

ANALISIS FRAGMENTASI BATUAN DARI HASIL PELEDAKAN MENGGUNAKAN FOTOGRAFI DAN PENGOLAHAN CITRA DI PT. SELO AGUNG SETIAJI

(ROCK FRAGMENTATION ANALYSIS OF BLASTING RESULTS USING PHOTOGRAPHIC IMAGE ANALYSIS AT PT. SELO AGUNG SETIAJI)

Carolina Josephin Maria^{1*}, Sefanya Faera Joni¹, Yusias Andri¹

¹ Jurusan Teknik Pertambangan, Universitas Palangka Raya, Palangka Raya, Indonesia

* Korespondensi E-mail: carolinajosephin@gmail.com

Abstrak

Peledakan merupakan tahap penting dalam kegiatan penambangan terbuka untuk memecahkan batuan keras serta mempermudah proses pemuatan, pengangkutan, dan penghancuran berikutnya. Fragmentasi yang kurang optimal sering menghasilkan bongkahan batu berukuran besar (*boulders*) yang dapat menghambat operasional dan meningkatkan biaya produksi. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi hasil fragmentasi peledakan di PT. Selo Agung Setiaji, Kabupaten Katingan, Kalimantan Tengah, dengan fokus pada faktor-faktor yang memengaruhi terbentuknya bongkahan ≥ 60 cm serta memberikan rekomendasi perbaikan. Metode penelitian ini meliputi observasi lapangan, dokumentasi fotografi, analisis citra menggunakan perangkat lunak WipFrag, serta perhitungan teoritis berdasarkan model Kuz-Ram dan geometri peledakan R.L. Ash. Hasil menunjukkan bahwa geometri peledakan aktual dan kondisi geologi, termasuk kekerasan batuan tinggi serta keterbatasan jenjang yang tinggi, berkontribusi terhadap meningkatnya persentase bongkahan besar. Pembahasan menekankan pentingnya penyesuaian *burden*, *spacing*, dan *stemming* untuk mengoptimalkan energi peledakan. Evaluasi sistematis desain peledakan melalui kombinasi analisis citra dan model teoritis dapat meningkatkan efisiensi serta produktivitas tambang secara keseluruhan.

Kata kunci: Bongkahan Batuan, Fragmentasi, Peledakan, Produktivitas Tambang, WipFrag.

Abstract

Blasting is an essential stage in open-pit mining to fragment hard rock and facilitate subsequent loading, hauling, and crushing processes. Suboptimal fragmentation often produces large rock boulders that can hinder operations and increase production costs. This study aims to evaluate the blasting fragmentation of boulders ≥ 60 cm and provide recommendations for improvement. The research methods include field observations, photographic documentation, image analysis using WipFrag software, and theoretical calculation based on the Kuz-Ram model and R.L. Ash blasting geometry. The results indicate that the actual blasting geometry and geological conditions, including high rock hardness and limited bench height, contribute to a higher percentage of large boulders. The discussion emphasizes the importance of adjusting burden, spacing, and stemming parameters to optimize explosive energy distribution. A systematic evaluation of blasting design and overall mining productivity.

Keywords: Boulder, Fragmentation, Blasting, Productivity, WipFrag.

Article History	Submitted: 06-08-2026	Revised: 29-09-2026	Accepted: 10-10-2026
Published by	Mining Engineering, Faculty of Engineering, University of Palangka Raya		
License	CC BY-SA 4.0		
DOI	10.36873/jtp.v26i2.27667		

1. Pendahuluan

Kualitas fragmentasi batuan hasil peledakan merupakan salah satu faktor yang menentukan efisiensi operasi penambangan terbuka, khususnya pada tambang batuan andesit yang memiliki tingkat kekerasan tinggi (Putra & Syahputra, 2022). Fragmentasi yang menghasilkan *boulder* dapat menghambat proses pemuatan, pengangkutan, dan peremukan sehingga meningkatkan waktu siklus kerja serta biaya operasional akibat perlunya penanganan lanjutan (Dhiyauddin, 2022; Lutfi Fitri, 2021). Hasil fragmentasi dipengaruhi oleh berbagai parameter peledakan, seperti *burden*, *spacing*, pola pengeboran, tinggi jenjang, jenis bahan peledak, serta kondisi massa batuan (Milus et al., 2021; Murad et al., 2023).

