

**Ranah Research**
Journal of Multidisciplinary Research and Development
082170743613 | ranahresearch@gmail.com | <https://jurnal.ranahresearch.com>

E-ISSN: 2655-0865



DOI: <https://doi.org/10.38035/rj.v8i1>
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Analisis Prediksi Fragmentasi Hasil Peledakan *Overburden* di Pit E Banko Tengah PT. Bukit Asam Tbk.

I Made Arie Sugiarte¹, Alio Jasipto², La Ode Arham³, Deni Mildan⁴

¹Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sumatera, imadeariesugiartee@gmail.com

²Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sumatera, alio.jasipto@ta.itera.ac.id

³Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sumatera, laode.arham@ta.itera.ac.id

⁴Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sumatera, deni.mildan@ta.itera.ac.id

Corresponding Author: imadeariesugiartee@gmail.com¹, alio.jasipto@ta.itera.ac.id²

Abstract: *Blasting activities at PT Bukit Asam Tbk, particularly in Pit E Banko Tengah, still face fragmentation issues that fail to meet the target, as indicated by boulder sizes exceeding the company's target of 70 cm with 80% passing. The purpose of this study is to analyze the causes of parameter deviations leading to underachievement in fragmentation and to determine the theoretical fragmentation method that best matches the actual results. The research employed a quantitative approach by collecting data from 29 blasting locations in Pit E Banko Tengah. Actual fragmentation was analyzed using the image analysis method. The actual results were then compared with three theoretical prediction methods, and their compatibility was statistically analyzed. The findings show that 8 blasting events failed to meet the target. The parameters causing fragmentation failure include a low powder factor, a non-optimal (PC/H) ratio, an excessively large (S/B) ratio, and a suboptimal burden relief value. The Rock Engineering System (RES) method demonstrated the highest compatibility with actual fragmentation, as evidenced by graphical comparisons and an R^2 value of 0.5322, as well as the lowest RMSE (error value) of 4.95, compared to the Kuz-Ram and Cunningham methods. Therefore, optimization of the parameters responsible for fragmentation failure is necessary to achieve the target. Moreover, the Rock Engineering System (RES) method has proven to be a more reliable and valid prediction tool for use as a benchmark in planning blasting activities at the study site.*

Keywords: *Blasting, Fragmentation, Kuz-Ram, Cunningham, Rock Engineering System*

Abstrak: Peledakan di PT Bukit Asam Tbk terutama pada Pit E Banko Tengah masih terdapat permasalahan fragmentasi yang tidak mencapai target, ditandai dengan ukuran *boulder* yang melebihi target perusahaan yaitu 70 cm dengan kelolosan 80%. Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis penyebab parameter ketidaktercapaian fragmentasi dan menentukan metode fragmentasi teoritis yang hasilnya paling sesuai dengan aktual. Metode penelitian

menggunakan pendekatan kuantitatif dengan pengumpulan data 29 lokasi peledakan di Pit E Banko Tengah. Fragmentasi aktual dianalisis menggunakan metode *image analysis*. Hasil aktual tersebut kemudian dibandingkan dengan tiga metode prediksi teoritis. Kesesuaian dari ketiga metode dianalisis secara statistik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat 8 peledakan tidak mencapai target. Parameter penyebab dari ketidaktercapaian fragmentasi yaitu, *powder factor* yang rendah, rasio (PC/H) yang tidak optimal, rasio (S/B) yang terlalu besar, dan nilai *burden relief* yang kurang optimal. Metode *Rock Engineering System* (RES) menunjukkan kesesuaian paling tinggi dengan fragmentasi aktual, dibuktikan dengan perbandingan grafik dan nilai R^2 sebesar 0,5322, serta nilai RMSE atau nilai eror terendah yaitu 4,95, dibanding dengan metode Kuz-ram dan Cunningham. Dengan demikian perlunya optimasi pada parameter yang menjadi penyebab ketidaktercapaian fragmentasi yang telah dijelaskan untuk mencapai target fragmentasi. Selain itu, metode *Rock Engineering System* (RES) terbukti menjadi metode prediksi yang lebih andal dan valid untuk digunakan sebagai pembandingan dalam merencanakan kegiatan peledakan di lokasi penelitian.

Kata Kunci: Peledakan, Fragmentasi, Kuz-Ram, Cunningham, *Rock Engineering System*.

PENDAHULUAN

Aktivitas peledakan *overburden* di wilayah tambang banko PT Bukit Asam Tbk sudah dilakukan sejak tahun 1990, dan sekitar tahun 2010, peledakan juga sudah dilakukan pada wilayah banko tengah, dan hingga saat ini sekitar 80% aktivitas *overburden removal* di PT Bukit Asam Tbk tetap menggunakan metode peledakan.

Peledakan di PT Bukit Asam Tbk memiliki beberapa permasalahan, seperti Getaran tanah dan kebisingan peledakan masih sering menimbulkan gangguan terhadap permukiman sekitar area penambangan, seperti pada pit 2 banko, yang mana terdapat beberapa pengaduan dari warga. Dan di beberapa kegiatan peledakan masih terdapat *boulder* yang berukuran lebih dari ketentuan perusahaan yaitu 70 cm dengan kelolosan 80%.

Dalam memprediksi distribusi fragmentasi peledakan, dapat menggunakan beberapa metode yaitu Kuznetsov-Rammler (1973) metode telah di modifikasi oleh Cunningham (1983). Metode Kuz-Ram melibatkan parameter geometri peledakan, faktor batuan, jumlah bahan peledak untuk mendapatkan prediksi fragmentasi. Metode lain yaitu Cunningham (2005) metode ini mempunyai parameter tambahan seperti *delay time*, *powder factor*, dan faktor koreksi batuan. Dan metode RES atau *Rock Engineering System* yang pertama kali diperkenalkan oleh Hudson (1992), yang mana RES menggunakan pendekatan parameter pada mekanika batuan, serta parameter yang digunakan RES ini serupa dari dua metode diatas. Metode RES ini juga menggunakan pendekatan analisis statistik (Faramarzi, 2013).

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan dan menganalisis fragmentasi aktual yang menjadi penyebab ketidaktercapaian target fragmentasi dan mendapatkan kesesuaian fragmentasi prediksi terhadap aktual, guna menjawab masalah dari masih adanya fragmentasi peledakan yang belum sesuai target ukuran dan belum ada metode prediksi fragmentasi pembandingan selain metode Kuz-ram.

METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan yang sesuai dengan penjelasan Smith (2023) mengenai metode penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif yang penulis terapkan pada penelitian ini dengan melakukan pengukuran langsung di lapangan meliputi 29 sampel geometri peledakan dan foto fragmentasi, yang nantinya hipotesis tersebut akan diuji dengan metode yang penulis gunakan seperti metode Kuz-ram, Cunningham dan *Rock Engineering System* yang merupakan pendekatan kuantitatif empirik, dan analisis statistik, mengidentifikasi hubungan antara prediksi fragmentasi teoritis dan fragmentasi aktual dengan analisis statistik

seperti koefisien determinasi dan RMSE (Smith, 2023). Penelitian tugas akhir ini dilaksanakan tanggal 14 April 2025 hingga selesai. Data primer yang diambil langsung meliputi geometri peledakan aktual dan foto fragmentasi peledakan dilokasi Pit E Banko Tengah PT Bukit Asam Tbk.

Fragmentasi merupakan istilah teknis yang mendeskripsikan distribusi ukuran dari bongkahan-bongkahan batuan yang dihasilkan setelah aktivitas peledakan. Secara terminologi ini mengacu pada hasil pemecahan massa batuan menjadi fragmen dengan berbagai ukuran yang bervariasi.

Fragmentasi Metode Kuz-Ram

Metode ini dikemukakan oleh Kuznetsov-Rossin-Rammler (1973), yang beberapa kali dimodifikasi oleh Cunningham, yang mana metode ini sering digunakan dalam memprediksi distribusi ukuran fragmentasi peledakan.

$$\overline{Xm} = A \left(\frac{Vo}{Q} \right)^{0,8} \times Q^{0,17} \times \left(\frac{E}{115} \right)^{-0,63} \quad (1)$$

$$Xc = \frac{\overline{X}}{(0,693)^{1/n}} \quad (2)$$

$$n = \left(2,2 - 1,4 \frac{B}{De} \right) \times \left(1 - \frac{W}{B} \right) \times \left[1 + \frac{A-1}{2} \right] \times \left(\frac{PC}{H} \right) \quad (3)$$

$$R = e^{-\left(\frac{\overline{X}}{Xc} \right)^1} \quad (4)$$

Persamaan (1) diatas digunakan untuk mendapatkan *average* fragmentasi (Xm), yang terdapat parameter *rock factor* (A), volume batuan terbongkar m^3 (Vo), jumlah bahan peledak perlubang (Q), dan *relative weight strenght* bahan peledak (E), ANFO = 100, DABEX = 70, selanjutnya persamaan (2) digunakan untuk mendapatkan karakteristik ukuran batuan (Xc), yang terdapat parameter *average* fragmentasi (Xm) dalam perhitungannya, kemudian persamaan (3) digunakan untuk mendapatkan indeks keseragaman (n), yang terdapat parameter geometri peledakan, terakhir persamaan (4) mencari persentase distribusi ukuran fragmentasi, yang terdapat konstanta eksponensial (e).

Fragmentasi Metode Cunningham 2005

Metode yang beberapa parameternya telah dimodifikasi dari Kuz-Ram. Modifikasi yang dilakukan Cunningham meliputi beberapa parameter tambahan, seperti *delay time*, *powder factor*, faktor koreksi dan *timing*.

$$Xm = A \times At \times K^{-0,8} \times Q^{1/6} \times \left(\frac{115}{RWS} \right)^{19/20} \times c(A) \quad (5)$$

$$At = 0,9 + 0,1 \left(\frac{T}{T_{max}} - 1 \right) \quad (6)$$

$$T_{max} = \left(\frac{1,56}{cx} - B \right) \quad (7)$$

$$n = ns \times \sqrt{2 - 30 \frac{B}{De}} \times \frac{\sqrt{1 + \frac{S}{B}}}{2} \times \left(1 - \frac{W}{B} \right) \times \frac{PC}{H}^{0,3} \times c(n) \quad (8)$$

$$ns = 0,206 \left(1 - \frac{Rs}{4} \right)^{0,8} \quad (9)$$

$$Rs = 6 \times \frac{at}{Tx} \quad (10)$$

$$at = \sqrt{2\alpha 1^2 - \alpha 2^2} \quad (11)$$

$$c(n) = \left(\frac{A}{6} \right)^{0,3} \quad (12)$$

Persamaan (5) diatas digunakan untuk mendapatkan *average* fragmentasi (Xm), dengan parameter *rock factor* (A), *timing factor* (At), *powder factor* (K), jumlah bahan peledak perlubang (Q), RWS bahan peledak ANFO, DABEX, dan faktor koreksi dengan rentang nilai 0,7 – 1, selanjutnya persamaan (6) untuk mencari *timing factor* (At), terdapat parameter *delay*, selanjutnya persamaan (7) untuk mendapatkan T_{max} , persamaan (8) untuk mencari indeks keseragaman (n), persamaan (9) untuk mencari *scatter ratio* (ns), persamaan (10) untuk mencari *scatter ratio* (Rs), persamaan (11) untuk mencari deviasi *delay* (at), persamaan (12)

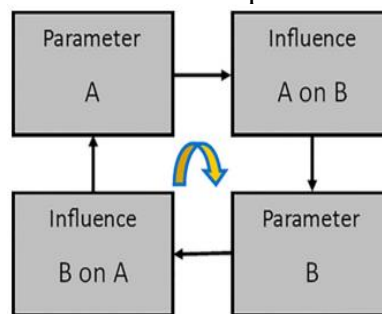
untuk mencari faktor koreksi, kemudian untuk mencari karakteristik ukuran batuan (X_c) dan persentase distribusi ukuran fragmentasi menggunakan persamaan (2) dan (4).

Fragmentasi Metode *Rock Engineering System* (RES)

Metode *Rock Engineering System* merupakan sebuah metode yang mana dirancang guna memprediksi fragmentasi peledakan. Metode ini beroperasi dengan memanfaatkan pembobotan parameter yang didasarkan pada kondisi batuan, serta mengintegrasikan berbagai parameter peledakan, seperti geometri peledakan, dengan landasan analisis statistik.

Metode ini pertama kali dikemukakan oleh (Hudson, J, 1992). Metode ini didasari oleh pendekatan matriks interaksi antar tiap parameter. Dalam buku *Rock Mechanics and Engineering Volume 3: Analysis, Modeling and Design* tahun 2016 oleh (Feng, Xia-Ting, 2016), diungkapkan bahwa metode ini dapat berfungsi sebagai opsi penunjang yang mana mampu mengoptimalkan rencana desain model dengan cara menghubungkan data dari parameter-parameter kunci suatu poyek. Hal ini membuat metode ini menjadi efektif dalam meminimalisir potensi kesalahan yang mungkin terjadi.

