



# Analisis Fragmentasi Hasil Peledakan Terhadap Pembongkaran Overburden Pada PIT 4 Middle di PT. Victor Dua Tiga Mega, Kalimantan Tengah

Geraldho T. Simatupang<sup>1\*</sup>, Noveriady<sup>2</sup>, Dody A. K. Wijaya<sup>3</sup>

<sup>1-3</sup> Universitas Palangka Raya, Indonesia

Email: [geralsimatupang88@gmail.com](mailto:geralsimatupang88@gmail.com)<sup>1\*</sup>, [noveriady@mining.upr.ac.id](mailto:noveriady@mining.upr.ac.id)<sup>2</sup>, [dodywijaya@mining.upr.ac.id](mailto:dodywijaya@mining.upr.ac.id)<sup>3</sup>

\*Penulis Korespondensi: [geralsimatupang88@gmail.com](mailto:geralsimatupang88@gmail.com)

**Abstract.** *Blasting is a critical method for overburden removal in open-pit coal mines, where fragmentation quality directly impacts loading efficiency and operational costs. This study aims to analyze the actual fragmentation resulting from overburden blasting at Pit 4 Middle of PT. Victor Dua Tiga Mega, Central Kalimantan, to predict fragmentation using the Kuz-Ram model, and to evaluate the conformity of both results against the company standard (boulder size  $\leq 144.6$  cm or  $\geq 50$  cm for analysis). The research employed a quantitative comparative method. Primary data included blasting geometry and photographs of muck piles from 10 blasting events, which were analyzed using WipFrag software to obtain actual fragmentation distribution. Secondary data comprised rock characteristics and explosive properties for Kuz-Ram prediction input. The results showed significant variation in actual boulder percentage ( $\geq 50$  cm), ranging from 6.19% to 32.91% with an average of 16.05% (medium category). Statistical analysis revealed a very weak negative correlation ( $r = -0.21$ ) between powder factor (PF) and boulder percentage, indicating that PF is not the dominant factor within the consistent application range (0.21-0.23 kg/bcm). Comparison with Kuz-Ram predictions showed that the model consistently over-predicted coarse material, with an average difference of +25.21%, suggesting the need for rock factor (A) recalibration. It is concluded that the blasting results are inconsistent, strongly influenced by uncontrollable factors such as geological conditions. Recommendations include geometri evaluation, particularly burden and spacing, and calibration of the Kuz-Ram model for more accurate future predictions.*

**Keywords:** *Blasting; Boulder; Fragmentation; Kuz-Ram; Overburden; WipFrag.*

**Abstrak.** Kualitas fragmentasi hasil peledakan overburden sangat menentukan efisiensi operasi penambangan. Penelitian ini bertujuan menganalisis fragmentasi aktual dan prediktif di Pit 4 Middle PT. Victor Dua Tiga Mega, Kalimantan Tengah, serta mengevaluasi kesesuaiannya dengan standar perusahaan ( $\leq 144,6$  cm). Metode yang digunakan adalah analisis citra digital dengan perangkat lunak WipFrag pada 10 event peledakan untuk mendapatkan fragmentasi aktual (% boulder  $\geq 50$  cm). Hasilnya dibandingkan dengan prediksi teoritis menggunakan metode Kuz-Ram dan dikorelasikan dengan parameter peledakan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa meskipun parameter peledakan seperti powder factor (rata-rata 0,218 kg/bcm) dan geometri relatif konsisten, fragmentasi aktual bervariasi lebar dari 6,19% hingga 32,91% (rata-rata 16,05% boulder). Analisis korelasi memperlihatkan hubungan yang sangat lemah ( $r = -0,21$ ) antara powder factor dan persentase boulder, mengindikasikan dominasi faktor geologi tak terkendali. Perbandingan dengan prediksi Kuz-Ram menunjukkan bahwa model teoritis cenderung memprediksi fragmentasi lebih kasar (rata-rata selisih +25,21%) dari aktual, menandakan perlunya kalibrasi ulang faktor batuan (A). Disimpulkan bahwa fragmentasi di lokasi penelitian belum konsisten dan standar perusahaan belum tercapai secara optimal. Rekomendasi teknis yang diberikan adalah optimasi geometri peledakan (misalnya, memperkecil burden dan spasi) serta kalibrasi model prediksi untuk mengakomodasi karakteristik batuan setempat guna meningkatkan keseragaman fragmentasi dan efisiensi alat muat.

