Jurnal Inovasi Pertambangan dan Lingkungan Vol 4, No. 1, Tahun 2024 : 35 – 44 P-ISSN: 2830-5354
https://journal.uinjkt.ac.id/index.php/jipl E-ISSN: 2797-7358

ANALISIS SCATTER DAN POWDER FACTOR PADA PELEDAKAN DI TAMBANG AIR LAYA PT BUKIT ASAM, TBK

ANALYSIS OF SCATTER AND POWDER FACTOR IN BLASTING AT THE AIR LAYA MINE OF PT BUKIT ASAM, TBK

Zati Hulwani[1], Deea Rizki Oziana[1], Muchlis[1]

1. Universitas Syiah Kuala, Indonesia

Email: zatihulwani@usk.ac.id

ABSTRAK

Peledakan merupakan metode penting dalam aktivitas pemberaian batuan pada pertambangan karena ekonomis dan efisien. PT Bukit Asam, Tbk. (PTBA) menggunakan metode peledakan untuk memberai batuan tanah penutup (*interburden*) di Tambang Air Laya disebabkan penggunaan alat mekanis dianggap tidak efektif. Teknik peledakan berdasarkan waktu tunda diterapkan untuk meningkatkan efektivitas pemberaian dan mengurangi dampak getaran tanah. Penelitian ini bertujuan menghitung jumlah lubang ledak yang meledak bersamaan (*scatter*) berdasarkan *surface delay*, serta menghitung *powder factor* pada kegiatan peledakan di PTBA. Penelitian menggunakan perhitungan *spreadsheet* sederhana sebagai alternatif perangkat lunak komersial yang membutuhkan biaya dalam penggunaannya. Metode penelitian meliputi studi literatur, pengamatan lapangan, serta pengumpulan data primer dan sekunder di Tambang Air Laya Selatan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa jumlah lubang ledak yang paling banyak meledak bersamaan adalah pada tanggal 14 September 2015 yaitu sebanyak 37 lubang, semakin banyak lubang ledak yang meledak bersamaan maka getaran yang dihasilkan juga besar. Dari hasil pengambilan data di lapangan didapatkan *powder factor* terbesar, ada pada peledakan ke-5, tanggal 17-09-2015, dengan *powder factor* bernilai 0,283 kg/ton dan 0,290 kg/ton.

Kata kunci: *Getaran Tanah, Peledakan, Powder Factor, Scatter, Tambang Air Laya*

DOI: 10.15408/jipl.v4i1.42412

ABSTRACT

Blasting is a crucial method for rock fragmentation in mining activities due to its cost-effectiveness and efficiency. PT Bukit Asam, Tbk. (PTBA) employs blasting techniques to fragment overburden rocks (interburden) at the Tambang Air Laya, where the use of mechanical equipment is deemed ineffective. Delay-based blasting techniques are applied to enhance fragmentation efficiency and mitigate ground vibration impacts. This study aims to calculate the number of blast holes detonated simultaneously (scatter) based on surface delay and to determine the powder factor in blasting operations at PTBA. The research uses a simple spreadsheet calculation method as an alternative to expensive commercial software. The research methodology includes literature reviews, field observations, and the collection of primary and secondary data at the South Tambang Air Laya. The study results show that the highest number of blast holes detonated simultaneously occurred on September 14, 2015, with 37 holes. The more blast holes detonated simultaneously, the greater the ground vibration. Based on data collected during the research, the highest powder factor was achieved during the fifth blasting on September 17, 2015, with a powder factor of 0.283 kg/ton and 0.290 kg/ton.

Keywords: *Ground Vibration, Blasting, Powder Factor, Scatters, Tambang Air Laya*

PENDAHULUAN

Peledakan merupakan kegiatan yang hampir tidak bisa dihindari dalam aktivitas penggalian dan pemberaian batuan, termasuk dalam kegiatan pertambangan (X. Qiu et al., 2018). Pengeboran dan peledakan merupakan metode yang ekonomis dan efisien untuk pemberaian batuan (*rock- breaking*),

© 2024 The Author(s). This is an open article under CC-BY-SA license (http://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/)

sehingga penentuan parameter peledakan yang tepat menjadi fokus utama dalam kegiatan ini (Peng et al., 2022). PT Bukit Asam, Tbk. (PTBA) menggunakan kegiatan peledakan untuk memecahkan batuan tanah penutup (*interburden*), termasuk di Lokasi pit Tambang Air Laya. Hal ini disebabkan oleh kekerasan batuan interburden membuat penggunaan *dozer* untuk pemberaian batuan dianggap tidak ekonomis.

