

Optimasi Geometri Peledakan Batu Gamping Berbasis Analisis Fragmentasi untuk Mencapai Target Produksi

Julian Fawwaz Rabbani *, Yuliadi, Zaenal

Prodi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Islam Bandung, Indonesia.

julianfawwaz12@gmail.com, yuliadi@unisba.ac.id, zaenal.mq66@gmail.com

Abstract. PT United Tractors Semen Gresik (UTSG) experiences blasting fragmentation problems in limestone mining, where the percentage of boulders larger than 80 cm reaches 33.46%, exceeding the company target of less than 20%. This condition negatively affects production performance and increases the need for secondary breaking. This study aims to analyze the influence of blasting geometry parameters on fragmentation quality and to propose an optimal blasting geometry to achieve production targets. The study was conducted at eight blasting locations using digital image fragmentation analysis, the Kuz-Ram prediction model, and Multiple Linear Regression (MLR). Statistical analysis was carried out using Spearman correlation and multiple linear regression. The results show that the Powder Factor (PF) is the most dominant parameter affecting fragmentation, with a correlation coefficient of -0.975. The average PF applied (0.160 kg/ton) is below the optimal range for limestone. The MLR model provides the highest accuracy with a coefficient of determination (R^2) of 0.8464. The recommended blasting geometry—burden 2.2 m, spacing 3 m, stemming 2.2 m, hole depth 8 m, and PF 0.266 kg/ton—is predicted to reduce the boulder percentage to 1.663%.

Keywords: *Blasting geometry, fragmentation, powder factor.*

Abstrak. PT United Tractors Semen Gresik (UTSG) menghadapi permasalahan fragmentasi hasil peledakan batu gamping, di mana persentase bongkah (boulder) berukuran lebih dari 80 cm mencapai 33,46%, melebihi target perusahaan yaitu kurang dari 20%. Kondisi tersebut berdampak langsung terhadap ketercapaian target produksi dan meningkatkan kebutuhan secondary breaking. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh parameter geometri peledakan terhadap kualitas fragmentasi serta menyusun rekomendasi geometri peledakan optimal untuk mendukung pencapaian target produksi. Penelitian dilakukan pada delapan titik peledakan dengan pendekatan analisis fragmentasi menggunakan citra digital, model prediksi Kuz-Ram, dan metode Multiple Linear Regression (MLR). Analisis statistik dilakukan menggunakan uji korelasi Spearman dan regresi linier berganda. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Powder Factor (PF) merupakan parameter paling dominan yang mempengaruhi fragmentasi dengan koefisien korelasi sebesar -0,975. Nilai PF aktual sebesar 0,160 kg/ton berada di bawah kisaran optimum batu gamping. Model MLR memiliki tingkat akurasi tertinggi dengan koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,8464. Rekomendasi geometri peledakan optimal dengan burden 2,2 m, spasi 3 m, stemming 2,2 m, kedalaman lubang 8 m, dan PF 0,266 kg/ton diprediksi mampu menurunkan persentase boulder menjadi 1,663%.

Kata Kunci: Geometri peledakan, fragmentasi, powder factor.

A. Pendahuluan

Peledakan merupakan kegiatan pemberaian massa batuan secara kimia dengan menggunakan bahan peledak dan menjadi salah satu metode yang paling umum digunakan dalam penambangan batuan keras. Kegiatan peledakan yang dirancang dengan baik mampu mendukung produktivitas dan efisiensi operasi penambangan. Namun, penerapan teknik peledakan yang tidak tepat dapat menghasilkan kualitas fragmentasi yang kurang optimal, khususnya terbentuknya bongkah batuan berukuran besar, yang berdampak pada menurunnya kinerja alat gali muat serta meningkatnya kebutuhan *secondary breaking*.

PT United Tractors Semen Gresik merupakan perusahaan yang bergerak di bidang penambangan batu gamping sebagai bahan baku industri semen. Kegiatan penambangan dilakukan dengan metode tambang terbuka dan proses pemberaian batuan menggunakan peledakan. Berdasarkan kondisi aktual di lapangan, hasil peledakan masih menunjukkan persentase fragmentasi berukuran lebih dari 80 cm yang melebihi target perusahaan. Ukuran fragmentasi tersebut tidak sesuai dengan bukaan *jaw crusher* yang digunakan, sehingga menyebabkan proses pemuatan menjadi lebih lambat dan menghambat pencapaian target produksi harian.

