Journal of Innovative and Creativity
Journal Homepage: https://joecy.org/index.php/joecy
e-mail: galungwaknook@gmail.co

Faculty of Education
University of Pahlawan Tuanku Tambusai
ISSN 2775-771X (Online)
ISSN 2962-570X (Printed)
5 (3) 2025, Page: 31166-31176

Analisis Peledakan Tanah Penutup Pit Warute Berdasarkan Geometri Peledakan, *Powder Factor*, dan SDoB Pada PT. Bina Sarana Sukses (BSS) *Jobsite* AGM Provinsi Kalimantan Selatan

Mars Brein Sembiring[1], Hepryandi L. Djanas Usup[2], Dody Ariyantho Kusma Wijaya[3], Ferdinandus[4], Yustinus Hendra Wiryanto[5]
[1,2,3,4,5]Jurusan Teknik Pertambangan, University of Palangka Raya, Indonesia
Corresponding Author: Mars Brein Sembiring, e-mail: (marssembiring34@gmail.com)

Published: November, 2025

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh parameter geometri peledakan terhadap nilai *Scaled Depth of Burial* (SDoB), *Powder Factor* (PF), fragmentasi, dan waktu gali (*digging time*) pada kegiatan peledakan tanah penutup di Pit Warute, PT. Bina Sarana Sukses (BSS) Jobsite Antang Gunung Meratus, Kalimantan Selatan. Data diperoleh dari lima belas kegiatan peledakan dengan variasi burden, spasi, kedalaman lubang, dan panjang stemming. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai SDoB berkisar antara 1,00–1,38 $m \cdot kg^{-1/3}$ dengan rata-rata 1,19 $m \cdot kg^{-1/3}$, sedangkan PF berada pada kisaran 0,11–0,17 $kg \cdot m^{-3}$ dengan rata-rata 0,14 $kg \cdot m^{-3}$. Analisis regresi linier memperlihatkan bahwa hubungan antara SDoB terhadap fragmentasi dan digging time bersifat lemah, dengan nilai koefisien determinasi masing-masing sebesar $R^2 = 0{,}042$ dan $R^2 = 0{,}015$. Demikian pula, PF tidak menunjukkan pengaruh signifikan terhadap kedua parameter tersebut. Meskipun demikian, secara empiris ditemukan bahwa kombinasi geometri peledakan dengan burden 7 m, spasi 9 m, kedalaman lubang 7–8 m, dan stemming 3 m memberikan hasil fragmentasi yang lebih seragam serta waktu gali yang lebih efisien. Dengan demikian, rentang nilai SDoB antara 1,10–1,25 $m \cdot kg^{-1/3}$ direkomendasikan sebagai kondisi optimum untuk kegiatan peledakan di Pit Warute.

Kata kunci: *Scaled Depth of Burial*, *Powder Factor*, geometri peledakan, fragmentasi, waktu gali

© The Author(s). 2021 Open Access This article is licensed under a Creative Commons Atibution 4.0 International License, which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons licence, and indicate if changes were made. The images or other third party material in this article are included in the article's Creative Commons licence, unless indicated otherwise in a credit line to the material. To view a copy of this licence, visit http://creativecommons.org/licenses/by/4.0

PENDAHULUAN

PT. Bina Sarana Sukses (BSS) merupakan salah satu perusahaan yang bergerak di bidang usaha jasa pertambangan batubara dan penyewaan alat berat yang berdiri pada tanggal 2 Maret 2005. Pada saat ini PT. Bina Sarana Sukses (BSS) memiliki dua belas *site project* yang dibagi menjadi dua kelompok (*cluster)* yaitu *Borneo Mining Cluster* dan *Sumatera Mining Cluster. Site Project* Antang Gunung Meratus (AGM) merupakan bagian dari *Borneo Cluster* yang berlokasi di Desa Ida Manggala, Kecamatan Sungai Raya, Kabupaten Hulu Sungai Selatan, Provinsi Kalimantan Selatan dengan luas wilayah izin usaha pertambangan 20.666 Ha. Sistem penambangan yang diterapkan oleh PT. Bina Sarana Sukses *site* Antang Gunung Meratus (AGM) adalah sistem tambang terbuka (*surface mining*) dengan metode *open pit mining*.

Peledakan (*blasting*) merupakan tahapan penting dalam kegiatan penambangan terbuka untuk membongkar batuan keras maupun tanah penutup (*overburden*). Efektivitas peledakan sangat dipengaruhi oleh rancangan geometri seperti *burden*, *spacing*, kedalaman lubang, tinggi jenjang, serta panjang *stemming*. Ketidaktepatan dalam perancangan dapat menyebabkan fragmentasi tidak merata,

peningkatan waktu gali, dan pemborosan bahan peledak. Evaluasi kinerja peledakan dapat dilakukan melalui parameter *Powder Factor* (PF) dan *Scaled Depth of Burial* (SDoB). PF menunjukkan konsumsi bahan peledak terhadap volume batuan, sedangkan SDoB menggambarkan keseimbangan antara kedalaman lubang dan berat bahan peledak. Kombinasi nilai PF dan SDoB yang sesuai dapat menghasilkan fragmentasi optimal dan mempercepat proses penggalian.

PT. Bina Sarana Sukses (BSS) Jobsite Antang Gunung Meratus (AGM) di Pit Warute melaksanakan kegiatan peledakan secara rutin, namun hasil fragmentasi dan waktu gali masih

bervariasi. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis hubungan antara PF dan SDoB terhadap hasil fragmentasi serta *digging time*, sekaligus menentukan kombinasi geometri peledakan yang paling efektif di lapangan.

METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan adalah metode kuantitatif deskriptif dengan pendekatan empiris, yaitu menganalisis data aktual hasil kegiatan peledakan di lapangan untuk mengetahui pengaruh geometri peledakan terhadap fragmentasi dan waktu gali (*digging time*).

Pengumpulan data dilakukan melalui observasi langsung pada kegiatan pengeboran dan peledakan di lapangan, meliputi pengukuran burden, spasi, kedalaman lubang, tinggi jenjang, dan stemming. Selain itu, dilakukan pula pengamatan hasil fragmentasi batuan menggunakan perangkat lunak WipFrag 3.3 untuk memperoleh persentase ukuran butir batuan yang lolos dan tidak lolos. Data sekunder diperoleh dari catatan produksi dan penggunaan bahan peledak perusahaan, termasuk volume material hasil peledakan dan waktu kerja alat gali-muat (excavator).

Tahapan analisis meliputi perhitungan *Powder Factor* (PF) sebagai indikator efisiensi penggunaan bahan peledak, serta *Scaled Depth of Burial* (SDoB) untuk menilai keseimbangan antara kedalaman lubang dan jumlah bahan peledak per lubang. Selanjutnya dilakukan analisis hubungan antara nilai PF dan SDoB terhadap hasil fragmentasi serta digging time menggunakan pendekatan regresi linier sederhana.

Hasil perhitungan dan pengamatan kemudian dibandingkan dengan kondisi aktual di lapangan untuk menentukan kombinasi geometri peledakan yang paling sesuai. Melalui pendekatan ini, penelitian bertujuan menghasilkan rekomendasi desain geometri peledakan yang mampu memberikan fragmentasi optimal dan waktu gali yang efisien di area penelitian.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Geometri Peledakan di Lokasi Penelitian

Di lokasi penelitian PT. Bina Sarana Sukses Jobsite Antang Gunung Meratus, kegiatan peledakan dilakukan pada material overburden yang terdiri dari batupasir, serpih, dan batugamping dalam kondisi lapuk hingga keras. Pola pemboran yang diterapkan adalah zig-zag dengan arah lubang tegak lurus permukaan dengan diameter lubang ledak 165 mm/6,5 inci (menggunakan liner). Berikut merupakan geometri peeledak yang digunakan perusahaaan pada Maret 2025.

Tabel 1. Geometri peoledakan di PT Bina Sarana Sukses Maret 2025

No	Tanggal	Seam	Geometri							VED (%)	Material Stemming	Kekerasan (Mpa)
			B (m)	S (m)	H (m)	T (m)	PC (m)	J (m)	L (m)			
1	02/03.2025	M13	7,0	9, 0	5,8	3,4	2,4	0,5	5,3	41	*Cutting Bor*	38
2	02/03.2025	M11	7,5	9,0	7,4	3,6	3,8	0,5	6,9	51	*Cutting Bor*	38
3	03/03.2025	M3	6,5	9,0	4,8	2,8	2	0,5	4,3	42	*Cutting Bor*	38
4	03/03.2025	M1	7,5	8,5	6,3	3,0	3,3	0,5	5,8	52	*Cutting Bor*	38
5	04/03.2025	M13	7,0	9,0	7,7	4,2	3,5	0,5	7,2	45	*Cutting Bor*	38
6	04/03.2025	M1	7,5	9,0	5,5	3,1	2,4	0,5	5,0	44	*Cutting Bor*	38
7	06/03.2025	M1	8,0	8,5	6,6	3,9	2,7	0,5	6,1	41	*Cutting Bor*	38
8	09/03.2025	M1	8,0	9,0	6,4	3,3	3,1	0,5	5,9	48	*Cutting Bor*	38
9	11/03.2025	M10	8,0	9,0	7,1	3,7	3,4	0,5	6,6	48	*Cutting Bor*	38
10	15/03.2025	M2	7,0	9,0	6,4	3,8	2,6	0,5	5,9	41	*Cutting Bor*	38
11	22/03.2025	SW	7,5	9,0	6,5	3,1	3,4	0,5	6,0	52	*Cutting Bor*	38

12	23/03.2025	M13	7,5	9,0	6,6	3,0	3,6	0,5	6,1	55	*Cutting Bor*	38
13	27/03.2025	M1	7,5	9,0	5,8	3,1	2,7	0,5	5,3	47	*Cutting Bor*	38
14	29/03.2025	M3	7,0	9,0	5,7	3,4	2,3	0,5	5,2	40	*Cutting Bor*	38
15	29/03.2025	M5	7,0	9,0	8,0	3,3	4,7	0,5	7,5	59	*Cutting Bor*	38

Tabel 2. Rekomendasi geometri peledakan berdasarkan perhitungan SDoB pada bulan Maret 2025