**Kata kunci:** Batulempung; Fragmentasi; Kuz-Ram; Overburden; Peledakan; WipFrag.

## 1. LATAR BELAKANG

Kegiatan pembongkaran overburden (lapisan penutup) merupakan tahap krusial dalam rantai produksi tambang terbuka batubara. Metode peledakan (blasting) menjadi pilihan utama ketika material overburden telah kompak dan tidak dapat digali secara langsung oleh alat gali-muat mekanis (ripping) (Yılmaz, 2024). Keberhasilan operasi peledakan tidak hanya diukur

dari volume batuan yang terbongkar, tetapi juga dari kualitas fragmentasi batuan yang dihasilkan. Fragmentasi, atau distribusi ukuran batuan hasil ledakan, menjadi indikator kinerja kunci karena berpengaruh langsung terhadap efisiensi proses pembongkaran dan produktivitas alat muat (Hutagaol et al., 2024; Sunyoto & Kopa, 2021). Fragmentasi yang optimal, dengan ukuran seragam dan sesuai kapasitas alat, akan meminimalkan waktu gali-muat (digging time), mengurangi konsumsi bahan bakar, serta menekan biaya operasional secara keseluruhan.

Sebaliknya, fragmentasi yang buruk ditandai dengan tingginya proporsi bongkahan berukuran besar (boulder) atau material halus berlebihan dapat menimbulkan serangkaian masalah operasional. Bongkahan besar (oversize) memerlukan proses peremukan sekunder (secondary breaking) yang memakan waktu dan biaya tambahan, meningkatkan keausan alat gali-muat, serta berpotensi menimbulkan risiko keselamatan kerja (Pramuja et al., 2020). Oleh karena itu, upaya untuk merancang geometri peledakan yang tepat guna menghasilkan fragmentasi sesuai target menjadi fokus strategis dalam manajemen operasi tambang.

Secara teoritis, hasil fragmentasi ditentukan oleh interaksi kompleks antara faktor yang dapat dikendalikan (controllable factors) dan faktor yang tidak dapat dikendalikan (uncontrollable factors). Faktor terkendali meliputi geometri peledakan (burden, spasi, diameter lubang, stemming, subdrilling), jenis dan jumlah bahan peledak (powder factor), serta pola peledakan. Sementara itu, faktor tak terkendali mencakup karakteristik massa batuan, struktur geologi, dan kondisi air tanah (Ashby, 2021; Konya & Walter, 2020). Untuk memprediksi dan mengevaluasi fragmentasi, para praktisi dan akademisi telah mengembangkan berbagai pendekatan. Metode prediktif seperti model Kuz-Ram, yang dikembangkan oleh Cunningham (1983) dan telah mengalami berbagai penyempurnaan, masih banyak digunakan karena kemampuannya mengintegrasikan parameter geometri, energi bahan peledak, dan karakteristik batuan dalam memprediksi ukuran fragmentasi rata-rata dan distribusinya (Shirani et al., 2020). Di sisi lain, kemajuan teknologi memungkinkan evaluasi fragmentasi aktual di lapangan secara kuantitatif dan objektif melalui analisis citra digital menggunakan perangkat lunak seperti WipFrag (Maerz et al., 2021).

PT. Victor Dua Tiga Mega, sebagai perusahaan pemegang Izin Usaha Pertambangan (IUP) di Kalimantan Tengah, secara rutin melakukan kegiatan peledakan untuk membongkar overburden di Pit 4 Middle. Perusahaan telah menetapkan standar ukuran fragmentasi maksimum yang diizinkan, yaitu sebesar 1/3 kapasitas bucket excavator PC1250-SP atau setara dengan  $\leq 144,6$  cm, untuk menjamin kelancaran proses pemuatan dan pengangkutan. Namun, berdasarkan observasi awal di lapangan, ditemukan indikasi bahwa hasil fragmentasi pada

beberapa kali peledakan masih menunjukkan proporsi boulder yang signifikan, yang berpotensi menghambat produktivitas alat gali-muat.