Kualitas fragmentasi yang kurang baik dipengaruhi oleh berbagai parameter geometri peledakan, seperti burden, spasi, stemming, kedalaman lubang, serta powder factor. Nilai powder factor yang digunakan perusahaan relatif rendah dan belum berada pada kisaran optimum untuk batu gamping, sehingga energi peledakan yang dihasilkan belum cukup untuk menghasilkan fragmentasi yang seragam. Selain itu, karakteristik massa batuan yang relatif kompak dengan jarak rekahan yang lebar menyebabkan energi peledakan kurang terbantu oleh diskontinuitas alami batuan.

Berdasarkan kondisi tersebut, permasalahan dalam penelitian ini meliputi bagaimana pengaruh parameter geometri peledakan terhadap persentase fragmentasi oversize berukuran lebih dari 80 cm, bagaimana perbandingan hasil fragmentasi aktual dengan fragmentasi prediksi menggunakan metode Kuz-Ram dan Multiple Linear Regression, serta bagaimana rekomendasi geometri peledakan yang optimal untuk menurunkan persentase boulder dan meningkatkan capaian produksi. Adapun tujuan dari penelitian ini sebagai berikut:

1. Menganalisis hubungan antara parameter geometri peledakan dan kualitas fragmentasi.
2. Mengevaluasi tingkat fragmentasi oversize hasil peledakan.
3. Menyusun rekomendasi geometri peledakan yang optimal guna mendukung pencapaian target produksi di PT United Tractors Semen Gresik.

B. Metode

Metodologi penelitian yang digunakan dalam penelitian optimasi geometri peledakan batu gamping ini meliputi beberapa tahapan, yaitu sebagai berikut:

1. Teknik Pengambilan Data

Data primer diperoleh dari hasil pengamatan dan pengambilan data lapangan secara langsung serta belum dipublikasikan sebelumnya. Data primer yang dikumpulkan meliputi geometri peledakan aktual, antara lain burden, spacing, stemming, kedalaman lubang bor, panjang kolom isian bahan peledak, jumlah bahan peledak per lubang, powder factor, serta dokumentasi hasil fragmentasi peledakan.

Data sekunder berupa data yang telah tersedia sebelumnya dan diperoleh dari perusahaan serta literatur pendukung. Data sekunder yang dikumpulkan meliputi peta IUP dan peta lokasi peledakan, data geoteknik massa batuan, spesifikasi bahan peledak, serta referensi berupa buku, jurnal.

2. Teknik Pengolahan Data

Pengolahan data dilakukan dengan menganalisis hasil fragmentasi peledakan dan parameter pendukungnya. Fragmentasi aktual dianalisis menggunakan metode analisis citra digital untuk memperoleh distribusi ukuran fragmen dan persentase fragmentasi oversize (>80 cm). Selain itu, dilakukan perhitungan fragmentasi prediksi menggunakan metode Kuz-Ram dan Multiple Linear Regression (MLR). Pengolahan data juga meliputi perhitungan volume batuan per lubang, penggunaan bahan peledak, powder factor, serta perbandingan antara geometri peledakan aktual dan geometri peledakan usulan.

3. Teknik Analisis Data

Analisis data dilakukan dengan menganalisis hubungan antara parameter geometri peledakan dan hasil fragmentasi. Analisis korelasi digunakan untuk mengetahui tingkat hubungan antara masing-masing parameter geometri peledakan terhadap persentase fragmentasi oversize. Selanjutnya, analisis regresi linier berganda (Multiple Linear Regression) digunakan untuk mengetahui pengaruh simultan parameter geometri peledakan terhadap kualitas fragmentasi. Hasil analisis tersebut digunakan sebagai dasar dalam penyusunan rekomendasi geometri peledakan yang optimal guna menurunkan persentase fragmentasi oversize dan meningkatkan capaian target produksi.

C. Hasil Penelitian dan Pembahasan

Prediksi Fragmentasi Kuzram

Faktor Batuan yang digunakan pada penelitian ini menggunakan nilai pada penelitian sebelumnya, menurut Widanti (Widanti, 2022) untuk nilai RMD yang digunakan berdasarkan dari nilai Rock Quality Designation (RQD) sebesar 83,84%. Kemudian untuk menentukan klasifikasi RQD dari nilai tersebut menggunakan tabel menurut Terzaghi (Terzaghi, 1946), dimana nilai RQD 83,84% termasuk kedalam *moderately blocky*. Hasil klasifikasi tersebut digunakan untuk mendapatkan nilai RMD dengan klasifikasi menurut Lily (Lily, 1986) sebesar 20 (*blocky*). Menurut Widanti (Widanti, 2022) spasi bidang diskontinuitas (JPS) bernilai 50, dimana semakin rapat JPS memberi kelemahan alami yang mempermudah retakan dan memperhalus fragmentasi.

