L. (1990). *Design of Blasting Round*, "Surface Mining", BA Kennedy, Editor, Society for Mining, Metallurgy, and Exploration.