Meskipun metode Kuz-Ram dan perangkat lunak WipFrag telah banyak digunakan secara terpisah dalam berbagai studi untuk mengevaluasi fragmentasi (Taiwo et al., 2024), masih terbatas penelitian yang secara komparatif mengintegrasikan kedua pendekatan tersebut untuk memvalidasi hasil fragmentasi aktual terhadap prediksi teoritis, khususnya pada formasi batulempung (claystone) di wilayah Barito Utara, Kalimantan Tengah. Studi-studi terdahulu lebih banyak berfokus pada optimasi geometri semata tanpa melakukan pembahasan mendalam mengenai faktor penyebab diskrepansi antara hasil aktual dan prediksi, serta implikasinya terhadap strategi optimasi ke depan (Rachman et al., 2023) Celah penelitian (research gap) inilah yang mendorong perlunya dilakukan kajian yang lebih komprehensif.

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk: (1) menganalisis fragmentasi aktual hasil peledakan overburden di Pit 4 Middle PT. Victor Dua Tiga Mega menggunakan perangkat lunak WipFrag; (2) memprediksi distribusi ukuran fragmentasi pada lokasi yang sama dengan metode Kuz-Ram; dan (3) mengevaluasi kesesuaian hasil fragmentasi aktual dan prediktif terhadap standar yang ditetapkan perusahaan serta merumuskan rekomendasi teknis untuk optimasi geometri peledakan. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi praktis bagi perusahaan dalam meningkatkan efisiensi pembongkaran overburden dan kontribusi teoretis dalam pengayaan studi komparasi metode evaluasi fragmentasi di industri pertambangan Indonesia.

## **2. METODE PENELITIAN**

Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif komparatif dengan pendekatan studi kasus di Pit 4 Middle PT. Victor Dua Tiga Mega, Kalimantan Tengah. Tujuan utama penelitian adalah untuk membandingkan fragmentasi aktual hasil peledakan dengan prediksi teoritis serta mengevaluasinya terhadap standar perusahaan.

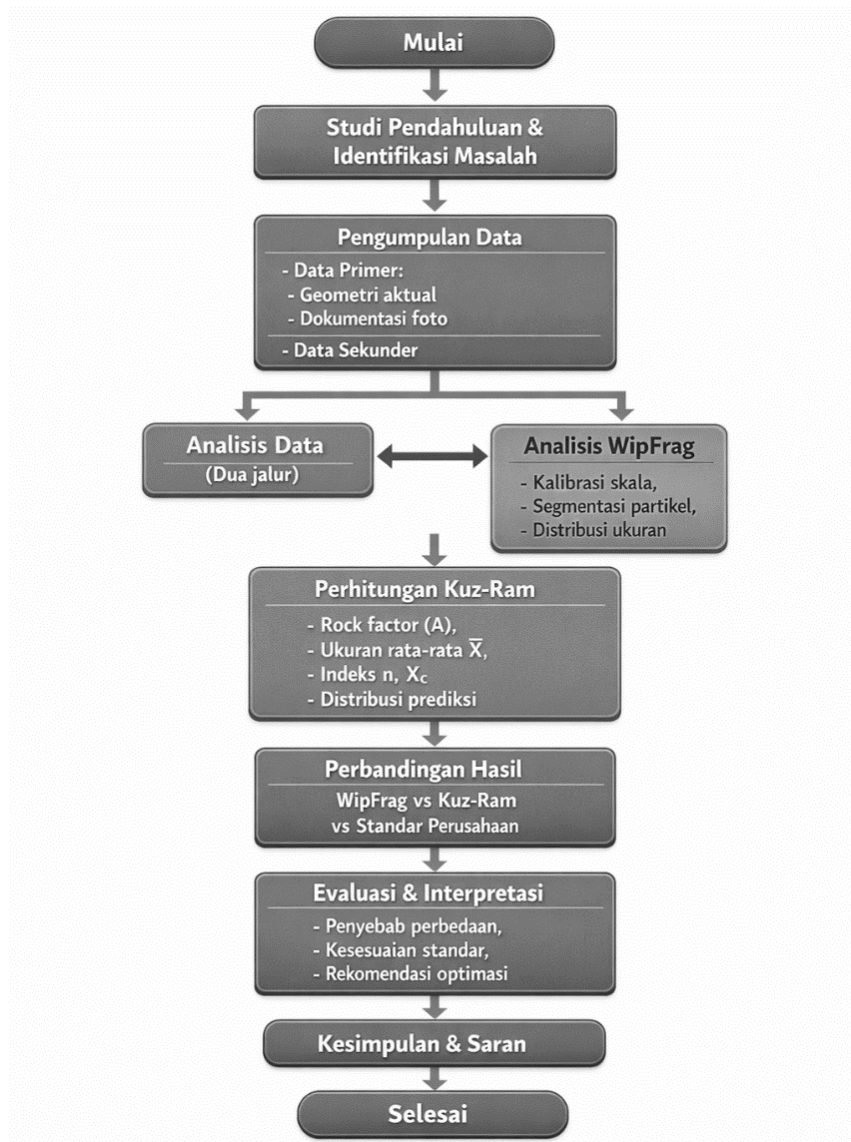
Data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari data primer dan sekunder. Data primer diperoleh melalui dokumentasi citra foto batuan hasil peledakan dari 10 event peledakan yang representatif. Foto-foto tersebut diambil dengan skala referensi yang jelas untuk memungkinkan kalibrasi ukuran. Selanjutnya, citra dianalisis menggunakan perangkat lunak berbasis analisis citra digital, yaitu WipFrag, untuk mendapatkan distribusi ukuran fragmentasi aktual. Parameter utama yang dihasilkan dari analisis WipFrag adalah persentase boulder (batuan berukuran  $\geq 50$  cm), yang menjadi indikator kualitas fragmentasi.