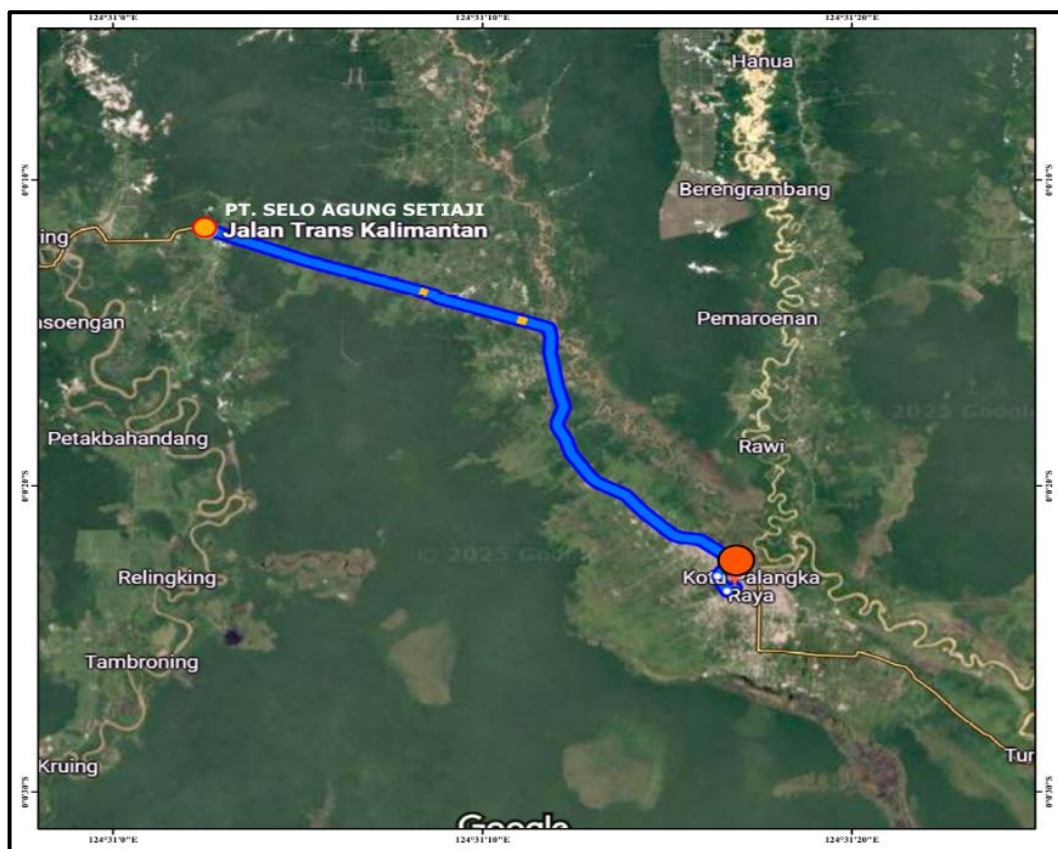
Beberapa penelitian terdahulu telah mengkaji pengaruh geometri peledakan terhadap fragmentasi pada berbagai jenis litologi. Gultom et al. (2023) menerapkan metode *analysis photography* bersama perhitungan teoritis pada tambang batubara di Kalimantan Timur, sedangkan Marina et al. (2024) dan Nilasari et al. (2019) mengevaluasi geometri peledakan pada tambang batugamping. Syafardan (2023) juga mengkaji pengaruh geometri peledakan terhadap fragmentasi material *blasting* di tambang andesit Sukabumi. Studi-studi tersebut menunjukkan bahwa optimasi parameter peledakan perlu disesuaikan dengan kondisi spesifik setiap lokasi tambang, baik dari segi litologi, struktur geologi, maupun keterbatasan operasional.

Pada PT. Selo Agung Setiaji masih ditemukan fragmen batuan berukuran ≥ 60 cm setelah peledakan, yang menunjukkan bahwa distribusi energi peledakan belum optimal. Kondisi tersebut menjadi dasar perlunya evaluasi terhadap desain peledakan untuk memperoleh ukuran fragmentasi yang sesuai dengan kebutuhan operasional. Mengacu pada identifikasi masalah tersebut, penelitian ini dirumuskan untuk menjawab pertanyaan utama: mengapa proporsi fragmen berukuran besar (*boulder* ≥ 60 cm) masih signifikan pada kondisi geometri peledakan aktual, dan bagaimana optimalisasi parameter geometri peledakan yang dapat direkomendasikan untuk meminimalkan pembentukan *boulder* serta meningkatkan keseragaman fragmentasi.

Penelitian ini bertujuan menganalisis hasil fragmentasi batuan pasca peledakan dan mengevaluasi kesesuaiannya dengan prediksi model Kuz-Ram. Penelitian ini menggunakan analisis citra digital berbasis perangkat lunak WipFrag untuk mengevaluasi distribusi ukuran fragmentasi secara kuantitatif. Kombinasi analisis aktual dan pendekatan teoritis tersebut menjadi keterbaruan penelitian dalam mengevaluasi kesesuaian hasil peledakan serta mengidentifikasi faktor-faktor penyebab terbentuknya *boulder* pada kondisi penambangan di PT. Selo Agung Setiaji.