Kemudian nilai JPO sebesar 30, yang berarti orientasi bidang terhadap muka bebas kurang menguntungkan, sehingga pelepasan energi ke muka bebas tidak optimal. Nilai SGI menurut Lily (Lily, 1986) dapat diperoleh dari nilai bobot isi batuan, maka bobot nilai SGI sebesar 16. Kemudian nilai *Hardness* sebesar 3,4 Mohs.

Perhitungan persentase bongkah menggunakan persamaan *kuz-Ram*, Ukuran ayakan atau *Primary crusher* pada penelitian ini yaitu 80 cm, jika ukuran fragmentasi >80cm termasuk kedalam boulder atau oversize. Secara teoritis rata – rata batuan lolos ayakan sebesar 88,591%, Dimana hal tersebut menandakan bahwa geometri peledakan dipakai sangat baik.

Tabel 1. Prediksi Fragmentasi Kuzram

Blok	Persentase <80 cm (%)				Rata - Rata
	1	2	3	4	
ST18	89,02	87,45	82,74		86,403
P13	94,91	92,01	87,89		91,603
M16	93,1	86,5			89,800
M15	97,49	90,44	89,28		92,403
T14	88,21	83,27			85,740
N17	96,9	94,1	90,64	92,22	93,465
O17	95,27	90,09	89,15		91,503
RS17	95,8	97,77	91,55	82,57	91,923
	Rata - Rata				90,355

Fragmentasi Aktual Menggunakan Citra Digital Fragmentation

Analisis fragmentasi pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kualitas hasil peledakan berdasarkan distribusi ukuran butir material yang dihasilkan. Data fragmentasi diperoleh melalui dokumentasi foto hasil peledakan di lapangan yang kemudian dianalisis menggunakan analisis citra digital fragmentasi. Dari hasil pengolahan data ini dapat diketahui persentase material lolos, yang selanjutnya digunakan untuk mengevaluasi ketercapaian spesifikasi operasional crusher dan target produksi perusahaan.

Kegiatan peledakan menghasilkan rata-rata material yang lolos 80 cm sebesar 66,54%, sehingga 33,46% lainnya tergolong oversize (>80 cm). Hal tersebut mengindikasikan sekitar sepertiga

material masih oversize, sehingga berdampak pada waktu siklus pemuatan, meningkatkan penggunaan breaker/secondary blasting, serta berpotensi mengganggu kestabilan umpan ke crusher saat beban produksi tinggi.

Tabel 2. Fragmentasi Aktual

Blok	Fragmentasi Aktual Wipfrag	
	Persentase Material Lolos (%)	Persentase Material Tertahan (%)
ST18	71,42	28,58
P13	69,61	30,39
M16	67,3	32,7
M15	67,3	32,7
T14	64,16	35,84
N17	62,12	37,88
O17	63,15	36,85
RS17	67,26	32,74
Rata -Rata	66,54	33,46

Korelasi Geometri Peledakan terhadap Fragmentasi

Berdasarkan hasil analisis korelasi antara parameter geometri peledakan dan hasil fragmentasi batu gamping, diperoleh bahwa beberapa parameter menunjukkan hubungan yang kuat hingga sangat kuat terhadap persentase fragmentasi oversize (>80 cm). Parameter powder factor (PF) memiliki nilai koefisien korelasi paling tinggi dengan nilai sebesar -0,975 yang termasuk dalam kategori hubungan sangat kuat dan berbanding terbalik. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan nilai powder factor secara signifikan dapat menurunkan persentase fragmentasi oversize yang dihasilkan.

Selain powder factor, parameter burden dan stemming juga menunjukkan hubungan yang kuat terhadap fragmentasi. Nilai burden yang terlalu besar menyebabkan distribusi energi peledakan tidak merata sehingga menghasilkan bongkah berukuran besar. Sementara itu, stemming berperan sebagai penahan gas hasil detonasi, di mana stemming yang terlalu panjang dapat menahan energi berlebihan dan mengurangi efektivitas pemecahan batuan. Parameter lainnya seperti spasi dan kedalaman lubang menunjukkan hubungan yang cukup kuat, namun tidak sedominan powder factor.

