

## PREDIKSI FRAGMENTASI PELEDAKAN MENGGUNAKAN METODE KUZ-RAM DAN METODE IMAGE ANALYSIS DI BUKIT KARANG PUTIH PT. SEMEN PADANG

Rahma Febriani<sup>1\*</sup>, Rusli har<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departemen Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang

[\\*rahmafebriani66@gmail.com](mailto:*rahmafebriani66@gmail.com)

**Abstrak.** *Limestone has massive and hard properties so that for production it is necessary to handle it by breaking up the rock mass. Separation of the rock mass is carried out by drilling and blasting which aims to split the rock according to the size of the rock fragmentation that has been planned. One of the factors for the success of a blasting operation is the size of the resulting rock fragmentation. where, later the size of the resulting fragmentation will affect the removal and disassembly of the blasted material. The company has a fragmentation target of no more than 15% with a size of  $\pm 80$  cm. The percentage of boulder from the actual results of blasting is  $\pm 28\%$ , thus disturbing the performance of the loading and unloading equipment to be ineffective and can result in production targets not being achieved. This research aims to determine the percentage size of fragmentation resulting from blasting activities theoretically and using Split Desktop Software. The results of this study are expected to be able to provide information to what extent the success of the blasting carried out by PT. Semen Padang, so that the company can determine the proper blasting geometry to use. The method used in analyzing the results of blasting fragmentation is using the Kuz Ram method and Split Desktop Software. The Kuz-Ram method pays close attention to the size of blasted rock fragmentation. In addition, analysis with the Kuz-Ram model is based on rock factor parameters, rock volume and explosives used. To find out the level of rock fragmentation resulting from blasting, you can use the Image Analysis Method, namely Split Desktop Software. Based on the data analysis performed, the percentage of fragmentation calculated using the split desktop software is 74.12% with a boulder percentage of 25.88%. Meanwhile, the prediction of fragmentation resulting from the Kuz-ram model is 71.98% with a boulder percentage of 28.02%.*

**Kata kunci:** *Blasting Geometry, Blasting Fragmentation, Kuzram Model, Image Analysis, Split Desktop.*

### 1. Pendahuluan

Pertambangan merupakan sebagian atau seluruh tahapan kegiatan, pengelolaan dan pengusahaan mineral atau batubara yang meliputi penyelidikan umum, eksplorasi, studi kelayakan, konstruksi, penambangan, pengolahan dan pemurnian, pengangkutan dan penjualan, serta kegiatan pasca tambang (UU No. 3 Tahun 2020 tentang Perubahan atas Undang-Undang Nomor 4 Tahun 2009 tentang Pertambangan Mineral dan Batubara)[1].

PT. Semen Padang yang berdiri sejak tahun 1910 merupakan perusahaan tertua di Indonesia. Badan Usaha Milik Negara (BUMN) ini menjadi produsen semen nasional untuk kebutuhan pasar dalam negeri dengan daerah pemasaran dari pulau Sumatera sampai Kalimantan. Metode penambangan yang dilakukan oleh PT. Semen Padang adalah metode tambang terbuka sistem *Type Side Hill Quarry*. Sistem ini merupakan suatu penambangan terbuka yang diterapkan untuk menambang batuan atau endapan

mineral industri yang terletak di lereng bukit atau berbentuk bukit. Siklus Penambangan batu Kapur di PT. Semen Padang meliputi kegiatan land clearing, pembongkaran material dengan cara peledakan, pemuatan, pengangkutan dan pengolahan.

Batu Kapur mempunyai sifat *massive* dan keras sehingga untuk produksi perlu dilakukan penanganan dengan pemberaian massa batuan. Pemberaian massa batuan dilakukan dengan pengeboran dan peledakan. Pengeboran lubang ledakan adalah suatu operasi peledakan batuan yang paling awal. Tujuannya adalah untuk mengebor lubang ledakan yang kemudian akan diisi dengan bahan peledakan[2].

Perusahaan memiliki target fragmentasi hasil peledakan adalah tidak lebih dari 15% dengan ukuran  $\pm 80$  cm. persentase *boulder* dari hasil peledakan aktual adalah  $\pm 28\%$ , artinya mengganggu peforma alat gali muat jadi tidak efektif dan dapat mengakibatkan target produksi tidak

tercapai. Metode yang digunakan dalam menganalisis hasil fragmentasi peledakan adalah menggunakan metode *Kuz-Ram* dan *Software Spilt Desktop*. Metode *Kuz-Ram* sangat memperhatikan distribusi ukuran *fragmentasi* batuan hasil peledakan. Selain itu, analisis dengan model *Kuz-Ram* yang didasarkan pada parameter factor batuan, volume batuan dan bahan peledak yang dipakai.

Penelitian yang dilakukan ini bertujuan untuk mengetahui persentase distribusi ukuran fragmentasi hasil kegiatan peledakan secara teoritis dan menggunakan *software Split Desktop*. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi sejauh mana keberhasilan peledakan yang akan dilakukan oleh PT. Semen Padang, sehingga perusahaan dapat menentukan geometri peledakan yang tepat untuk digunakan.

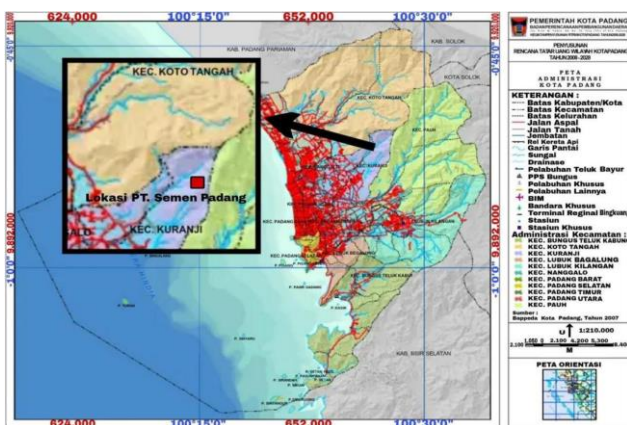
## 2. Tinjauan Pustaka

### 2.1 Lokasi penelitian

Secara geografis lokasi penambang PT. Semen Padang terletak pada koordinat  $1^{\circ} 04' 30''$  LS sampai dengan  $1^{\circ} 06' 30''$  dan  $100^{\circ} 15' 30''$  BT sampai dengan  $100^{\circ} 10' 30''$  BT. Lokasi tambang PT. Semen Padang meliputi area seluas 260 Hektar.

Lokasi wilayah IUP PT. Semen Padang dapat ditempuh dengan tahap sebagai berikut:

- Dari pusat Kota Padang menuju Kecamatan Lubuk Kilangan Kelurahan Batu Gadang dengan menggunakan jalur darat ditempuh dengan jarak  $\pm 15$  km.
- Dari Kelurahan Batu Gadang Jl. Padang Basi menuju lokasi tambang ditempuh menyusuri jalan sejauh 5 Menit.
- Daerah produksi juga dapat ditempuh dengan kendaraan roda empat dari lokasi tambang, dimana kedua lokasi saling bersebelahan.