2. Metode

Metode penelitian ini dilaksanakan di area penambangan batuan andesit PT. Selo Agung Setiaji berlokasi di Kecamatan Katingan Hilir, Kabupaten Katingan, Provinsi Kalimantan Tengah. Lokasi penelitian merupakan area tambang terbuka yang menerapkan metode peledakan untuk pembongkaran batuan. Peta lokasi penelitian disajikan pada Gambar 1. Penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif yang didukung oleh analisis deskriptif untuk mengevaluasi hasil fragmentasi batuan pasca peledakan dan faktor-faktor yang memengaruhinya.



Gambar 1. Lokasi penelitian

a. Kondisi Geologi Lokasi Penelitian

Batuan sasaran di lokasi penelitian didominasi oleh batuan andesit dengan tingkat kekerasan tinggi. Berdasarkan observasi lapangan, massa batuan menunjukkan perkembangan struktur kekar yang cukup rapat dengan beberapa bidang kekar yang terisi material alterasi. Secara kualitatif, kondisi massa batuan tergolong dalam kelas sedang hingga baik dengan beberapa zona yang mengalami pelapukan. Keterbatasan data pengujian laboratorium (UCS, *Point Load Index*, RQD) pada periode penelitian menyebabkan karakterisasi mekanika batuan dilakukan secara deskriptif berdasarkan pengamatan muka jenjang dan catatan geologi lapangan. Hal ini menjadi catatan keterbatasan penelitian yang perlu dilengkapi pada studi lanjutan.

b. Objek dan Data Penelitian

Objek penelitian meliputi hasil fragmentasi batuan dari beberapa kegiatan peledakan yang dipilih selama periode pengamatan. Populasi penelitian mencakup seluruh kegiatan peledakan yang dilakukan di PT. Selo Agung Setiaji, sedangkan sampel penelitian ditentukan berdasarkan kejadian peledakan yang mewakili kondisi operasi tambang secara rutin. Data primer diperoleh melalui observasi lapangan, dokumentasi fotografi hasil peledakan menggunakan *handphone* dan *helm safety* sebagai pembanding, serta wawancara dengan petugas peledak dan operator alat. Data sekunder diperoleh dari kajian pustaka, dokumen perusahaan, dan data teknis peledakan.

c. Analisis Fragmentasi dengan Model Kuz-Ram

Model Kuz-Ram merupakan pendekatan teoritis yang menggabungkan persamaan Kuznetsov untuk memperkirakan ukuran rata-rata fragmen dan distribusi Rosin-Rammler untuk menggambarkan penyebaran ukuran fragmen (Milus et al., 2021). Persamaan Kuznetsov dinyatakan sebagai:

$$\bar{x} = (A \frac{V_0}{Q})^{0,8} \times Q^{0,17} X \frac{E}{115}^{-0,63} \quad (1)$$

Keterangan:

$\bar{x}$ = Ukuran rata-rata fragmentasi batuan (cm)

A = Faktor batuan

V = Volume batuan yang terbongkar (m^3)

Q = Berat bahan peledak (kg)

E = *Relative weight strength* bahan peledak (ANFO = 100)

d. Analisis Geometri Peledakan Metode R.L.Ash

Evaluasi parameter geometri peledakan dilakukan menggunakan pendekatan R.L. Ash untuk menilai pengaruh *burden* (B), *spacing* (S), *stemming*, dan tinggi jenjang (H) terhadap hasil fragmentasi. Persamaan utama yang digunakan meliputi:

$$B = \frac{kb \times de}{12} \quad (2)$$

Keterangan:

B = *Burden*

kb = Konstanta *burden*

De = Diameter lubang ledak (inch)

$$S = S_K \times B \quad (3)$$

Keterangan:

S = *Spasi*

S_K = *Spasi ratio* (1,0- 2,0)

B = *Burden*

e. Analisis Citra dengan WipFrag

Data hasil analisis WipFrag selanjutnya dibandingkan dengan prediksi model Kuz-Ram untuk mengevaluasi kesesuaian antara fragmentasi aktual dan teoritis. Analisis fragmentasi dilakukan menggunakan perangkat lunak WipFrag melalui pemrosesan citra digital hasil dokumentasi fotografi.

Helm *safety* dengan diameter 23 cm digunakan sebagai skala acuan. Hasil pengolahan citra menghasilkan distribusi ukuran fragmen, nilai ukuran karakteristik fragmentasi, indeks keseragaman, dan persentase *boulder* pada setiap peledakan yang diamati. Analisis data dilakukan secara kuantitatif melalui perbandingan hasil pengamatan lapangan dengan hasil perhitungan model, serta secara deskriptif untuk mengidentifikasi faktor-faktor yang menyebabkan terbentuknya *boulder*.

