

## **ANALISIS PENGARUH MATERIAL *STEMMING* TERHADAP TINGKAT FRAGMENTASI PADA TAMBANG TERBUKA**

### ***ANALYSIS OF THE EFFECT OF STEMMING MATERIAL ON THE FRAGMENTATION LEVEL IN OPEN-PIT MINING***

R. Pebriansyah<sup>1</sup>, S. Saptono<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Teknik Pertambangan, Fakultas Teknologi Mineral dan Energi, UPN “Veteran” Yogyakarta

<sup>1,2</sup> Jl. SWK 104 (Lingkar Utara), Yogyakarta 55283 Indonesia

e-mail: \*[randafebrian00@gmail.com](mailto:randafebrian00@gmail.com)

#### **ABSTRAK**

Peledakan berperan penting dalam proses pembongkaran massa batuan pada kegiatan penambangan terbuka. Efektivitas peledakan sangat dipengaruhi oleh berbagai parameter teknis, salah satunya adalah pemilihan material *stemming* yang digunakan untuk menutup bagian atas lubang ledak. *Stemming* berfungsi menahan gas dan energi ledakan agar tersalurkan secara optimal ke dalam massa batuan untuk menghasilkan fragmentasi yang baik. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan membandingkan pengaruh dua jenis material *stemming*, yaitu batu laterit dan *drill cutting*, terhadap tingkat fragmentasi hasil peledakan pada tambang terbuka. Pengujian lapangan dilakukan dengan parameter peledakan yang seragam (jenis bahan peledak, geometri lubang ledak, dan pola peledakan), di mana lubang ledak dibagi menjadi dua kelompok berdasarkan material *stemming* yang digunakan. Hasil peledakan dianalisis menggunakan metode Kuz-Ram dan *Digital Image Analysis* untuk menentukan distribusi ukuran batuan, serta dilakukan analisis statistik untuk melihat perbedaan signifikan antar jenis *stemming*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan batu laterit menghasilkan fragmentasi yang lebih halus dan seragam, ditunjukkan oleh nilai P80 yang lebih rendah, yaitu ukuran partikel di mana 80% volume material hasil peledakan berukuran lebih kecil dari nilai tersebut, serta persentase fragmen <30 cm yang lebih tinggi dibandingkan dengan penggunaan *drill cutting*. Batu laterit yang memiliki kepadatan dan kohesi lebih baik mampu menahan tekanan gas secara efektif. Dengan demikian, pemilihan material *stemming* yang tepat seperti batu laterit dapat meningkatkan kualitas fragmentasi dan efisiensi kegiatan penambangan.

**Kata kunci:** peledakan, material *stemming*, batu laterit, *drill cutting*, fragmentasi

#### **ABSTRACT**

Blasting plays an important role in the rock mass breakage process in open-pit mining operations. The effectiveness of blasting is highly influenced by various technical parameters, one of which is the selection of stemming material used to seal the upper part of the blast hole. Stemming functions to confine the explosive gases and energy so that they are optimally transmitted into the rock mass, resulting in good fragmentation. This study aims to analyze and compare the effects of two types of stemming materials, namely laterite rock and drill cutting, on the fragmentation level of blasting results in open-pit mining. Field tests were conducted using uniform blasting parameters (explosive type, blast hole geometry, and blasting pattern), where the blast holes were divided into two groups based on the stemming material used. The blasting results were analyzed using the Kuz-Ram model and Digital Image Analysis to determine the rock size distribution, and statistical analysis was performed to assess the significant differences between stemming types. The results showed that the use of laterite rock produced finer and more uniform fragmentation, indicated by a lower P80 value defined as the particle size at which 80% of the blasted material is smaller and a higher percentage of fragments <30 cm compared to drill cutting. Laterite rock, which has better density and cohesion, was found to effectively confine the explosive gases. Therefore, selecting appropriate stemming materials such as laterite rock can improve fragmentation quality and enhance mining efficiency.

**Keywords:** blasting, stemming material, laterite rock, drill cutting, fragmentation

## PENDAHULUAN

Fragmentasi hasil peledakan merupakan salah satu faktor utama yang menentukan efisiensi dan keberhasilan kegiatan penambangan terbuka. Proses fragmentasi yang baik akan menghasilkan ukuran butir batuan yang sesuai dengan kapasitas alat gali-muat dan alat angkut, sehingga proses selanjutnya seperti pemuatan, pengangkutan, dan peremuk (*crushing*) dapat berjalan secara efektif dan efisien. Fragmentasi yang optimal mampu meningkatkan produktivitas alat berat, mempercepat waktu siklus kerja, serta menurunkan konsumsi bahan bakar dan biaya operasional. Sebaliknya, fragmentasi yang buruk dengan dominasi bongkah (*boulder*) akan menyebabkan hambatan dalam kegiatan produksi, menurunkan efisiensi alat, serta memerlukan peledakan sekunder (*secondary blasting*) yang dapat meningkatkan biaya dan waktu operasi. Dalam penelitian ini, yang dimaksud dengan bongkah adalah fragmen batuan berukuran lebih dari 70 cm, sesuai dengan spesifikasi alat gali-muat Liebherr R 9150, di mana ukuran tersebut merupakan 1/3 dari lebar *bucket* sebesar 2,1 meter. Salah satu indikator keberhasilan peledakan yang sering dijadikan acuan adalah tercapainya distribusi ukuran fragmen batuan yang seragam, dengan proporsi bongkah tidak lebih dari 15% dari total massa batuan hasil peledakan [1].