**Gambar 1.** Peta Lokasi Daerah Penelitian

### 2.2. Kondisi Geologi Daerah Penelitian

#### 2.2.1 Keadaan Geologi Regional Dan Morfologi

Batu gamping merupakan batuan karbonat yang tersusun secara dominan oleh karbonat ( $\text{CaCO}_2$ ) dalam mineral kalsit. Terjadi secara rombakan maupun kimia Jenis bahan

organik yang terdekomposisi berasal dari akumulasi sedimen, kerang dan siput, foraminifera dan alga [3]. Jenis perubahan kimia ini terjadi ketika pengendapan karena perubahan sifat bahan organik yang tidak terjadi secara in situ. Spesies lain muncul dari pengendapan kalsium karbonat di bawah kondisi iklim dan lingkungan tertentu, termasuk endapan air laut, air tawar, dan batu kapur. Batugamping yaitu batuan yang mengandung kalsium karbonat sampai dengan 95% [4]. Karakteristik, tekstur, struktur serta kandungan fosil yang ada dalam batu gamping dapat digunakan untuk mempelajari kondisi lingkungan pengendapan pada masa lalu [5].

Secara umum morfologi daerah Bukit Karang Putih termasuk dalam perbukitan lemah-kuat dan karst dengan kemiringan lereng  $20^{\circ}$  sampai dengan  $65^{\circ}$ . Daerah Bukit Karang Putih mempunyai luas kurang lebih  $1 \times 1,5 \text{ km}^2$ , 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 menjeri diendapkan batugamping sampai batugamping marmeran dan yang telah mengalami perlipatan yang kuat. Diatasnya secara tidak selaras diendapkan oleh batuan vulkanik. Disamping itu juga dijumpai batuan terobosan yang berkomposisi basalt.

#### 2.2.2 Stratigrafi

Stratigrafi daerah penelitian berupa batuan dari tua – muda berumur – pra tersier dan kuartar [6]. Statigrafi daerah penelitian dapat dilihat sebagai berikut:

- Alluvium: Lumpur, pasir, dan kerikil umumnya ditemukan di dataran pantai, termasuk endapan di utara Tiku, barat daya Lubuk Alung, dan timur gurun.
- Kipas Alluvium: Sebagian besar terdiri dari sisa-sisa andesit dari sumber pengendapan dan potongan andesit yang menutupi permukaan. Endapan aluvial yang terdapat pada lereng gunung berapi Kuarer dipetakan sebagai produk vulkanik.
- Tufa Kristal: Batuan yang mengeras, berbentuk kristal, dan tersemen dengan baik di sepanjang Sungai berwarna muda terdiri dari kuarsa, plagioklas, dan pecahan batuan vulkanik sedang hingga asam dengan diameter hingga 10 cm, kaya akan serat kaca. Lebih jauh ke selatan, warnanya abu-abu muda sampai abu-abu kehijauan tua dan komposisinya lebih mafik, massa dasar biasanya klorit dan tufa, yang selain kuarsa dan plagioklas, mengandung balok-balok batu dengan komposisi mafik sedang, tanpa serat kaca, kontak sejajar atau sesar, tufa dan andesit. Sumber tufa tidak diketahui..
- Andesit Dan Tufa: Berselingan andesit sebagai inklusi didalam tufa.
- Endapan Vulkanik: Lahar, konglomerat dan endapan-endapan koluvium lainnya.
- Batugamping Juva: Kompak, berwarna putih hingga abu-abu kebiruan, berbentuk kristal dan berongga, mengandung Milleporidium dan alga akuatik Jurassic, dapat dikorelasikan dengan anggota batu gamping Lembah Painan dan Formasi Tanda Tangan Timur Laut (Jsl) Muara Siberut.

- g. Batuan Sedimen Jura: Kuarsit, serpih, batulumpur, serpih dan banyak lagi. mengalami metamorfosis lemah. Kuarsit, abu-abu kehijauan, sedikit berubah, menyerupai buah ceri. Batu tulis berwarna biru tua, batu alam yang menonjol berwarna biru abu-abu hingga hijau. Batu tulis dapat ditemukan dalam warna kuarsit, filit, abu-abu kemerahan.

UMUR		SATUAN BATUAN	KETERANGAN
KWARTER		Qal	Qal =Aluvium: Lanau, pasir, kerikil – bongkah batuan
TERSIER	PLIOSEN	QTi	QTi =Tufa kristalin : Telah mengeras, masif dan tersemam kelabu tua – kehijauan, mengandung masa dasar serabut gelas dengan fragmen kwarsa, plagioklas dan batuan gunung api berkomposisi menengah – asam.
	MIOSEN	QTta	QTta =Andesit dan Tufa : Pselingan dan/atau Andesit sebagai inklusi di dalam tufa
PRATERSIER	KAPUR	CI	CI =Batugamping hablu : Putih – keabuan (segar), kelabu gelap (lapuk), besar butir 0.5 – 5 mm, masif, berongga, adanya perlapisan, ciri khas membentuk punggungan-punggungan tajam.
	JURA	Js	Js = Kuarsit, Serpih, Batulanau : Kuarsit, masif, kelabu kehijauan, sedikit berubah. Serpih berwarna biru tua, Batulanau, masif, terkersikan, berwarna biru tua. Batu Sabak dijumpai sisipan dalam kuarsit.
		Tmb	Tmb=Intrusi Basalt berkomposisi basaltik. Intrusi basalt ini sementara ditentukan berumur Tersier Tua karena menerobos batuan meta sedimen – meta Pratersier (Perm?) dan ditutupi oleh batuan sedimen Tersier.

Gambar 2. Stratigrafi Daerah Penelitian

### 2.2.3 Litologi

Pemetaan geologi pada sebagian *quarry* Bukit Karang Putih yaitu pada front III, V, dan VIB dengan cakupan area 700 m x 800 m pemetaan geologi didapatkan empat satuan litologi [7]. Pemetaan Geologi dapat dilihat sebagai berikut:

#### a. Batugamping Kristalin

Singkapan ini menunjukkan sedikit pelapukan, berwarna putih cerah, dan memiliki struktur besar tanpa strata. Struktur batugamping yang dihasilkan berbentuk kristal, berukuran kristal kalsit kasar, berwarna putih transparan, berbentuk teratur dan berkilau seperti kaca. Bagian batuan yang tipis menunjukkan komposisi dominan kristal kalsit dengan penglihatan ganda datar. Struktur ini merupakan salah satu struktur deformasi yang terbentuk setelah metagenesis karbonat. Batuan berada di bawah tekanan tinggi karena kekuatan endogen. Batu kapur kristal yang dekat dengan badan intrusi tidak berbeda tampilannya dengan batu kapur kristal yang jauh dari badan intrusi marmer. Berkaitan dengan batupasir, hitam- abu hingga abu-abu muda, kristal, dan masif. Sebarannya didominasi oleh Bukit Karang Putih umumnya terlipat berarah.

