

Implementasi MATLAB Dalam Perencanaan Pola Peledakan Zig-Zag Pada *Hard Rock* PT Indexim Coalindo Kabupaten Kutai Timur Provinsi Kalimantan Timur

(Implementation of MATLAB in Planning Zig-Zag Blasting Patterns on Hard Rock at PT Indexim Coalindo, East Kutai Regency, East Kalimantan Province)

Maria Arnesta¹, Frengky Seky Banunaek², Woro Sundari³, Ika Fitri Krisnasiwi⁴

Teknik Pertambangan Universitas Nusa Cendana¹²³⁴
nestadama310@gmail.com

Abstrak

Kegiatan peledakan merupakan salah satu tahapan kritis dalam penambangan *hard rock*. Perencanaan geometri dan pola peledakan yang tepat sangat menentukan kualitas fragmentasi batuan, efisiensi alat gali muat, serta pencapaian target produksi. Penelitian ini bertujuan untuk mengimplementasikan MATLAB sebagai alat bantu komputasi dalam perencanaan pola peledakan zig-zag pada lapisan batuan keras (*hard rock*) di PT Indexim Coalindo, Kabupaten Kutai Timur, Provinsi Kalimantan Timur. Pendekatan yang digunakan meliputi perhitungan geometri peledakan berdasarkan metode C.J. Konya (1990), dan visualisasi pola lubang ledak menggunakan pemrograman MATLAB. Hasil penelitian menunjukkan bahwa implementasi MATLAB mampu mengotomasi perhitungan parameter geometri peledakan (*burden*, *spasi*, *stemming*, *subdrilling*, *kedalaman lubang*, dan *powder factor*) serta menghasilkan visualisasi pola peledakan zig-zag yang akurat.

Kata Kunci: geometri peledakan, MATLAB, pola peledakan zig-zag

Abstract

*Blasting is one of the critical stages in hard rock mining. Proper planning of blasting geometry and patterns largely determines rock fragmentation quality, loading equipment efficiency, and the achievement of production targets. This study aims to implement MATLAB as a computational tool for planning zig-zag blasting patterns on hard rock layers at PT Indexim Coalindo, East Kutai Regency, East Kalimantan Province. The approach used includes blast geometry calculation based on the C.J. Konya (1990) method, and blast hole pattern visualization using MATLAB programming. The results show that MATLAB implementation effectively automates the calculation of blasting geometry parameters (*burden*, *spacing*, *stemming*, *subdrilling*, *hole depth*, and *powder factor*) and produces accurate zig-zag blasting pattern visualization.*

Keywords: *blasting geometry, MATLAB, zig-zag blasting pattern*

PENDAHULUAN

Industri pertambangan, khususnya pada kegiatan penambangan batubara dengan lapisan batuan keras (*hard rock*) sebagai *overburden*, memerlukan metode pemboran dan peledakan sebagai tahapan utama dalam proses pembongkaran material. PT Indexim Coalindo yang berlokasi di Kabupaten Kutai Timur, Provinsi Kalimantan Timur, merupakan salah satu perusahaan tambang batubara yang menghadapi tantangan tersebut, di mana kekerasan batuan penutup melebihi kemampuan alat gali langsung sehingga kegiatan peledakan menjadi mutlak diperlukan.

Peledakan merupakan kegiatan pemecahan suatu material (batuan) atau *overburden* menggunakan bahan peledak. Keberhasilan kegiatan peledakan dapat dinilai dari beberapa parameter, antara lain tercapainya target peledakan yang direncanakan dan tercapainya ukuran fragmentasi batuan sesuai rencana. Fragmentasi batuan hasil peledakan yang baik dicirikan dengan ukuran merata dan sedikit bongkahan (*Boulder*), yang selanjutnya berpengaruh langsung terhadap produktivitas alat gali muat melalui *digging time* dan *bucket fill factor*.

