



## Analisis Fragmentasi Hasil Peledakan Batugamping dengan Metode Pemrosesan Gambar Digital Menggunakan Perangkat Lunak Wipfrag

Wira Yudha<sup>1✉</sup>, Aldiyansyah<sup>2</sup>, Laode Jonas Tugo<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Pertambangan, Universitas Halu Oleo, Indonesia

<sup>2</sup>Program Studi Teknik Pertambangan, Universitas Muhammadiyah Kendari, Indonesia

### ARTICLE INFO

#### Article history:

Received: November 1, 2024

Accepted: January 15, 2025

Published: January 22, 2025

#### Keywords:

peledakan  
fragmentasi batuan  
kuari batugamping

#### Corresponding author:

Wira Yudha

Email: [wira.yudha@uho.ac.id](mailto:wira.yudha@uho.ac.id)

#### Read online:



Scan this QR code  
with your smart  
phone or mobile  
device to read online.

Copyright © 2025 Authors



This work is  
licensed under  
a Creative Commons  
Attribution-ShareAlike 4.0 International  
License.

### ABSTRAK

Pemantauan dan evaluasi fragmen hasil peledakan sangat penting untuk dilakukan agar mendapatkan rancangan serta hasil yang paling optimal. Terdapat beberapa metode yang digunakan untuk memantau efektivitas hasil peledakan di lapangan, salah satunya metode analisis gambar digital yang mulai banyak digunakan saat ini. Penelitian ini bertujuan untuk menerapkan teknik analisis gambar digital pada fragmen batugamping hasil peledakan yang dikomparasikan dengan hasil analisis empiris menggunakan persamaan Kuz-Ram. Analisis gambar digital ini menggunakan data dari tiga kegiatan peledakan pada kegiatan penambangan batugamping dengan jumlah lubang ledak masing-masing: 130 pada peledakan 01, 86 pada peledakan 02, dan 90 pada peledakan 03. Spasi dan burden yang digunakan pada rancangan peledakan ini adalah masing-masing: 2,5 meter dan 2 meter untuk ketiga kegiatan peledakan. Hasil analisis menunjukkan bahwa simpangan nilai terbesar adalah sebesar 60% terjadi pada ukuran saringan 10 mm untuk peledakan-02 dibandingkan dengan model Kuz-Ram. Fragmen batuan hasil peledakan-01 lolos sebanyak 80% pada saringan  $\pm 280$  mm, sedangkan untuk peledakan-02 dan peledakan-03, material lolos 80% di angka  $\geq 600$  mm. Hasil analisis menunjukkan bahwa grafik persentase lolos  $R(X)$  untuk ketiga kegiatan peledakan dengan hasil analisis dengan metode Kuz-Ram memperlihatkan nilai yang mendekati, meskipun masih terdapat simpangan nilai. Setelah melakukan analisis terhadap tiga kegiatan peledakan dengan desain yang sama, hasil analisis menggunakan perangkat lunak WipFrag menunjukkan hasil yang cukup baik untuk digunakan dalam pemantauan awal di lapangan.

### ABSTRACT

Monitoring and evaluation of blast fragmentation are critical to achieving the most optimal design and outcomes. Several methods are utilized to assess the effectiveness of blasting in the field, one of which is the digital image analysis method, which has gained popularity in recent years. This study aims to apply the digital image analysis technique to rock fragments resulting from blasting and compare the results with empirical analysis using the Kuz-Ram equation. The digital image analysis was conducted using data from three blasting activities in a limestone quarry, with the number of blast holes as follows: 130 in blast-01, 86 in blast-02, and 90 in blast-03. The spacing and burden used in the blast designs were 2.5 m and 2 m, respectively, for all three blasting activities. The results revealed that the largest deviation of 60% occurred at the 10 mm sieve size for blast-02 compared to the Kuz-Ram model. Rock fragments from blast-01 passed 80% at a sieve size of  $\pm 280$  mm, while for blast-02 and blast-03, 80% of the material passed at sizes  $\geq 600$  mm. The analysis showed that the percentage passing graph  $R(X)$  for all three blasting activities, as determined through the Kuz-Ram method, exhibited relatively close values, albeit with some deviations. After analyzing the three blasting activities with identical designs, the results obtained using the WipFrag software demonstrated satisfactory performance for preliminary field monitoring purposes.

**How to cite:** Yudha, W., Aldiyansyah, dan Tugo, L., J. (2025). Analisis fragmentasi hasil peledakan batugamping dengan metode pemrosesan gambar digital menggunakan perangkat lunak Wipfrag. *OPHIOLITE: Jurnal Geologi Terapan*, 6(2), pp. 92-99. <https://doi.org/10.56099/ophi.v6i2.p92-99>

## 1 Pendahuluan

Dalam kegiatan penambangan batuan kuari terdapat beberapa metode pemberaian batuan yang digunakan, metode tersebut tergantung pada nilai kelas suatu massa batuan yang ada dan salah satu metode yang paling umum digunakan adalah pengeboran dan peledakan. Hal utama yang menjadi dasar perencanaan adalah proses peledakan massa batuan yang dapat menghasilkan ukuran fragmentasi batuan dengan ukuran yang sesuai, mudah untuk dimuat, dipindahkan serta dilakukan proses kominusi lanjutan (Singh dkk., 2016).