No	Tanggal	Seam	Geometri							VED (%)	PF (Kg/m^3)	SDoB (m/kg$^{1/3}$)
			B (m)	S (m)	H (m)	T (m)	PC (m)	J (m)	L (m)			
1	02/03.2025	M13	7,0	9, 0	5,8	3,6	2,2	0,5	5,3	38	0,11	1,38
2	02/03.2025	M11	7,5	9,0	7,4	3,9	3,5	0,5	6,9	47	0,14	1,27
3	03/03.2025	M3	6,5	9,0	4,8	3,1	1,7	0,5	4,3	35	0,12	1,34
4	03/03.2025	M1	7,5	8,5	6,3	3,4	2,9	0,5	5,8	46	0,14	1,21
5	04/03.2025	M13	7,0	9,0	7,7	4,4	3,3	0,5	7,2	43	0,14	1,43
6	04/03.2025	M1	7,5	9,0	5,5	3,3	2,2	0,5	5,0	40	0,11	1,29
7	06/03.2025	M1	8,0	8,5	6,6	4,1	2,5	0,5	6,1	38	0,10	1,48
8	09/03.2025	M1	8,0	9,0	6,4	3,5	2,9	0,5	5,9	45	0,12	1,23
9	11/03.2025	M10	8,0	9,0	7,1	3,9	3,2	0,5	6,6	45	0,12	1,30
10	15/03.2025	M2	7,0	9,0	6,4	4	2,4	0,5	5,9	38	0,12	1,47
11	22/03.2025	SW	7,5	9,0	6,5	3,3	3,2	0,5	6,0	49	0,13	1,14
12	23/03.2025	M13	7,5	9,0	6,6	3,4	3,2	0,5	6,1	48	0,14	1,17
13	27/03.2025	M1	7,5	9,0	5,8	3,3	2,5	0,5	5,3	43	0,12	1,24
14	29/03.2025	M3	7,0	9,0	5,7	3,6	2,1	0,5	5,2	37	0,13	1,41
15	29/03.2025	M5	7,0	9,0	8,0	4,3	3,7	0,5	7,5	46	0,13	1,35
					Rata-rata					43	0,13	1,31

Nilai *Powder Factor* (PF) dan *Scaled Depth of Burial* (SDoB)

Perhitungan *powder factor* dilakukan pada setiap lokasi peledakan untuk melihat seberapa besar konsumsi bahan peledak dibandingkan dengan volume batuan yang dipindahkan. Berdasarkan hasil di lapangan, terdapat variasi nilai *powder factor* antar lokasi, yang berpengaruh terhadap kualitas fragmentasi dan *digging time* yang diamati. Selisih nilai ini mencerminkan perbedaan kondisi lapangan serta penyesuaian desain geometri peledakan.

Tabel 3. *Powder factor* geometri peledakan perusahaan sebelum perbaikan

No	Tanggal	Lokasi	*Charge Weight* per *Blasthole* (kg)	ANFO (E) (kg)	Dinamit (kg)	*Powder Factor* (Kg/m^3)
1	2 Mrt 2025	FLOOR M13	42	847	10	0,12
2	2 Mrt 2025	FLOOR M11	69	4.868	35,5	0,15
3	3 Mrt 2025	ROOF M3	37	952	13	0,14
4	3 Mrt 2025	ROOF M1	59	2.963	25	0,16
5	4 Mrt 2025	FLOOR M13	62	1.085	8,5	0,16
6	4 Mrt 2025	ROOF M1	45	2.540	28,5	0,12
7	6 Mrt 2025	ROOF M1	49	3.915	40	0,11
8	9 Mrt 2025	FLOOR M1	55	3.915	35,5	0,13
9	11 Mrt 2025	ROOF FLOOR M10	60	5.079	42	0,13
10	15 Mrt 2025	ROOF M2	48	4.761	50	0,13
11	22 Mrt 2025	SIDEWALL UTARA	60	3.174	26,5	0,14
12	23 Mrt 2025	ROOF M10, M11, & M13	65	3.174	24,5	0,16
13	27 Mrt 2025	ROOF M0 & M1	48	5.079	52,5	0,13
14	29 Mrt 2025	ROOF M3	41	1.269	15,5	0,14
15	29 Mrt 2025	FLOOR M5	85	846	5	0,17
				44.467	412	0,14

Tabel 4. Nilai *Scaled Depth of Burial* (SDoB) sebelum geometri perbaikan

No	Tanggal	Lokasi	SDoB (m/kg$^{1/3}$)
1	2 Mrt 2025	FLOOR M13	1,28
2	2 Mrt 2025	FLOOR M11	1,15
3	3 Mrt 2025	ROOF M3	1,17
4	3 Mrt 2025	ROOF M1	1,05
5	4 Mrt 2025	FLOOR M13	1,35
6	4 Mrt 2025	ROOF M1	1,19

7	6 Mrt 2025	ROOF M1	1,38
8	9 Mrt 2025	FLOOR M1	1,15
9	11 Mrt 2025	ROOF FLOOR M10	1,22
10	15 Mrt 2025	ROOF M2	1,37
11	22 Mrt 2025	SIDEWALL UTARA	1,06
12	23 Mrt 2025	ROOF M10, M11, & M13	1,02
13	27 Mrt 2025	ROOF M0 & M1	1,15
14	29 Mrt 2025	ROOF M3	1,30
15	29 Mrt 2025	FLOOR M5	1,00
		Rata-rata	1,19

Hasil Fragmentasi dan *Digging Time*

Pada penelitian ini, digunakan metode fotogrametri dengan bantuan *software* untuk menganalisis distribusi fragmentasi batuan dengan gambar yang diambil di lapangan. Ketentuan agar gambar dapat dianalisis adalah gambar fragmentasi batuan harus disertai dengan minimal satu pembanding yang diketahui dimensinya. Pada penelitian ini, digunakan *helm safety* sebagai pembanding dengan diameter ukuran 270 mm. *Software* akan memberikan *outputs* berupa grafik dan tabel distribusi (*cumulative size distribution*) dari fragmentasi yang telah dianalisa.