Dalam kegiatan peledakan batuan, teknik kegiatan berbasis waktu tunda banyak digunakan untuk meningkatkan efektivitas pemberaian batuan dan mengurangi efek peledakan terhadap getaran tanah (X. Qiu et al., 2018). Menurut Huang et al. (2023), ketika terjadi ledakan, sejumlah besar energi peledakan dilepaskan namun hanya sekitar 20%-30% dari energi tersebut digunakan untuk memecah batuan. Energi sisa peledakan lainnya akan menyebabkan gangguan (*disturbances*) seperti getaran, batu terbang, kebisingan, dan *air shock waves* dimana getaran dianggap sebagai efek terburuk dari peledakan. Desain peledakan dan sekuen peledakan dengan menggunakan waktu tunda antar lubang merupakan tahapan penting untuk memaksimalkan penggunaan energi peledakan dan meminimalisir getaran tanah (Garai et al. 2022). Zeng et al. (2022) menemukan bahwa untuk menentukan besaran getaran tanah, faktor berupa *powder factor*, jumlah handak *per delay*, *sub-drilling* dan jarak merupakan parameter yang harus dipertimbangkan. *Peak Particle Velocity* (PPV) peledakan, sebuah indikator untuk menyatakan tingkat getaran tanah, secara signifikan dipengaruhi oleh sistem detonasi yang digunakan (Huang et al., 2023)., (Armaghani, et.all 2025). Berdasarkan Hosseini et al. (2023), faktor spasi lubang ledak merupakan faktor yang paling mempengaruhi intensitas PPV. Telah banyak penelitian yang dilakukan untuk menemukan persamaan dalam memprediksi PPV dari kegiatan peledakan dengan menggunakan *Artificial Inteligence* (Hosseini et al. (2023); Zeng et al. (2022); Huang et al. 2023). Dalam penelitian ini, PPV dihitung hanya dengan menggunakan persamaan yang dikemukakan oleh United States Bureau of Mines (USBM).

Penelitian ini bertujuan untuk menghitung nilai *powder factor* peledakan (Sadiq, M. R. 2021), jumlah lubang ledak yang meledak secara bersamaan (*scatter*), dan nilai PPV pada peledakan yang dilakukan di PTBA. Zhong et al. (2012) dalam Fissha et al. (2024) mengungkapkan bahwa penurunan penggunaan waktu tunda dalam milidetik menghasilkan frekuensi gelombang peledakan yang lebih rendah (*low frequency*) (Yulanda, Y. A., & Lagowa, M. I. 2023).

Penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Hartami, dkk. (2022), dan Maulana, dkk. (2022) memperhitungkan jumlah lubang ledak yang meledak secara bersamaan dengan menggunakan perangkat lunak peledakan komersial. Namun, dalam penelitian kali ini, peneliti menghitung jumlah lubang ledak yang meledak secara bersamaan dengan menggunakan perhitungan spreadsheet sederhana (Nabella, A., & Razak, S. 2023). Adanya penelitian yang menggunakan perhitungan dengan *spreadsheet* sederhana diharapkan akan membantu banyak pihak dalam menganalisis kegiatan peledakan di sebuah operasi penambangan terutama saat akses perangkat lunak komersil sulit digunakan. (Losaladjome Mboyo, et.all 2024).,(Saputra, et,all (2015).

METODE

Penelitian ini dilakukan dalam beberapa tahapan, dimulai dari studi literatur hingga pengolahan data dan analisis data. Penelitian dilakukan di PT Bukit Asam, Tbk (PTBA) yaitu di pit Tambang Air Laya Selatan pada tanggal 12 hingga 23 September 2015. Penelitian ini menggunakan data aktivitas peledakan yang dilaksanakan di PTBA termasuk data geometri peledakan, data hasil peledakan dan data terkait lainnya. Secara lebih rinci, metodologi penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Studi literatur dilakukan untuk memperoleh bahan-bahan pustaka yang berupa teori-teori penunjang kegiatan penelitian serta penelitian terdahulu yang terkait
2. Pengamatan lapangan dilakukan untuk mengetahui kondisi lapangan serta mengetahui aktivitas peledakan di lokasi Tambang Air Laya (TAL) Selatan.
3. Tahap persiapan dilakukan untuk mempersiapkan alat dan bahan yang dibutuhkan untuk pengambilan data di lapangan, meliputi: alat ukur (meteran), bola, kamera, dan data rencana peledakan harian.
4. Pengambilan data dilakukan untuk mendapatkan data yang dibutuhkan untuk penelitian, diantaranya data primer yang berupa geometri peledakan aktual, penggunaan bahan peledak, dan volume material peledakan. Selain data primer, data sekunder berupa karakteristik lapisan interburden B2-C, spesifikasi bahan peledak, perlengkapan serta peralatan yang digunakan, spesifikasi alat mekanis, data blast design dan data penunjang lainnya juga diambil.