Setiap parameter yang ditempatkan dalam kotak matriks interaksi wajib menunjukkan keterpengaruhannya oleh minimal dua parameter lain, mengindikasikan adanya relasi sebab-akibat yang jelas. Prinsip inti dari matriks interaksi ini kemudian memungkinkan dilakukannya alokasi bobot pada tiap parameter yang mana berpotensi memberi dampak pada variabel dependen. Matriks interaksi Parameter A dan B dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 1. Interaksi matriks

Tahap berikutnya yaitu mengisi kode pada kotak matriks atau kotak yang merepresentasikan pengaruh dari parameter-parameter utama. tahapan ini memungkinkan dilakukannya perhitungan model matematis di dalam matriks. Pada umumnya, metode ini menggunakan metode pengkodean ESQ atau *Expert Semi-Quantitative*, yang merepresentasikan setiap interaksi dengan nilai dalam rentang 0 hingga 4.

Tabel 1. Kode nilai ESQ (Hudson, 1997)

Code	Keterangan
4	Hubungan Sangat Kuat
3	Hubungan Kuat
2	Hubungan Sedang
1	Hubungan Lemah
0	Tidak Ada Hubungan

Kode-kode yang telah ditetapkan pada kotak matriks kemudian akan menghasilkan interaksi matriks, yang membentuk baris dan kolom. Jumlah total nilai pada setiap baris disebut sebagai *Cause Ordinate* (C), jumlah total setiap kolom adalah *Effect Ordinate* (E). Koordinat sendiri merupakan gabungan dari kode parameter satu dengan kode parameter lainnya. Setelah itu, dilakukan perhitungan nilai C+E untuk menentukan tingkat kepentingan sebuah parameter dalam matriks interaksi. Di sisi lain, nilai C-E dihitung untuk menunjukkan sifat pengaruh dari parameter tersebut. Jika nilai C-E positif, artinya parameter tersebut lebih dominan mempengaruhi sistem, sehingga menjadikannya parameter yang sangat penting. Sebaliknya,

jika nilai C-E negatif, hal ini mengindikasikan bahwa parameter tersebut lebih banyak dipengaruhi oleh sistem. Selanjutnya dilakukan perhitungan nilai pembobotan (α_i) dari tiap parameter, bisa dilihat pada persamaan (13).

$$\alpha_i = \frac{C+E}{\sum C+E} \times 100 \quad (13)$$

Selanjutnya pada metode ini dilakukan perhitungan dengan metodologi *Vulnerability Index* (VI), seperti pada persamaan (14), dikutip dari (Faramarzi, 2013), dijelaskan bahwa metodologi ini akan digunakan untuk menentukan distribusi fragmentasi pada ukuran dan persentase tertentu.

$$VI = 100 - \sum_{i=1} \left(\alpha_i \frac{Q_i}{Q_{max}} \right) \quad (14)$$

Metode RES ini, dapat disederhanakan menjadi 3 langkah dalam memprediksi distribusi fragmentasi. Pertama, dilakukan identifikasi terhadap parameter-parameter yang memengaruhi fragmentasi batuan, yang mana tercantum pada Tabel 2. Kedua, dianalisis pengaruh antar parameter tersebut terhadap fragmentasi, lalu diberikan kode di kotak matriks sesuai dengan pembobotan nilai ESQ pada tabel 1. Ketiga, ditentukan nilai VI atau *Vulnerability Index* sebagai langkah akhir.

Tabel 2. Parameter metode RES

Parameter	
Kode	Nama
P1	Burden (B)
P2	Jumlah handak per lubang (kg)
P3	Powder Factor (PF)
P4	Spasi/Burden Ratio (S/B)
P5	Stemming/Burden Ratio (T/B)
P6	Stiffness Ratio (H/B)
P7	Delay Time (ms)
P8	Deviasi kedalaman lubang (%)
P9	Diameter lubang (mm)
P10	Blastibility Index (BI)

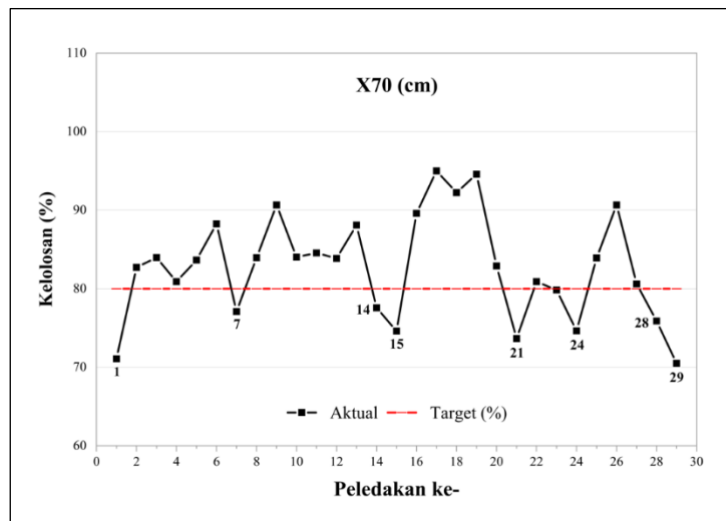
Analisis Statistik

Dalam penelitian, untuk mendapatkan hubungan antara metode 1 dengan metode lainnya, diperlukan analisis statistik. Analisis statistik sangat penting dalam mengevaluasi hubungan sebuah metode, dimana dalam penelitian ini mengacu pada perbandingan fragmentasi teoritis dengan aktual. Analisis statistik yang digunakan adalah Koefisien Determinasi dan RMSE atau *Root Mean Square Error*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Ketidaktercapaian Fragmentasi

Hasil pengolahan foto fragmentasi menunjukkan peledakan dengan kelolosan pada ukuran 70cm $\geq 80\%$ sebanyak 20 peledakan, 8 peledakan lainnya memiliki kelolosan $< 80\%$. Ketidaktercapaian fragmentasi menyebabkan terganggunya aktivitas pengupasan *overburden*. Untuk lebih detail terkait ketidaktercapaian fragmentasi dapat dilihat pada gambar 2 dibawah ini.