Tabel 3. Korelasi Geometri Peledakan Terhadap Fragmentasi

Parameter Geometri	Nilai r (Korelasi)	Arah Hubungan	Kategori Hubungan
Burden	0,638	Positif	Kuat
Stemming	0,657	Negatif	Kuat
Kedalaman Lubang	0,736	Negatif	Kuat
Powder Column	0,737	Negatif	Kuat
Powder Factor	0,975	Negatif	Sangat Kuat

Multiple Linear Regression

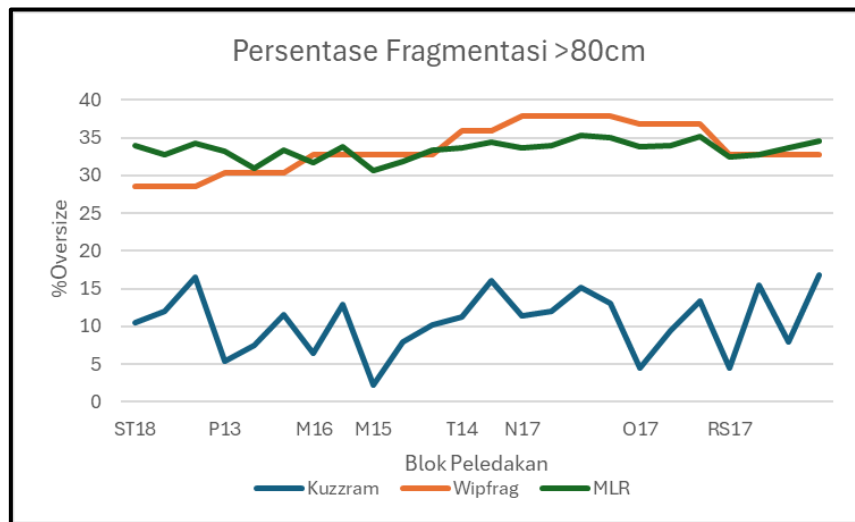
Variabel independen (X) dan variabel dependen (Y) diidentifikasi untuk menguji model regresi berdasarkan data yang telah dikumpulkan. Selanjutnya, perhitungan dilakukan melalui proses substitusi variabel menggunakan regresi linear berganda dan persamaan yang didapat digunakan untuk memprediksi hasil fragmentasi batuan.

Sehingga diperoleh persamaan untuk dapat mengetahui prediksi fragmentasi *oversize* pada lokasi penelitian

$$\% \text{ Oversize} = 55,401 - (1,107 \times \text{Burden}) - (7,355 \times \text{Stemming}) + (4,780 \times \text{PC}) - (140,491 \times \text{PF}) \quad \dots (1)$$

Perbedaan Persentase Fragmentasi Oversize

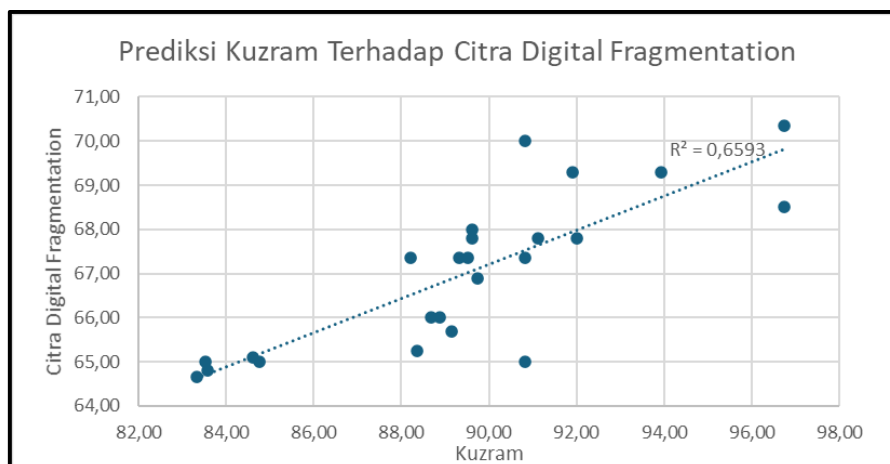
Dari hasil prediksi dengan fotografi menggunakan Citra Digital Fragmentasi, perhitungan teoritis menggunakan Kuz-Ram, prediksi statistik konvensional menggunakan Multiple Linear Regression mendapatkan hasil yang berbeda. Ukuran yang dianggap oversize yaitu boulder yang > 80 cm. Model MLR menunjukkan hasil yang paling mendekati pola Citra Digital Fragmentasi dengan mengikuti pola fluktuasi fragmentasi yang terjadi antar blok. Konsistensi ini menunjukkan bahwa MLR memiliki keterkaitan antara parameter geometri peledakan dengan hasil fragmentasi secara lebih realistis. Dengan demikian, model MLR dapat dianggap sebagai model prediksi fragmentasi yang paling representatif untuk diterapkan.