Ukuran fragmen yang buruk dapat menyebabkan peningkatan biaya operasional, karena ada konsumsi energi tambahan untuk proses *crushing*, *breaking*, ataupun peledakan tambahan (Palangio dan Maerz, 1999). Oleh karena itu, fokus utama adalah mendapatkan hasil yang optimal dengan biaya yang seminimal mungkin (Jug dkk., 2017). Pemantauan dan evaluasi fragmen hasil peledakan sangat penting untuk dilakukan agar mendapatkan rancangan serta hasil yang paling baik. Terdapat beberapa metode yang digunakan untuk mengukur fragmen hasil peledakan yakni; metode penyaringan langsung, *versize boulder count*, *shovel loading rate*, analisis visual, serta metode terbaru menggunakan analisis gambar digital (Nanda dan Pal, 2020).

Beberapa penelitian telah dilakukan menggunakan metode analisis gambar digital untuk memprediksi serta menghitung ukuran rata-rata fragmen hasil peledakan. Nanda dan Pal (2020) menerapkan metode ini untuk memprediksi fragmen pada material mangan untuk mendapatkan nilai koefisien keseragaman fragmen. Borana dkk. (2018) melakukan penelitian pada kegiatan penambangan dengan material batupasir. Amin dan Salman (2022) melakukan penelitian dengan menggunakan perangkat lunak WipFrag untuk melihat hanya pada ukuran rata-rata dan indikator-D, dimana indikator D merupakan indikator dimensi fragmen yang berhubungan dengan ukuran saringan yang dapat dilewati fragmen hasil peledakan pada persentase tertentu. Sedangkan Shehu dkk. (2022) menggunakan metode ini pada batuan granit dibandingkan dengan Teori Kuz-Ram.

Penelitian ini bertujuan untuk menerapkan metode teknik analisis gambar digital pada material hasil peledakan penambangan batugamping dengan menggunakan bantuan perangkat lunak WipFrag, kemudian hasil yang ada dibandingkan dengan hasil prediksi menggunakan teori empiris dari Kuz-Ram (Cunningham, 2005). Terdapat beberapa makalah yang membahas tentang penerapan teknik analisis gambar digital untuk menganalisis fragmen

hasil peledakan. Salah satu perangkat lunak yang sudah sangat umum digunakan dalam melakukan analisis ukuran fragmentasi batuan hasil peledakan adalah split-dekstop. Perangkat lunak tersebut masih menggunakan persamaan Kuz-Ram yang dimodifikasi oleh Cunningham (1983; 1987) untuk memberikan rancangan peledakan sesuai hasil fragmentasi yang didapatkan. Bobo (2010) dan Souza dkk. (2018) menggunakan Split-Dekstop dalam menganalisis fragmen batuan hasil peledakan pada tambang kuari. WipFrag adalah perangkat lunak analisis fragmen batuan yang dikembangkan oleh perusahaan WipWare. Penggunaan perangkat lunak ini masih jarang dijumpai khususnya pada studi kasus dengan jenis batugamping. WipFrag dirancang untuk lebih mudah digunakan pada berbagai platform termasuk telepon pintar, tablet, drone, dan komputer.

## 2 Geologi Daerah Penelitian

Secara geologi regional, lokasi penelitian tepatnya pada Desa Gundu-gundu berada pada Formasi Wapulaka. Formasi wapulaka (Qpw) tersusun atas batugamping berumur Kuartar. Formasi Wapulaka terdiri dari batugamping terumbu yang dicirikan dengan bentukan teras-teras karst dari hasil pengangkatan pada blok sesar yang diendapkan pada lingkungan pengendapan laut dangkal, neritik dalam, dan terumbu atau dekat terumbu (Okto dkk., 2021).

Berdasarkan perbedaan sifat dari batugamping, Davidson (1991) mengelompokkan Formasi Wapulaka menjadi dua jenis fasies. Fasies pertama meliputi batugamping pasir, batupasir gampingan, dan batulempung yang berada di wilayah barat laut. Fasies kedua mencakup batugamping terumbu dan batugamping dolomitan yang terdapat di timurlaut dan selatan Pulau Buton. Sementara itu, unit termuda adalah endapan aluvium yang terdiri atas batulempung, batupasir, serta kerikil lepas dengan fragmen dominan berupa batugamping, yang umumnya terdapat di sepanjang pantai, khususnya di bagian barat, barat laut, dan timurlaut Kota Raha. Penelitian yang dilakukan oleh Asmawati dkk. (2020), menunjukkan bahwa kadar rata-rata CaO batugamping adalah 95,88% dan kadar rata-rata CaCO<sub>3</sub> sebesar 46,88% berdasarkan data pengamatan pada 21 stasiun pengamatan.

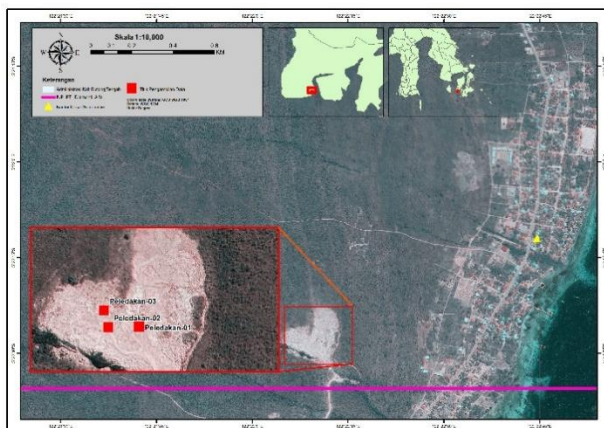
## 3 Metode

Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu pertama dengan memprediksi ukuran fragmen batuan hasil peledakan menggunakan pendekatan empiris dari Kuz-Ram sebelum dilakukannya kegiatan peledakan di lapangan. Analisis dengan metode empiris tersebut dilakukan dengan menggunakan data-data desain peledakan yang didapatkan dari pihak perusahaan yang mencakup pola peledakan,