5. Tahapan pengolahan data dilakukan dengan beberapa langkah, diantaranya:

— Perhitungan volume batuan yang terbongkar per kegiatan peledakan dengan menggunakan persamaan yang dikemukakan oleh R.L. Ash sebagai berikut.

$$V = B \times S \times H \times n \quad (1)$$

Dimana:
B = *Burden*
S = *Spacing*
H = Kedalaman Lubang Ledak
N = Jumlah Lubang Ledak perhari

— Perhitungan powder factor dengan mengolah data geometri peledakan. Perhitungan powder factor dilakukan dengan menggunakan persamaan yang dikemukakakn oleh R.L. Ash.

$$PF = \frac{E}{V} \quad (2)$$

Dimana:
Pf = *Powder factor* (kg / ton)
V = Volume batuan yang diledakkan (ton)
E = Berat bahan peledak ANFO (kg)

— Perhitungan jumlah lubang ledak yang meledak bersamaan dengan menggunakan data blast design dan perangkat lunak Microsoft Excel. Persamaan yang digunakan adalah:

$$Jumlah\ Lubang\ Meledak\ Bersamaan = \frac{Total\ Lubang}{Jumlah\ Delay\ yang\ digunakan} \quad (3)$$

Sedangkan untuk menghitung berat bahan peledak (handak) yang meledak secara bersamaan digunakan persamaan:

$$Berat\ Handak\ Meledak\ Bersamaan\ (kg) = Jumlah\ Lubang\ Meledak\ Bersamaan \times Isian\ (kg) \quad (4)$$

— Perhitungan *Peak Particle Velocity* (PPV) dihitung dengan menggunakan persamaan yang diberikan oleh *United States Bureau of Mines* (USBM) sebagai berikut.

$$V = k\left(\frac{D}{\sqrt{Q}}\right)^{-e} \quad (5)$$

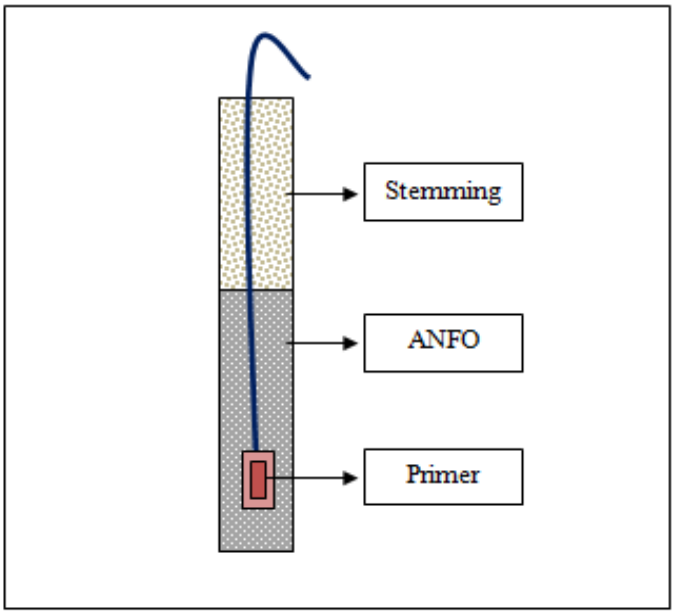
Dimana:
V = *peak particle velocity* (mm/s)
D = jarak dari peledakan ke area pengukuran (m)
Q = berat handak *per delay* (kg)
k dan e adalah konstanta yang digunakan spesifik terhadap lokasi site. Umumnya, e= 1.6 dan k= 1140

6. Analisa hasil pengolahan data dilakukan untuk menganalisis dan menemukan hubungan penggunaan *surface delay* terhadap jumlah lubang ledak yang meledak bersamaan serta menganalisa *powder factor* peledakan dari total bahan peledak dan volume batuan yang dibongkar (Kusumaningsih, D. A., 2023.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kegiatan pemboran dan peledakan yang dilakukan di lokasi pit Tambang Air Laya Selatan milik PT Bukit Asam (Persero), Tbk. bertujuan untuk membongkar dan memberai material seperti batubara serta tanah penutup (*overburden* dan *interburden*) agar mempermudah alat gali-muat dalam pengangkutan lapisan tanah penutup (*interburden*) B2-C. Pada kegiatan peledakan lapisan B2-C di lokasi ini, digunakan pola pemboran selang-seling (*staggered pattern*) dengan bahan peledak ANFO. Analisis dilakukan untuk memperkirakan energi yang dihasilkan selama peledakan, yang diwakili oleh getaran (*vibration*) akibat peledakan. Hasil prediksi getaran menunjukkan bahwa nilai getaran berada dalam kisaran 0,6 hingga 1,0 mm/s, dengan skala jarak (*scaled distance*) yang bervariasi antara 81 hingga 108. Perkiraan energi ini dapat digunakan untuk mengevaluasi dampak terhadap lingkungan dan efisiensi peledakan, meskipun distribusi fragmentasi tidak dianalisis pada penelitian ini.
Pada penelitian ini, melihat kegiatan pemboran kemudian dilakukan kegiatan peledakan untuk membongkar lapisan batuan *interburden* B2-C di pit Tambang Air Laya Selatan, PTBA. Tahapan peledakan yang dilakukan yaitu:

a. Pembuatan primer. Primer adalah pemicu bahan peledak ANFO, yang terdiri dari detonator *inhole delay* dan daya gel. (Safarudin, S.,2016).Rangkaian inilah yang meledak terlebih dahulu sebelum bahan peledak ANFO meledak.(Putra, T. M.,2024)., (Seervi, V. 2023)
b. Pengisian Bahan Peledak. Berdasarkan pengamatan dilapangan, pola pengisian bahan peledak pada peledakan *interburden* B2-C di pit TAL Selatan termasuk dalam kategori *bottom loading* karena letak primer berada di dasar lubang ledak kemudian bahan peledak (ANFO), dan terakhir material *stemming*, seperti yang terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Pola Pengisian Bahan Peledak Secara *Bottom Loading*
(Sumber: PTBA)