Berbagai faktor dapat memengaruhi kualitas hasil peledakan, seperti karakteristik batuan, pola pemboran, jumlah bahan peledak, geometri peledakan, hingga jenis dan kualitas *stemming* yang digunakan. *Stemming* merupakan material pengisi pada bagian atas lubang ledak yang berfungsi menahan tekanan gas hasil detonasi agar energi peledakan dapat tersalurkan secara maksimal ke massa batuan di sekitarnya [2]. Jika material *stemming* tidak memiliki daya tahan yang baik, maka sebagian besar energi peledakan akan terbuang ke udara dalam bentuk *blowout* atau *back break*, sehingga efektivitas peledakan menurun dan fragmentasi menjadi tidak optimal. Material *stemming* yang baik harus mampu meningkatkan tekanan penahan (*confining pressure*), menstabilkan distribusi tekanan di dalam lubang ledak, serta mencegah keluarnya gas secara berlebihan [3]. Ukuran butiran material *stemming* yang ideal berkisar sekitar 0,05 kali diameter lubang ledak, dengan bentuk bersudut lebih efektif dibandingkan yang membulat karena mampu saling mengunci dan meningkatkan daya tahan terhadap tekanan gas [4].

Dalam praktiknya, terdapat berbagai jenis material yang digunakan sebagai *stemming*, di antaranya pasir, kerikil, batu pecah, batu laterit, dan hasil pengeboran (*drill cutting*). Batu laterit sering dianggap sebagai material *stemming* yang baik karena sifatnya yang keras, padat, dan mampu menahan tekanan gas dengan baik, sehingga energi peledakan dapat tersalurkan secara efektif ke dalam massa batuan [5]. Sementara itu, *drill cutting* sering dipilih karena mudah didapat di lapangan sebagai hasil dari proses pengeboran, sehingga penggunaannya

dianggap lebih praktis dan ekonomis. Namun, efektivitas *drill cutting* sebagai material *stemming* masih menjadi perdebatan karena ukuran partikelnya yang sangat halus dapat menyebabkan terjadinya *gas leakage* atau keluarnya gas berlebih, sehingga tekanan di dalam lubang ledak tidak terjaga secara optimal [6]. Oleh sebab itu, penting dilakukan kajian untuk membandingkan kinerja kedua jenis material tersebut dalam menghasilkan fragmentasi batuan yang paling efektif.

Beberapa penelitian sebelumnya telah membahas pengaruh jenis dan kondisi *stemming* terhadap hasil peledakan. Xu, et al. (2023) meneliti pengaruh panjang dan jenis material *stemming* dalam uji model skala kecil dan menunjukkan bahwa material seperti lempung (*clay*) menghasilkan fragmentasi yang lebih baik serta pemanfaatan energi peledakan yang lebih tinggi dibandingkan material lainnya [7]. Chen, et al. (2023) melalui pemodelan numerik menemukan bahwa pasir atau *drill cutting* kurang efektif karena memungkinkan pelepasan gas lebih awal yang menurunkan tekanan dalam lubang ledak [8]. Hakim, et al. (2016) membandingkan batu pecah dan *drill cutting* sebagai material *stemming* di tambang terbuka dan menemukan bahwa *drill cutting* menghasilkan proporsi bongkah yang lebih tinggi (~26,6%) dibandingkan batu pecah (~10,09%), menandakan penurunan efisiensi peledakan [9]. Studi lapangan oleh Bina Tambang (2021) di PT Koto Alam Sejahtera menunjukkan bahwa penggunaan batu pecah dengan kedalaman *stemming* yang sesuai dapat menurunkan persentase bongkah  $\geq 50$  cm menjadi sekitar 3,1% dibandingkan *drill cutting* (32,1%), meskipun dengan sedikit peningkatan biaya [10].

Selain itu, penelitian oleh Rahmawati dan Yulian (2020) menunjukkan bahwa penggunaan material *stemming* berukuran seragam dapat meningkatkan konfinemen energi ledakan hingga 18% dibandingkan material dengan distribusi ukuran acak [11]. Hasil serupa juga disampaikan oleh Patel dan Yadav (2022), yang menyimpulkan bahwa peningkatan efisiensi peledakan tidak hanya dipengaruhi oleh jenis material *stemming*, tetapi juga oleh tingkat kepadatan dan distribusi butirannya [12]. Sementara itu, Rădeanu, et al. (2024) menegaskan bahwa kondisi *stemming* yang tidak optimal mengakibatkan pembuangan energi ke atmosfer, sehingga menurunkan kualitas fragmentasi batuan hasil peledakan [13].

Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis pengaruh penggunaan batu laterit dan *drill cutting* sebagai material *stemming* terhadap tingkat fragmentasi hasil peledakan pada tambang terbuka. Fokus utama penelitian adalah menentukan material *stemming* yang paling efektif dalam meningkatkan kualitas fragmentasi dan efisiensi operasional peledakan. Penelitian ini dibatasi pada kegiatan peledakan di area tambang terbuka dengan geometri lubang bor tertentu, di mana hasil fragmentasi diukur menggunakan dua pendekatan, yaitu metode

manual di lapangan dan metode digital melalui perangkat lunak *Split Desktop* untuk memperoleh hasil yang lebih akurat dan objektif. Hipotesis awal yang diajukan adalah bahwa penggunaan material *stemming* batu laterit dan *drill cutting* memberikan pengaruh yang berbeda terhadap tingkat fragmentasi batuan hasil peledakan.

## METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan melalui observasi di lapangan serta pengumpulan data secara langsung dan tidak langsung, kemudian dilanjutkan dengan pengolahan data dan analisis terhadap informasi yang telah diperoleh. Prosedur penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

### 1. Studi Literatur

Proses studi literatur diawali dengan identifikasi kata kunci yang sesuai, seperti *stemming material*, fragmentasi peledakan, *lateritic rock*, *drill cutting*, dan *open pit blasting*. Kata kunci tersebut kemudian digunakan untuk menelusuri sumber-sumber pustaka berupa jurnal ilmiah, prosiding, buku teks, standar teknis, serta laporan penelitian yang dapat diakses melalui basis data akademik maupun perpustakaan. Analisis literatur dilakukan dengan cara membandingkan temuan dari berbagai sumber untuk menemukan kesamaan, perbedaan, serta celah penelitian (*research gap*). Informasi yang diperoleh kemudian disintesis menjadi kerangka teoritis yang mendasari penelitian lapangan. Dengan demikian, metode studi literatur tidak hanya memberikan pemahaman konseptual, tetapi juga memperkuat validitas penelitian karena setiap temuan dihubungkan dengan referensi ilmiah yang dapat dipertanggungjawabkan.