jarak burden, jarak spasi, karakteristik bahan peledak dan parameter lainnya (Tabel 1). Selanjutnya setelah kegiatan peledakan selesai dilakukan, fragmen batuan hasil peledakan difoto dan dianalisis menggunakan perangkat lunak WipFrag. Hasil analisis menggunakan teknik analisis gambar digital dikomparasikan dengan hasil prediksi Kuz-Ram sebelumnya untuk menilai keandalan aplikasi WipFrag dalam melakukan klasifikasi fragmetasi batuan secara cepat di lapangan.

### 3.1 Metode Penambangan

Penelitian dilakukan pada kegiatan penambangan batugamping yang berlokasi di Desa Gundu-Gundu Kecamatan Mawasangkan Kabupaten Buton Tengah Provinsi Sulawesi Tenggara. Lokasi penambangan berjarak ±20 Km ke arah ujung dari Kecamatan Lakudo yang merupakan pusat kantor pemerintah Kabupaten Buton Tengah (Gambar 1).



Gambar 1 Peta lokasi penelitian

Proses penambangan batugamping dilaksanakan dengan metode kuari serta proses pemberaian batuan dilakukan dengan metode pengeboran dan peledakan oleh PT Taruna Nusa Tama (TNT) selaku kontraktor pelaksana teknis kegiatan penambangan. Proses peledakan dilakukan dengan menggunakan campuran amonium nitrat dan bahan bakar diesel (ANFO) sebagai bahan peledak yang dipicu oleh detonator non-elektrik.

### 3.2 Analisis Empiris Kuz-Ram

Persamaan empiris Kuz-Ram merupakan model yang terdiri dari beberapa persamaan yang digunakan untuk melakukan prediksi material hasil kegiatan peledakan. Keempat persamaan masing-masing untuk mengetahui ukuran rata-rata material hasil peledakan, distribusi ukuran fragmen material yang dihasilkan, indeks keseragaman fragmen, dan ukuran karakteristik dari fragmen yang dihasilkan. Persamaan-persamaan tersebut telah dimodifikasi oleh Cunningham (1983; 1987; 2005) untuk mendapatkan hasil yang lebih optimal.

Fragmen rata-rata material hasil peledakan ( $X_{50}$ ) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 1 (Kuznetsov, 1973) berikut:

$$X_{50} = A \times K^{-0.8} \times Q^{1/6} \times \left[ \frac{115}{RWS} \right]^{19/30} \quad (1)$$

Keterangan:

A = Rock Factor

K = Powder Factor ( $\text{Kg/m}^3$ )

Q = Jumlah bahan peledak tiap lubang (Kg)

RWS = Weight Strength bahan peledak relatif terhadap ANFO

Untuk mengetahui distribusi ukuran fragmen hasil peledakan berdasarkan ukuran saringan tertentu digunakan persamaan 2 (Rosin dan Rammler, 1993) berikut:

$$R(X) \% = 1 - e^{-\left(\frac{X}{X_c}\right)^n} \quad (2)$$

Keterangan:

X = Ukuran saringan (cm)

$X_c$  = Ukuran karakteristik (cm)

n = Indeks keseragaman

Indeks keseragaman (n) dihitung dengan menggunakan persamaan 3 (Cunningham, 1987) berikut:

$$n = \left[ 2.2 - \frac{14B}{d} \right] \left[ \frac{1}{2} + \frac{S}{2B} \right]^{0.5} \left[ 1 - \frac{W}{B} \right] \left[ \frac{L}{H} \right] P \quad (3)$$

Keterangan:

B = Burden (m)

S = Spasi (m)

d = Diameter lubang ledak (mm)

W = Standar deviasi tingkat presisi bor

L = Kedalaman lubang ledak (m)

H = Tinggi jenjang (m)

P = Faktor pola pengeboran berjarak

Ukuran karakteristik ( $X_c$ ) dapat dihitung menggunakan persamaan 4 (Rosin dan Rammler, 1933) berikut

$$X_c = \frac{X_{50}}{(0.693)^{1/n}} \quad (4)$$

Keterangan:

$X_{50}$  = Ukuran rata-rata fragmen (cm)

n = Indeks keseragaman

### 3.3 Pengambilan Gambar Hasil Peledakan

Penelitian ini dilakukan menggunakan data dari tiga kegiatan peledakan pada tanggal 22, 25, dan 30 Februari 2022. Rancangan peledakan yang digunakan sama untuk ketiga kegiatan peledakan tersebut seperti yang dapat dilihat pada Tabel 1. Setelah peledakan selesai dilaksanakan, fragmen-fragmen batuan hasil peledakan yang masih berserakan kemudian difoto dengan menggunakan kamera ponsel pintar beresolusi 18MP (megapixel). Pengambilan foto fragmen dilakukan dengan memperhatikan pencahayaan serta arah sebaran dari

fragmen-fragmen batuan yang ada. Pada fragmen batuan, diletakkan benda pembanding yang diketahui ukurannya. Pembanding tersebut nantinya akan dijadikan acuan oleh aplikasi dalam menjustifikasi ukuran fragmen-fragmen batuan yang ada dalam gambar melalui proses *scalling* dan *edge detecting* (*netting*) pada aplikasi. Pada foto dalam penelitian ini digunakan *helm safety* sebagai pembanding.