#### b. Tuf Putih Terubahkan

Singkapan ini termodifikasi menunjukkan pelapukan rendah hingga sedang. Batuannya berwarna abu muda hingga putih, berbutir halus, sangat keras, dan retak berat. Celah diisi dengan mineral kuarsa berbutir halus. Ketegangan yang intens, urat kuarsa dan adanya kekerasan disebabkan oleh proses yang berubah, yaitu silisifikasi. Berdasarkan

analisis geokimia, kandungan silika batuan mencapai 80-90%. Tuf ini berumur Jura, dan berubah akibat asosiasi dengan batuan intrusi [8].

#### c. Tuf Merah Terubahkan

Tufa merah yang berubah mengalami pelapukan sedang hingga tinggi. Ciri fisiknya berwarna coklat kemerahan, ukurannya halus, keras, rapat sekali. Litologi ini dibedakan dengan tufa putih berdasarkan karakteristik dan komposisinya yang berbeda, meskipun formasi batuan dipikirkan berumur sama. Komposisinya yang terlihat pada bagian tipis menunjukkan bahwa batuan tersebut terdiri dari kaca vulkanik, mineral buram, dan oksida besi. Mineral oksida besi berbentuk dendritik dan berwarna coklat kemerahan. Analisis Gekimia menunjukkan bahwa silika lebih sedikit dibandingkan tufa putih, yaitu. 60-80%.

#### d. Intrusi Basalt

Intrusi basalt terletak pada bagian barat daerah penelitian, yaitu pada daerah produksi. Singkapan ini berwarna abu-abu tua dengan pelapukan rendah hingga sedang dan tekstur masif. Ciri-ciri litologi mempunyai tekstur porfiritik, terlihat dari fenokris plagioklas dan piroksen pada massa dasar kaca vulkanik. Kontak lapangan menunjukkan bahwa intrusi basaltik ini membentuk tanggul yang membelah badan batu kapur.

## 3. Kajian Teori

### 3.1 Pemboran

Pemboran adalah kegiatan pembuatan lubang ledak dengan diameter dan kedalaman yang seragam pada batuan keras dengan menggunakan alat berat [9]. Parameter yang harus diperhatikan saat pengeboran adalah:

#### 3.1.1 Geometri Pemboran

Geometri pengeboran meliputi diameter lubang bor, kedalaman lubang ledakan, kemiringan lubang ledakan, ketinggian jenjang, dan pola bor.

#### 3.1.2 Pola Pemboran

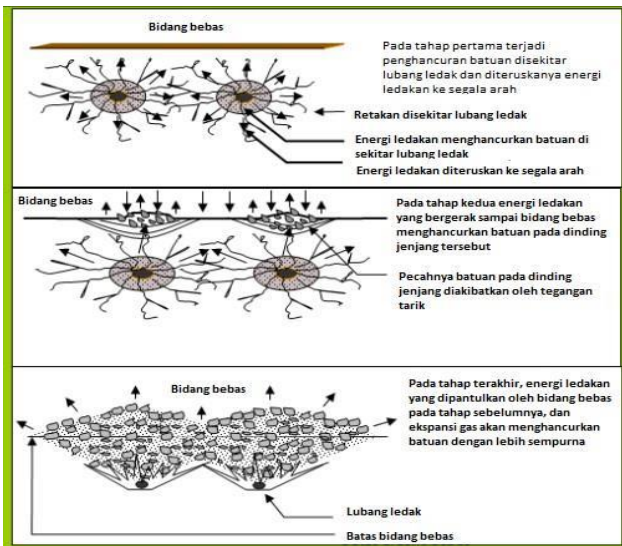
Pola pemboran pada tambang terbuka dapat diklasifikasikan menjadi tiga macam, yaitu: *Square Drill Pattern*, *Rectangular Drill Pattern*, *Staggered* (Selang Seling/Zig Zag).

### 3.2 Peledakan

Peledakan adalah suatu kegiatan pemecahan material (batuan) dengan bahan peledak untuk memberai tanah penutup, ekstraksi batuan padat atau material berharga atau endapan bijih padat dari batuan dasar menjadi material yang sesuai untuk diolah pada proses produksi selanjutnya. [10].

### 3.2 Mekanisme Pecahnya Batuan Akibat Peledakan

- a. Proses Pemecahan Tingkat I (*Dynamic Loading*)
- b. Proses Pemecahan Tingkat II (*Quasi-Static Loading*)
- c. Proses Pemecahan Tingkat III (*Release Of Loading*)



**Gambar 3.** Mekanisme Pecahnya Batuan Akibat Peledakan

**3.4 Faktor Yang Mempengaruhi Hasil Peledakan**

**3.4.1 Faktor Peledakan yang Tidak Dapat Dikendalikan**

- a) Sifat Fisik Batuan : *Specific Gravity Influence* (SGI), *Hardness*. b) Bidang Lemah Massa Batuan: *Rock Massa Description* (RMD), *Joint Plane Spacing* (JPS), *Joint Plane Orientation* (JPO).

**3.4.2 Faktor Peledakan Yang Dapat Dikendalikan.**

Diameter Lubang Ledak, Pola Peledakan, Arah Peledakan, Geometri Peledakan.

**3.5 Fragmentasi Hasil Peledakan**

Fragmentasi batuan adalah ukuran massa batuan/material yang dihasilkan oleh peledakan. Fragmen material dihasilkan oleh gelombang kejut yang dipantulkan oleh gelombang dari medan bebas dan tegangan tarik yang berasal dari batuan yang mengelilingi lubang ledak, fragmen ini saling bertabrakan, energi ditransfer antar fragmen, dan terjadi tekanan gas. Fragmentasi adalah dasar keberhasilan atau kegagalan pembongkaran. Karena pekerjaan tersebut dapat berdampak pada biaya operasional lainnya seperti biaya penggalian, pemuatan, transportasi dan pembongkaran. Ukuran fraksi material yang tidak mencukupi dapat mengakibatkan biaya tambahan untuk melakukan operasi penghancuran sekunder. Tujuannya agar bahan-bahannya sesuai dengan takaran bahan yang diinginkan [11].

Ukuran partikel fragmentasi hasil peledakan dapat diklasifikasikan sebagai berikut[12]:

- a. *Over Size Boulder*

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

- b. *Fines*

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

- c. *Mid - Range*

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

**3.6 Perhitungan Fragmentasi Hasil Peledakan Dengan Metode Kuz-ram**

Semakin besar ukuran dari fragmentasi yang dihasilkan, semakin lama waktu yang dibutuhkan alat untuk menggali material peledakan, dan sebaliknya semakin kecil ukuran yang dihasilkan, semakin cepat pula waktu yang dibutuhkan alat bongkar untuk menggali material hasil peledakan [13].