Salah satu faktor kunci yang menentukan kualitas peledakan adalah geometri peledakan, yang meliputi *burden*, *spasi*, *stemming*, *subdrilling*, kedalaman lubang ledak, dan *powder factor*. Beberapa

metode telah dikembangkan untuk merancang geometri peledakan secara ilmiah, di antaranya metode R.L. Ash (1967) dan C.J. Konya (1990). Metode C.J. Konya (1990) dikenal lebih komprehensif karena tidak hanya mempertimbangkan faktor bahan peledak dan sifat batuan, tetapi juga memperhitungkan faktor koreksi terhadap posisi lapisan batuan, keadaan struktur geologi, serta jumlah lubang ledak yang diledakkan.

Pola peledakan zig-zag (*Staggered pattern*) dipilih karena distribusi energi ledakan yang lebih merata dibandingkan pola persegi (*Square pattern*), sehingga menghasilkan fragmentasi yang lebih seragam dan meminimalkan terbentuknya bongkahan. Pola zig-zag umumnya diimplementasikan bersama dengan pola peledakan beruntun (*Delay blasting*) seperti *echelon* atau *V-cut* untuk mengoptimalkan arah lemparan material.

Seiring dengan perkembangan Revolusi Industri 4.0, dunia pertambangan dituntut untuk mengintegrasikan teknologi komputasi dalam setiap tahapan perencanaan operasi. Perangkat lunak MATLAB (*Matrix Laboratory*) merupakan lingkungan komputasi numerik yang telah terbukti mampu mengotomasi perhitungan matematis yang kompleks, sekaligus menghasilkan visualisasi grafis yang informatif Ezra dkk. Implementasi MATLAB dalam perencanaan geometri dan pola peledakan memungkinkan perhitungan yang lebih cepat, akurat, dan efisien dibandingkan perhitungan manual, sekaligus mengurangi potensi kesalahan manusia (*Human error*).

Penelitian sebelumnya yang relevan antara lain: Octova dkk. yang menggunakan pemodelan multivariat untuk optimasi geometri peledakan guna mereduksi persentase boulder di PT J Resources Bolaang Mongondow; Mufti dkk. yang menganalisis geometri peledakan menggunakan metode C.J. Konya untuk mencapai target fragmentasi ideal di Pit Main Ridge PT JRBM; serta Murad dkk. yang merancang geometri peledakan efisien menggunakan tiga pendekatan teori (R.L. Ash, C.J. Konya, dan ICI-*Explosive*) dengan analisis distribusi fragmentasi batu gamping di PT Semen Padang. Selain itu, Ezra dan Yulhendra telah mengembangkan aplikasi berbasis Android Studio untuk perhitungan geometri peledakan, namun belum memanfaatkan MATLAB sebagai platform komputasi ilmiah yang lebih kuat.

Penelitian ini bertujuan untuk mengimplementasikan MATLAB dalam perencanaan pola peledakan zig-zag pada *hard rock* di PT Indexim Coalindo. Secara spesifik, tujuan penelitian meliputi: (1) menganalisis geometri peledakan aktual di lapangan; (2) merancang geometri peledakan usulan menggunakan metode C.J. Konya (1990); dan (3) memvisualisasikan pola peledakan zig-zag secara otomatis menggunakan program MATLAB.

METODOLOGI

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode deskriptif-analitik. Data yang diperoleh berupa data angka yang kemudian dianalisis lebih lanjut melalui perhitungan matematis dan pemodelan komputasi. Pendekatan kuantitatif dipilih untuk memecahkan permasalahan terkait optimasi geometri peledakan.