### 2. Persiapan Instrumentasi

Instrumen yang dipersiapkan mencakup perangkat dan peralatan yang mendukung proses pengukuran fragmentasi batuan. Instrumen yang dibutuhkan dalam melaksanakan penelitian ini di antaranya:

- 1) Bola plastik berdiameter 25,7 cm yang digunakan sebagai objek pembanding dalam pengukuran ukuran fragmen batuan hasil peledakan (Gambar 1). Penggunaan objek ini memungkinkan kalibrasi ukuran fragmen batuan secara proporsional pada proses analisis citra digital, sehingga distribusi ukuran fragmen yang dihasilkan dapat mencerminkan kondisi aktual di lapangan secara lebih akurat. Selain itu, penggunaan objek pembanding juga bertujuan untuk mengurangi potensi bias pengukuran yang dapat terjadi apabila interpretasi ukuran fragmen hanya dilakukan berdasarkan tampilan visual tanpa acuan nyata. Tanpa adanya skala referensi, hasil pengolahan citra berisiko menghasilkan deviasi ukuran yang signifikan akibat perbedaan jarak pengambilan gambar atau sudut pandang kamera. Oleh karena itu, penggunaan bola plastik berdiameter konstan ini menjadi langkah penting dalam memastikan

validitas dan reproduibilitas hasil analisis fragmentasi di lapangan.



**Gambar 1.** Bola Plastik Berdiameter 25,7 cm

- 2) Kamera yang berfungsi untuk mendokumentasikan kondisi hasil peledakan, khususnya ukuran dan sebaran fragmentasi batuan. Kamera yang digunakan umumnya adalah kamera digital dengan resolusi tinggi agar detail setiap fragmen dapat terlihat jelas. Hasil foto kemudian diproses menggunakan perangkat lunak analisis fragmentasi (*Split-Desktop*) yang mengidentifikasi dimensi fragmen berdasarkan kontras dan batasan antar partikel. Akurasi foto sangat dipengaruhi oleh sudut pengambilan gambar, pencahayaan, serta keberadaan bola pembanding. Oleh karena itu, pengambilan foto dilakukan dengan prosedur standar, yakni dari jarak tertentu, sudut tegak lurus, dan pada kondisi pencahayaan optimal.
- 3) *Software image analysis* seperti *Split-Desktop* yang digunakan untuk memproses foto hasil peledakan. *Software* ini bekerja dengan mengidentifikasi batas fragmen batuan berdasarkan kontras warna dan garis retakan, kemudian mengukur distribusi ukuran fragmen dalam bentuk kurva distribusi (*size distribution curve*). Selain itu, perangkat lunak juga menghitung parameter statistik penting, seperti ukuran rata-rata (*mean size*), persentase *boulder*, dan indeks keseragaman fragmentasi. Dengan bantuan *software*, hasil analisis menjadi lebih objektif, cepat, dan dapat dibandingkan antar perlakuan *stemming*.
- 4) Laptop yang berfungsi sebagai media untuk menjalankan *software* analisis citra dan mengolah data penelitian. Spesifikasi laptop yang memadai diperlukan, terutama dari segi prosesor, kapasitas RAM, dan penyimpanan, agar dapat memproses foto beresolusi tinggi tanpa hambatan. Selain itu, laptop digunakan untuk menyimpan data hasil

analisis, menyusun laporan, serta mendukung proses interpretasi data secara keseluruhan.

### 3. Pengumpulan Data Penelitian

Data penelitian yang diambil dan dikumpulkan dapat bersumber dari data primer maupun data sekunder disesuaikan ketersediaan data di lapangan. Data-data primer penelitian yang dimaksud antara lain: geometri peledakan, jenis material *stemming*, serta fragmentasi hasil peledakan. Sedangkan data-data sekunder meliputi data terkait bersumber dari laporan-laporan peneliti terdahulu yang dilakukan perusahaan maupun instansi terkait serta literatur-literatur.

### 4. Pengolahan dan Analisis Data

Data penelitian yang diperoleh perlu diolah dan dianalisis untuk mengetahui kondisi riil pengaruh material *stemming* batu laterit dan *drill cutting* terhadap tingkat fragmentasi hasil peledakan yang telah dilaksanakan perusahaan. Analisis fragmentasi dilakukan dengan menggunakan dua pendekatan, yaitu metode Kuz-Ram dan metode *Image Analysis*.

- 1) Metode Kuz-Ram merupakan metode empiris yang banyak digunakan untuk memperkirakan distribusi ukuran fragmentasi hasil peledakan. Secara prinsip, metode ini menghubungkan parameter geometri peledakan, sifat fisik-mekanik batuan, serta energi peledakan dengan ukuran fragmentasi yang dihasilkan. Ukuran fragmen rata-rata ditentukan dengan persamaan:

$$X = A \times \left(\frac{V_o}{Q}\right)^{0.8} \times Q^{\frac{1}{6}} \times \left(\frac{115}{E}\right)^{\frac{19}{30}} \quad (1)$$

Ukuran fragmen rata-rata ( $X$ , cm) adalah rata-rata ukuran batu setelah peledakan. Faktor batuan ( $A$ ) dihitung dari *Blastability Index* dan menggambarkan sifat mudah/ sulit diledakkan. Volume batuan pecah per lubang ( $V_o$ ) dihitung dengan  $V_o = B \times S \times H$  ( $B$  = *burden*,  $S$  = *spacing*,  $H$  = kedalaman/tinggi *bench*). Jumlah bahan peledak per lubang ( $Q$ ) dinyatakan dalam kilogram (kg).  $E$  adalah kekuatan relatif bahan peledak (RWS), misalnya ANFO = 100 dan TNT = 115.