Hasil analisis digunakan sebagai dasar penyusunan rekomendasi teknis guna mengoptimalkan desain peledakan, meningkatkan keseragaman fragmentasi, dan mengurangi persentase fragmen berukuran besar pada kegiatan penambangan di PT. Selo Agung Setiaji. Rekomendasi parameter geometri peledakan dilakukan menggunakan pendekatan R.L. Ash untuk menilai pengaruh *burden*, *spacing*, dan parameter desain lainnya terhadap hasil fragmentasi.

3. Hasil dan Pembahasan

Pada penelitian ini, data dikumpulkan dan dianalisis untuk mengevaluasi geometri peledakan aktual serta hasil fragmentasi batuan di PT. Selo Agung Setiaji. Hasil kegiatan peledakan dianalisis melalui beberapa pendekatan, meliputi perhitungan teoritis berdasarkan model Kuz-Ram serta analisis fotografi menggunakan perangkat lunak WipFrag. Melalui kombinasi kedua metode tersebut, diperoleh gambaran yang lebih komprehensif mengenai kualitas fragmentasi batuan dan efektivitas teknik peledakan yang diterapkan di lapangan.

a. Geometri Peledakan Aktual di PT. Selo Agung Setiaji

Geometri peledakan yang diamati di PT. Selo Agung Setiaji menunjukkan adanya sejumlah faktor yang memengaruhi efektivitas proses peledakan. Area penambangan memiliki kondisi topografi yang tidak rata, dengan beberapa bagian tergenang air secara semipermanen, sehingga membatasi optimalisasi hasil peledakan. Diameter lubang ledak dibatasi hingga maksimum 3 inch, dengan kedalaman sekitar 5 meter akibat kondisi batuan yang keras, yang turut menjadi kendala dalam pelaksanaan peledakan. Selain itu, nilai *burden*, jarak antarlubang (*spacing*), serta tinggi jenjang (*bench height*) bervariasi selama periode pengamatan, dengan rincian pengukuran yang ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Geometri Peledakan Aktual

No	Tanggal	Burden (m)	Spacing (m)	Bench Height (m)	Jumlah Lubang
1	2 Juli 2025	1,8	2	5	28
2	4 Juli 2025	1,3	1,5	5	25
3	7 Juli 2025	1,2	2	5	35
4	9 Juli 2025	1,3	2	5	23
5	16 Juli 2025	1,0	2	5	36
6	17 Juli 2025	1,8	2	5	25
7	22 Juli 2025	1,6	2	5	30

b. Pola Peledakan dan Pengeboran

Pola peledakan *V-cut* merupakan pola peledakan yang sering digunakan dalam kegiatan peledakan di PT. Selo Agung Setiaji dirancang untuk mengoptimalkan distribusi energi ledakan serta mengarahkan hasil pecahan batuan ke arah yang diinginkan (Simamora et al., 2019). Pola pengeboran lubang ledak menerapkan sistem *staggered pattern* yang disesuaikan dengan bentuk *V-cut*, sehingga menghasilkan pola fragmentasi yang lebih teratur dan meningkatkan efisiensi proses peledakan.

Tabel 2. Pola Peledakan Aktual

No	Lokasi	Pola Peledakan	Pola Peledakan	Arah Pengeboran
1	2 Juli 2025	<i>V-Cut</i>	<i>Staggered Pattern</i>	Tegak lurus dan miring
2	4 Juli 2025	<i>V-Cut</i>	<i>Staggered Pattern</i>	Tegak lurus dan miring
3	7 Juli 2025	<i>Echelon Cut</i>	<i>Staggered Pattern</i>	Tegak lurus
4	9 Juli 2025	<i>V-Cut</i>	<i>Staggered Pattern</i>	Tegak lurus dan miring
5	16 Juli 2025	<i>V-Cut</i>	<i>Staggered Pattern</i>	Tegak lurus dan miring
6	17 Juli 2025	<i>V-Cut</i>	<i>Staggered Pattern</i>	Tegak lurus dan miring
7	22 Juli 2025	<i>V-Cut</i>	<i>Staggered Pattern</i>	Tegak lurus dan miring

c. *Loading Density* dan *Powder Factor*

Loading density merupakan berat bahan peledak pada setiap meter kolom isian, untuk mendapatkan volume isian bahan peledak per lubang. *Loading density* dapat dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$LD = 0,508 \times (De^2) \times SG \quad (4)$$

Dimana:

LD = Densitas isian (kg/m)

De = Diameter lubang ledak (inch)

SG = *Specific gravity* bahan peledak (g/cc) (0,80 g/cc)