Data sekunder dikumpulkan dari dokumen perusahaan, meliputi: (1) desain geometri peledakan aktual (kedalaman lubang, panjang stemming, burden, spasi, diameter lubang), (2) data pengisian bahan peledak untuk menghitung Powder Factor (PF), (3) karakteristik massa batuan (densitas, kuat tekan) dari formasi batulempung (claystone) setempat, dan (4) laporan harian kegiatan peledakan. Data geometri dan bahan peledak ini digunakan sebagai parameter masukan untuk metode prediksi Kuz-Ram.

Metode Kuz-Ram dipilih untuk memprediksi distribusi ukuran fragmentasi secara teoritis. Model ini mengintegrasikan faktor batuan (rock factor A), parameter geometri, dan energi bahan peledak. Faktor batuan (A) ditentukan berdasarkan karakteristik batuan setempat, yaitu nilai 4,35 untuk batulempung (claystone) berdasarkan literatur dan rekomendasi teknis. Perhitungan dilakukan untuk memprediksi persentase material yang tertahan pada ukuran tertentu (dalam analisis ini, ukuran <83 cm digunakan sebagai proksi pembanding terhadap boulder aktual).

Analisis data dilakukan dalam beberapa tahap. Pertama, analisis statistik deskriptif untuk menggambarkan sebaran data fragmentasi aktual dan prediktif (rata-rata, standar deviasi, nilai minimum, dan maksimum). Kedua, analisis korelasi sederhana (Pearson) untuk menguji hubungan antara Powder Factor (PF) sebagai variabel independen dengan persentase boulder aktual sebagai variabel dependen. Ketiga, analisis komparatif dengan membandingkan hasil fragmentasi aktual dari WipFrag dengan hasil prediksi Kuz-Ram untuk mengevaluasi tingkat akurasi dan kecenderungan model prediksi. Hasil dari kedua pendekatan tersebut kemudian dievaluasi kesesuaiannya dengan standar perusahaan, yaitu ukuran fragmentasi maksimum  $\leq 144,6$  cm ( $1/3$  kapasitas bucket excavator PC1250-SP) untuk kemudian dirumuskan rekomendasi teknisnya.

Untuk mempermudah pemahaman alur penelitian, berikut disajikan diagram alir yang menggambarkan tahapan dari awal hingga akhir:



**Gambar 1.** Bagan Alir Penelitian.

Diagram alir pada gambar 1. menggambarkan bahwa penelitian dimulai dengan studi pendahuluan, kemudian pengumpulan data. Analisis data dilakukan melalui dua jalur: analisis fragmentasi aktual dengan WipFrag dan prediksi dengan Kuz-Ram. Hasil keduanya dibandingkan dan dievaluasi terhadap standar perusahaan untuk menarik kesimpulan dan rekomendasi.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### Rekapitulasi Data Geometri Peledakan dan Fragmentasi Aktual

Untuk memudahkan analisis hubungan antara parameter peledakan dengan hasil fragmentasi, data geometri peledakan dan fragmentasi aktual dari 10 event peledakan direkapitulasi dalam Tabel 7. Parameter yang disajikan meliputi powder factor (PF) sebagai

representasi energi peledakan, kedalaman lubang dan stemming yang mempengaruhi distribusi energi, serta persentase boulder ( $\geq 50$  cm) sebagai indikator kualitas fragmentasi.