Berdasarkan Kuznetsov (1973), ukuran fragmentasi, TNT, dan struktur geologi batuan dapat digunakan untuk mencari powder factor. Dalam percobaannya pada batuan di Kimberlite dengan berbagai ukuran diameter lubang ledak, pola peledakan, dan kecermatan pemboran. Dimana persamaannya sebagai berikut[14]:

$$X = A \times \left[ \frac{V}{Q} \right]^{0,8} Q^{0,17} x \left[ \frac{100^{-0,63}}{115} \right]$$

dimana, **X** adalah Ukuran rata – rata fragmentasi batuan (cm), **A** adalah Faktor batuan, **V** adalah Volume batuan yang terbongkar ( $V = B \times S \times L$ ), **Q** adalah Berat bahan peledak tiap lubang ledak (kg), **E** adalah *Relative weight strength* (ANFO = 100)

Di dalam persamaan yang dikemukakan oleh Kuznetsov, (1973), yang dimodifikasi oleh Cunningham (1983), ada batasan – batasan yang harus diperhatikan. Adapun batasan tersebut adalah sebagai berikut[15]:

- a. Penerapan nisbah S/B untuk pemboran, tanpa waktu tunda tidak boleh lebih dari dua.
- b. Waktu tunda penyalaan dan peledakan harus dipilih untuk memberikan hasil peledakan yang baik dan menghindari misfire.
- c. Bahan peledak harus menghasilkan energi yang cukup serta dalam perhitungan menggunakan relative weight strength.

Kurva Rosin – Rammler secara umum telah diakui sebagai rujukan penggambaran tingkat fragmentasi batuan hasil peledakan. Suatu titik pada kurva tersebut, yaitu ukuran mesh dengan 50 % kelolosan diberikan oleh persamaan:

Kuznetsov (1973). Faktor – faktor yang diperlukan untuk menentukan kurva Rosin – Rammler adalah eksponen (n) dalam persamaan[14]:

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

dimana, n adalah indek keseragaman, B adalah burden (m), S/B adalah nisbah spaci dan burden, De adalah diameter lubang bor (mm), W adalah standar deviasi lubang bor (m), PC adalah isian bahan peledak (m), L adalah tinggi jenjang (m).

Perhitungan nilai karakteristik (Xc) menggunakan persamaan Rosin – Ramler rumus sebagai berikut:

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

Perhitungan presentase bongkah adalah sebagai berikut:

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

dimana, Xc adalah karakteristik ukuran, X adalah ukuran ayakan, R adalah presentasi material yang tertahan pada ayakan (%), e adalah indeks keseragaman.

Menurut Singgih Saptono (2006), salah satu data yang dipakai untuk model Kuz-Ram adalah faktor batuan diperoleh dari indeks kemampu ledakan atau *blastibility index* (BI)[16]. Nilai BI ini ditentukan dari penjumlahan lima parameter.

**Tabel 1.** Pembobotan Massa Batuan

Parameter	Pembobotan
1. <i>Rock Mass Description</i> (RMD)	
a. <i>Powdery/Friable</i>	10
b. <i>Blocky</i>	20
c. <i>Total Massive</i>	50
2. <i>Joint Plane Spacing</i> (JPS)	
a. <i>Close</i> (Spasi < 0,1m)	10
b. <i>Intermediate</i> (Spasi 0,1-1m)	20
c. <i>Wide</i> (Spasi > 1m)	50
3. <i>Joint Plane Orientation</i> (JPO)	
a. <i>Horizontal</i>	10
b. <i>Dip Out Of face</i>	20
c. <i>Strike Normal To Face</i>	30
d. <i>Dip Into Face</i>	40
4. <i>Specific gravity Influence</i> (SGI)	SGI=25 x SG-50
5. <i>Hardness</i> (H) Skala Mohs	1-10

Sumber : Jimeno et. Al 1995

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

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

dimana, BI adalah Blastibility Index, RMD adalah *Rock Mass Description*, JPS adalah *Joint Mass Description*, JPO adalah *Joint Plane Orientation*, SGI adalah *Specific Gravity Influence*, H adalah *Hardness*.

Menurut lily (1986), Persamaan yang memberikan hubungan antara faktor batuan dengan kemampuledakkan suatu batuan adalah sebagai berikut[17]:

$$RF = 0,12 \times BI$$

dimana, RF adalah Faktor batuan (*Rock Factor*), BI adalah *Blastibility Index*.

### 3.7 Perhitungan Fragmentasi Menggunakan Software Split Desktop

Program *Split Desktop Computer V-2.0* adalah program untuk menganalisis ukuran fragmen batuan. Split Desktop merupakan program analisis gambar yang dikembangkan oleh *University of Arizona, AS*. Pada penelitian ini, program *Split Desktop* digunakan untuk menganalisis gambar pecahan material yang dihasilkan dari peledakan. Hasilnya ditampilkan dalam bentuk grafik yang menunjukkan kontinuitas material dan ukuran rata-rata fragmen yang dihasilkan dari ledakan tersebut.

Secara garis besar langkah-langkah untuk perhitungan distribusi ukuran fragmentasi dengan menggunakan *software split desktop version 2.0* yaitu:

#### a. Akuisisi / Memperoleh Gambar ( *Image Acquisition* )

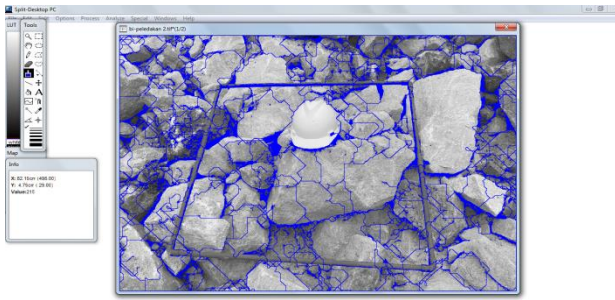
Proses ini merupakan langkah awal dalam menggunakan program *Split Desktop* dimana gambar diubah kedalam format \*.TIFF sebelum diproses pengolahan dengan *software split desktop*. Sebelum menentukan analisis distribusi ukuran sebenarnya, maka dibutuhkan skala sebagai pembanding. Penentuan skala pada gambar terdiri dari dua yaitu dengan menggunakan satu dan dua objek, menggunakan peralatan editing interaktif (*interactif scaling tool*). Adapun skala yang digunakan dalam analisis fragmentasi peledakan yaitu menggunakan *helm* lapangan.