Pada setiap kedalaman lubang ledak dengan rata-rata kedalaman 5 meter, didapatkan perhitungan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} LD &= 0,508 \times 3^2 \times 0,8 \\ &= 3,7 \\ 5 \text{ meter} &= 3,7 \text{ kg} / \text{m} \times 3,5 \text{ m} \approx 12,95 \text{ kg} \end{aligned}$$

Powder factor merupakan parameter yang menggambarkan hubungan antara jumlah bahan peledak yang digunakan dengan volume batuan yang berhasil diledakkan (Raharjo & Nasution, 2021). Akurasi perhitungan volume insitu ini sangat krusial dalam menentukan nilai *powder factor* yang tepat. Dalam praktiknya, validasi volume peledakan tidak hanya mengandalkan perhitungan geometris teoritis, tetapi juga dapat divalidasi menggunakan teknologi pemetaan modern seperti *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) dan GNSS RTK untuk meminimalkan deviasi antara volume estimasi dan aktual di lapangan (Mahanani et al., 2026; Maulana & Kuncoro, 2025). Perhitungan nilai ini dilakukan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$PF = \frac{\text{Jumlah Bahan Peledak}}{\text{Volum Insitu Blasting (m}^3\text{)}} \quad (6)$$

$$\text{Volume Blasting} = \text{Jumlah lubang ledak} \times B \times S \times L \quad (7)$$

Sebagai contoh perhitungan, data yang digunakan diambil dari bahan peledak yang digunakan pada tanggal 02 Juli 2025, sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Jumlah bahan peledak} &= \text{ANFO} + \text{Dynamite} \\ &= 268 \text{ kg} + 20 \text{ kg} = 288 \text{ kg} \\ \text{Total Volume Insitu} &= 246,4 \text{ m}^3 \\ \text{Powder Factor} &= 288/246,4 \\ &= 1,17 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

Hal ini menghasilkan variasi nilai *powder factor* pada setiap pengamatan, seperti ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Jumlah Bahan Peledakan Aktual

No	Tanggal	ANFO (kg)	Dynamite (kg)	Volume In-situ (m ³)	Powder Factor
1	2 Juli 2025	268 kg	20	246,4	1,17
2	4 Juli 2025	214 kg	15	195	1,17
3	7 Juli 2025	375 kg	28	287	1,40
4	9 Juli 2025	214 kg	14	191	1,19
5	16 Juli 2025	375 kg	18	234	1,67
6	17 Juli 2025	214 kg	13	182,5	1,24
7	22 Juli 2025	321 kg	21	138	2,27

d. Analisis Fragmentasi Hasil Peledakan Menggunakan Metode Kuz-Ram

Analisis fragmentasi dilakukan dengan menggunakan metode Kuz-Ram, yang berfungsi untuk menghitung distribusi teoritis ukuran fragmen batuan berdasarkan berbagai parameter masukan. Berdasarkan data yang diperoleh, ukuran fragmentasi teoritis berkisar antara 6,76 cm hingga 12,79 cm, dengan rata-rata sebesar 9,35 cm. Persentase fragmen batuan berukuran lebih dari 60 cm mencapai 17,75%, yang masih berada dalam batas standar fragmentasi yang dapat diterima untuk kegiatan penambangan.

Tabel 4. Distribusi Fragmentasi Menurut Teori Kuz-Ram

No	Tanggal	Rata-rata fragmentasi (cm)	Indeks keseragaman Batuan	Ukuran Karakteristik Batuan (cm)	Persentase ukuran ≥ 60 cm
1	2 Juli 2025	11,47	1,32	15,29	22,7%
2	4 Juli 2025	7,36	1,07	10,51	17,50%
3	7 Juli 2025	7,62	1,18	10,43	21,41%
4	9 Juli 2025	9,44 cm	1,14	13,1	16,44%
5	16 Juli 2025	6,76 cm	1,20	9,26	19,50%
6	17 Juli 2025	12,79 cm	1,10	18,01	10,20%
7	22 Juli 2025	10,01 cm	1,14	13,90	16,53%

e. Analisis Fragmentasi Hasil Peledakan Menggunakan Fotografi

Pada analisis ini digunakan perangkat lunak WipFrag yang menunjukkan pola yang serupa dalam distribusi ukuran fragmentasi, dengan persentase fragmen batuan berukuran lebih dari 60 cm mencapai 25,55%, yang melebihi target ukuran fragmentasi yang ditetapkan perusahaan. Dalam metode ini, helm keselamatan dengan diameter 23 cm digunakan sebagai skala acuan untuk membandingkan ukuran material hasil peledakan di lapangan.