**Tabel 1.** Rekapitulasi Parameter Peledakan dan Fragmentasi Aktual

No	Tanggal	Jumlah Lubang	Kedalaman Rata-rata (m)	Stemming (m)	Powder Factor (kg/bcm)	Boulder Aktual ( $\geq 50$ cm) (%)	Kategori Fragmentasi
1	3 Jul 2025	101	5,5	2,5	0,22	7,76	Sangat Baik
2	5 Jul 2025	76	6,2	2,75	0,22	12,19	Baik
3	6 Jul 2025	100	5,0	2,5	0,21	16,95	Sedang
4	14 Jul 2025	109	6,2	2,75	0,21	6,19	Sangat Baik
5	15 Jul 2025	103	6,5	2,75	0,22	12,48	Baik
6	16 Jul 2025	96	5,4	2,5	0,22	21,33	Buruk
7	17 Jul 2025	38	5,5	2,5	0,21	32,91	Sangat Buruk
8	26 Jul 2025	50	6,0	2,75	0,22	12,23	Baik
9	28 Jul 2025	76	5,7	2,5	0,22	20,82	Buruk
10	30 Jul 2025	56	5,1	2,5	0,23	17,68	Sedang
<b>Rerata</b>		<b>80,5</b>	<b>5,76</b>	<b>2,6</b>	<b>0,218</b>	<b>16,05</b>	<b>Sedang</b>

Parameter peledakan menunjukkan tingkat konsistensi yang cukup tinggi antar event. Powder factor (PF) berada pada rentang yang sangat sempit yaitu 0,21–0,23 kg/bcm dengan nilai rata-rata 0,218 kg/bcm. Hal ini menunjukkan bahwa perusahaan telah menerapkan standar pengisian bahan peledak yang seragam pada setiap kegiatan peledakan. Demikian pula dengan panjang stemming yang berkisar antara 2,5–2,75 m (rata-rata 2,6 m) dan kedalaman lubang rata-rata 5,76 m, yang relatif konsisten mengingat standar deviasi kedalaman hanya 0,51 m.

Meskipun parameter utama peledakan relatif konsisten, hasil fragmentasi menunjukkan variasi yang cukup lebar. Persentase boulder ( $\geq 50$  cm) aktual bervariasi dari 6,19% (sangat baik) hingga 32,91% (sangat buruk), dengan rata-rata 16,05%. Variasi ini mengindikasikan bahwa faktor-faktor lain di luar parameter yang dikendalikan turut mempengaruhi kualitas fragmentasi.

Jika diamati lebih lanjut, event dengan PF 0,21 kg/bcm (3 event: 6, 14, 17 Juli) justru menunjukkan variasi fragmentasi yang sangat lebar: dari sangat baik (6,19%), sedang (16,95%), hingga sangat buruk (32,91%). Sementara itu, event dengan PF 0,22 kg/bcm (6 event) juga bervariasi dari sangat baik (7,76%) hingga buruk (21,33%). Hal ini memperkuat indikasi bahwa dalam rentang PF yang sempit, faktor lain lebih dominan dalam menentukan kualitas fragmentasi.

### Analisis Statistik Deskriptif Fragmentasi

Untuk memperoleh gambaran sebaran data fragmentasi, dilakukan analisis statistik deskriptif yang dirangkum dalam Tabel 2.