**Gambar 4.** Gambar input foto Fragmentasi Hasil Peledakan

#### b. Digitasi Fragmentasi ( *Fragmentation and Delineation* )

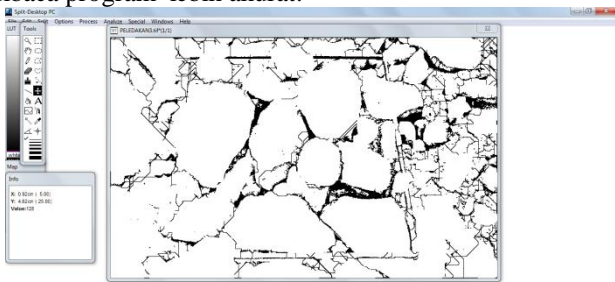
Langkah selanjutnya adalah penggambaran batuan, atau digitasi gambar menggunakan algoritme komputasi otomatis yang sudah ada dalam program *split desktop*. Keberhasilan optimal dari setiap gambar ditentukan oleh pengguna.



Gambar 5. Gambar Digitasi Fragmentasi

**c. Memperbaiki Hasil Pencarian**

Langkah selanjutnya adalah meningkatkan hasil ukuran yang diberikan oleh pencarian ukuran partikel. Penyempurnaan ini meliputi penghilangan area yang tidak dihitung, seperti helm yang digunakan untuk perbandingan, batas partikel hasil analisis program, sehingga ukuran yang dibaca program lebih akurat.



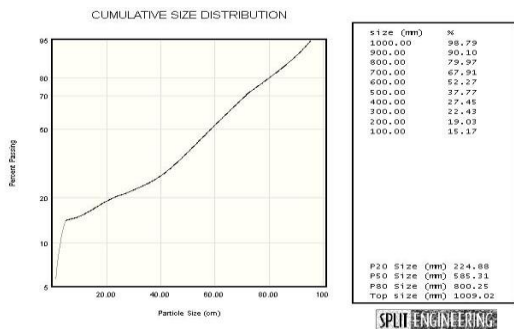
Gambar 6. Gambar Perbaikan Hasil Pencarian

**d. Analisa Ukuran (Size Analysis)**

Pada tahap ini perhitungan ukuran akan secara otomatis dari program split desktop. Dua pilihan untuk distribusi tersedia pada split desktop, yaitu distribusi Schuman dan Rosin-Rammler.

**e. Hasil (Result and Output)**

Setelah ukuran partikel dihitung, *split desktop* dapat menampilkan informasi dalam empat cara yaitu *Plot linier-linier*, distribusi ukuran juga disajikan dalam tiga format: standar ISO, standar UK, dan standar sendiri. Selain itu juga dapat melihat tingkat kelulusan dan ukuran teratas saringan P20, P50, dan P80. Distribusi ukuran dan bagian material juga dapat disimpan ke *disk* dalam format teks.



Gambar 7. Grafik Hasil *Split Desktop*

Kesalahan (*error*) dalam menggunakan *Split Desktop* adalah tidak lebih dari 10%, dengan rata-rata error 5%. Kesalahan tersebut bisa disebabkan oleh berbagai hal, yaitu [18]:

1. Kesalahan pengguna, seperti kesalahan analisis *noise*, mengakibatkan lebih banyak pecahan batuan yang tidak sesuai dengan ukuran pecahan batuan aslinya.
2. Kesalahan pengambilan gambar, misalnya banyaknya bayangan pada gambar yang menyebabkan banyaknya *noise*.
3. Kesalahan lain Kesalahan lain yang terkait dengan yang terkait dengan penggunaan penggunaan *Split Desktop*.

**3. Metodologi Penelitian**

**3.1 Jenis Penelitian**

Penelitian ini mengkaji kegunaan teori-teori ilmiah dan hubungan empiris serta analisis dalam domain tertentu. Penelitian terapan juga dapat diartikan sebagai penelitian sistematis yang bertujuan untuk menghasilkan tindakan aplikatif yang dapat dipraktikkan untuk memecahkan permasalahan tertentu. Hasil penelitian terapan tidak boleh berupa penemuan baru, melainkan penerapan baru dari penelitian yang sudah ada [19].

Dalam menyusun Tugas Akhir ini, penulis menggabungkan data primer yang diperoleh dari pengamatan langsung di lapangan dan data sekunder yang diperoleh dari perusahaan dengan teori dan kenyataan lapangan, dan mendapatkan solusi optimal untuk masalah dari keduanya.

**3.2 Jenis Dan Sumber Data**

**3.2.1 Data Primer**

Data primer adalah data yang diperoleh dari pengamatan langsung dilapangan. Data primer yang digunakan pada penelitian ini yaitu:

- a. Geometri Peledakan Aktual
- b. Fragmentasi Hasil Peledakan
- c. *RMD, JPS, JPO Specific Gravity Influence, Hardness.*

**3.2.2 Data Sekunder**

Data sekunder adalah data yang diperoleh secara tidak langsung. Adapun data sekunder yang penulis peroleh dari arsip PT. Semen Padang adalah sebagai berikut:

1. Peta Kesampaian Daerah Penelitian
2. Peta Topografi
3. Peta Geologi
4. Spesifikasi Bahan Peledak
5. Spesifikasi Alat bor

**3.2.3 Sumber Data**

Pada penelitian ini penulis mendapatkan data primer dengan cara pengamatan langsung di lapangan, sedangkan data sekunder penulis dapatkan dari pihak perusahaan. Sumber data juga penulis peroleh dari buku, performance handbook

alat, jurnal, referensi, penelitian-penelitian sebelumnya dan aspek teori dari literatur –literatur yang ada.

### 3.3 Teknik Pengambilan Data

#### 3.3.1 Pengamatan Lapangan

Kegiatan pengamatan di lapangan dilakukan untuk mengetahui kondisi aktual dari area penambangan atau tempat penulis melakukan pengamatan serta penelitian. Dari tahap ini dilakukan penyusunan untuk tugas akhir, studi literature daerah penelitian, dan studi pustaka yang berkaitan dengan penelitian. Sasaran utama pengamatan lapangan ini adalah untuk mengetahui gambaran umum daerah penelitian.

#### 3.3.2 Pengambilan Data Primer

Untuk mendapatkan data primer yaitu terdiri dari data yang penulis amati langsung di lapangan. Adapun teknik pengambilan data primer yang penulis peroleh adalah:

#### 1. Geometri Peledakan Aktual

Data geometri peledakan aktual yang diambil yaitu kedalaman lubang ledak, *burden*, spasi dan *stemming*. Data kedalaman diambil sebelum dilakukan pengisian (*Charging*) dan data kedalaman *stemming* diambil 30 menit setelah pengisian (*Charging*). Pengukuran data kedalaman diukur dengan menggunakan meteran.

#### 2. Fragmentasi Hasil Peledakan

Data yang diambil adalah foto fragmentasi yang mewakili setiap titik ledakan yang terdeteksi sebagai parameter yang dimasukkan ke dalam *Split Desktop*.