- 2) Metode *Image Analysis*

Selain menggunakan metode Kuz-Ram, analisis fragmentasi juga dilakukan dengan metode *Image Analysis* melalui perangkat lunak *Split Desktop*. Metode ini memungkinkan identifikasi distribusi ukuran fragmen secara lebih detail dan akurat berdasarkan foto hasil peledakan di lapangan. Dengan pendekatan ini dapat diketahui perbedaan kualitas fragmentasi antara material *stemming* batu laterit dan *drill cutting*, baik dari segi nilai P80, ukuran maksimum (*top size*), maupun jumlah *boulder* yang terbentuk.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Karakteristik Material yang Diledakkan

Material yang menjadi objek peledakan pada penelitian ini adalah *hard sandstone* atau batupasir keras. *Hard sandstone* terbentuk dari proses litifikasi butiran pasir kuarsa dan mineral lain yang mengalami sementasi kuat oleh silika, kalsit, atau oksida besi. Proses tersebut menjadikan batupasir ini memiliki tekstur kompak, densitas relatif tinggi, serta kekuatan tekan yang besar. Secara fisik, *hard sandstone* memiliki warna dominan abu-abu kecokelatan hingga kemerahan, dengan butiran halus hingga sedang yang terikat rapat oleh semen silika. Densitas batuan ini berkisar antara 2,3 gr/cc dengan porositas rendah, sehingga energi ledakan cenderung sulit menembus dan memecah massa batuan tanpa rancangan peledakan yang tepat.

Dari aspek mekanik, *hard sandstone* dikategorikan sebagai batuan keras dengan nilai *uniaxial compressive strength* (UCS) umumnya di atas 100 MPa. Kekerasan ini menyebabkan batupasir keras memerlukan energi spesifik peledakan yang lebih besar dibandingkan batupasir lunak atau batuan yang telah lapuk. Selain itu, sifat elastisitas dan kerapatan kekar yang rendah membuat *hard sandstone* bersifat lebih masif, sehingga fragmentasi sangat dipengaruhi oleh kualitas desain peledakan, termasuk pemilihan material *stemming*. Karakteristik ini juga memengaruhi respon batuan terhadap energi peledakan. Pada batuan keras seperti *hard sandstone*, bila *stemming* tidak optimal maka energi gas akan mudah hilang ke permukaan, menghasilkan fragmentasi tidak merata dengan persentase bongkah lebih tinggi. Sebaliknya, dengan *stemming* yang efektif, energi dapat terkonsentrasi sehingga menghasilkan fragmentasi yang lebih terkendali.

### Faktor Batuan (*Rock Factor*)

Dalam model Kuz-Ram, faktor batuan (*rock factor/A*) adalah salah satu variabel kunci yang mewakili sifat fisik dan geologi massa batuan. Faktor ini menunjukkan tingkat kemudahan atau kesulitan batuan untuk diremukkan oleh energi peledakan. *Rock factor* dapat ditentukan dengan beberapa parameter di antaranya *Rock Mass Description* (RMD), *Joint Plane Spacing* (JPS), *Joint Plane Orientation* (JPO), *Specific Gravity Influence* (SGI) dan *Hardness* (H). Adapun hasil pengamatan di lapangan terhadap kondisi batuan yang akan diledakkan disajikan pada Tabel 1.

Berdasarkan data-data pada tabel di bawah ini, diperoleh nilai dari *Blastability Index* (BI) sebesar 40 dan nilai dari *Rock Factor* (RF) sebesar 4,8.



**Tabel 1.** Faktor Batuan

| No. | Parameter | Keterangan                             | Pembobotan |
|-----|-----------|----------------------------------------|------------|
| 1   | RMD       | <i>Blocky</i>                          | 20         |
| 2   | JPS       | <i>Intermediate</i><br>(0,1-1,0 m)     | 20         |
| 3   | JPO       | <i>Strike normal</i><br><i>to face</i> | 30         |
| 4   | SGI       | 25 x SG - 50                           | 5          |
| 5   | H         | Sama keras<br>dengan gigi              | 5          |

## Geometri Peledakan

Geometri dan pola peledakan merupakan faktor utama yang menentukan efektivitas distribusi energi ledakan serta kualitas fragmentasi batuan. Oleh karena itu, pada penelitian ini dilakukan pengamatan terhadap parameter geometri peledakan seperti *burden*, spasi, kedalaman lubang, dan tinggi *stemming*, serta pola peledakan yang digunakan. Berikut merupakan hasil pengamatan di lapangan terhadap geometri peledakan (Tabel 2).

**Tabel 2.** Geometri Peledakan

| No. | Parameter            | Keterangan                            |
|-----|----------------------|---------------------------------------|
| 1   | Metode               | <i>Single deck</i>                    |
| 2   | Pola pemboran        | Selang-seling<br>( <i>staggered</i> ) |
| 3   | <i>Powder factor</i> | 0,22 Kg/BCM                           |
| 4   | <i>Burden</i>        | 7 m                                   |
| 5   | <i>Spacing</i>       | 8 m                                   |
| 6   | <i>Hole depth</i>    | 7,5 m                                 |
| 7   | <i>Subdrill</i>      | 0,5 m                                 |
| 8   | <i>Stemming</i>      | 3,8 m                                 |
| 9   | <i>Powder charge</i> | 3,7 m                                 |
| 10  | Diameter hole        | 200 mm                                |
| 11  | Berat booster        | 200 gr                                |

## Material *Stemming* yang Digunakan

Pemilihan material *stemming* menjadi salah satu faktor penting yang memengaruhi efektivitas peledakan dan kualitas fragmentasi batuan. *Stemming* berfungsi untuk menahan gas hasil peledakan agar tetap terkonsentrasi di dalam lubang ledak sehingga energi dapat digunakan secara maksimal dalam proses penghancuran massa batuan. Material *stemming* yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari batu laterit dan *drill cutting*, yang masing-masing memiliki karakteristik, kelebihan, dan kelemahan tersendiri dalam mengontrol konfinemen gas ledakan. Perbandingan visual kedua material tersebut ditunjukkan pada Gambar 2.