Gambar 1. Perbedaan Fragmentasi Oversize

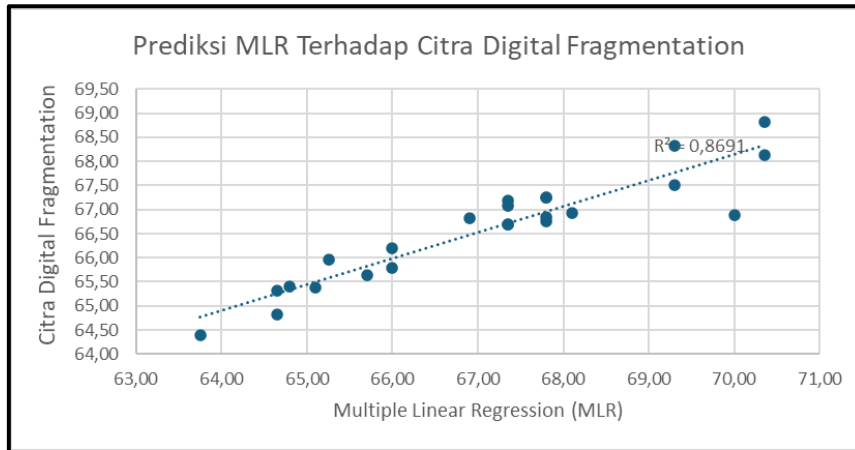
Hubungan Hasil Fragmentasi Aktual dengan Prediksi

Grafik scatter Kuzram terhadap Citra Digital Fragmentasi menunjukkan adanya hubungan positif yang cukup kuat dengan nilai R^2 sebesar 0,64, yang menandakan bahwa peningkatan nilai prediksi Kuzram cenderung diikuti oleh peningkatan fragmentasi aktual menurut Citra Digital Fragmentasi. Namun, ketika dibandingkan dengan grafik persentase fragmentasi >80 cm, terlihat bahwa prediksi Kuzram memiliki fluktuasi antarblok yang jauh lebih besar dibandingkan Citra Digital Fragmentasi dan MLR. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun Kuzram mampu mengikuti tren umum fragmentasi, model ini kurang stabil dalam memprediksi ukuran fragmen besar dan cenderung menghasilkan nilai yang lebih ekstrem.



Gambar 2. Prediksi Kuzram Terhadap Citra Digital Fragmentation

Grafik scatter MLR terhadap Citra Digital Fragmentasi, diperoleh nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,8464 yang menunjukkan bahwa model MLR memiliki kemampuan prediktif yang kuat dan mampu menjelaskan sebagian besar variasi fragmentasi yang diukur oleh Citra Digital Fragmentasi. Keeratan hubungan ini diperkuat oleh penyebaran titik data yang cenderung mengikuti garis regresi secara konsisten, menandakan error prediksi yang relatif rendah. MLR dalam hal ini menunjukkan pola yang sangat sejalan dengan Citra Digital Fragmentasi, dengan tren dan besaran nilai yang mendekati data aktual.

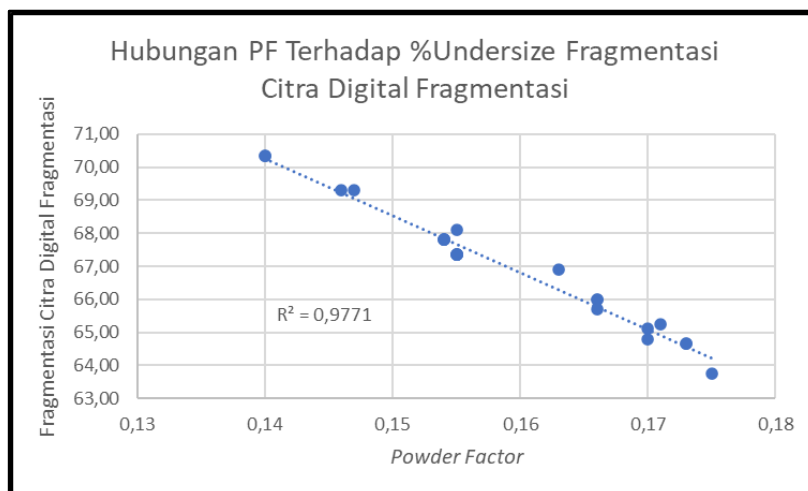


Gambar 3. Prediksi MLR Terhadap Citra Digital Fragmentation

Bagian ini memuat mengenai hasil-hasil penting dari penelitian yang telah dilakukan. Proses pengolahan dan analisis data dapat dituliskan di bagian ini. Misalnya langkah dalam pengolahan data dengan menggunakan metode atau algoritma tertentu. Kemudian dapat membahas mengenai interpretasi data. Diperbolehkan menggunakan sub bab, tanpa menggunakan *bullets and numbering*. Seperti ditunjukkan sebagai berikut ini.