Gambar 2. Grafik ketidaktercapaian fragmentasi

Berdasarkan gambar 2 terdapat 8 dari 29 peledakan atau sekitar 27,5% fragmentasi yang tidak mencapai target. Ketidaktercapaian fragmentasi terbesar pada peledakan ke-1 dan 29 dengan kelolosan 70,49% dan 71,07%. Dari 8 peledakan yang tidak mencapai target fragmentasi, akan dianalisis untuk mendapatkan parameter yang menjadi penyebab dari ketidaktercapaian fragmentasi.

Parameter Penyebab Ketidaktercapaian Fragmentasi

Fragmentasi yang tidak mencapai target kelolosan dapat disebabkan oleh berbagai parameter. Geometri, jumlah bahan peledak, dan parameter lain yang tidak tepat dapat menghasilkan peledakan yang kurang optimal. Peledakan yang tidak mencapai target fragmentasi beserta parameternya dapat dilihat dibawah ini.

Tabel 3. Fragmentasi yang tidak mencapai target

Peledakan ke-	B	S	H	PC	T	Q	PF	70cm (%)	
								Lolos	Tertahan
1	6,81	9,80	7,06	1,55	4,01	41	0,087	71,07	28,93
7	7,12	10,04	7,70	1,50	4,7	39,8	0,072	77,09	22,91
14	7,12	10,35	7,74	1,50	4,74	39,7	0,070	77,56	22,44
15	6,97	10,38	7,60	1,53	4,57	29,2	0,053	74,60	25,40
21	6,92	9,74	7,61	1,38	4,73	35,2	0,069	73,65	26,35
24	6,97	10,28	7,39	1,56	4,33	40	0,076	74,62	25,38
28	6,99	10,09	7,23	1,43	4,3	27,7	0,054	75,89	24,11
29	6,39	9,87	7,42	1,50	4,42	38,3	0,082	70,49	29,51

Berdasarkan Tabel 3 didapatkan penyebab ketidakkelolosan pada 8 lokasi peledakan disebabkan oleh berbagai parameter. *Powder factor* yang bernilai kecil menghasilkan energi spesifik yang terlalu rendah untuk dapat memecah batuan dengan volume yang besar, seperti pada peledakan ke-15 yang hanya ditempatkan bahan peledak sebanyak 0,053 kg/BCM batuan. Rasio *powder column* dengan kedalaman lubang (PC/H) yang bernilai 18% sampai 23% hal ini memberikan distribusi energi tidak merata, umumnya nilai VED ada pada rentang 45%-70%. nilai rasio *burden* dengan *spasi* (S/B) yang sebesar 1,4 - 1,55 membuat area diantara memiliki *void* yang besar sehingga rekahan tidak dapat saling bertemu. Parameter lain nilai *burden relief* yang terlalu kecil pada antar lubang yakni rata-rata sebesar 5 ms/m, dan untuk antar baris cenderung tinggi yakni 15,7 ms/m, hal ini menyebabkan baris depan runtuh dan menutup dan baris belakang, sehingga menyebabkan boulder pada *toe* atau *back*. Penyebab ketidaktercapaian tidak hanya disebabkan oleh salah satu parameter yang telah disebutkan, namun kombinasi antara 2 atau lebih parameter yang dapat menyebabkan tidak tercapainya fragmentasi.

Kesesuaian Fragmentasi Prediksi Terhadap Aktual

Prediksi fragmentasi peledakan dapat dihitung menggunakan persamaan teoritis diantaranya Kuz-Ram, Cuninggham (2005), dan *Rock Engineering System* (RES). Perhitungan tersebut didasarkan pada parameter-parameter didapatkan melalui pengambilan data primer dan sekunder. Geometri, spesifikasi bahan peledak, dan faktor batuan menjadi parameter yang digunakan dalam perhitungan ini.

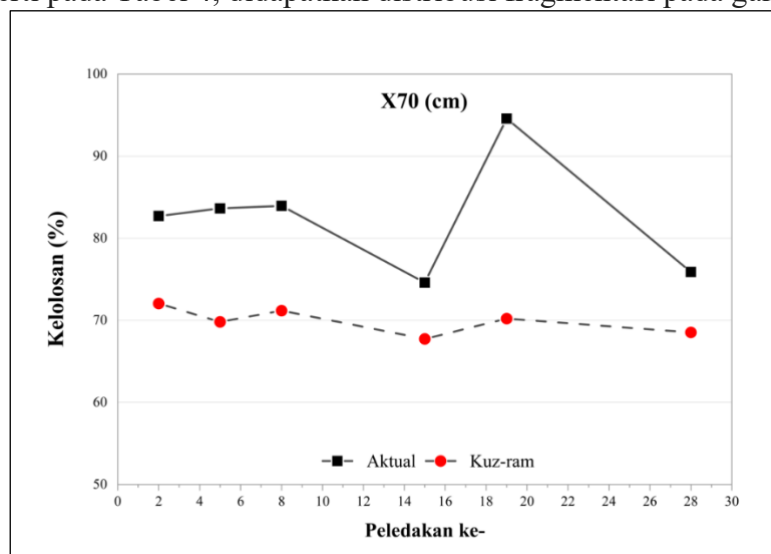
Fragmentasi Metode Kuz-Ram

Metode Kuz-Ram dapat digunakan untuk menghitung rata-rata kelolosan (X_m) dan karakteristik ukuran (X_c). Parameter yang digunakan antara lain *rock factor*, *relative weight strength* bahan peledak, volume batuan yang diledakan, jumlah bahan peledak perlubang. Kemudian parameter geometri peledakan yakni *burden*, *spacing*, kedalaman, diameter lubang ledak, dan *powder column* digunakan untuk menghitung indeks keseragaman.

Tabel 4. Parameter metode Kuz-ram

Parameter	Nilai
<i>Rock Factor</i> (A)	4,23
<i>Relative Weight Strenght</i> (E)	100
Jumlah handak perlubang (Q)	35,34 kg
Volume Batuan (V_o)	525 bcm
Rata-rata ukuran (x_m)	41,01 cm
Karakteristik ukuran (x_c)	72,65 cm
Indeks keseragaman (n)	0,39

Metode Kuz-Ram melibatkan beberapa parameter dalam perhitungan prediksi fragmentasi seperti pada Tabel 4, didapatkan distribusi fragmentasi pada gambar dibawah ini.