Metode Pengumpulan Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh dari pengamatan dan pengukuran langsung di lapangan, meliputi: (a) geometri peledakan aktual (*Burden*, spasi, kedalaman lubang ledak, *stemming*, dan *powder column*); (b) spesifikasi bahan peledak yang digunakan. Data sekunder diperoleh dari perusahaan, meliputi data geologi batuan, peta lokasi tambang, spesifikasi alat bor, serta target produksi perusahaan. Karakteristik batuan (*Rock mass description*) yang diperlukan untuk perhitungan faktor batuan (*Blastability index*) diperoleh berdasarkan klasifikasi Lilly (1986), yang meliputi *Rock Mass Description* (RMD), *Joint Plane Spacing* (JPS), *Joint Plane Orientation* (JPO), *Specific Gravity Influence* (SGI), dan *Hardness* (H).

Metode Analisis Data

Geometri peledakan usulan dirancang menggunakan metode C.J. Konya (1990). Metode ini dipilih karena memperhitungkan faktor koreksi terhadap kondisi geologi dan jumlah baris lubang ledak, sehingga lebih representatif untuk kondisi lapangan. Parameter yang dihitung meliputi:

Burden (B), merupakan jarak tegak lurus antara lubang ledak dengan bidang bebas (*Free face*), dihitung dengan persamaan:

$$B_1 = 3,15 \times De \times (SGe/SGr)^{0,33} \dots\dots\dots(1)$$

$$B_2 = B_1 \times Kd \times Ks \times Kr \dots\dots\dots(2)$$

Dimana:

De = diameter lubang ledak (inci),

SGe = berat jenis bahan peledak,

SGr = berat jenis batuan,

Kd = faktor koreksi struktur geologi,

Ks = faktor koreksi orientasi perlapisan,

Kr = faktor koreksi jumlah baris lubang ledak.

Spasi (S), merupakan jarak antara dua lubang ledak yang berdekatan dalam satu baris. Untuk kondisi jenjang rendah ($H < 4B$) dengan detonator tunda (Beruntun):

$$S = 1,4 \times B_2 \dots\dots\dots(3)$$

Stemming (St), berfungsi untuk menahan gas eksplosif agar energi maksimal menekan batuan:

$$T = 0,7 \times B_2 \dots\dots\dots(4)$$

Subdrilling (Sb), tambahan kedalaman di bawah lantai jenjang:

$$J = 0,3 \times B_2 \dots\dots\dots(5)$$

Tinggi jenjang (L), jarak vertikal dari lantai jenjang (*floor*) ke puncak jenjang (*crest*) pada tambang terbuka:

$$L = 3 \times B_2 \dots\dots\dots(6)$$

Kedalaman Lubang Ledak (HL), total kedalaman lubang bor:

$$HL = L + J \dots\dots\dots(7)$$

Panjang kolom isian (Pc), panjang bagian lubang bor yang terisi bahan peledak:

$$Pc = HL - St \dots\dots\dots(8)$$

Powder Factor (PF), perbandingan jumlah bahan peledak terhadap volume batuan yang diledakkan:

$$PF = (d_e \times Pc) / W \dots\dots\dots(9)$$

Loading density (d_e), jumlah bahan peledak per satuan panjang lubang bor:

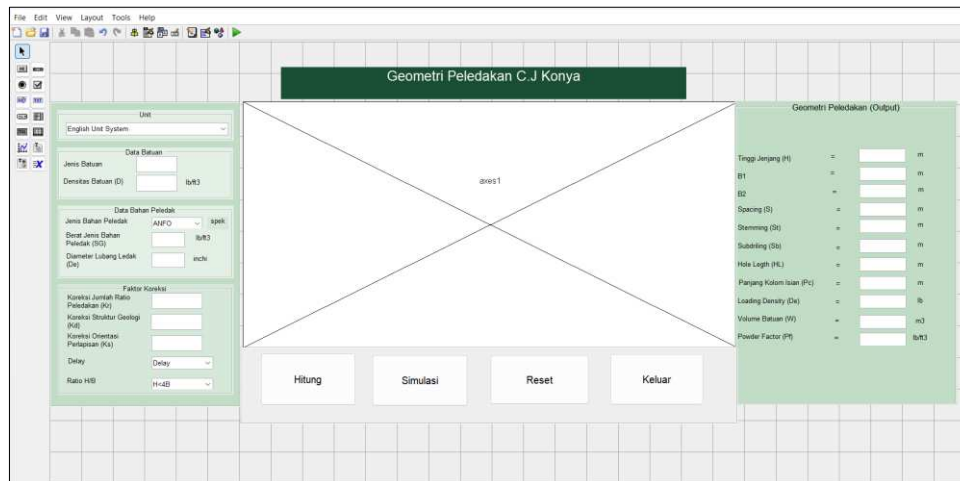
$$d_e = (0,34 \times De)^2 \times SG \dots\dots\dots(10)$$