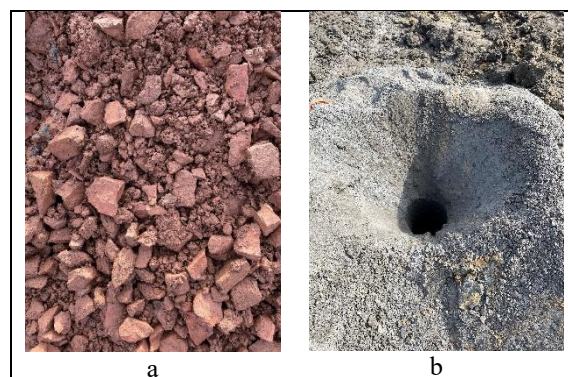
### 1. Batu Laterit

Batu laterit merupakan material hasil pelapukan intensif batuan induk kaya mineral besi dan aluminium yang banyak dijumpai di wilayah tropis.

Karakteristik utama batu laterit adalah butiran yang relatif kasar, keras, dan cenderung bersudut. Sifat butiran yang menyudut ini membuat batu laterit mampu mengisi rongga *stemming* dengan rapat, sehingga meningkatkan *confining pressure* terhadap gas peledakan. Dengan konfinemen yang baik, energi ledakan dapat tersalurkan lebih efektif ke massa batuan, menghasilkan fragmentasi yang lebih seragam serta mengurangi persentase bongkah. Ukuran rata-rata batu laterit yang digunakan dalam penelitian ini yaitu 5,6 cm dengan densitas sebesar 2,6 gr/cc. Material batu laterit tersebut diperoleh secara lokal dari area Izin Usaha Pertambangan (IUP) lokasi penelitian, sehingga selain mudah diakses dan ekonomis, penggunaannya juga mendukung prinsip efisiensi operasional dan pemanfaatan sumber daya lokal di area tambang.

### 2. *Drill Cutting*

*Drill cutting* adalah material hasil sampingan proses pemboran, berupa serpihan batuan dengan ukuran tidak seragam. Secara umum, *drill cutting* memiliki butiran halus hingga sedang, cenderung membulat, serta distribusi ukuran yang acak. Ketersediaannya di lapangan sangat melimpah dan tidak memerlukan biaya tambahan, sehingga secara ekonomis dianggap praktis untuk digunakan sebagai *stemming*. Namun, sifat *drill cutting* yang membulat dan tidak seragam menimbulkan kelemahan teknis, yaitu tidak mampu menutup celah antar butiran dengan rapat. Hal ini menyebabkan gas hasil ledakan mudah keluar melalui celah *stemming*, mengurangi efektivitas konfinemen, dan menghasilkan fragmentasi yang kurang optimal dengan persentase bongkah lebih tinggi.



**Gambar 2.** (a) Batu Laterit (b) *Drill Cutting*

## Fragmentasi Hasil Peledakan

Analisis fragmentasi dilakukan dengan menggunakan dua pendekatan, yaitu metode Kuz-Ram dan metode *Image Analysis*.

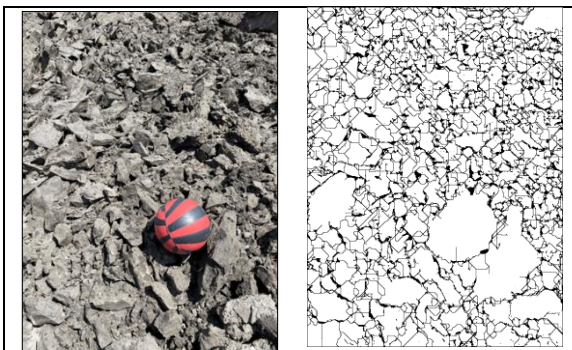
### 1. Metode Kuz-Ram

Berdasarkan hasil perhitungan menggunakan metode Kuz-Ram yang ditentukan dengan persamaan (1), diperoleh volume batuan pecah per lubang tembak

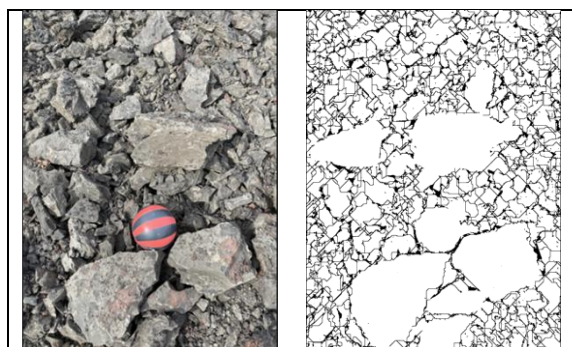
sebesar 420 m<sup>3</sup> dan jumlah bahan peledak per lubang sebesar 91,13 kg. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa ukuran fragmen rata-rata batuan setelah peledakan adalah 38,06 cm. Nilai tersebut menggambarkan bahwa hasil peledakan menghasilkan fragmentasi yang tergolong baik, karena ukuran fragmen berada dalam rentang yang sesuai untuk kegiatan pemuatan dan pengangkutan tanpa memerlukan peledakan sekunder. Selain itu, nilai fragmentasi ini juga menunjukkan bahwa energi peledakan telah tersalurkan secara efektif ke dalam massa batuan, sehingga penggunaan material *stemming* yang diterapkan mampu meningkatkan efisiensi peledakan.

## 2. Metode *Image Analysis*

Analisis ini menghasilkan citra digital yang menunjukkan distribusi ukuran fragmen batuan untuk masing-masing jenis material *stemming*, yaitu batu laterit dan *drill cutting*, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3 dan Gambar 4.