Tabel 5. Nilai distribusi fragmentasi batuan hasil peledakan dari geometri peledakan perusahaan dan *Digging time* Excavator PC 1250

No	Tanggal	Lokasi	Fragmentasi lolos 40 cm (%)	*Digging time* (s)
1	2 Mrt 2025	FLOOR M13	91,78	8,14
2	2 Mrt 2025	FLOOR M11	89,73	9,08
3	3 Mrt 2025	ROOF M3	100	7,05
4	3 Mrt 2025	ROOF M1	76,73	7,65
5	4 Mrt 2025	FLOOR M13	87,58	7,53
6	4 Mrt 2025	ROOF M1	88,77	7,9
7	6 Mrt 2025	ROOF M1	95,53	8,67
8	9 Mrt 2025	FLOOR M1	100	8,28
9	11 Mrt 2025	ROOF FLOOR M10	85,67	8,61
10	15 Mrt 2025	ROOF M2	85,99	7,9
11	22 Mrt 2025	SIDEWALL UTARA	100	7,25
12	23 Mrt 2025	ROOF M10, M11, & M13	76,11	8,33
13	27 Mrt 2025	ROOF M0 & M1	83,32	8,28
14	29 Mrt 2025	ROOF M3	90,88	7,7
15	29 Mrt 2025	FLOOR M5	89,71	9,09
		Rata-rata	89,45	8,10

Tabel 6. Nilai perkiraan distribusi fragmentasi batuan dari perbaikan geometri bulan Maret 2025

No	Tanggal	Lokasi	Perkiraan Ukuran Fragmentasi <40 CM	
			Lolos (%)	Tidak Lolos (%)
1	2 Mrt 2025	FLOOR M13	89,05	10,95
2	2 Mrt 2025	FLOOR M11	92,48	7,52
3	3 Mrt 2025	ROOF M3	93,76	6,24
4	3 Mrt 2025	ROOF M1	97,65	2,35

5	4 Mrt 2025	FLOOR M13	97,65	2,35
6	4 Mrt 2025	ROOF M1	93,43	6,57
7	6 Mrt 2025	ROOF M1	95,34	4,66
8	9 Mrt 2025	FLOOR M1	93,17	6,83
9	11 Mrt 2025	ROOF FLOOR M10	90,29	9,71
10	15 Mrt 2025	ROOF M2	89,86	10,14
11	22 Mrt 2025	SIDEWALL UTARA	92,25	7,75
12	23 Mrt 2025	ROOF M10, M11, & M13	94,43	5,57
13	27 Mrt 2025	ROOF M0 & M1	92,10	7,90
14	29 Mrt 2025	ROOF M3	89,54	10,46
15	29 Mrt 2025	FLOOR M5	95,77	4,23
		Rata-rata	93,12	6,88

Rekomendasi Geometri Peledakan

Tabel 7. Rekomendasi geometri peledakan (*Trial And Error*)

No	Tanggal	Seam	Geometri							VED (%)	PF (Kg/m^3)	SDoB (m/kg$^{1/3}$)
			B (m)	S (m)	H (m)	T (m)	PC (m)	J (m)	L (m)			
1	03/04/2025	M5	8,0	8,0	6,3	3,0	3,3	0,5	5,8	52	0,13	1,05
2	03/04/2025	M5	8,0	8,0	6,1	3,4	2,7	0,5	5,6	44	0,12	1,23
3	07/04/2025	M5	7,0	9,0	5,2	2,9	2,3	0,5	4,7	44	0,13	1,15
4	11/04/2025	L1	7,0	9,0	7,1	3,5	3,6	0,5	6,6	51	0,14	1,15
5	12/04/2025	L1	7,0	9,0	6,4	3,1	3,3	0,5	5,9	52	0,14	1,07
6	14/04/2025	M11	8,0	8,5	6,4	3,2	3,2	0,5	5,9	50	0,15	1,11
7	18/04/2025	LW	8,0	8,5	6,3	3,1	3,2	0,5	5,8	51	0,15	1,08
8	21/04/2025	M11	8,0	9,0	6,1	3,2	2,9	0,5	5,6	48	0,14	1,15
9	23/04/2025	M5	7,0	8,5	6,1	2,9	3,2	0,5	5,6	52	0,15	1,03
10	24/04/2025	M1	8,0	9,0	5,8	3,1	2,7	0,5	5,3	47	0,13	1,15
11	28/04/2025	M5	8,0	9,0	6,1	3,2	2,9	0,5	5,6	48	0,13	1,15
12	30/04/2025	L1	7,0	8,0	4,5	2,7	1,8	0,5	4	40	0,14	1,18
					Rata-rata					48	0,14	1,12

Tabel 7. Distribution Value of Rock Fragmentation Resulting from Blasting from Proposed Blasting Geometry (Trial and Error)

No	Tanggal	Lokasi	Fragmentasi lolos 40 cm (%)	*Digging time* (s)
1	2 Mrt 2025	FLOOR M13	96,16	8,27
2	2 Mrt 2025	FLOOR M11	100	8,00
3	3 Mrt 2025	ROOF M3	100	8,03
4	3 Mrt 2025	ROOF M1	95,31	7,20
5	4 Mrt 2025	FLOOR M13	83,63	6,90
6	4 Mrt 2025	ROOF M1	100	8,63
7	6 Mrt 2025	ROOF M1	71,49	8,90
8	9 Mrt 2025	FLOOR M1	81,08	8,60
9	11 Mrt 2025	ROOF FLOOR M10	78,05	8,85
10	15 Mrt 2025	ROOF M2	86,87	8,54
11	22 Mrt 2025	SIDEWALL UTARA	90,27	8,29
12	23 Mrt 2025	ROOF M10, M11, & M13	86,33	7,93
Rata-rata			89,45	8,18