#### 3. Pembobotan Massa Batuan Untuk Peledakan

Berupa data kekerasan batuan yang akan diledakkan. Data ini diambil dengan cara pengujian dilapangan dengan cara pengujian skala mohs dan selanjutnya pengamatan pada lokasi peledakan serta melihat struktur batuan pada lokasi peledakkan.

#### 3.3.3 Teknik Pengambilan Data Sekunder

Penulis melakukan pengamatan data sekunder yang diperoleh secara tidak langsung dari arsip PT. Semen Padang. Data sekunder tersebut terdiri dari data geometri peledakan aktual, Peta Lokasi Daerah Penelitian, Peta topografi, peta geologi, spesifikasi alat bor, spesifikasi bahan peledak dan lainnya.

### 3.4 Teknik Analisis Data

Setelah pengumpulan beberapa yang perlu diperlukan maka, penulis melakukan teknik analisis data-data tersebut. Adapun teknik analisis data yang penulis lakukan adalah sebagai berikut :

#### 3.4.1 Analisis Geometri Peledakan Aktual

Pada analisis geometri peledakan aktual meliputi *burden*, *spasi*, kedalaman lubang bor, *stemming*, *subdrilling*, dan panjang kolom isian. *Burden* ditentukan berdasarkan diameter lubang ledak atau diameter bor atau diameter dodol bahan peledak, *Spasi* dihitung berdasarkan *spacing ratio* (1,00-2,00) dikalikan dengan *burden*, untuk menentukan *Stemming* adalah *Stemming ratio* (0,75-1,00) dikalikan dengan *burden*. besarnya *subdrilling* tergantung pada struktur dan jenis batuan serta arah lubang bor, kedalaman berdasarkan *hole depth ratio* (Kh) antara 1,5-4,0, panjang kolom isian dihitung berdasarkan kedalaman lubang ledak (m) dikurangi dengan *stemming* (m). Kemudian dari setiap data blok peledakan akan dirata-ratakan.

#### 3.4.2 Perhitungan Volume yang akan diledakan

Volume batuan yang diledakan tergantung pada dimensi *burden*, spasi, tinggi jenjang dan jumlah lubang ledak yang tersedia.

#### 3.4.3 Perhitungan Jumlah Bahan Peledak

Pada tahapan ini ada 2 jenis perhitungan yaitu: Densitas Pengisian (*Loading Density*), jumlah bahan peledak pada setiap meter kedalaman kolom lubang ledak. Berat bahan peledak tiap lubang ledak (*Charge Weight*), merupakan fungsi dari *density* bahan peledak, diameter bahan peledak dan kolom isian bahan peledak.

#### 3.4.4 Perhitungan Power Factor.

*Power factor* sebagai perbandingan jumlah bahan peledakan yang dipakai dengan volume peledakan dalam Kg/m<sup>3</sup>. Dengan rumus bahan peledak dibagi dengan volume yang akan diledakan.

#### 3.4.5 Perhitungan Fragmentasi Hasil Peledakan Dengan Metode Kuz-ram

Perhitungan ini untuk mendapatkan rata-rata fragmentasi batuan dengan mencari volume batuan yang terbongkar, berat bahan peledak, dan ANFO=100.

#### 3.4.6 Perhitungan Fragmentasi Hasil Peledakan Dengan *Software Split Desktop*

- Akuisisi / Memperoleh Gambar (*Image Acquisition*)
- Digitasi Fragmentasi (*Fragmentation and Delineation*)
- Memperbaiki Hasil Pencarian
- Analisa Ukuran (*Size Analysis*)
- Hasil (*Result and Output*)

## 4. Hasil Penelitian Dan Pembahasan

### 4.1 Geometri Dan Hasil Fragmentasi Aktual

#### 4.4.1 Hasil Geometri Aktual

Berdasarkan pengamatan dilapangan terhadap geometri peledakan yang digunakan perusahaan, penulis juga melakukan pengukuran terhadap geometri aktual perusahaan dimulai dari tanggal 13 Agustus 2022 sampai dengan 31 Agustus 2022.

**Tabel 2. Rata-rata Geometri Aktual PT. Semen Padang**

N O	TGL	ARE A	JML LUBA NG	DIA MET ER (inch)	BU RD EN	SPAS I	KEDAL AMAN LUBAN G	SUB DRI LLIN G	STE MMI NG	TINGG I JENJA NG	PJG ISIAN
1	13/08/22	206	51	5	5	5	9,72	1	4	8,72	5,72
2	17/08/22	206	60	5	5	5	9,58	1	4	8,58	5,58
3	23/08/22	206	75	5	5	5	9,83	1	3,98	8,85	5,85
4	29/08/22	206	40	5	5	5	10,04	1	4	9,04	6,04
5	30/08/22	206	50	5	5	5	10,40	1	3,94	9,40	6,46
6	31/08/22	206	40	5	5	5	10,12	1	4	9,12	6,12
JUMLAH			316	30	30	30	59,69	6	23,92	53,69	35,77
RATA-RATA			52,6	5	5	5	9,94	1	3,98	8,94	5,96

Sumber: Penulis 2022

**4.4.2 Analisis Geometri Peledakan Aktual**

Pada peledakan tanggal 13 Agustus 2022 didapatkan nilai *loading density* yaitu 17,00 kg/m. Pemakaian handak pada tanggal 13 Agustus 2022 adalah 97,24 kg. Volume batuan perlubang pada tanggal 13 Agustus 2022 yaitu pada volume perlubang didapatkan sebesar 218 m<sup>3</sup> atau 577,7 ton, kemudian untuk volume perpeledakan didapatkan sebesar 11.118 m<sup>3</sup> atau 29.462,7 ton. Didapatkan nilai *Powder Factor* sebesar 0,446 kg/m<sup>3</sup>.

Tanggal 17 Agustus 2022, didapatkan nilai *loading density* yaitu 17,00 kg/m. Pemakaian handak pada tanggal 17 Agustus 2022 adalah 94,86 kg. Untuk Volume batuan perlubang pada tanggal 17 Agustus 2022 yaitu pada volume perlubang didapatkan sebesar 214,5 m<sup>3</sup> atau 568,42 ton, kemudian untuk volume perpeledakan didapatkan sebesar 12.870 m<sup>3</sup> atau 34.105,5 ton. Kemudian didapatkan nilai *Powder Factor* sebesar 0,442 kg/m<sup>3</sup>.

Tanggal 23 Agustus 2022, didapatkan nilai *loading density* yaitu 17,00 kg/m. Pemakaian handak pada tanggal 23 Agustus 2022 adalah 99,45 kg. Untuk Volume batuan perlubang pada tanggal 23 Agustus 2022 yaitu pada volume perlubang didapatkan sebesar 220,75 m<sup>3</sup> atau 584,98 ton, kemudian untuk volume perpeledakan didapatkan sebesar 16.5562,5 m<sup>3</sup> atau 43.874,06 ton. Kemudian didapatkan nilai *Powder Factor* sebesar 0,450 kg/m<sup>3</sup>.