**Tabel 2.** Statistik Deskriptif Fragmentasi Hasil Peledakan

Parameter	N	Minimum	Maksimum	Rata-rata	Std. Deviasi
Fragmentasi Boulder WipFrag ( $\geq 50$ cm)	10	6,19%	32,91%	16,05%	7,86%

Fragmentasi Lolos WipFrag ( $\geq 50$ cm)	10	67,08%	96,12%	84,32%	8,46%
Fragmentasi Tertahan Kuz-Ram ( $< 83$ cm)	10	23,15%	68,73%	41,26%	12,98%
Fragmentasi Lolos Kuz-Ram ( $< 83$ cm)	10	31,27%	76,85%	58,74%	12,98%

Tabel 2 menunjukkan bahwa rentang fragmentasi aktual cukup lebar (6,19–32,91%), yang berarti kualitas peledakan belum sepenuhnya konsisten. Hal ini perlu menjadi perhatian karena variasi yang tinggi dapat menyulitkan perencanaan produksi dan efisiensi alat muat.

### Korelasi antara Powder Factor dan Fragmentasi

Untuk menguji sejauh mana powder factor mempengaruhi persentase boulder, dilakukan analisis korelasi sederhana. Data PF dan % boulder aktual diplot dan dihitung koefisien korelasinya.

**Tabel 3.** Korelasi antara Powder Factor dan Fragmentasi Boulder Aktual

No	PF (kg/bcm)	Boulder WipFrag (%)
1	0,22	7,76
2	0,22	12,19
3	0,21	16,95
4	0,21	6,19
5	0,22	12,48
6	0,22	21,33
7	0,21	32,91
8	0,22	12,23
9	0,22	20,82
10	0,23	17,68

Koefisien Korelasi (r) -0,21 (berlawanan arah, lemah)

Koefisien korelasi -0,21 menunjukkan hubungan yang sangat lemah dan berlawanan arah antara PF dan persentase boulder. Artinya, peningkatan PF tidak secara otomatis menurunkan boulder secara signifikan dalam rentang data yang ada. Hal ini menguatkan dugaan bahwa faktor lain (geometri, geoteknik) lebih dominan.

### Perbandingan Fragmentasi Aktual dan Prediktif

Untuk melihat tingkat akurasi metode Kuz-Ram, dilakukan perbandingan antara persentase boulder aktual ( $\geq 50$  cm) dengan prediksi material tertahan ( $< 83$  cm). Meskipun ukuran acuan berbeda, perbandingan ini dapat memberikan gambaran kecenderungan prediksi.

**Tabel 4.** Perbandingan Fragmentasi Aktual dan Prediksi Kuz-Ram

No	Tanggal	Aktual Boulder ( $\geq 50$ cm)	Prediksi Tertahan ( $< 83$ cm)	Selisih	Keterangan
1	3 Jul 2025	7,76%	42,5%	+34,74%	Prediksi lebih kasar
2	5 Jul 2025	12,19%	23,15%	+10,96%	Prediksi lebih kasar
3	6 Jul 2025	16,95%	45,93%	+28,98%	Prediksi lebih kasar
4	14 Jul 2025	6,19%	36,98%	+30,79%	Prediksi lebih kasar
5	15 Jul 2025	12,48%	37,21%	+24,73%	Prediksi lebih kasar
6	16 Jul 2025	21,33%	44,71%	+23,38%	Prediksi lebih kasar
7	17 Jul 2025	32,91%	37,0%	+4,09%	Mendekati aktual
8	26 Jul 2025	12,23%	25,50%	+13,27%	Prediksi lebih kasar
9	28 Jul 2025	20,82%	50,9%	+30,08%	Prediksi lebih kasar
10	30 Jul 2025	17,68%	68,73%	+51,05%	Prediksi jauh lebih kasar
Rerata Selisih				+25,21%	

Tabel 4 memperlihatkan bahwa metode Kuz-Ram cenderung memprediksi fragmentasi yang lebih kasar (lebih banyak material tertahan) dibandingkan kenyataan di lapangan, dengan rata-rata selisih +25,21%. Hanya pada event 17 Juli selisihnya relatif kecil (4,09%). Hal ini mengindikasikan bahwa nilai rock factor (A) yang digunakan (4,35 untuk claystone) mungkin terlalu besar, atau asumsi geometri ideal dalam perhitungan n tidak sepenuhnya terpenuhi di lapangan. Kalibrasi ulang nilai A berdasarkan data aktual sangat disarankan untuk meningkatkan akurasi prediksi di masa mendatang.