Peledakan yang digunakan di lokasi penelitian menggunakan sistem peledakan tunda dengan proses penyalaan *hole by hole* 500 ms, hal ini bertujuan untuk mengurangi efek getaran pada saat terjadi peledakan. Pola peledakan yang digunakan jenis *box cut* dan *v-cut* dengan menggunakan rangkaian nonel. Nonel waktu tunda tiap detonator di permukaan (*surface delay*) untuk *control row* menggunakan 42 ms sampai 67 ms, sedangkan waktu tunda tiap baris *echelon* menggunakan 109 ms.
Perangkaian dilakukan dengan menyambungkan *tube* nonel *in hole delay* ke *conector* blok nonel *surface delay* pada setiap lubang, kemudian setiap tube nonel *surface delay* disambungkan ke *conector surface delay* lainnya sesuai dengan pola peledakan yang dipakai. Setelah rangkaian nonel telah terhubung, ujung-ujung rangkaian di cek dengan menggunakan *blasting ohmmeter*. Apabila *blasting ohmmeter* menunjukan angka diatas 1 berarti rangkaian dalam keadaan baik untuk diledakkan. Lalu *tube* nonel pertama yang ditentukan sebagai *Initiation Point* (IP) dihubungkan ke detonator listrik, kemudian

disambungkan ke *leading wire* dan dihubungkan ke *blasting machine (*Shi, X. Z., & Chen, S. H. R. (2011)..

Penggunaan waktu tunda dalam proses peledakan sangat perlu diperhatikan dan diperhitungkan, hal ini disebabkan untuk mencegah terjadinya peledakan secara bersamaan (*scatter*) (Razak, S.,et.all.,2024) Metode peledakan pada lapangan yang diterapkan adalah metode *non-electric* (nonel). Pola peledakan yang digunakan yaitu pola peledakan *hole by hole* dimana lubang ledak meledak beruntun. Selama penelitian dilakukan, masih terjadi lubang yang meledak secara bersamaan (*scatter*), meski vibrasi yang dihasilkan masih dibawah ambang batas, sehingga penggunaan interval waktu tunda harus lebih diperhatikan.

Dalam satu baris setiap lubang tembak dipasang *delay* detonator dengan nomor yang sama (*control row*). Sedangkan pada tiap baris yang berbeda digunakan nomor yang berbeda (*echelon*). Pada peledakan yang dilaksanakan di TAL Selatan, penggunaan *surface delay* yang digunakan merk *Bench Master,* PT Dahana. *Surface delay* yang digunakan pada penelitian ini adalah 42 ms, 67 ms, dan 109 ms.

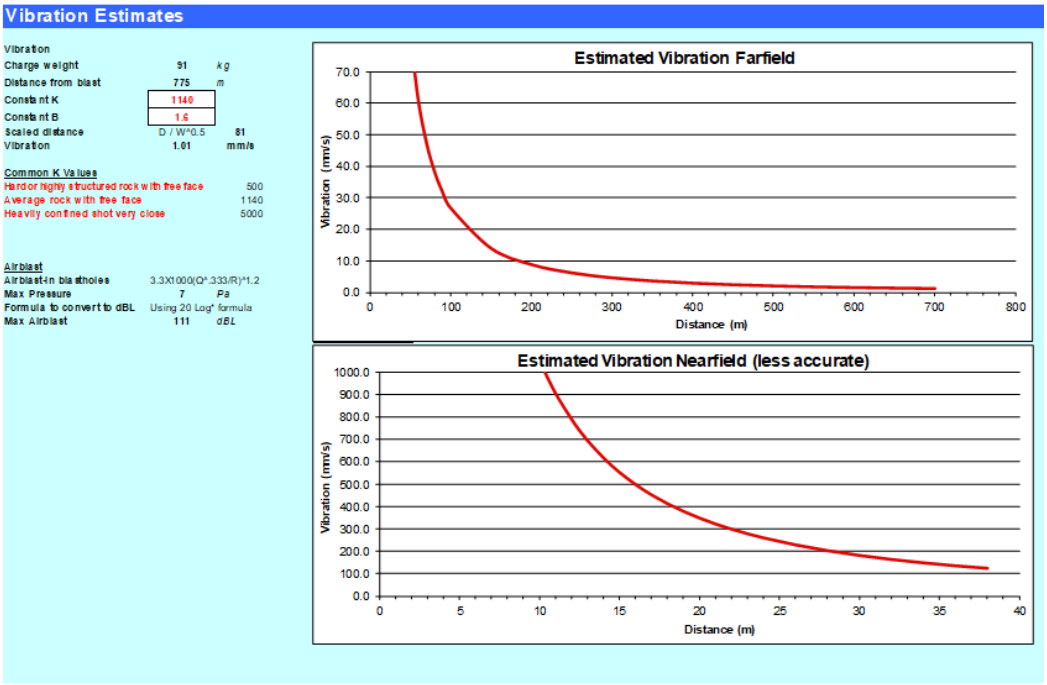
Dari pengukuran pada setiap operasi peledakan di lapangan, maka didapatkan geometri peledakan rata-rata aktual, volume batuan, lubang ledak yang meledak bersamaan, *powder factor*, dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Data Geometri Peledakan, Perhitungan Hasil Peledakan, dan Perhitungan Prediksi Getaran di Pit TAL Selatan pada tanggal 12 September 2015-23 September 2015