Gambar 2. Helm safety sebagai skala acuan perbandingan ukuran material hasil peledakan

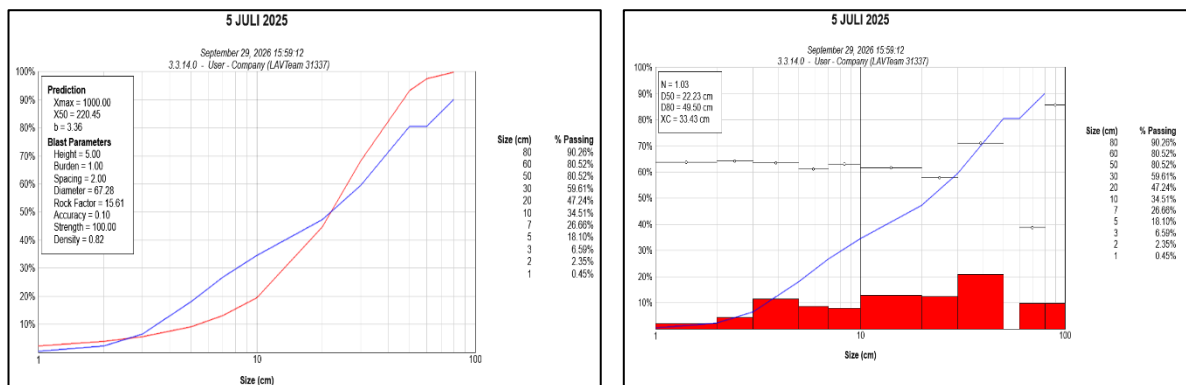
Proses analisis citra dilakukan dengan mengunggah foto hasil peledakan ke dalam perangkat lunak WipFrag, kemudian dilakukan kalibrasi skala menggunakan diameter helm safety (23 cm) sebagai referensi panjang. Setelah kalibrasi, perangkat lunak secara otomatis mendelineasi batas-batas fragmen batuan berdasarkan kontras warna dan tekstur permukaan (*edge detection*). Hasil delineasi berupa *mesh overlay* yang memvisualisasikan setiap fragmen beserta klasifikasi ukurannya, seperti ditunjukkan pada Gambar 3. Visualisasi ini memungkinkan identifikasi fragmen berukuran besar (*boulder* ≥ 60 cm) secara kuantitatif dan menjadi dasar perhitungan distribusi ukuran fragmen pada setiap kegiatan peledakan.



Gambar 3. Hasil delineasi fragmentasi batuan peledakan tanggal 05 Juli 2025

Tabel 5. Distribusi Fragmentasi Menggunakan Fotografi

No	Tanggal	Burden (m)	Spacing (m)	Kedalaman lubang bor(m)	Panjang Isian (PC) (m)	Stemming (m)	Berat bahan peledak/ lubang (kg)	Distribusi Fragmentasi Boulder ≥ 60 cm	Powder Factor/ lubang (kg/bcm)
1	2 Juli 2025	1,8	2	5	3,5	1	10,30	19,28	1,17
2	4 Juli 2025	1,3	1,5	5	3,5	1	9,17	19,48	1,17
3	7 Juli 2025	1,2	2	5	3,5	1	11,50	18,04	1,40
4	9 Juli 2025	1,3	2	5	3,5	1	9,92	62,33	1,19
5	16 Juli 2025	1,0	2	5	3,5	1	10,91	19,51	1,67
6	17 Juli 2025	1,8	2	5	3,5	1	8,52	12,44	1,24
7	22 Juli 2025	1,6	2	5	3,5	1	10,70	27,77	2,27



Gambar 4. *Output* analisis WipFrag hasil peledakan tanggal 05 Juli 2025

(a) Kurva kumulatif Rosin-Rammler yang menggambarkan persentase *passing* terhadap ukuran fragmen, dan (b) histogram distribusi ukuran fragmen yang menunjukkan sebaran persentase fragmen pada setiap kelas ukuran.