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis terhadap 10 event peledakan di Pit 4 Middle, dapat disimpulkan bahwa fragmentasi aktual hasil peledakan overburden menunjukkan variabilitas yang tinggi (6,19% hingga 32,91%) meskipun parameter peledakan seperti powder factor dan geometri relatif konsisten. Hal ini mengindikasikan bahwa faktor geologi seperti struktur dan diskontinuitas massa batuan lebih dominan dalam mempengaruhi hasil fragmentasi dibandingkan variasi kecil pada parameter yang dikendalikan. Analisis korelasi memperkuat temuan ini dengan menunjukkan hubungan yang sangat lemah ( $r = -0,21$ ) antara peningkatan powder factor dan penurunan persentase boulder. Lebih lanjut, perbandingan antara hasil aktual dengan prediksi metode Kuz-Ram menunjukkan bahwa model teoritis cenderung memprediksi fragmentasi yang jauh lebih kasar (rata-rata selisih +25,21%) dari kondisi aktual di lapangan,

yang mengindikasikan bahwa nilai faktor batuan (A) yang digunakan perlu dikalibrasi ulang dengan data aktual. Dengan demikian, untuk mencapai fragmentasi yang lebih optimal dan konsisten sesuai standar perusahaan, rekomendasi optimasi tidak dapat hanya berfokus pada penyesuaian powder factor, melainkan harus mempertimbangkan penyesuaian geometri peledakan (misalnya, memperkecil burden dan spasi) untuk mengakomodasi kondisi batuan setempat serta melakukan validasi berkala terhadap model prediksi yang digunakan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ashby, J. P. (2021). *Production blasting in open cut mines: A practical guide*. CRC Press.
- Fitri, S. L., et al. (2021). *Evaluasi kegiatan peledakan untuk mencapai target fragmentasi batuan  $\leq 50$  cm (Studi kasus: PT Lotus SG Lestari)* (Bachelor's thesis, UIN Syarif Hidayatullah Jakarta).
- Hutaqal, R., Dwiatmoko, M. U., & Fikri, H. N. (2024). Analisis hubungan fragmentasi hasil peledakan dengan *digging time* pada material *overburden* di PT Darma Henwa. *Jurnal Himasapta*, 9(2), 109–114.
- Konya, C. J., & Walter, E. J. (2020). *Rock blasting: A practical guide for the mining, construction, and defense industries*. Precision Blasting Services.
- Maerz, N. H., Palangio, T. C., & Franklin, J. A. (2021). WipFrag: A decade of digital image analysis for rock fragmentation assessment. In *Proceedings of the 38th Annual Conference on Explosives and Blasting Technique* (pp. 1–12). ISEE.
- Pramuja, N. S., Wijaya, R. A. E., & Purnomo, H. (2020). Kajian teknis kualitas blasting terhadap pencapaian *digging time* alat gali muat *backhoe* Komatsu PC-2000 di Pit 4500B1 PT Pampersada Nusantara Jobsite TMM. *Mining Insight*, 1(1), 85–96.
- Rachman, M. G., Prasetyadi, C., Subandrio, A., & Krisnabudhi, A. (2022). Kondisi geologi dan analisa struktur geologi daerah Kecamatan Lahei, Murunggraya, dan sekitarnya, Kabupaten Barito Utara, Provinsi Kalimantan Tengah. *Jurnal Ilmiah Geologi PANGEA*, 9(1sp), 68–90.
- Shirani, S., Ebrahimi, M., & Ataei, M. (2020). A new approach for prediction of rock fragmentation in open-pit mines using multivariate regression analysis and artificial neural networks. *Journal of Mining and Environment*, 11(3), 815–829.
- Sunyoto, R. M., & Kopa, R. (2021). Analisis pengaruh geometri peledakan terhadap fragmentasi hasil peledakan serta *digging time* dan produktivitas alat gali muat pada TAMKA PT Allied Indo Coal Jaya, Kota Sawahlunto. *Bina Tambang*, 6(1), 88–99.
- Taiwo, B. O., Palangio, A., Savaliya, C., & Patel, J. (2024). *Practical guidelines for utilizing WipFrag software to assess oversize blast material using both orthomosaic and digital images*.
- Yılmaz, Ö. (2024). An alternative approach to burden estimation based on targeted mean fragment size using rock fragmentation models. *Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi*, 14(3), 36–43.