Volume batuan (W), jumlah batuan yang dibongkar oleh satu lubang ledak:

$$W = B_2 \times S \times H \dots\dots\dots(11)$$

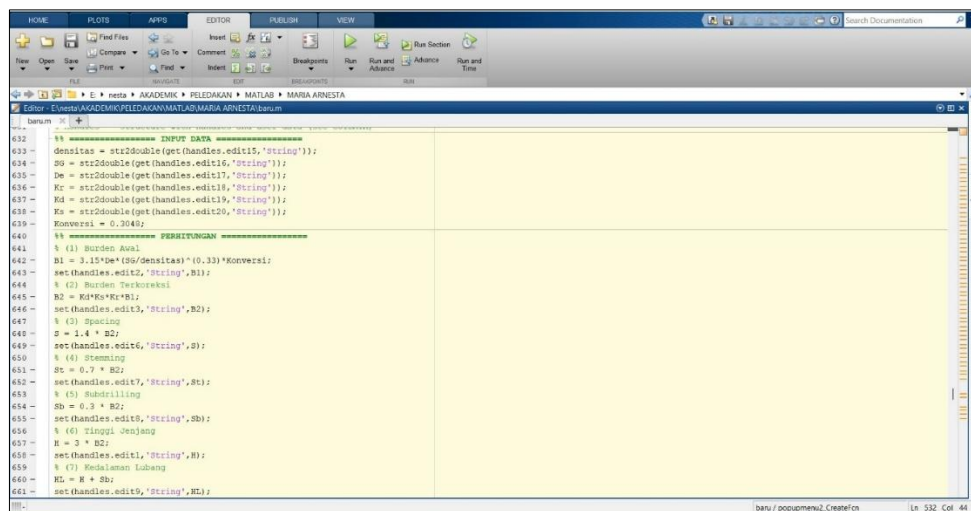
MATLAB digunakan sebagai platform komputasi utama dalam penelitian ini untuk dua fungsi pokok: (1) otomatisasi perhitungan seluruh parameter geometri peledakan berdasarkan metode C.J. Konya dan (2) visualisasi pola peledakan zig-zag (*Staggered pattern*) dalam bentuk grafik tiga dimensi. Program MATLAB dikembangkan menggunakan antarmuka grafis berbasis GUIDE (*Graphical User Interface Development Environment*). Antarmuka ini dirancang untuk memudahkan pengguna dalam memasukkan data input dan membaca hasil perhitungan geometri peledakan secara langsung. Program ini memiliki tiga panel utama: panel input data (kiri), panel visualisasi (tengah), dan panel output hasil perhitungan (kanan).

Data input yang diperlukan meliputi: jenis batuan, densitas batuan (D), jenis bahan peledak, berat jenis bahan peledak (SG), diameter lubang ledak (De), faktor koreksi jumlah ratio peledakan (Kr), faktor koreksi struktur geologi (Kd), faktor koreksi orientasi perlapisan (Ks), jenis *delay*, serta rasio H/B. Seluruh perhitungan dilakukan secara otomatis setelah pengguna menekan tombol "Hitung", dan visualisasi 3D pola peledakan ditampilkan setelah pengguna menekan tombol "Simulasi".