**Gambar 3.** Analisis Fragmentasi Menggunakan *Split Desktop* terhadap Material *Stemming* Batu Laterit

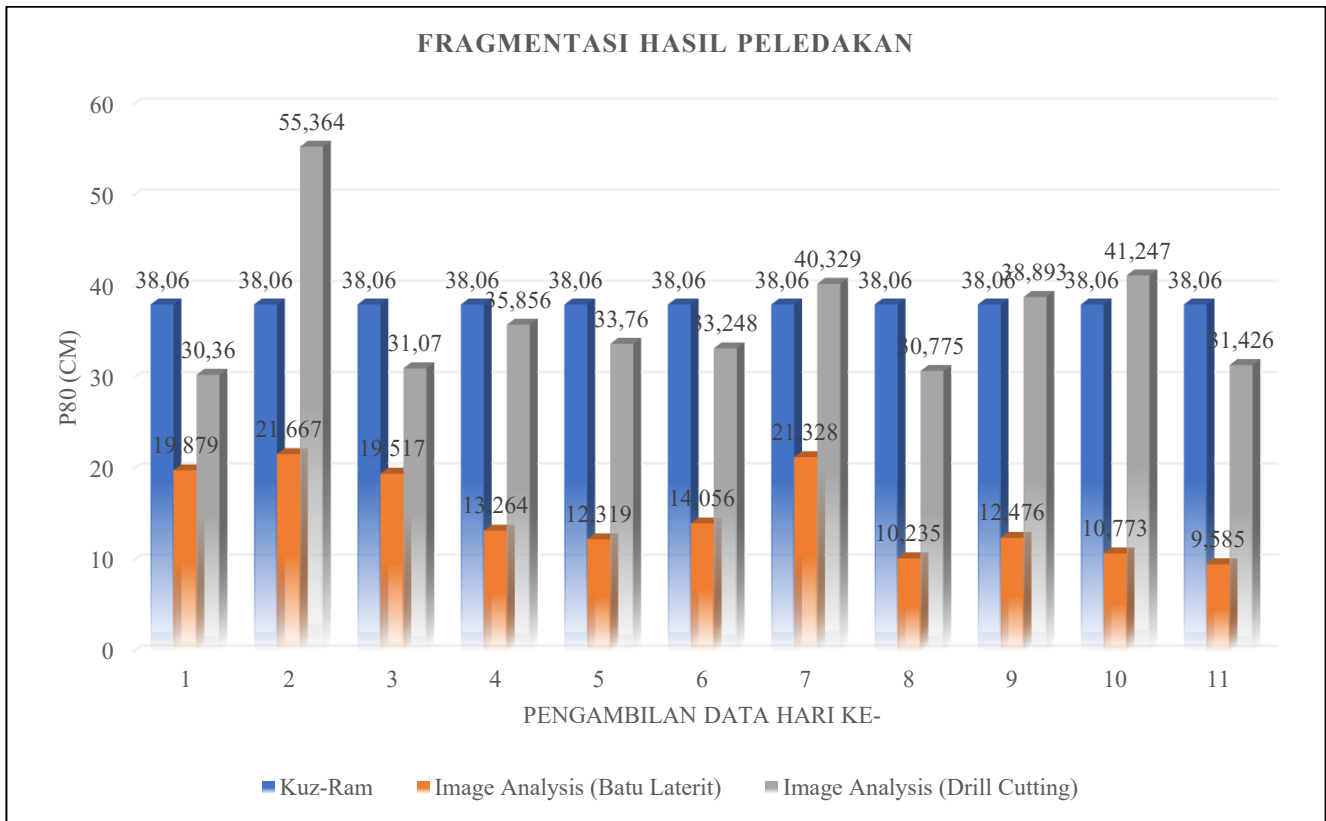


**Gambar 4.** Analisis Fragmentasi Menggunakan *Split Desktop* terhadap Material *Stemming Drill Cutting*

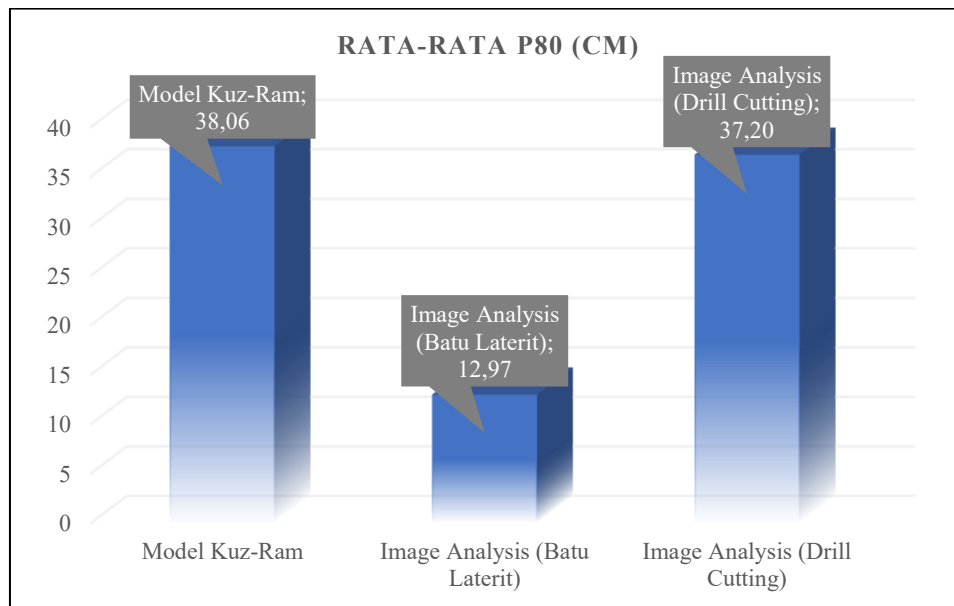
Hasil penelitian menunjukkan bahwa meskipun estimasi ukuran rata-rata fragmen berdasarkan metode Kuz-Ram memberikan hasil yang relatif serupa antara kedua material *stemming*, namun kondisi aktual di lapangan yang diukur melalui *Image Analysis (Split Desktop)* menunjukkan perbedaan yang signifikan. Pada penggunaan batu laterit, nilai P80 lebih rendah dan distribusi fragmen cenderung lebih halus serta seragam, dengan persentase *boulder* yang sangat kecil. Hal ini dapat dijelaskan karena batu laterit memiliki sifat fisik keras, bersudut, dan mampu mengisi rongga lubang ledak dengan rapat sehingga menahan gas peledakan secara lebih efektif. Energi bahan peledak dapat dimanfaatkan secara optimal untuk meremukkan batuan, bukan terbuang ke permukaan. Sebaliknya, penggunaan *drill cutting* menghasilkan fragmentasi yang lebih kasar dengan nilai P80 lebih besar dan jumlah *boulder* yang lebih banyak. *Drill cutting* yang berupa butiran halus dan cenderung membulat tidak mampu memberikan konfinemen gas yang baik. Akibatnya, sebagian energi peledakan terbuang ke udara dalam bentuk *airblast* atau *flyrock*, sehingga batuan yang dipecah relatif lebih sedikit. Perbedaan hasil fragmentasi antara penggunaan batu laterit dan *drill cutting* dapat dilihat lebih jelas pada grafik distribusi ukuran fragmen pada Gambar 5, yang menunjukkan kecenderungan ukuran butir hasil peledakan berdasarkan metode Kuz-Ram dan *Image Analysis*.