PELEDAKAN	12-Sep-15	14-Sep-15	15-Sep-15	16-Sep-15	17-Sep-15	17-Sep-15	19-Sep-15	21-Sep-15	22-Sep-15	23-Sep-15
BAHAN PELEDAK										
ANFO (kg)	6239	7196	5349	6596	4156	5484	5897	4433	5349	3065
Primer Cartridge / Dodol (kg)	17.1	19.8	15.3	18	9	10.8	12.96	10.8	14.4	10.8
Anfo (kg/hole)	65.67	65.42	62.93	65.96	83.12	91.40	81.90	73.88	66.86	51.08
Primer Cartridge / Dodol/hole (kg)	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18
Power Gel (buah)	95	110	85	100	50	60	72	60	80	60
Detonator (pcs)	95	110	85	100	50	60	72	60	80	60
GEOMETRI PELEDAKAN										
Burden (m)	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Spasi (m)	7	7	8	7	7	7	7	8	8	7
Stemming (m)	3	3	3	3	2.5	2.5	2.5	4.5	3.5	2.5
Subdrilling (m)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Hole Depth (m)	7.5	7	7	7.5	7	7.5	7	8.5	8.5	6
Hole Diameter	6,75”	6,75”	6,75”	6,75”	6,75”	6,75”	6,75”	6,75”	6,75”	6,75
Hole Diameter (mm)	171.45	171.45	171.45	171.45	171.45	171.45	171.45	171.45	171.45	171.45
Total Holes (buah)	95	110	85	100	50	60	72	60	80	60
Detonator Listrik	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Surface delay 109 ms	50	64	29	65	24	40	38	42	61	41
Surface delay 67 ms	-	-	55	-	25	19	33	17	18	-
Surface delay 42 ms	44	45	-	34	-	-	-	-	-	18
Surface delay 25 ms	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Jumlah Surface Delay yang digunakan	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
PERHITUNGAN PELEDAKAN										

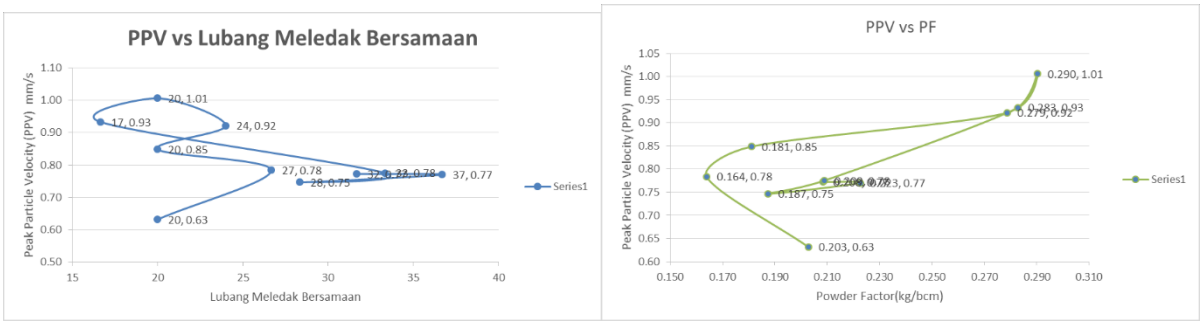
PELEDAKAN	12-Sep-15	14-Sep-15	15-Sep-15	16-Sep-15	17-Sep-15	17-Sep-15	19-Sep-15	21-Sep-15	22-Sep-15	23-Sep-15
Coloumn Charge (m)	4.5	4	4	4.5	4.5	5	4.5	4	5	3.5
Lubang Meledak Bersamaan	32	37	28	33	17	20	24	20	27	20
Max Charge (ANFO+Primer Cartridge / Dodol)/lubang medelak bersamaan (kg)	2085	2405	1788	2205	1388	1832	1970	1481	1788	1025
Volume shoot (B.C.M/hole)	315	294	336	315.84	294	315	294	408	408	252
Volume Batuan (B.C.M/total)	29925	32340	28560	31584	14700	18900	21168	24480	32640	15120
Powder Factor(kg/bcm)	0.208	0.223	0.187	0.209	0.283	0.290	0.279	0.181	0.164	0.203
PERHITUNGAN PREDIKSI GETARAN HASIL PELEDAKAN										
Charge weight (W)	65.67	65.42	62.93	65.96	83.12	91.40	81.90	73.88	66.86	51.08
Distance from blast (D)	775	775	775	775	775	775	775	775	775	775
Constant K	1140	1140	1140	1140	1140	1140	1140	1140	1140	1140
Constant B	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6
Scaled distance (D / W^0.5)	96	96	98	95	85	81	86	90	95	108
Peak Particle Velocity (PPV)	0.77	0.77	0.75	0.78	0.93	1.01	0.92	0.85	0.78	0.63