Gambar 3. Grafik fragmentasi Aktual vs Kuz-ram X70 cm

Hasil perhitungan kelolosan fragmentasi metode Kuz-Ram pada ukuran 70 cm memiliki rentang 67,59% sampai 72,04%, dengan rata-rata 70,88%. Berdasarkan 29 prediksi peledakan, didapatkan 2 prediksi Kuz-ram yang lolos target fragmentasi mendekati aktual atau sekitar 6,8%. Hal ini jauh berbeda dengan kelolosan aktual dilapangan.

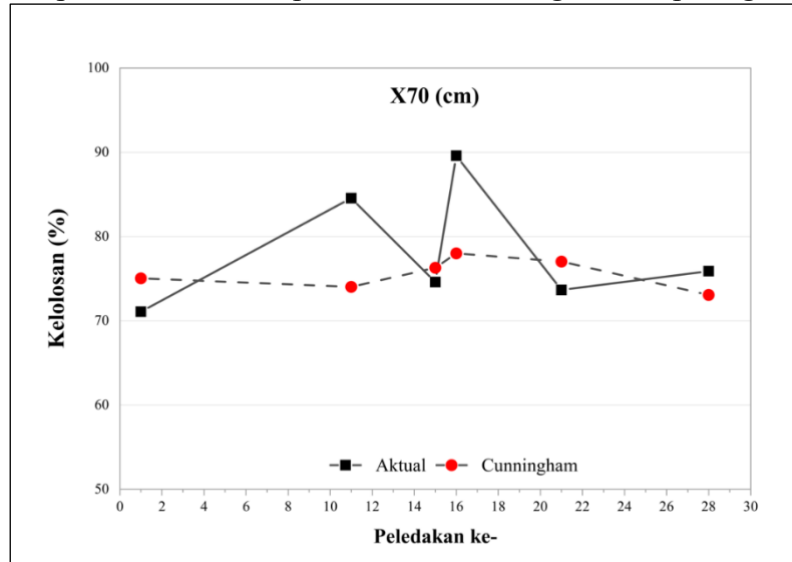
Fragmentasi Metode Cunningham 2005

Metode perhitungan prediksi fragmentasi metode Cunningham menggunakan parameter *rock factor*, RWS, jumlah isian per lubang, *powder factor*, volume batuan, *timing factor* (A_t), dan faktor koreksi. *Timing factor* dapat dihitung menggunakan rentang *delay*, VOD bahan peledak, dan *delay time* Secara lebih lanjut dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 5. Parameter metode Cunningham 2005

Parameter	Nilai
Timing Factor (At)	0,72
VOD (Cx)	3400 m/s
Powder Factor (K)	0,07 kg/bcm
Faktor koreksi (c(A))	0,8
Delay	42ms, 67ms, 109ms

Metode Cunningham melibatkan beberapa parameter dalam perhitungan prediksi fragmentasi seperti pada Tabel 5, didapatkan distribusi fragmentasi pada gambar dibawah ini.


Gambar 4. Grafik fragmentasi Aktual vs Cunningham X70 cm

Hasil perhitungan kelolosan fragmentasi metode Cunningham pada ukuran 70 cm memiliki rentang 73,06% sampai 78% dengan rata-rata 74,99%. Terdapat 6 prediksi metode Cunningham lolos target fragmentasi dari 29 prediksi peledakan atau sekitar 20,6% yang mendekati aktual. Nilai tersebut tidak jauh berbeda dengan metode Kuz-Ram. Hal ini jauh berbeda dengan kelolosan aktual dilapangan.

Fragmentasi Metode *Rock Engineering System*

Metode perhitungan fragmentasi RES menggunakan beberapa parameter seperti geometri peledakan, *delay time*, dan *Blastability index*, yang nantinya akan dianalisis hubungan antar parameter yang berkaitan dengan fragmentasi yang terbentuk akan dianalisis menggunakan interaksi matriks. Kotak diagonal akan merepresentasikan hubungan antar parameter yang dihubungkan, kekuatan hubungan dinotasikan dengan angka 0-4, semakin besar angka semakin kuat hubungan.

Tabel 6. Parameter metode RES

Parameter	Cause (C)										Ket
B	P1	2	2	2	2	2	3	0	0	0	E f f e c t (E)
Q	0	P2	0	0	0	0	1	0	0	0	
PF	2	0	P3	2	0	0	0	0	0	0	
S/B	0	2	2	P4	0	0	0	0	0	0	
T/B	0	2	1	0	P5	0	0	0	0	0	
H/B	2	2	2	3	2	P6	1	2	2	0	
DLY	0	1	0	0	0	0	P7	0	0	0	
DEV	2	1	1	2	1	0	0	P8	0	0	
D	3	3	2	1	1	2	2	3	P9	0	
BI	3	2	4	2	1	2	3	3	1	P10	

Pada Tabel 6 menunjukkan interaksi antar parameter didalam matriks. Interaksi antar kotak diagonal bernilai 0-4 sesuai dengan kekuatan hubungan antar parameter. P1 atau parameter satu adalah burden, P2 jumlah handak per lubang, P3 powder factor, P4 rasio spasi dan burden, P5 rasio stemming burden, P6 stiffness ratio, P7 *delay time*, P8 deviasi lubang ledak, P9 diameter lubang, dan P10 blastability index. Kotak interaksi kemudian dianalisis lebih lanjut pada tabel dibawah.

Tabel 7. Pembobotan nilai C dan E

Parameter		C	E	C+E	C-E	α_i (%)
Kode	Symbol					
P1	B	13	12	25	1	14,4
P2	Q	1	15	16	-14	9,2
P3	PF	4	14	18	-10	10,3
P4	S/B	4	12	16	-8	9,2
P5	T/B	3	7	10	-4	5,7
P6	H/B	16	6	22	10	12,6
P7	DLY	1	10	11	-9	6,3
P8	DEV	7	8	15	-1	8,6
P9	D	17	3	20	14	11,5
P10	BI	21	0	21	21	12,1
Jumlah Σ		87	87	174	0	100

Tabel 7 menampilkan hasil perhitungan C (cause) dan E (effect) pada setiap parameter peledakan yang dianalisis. Burden menunjukkan pengaruh yang besar dalam terbentuknya fragmentasi dengan nilai C+E=25 dan α_i 14,4%. Parameter BI memiliki nilai C paling besar yakni 21, sedangkan nilai E=0 dikarenakan parameter ini mempengaruhi sistem dan tidak dipengaruhi oleh sistem.