Untuk memperjelas perbedaan rata-rata ukuran fragmen yang dihasilkan dari kedua jenis material *stemming*, pada Gambar 6 ditampilkan perbandingan nilai rata-rata P80 antara hasil prediksi Kuz-Ram, hasil aktual dengan *stemming* batu laterit, serta hasil aktual dengan *stemming drill cutting*. Analisis berikutnya difokuskan pada *top size*, yaitu ukuran fragmen terbesar yang terbentuk pada hasil peledakan. Parameter ini penting untuk mengevaluasi kemungkinan terbentuknya *boulder* yang dapat mengganggu proses penggalian dan pemuatan. Gambar 7 menyajikan perbandingan nilai *top size* fragmentasi antara penggunaan material *stemming* batu laterit dan *drill cutting* pada setiap pengambilan data.

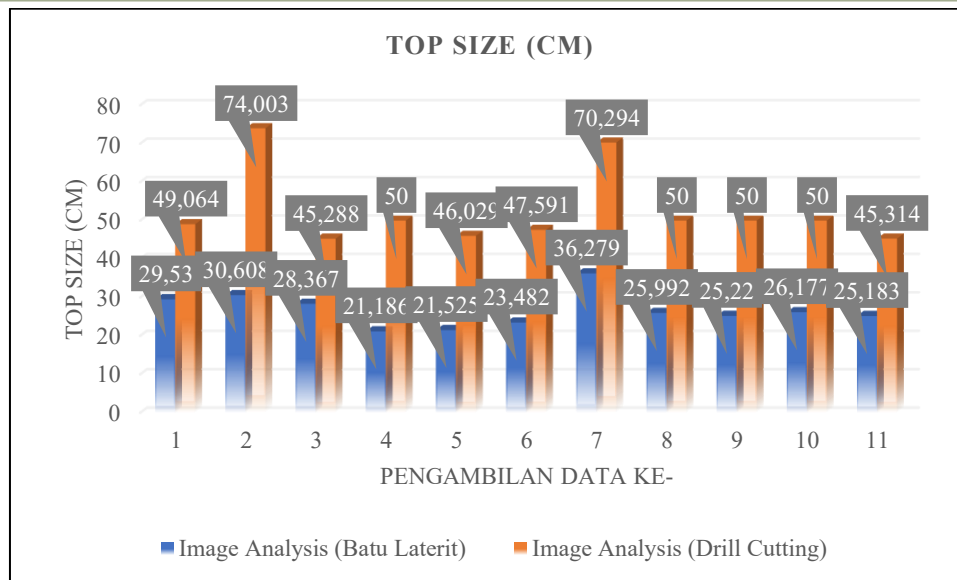
Selain parameter P80 dan *top size*, analisis fragmentasi juga perlu melihat distribusi *boulder*, yaitu persentase fragmen berukuran sangat besar yang dapat menimbulkan hambatan dalam proses pemuatan. Fragmen hasil peledakan dengan ukuran  $\geq 70$  cm dikategorikan sebagai *boulder*. Gambar 8 memperlihatkan distribusi *boulder* hasil peledakan dengan material *stemming* batu laterit dan *drill cutting* pada setiap pengambilan data, sehingga dapat diketahui efektivitas masing-masing material dalam menekan terbentuknya bongkah besar.