### 3.4 Analisis Gambar Digital

Performa hasil peledakan dianalisis menggunakan perangkat lunak WipFrag untuk melihat ukuran fragmen rata-rata yang dihasilkan, persentase sebaran ukuran fragmen, indeks keseragaman, dan beberapa parameter lainnya.

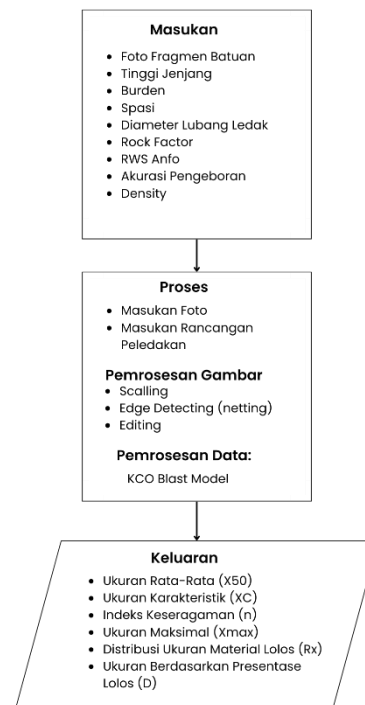
Pendekatan dengan persamaan empiris Kuz-Ram sudah sangat umum digunakan dalam memprediksi hasil peledakan. Beberapa metode baru yang muncul, salah satunya KCO Blast Model (Ouchterlony, 2005) yang diadaptasi ke dalam perangkat lunak WipFrag, merupakan pengembangan dari Model Kuz-Ram. KCO (Kuz-Ram-Cunningham-Ouchterlony). Blast model atau biasa disebut perluasan dari model Kuz-Ram merupakan sebuah model empiris yang dikembangkan oleh Swebrec (Swedish Blasting Research Center) untuk memprediksi fragmen batuan hasil peledakan.

Pada KCO Blast Model persamaan Rossin-Ramler digantikan dengan fungsi swebrec. pada fungsi swebrec diperkenalkan konsep TCM (*Two Component Model*) serta CZM (*Crush Zone Model*) dalam menganalisis nilai ukuran karakteristik dan nilai indeks keseragaman batuan. KCO Blast Model memperbaiki kelemahan dari model Kuz-Ram dalam hal kemampuan prediksi pada ukuran butir halus dan juga nilai batas atas yang tidak terbatas untuk ukuran blok batuan.

Analisis gambar digital dengan bantuan perangkat lunak WipFrag dilakukan dengan memberikan masukan beberapa data yakni; foto fragmen batuan hasil peledakan dan data desain peledakan yang meliputi; tinggi jenjang, burden, spasi, diameter lubang ledak, nilai *rock factor*, RWS Anfo, serta akurasi pengeboran.

Alur kerja teknik analisis gambar digital dengan menggunakan perangkat lunak WipFrag ditunjukkan pada Gambar 2. Setelah gambar fragmen hasil peledakan batuan dimasukkan ke dalam WipFrag, langkah pertama yang dilakukan adalah menyesuaikan ukuran pembanding yang ada dalam gambar sesuai ukuran sebenarnya yang digunakan sebagai pembanding untuk proses *scalling*. Tahap selanjutnya adalah perangkat lunak akan secara otomatis melakukan proses *scalling* (penskalaan) serta *edge detecting* atau biasa disebut *netting* pada gambar tersebut. Proses *netting* adalah proses

penggambaran ulang bentuk-bentuk fragmen batuan pada sisi-sisinya. Pengeditan manual juga dapat dilakukan jika terdapat garis hasil *netting* otomatis yang tidak sesuai dengan gambar fragmen. Pada akhirnya bentuk fragmen diperoleh melalui gabungan garis-garis fragmen batuan yang menyerupai jaring (*net*) yang sudah memiliki ukuran sesuai dengan hasil penskalaan. Visualisasi gradasi ukuran fragmen juga dapat diberikan melalui variasi warna (*colouring*) pada net fragmen batuan.



Gambar 2 Alur kerja wipfrag

Perangkat lunak WipFrag bekerja secara dua arah sekaligus dalam satu waktu, yaitu memprediksi ukuran fragmentasi berdasarkan masukan data rancangan peledakan dengan pendekatan KCO Blast Model, dan dapat memberikan ukuran fragmentasi aktual berdasarkan hasil analisis dari foto yang dimasukkan. Pada akhir proses, diperoleh dua hasil yang dapat dibandingkan.

## 4 Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan data, pola peledakan yang digunakan adalah *rectangle*, jarak burden sebesar 2 meter dan jarak spasi sebesar 2,5 meter. Pola tersebut digunakan untuk semua kegiatan peledakan. Bahan peledak yang digunakan yakni ANFO. Variabel rancangan peledakan lebih rinci dapat dilihat pada Tabel 1.

### 4.1 Pengambilan data foto fragmen batuan

Foto fragmen diambil setelah kegiatan peledakan dilakukan. Adapun jumlah kegiatan peledakan yang digunakan untuk melakukan analisis

gambar digital sebanyak tiga kali pada lokasi yang relatif berdekatan dengan jenis batuan serta kondisi massa batuan yang relatif sama. Foto fragmen hasil peledakan dapat dilihat pada **Gambar 3**.