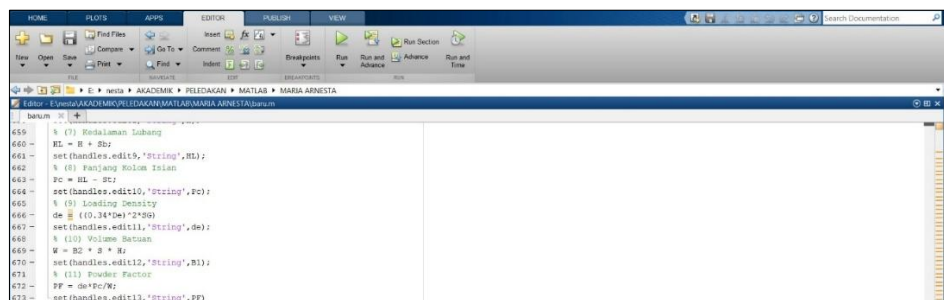


Gambar 1. Tampilan Layout Program MATLAB Geometri Peledakan C.J. Konya

Program MATLAB yang dikembangkan menggunakan pendekatan pemrograman berbasis fungsi dengan GUIDE sebagai pembangun antarmuka grafis. Bagian utama dari kode program terdiri dari: (1) fungsi pembacaan *input* dari GUI; (2) blok perhitungan geometri berdasarkan metode C.J. Konya; dan (3) fungsi visualisasi 3D pola lubang ledak. Struktur kode program ditampilkan pada Gambar 2 dan Gambar 3.



Gambar 2. Kode Program MATLAB – Bagian *Input* Data dan Perhitungan Geometri (1)



Gambar 3. Kode Program MATLAB – Bagian Perhitungan Lanjutan dan Output (2)

Berdasarkan tampilan kode pada Gambar 2 dan Gambar 3, dapat dilihat bahwa program membaca nilai densitas batuan, berat jenis bahan peledak (SG), diameter lubang ledak (De), serta faktor koreksi Kc,

Kd, dan Ks dari antarmuka GUI secara langsung. Faktor konversi satuan (Konversi = 0,3048) digunakan untuk mengkonversi satuan dari *feet* ke meter. Seluruh rumus perhitungan geometri C.J. Konya diimplementasikan secara berurutan mulai dari *Burden Awal* (B1), *Burden Terkoreksi* (B2), *Spacing* (S), *Stemming* (St), *Subdrilling* (Sb), hingga *Powder Factor* (PF).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Adapun parameter input yang dimasukkan ke dalam program MATLAB dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter Input

Parameter inputan	Nilai	Satuan
Jenis Batuan	<i>Hard Rock (Claystone, sandstone, siltstone)</i>	-
Densitas Batuan (D)	2,56	lb/ft ³
Jenis Bahan Peledak	ANFO	-
Berat Jenis Bahan Peledak (SG)	1,20	lb/ft ³
Diameter Lubang Ledak (De)	6,7	inchi
Faktor Koreksi Jumlah Baris (Kr)	0,90	-
Faktor Koreksi Struktur Geologi (Kd)	0,95	-
Faktor Koreksi Orientasi Perlapisan (Ks)	0,90	-
Jenis Delay	<i>Delay (Beruntun)</i>	-
Rasio H/B	H < 4B	-

Nilai-nilai input di atas dimasukkan ke dalam antarmuka program MATLAB seperti yang ditampilkan pada Gambar 4. Panel kiri program menampilkan seluruh *field input* yang telah terisi sesuai data lapangan sebelum proses perhitungan dilakukan. *Hard rock* yang dimaksudkan merujuk pada batuan *overburden* dengan UCS > 40 MPa seperti *claystone*, *sandstone* dan *siltstone*.

Gambar 4. Tampilan Input Data pada Program MATLAB Sebelum Proses Perhitungan

Setelah seluruh data input dimasukkan, perhitungan geometri dilakukan secara otomatis oleh program MATLAB dengan menekan tombol “Hitung”. Program mengeksekusi seluruh rumus C.J. Konya secara berurutan dan menampilkan hasilnya pada panel output di sisi kanan antarmuka. Gambar 5 menampilkan hasil perhitungan yang dikeluarkan oleh program.