Tabel 8. Nilai VI pada peledakan ke-2

Parameter	P1 (m)	P2 (kg)	P3 (g/ton)	P4	P5	P6	P7 (ms)	P8 (%)	P9 (mm)	P10	Jumlah
Nilai	7,36	38,8	68	1,406 3	0,622 3	1,024 5	151	0	200	35	
Qi	1	5	0	3	0	1	2	4	2	3	21
α_i (%)	14,4	9,2	10,3	9,2	5,7	12,6	6,3	8,6	11,5	12,1	100
Qmax	4	5	4	3	4	4	4	4	4	4	40
VI	48										

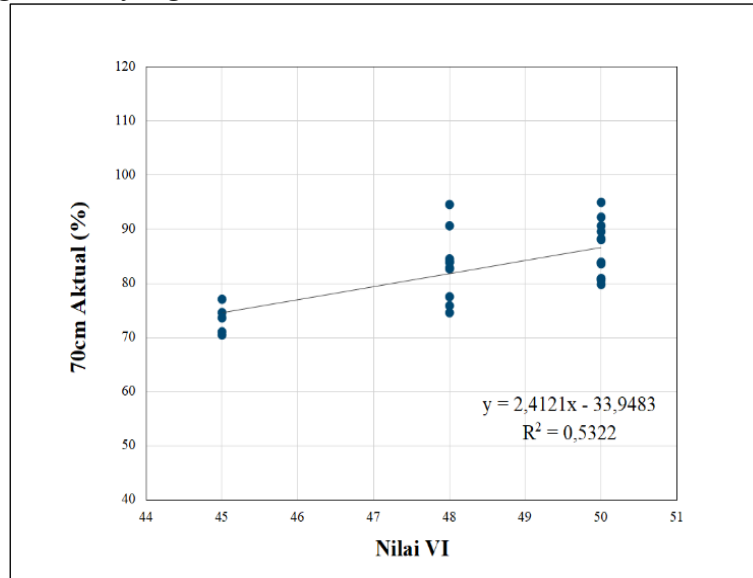
Setelah menghitung cause dan effect maka dapat dilakukan perhitungan terhadap Qi berdasarkan pembobotan terhadap setiap parameter P1-10, pembobotan ini didasarkan pada Tabel 5 Kemudian vulnerability index (VI) dapat dihitung berdasarkan α_i , Qi, dan Qmax. Tabel 8 menampilkan contoh perhitungan nilai VI pada peledakan ke-2, dengan didapatkan nilai VI sebesar 48, dan termasuk dalam kategori *medium high*.

Tabel 9. Nilai VI pada keseluruhan peledakan

Peledakan ke-	VI	Peledakan ke-	VI
1	45	16	50
2	48	17	50
3	48	18	50
4	50	19	48
5	50	20	48
6	50	21	45
7	45	22	50
8	48	23	50
9	50	24	45
10	48	25	50
11	48	26	48
12	50	27	50
13	50	28	48

14	48	29	45
15	48	Average	48,4

Dari keseluruhan 29 peledakan pada Tabel 9 didapatkan nilai VI yang bervariasi dengan rentang 45, 48, dan 50, serta didapatkan rata-rata 48,4 yang termasuk dalam kategori *medium high*. Nilai VI akan diregresikan dengan kelolosan aktual untuk mendapatkan persamaan guna memprediksi fragmentasi yang ada.

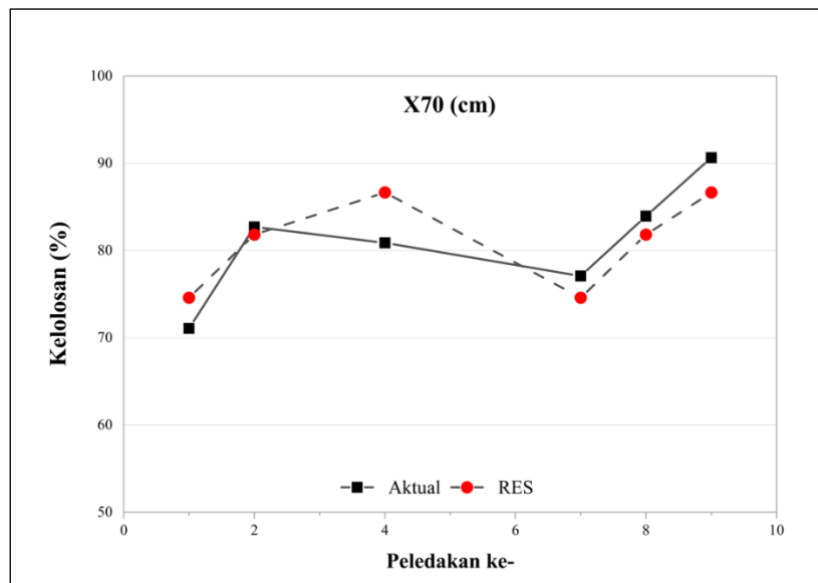


Gambar 5. Regresi linear VI dan aktual

Analisis regresi linear antara VI dan kelolosan aktual pada ukuran 70cm menghasilkan persamaan linear sebagai berikut:

$$X_{70} = 2,412x - 33,9483$$

Persamaan diatas dapat digunakan untuk memprediksi fragmentasi pada rencana peledakan selanjutnya. Nilai VI menunjukkan adanya hubungan positif dengan terbentuknya fragmentasi pada ukuran 70cm dimana semakin besar nilai VI maka kelolosan akan semakin besar pula.



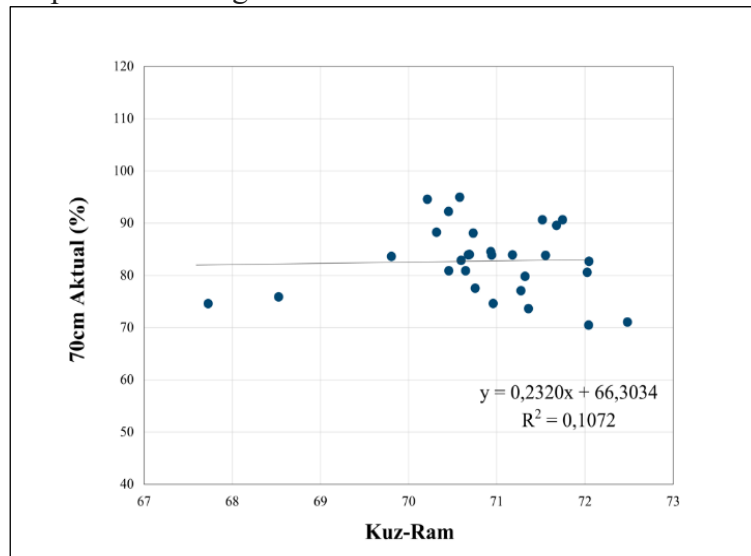
Gambar 6. Grafik fragmentasi Aktual vs RES X70 cm

Hasil perhitungan kelolosan metode RES menunjukkan rentang kelolosan sebesar 74,60% hingga 86,66% dengan rata-rata 82,75%. Metode ini menghasilkan prediksi kelolosan

sebanyak 24 peledakan dari 29 peledakan atau sekitar 82,7% yang mendekati aktual. Berdasarkan grafik dapat dilihat bahwa fragmentasi yang dihasilkan metode RES menunjukkan kemiripan dengan fragmentasi aktual, yang menunjukkan kelolosan lebih besar dibandingkan dua metode sebelumnya.