**Tabel 1** Variabel rancangan peledakan

| Variabel                         | Simbol | Nilai     | Satuan            |
|----------------------------------|--------|-----------|-------------------|
| Pola Peledakan                   |        | Rectangle |                   |
| Burden                           | B      | 2         | m                 |
| Spasi                            | S      | 2,5       | m                 |
| Tinggi Jenjang                   | H      | 6         | m                 |
| Jumlah Lubang                    |        | 100       |                   |
| Diameter Lubang Ledak            | d      | 76,2      | mm                |
| Kedalaman Lubang Ledak           | L      | 6,5       | m                 |
| Panjang Kolom Isian              |        | 4,5       | m                 |
| Stemming                         | Ho     | 1,5       | m                 |
| Subdrill                         | U      | 0,5       | m                 |
| Bottom Charge Length             | BCL    | 1         | m                 |
| Collum Charge Length             | CCL    | 4         | m                 |
| Weight Strength of Explosive     | RWS    | 100       |                   |
| Powder Factor                    | K      | 0,4       | Kg/m <sup>3</sup> |
| Rock Factor                      | A      | 7,27      |                   |
| Jumlah Bahan Peledak tiap lubang | Q      | 0,008209  | Kg                |
| Standar Deviasi Kepresisian Bor  | W      | 0,25      |                   |



**Gambar 3** Foto fragmen batuan hasil peledakan

## 4.2 Prediksi Hasil Peledakan

Berdasarkan data rancangan peledakan yang diperoleh, dilakukan perhitungan untuk memprediksi hasil peledakan menggunakan persamaan yang ada untuk mendapatkan nilai ukuran fragmen rata-rata ( $X_{50}$ ), distribusi ukuran fragmen lolos saringan ( $R(X)$ ), indeks keseragaman ( $n$ ), serta ukuran karakteristik ( $X_c$ ) seperti pada **Tabel 2**.

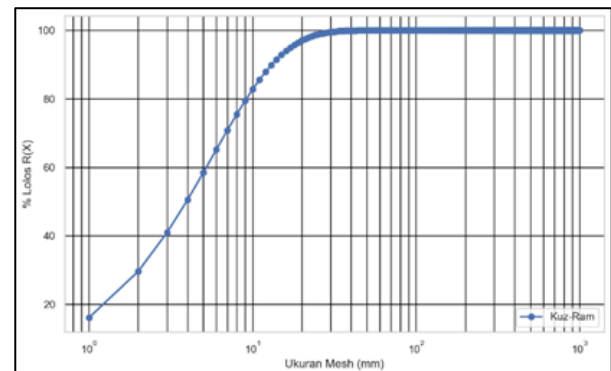
**Tabel 2** Prediksi ukuran fragmen dengan persamaan Kuz-Ram

| Model   | Ukuran Karakteristik ( $X_c$ ) (cm) | Ukuran Rata-Rata ( $X_{50}$ ) (cm) | Indeks Keseragaman ( $n$ ) |
|---------|-------------------------------------|------------------------------------|----------------------------|
| Kuz-Ram | 9,46                                | 7,43                               | 1,51                       |

Pada **Tabel 2**, dapat dilihat bahwa nilai indeks keseragaman bernilai 1,51. Nilai indeks keseragaman umumnya berkisar antara 0,7 hingga 2 ([Cunningham, 2005](#)). Nilai indeks keseragaman mendekati angka 2 maka tingkat keseragaman semakin tinggi ([Borana](#)

[dkk., 2018](#)). Prediksi distribusi ukuran fragmen yang lolos berdasarkan ukuran saringan tertentu dihitung menggunakan Persamaan 3.

Prediksi distribusi ukuran fragmen batuan yang lolos saringan ukuran tertentu ( $x$ ) yang ditunjukkan pada **Gambar 4** memperlihatkan bahwa secara teori, untuk jenis massa batugamping terumbu pada lokasi penelitian dengan menerapkan desain peledakan aktual, akan menghasilkan fragmen rata-rata di bawah 1000 mm. hasil analisis dengan teknik analisis gambar digital sebagai pembandingan dapat dilihat pada **Tabel 3**.



**Gambar 4** Distribusi ukuran fragmen lolos saringan ( $X$ ) dengan persamaan Kuz-Ram

## 4.3 Hasil Analisis WipFrag

Hasil pengolahan data dengan menggunakan perangkat lunak WipFrag untuk tiga kegiatan peledakan dapat dilihat pada **Gambar 5**. Dari analisis tersebut diperoleh nilai ukuran karakteristik ( $X_c$ ) dan nilai indeks keseragaman ( $n$ ) berdasarkan foto sebaran fragmen hasil kegiatan peledakan.