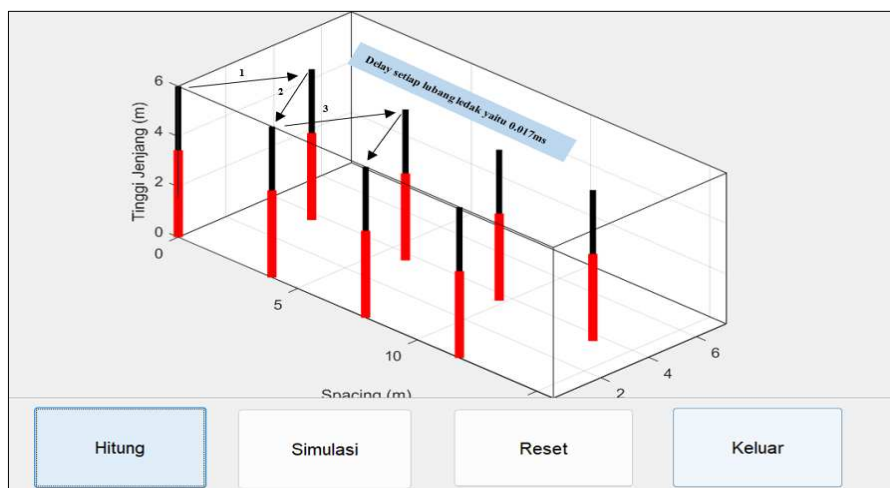
Gambar 5. Hasil Perhitungan Geometri Peledakan pada Panel *Output* Program MATLAB

Adapun hasil perhitungan manual geometri peledakan C.J. Konya dapat dilihat pada Tabel 2.

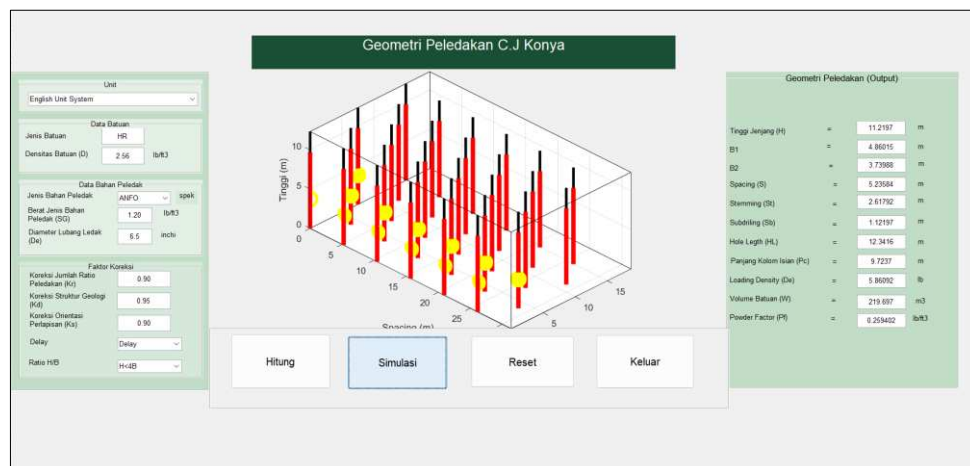
Tabel 2. Hasil Perhitungan Manual Geometri Peledakan C.J. Konya

Parameter (Simbol)	Hasil	Satuan
Burden awal (B_1)	5.01	m
Burden terkoreksi (B_2)	3.86	m
Spacing (S)	5.40	m
Stemming (St)	2.70	m
Subdrilling (Sb)	1.16	m
Tinggi jenjang (H)	11.58	m
Kedalaman lubang (HL)	12.74	m
Panjang kolom isian (Pc)	10.04	m
Loading density (d_c)	20.44	kg/m
Volume batuan (W)	241.30	m ³
Powder factor (PF)	0.85	kg/m ³

Setelah perhitungan geometri selesai, program MATLAB menampilkan simulasi tiga dimensi pola peledakan zig-zag (*staggered pattern*) dengan menekan tombol “Simulasi”. Visualisasi ini merepresentasikan tata letak lubang ledak beserta komponen-komponennya dalam ruang tiga dimensi, sehingga memberikan gambaran yang lebih intuitif dan akurat mengenai rancangan peledakan yang diusulkan.