PEMBAHASAN

Geometri Peledakan di Lokasi Penelitian

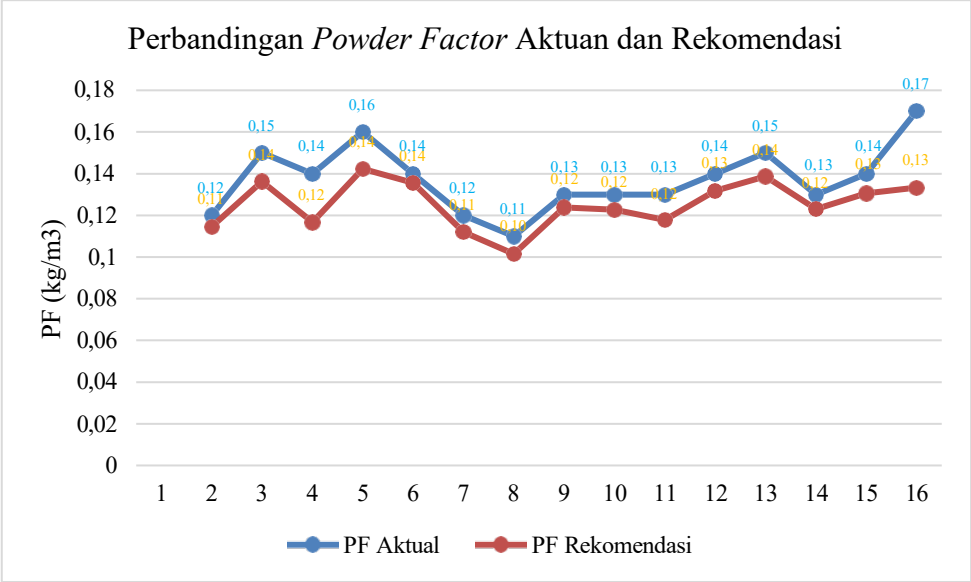
Pada kegiatan peledak yang dilaksanakan di Pit Warute, terdapat 15 kali variasi geometri peledakan yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 1. Pada tanggal 29 Maret 2025 kegiatan peledakan di lokasi Floor M5 menghasilkan nilai SDoB 1,00 m/kg$^{1/3}$ (*controlled energy)* dengan PF paling tinggi 0,17 kg/m^3 hasil tersebut mangindikasikan bahwa geometri peledakan yang digukan belum tepat sehingga mengakibatkan pengembungan nilai PF yang jauh dari target perusahaan yakni 0,13 km/m^3. Adapun geometri yang digunakan Burden 7,0 m, Spasi 9,0 m, kedalaman lubang ledak 8,0 m, Stemming 3,3 m, kolom isian 4,7 m, *Subdrill* 0,5 m, dan tinggi jenjang 7,5 m dengan nilai VED 59% dan material stemming yang digunakan yakni *cutting bor* (< 1 cm). Penggunaan *cutting bor* masih memungkinkan karena rata-rata lubang bor merupakan lubang kering, namun untuk eberapa lubang basah akan menggunakan campuran *cutting bor* dengan batuan *split* (1-2 cm).

Pada rekomendasi perbaikan geometri peledakan berdasarkan perhitungan SDoB untuk bulan Maret 2025 pada Floor M5 stemming yang awalnya 3,3 m meningkat menjadi 4,3 m. peningkatan nilai stemming ini dapat dilakukan melihat nilai SDoB yang tetap pada kategori terkontrol (SDoB 1,35 m/kg$^{1/3}$), nilai PF 0,13 kg/m^3, dan VED 46%. Maka dengan rekomendasi geometri tersebut memungkinkan untuk menghemat penggunaan bahan peledak (ANFO) sebanyak 180 kg untuk satu kegiatan peledakan tersebut.

Nilai *Powder Factor* (PF) dan *Scaled Depth of Burial* (SDoB)

Berdasarkan data kegiatan peledakan *overburden* di Pit Warute PT. Bina Sarana Sukses (BSS) selama bulan Maret 2025, diperoleh nilai *Powder Factor* (PF) yang berkisar antara 0,11 hingga 0,17 kg/m³, dengan rata-rata sekitar 0,14 kg/m³. Variasi nilai PF ini menunjukkan adanya perbedaan penggunaan bahan peledak antar lokasi peledakan, karena penyesuaian geometri peledakan di lapangan. Jumlah bahan peledak yang digunakan terdiri dari kombinasi ANFO (sebagai bahan peledak utama) dan dinamit/*booster* (sebagai *primer charge*). Total penggunaan ANFO pada seluruh kegiatan mencapai sekitar 44.467 kg, dengan total booster sebesar 412 kg. Nilai *charge weight per blasthole* bervariasi dari 37 hingga 85 kg, tergantung pada kedalaman lubang dan target volume batuan perlubang. Berdasrkan Tabel 3. *Powder factor* beberapa kali mengalami pengembungan yang relatif tinggi dari targer perusahaan (0,13 kg/m³). salah satunya kegiatan peledakan pada 29 Maret 2025 menghasilkan PF 0,17 kg/m³ yang mengindikasikan perlunya evaluasi geometri peledakan.

Gambar 1. Perbandingan *Powder Factor* Aktuan dan Rekomendasi



Grafik pada Gambar 1. menunjukkan perbandingan antara nilai *Powder Factor* (PF) aktual hasil pengukuran lapangan dengan nilai PF rekomendasi berdasarkan teori Kuz-Ram. Secara umum, nilai PF aktual di Pit Warute PT. Bina Sarana Sukses (BSS) berkisar antara 0,11 hingga 0,17 kg/m³, sedangkan nilai PF teoritis berada pada rentang 0,12 hingga 0,14 kg/m³. Dari hasil perbandingan, terlihat bahwa sebagian besar kegiatan peledakan memiliki nilai PF aktual yang sedikit lebih tinggi dibandingkan nilai teoritis. Kondisi ini menunjukkan bahwa konsumsi bahan peledak per satuan volume batuan cenderung meningkat untuk mencapai fragmentasi yang diinginkan. Misalnya, pada peledakan tanggal 3–4 Maret 2025, nilai PF aktual mencapai 0,16 kg/m³, sedangkan nilai teoritis hanya 0,14 kg/m³. Sebaliknya, pada beberapa kegiatan seperti tanggal 6 Maret dan 9 Maret 2025, nilai PF aktual lebih rendah dari nilai teoritis (0,11–0,12 kg/m³). Hal ini mengindikasikan bahwa penggunaan bahan peledak lebih hemat, namun berpotensi menghasilkan fragmentasi kasar yang dapat memperpanjang waktu *digging* oleh alat gali-muat.