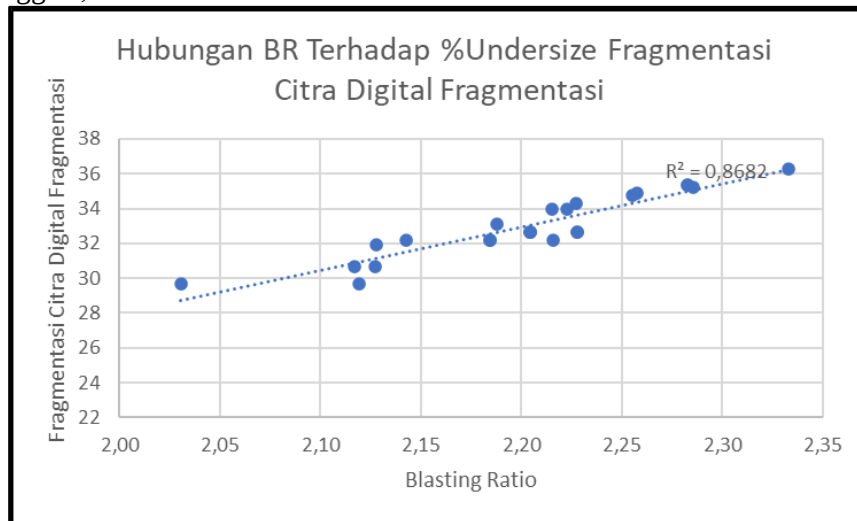
Pengaruh Parameter Geometri Peledakan terhadap fragmentasi

Powder factor memiliki korelasi paling kuat dengan fragmentasi ($r = -0,975$), menjadikannya parameter yang paling dominan dalam pengendalian ukuran fragmen. PF yang rendah berarti energi spesifik per ton batuan tidak mencukupi untuk menghasilkan tingkat fragmentasi yang diinginkan. Pada penelitian ini, PF rata-rata sebesar 0,16 kg/ton terbukti kurang memadai untuk memecahkan batuan gamping secara optimal. Peningkatan PF bukan hanya berpengaruh terhadap penurunan F80, tetapi juga meningkatkan keseragaman ukuran fragmen, mengurangi jumlah oversize, serta memperbaiki bentuk muckpile. Hal ini secara langsung berkontribusi pada kemudahan pencuplikkan oleh alat gali-muat dan peningkatan produktivitas keseluruhan.



Gambar 4. Pengaruh Parameter PF

Dalam penelitian ini, meskipun model Kuz-Ram menggunakan *blasting ratio* sebagai parameter prediksi fragmentasi. Hasil analisis menunjukkan bahwa *blasting ratio* berpengaruh positif signifikan terhadap persentase oversize fragmentasi, sedangkan *powder factor* berpengaruh negatif signifikan. Temuan ini sejalan dengan hubungan matematis *reciprocal* antara kedua variabel tersebut, di mana *blasting ratio* merupakan kebalikan dari *powder factor*. Dengan demikian, peningkatan *blasting ratio* akan menghasilkan fragmentasi yang lebih besar. Berdasarkan grafik hubungan antara *Blasting Ratio* dan %Undersize Fragmentasi Citra Digital Fragmentasi, diperoleh nilai koefisien determinasi sebesar 0,8682. Hal ini menunjukkan bahwa 86,82% variasi dalam persentase undersize fragmentasi dapat dijelaskan oleh perubahan nilai *Blasting Ratio*. Dengan rentang *Blasting Ratio* antara 2,00 hingga 2,35.



Gambar 5. Pengaruh Parameter *Blasting Ratio*

Rekomendasi Geometri Peledakan

Berdasarkan Tabel 4.12, model MLR menunjukkan kesesuaian yang sangat tinggi dengan data aktual Citra Digital Fragmentasi, baik dalam hal nilai persentase oversize maupun pola fluktuasi antarblok peledakan. Hal ini terjadi karena MLR dikembangkan secara spesifik berdasarkan data lapangan dari lokasi penelitian, sehingga mampu menangkap karakteristik batugamping di PT UTSG. Di sisi lain, model Kuz-Ram menunjukkan kecenderungan sistematis untuk memberikan prediksi yang terlalu tinggi, dengan nilai persentase *oversize* yang jauh lebih rendah dibandingkan data aktual. Penyimpangan ini terutama disebabkan oleh sifat Kuz-Ram sebagai model empiris umum yang tidak secara khusus disesuaikan dengan kondisi geoteknik, tipe bahan peledak, dan praktik operasional di Lokasi penelitian.