**Tabel 3** Prediksi ukuran fragmen dengan Persamaan Kuz-Ram dan WipFrag

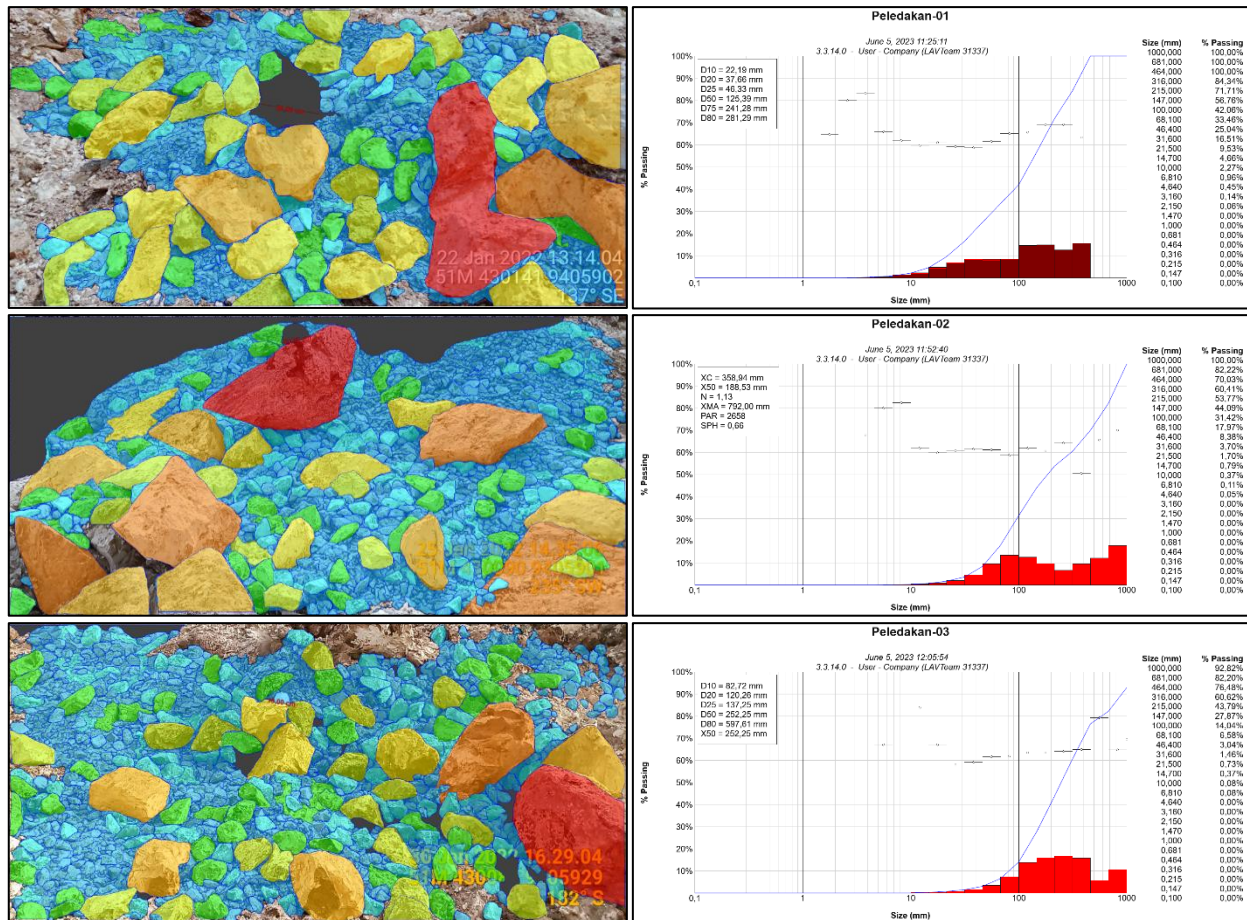
| Model                   | ( $X_c$ ) (cm) | ( $X_{50}$ ) (cm) | ( $n$ ) |
|-------------------------|----------------|-------------------|---------|
| Kuz-Ram                 | 9,46           | 7,43              | 1,51    |
| Wip-Frag (Peledakan-01) | 17,60          | 12,47             | 1,23    |
| Wip-Frag (Peledakan-02) | 35,89          | 18,85             | 1,3     |
| Wip-Frag (Peledakan-03) | 34             | 25,22             | 1,57    |

Nilai distribusi ukuran fragmen lolos saringan tertentu  $R(X)$  untuk ketiga kegiatan peledakan dihitung menggunakan persamaan Rosin-Rammler dengan menggunakan data yang didapatkan dari analisis gambar digital sebelumnya.

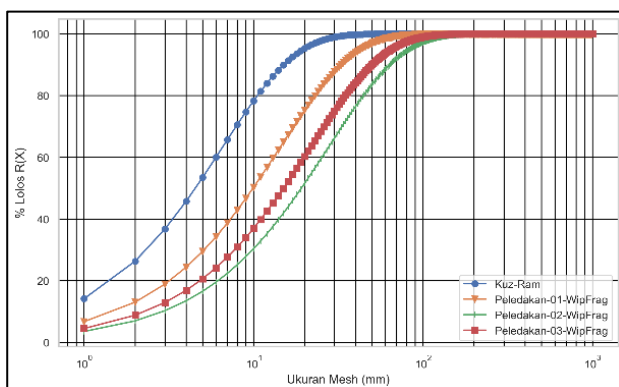
**Gambar 6** memperlihatkan bahwa garis yang diplot pada grafik sebagai fungsi dari jumlah persentase lolos saringan ukuran rata-rata terhadap ukuran saringan menunjukan pola yang serupa. Hasil pengolahan data dari analisis gambar digital

menggunakan perangkat lunak WipFrag pada ketiga kegiatan peledakan menunjukkan nilai yang cukup dekat. Jika dibandingkan dengan hasil analisis menggunakan pendekatan Kuz-Ram, terdapat

perbedaan nilai yang cukup besar. Perbedaan terbesar adalah pada peledakan-02 atau pada material yang lolos pada ukuran saringan 10 mm, dimana nilai perbedaannya adalah  $\pm$  sebesar 60%.