Gambar 6. Pola rangkaian peledakan dan arah *delay* setiap peledakan



Gambar 6. Tampilan Visualisasi 3D Pola Peledakan Zig-Zag pada Program MATLAB

Pada visualisasi yang ditampilkan dalam Gambar 6, setiap lubang ledak direpresentasikan dengan warna yang berbeda untuk membedakan komponen-komponen geometri: bagian merah menunjukkan kolom pengisian bahan peledak (*powder column*), bagian hitam menunjukkan zona *stemming*, dan bola kuning menunjukkan posisi primer/detonator pada titik inisiasi. Pola zig-zag terlihat jelas dari penempatan lubang ledak yang digeser setengah *spacing* antar baris yang berdekatan, sesuai dengan definisi *staggered pattern*.

Sumbu visualisasi 3D menampilkan dimensi *Spacing* (m) pada sumbu horizontal, *Burden* (m) pada sumbu lateral, dan *Tinggi* (m) pada sumbu vertikal. Konfigurasi ini memungkinkan operator tambang dan perencana peledakan untuk memverifikasi secara visual bahwa jarak antar lubang ledak, kedalaman lubang, dan komposisi kolom isian telah sesuai dengan parameter yang dihitung. Pola *delay* (tunda) diterapkan secara berurutan mengikuti arah echelon yang terlihat dari susunan baris lubang ledak.

KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengimplementasikan MATLAB sebagai platform komputasi dalam perencanaan geometri dan visualisasi pola peledakan zig-zag pada *hard rock* di PT Indexim Coalindo. Program berbasis GUI yang dikembangkan mampu mengotomasi seluruh perhitungan parameter geometri metode C.J. Konya (1990) secara akurat dan efisien. Berdasarkan data lapangan dengan densitas batuan 2,56 lb/ft³, bahan peledak ANFO (SG = 1,20 lb/ft³), dan diameter lubang ledak 6,7 inci, program menghasilkan geometri peledakan usulan dengan *Burden* Terkoreksi (B2) = 3,855 m, *Spacing* (S) = 5,397 m, *Stemming* (St) = 2,698 m, Kedalaman Lubang (HL) = 12,721 m, dan *Powder Factor* (PF) = 0,259 lb/ft³, yang secara keseluruhan lebih optimal dibandingkan geometri aktual di lapangan. Selain itu, fitur visualisasi tiga dimensi pola peledakan zig-zag yang dihasilkan program memberikan representasi spatial yang intuitif bagi perencana dan operator lapangan, sehingga implementasi MATLAB ini terbukti mampu mengeliminasi risiko *human error* sekaligus mendukung perencanaan peledakan yang lebih sistematis, akurat, dan efisien.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PT Indexim Coalindo atas izin dan dukungan data dalam pelaksanaan penelitian ini serta Bapak Frengky Seki Banunaek, ST.,MT selaku Dosen Pembimbing yang telah membimbing dan memberikan saran bagi penulis.