Secara keseluruhan, rata-rata PF aktual sebesar 0,14 kg/m³, sedangkan rata-rata PF teoritis 0,13 kg/m³. Selisih sebesar 0,01 kg/m³ masih tergolong dalam batas toleransi yang dapat diterima pada operasi peledakan batuan penutup. Namun demikian, perbedaan ini menunjukkan bahwa ada peluang optimasi lebih lanjut pada geometri peledakan (seperti pengaturan *charge length* atau *stemm height*) untuk meningkatkan efisiensi bahan peledak tanpa menurunkan kualitas fragmentasi hasil peledakan.

Berdasarkan hasil pengukuran dan perhitungan SDoB selama kegiatan peledakan bulan Maret 2025, diperoleh rentang nilai antara 1,14 hingga 1,48 m/kg$^{1/3}$ dengan nilai rata-rata 1,31 m/kg$^{1/3}$. Secara umum, kisaran ini menunjukkan bahwa proses peledakan berada dalam kondisi "*Controlled Energy*", yaitu energi peledakan yang terdistribusi secara relatif seimbang terhadap kedalaman lubang dan volume batuan yang diledakkan. Nilai SDoB tertinggi terjadi pada kegiatan peledakan 6 Maret 2025 di ROOF M1 (1,48 m/kg$^{1/3}$) dan 15 Maret 2025 di ROOF M2 (1,47 m/kg$^{1/3}$). Nilai tinggi tersebut menunjukkan bahwa kedalaman lubang relatif besar dibandingkan dengan jumlah bahan peledak yang digunakan. Kondisi ini menandakan bahwa energi ledakan lebih banyak terserap ke dalam massa batuan, sehingga fragmentasi yang dihasilkan cenderung lebih kasar namun dapat mengurangi potensi *flyrock*. Dengan kata lain, efisiensi energi lebih terkendali, tetapi produktivitas digging bisa sedikit menurun akibat ukuran fragmen yang relatif besar.

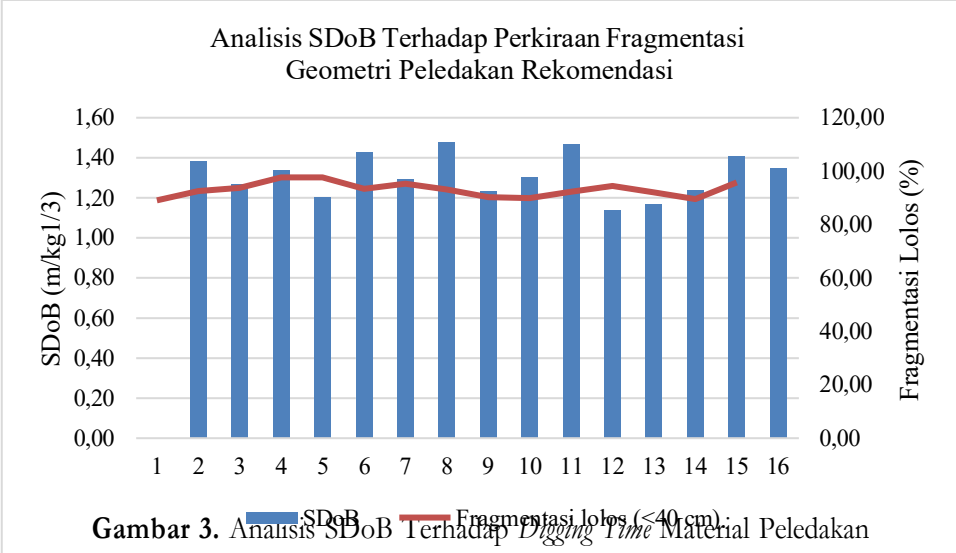
Sebaliknya, nilai SDoB terendah dicapai pada 22 Maret 2025 di area SIDEWALL UTARA (1,14) dan 23 Maret 2025 di ROOF M10, M11, & M13 (1,17). Nilai yang lebih rendah ini mengindikasikan bahwa kedalaman lubang lebih dangkal terhadap jumlah bahan peledak yang digunakan. Kondisi tersebut berpotensi menghasilkan fragmentasi yang lebih halus karena energi ledakan lebih besar terhadap volume batuan, namun dapat meningkatkan risiko flyrock dan overbreak bila kontrol geometri tidak optimal.

Nilai SDoB menengah (1,25–1,35) yang dominan terjadi pada FLOOR M13, ROOF M3, dan FLOOR M5 menunjukkan keseimbangan yang baik antara energi ledakan dan kedalaman lubang.