**Gambar 5** Netting, colouring, histogram, dan kurva ukuran kumulatif fragmen batuan pada berbagai kegiatan peledakan



**Gambar 6** Grafik perbandingan prediksi % lolos R(X) Kuz-Ram dan analisis hasil peledakan aktual menggunakan WipFrag

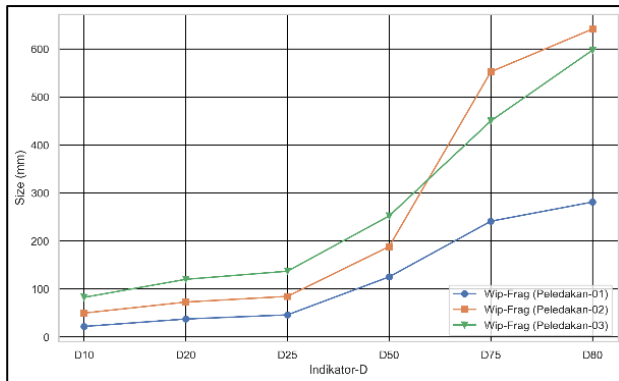
Nilai indikator D memberikan gambaran persentase fragmen lolos berdasarkan ukuran saringan tertentu. Fragmen batuan hasil peledakan-01 lolos sebanyak 80% pada saringan  $\pm$ 280 mm,

sedangkan untuk peledakan-02 dan peledakan-03, material lolos 80% di angka  $\Rightarrow$ 600 mm (**Gambar 7**).

Secara bersamaan WipFrag juga melakukan prediksi ukuran fragmen yang akan dihasilkan berdasarkan data rancangan peledakan yang dimasukkan. Adapun hasil analisisnya dapat dilihat pada **Tabel 4**.

Dari **Tabel 4** dapat dilihat bahwa hasil prediksi dengan menggunakan KCO Blast Model dan hasil dari analisis gambar digital fragmen hasil peledakan aktual memberikan angka yang sangat dekat. Mengingat alat crusher yang digunakan perusahaan untuk proses kominusi dapat menerima material dengan ukuran maksimal 2000 mm, maka hasil tersebut masih dapat diterima. **Idowu dkk (2021)**, menggunakan aplikasi split-dekstop untuk mengevaluasi fragme hasil peledakan pada lima kegiatan peledakan di kuari granit di Nigeria. Hasil yang didapatkan bahwa untuk nilai indeks keseragaman fragmen batuan antara model Kuz-Ram dan hasil pengolahan Split-Dekstop

yang mengadaptasi persamaan Kuz-Ram menunjukkan hasil yang 100% sama tanpa adanya perbedaan.



**Gambar 7** Grafik perbandingan nilai D

**Tabel 4** Perbandingan nilai ukuran fragmen rata-rata  $X_{(50)}$  antara hasil analisis gambar fragmen dan prediksi otomatis WipFrag (KCO Blast Model)

| Aktivitas Peledakan | Analisis                          |                                               |
|---------------------|-----------------------------------|-----------------------------------------------|
|                     | Prediksi (KCO Model)-WipFrag (cm) | Aktual (Analisis Gambar Digital)-WipFrag (cm) |
| Peledakan-01        | 12,4                              | 12,53                                         |
| Peledakan-02        | 18,7                              | 18,83                                         |
| Peledakan-03        | 25,5                              | 25,22                                         |

Souza dkk (2018), menggunakan split-dekstop pada kuari granit dan menyimpulkan bahwa pemodelan dengan menggunakan Kuz-Ram terlalu melebihi-lebihkan fragmen-fragmen berukuran halus. Perbandingan hasil prediksi Kuz-Ram dengan nilai dari fragmentasi aktual hasil peledakan yang diolah menggunakan WipFrag untuk nilai indeks keseragaman (n) dengan menunjukan hasil prediksi

Kuz-Ram lebih besar 0,09% dari rata-rata hasil WipFrag. Shehu dkk (2022) melakukan hal serupa menggunakan perangkat lunak WipFrag pada kuari batuan granit dengan tiga peledakan mendapatkan adanya perbedaan dimana hasil perhitungan Kuz-Ram lebih besar 0,10% dari rata-rata hasil olahan WipFrag untuk nilai indeks keseragaman fragmen. Hal tersebut dapat terjadi karena algoritma WipFrag menghitung material halus dengan lebih detil karena adanya konsep fungsi Swabrec yang mengoptimalisasi perhitungan nilai indeks keseragaman yang diterapkan pada KCO Blast Model.

## 5 Kesimpulan

Setelah melakukan analisis terhadap tiga kegiatan peledakan dengan desain yang sama, hasil analisis perangkat lunak WipFrag menunjukan hasil yang cukup baik. Fungsi Swabrec yang diterapkan pada KCO blastmodel pada WipFrag dapat lebih realistis terutama dalam menghitung fragmen berukuran halus. Bagaimanapun juga, penyimpangan nilai yang didapatkan tidak terlepas dari perbedaan persamaan empiris dasar yang digunakan serta kondisi variabilitas spasial yang tidak terakomodir di dalam model. Efektivitas penggunaan perangkat lunak WipFrag dapat ditingkatkan dengan memperbaiki kualitas pengambilan gambar dengan mempertimbangan faktor-faktor seperti penggunaan kamera digital, pencahayaan dan sudut pengambilan gambar. Penelitian dengan menggunakan drone dalam pengambilan gambar dapat dilakukan. drone dapat melakukan pengambilan gambar dengan jangkauan yang lebih luas serta dengan kualitas gambar yang lebih baik sehingga diasumsikan dapat memberikan nilai sebaran ukuran yang lebih representatif.