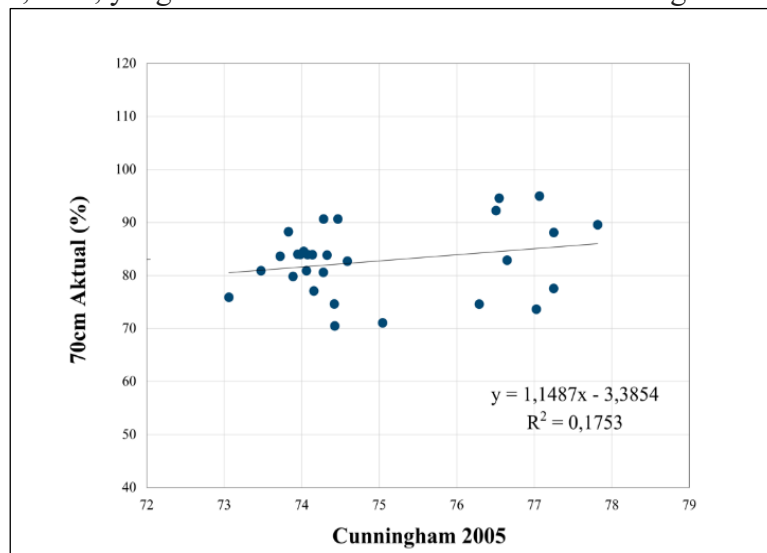
Kesesuaian Fragmentasi Prediksi Terhadap Aktual

Perhitungan fragmentasi teoritis menggunakan metode Kuz-Ram, Cunningham (2005), dan RES kemudian dianalisis kekuatan hubungannya menggunakan metode analisis regresi linear. Analisis ini menghasilkan nilai koefisien determinasi (R^2) yang dapat digunakan untuk melihat seberapa kuat hubungan antara 2 variabel.



Gambar 7. Regresi linear Kuz-ram vs aktual

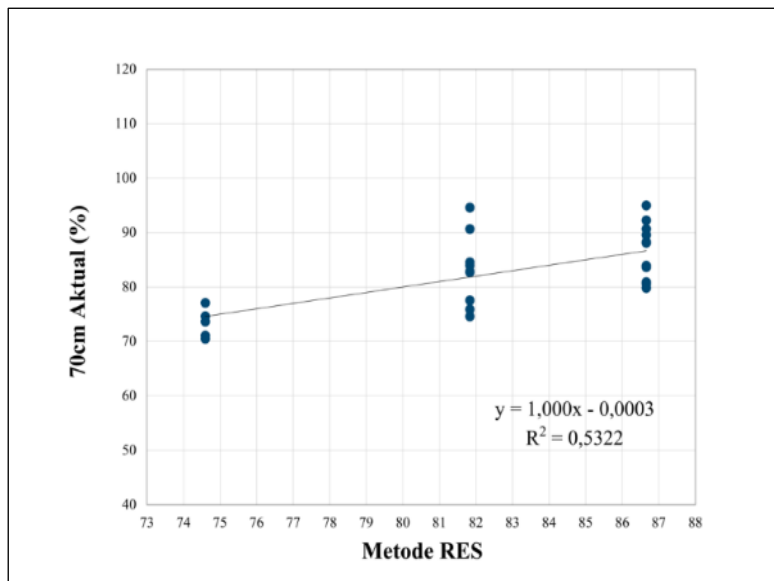
Analisis regresi dilakukan guna mendapatkan besaran hubungan antara fragmentasi prediksi dengan aktual. Gambar 7 menunjukkan hubungan antara fragmentasi metode Kuz-Ram dengan aktual. Koefisien determinasi (R^2) yang mencerminkan hubungan antara kedua variabel sebesar 0,1072, yang berarti kedua variabel memiliki hubungan lemah.



Gambar 8. Regresi linear Cunningham vs aktual

Pada Gambar 8 yang menunjukkan grafik hubungan antara metode Cunningham dan aktual menunjukkan hubungan positif. Hasil analisis regresi linear yang dilakukan

mendapatkan besaran koefisien determinasi (R^2) 0,1753, yang menunjukkan hubungan lemah antar 2 variabel.



Gambar 9. Regresi linear RES vs aktual

Analisis regresi linear juga dilakukan terhadap prediksi fragmentasi metode RES. Kekuatan hubungan antara persentase kelolosan metode RES dan aktual dinyatakan dalam besaran koefisien determinasi yakni sebesar 0,5322. Hasil ini menunjukkan bahwa RES memiliki hubungan yang kuat secara analisis statistik dengan fragmentasi aktual.

Tabel 10. Analisis statistik R^2 dan RMSE

Metode Prediksi	R^2	RMSE	Total Blasting
RES	0,5322	4,95	29
Kuz-Ram	0,1072	13,59	29
Cunningham	0,1753	10,03	29

Validasi keakuratan metode perhitungan prediksi fragmentasi juga dilakukan dengan menghitung nilai *root mean square error* (RMSE). Semakin kecil nilai RMSE maka semakin akurat prediksinya, dan semakin besar nilai maka prediksi akan semakin tidak akurat. Metode Kuz-Ram menghasilkan besaran RMSE 13,59, Metode Cunningham sebesar 10,03, dan metode RES sebesar 4,95.

Berdasarkan hasil analisis melalui kurva distribusi kelolosan fragmentasi dan hasil perhitungan statistik antara fragmentasi aktual dengan prediksi maka metode RES menghasilkan kesesuaian distribusi fragmentasi dengan aktual. Hal ini didukung dengan hasil koefisien determinasi sebesar 0,5322 dan nilai RMSE sebesar 4,95. Maka metode RES dapat digunakan sebagai metode pembandingan selain Kuz-Ram.