Berdasarkan hasil prediksi fragmentasi menggunakan metode Multiple Linear Regression (MLR) dan Kuz-Ram, dilakukan usulan geometri peledakan yang bertujuan untuk mencapai ukuran fragmentasi ≤ 80 cm yaitu $>80\%$ atau ukuran fragmentasi oversize > 80 cm yaitu $<20\%$. Dari hasil prediksi MLR, nilai R_c 80 cm berada pada nilai 1,6% hingga 12,08%.

Tabel 4. Usulan Geometri Peledakan

Usulan Geometri Peledakan					
Parameter	A	B	C	D	E
Diameter (Inch)	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
Burden (m)	2,2	2,2	2	2,2	2,2
Spacing (m)	3	3	3	3	3
Stemming (m)	1,7	2	1,6	1,7	2,2
Subdrill (m)	1	1	1	1	1
Tinggi Jenjang (m)	3	4	5	6	7
Kedalaman Lubang (m)	4	5	6	7	8

Usulan Geometri Peledakan					
PC (m)	2,3	3	4,4	5,3	5,8
Loading Density	5,29	5,29	5,29	5,29	5,29
Qe (kg)	12,167	15,87	23,276	28,037	30,68
Volume Setara (BCM)	19,8	26,4	30	39,6	46,2
Volume Setara (ton)	49,5	66	75	99	115,5
Powder Factor (kg/BCM)	0,614	0,601	0,776	0,708	0,664
Powder Factor (kg/ton)	0,246	0,240	0,310	0,283	0,266
Blasting Ratio (BCM/kg)	1,627	1,664	1,289	1,412	1,506
Faktor Batuan	8,955	8,955	8,955	8,955	8,955
Prediksi MLR					
Rx 80 cm (%)	11,286	12,083	1,663	9,645	11,258

D. Kesimpulan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa parameter geometri peledakan berpengaruh signifikan terhadap kualitas fragmentasi batu gamping di PT United Tractors Semen Gresik. Powder factor merupakan parameter paling dominan dengan nilai koefisien korelasi sebesar -0,975, yang menunjukkan hubungan sangat kuat dan berbanding terbalik terhadap persentase fragmentasi oversize (>80 cm). Fragmentasi aktual masih belum memenuhi target perusahaan dengan persentase oversize sebesar 33,46%. Perbandingan metode prediksi menunjukkan bahwa Multiple Linear Regression (MLR) memiliki tingkat akurasi terbaik dengan koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,8464 dibandingkan metode Kuz-Ram.

Berdasarkan hasil analisis, direkomendasikan geometri peledakan optimal dengan parameter burden 2,2 m, spasi 3 m, stemming 2,2 m, kedalaman lubang 8 m, dan powder factor sebesar 0,266 kg/ton. Penerapan geometri peledakan tersebut diprediksi mampu menurunkan persentase fragmentasi oversize menjadi 1,663%, sehingga memenuhi target perusahaan dan mendukung peningkatan produktivitas serta efisiensi operasi penambangan.

Ucapan Terimakasih

Penyusun ingin mengucapkan banyak terimakasih sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Dr. Ir. Yunus Ashari, M.T. selaku Ketua Prodi Teknik Pertambangan Universitas Islam Bandung;
2. Bapak Noor Fauzi Isniarno, S.Pd., S.Si., M.T. sebagai Sekretaris Program Studi Teknik Pertambangan Universitas Islam Bandung;
3. Bapak Ir. Zaenal, M.T. selaku Koordinator Skripsi dan Dosen Pembimbing yang senantiasa mengarahkan dalam kelancaran pelaksanaan kegiatan skripsi dan memberikan arahan kepada penyusun selama penyusunan skripsi;
4. Bapak Ir. Yuliadi, S.T., M.T., IPM. selaku Dosen Pembimbing Skripsi yang senantiasa membimbing dan memberikan arahan kepada penyusun selama penyusunan skripsi;
5. Penyusun mengucapkan terima kasih kepada PT United Tractor Semen Gresik yang memberikan kesempatan kepada Penyusun untuk melaksanakan penelitian.