## Referensi

- Amin, I., & Salman, S., 2022. Fragmentation Analysis of Blasted Rock using WipFrag Image Analysis Software. *Journal of Mines, Metals and Fuels*, 70(5), pp. 263–267. <https://doi.org/10.18311/jmmf/2022/28875>
- Asmawati, Hasria, Asfar, S., 2020. Analisis Geokimia Unsur Penyusun Batugamping Formasi Wapulaka, Desa Oempu, Kecamatan Tongkuno, Kabupaten Muna, Provinsi Sulawesi Tenggara. *OPHIOLITE: Jurnal Geologi Terapan*, 2(2), pp. 88-96. <https://doi.org/10.56099/ophiolite.v2i2.22440>
- Bobo, T., 2010. What's New with the Digital Image Analysis Software Split-Desktop®? Split Engineering, LLC.
- Borana, S., Yadav, S., Parihar, S., 2018. Image Processing Analysis of Blast Fragmentation : A Case Study of Sandstone Mining Area of Jodhpur. *International Journal of Research in Advent Technology*, 6( 10), pp. 2584–2589. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.24151.73120>
- Cunningham, C. V., 1983. The Kuz-Ram model for prediction of fragmentation from blasting, in: Holmberg, R. and Rustan, A., Eds., 1<sup>st</sup> International Symposium on Rock Fragmentation by Blasting, Luleå University of Technology, Lulea, 2, pp. 439-453.
- Cunningham, C. V., 1987. Fragmentation estimations and the Kuz-Ram model-Four years on. In: Fournery, W.L. and Dick, R.D., Eds., 2<sup>nd</sup> International Symposium on Rock Fragmentation by Blasting, Keystone, Colorado, Bethel CT: SEM, pp. 475-487.

- Cunningham, C. V., 2005. The Kuz-Ram fragmentation model – 20 years on. Conf. Proc European Federation of Explosive Engineers, Brighton. pp. 201–210.
- Davidson, J. W. 1991. The geology and prospectivity of Buton Island, S.E. Sulawesi, Indonesia. Proceedings, Indonesian Petroleum Association 20th Annual Convention & Exhibition, Oktober, Jakarta. Indonesian Petroleum Association (IPA). pp. 209-233. <https://doi.org/10.29118/IPA.2026.209.233>
- Idowu, K.A., Olaleye, B.M., Saliu, M.A., 2021. Application of Split Desktop Image Analysis and Kuz-Ram Empirical Model for Evaluation of Blast Fragmentation Efficiency in a Typical Granite Quarry \*. <https://doi.org/10.4314/gm.v2iil.5>
- Jug, J., Strelec, S., Gazdek, M., Kavur, B. 2017. Fragment Size Distribution of Blasted Rock Mass. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 95, pp. 042013. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/95/4/042013>
- Kuznetsov, V.M. 1973. The mean diameter of the fragments formed by blasting rock. Soviet Mining Science, 9, pp. 144–148. <https://doi.org/10.1007/BF02506177>
- Nanda, S., Pal, B.K., 2020. Analysis of blast fragmentation using WipFrag. International Journal of Innovative Science and Research Technology. 5(6), pp. 1561–1566. <https://doi.org/10.38124/ijisrt20jun1086>
- Okto, A., Masri, Mili, M. Z., Hasria. 2022. Karakteristik batugamping Formasi Wapulaka dan pemanfaatannya sebagai bahan galian industri di Desa Wuna, Kabupaten Muna, Sulawesi Tenggara. Jurnal Mineral, Energi, dan Lingkungan, 5(1), pp. 11-17. <https://doi.org/10.31315/jmel.v5i1.4030>
- Ouchterlony, F. 2005. The Swebrec© function: linking fragmentation by blasting and crushing. Mining Technology: Transactions of the Institutions of Mining and Metallurgy: Section A, 114(1), pp. 29–44. <https://doi.org/10.1179/037178405x44539>
- Palangio, T. C., Maerz, N. H., 1999. Case Studies using the WipFrag Image Analysis System. Proceedings of the 6th International Symposium for Rock Fragmentation by Blasting, Johannesburg (South Africa), pp. 117 – 120.
- Rosin, P., dan Rammler E., 1933. The law governing the fineness of powdered coal. Journal of the Institute of Fuel, 7, pp. 29-36.
- Shehu, S. A., Yusuf, K. O., Hashim, M. H. M., 2022. Comparative study of WipFrag image analysis and Kuz-Ram empirical model in granite aggregate quarry and their application for blast fragmentation rating. Geomechanics and Geoengineering, 17, pp. 197–205. <https://doi.org/10.1080/17486025.2020.1720830>
- Singh, P. K., Roy, M. P., Paswan, R. K., Sarim, M. D., Kumar, S., Jha, R. R., 2016. Rock fragmentation control in opencast blasting. Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering, 8(2), pp. 225–237. <https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2015.10.005>
- Souza, J. C. D., Silva, A. C. S. D., dan Rocha, S. S., 2018. Analysis of Blasting Rocks Prediction and Rock Fragmentation Results using Split-Desktop Software. Tecnologia Em Metalurgia, Materiais E Mineração, 15(1), pp. 22–30. <https://doi.org/10.4322/2176-1523.1234>