Berdasarkan data di atas, terdapat pengaruh signifikan dari jumlah lubang ledak yang meledak bersamaan (*scatter*) dan interval waktu peledakan yang terlalu rapat terhadap getaran hasil peledakan. Analisis menunjukkan bahwa semakin banyak jumlah lubang ledak yang meledak secara bersamaan, getaran yang dihasilkan akan meningkat, dengan nilai getaran berkisar antara 0,63 hingga 1,01 mm/s. Hal ini juga berkaitan dengan variasi *powder factor* yang berada dalam rentang 0,164 hingga 0,290 kg/bcm, di mana nilai yang lebih tinggi menunjukkan konsumsi bahan peledak yang lebih besar untuk setiap unit volume batuan yang diledakkan. Detail perhitungan getaran peledakan dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Perhitungan *Peak Particle Velocity* (PPV) pada Tanggal 17 September 2015

Pada Tabel 1 diatas, jumlah lubang ledak yang paling banyak meledak bersamaan adalah pada tanggal 14 September 2015 yaitu sebanyak 37 lubang. Semakin besar getaran, maka fragmentasi batuan yang dihasilkan dari peledakan semakin kecil karena energi untuk meledakkan/meremukkan batuan di bawah permukaan bumi semakin besar. Dari Tabel 1 berat handak meledak bersamaan (kg) adalah 2405 kg.



(a) (b)

Gambar 3. (a) Grafik PPV vs Lubang Meledak Bersamaan; (b) Grafik PPV vs PF

Berdasarkan Gambar 3 (a) grafik PPV vs lubang meledak bersamaan, terlihat bahwa lubang ledak yang meledak bersamaan (*scatter*) berpengaruh terhadap peningkatan getaran hasil peledakan. Hal ini dapat dilihat dari pola data yang cenderung membentuk kurva pada grafik, menunjukkan hubungan yang tidak linear antara jumlah lubang ledak bersamaan dan *peak particle velocity* (PPV). Interval waktu peledakan yang terlalu rapat juga berpengaruh besar terhadap getaran hasil peledakan. Hal ini dapat diamati dari ketinggian puncak getaran yang semakin tinggi ketika interval waktu peledakan semakin rapat. Jika interval waktu peledakan terlalu rapat, gelombang kejut dari setiap lubang ledak akan saling tumpang tindih. Hal ini dapat meningkatkan amplitudo getaran, terutama di dekat lubang ledak yang lebih awal meledak.

Kombinasi lubang ledak yang meledak bersamaan dan interval waktu peledakan yang terlalu rapat dapat menghasilkan getaran yang lebih tinggi dan berpotensi menimbulkan kerusakan yang lebih besar. Perlu dilakukan penyesuaian jumlah lubang ledak yang meledak bersamaan untuk mengurangi peningkatan getaran dengan cara memperluas interval waktu peledakan untuk memberikan waktu bagi gelombang getaran untuk mereda sebelum lubang ledak berikutnya di detonasi.

Gambar 3 (b) grafik PPV vs PF, Grafik menunjukkan bahwa PPV cenderung meningkat seiring dengan peningkatan PF. Semakin tinggi PF, semakin besar energi yang dilepaskan dalam peledakan. Hal ini

berpotensi menyebabkan amplitudo getaran yang lebih tinggi. Dari hasil pengambilan data di lapangan didapatkan *powder factor* terbesar, ada pada peledakan ke-5, tanggal 17-09-2015, dengan *powder factor* bernilai 0,283 dan 0,290 dan PPV yang dihasilkan bernilai 0,93 dan 1,01. Meskipun PF penting, faktor lain seperti jenis peledak, desain peledakan, adanya struktur geologi, dan *surface delay* yang digunakan juga berpengaruh terhadap getaran hasil peledakan.
Dari hasil penelitian ini menunjukkan bahwa PPV dipengaruhi oleh PF dan cara lubang ledak diledakkan. Mengatur *scatter* dan interval waktu peledakan dengan tepat, serta memilih PF yang sesuai, dapat membantu mengurangi dampak getaran hasil peledakan.