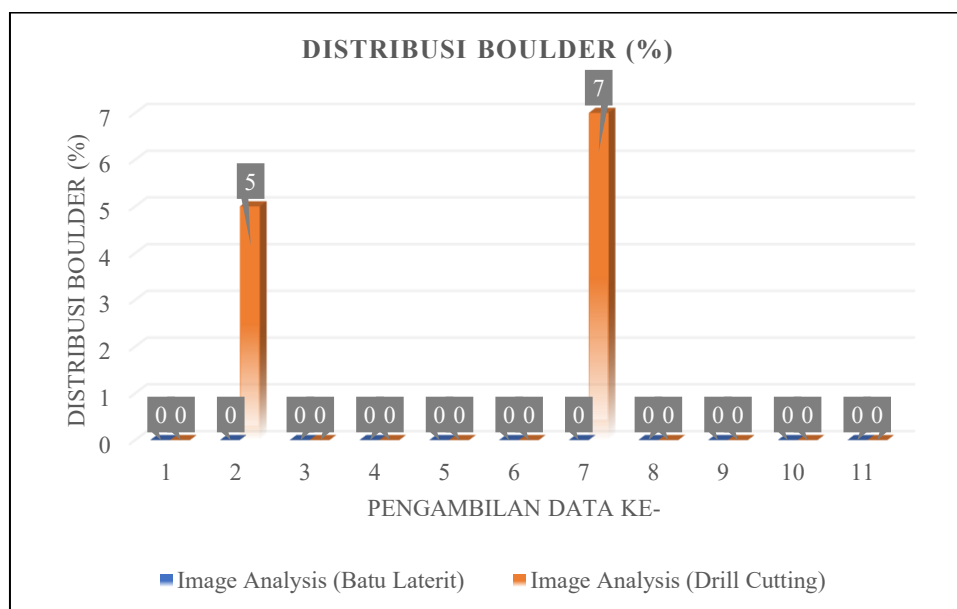
**Gambar 5.** Grafik Perbandingan Ukuran P80 Fragmentasi dengan Material *Stemming* Batu Laterit dan *Drill Cutting*



**Gambar 6.** Grafik Perbandingan Rata-Rata Ukuran P80 Fragmentasi dengan Material *Stemming* Batu Laterit dan *Drill Cutting*



**Gambar 7.** Grafik Perbandingan *Top Size* Fragmentasi dengan Material *Stemming* Batu Laterit dan *Drill Cutting*



**Gambar 8.** Grafik Perbandingan Distribusi *Boulder* Fragmentasi dengan Material *Stemming* Batu Laterit dan *Drill Cutting*

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis yang telah dilakukan mengenai pengaruh penggunaan material *stemming* batu laterit dan *drill cutting* terhadap tingkat fragmentasi hasil peledakan pada tambang terbuka, dapat disimpulkan bahwa material *stemming* memiliki pengaruh signifikan terhadap hasil fragmentasi batuan. Hasil analisis menunjukkan bahwa perbedaan jenis material *stemming* menyebabkan variasi nyata pada nilai P80, ukuran maksimum (*top size*), serta persentase *boulder* yang terbentuk. Penggunaan batu laterit

memberikan hasil fragmentasi yang lebih halus dan seragam dibandingkan dengan *drill cutting*. Hal ini ditunjukkan oleh nilai P80 yang lebih rendah (sekitar 9–21 cm) serta tidak ditemukannya *boulder* pada hasil peledakan. Sebaliknya, penggunaan *drill cutting* menghasilkan nilai P80 yang lebih tinggi (30–55 cm) dan masih ditemukan *boulder* hingga 7%, yang menandakan fragmentasi kurang optimal. Batu laterit terbukti lebih efektif sebagai material *stemming* karena memiliki densitas tinggi, kohesi baik, dan bentuk butiran bersudut yang mampu menahan tekanan gas peledakan secara optimal. Energi ledak tersalurkan lebih efisien ke massa



batuan sehingga meningkatkan hasil fragmentasi. Sementara itu, *drill cutting* memiliki butiran membulat dan tidak seragam, sehingga gas mudah keluar ke permukaan dan menyebabkan fragmentasi kasar. Oleh karena itu, batu laterit direkomendasikan sebagai material *stemming* yang lebih efisien dan produktif untuk kegiatan peledakan di tambang terbuka.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Koesnaryo. (2001). *Teknik Peledakan dalam Kegiatan Penambangan Terbuka*. Bandung: Penerbit ITB Press.
- [2] Konya, C. J., & Walter, E. J. (1990). *Surface Blast Design*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- [3] Rai, P., & Singh, T. N. (2018). Influence of rock properties and blast design parameters on fragmentation in open-pit mining. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 110, 234–244.
- [4] Roy, S., & Singh, P. K. (2016). Effect of stemming length to hole diameter ratio on blast performance. *Journal of the Geological Society of India*, 88(4), 481–488.
- [5] Arifin, M., & Saputra, R. (2019). Pengaruh jenis material stemming terhadap kualitas fragmentasi hasil peledakan di tambang batu andesit. *Jurnal Teknologi Pertambangan*, 5(2), 77–84.
- [6] Prasetyo, D., & Putra, A. (2020). Analisis efektivitas penggunaan drill cutting sebagai material stemming pada kegiatan peledakan. *Jurnal Bina Tambang*, 6(1), 41–50.
- [7] Xu, H., Li, B., & Zhang, J. (2023). Experimental study on the influence of stemming length and material on blasting performance in small-scale models. *Mining Science and Technology*, 33(2), 115–128.
- [8] Chen, Q., Liu, S., & Wang, X. (2023). Numerical simulation of gas flow and energy distribution in blast holes with different stemming materials. *Engineering Fracture Mechanics*, 280, 109000.
- [9] Hakim, A., Syarif, M., & Rudianto, A. (2016). Analisis perbandingan hasil peledakan menggunakan batu pecah dan drill cutting sebagai stemming material. *Jurnal Rekayasa Tambang*, 4(2), 88–96.
- [10] Fitrya, M. & Yulhendra, D. (2021). Evaluasi pengaruh penggunaan jenis material dan ukuran kedalaman stemming dalam kegiatan peledakan terhadap hasil fragmentasi, cost dan recovery blasting di PT Koto Alam Sejahtera. *Bina Tambang*.
- [11] Rahmawati, S., & Yulian, D. (2020). Pengaruh ukuran dan homogenitas material stemming terhadap efisiensi konfinemen energi peledakan. *Jurnal Teknologi Mineral*, 8(1), 22–30.
- [12] Patel, R., & Yadav, R. K. (2022). Effect of stemming compaction and particle distribution on blasting efficiency in surface mining. *Journal of Mining and Environment*, 13(3), 589–602.
- [13] Rădeanu, M., Andrei, M., & Voicu, F. (2024). Energy loss mechanisms due to improper stemming conditions in open-pit blasting. *Mining Reports*, 59(1), 45–56.