Tanggal 29 Agustus 2022, didapatkan nilai *loading density* yaitu 17,00 kg/m. Pemakaian handak pada tanggal 29 Agustus 2022 adalah 102,68 kg. Untuk Volume batuan perlubang pada tanggal 23 Agustus 2022 yaitu pada volume perlubang didapatkan sebesar 226 m<sup>3</sup> atau 598,9 ton, kemudian untuk volume perpeledakan didapatkan sebesar 9.040 m<sup>3</sup> atau 23.956 ton. Kemudian didapatkan nilai *Powder Factor* sebesar 0,463 kg/m<sup>3</sup>.

Tanggal 30 Agustus 2022, didapatkan nilai *loading density* yaitu 17,00 kg/m. Pemakaian handak pada tanggal 29 Agustus 2022 adalah 109,82 kg. Untuk Volume batuan perlubang pada tanggal 30 Agustus 2022 yaitu pada volume perlubang didapatkan sebesar 235 m<sup>3</sup> atau 575,75 ton, kemudian untuk volume perpeledakan didapatkan sebesar 11.750 m<sup>3</sup> atau 31.137,5 ton. Kemudian didapatkan nilai *Powder Factor* sebesar 0,465 kg/m<sup>3</sup>.

Tanggal 31 Agustus 2022, didapatkan nilai *loading density* yaitu 17,00 kg/m. Pemakaian handak pada tanggal 29 Agustus 2022 adalah 104,04 kg. Untuk Volume batuan perlubang pada tanggal 31 Agustus 2022 yaitu pada volume perlubang didapatkan sebesar 228 m<sup>3</sup> atau 604,2 ton, kemudian untuk volume perpeledakan didapatkan sebesar 9.120 m<sup>3</sup> atau 24.168 ton. Kemudian didapatkan nilai *Powder Factor* sebesar 0,456 kg/m<sup>3</sup>.

**4.2 Pembobotan Masa Batuan**

Pembobotan Masa Batuan (*blastability index*) di PT. Semen Padang, menurut Lilly (1986) diperoleh dari penjumlahan nilai – nilai dari kelima parameter yaitu deskripsi massa batuan, spasi bidang kekar, orientasi bidang kekar, pengaruh *specific gravity*, dan kekerasan. Dapat dilihat pada (Tabel 1).

Berdasarkan nilai dari parameter batuan diatas maka dapat di tentukan *blastability Index (BI)* batuannya adalah:

$$\begin{aligned}
 \text{Blastability Index (BI):} &= 0,5 (RMD + JPS + JPO + SGI + H) \\
 &= 0,5 (50 + 20 + 40 + 16,25 + 3) \\
 &= 64,62
 \end{aligned}$$

Dan nilai dari factor batuan dari indeks kemampuedakkan adalah:

$$\begin{aligned}
 \text{Faktor Batuan (A}_0\text{):} &= 0,12 \times BI \\
 &= 0,12 \times 64,62 \\
 &= 7,75
 \end{aligned}$$

Jadi, berdasarkan faktor batuan yang digunakan untuk menentukan keseragaman batuan hasil dari peledakan adalah **7,75**.

**4.3 Perhitungan Fragmentasi Menggunakan Split Desktop**

Perhitungan fragmentasi menggunakan *split desktop* perlu dilakukan karena hasil perhitungan sesuai dengan keadaan aktual dilapangan. Adapun ukuran *boulder* yang ditetapkan oleh perusahaan adalah ukuran ± 80 cm karena dapat mempengaruhi *diggability* alat muat. Fragmentasi hasil dari peledakan yang berukuran besar berpengaruh terhadap produktivitas alat gali muat. Pada pengambilan foto fragmentasi digunakan helm sebagai skala yang berukuran 28 cm yang dimana helm tersebut diletakan pada objek yang akan difoto.



**Tabel 3.** Rata- rata Persentase Lolos Pada Ayakan

No	Tanggal Peledakan	Persentase Lolos Pada Ayakan (%)									
		Ukuran (Size)									
		10 cm	20 cm	30 cm	40 cm	50 cm	60 cm	70 cm	80 cm	90 cm	100 cm
1	13-Agu-22	18,00	27,23	32,07	36,90	43,95	53,07	63,77	72,98	81,90	90,13
2	17-Agu-22	10,69	14,39	20,21	24,73	41,51	41,37	54,03	67,62	80,60	92,15
3	23-Agu-22	19,02	25,98	32,78	35,12	41,30	52,15	65,15	78,15	89,91	100
4	29-Agu-22	15,53	18,05	20,53	24,85	32,12	45,73	60,23	72,00	83,02	92,77
5	30-Agu-22	9,68	17,68	23,58	31,34	40,60	51,07	63,33	74,00	84,88	90,98
6	31-Agu-22	15,17	19,03	22,43	27,45	37,77	52,27	67,91	79,97	90,10	98,79
Jumlah		88,09	122,36	151,6	180,39	237,2	295,6	374,4	444,7	510,4	564,8
Rata-rata		14,68	20,39	25,26	30,06	39,54	49,27	62,40	74,12	85,06	94,13

**Tabel 4.** Rata- rata Persentase Tertahan Pada Ayakan

No	Tanggal Peledakan	Persentase Tertahan Pada Ayakan (%)									
		Ukuran (Size)									
		10 cm	20 cm	30 cm	40 cm	50 cm	60 cm	70 cm	80 cm	90 cm	100 cm
1	13-Agu-22	82,00	72,77	67,93	63,1	56,05	46,93	36,23	27,02	18,1	9,87
2	17-Agu-22	89,31	85,61	79,79	75,27	58,49	58,63	45,97	32,38	19,4	7,85
3	23-Agu-22	80,89	74,02	67,22	64,88	58,7	47,85	34,85	21,85	10,09	0
4	29-Agu-22	84,47	81,95	79,47	75,15	66,88	54,27	39,77	28,00	16,98	7,23
5	30-Agu-22	90,32	82,32	76,42	68,66	59,4	48,93	37,67	26,00	15,12	9,02
6	31-Agu-22	84,83	80,98	77,57	72,55	62,23	47,73	32,09	20,03	9,9	1,21
Jumlah		511,73	477,65	448,4	419,6	313,4	304,3	226,5	155,2	89,59	35,18
Rata-rata		85,28	79,60	74,73	69,93	52,24	50,72	37,76	25,88	14,93	5,86

**4.4 Hasil Perbandingan Peledakan Aktual Dengan Split Desktop**

**Tabel 5.** Tabel Rata-rata Perbandingan Kuzram dengan Split Desktop.

No	Tanggal Peledakan	Metode Kuz-ram		Split Desktop	
		% Lolos	% Tertahan	% Lolos	% Tertahan
1	13-Agu-22	71,47	28,13	72,98	27,02
2	17-Agu-22	72,28	27,74	67,62	32,38
3	23-Agu-22	71,76	28,24	78,15	21,85
4	29-Agu-22	71,94	28,06	72,00	28,00
5	30-Agu-22	72,51	27,49	74,00	26,00
6	31-Agu-22	71,92	28,08	79,97	20,03
Rata-rata		71,98	28,02	74,12	25,88

Dari hasil perbandingan data diatas dapat disimpulkan persentase prediksi fragmentasi aktual dengan menggunakan metode kuzram didapatkan lebih tinggi dari pada metode *Image Analysis split desktop*. Grafik perbandingan Persentase aktual dengan menggunakan metode kuzram dan *Image Analisis split desktop*.