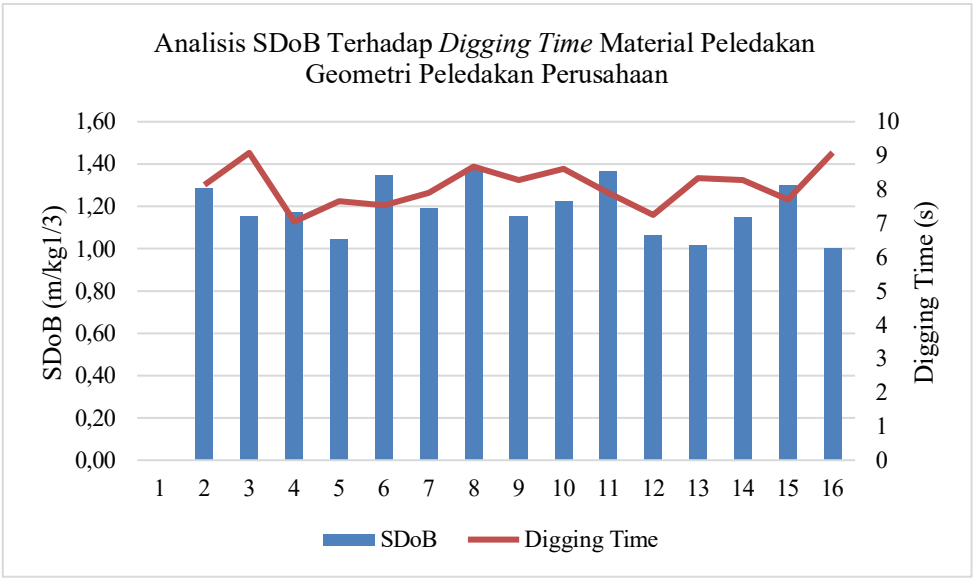
Pada kisaran ini, fragmentasi umumnya seragam dan digging time cenderung lebih efisien. Hal ini menunjukkan bahwa kombinasi burden, spasi, dan tinggi jenjang pada area tersebut sudah mendekati kondisi ideal

Hasil Fragmentasi dan *Digging Time*

Gambar 2. Analisis SDoB Terhadap Perkiraan Fragmentasi



Gambar 3. Analisis SDoB Terhadap *Digging Time* Material Peledakan



Analisis Hubungan *Scaled Depth of Burial* (SDoB) terhadap Fragmentasi dan *Digging Time*
Hubungan SDoB terhadap Fragmentasi

- Persamaan regresi :
  $Y = 74.90 + 12.24X$
- Koefisien determinasi (R^2): 0.042

Artinya, peningkatan nilai SDoB sebesar 1 $m/kg^{1/3}$ akan meningkatkan fragmentasi sebesar 12,24%, meskipun hubungan ini lemah ($R^2 = 0,042$). Hubungan positif ini menunjukkan bahwa semakin besar nilai SDoB (kedalaman relatif peledakan yang lebih tinggi), maka fragmentasi batuan cenderung lebih baik karena energi ledakan lebih terkonsentrasi dalam massa batuan sehingga meningkatkan perpecahan material. Namun karena R^2 kecil, faktor lain seperti jenis batuan, distribusi bahan peledak, dan kondisi lapangan masih berpengaruh besar terhadap hasil fragmentasi.
Hubungan SDoB terhadap Digging Time

- Persamaan regresi :
  $Y = 8.80 - 0.59X$
- Koefisien determinasi (R^2): 0.015

Nilai *slope* negatif (-0,59) menunjukkan bahwa semakin besar SDoB, *digging time* cenderung menurun. Dengan kata lain, semakin efisien energi peledakan dalam menghasilkan fragmentasi yang halus, maka waktu penggalian menjadi lebih cepat. Namun, karena nilai R^2 sangat kecil (0,015), hubungan ini tergolong sangat lemah, menandakan bahwa digging time tidak hanya dipengaruhi oleh SDoB, tetapi juga oleh variabel lain seperti kondisi excavator, operator, dan ukuran fragmentasi aktual di lapangan.

Rekomendasi Geometri Peledakan

Pada percobaan (*trial and error*) geometri peledakan Tabel 7. yang dilakukan peneliti, terdapat 4 kali kegiatan peledakan yang memperoleh powder factor yang sesuai dengan permintaan perusahaan (0,13 kg/m3) namun masih ada PF yang mencapai angka 0,15 kg/m3. Kegiatan peledakan pada 07 April 2025 pada lokasi seam Roof M5 dengan Burden 7 m, Spasi 9 m, kedalaman lubang ledak 5,2 m, Stemming 2,9 m (material stemming cutting bor karena lubang kering), kolom isian 2,3 m, Subdrill 0,5 m, dan tinggin jenjang 4,7 m menghasilkan nilai VED sebesar 44% dengan PF 0,13 kg/m3 dan SDoB 1,15 m/kg1//3. Berdasarkan rekomendasi geometri tersebut diperoleh persentase fragmenmtasi lolos 40 cm sebanyak 100% dengan waktu pengalian material hasil peledakan (digging time) rata-rata 8,03 detik.

Kombinasi parameter yang empiris paling stabil di Pit Warute adalah burden 7,0 m, spasi 9,0 m, kedalaman lubang ≈ 7–8 m, stemming ≈ 3,0 m (material stermming *cutting bor*), PF target 0,13–0,14 kg/m^3, SDoB target 1,10–1,25 $m \cdot kg^{-1/3}$. Kombinasi ini memberikan fragmentasi rata-rata ≈ 89–91% lolos ukuran ideal dan *digging time* rata-rata 7,5–8,3 s/siklus pada kondisi pengamatan. Rekomendasi operasional. Pada hitung SDoB per lubang dan jika SDoB <1,00 kurangi muatan atau tambah stemming; jika SDoB >1,25 tingkatkan muatan atau koreksi burden/spacing secara bertahap. Lakukan 3–5 trial blasts terkontrol untuk konfirmasi dan analisis ekonomi (biaya explosive vs penghematan waktu gali).