DAFTAR PUSTAKA

Cahyono, Y.D.G., Haisoo, C.V. and Jusfarida (2024) '*Kajian teknis pengaruh geometri peledakan terhadap fragmentasi batuan overburden hasil peledakan di Pit 2 Banko Barat PT Bukit*

- Asam Tbk, Sumatra Selatan*’, Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan XII, ITATS.
- De Souza, J.C., Da Silva, A.C.S. and Rocha, S.S. (2018) ‘Analysis of blasting rocks prediction and rock fragmentation results using Split-Desktop software’, *Tecnologia em Metalurgia, Materiais e Mineração*, 15(1), pp. 22–30.
- Ezra, R. and Yulhendra, D. ‘Perancangan program aplikasi geometri peledakan tambang terbuka berbasis mobile menggunakan bahasa pemrograman Android Studio’, *Jurnal Bina Tambang*, 5(2), pp. 159–173.
- Ghanda, Firsta, R.J., Hakim, N.E. and Pujalinar, A. (2021) ‘Kajian teknis peledakan terhadap hasil fragmentasi pada peledakan batu gamping di PT Semen Padang’, *Jurnal Indonesia Sosial Teknologi*, 2(4), pp. 603–609.
- Kalsum, A.A.U., Samanlangi, A.I., Mahyuni, E.T. and Ma’rief, A.A. (2024) ‘Kajian perubahan geometri peledakan terhadap fragmentasi dan produksi digging time di PT Petrosea KBL Kalimantan Utara’, *Jurnal Teknik SILITEK*, 4(1), pp. 45–51.
- Lele Nggere, A.R. (2025) *Analisis pengaruh powder factor terhadap fragmentasi hasil peledakan di Pit Tempudo 6 Klaster 2 PT Indexim Coalindo, Kabupaten Kutai Timur, Provinsi Kalimantan Timur*. Skripsi. Universitas Nusa Cendana, Kupang.
- Lilly, P.A. (1986) ‘An empirical method of assessing rock mass blastability’, Australia Large Open Pit Mining Conference, Newman Combined Group.
- Ma’rief, A.A., Qadri, A., Okviyani, N. and Mahyuni, E.T. (2020) ‘Analisis pengaruh jumlah bahan peledak terhadap ground vibration akibat ledakan pada area Pit SM-A tambang batubara di PT Sims Jaya Kaltim Jobsite PT Kideco Jaya Agung Kabupaten Paser Provinsi Kalimantan Timur’, *Jurnal Geomine*, 8(1), pp. 74–79.
- Mufti, S., Matrani, B.F.A. and Wijaya, A. (2024) ‘Geometric analysis of blasting using C.J. Konya method to get the ideal target fragmentation in Pit Main Ridge PT J Resources Bolaang Mongondow Site in Bakan, North Sulawesi’, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1422, 012035.
- Murad, Setiawati, S. and Mukhtar, W. (2023) ‘Rancangan geometri peledakan yang efisien untuk mendapatkan distribusi ukuran fragmentasi batu gamping’, *Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara*, 19(2), pp. 95–110.
- Octova, A., Putri, M. and Yulhendra, D. (2022) ‘Estimation of optimal blasting geometry using multivariate modeling to reduce boulder potential and improve mining production’, *Geoscience and Remote Sensing Technology*, 1, pp. 7–12.
- Savira, F. and Suharsono, Y. (2019) ‘Metode penelitian’, *Journal of Chemical Information and Modeling*, 1(1), pp. 1689–1699.
- Sunyoto, R.M. and Kopa, R. (2020) ‘Analisis pengaruh geometri peledakan terhadap fragmentasi hasil peledakan serta digging time dan produktivitas alat gali’, 6(1), pp. 88–99.
- Sundoyo and Hidayat, R.N. ‘Kajian perhitungan biaya blasting PT Bukit Baiduri Energi Site Merandai Kabupaten Kutai Kartanegara Provinsi Kalimantan Timur’, *JGP (Jurnal Geologi Pertambangan)*, 25(2).
- Suard A.S dan Alfian Nawir, (2023), *Studi Keberhasilan Geometri Peledakan Terhadap Fly Rock Hasil Peledakan Pt Kalimantan Prima Persada Site Rantau Kabupaten Tapin*, Vol 01, e-ISSN: 2987-4734.,