KESIMPULAN

Adapun kesimpulan berdasarkan hasil dan pembahasan penelitian yang telah dilakukan antara lain:

1. Berdasarkan fragmentasi aktual 29 peledakan, terdapat 8 peledakan tidak mencapai target atau terdapat 27,5%. Parameter penyebab ketidaktercapaian diantaranya adalah *powder factor*, rasio *powder column* terhadap kedalaman lubang (PC/H), rasio *spasi* terhadap *burden* (S/B), dan nilai *burden relief* peledakan. Parameter tersebut menjadi penyebab ketidaktercapaian fragmentasi.
2. Kesesuaian fragmentasi aktual terhadap prediksi didapatkan melalui grafik perbandingan distribusi fragmentasi. Pada 3 metode teoritis, yaitu metode Kuz-Ram yang menunjukkan kelolosan lebih kecil dari aktual, Cunningham menunjukkan prediksi fragmentasi tidak jauh

beda dengan Kuz-Ram. Metode RES menunjukkan prediksi fragmentasi mendekati aktual, dan didukung dengan nilai koefisien determinasi sebesar 0,5322 dengan RMSE 4,95.

REFERENSI

- Aldo, M. &. (2020). ANALISIS PREDIKSI FRAGMENTASI PELEDAKAN TAMBANG TERBUKA DENGAN MENGGUNAKAN MODEL ROCK ENGINEERING SYSTEM (RES) DI PT XYZ. *PROSIDING TPT XXIX PERHAPI*, 731-742.
- Chai, T. &. (2014). Root Mean Square Error (RMSE) or Mean Absolute Error (MAE)?—Arguments Against Avoiding RMSE in The Literature. *Geoscientific Model Development* 7, 1247-1250.
- Cunningham, C.V.B. (1983). The Kuz—Ram Model for Prediction of Fragmentation From Blasting. *Proceedings of The First International Symposium on Rock Fragmentation by Blasting*, (hal. 26-27). Lulea, Sweden.
- Cunningham, C.V.B. (2005). The Kuz-Ram Fragmentation Model-20 Years. *Proceedings of The 3rd European Federation of Explosives Engineers (EFEE) Brighton Conference on Explosives and Blasting* (hal. 201-210). South Africa: ISBN 09550290-007.
- Faramarzi, F. M. (2013). A rock Engineering Systems Based Model to Predict Rock Fragmentation by Blasting. *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences* 60, 82-94.
- Feng, Xia-Ting. (2016). *Rock Mechanics and Engineering Volume 3 Analysis, Modeling, and Design*. Wuhan, China: Institute of Rock and Soil Mechanics. State Key Laboratory of Geomechanics and Geotechnical Engineering.
- Gonzales, R. &. (2023). PREDIKSI FRAGMENTASI HASIL PELEDAKAN MENGGUNAKAN MODEL ROCK ENGINEERING SYSTEM (RES) DI PT BHUMI RANTAU ENERGI KABUPATEN TAPIN PROVINSI KALIMANTAN SELATAN. *Jurnal Bina Tambang, Vol. 8, No. 2*, 50-60.
- Hasanipanah, M. J. (2016). Risk Assessment and Prediction of Rock Fragmentation Produced by Blasting Operation: A Rock Engineering System. *Environmental Earth Sciences* 75, 1-12.
- Hudson, J. (1992). *Rock engineering systems. Theory and Practice*.
- Hudson, J. (1997). *Rock Mechanics Interaction and Rock Engineering System (RES)*.
- Jekson, N. F. (2020). Analisa Geometri Peledakan untuk Mendapatkan Fragmentasi yang Optimal Guna Meningkatkan Digging Time Alat Hydraulic Loading Exavator Komatsu Pc 2000. *Minning Insight, Vol 01, No. 02*, 2.
- Jimeno, C. L. (1987). *Drilling and Blasting of Rocks ISBN 90 5410 1997*. Spain: Geoming Technological Institue of Spain.
- Konya, C. J. (1991). Rock Blasting and Overbreak Control. *National Highway Institute*, 132, 430.
- Konya, C.J. (1995). *Surface Blast Design*. Montville, Ohio: Intercontinental Development Corporation.
- Kuznetsov, Rammler. (1973). The Mean Diameter of The Fragments Formed by Blasting Rock. *Soviet Mining Science* 9, 144-148.
- Lilly, P. (1986). An Empirical Methode of Assessing Rock Muss Blastibility. *Proceedings of The Large Open Pit Planning Conference* (hal. 89-92). Parkville, Victoria: Australian IMM.
- Novrianto. (2020). *Analisis Pengaruh Geometri Peledakan terhadap Flyrock Hasil Peledakan Di PT. Bintang Sumatra Pacific Kec. Pangkalan Kab. Lima Puluh Kota Provinsi Sumatera Barat*. Padang: Sekolah Tinggi Teknologi Industri Padang.
- Nurcahya, Z. Z. (2015). Pemodelan Geometri Peledakan dengan Menggunakan Persamaan R.L. Ash untuk Mengethau tingkat Fragmentasi pada Kuari Batuan Andesit PT Batu

- Sarana Persada, Kecamatan Cigudeg, Kabupaten Bogor, Jawa Barat. *Prosiding Teknik Pertambangan*, 1-9.
- Permanda, N. (2020). Evaluasi Geometri Peledakkan Berdasarkan Pengaruh Perhitungan Blastability Index Untuk Mendapatkan Fragmentasi Ideal Pada Front Penambangan Di PT. Ansar Terang Crushindo 1 Pangkalan Koto Baru Kabupaten Lima Puluh Kota Sumatera Barat. . *Junal Bina Tambang*, 187-197.
- Singh, P. K. (2013). *Rock Fragmentation by Blasting*. India: Central Institute of Mining and Fuel Research (CSIR).
- Sitorus, D. M. (2021). Rock Engineering Systems (Res) Method As A Fragmentation Prediction Of Rock Blasting At Quarry Bukit Karang Putih Pt Semen Padang West Sumatera. *SSRG International Journal of Geo-informatics and Geological Science*, 29-41.
- Smith, J. &. (2023). The Role of Inductive Reasoning in Qualitative Research. *Journal of Qualitative Studies*, 45-60.
- Soedarmo, D. (2008). Pengaruh Peledakan Terhadap Pit Wall dan Slope Design pada Tambang Terbuka. *Jurnal Rekayasa Sriwijaya Vol. 17*, 23-31.