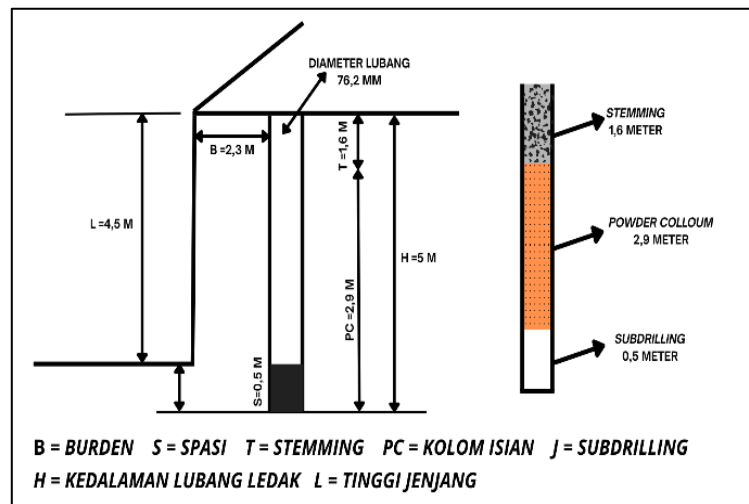
f. Rekomendasi Geometri Peledakan

Berdasarkan hasil analisis menggunakan metode Kuz-Ram dan analisis fotografi, disusun rekomendasi geometri peledakan yang lebih optimal. Nilai-nilai yang diusulkan untuk *burden*, *spacing*, *stemming*, dan kedalaman lubang ledak dirancang untuk menurunkan persentase fragmen berukuran besar serta menghasilkan ukuran fragmentasi yang lebih seragam. Rincian rekomendasi tersebut disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6. Geometri Peledakan Usulan Menurut R.L. Ash

No	Parameter	Nilai
1	Diameter lubang	3 inch
2	<i>Burden</i>	2,3 m
3	<i>Spacing</i>	2,6 m
4	<i>Stemming</i>	1,6 m
5	Tinggi jenjang	5 m
6	<i>Subdrilling</i>	0,5 m
7	Kedalaman lubang	5 m
8	Panjang Kolom Isian	2,9 m
9	Banyak lubang ledak	30
10	Jumlah AN	277,30 kg
11	Jumlah FO	14,60 kg
12	<i>Dynamite</i>	30 kg
13	Jumlah Bahan Peledak	321,9 kg
14	Rata-Rata Fragmentasi Batuan	13,13 cm
15	Indeks Keseragaman Batuan	0,94
16	Distribusi hasil peledakan ≤ 60 cm	92,68%
17	Distribusi hasil peledakan ≥ 60 cm	7,32%

Untuk memperjelas rancangan geometri peledakan yang diusulkan, skema visual penyusunan lubang ledak disajikan pada Gambar 5.



Gambar 5. Skema geometri peledakan usulan berdasarkan metode R.L. Ash

Tabel 7. Rata- rata persentase fragmentasi

No	Parameter	Nilai
1	Kuz-Ram	17,75%
2	Fotografi	25,55%
3	Geometri Usulan	7,32%

Tabel 7 membandingkan persentase rata-rata fragmentasi batuan berdasarkan tiga metode analisis berikut:

1. Kuz-Ram: Memperkirakan bahwa 17,75% material berukuran lebih dari 60 cm berdasarkan perhitungan teoritis.
2. Fotografi (WipFrag): Menunjukkan bahwa 25,55% material memiliki ukuran lebih dari 60 cm, yang mengindikasikan bahwa fragmentasi aktual di lapangan menghasilkan lebih banyak fragmen berukuran besar.

3. Geometri Usulan (R.L. Ash): Memberikan hasil sebesar 7,32%, yang merupakan nilai terendah dan menunjukkan fragmentasi yang lebih baik serta distribusi ukuran yang lebih seragam.

Hasil pada Tabel 7 ini menunjukkan bahwa metode geometri usulan menghasilkan fragmentasi paling efisien dibandingkan dengan metode Kuz-Ram dan analisis fotografi pada Tabel 6.

4. Simpulan

Analisis hasil fragmentasi dari kegiatan peledakan di PT. Selo Agung Setiaji memberikan gambaran mengenai efektivitas rancangan peledakan yang diterapkan. Evaluasi dilakukan menggunakan dua metode, yaitu perhitungan teoritis Kuz-Ram dan analisis fotografi dengan WipFrag. Metode Kuz-Ram memprediksi ukuran fragmentasi rata-rata sebesar 9,35 cm dengan 17,75% material tergolong *boulder* (≥ 60 cm), sedangkan analisis fotografi menunjukkan persentase *boulder* lebih tinggi, yaitu 25,55%. Perbedaan ini mengindikasikan perlunya mempertimbangkan faktor eksternal seperti kondisi hidrologi, bidang bebas, dan karakter struktur geologi yang belum sepenuhnya diperhitungkan dalam model Kuz-Ram. Hasil analisis menunjukkan bahwa geometri peledakan saat ini belum sepenuhnya memenuhi kebutuhan operasional, terutama dalam mengurangi pembentukan *boulder*. Oleh karena itu, disarankan penyesuaian geometri peledakan berdasarkan metode R.L. Ash dengan perubahan pada *burden*, *spacing*, *stemming*, dan jumlah bahan peledak. Rekomendasi ini diperkirakan dapat menurunkan persentase *boulder* menjadi 7,32% dan menghasilkan fragmentasi yang lebih seragam dengan indeks 0,94. Meskipun demikian, perlu ditegaskan bahwa rekomendasi parameter geometri peledakan berdasarkan pendekatan R.L. Ash ini masih bersifat teoritis. Guna memastikan efektivitas dan korelasi antara model matematis dan respons fragmentasi aktual, diperlukan pelaksanaan uji ledak (*trial blast*) sebagai tahap validasi sebelum desain ini diimplementasikan secara penuh dalam operasional tambang. Penerapan desain yang direkomendasikan, setelah melalui tahap validasi lapangan, diharapkan dapat meningkatkan efisiensi peledakan dan mengurangi kemunculan *boulder*. Ke depan, rancangan peledakan perlu memperhitungkan faktor lingkungan seperti genangan air serta memanfaatkan teknologi analisis digital seperti WipFrag untuk pemantauan fragmentasi secara real-time guna mendukung peningkatan berkelanjutan dan efisiensi biaya operasional tambang.

Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Palangka Raya, serta kepada PT. Selo Agung Setiaji yang telah memberikan izin, dukungan, dan fasilitas selama pelaksanaan penelitian ini. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada seluruh pihak yang telah membantu, baik secara langsung maupun tidak langsung, sehingga penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik.

Referensi

- Dhiyauddin, S. M. (2022). *Teknik pengamatan dan analisis fragmentasi hasil peledakan batuan andesit pada tambang PT Gunung Mas Jaya Indah*. Skripsi, Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah Jakarta.
- Gultom, R. B., Trides, T., Pontus, A. J., Oktaviani, R., & Harjuni. (2023). Fragmentasi peledakan batuan dengan metode *image analysis* dan perhitungan teoritis pada Pit Tempudo 6 PT Indexim Coalindo, Kabupaten Kutai Timur, Provinsi Kalimantan Timur. In *Prosiding ReTII XVIII* (pp. 902–909).
- Lutfi Fitri, S. (2021). *Evaluasi kegiatan peledakan untuk mencapai target fragmentasi batuan ≤ 50 cm (Studi kasus: PT Lotus SG Lestari)*. Skripsi. Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah Jakarta.
- Mahanani, V. N., Ilmawan, H., Panuntun, H., & Taftazani, M. I. (2026). Evaluasi akurasi perhitungan volume estimasi dan aktual peledakan quarry menggunakan GNSS RTK dan fotogrametri UAV. *Jurnal Teknik Pertambangan (JTP)*, 26(2), 82–90. <https://doi.org/10.36873/jtp.v26i2.26776>
- Marina, Salu, S. P., & Dzakhir, L. O. (2024). Analisis geometri peledakan terhadap fragmentasi hasil peledakan pada PT. Diamond Alfa Propertindo Kecamatan Mawasangka Tengah Kabupaten Buton Tengah Provinsi Sulawesi Tenggara. *Mining Science and Technology Journal*, 3, 1–10.
- Maulana, M. H. R., & Kuncoro, H. (2025). Evaluasi pendekatan hybrid dalam pengukuran volume *stockpile* batubara menggunakan UAV, GNSS RTK dan Total Station. *Jurnal Serambi Engineering*, 10, 15653–15659.
- Milus, A., Santoso, E., & Fikri, H. N. (2021). Kajian pengaruh faktor batuan terhadap fragmentasi batuan *overburden* hasil peledakan berdasarkan model Kuz-Ram. *Jurnal Himasapta*, 6(2), 79–84.

- Murad, Setiawati, S., & Mukhtar, W. (2023). Rancangan geometri peledakan yang efisien untuk mendapatkan distribusi ukuran fragmentasi batu gamping. *Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara*, 19(2), 95–110. <https://doi.org/10.30556/jtmb.Vol19.No2.2023.1386>
- Nilasari, G. A., Wijaya, L., & Prabowo, H. (2019). Evaluasi geometri berdasarkan fragmentasi hasil peledakan pada penambangan batugamping di PT Semen Tonasa. *Jurnal Himasapta*, 2(2), 65–72.
- Putra, A. H., & Syahputra, F. (2022). Optimasi parameter peledakan untuk peningkatan efisiensi fragmentasi batuan di tambang batu andesit. *Jurnal Rekayasa Pertambangan*, 8(1), 45–52.
- Raharjo, D. S., & Nasution, I. A. (2021). Kajian efektivitas geometri peledakan berdasarkan fragmentasi dan *powder factor* di PT XYZ. *Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara (TekMIRA)*, 17(1), 13–22.
- Simamora, T. M., Ginting, A. F., & Adinata, D. (2019). Evaluasi geometri peledakan pada pembongkaran *overburden* berdasarkan fragmentasi di Pit Warute PT Bukit Intan Indoperkasa. *Jurnal Himasapta*, 3(2), 78–85.
- Syafardan, D. (2023). *Analisis geometri peledakan terhadap fragmentasi hasil material blasting pada PT Gunung Bumi Perkasa di Sukabumi, Jawa Barat*. Skripsi. Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah Jakarta.