PENUTUP

Kegiatan pemboran dan peledakan di pit Tambang Air Laya Selatan PT. Bukit Asam (Persero), Tbk. bertujuan untuk membongkar material *overburden* dan *interburden* untuk mempermudah aktivitas penggalian dan pengangkutan.
Analisis geometri peledakan menunjukkan bahwa faktor seperti burden, spasi, *stemming*, *subdrilling*, dan waktu tunda (*delay*) berkontribusi signifikan terhadap hasil peledakan. Pola peledakan *hole by hole* yang diterapkan menggunakan sistem nonel dengan waktu tunda yang bervariasi (42 ms, 67 ms, hingga 109 ms) bertujuan untuk mengurangi efek getaran yang berlebihan. Meski demikian, masih ditemukan beberapa lubang ledak yang meledak secara bersamaan (*scatter*), sehingga menghasilkan peningkatan getaran yang signifikan.

Dari hasil penelitian ini masih banyak lubang ledak yang meledak bersamaan, hal ini dikarenakan penggunaan *surface delay* yang tidak beragam. semakin banyak lubang ledak yang meledak bersamaan maka getaran yang dihasilkan juga besar. Dari hasil penelitian jumlah lubang ledak yang paling banyak meledak bersamaan adalah pada tanggal 14 September 2015 yaitu sebanyak 37 lubang. Hasil pengolahan data sebaiknya dianalisis kembali perangkat lunak komersial, sehingga bisa dibandingkan hasil pengolahan data perhitungan dengan *Microsoft Excel* dan *software*. Dan untuk hasil getaran bisa dikumpulkan menggunakan data hasil alat Blastmate, sehingga kita tahu apakah terbukti semakin banyak lubang ledak yang meledak bersamaan, maka getaran semakin besar.
Analisis menunjukkan bahwa lubang ledak yang meledak bersamaan (*scatter*) dan interval waktu peledakan yang terlalu rapat berpengaruh besar terhadap getaran hasil peledakan. Semakin banyak jumlah lubang ledak yang meledak secara bersamaan, getaran yang dihasilkan akan meningkat, dengan nilai getaran berkisar antara 0,63 hingga 1,01 mm/s.
Dari hasil pengambilan data di lapangan didapatkan *powder factor* terbesar, ada pada peledakan ke-5, tanggal 17-09-2015, dengan *powder factor* bernilai 0,283 dan 0,290 dan PPV yang dihasilkan bernilai 0,93 dan 1,01. *Powder factor* (PF) juga berpengaruh terhadap getaran hasil peledakan, dengan nilai PF yang lebih tinggi menunjukkan konsumsi bahan peledak yang lebih besar untuk setiap unit volume batuan yang diledakkan. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa PF dipengaruhi oleh cara lubang ledak diledakkan dan jenis peledak yang digunakan.
Penelitian ini menyarankan perbaikan dalam pengaturan waktu tunda antar lubang untuk meminimalkan *scatter* serta peningkatan pemantauan dan evaluasi fragmentasi batuan. Hasil penelitian diharapkan dapat menjadi acuan untuk meningkatkan efektivitas peledakan, mengurangi dampak lingkungan, serta mendukung aktivitas pertambangan yang lebih berkelanjutan di masa mendatang.
Dalam rangka mengurangi dampak getaran hasil peledakan, perlu dilakukan penyesuaian jumlah lubang ledak yang meledak bersamaan dan interval waktu peledakan. Mengatur *scatter* dan interval waktu peledakan dengan tepat, serta memilih PF yang sesuai, dapat membantu mengurangi dampak getaran hasil peledakan.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terima kasih kepada Bapak Dr. Abrar Muslim, ST., M.Eng. selaku Ketua Program Studi Teknik Pertambangan Universitas Syiah Kuala, Bapak Mulkal, S.T., M.Sc., selaku Koordinator Kerja Praktek Teknik Pertambangan Universitas Syiah Kuala, Bapak Muchlis, S.Si., M.Sc., selaku dosen wali sekaligus pembimbing penulis, Ibu Nurul Aflah, S.T. MSc. selaku dosen sekaligus pembimbing penulis, serta rekan sejawat Kerja Praktek Aris Munandar, Iqbal Januari Pratama, dan Helsy Ulfa Handalia yang atas dukungan dan semangat untuk menyelesaikan kerja praktek ini. Terima kasih kepada Bapak H.

Ketut Junaedi, S.T., dan Bapak Subandi B Dolahadi selaku pembimbing yang telah mendidik dan membimbing penulis selama di lapangan, dan seluruh karyawan lainnya yang tidak dapat disebutkan satu persatu. Terimakasih juga kepada PT Bukit Asam, Tbk., yang telah memberikan penulis kesempatan untuk melakukan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

Armaghani, D. J., Hayati, M., Momeni, E., Dowlatshahi, M. B., & Asteris, P. G. (2025). Estimation of powder factor in mine blasting: Feasibility of tree-based predictive models. *Multiscale and Multidisciplinary Modeling, Experiments and Design, 8*, 138.