Daftar Pustaka

- Afriyani, Yuliadi, & Elfida Moralista. (2025). Prediksi Airblast Akibat Kegiatan Peledakan Overburden Batubara. *Jurnal Riset Teknik Pertambangan*, 71–80. <https://doi.org/10.29313/jrtp.v5i1.6723>
- Muhammad Sundayana, Yuliadi, & Indra Karna Wijaksana. (2022). Analisis Hubungan Kerapatan Kekar dengan Tingkat Getaran Tanah Hasil Peledakan. *Jurnal Riset Teknik Pertambangan*, 133–140. <https://doi.org/10.29313/jrtp.v2i2.1411>

- Rosdiana, H., Ashari, Y., & Fauzi Isniarno, N. (2025). *Pengaruh Intensitas Curah Hujan terhadap Kegiatan Pemompaan pada Sump Berdasarkan Water Balance di PT XYZ A B S T R A K*. <https://journal.sbpublisher.com/index.php/minetech>
- Ahmad Husni, Toha, M. T., & Komar, S. (2020). Pengaruh Fragmentasi dan Getaran Tanah Akibat Peledakan Terhadap Produktivitas Alat Gali Muat Dan Kestabilan Lereng. *Jurnal Pertambangan*, 4 (3).
- Ampulembang, N. A., Saliman, H., & Hartami, P. N. (2020). Analisis fragmentasi peledakan overburden tiap tumpukan dan pengaruhnya terhadap waktu gali. *Indonesian Mining and Energy Journal*
- Davis, J. C. (2002). *Statistical Methods in Geology* (3rd Edition). John Wiley & Sons.
- F.R. Assegaff. 2020. Optimasi Produksi Batugamping Berdasarkan Kondisi Struktur Geologi Untuk Rancangan Geometri Peledakan. *Jurnal Geologi dan Sumberdaya Mineral*.
- Field, A. (2018). *Discovering Statistics Using IBM SPSS Statistics* (5th Edition). Sage Publications.
- Hair, J. F., Black, W. C., Babin, B. J., & Anderson, R. E. (2019). *Multivariate Data Analysis* (Eighth Edition). Cengage Learning.
- Hustrulid, W. A. (1999). *Blasting Principles for Open Pit Mining*. Balkema.
- Iswandaru, & ETC. (2021). Modul Praktikum Teknik Peledakan Laboratorium Tambang Universitas Islam Bandung 2021/2022.
- Kepmen No 1827 K/30/MEM/2018. “Pedoman Pelaksanaan Kaidah Teknik Pertambangan yang Baik”. Menteri Energi dan Sumberdaya Mineral Republik Indonesia.
- Lilly, P. A. (1986). An empirical method of assessing rock mass blastability. *In: Proceedings of the Large Open Pit Mining Conference* (pp. 82-92). The Australasian Institute of Mining and Metallurgy.
- Roy, Pijush Pal. 2005. *Rock Blasting : Effect and Operations*. A A Balkema Publisher Leiden. Neitherland.
- Shodik, Fajar. (2019). Analisis Penentuan Optimum *Intershot Delay Timing* Dengan *Signature Hole Analysis Methode* Dan Penentuan Isian BahanPeledak Maksimum Per *Delay* Untuk Mengontrol Getaran Tanah Hasil Peledakan *Overburden* Pada CV Panghegar *Jobsite* Adaro, Tabalong Kalimantan Selatan. Fakultas Teknik Universitas Islam Bandung 2019 M / 1440 H.
- Situmorang, C. R. (2015). Analisis Getaran Tanah (Ground Vibration) Hasil Peledakan Overburden Di Site Tambang Air Laya Selatan PT. Bukit Asam (Persero), TBK Tanjung Enim Sumatera Selatan. Jurusan Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang, Padang.
- Sundoyo, & Lande, K. A. (2018). Analisis Ground Vibration Pada Kegiatan Peledakan Batuan Penutup Yang Aman Terhadap Bangunan Pada PT. Rinjani Kartanegara Site Bakungan Kecamatan Loa Janan Provinsi Kalimantan Timur. *Jurnal Geologi Pertambangan*, 4 (23), 19-30.
- Terzaghi, K. (1946). *Theoretical soil mechanics*. John Wiley & Sons.

- Triananda, A., Hartami, P. N., & Patian, S. (2018). Analisis rancangan peledakan untuk memenuhi ukuran fragmentasi di Pit BRE, PT Kalimantan Prima Persada, Jobsite Rantau, Kalimantan Selatan. *Indonesian Mining and Energy Journal*, 1(1), 17–28.
- Widanti, B. C. (2022). *Analisis fragmentasi batuan hasil dari kegiatan peledakan pada penambangan batugamping di PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk Pabrik Rembang Jawa Tengah* (Skripsi, Institut Teknologi Yogyakarta).