**5. Penutup**

**5.1 Kesimpulan**

1. Geometri peledakan aktual yang dipakai oleh PT. Semen Padang yaitu *burden* 5 m, spasi 5 m, kedalaman 10 m, *subdrilling* 1 m, *stemming* 4 m, diameter lubang

ledak 5 inch, panjang kolom isian 5,96, dan tinggi jenjang 8,94.

2. Dari hasil perhitungan fragmentasi peledakan aktual menggunakan metode *kuzram* didapatkan rata-rata persentase fragmentasi ukuran 80 cm adalah 71,98% dan persentase ukuran >80 cm (*boulder*) adalah sebesar 28,02%. sehingga persentase fragmentasi dikatakan baik karena ukuran *boulder* yang dihasilkan banyak.
3. Dari hasil perhitungan menggunakan metode *image analysis split desktop* didapatkan rata-rata persentase fragmentasi ukuran 80 cm adalah 74,12% dan persentase ukuran >80 cm (*boulder*) sebesar 25,88 %, sehingga rata-rata fragmentasi yang berukuran bongkahan (*boulder*) belum bisa dikatakan baik karena fragmentasi peledakan ukuran *boulder* yang dihasilkan tergolong banyak.
4. Dari hasil perbandingan didapat persentase peledakan aktual menggunakan metode *kuzram* didapatkan rata-rata persentase fragmentasi ukuran 80 cm adalah 71,98% dan persentase ukuran >80 cm (*boulder*) adalah sebesar 25,88%, Sedangkan menggunakan metode *image analisis split desktop* didapatkan rata-rata persentase fragmentasi ukuran 80 cm adalah 74,12% dan persentase ukuran >80 cm (*boulder*) sebesar 25,88 %. Sehingga dapat disimpulkan bahwa persentase *boulder* yang paling mendekati ketentuan perusahaan sebesar 15% adalah metode *Image Analisis* yaitu 25,88%.

**5.2 Saran**

1. Geometri yang diinginkan perusahaan harus diperiksa sebelum dilakukan peledakan.
2. Sering terjadinya *fly rock* pada kegiatan peledakan, untuk menghindarinya penulis menyarankan agar pengisian *stemming* secara menyeluruh dan pada kondisi padat.
3. Penulis menyarankan untuk peledakan kedepannya yang dilakukan oleh PT. Semen Padang yaitu supaya mempersiapkan lokasi sebelum melakukan pemboran, serta selalu mengawasi performa alat bor agar tidak didapatkan kedalaman dan kemiringan lubang ledak yang tidak sesuai dengan yang direncanakan, karena dengan kedalaman dan kemiringan lubang ledak yang berbeda, peledakan akan berjalan dengan optimal.

**DAFTAR PUSTAKA**

- [1] Indonesia, P. (2020). UU No. 3 tahun 2020 tentang Perubahan atas Undang-Undang Nomor 4 tahun 2009 tentang Pertambangan Mineral dan Batubara. Lembaran Negara RI Tahun, (147).
- [2] Salmani, R. H. (2019). Teknik Peledakan.
- [3] Selley, R. C. (2000). *Applied sedimentology*. Elsevier.
- [4] Reijers, T., & Hsu, K. J. (1986). *Manual of Carbonate Sedimentology*.
- [5] Boggs, S. (2009). Petrology of sedimentary rocks, second edition. In *Petrology of Sedimentary Rocks, Second Edition* (Vol. 9780521897).
- [6] Kastowo, R. L. & L. G. W. (1973). *Peta Geologi Lembar Padang, Sumatera Skala 1: 250.000*.

- [7] Marin, J., Winarno, T., & Rahmadani, U. (2019). Pengaruh Intrusi Basalt terhadap Karakteristik dan Kualitas Batugamping pada Quarry Bukit Karang Putih, Indarung, Padang, Sumatra Barat. *Jurnal Geosains Dan Teknologi*, 2(3), 98.
- [8] McCarthy, A. J., Jasin, B., & Haile, N. S. (2001). Middle Jurassic radiolarian chert, Indarung, Padang District, and its implications for the tectonic evolution of western Sumatra, Indonesia. *Journal of Asian Earth Sciences*, 19(1–2), 31–44.
- [9] Bhandari, S. (1997). Engineering rock blasting operations.
- [10] Jimeno, C. L., Jimeno, E. L., Carcedo, F. J. A., & de Ramiro, Y. V. (1995). *Drilling and blasting of rocks*. USA: CRS Press, 41, 35947.
- [11] Herman, H. (2015). Analisis Pengaruh Kedalaman Lubang Ledak, Burden Dan Spacing Terhadap Perolehan Fragmentasi Batugamping. *Jurnal Geomine*, 3(1), 184–188.
- [12] Hustrulid. (1999). *Blasting principles for open pit mining: volume 2-theoretical foundations*.
- [13] Abimanyu, D., & Trides, T. (2018). Evaluation of Blasting Geometry to Fragmentation of Rock and Blasting Cost on Pit Lisat PT. Teguh Sinarabadi, District West Kutai Province East Kalimantan. *Jurnal Teknologi Mineral FT UNMUL*, 6(2), 29–36.
- [14] Cunningham, C. (1983). The Kuz-Ram model for prediction of fragmentation from blasting. In *Proc. First Int. Symp. on Rock Fragmentation by Blasting* (pp. 439-453).
- [15] Kuznetsov, V. M. (1973). The mean diameter of the fragments formed by blasting rock. *Soviet mining science*, 9, 144-148.
- [16] Saptono, Singgih, (2006). *Teknik Peledakan*. Yogyakarta: Jurusan Teknik Pertambangan FTM UPN
- [17] Lilly, P. A. (1986). An empirical method of assessing rock mass blastability. *The Aus*.
- [18] Esen, S., & Bilgin, H. (2000). Effect Of Explosive On Fragmentation S. Esen & H.A. B Lg N Department of Mining Engineering, Middle East Technical University, Ankara, Turkey.
- [19] Nazir, M. (1985). *Metode Penelitian Survai*. Jakarta, Penerbit Lembaga Penelitian Pendidikan dan Penerangan.