Fissha, Y., Ragam, P., Ikeda, H., Kumar, N. K., Adachi, T., Paul, P. S., & Kawamura, Y. (2024). Data-driven machine learning approaches for simultaneous prediction of peak particle velocity and frequency induced by rock blasting in mining. *Rock Mechanics Bulletin*.

Garai, D., Agrawal, H., & Mishra, A. K. (2023). Impact of orientation of blast initiation on ground vibrations. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering, 15*(3), 255–261.

Hartami, P. N., Laksono, P., Maulana, Y., & Purwiyono, T. T. (2021). Simulasi perubahan surface delay dalam mengurangi getaran peledakan di PT Agincourt Resources. *Indonesian Mining and Energy Journal, 4*(2), 109–117.

Hosseini, S., Pourmirzaee, R., Armaghani, D. J., Nikbakht, H., & Eslamian, Y. (2023). Prediction of ground vibration due to mine blasting in a surface lead–zinc mine using machine learning ensemble techniques. *Scientific Reports, 13*, 6591.

Losaladjome Mboyo, H., Huo, B., Mulenga, F. K., Mabe Fogang, P., & Kalenga Kaunde Kasongo, J. (2024). Assessing the impact of surface blast design parameters on the performance of a comminution circuit processing a copper-bearing ore. *Minerals, 14*(12)

Nabella, A., & Razak, S. (2023). Studi fragmentasi batuan peledakan menggunakan metode top air decking. *Jurnal Inovasi Pertambangan dan Lingkungan, 3*(2), 54–64.

Maulana, Y., Hartami, P. N., Fitriyani, O., & Nugroho, B. (2022). Kajian simulasi pola penyalaan terhadap getaran peledakan di PT. Semen Indonesia Tbk. *Indonesian Mining and Energy Journal, 5*(1), 33–44.

Putra, T. M., Yulanda, Y. A., & Lagowa, M. I. (2024). Perencanaan teknis penanganan lumpur dari sump pit selatan menuju disposal 2 pada PT Caritas Energi Indonesia site PT Batubara Jambi Lestari. *Jurnal Inovasi Pertambangan dan Lingkungan, 4*(2), 52–59.

Qiu, X., Shi, X., Gou, Y., Zhou, J., Chen, H., & Huo, X. (2018). Short-delay blasting with single free surface: Results of experimental tests. *Tunneling and Underground Space Technology, 74*, 119–130.

Razak, S., Simangunsong, G. M., & Karian, T. (2024). Analisis kestabilan lubang bukaan akibat peledakan Deep Mill Level Zone (DMLZ) PT Freeport Indonesia. *Jurnal Geomine, 12*(1), 26–42.

Razak, S., Kusumaningsih, D. A., & Haryono, A. F. (2023). Studi pemodelan empiric peak particle velocity (PPV) tambang bawah tanah PT Freeport Indonesia. *Jurnal Geomine, 11*(2), 121–133.

Reksadipo, L. A., Razak, S., & Djamil, A. S. (2022). Analisis overburden peledakan untuk peningkatan produktivitas pada PT Putra Perkasa Abadi Kalimantan Timur. *Jurnal Inovasi Pertambangan dan Lingkungan, 2*(2), 30–36.

Safarudin, S., Purwanto, P., & Djamaluddin, D. (2016). Analisis pengaruh geometri peledakan terhadap fragmentasi dan digging time material blasting. *Jurnal Penelitian Enjiniring, 20*(2), 54–62.

Sadiq, M. R. (2021). Implementasi bottom air deck dan expand pattern secara terintegrasi dalam rangka optimalisasi penggunaan bahan peledak di pit South Pinang PT. Kaltim Prima Coal. *Indonesian Mining Professionals Journal, 3*(1), 17–30.

Saputra, W. F., Komar, H. S., & Abro, H. A**.** (2015). Kajian teknis penanganan lumpur (mud handling) pada main sump untuk optimalisasi pompa pada pit Darmo PT Ulima Nitra Tanjung Enim Sumatera Selatan. *Jurnal Inovasi Pertambangan dan Lingkungan, 1*(1), 1–10.

Seervi, V. (2023). Critical analysis of powder factor in dragline bench blasting: A case study. *Journal of The Institution of Engineers (India): Series D, 104*(4), 821–825. https://doi.org/10.1007/s40033-022-00416-z

Shi, X. Z., & Chen, S. H. R. (2011). Delay time optimization in blasting operations for mitigating the vibration effects on final pit walls' stability. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 31*, 1154–1158.

Yulanda, Y. A., & Lagowa, M. I. (2023). Penentuan rasio blending material lumpur dan overburden pada proses pembuangan lumpur di area disposal. *Jurnal Teknik Pertambangan, 15*(2), 45–53.

Zeng, J., Mohammed, A. S., Mirzaei, F., & Others. (2022). A parametric study of ground vibration induced by quarry blasting: An application of group method of data handling. *Environmental Earth Sciences*,