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan yang telah dilakukan pada kegiatan peledakan tanah penutup di Pit Warute PT. Bina Sarana Sukses (BSS) *Jobsite* Antang Gunung Meratus (AGM), dapat disimpulkan bahwa kondisi geometri peledakan yang diterapkan di lapangan umumnya menggunakan burden sebesar 7–7,5 m, spasi 8,5–9 m, kedalaman lubang 7–9 m, tinggi jenjang ±8 m, stemming 2,5– 3 m, dan subdrilling 0,5 m. Nilai Powder Factor (PF) yang dihasilkan berada pada kisaran 0,11–0,17 kg/m^3 dengan rata-rata 0,14 kg/m^3, sedangkan nilai *Scaled Depth of Burial* (SDoB) berada pada kisaran 1,00–1,48 $m \cdot kg^{-1/3}$ dengan rata-rata 1,19 $m \cdot kg^{-1/3}$. Hasil analisis regresi menunjukkan bahwa hubungan antara SDoB terhadap fragmentasi dan *digging time* bersifat positif namun lemah ($R^2 < 0,05$), sedangkan PF memiliki pengaruh yang tidak signifikan terhadap kedua parameter tersebut. Hal ini mengindikasikan bahwa variabilitas fragmentasi dan waktu gali lebih banyak dipengaruhi oleh kondisi geoteknik dan kualitas pelaksanaan peledakan di lapangan. Kombinasi parameter geometri peledakan yang paling optimal untuk mencapai hasil fragmentasi dan digging time ideal di lokasi penelitian adalah burden 7,0 m, spasi 9,0 m, stemming 3,0 m, kedalaman lubang 7–8 m, PF 0,13–0,14 kg/m^3, dan SDoB 1,10–1,25 $m \cdot kg^{-1/3}$, yang secara empiris memberikan hasil fragmentasi sekitar 89–91% lolos ukuran ideal dan digging time 7,5–8,3 detik per siklus.

REFERENSI

Abdillah, H. (2025). *Evaluasi Kinerja Fragmentasi Berdasarkan Prediksi Kuz-Ram dan Split Desktop pada Desain Geometri Peledakan Metode R.L. Ash di PT Lotus SG Lestari*. Skripsi. Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah Jakarta.

Adiansyah, J. S., Rosyidi, S. A., & Sasaoka, T. (2019). *Blasting Optimization for Fragmentation and Cost Reduction in Mining*. Journal of Mining Science, 55(3), 412–420.

Hidayat, W., & Rifandy, M. (2022). Evaluasi Geometri Peledakan Terhadap Fragmentasi dan Digging Time Excavator PC400LC di Pit M PT. Multi Harapan Utama, Kalimantan Timur. *Jurnal Geosfera Pertambangan (JGP)*, 6(1), 12–19.

Fragmentasi dan Digging Time Excavator PC400LC di Pit M PT. Multi Harapan Utama. *Jurnal Geosfera Pertambangan*, 6(1), 12–19.

Hustrulid, W. (1999). *Blasting Principles for Open Pit Mining – Volume 1: General Design Concepts*.

Koesnaryo, S. (2001). "*Pemboran untuk Penyediaan Lubang Ledak, Jurusan Teknik Pertambangan, Fakultas Teknologi Mineral, UPN "Veteran" Yogyakarta"*.

Konya, C. J., & Walter, E. J. (1990). *Surface Blast Design*. Englewood Cliffs: Prentice Hall.

Nugraha, D. R., Darmawan, D., & Amiruddin, A. I. (2021). Optimalisasi Geometri Peledakan Terhadap Fragmentasi dan Waktu Gali di Pit Kangguru PT. X, Kalimantan Timur. *Jurnal Teknik Pertambangan (JTP)*, 8(2), 34–45.

Nilasari, S. P., Fitriyah, L., & Hamzah, Z. (2022). Evaluasi Fragmentasi Peledakan terhadap Produktivitas Excavator di PT Semen Tonasa. *Jurnal Hutan dan Sumberdaya (JHS)*, 9(1), 43–51.

Nugraha, D. R., Darmawan, D., & Amiruddin, A. I. (2021). Optimalisasi Geometri Peledakan Terhadap Fragmentasi dan Waktu Gali di Pit Kangguru PT. X. *Jurnal Teknik Pertambangan UPNYK*, 8(2), 34–45.

Persson, P. A., Holmberg, R., & Lee, J. (1994). *Rock Blasting and Explosives Engineering*. CRC Press.

Putra, R. D. (2020). Pengaruh Geometri Peledakan terhadap Fragmentasi Batu Bara di Tambang Terbuka Kalimantan Timur. *Jurnal Teknologi Mineral*, 10(2), 115–124.

Rahman, F., Syahputra, D., & Novrianto, E. (2023). Evaluasi Fragmentasi Peledakan pada Kegiatan Penambangan Batu Gamping di PT Semen Padang. *Jurnal Teknik Kimia (JTK)*, 13(2), 55–64.

Siregar, A. H. (2022). Analisis Pengaruh Scaled Depth of Burial terhadap Kejadian Flyrock pada Tambang Granit. *Jurnal Teknik Pertambangan Indonesia*, 11(1), 21–30.

Sunyoto, D., & Kopa, E. (2021). Evaluasi Fragmentasi Peledakan Berdasarkan Distribusi Ukuran Fragmentasi di PT Allied Indo Coal Jaya, Sawahlunto. *Jurnal Teknik Pertambangan UNP*, 10(1), 22–29.

Utama, H., & Suwandhi, A. (2022). Scaled Depth of Burial Application to Increase Blast Efficiency in PT. Indo Muro Kencana. *Proceedings of the Open Pit Operators' Conference*