



ANALISIS GROUND VIBRATION PADA PELEDAKAN DI PIT EDELWEIS PT. RIUNG MITRA LESTARI JOBSITE MULTI TAMBANGJAYA UTAMA

ANALYSIS OF GROUND VIBRATION IN BLASTING AT THE EDELWEISS PIT PT. RIUNG MITRA LESTARI JOBSITE MULTI TAMBANGJAYA UTAMA

Devin Tesario Grunadi¹, Noveriady², Neny Fidayanti³, Yunida Iashania⁴, Yusias Andri⁵

¹Universitas Palangkaraya, Indonesia, Email: devindevintesario@gmail.com

²Universitas Palangkaraya, Indonesia

³Universitas Palangkaraya, Indonesia

⁴Universitas Palangkaraya, Indonesia

⁵Universitas Palangkaraya, Indonesia

Email Korespondensi : devindevintesario@gmail.com

Abstract

PT. Riung Mitra Lestari is a mining contractor operating at Jobsite Multi Tambangjaya Utama, located in Gunung Bintang Awai District, South Barito Regency, Central Kalimantan Province. The overburden removal process is carried out using the drill and blast method. Blasting activities not only aim to fragment rocks but also need to consider environmental impacts, particularly ground vibration, which is measured using the Peak Particle Velocity (PPV) parameter. This study aims to analyze the correlation between predicted and actual PPV values and to determine an optimal and safe blasting design according to the Indonesian National Standard (SNI 7571:2010) with a maximum limit of ≤ 2 mm/s. Field data were obtained using a Micromate InstanTel during May–June 2025 and analyzed quantitatively using the power regression method to model the relationship between scaled distance (SD) and PPV. The analysis produced the equation $PPV = 90.183,95 \left(\frac{D}{W}\right)^{-2.643}$ with a determination coefficient (R^2) of 0,8596, indicating a prediction accuracy of 85,96%. The measured PPV values ranged from 1,221 to 3,404 mm/s, with several results exceeding the safety limit. Based on the evaluation, the Echelon blasting pattern with a 17 ms delay interval is recommended, as it effectively reduces PPV below the standard and provides more stable vibration control compared to the Box Cut pattern.

Keywords : Ground Vibration, Blasting, Scaled Distance, Power Regression, PPV.

Abstrak

PT. Riung Mitra Lestari merupakan perusahaan kontraktor pertambangan (*mining contractor*) yang berlokasi di Jobsite Multi Tambangjaya Utama, Kecamatan Gunung Bintang Awai, Kabupaten Barito Selatan, Kalimantan Tengah. Kegiatan pembongkaran tanah penutup (*overburden*) dilakukan dengan metode pengeboran dan peledakan (*drill and blast*). Aktivitas peledakan tidak hanya bertujuan untuk memecah batuan, tetapi juga harus memperhatikan dampak lingkungan, salah satunya getaran tanah (*ground vibration*) yang diukur menggunakan parameter *Peak Particle Velocity* (PPV). Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis hubungan



antara nilai prediksi dan aktual PPV serta menentukan desain peledakan yang aman dan efisien sesuai batas SNI 7571:2010 (≤ 2 mm/s). Data diperoleh melalui pengukuran lapangan menggunakan alat *Micromate* pada bulan Mei–Juni 2025 dan dianalisis secara kuantitatif menggunakan metode regresi power untuk memodelkan hubungan antara *scaled distance* (SD) dan PPV. Hasil penelitian menunjukkan persamaan $PPV = 90.183,95 \left(\frac{D}{\sqrt{W}}\right)^{-2,643}$ dengan $R^2 = 0,8596$, yang berarti tingkat akurasi model sebesar 85,96%. Nilai PPV aktual berkisar 1,221–3,404 mm/s, dengan beberapa data melebihi batas aman. Berdasarkan hasil evaluasi, pola peledakan tipe *Echelon* dengan delay interval 17 ms direkomendasikan karena mampu menekan nilai PPV di bawah standar serta menghasilkan getaran yang lebih stabil dibandingkan pola *Box Cut*.

Kata Kunci : *Ground Vibration*, Peledakan, *Scaled Distance*, Regresi Power, PPV.

1. PENDAHULUAN

PT. Riung Mitra Lestari merupakan salah satu perusahaan yang bergerak di bidang kontraktor pertambangan (*mining contractor*) yang berlokasi di Desa Wayun, Kecamatan Gunung Bintang Awai, Kabupaten Barito Selatan, Provinsi Kalimantan Tengah. Dimana penerapannya untuk pembongkaran tanah penutup (*overburden*) dilakukan dengan menggunakan metode pengeboran dan peledakan (*drill and blast*). Aktivitas peledakan ini tidak hanya bertujuan untuk memecah batuan, tetapi juga harus mempertimbangkan dampak yang ditimbulkan, salah satunya adalah getaran tanah (*ground vibration*).

Getaran tanah yang dihasilkan dari peledakan merambat melalui media tanah dan batuan, dan intensitas dinyatakan dalam satuan Peak Particle Velocity (Kahriman, 2004)¹. Nilai PPV yang tinggi berpotensi menyebabkan kerusakan struktural pada infrastruktur di sekitar area pertambangan, mengganggu kestabilan lereng, serta menimbulkan ketidaknyamanan dan risiko keselamatan bagi pekerja maupun masyarakat sekitar (Monjezi et al., 2011)².

PT. Riung Mitra Lestari Jobsite Multi Tambangjaya Utama menerapkan Standar (Badan Standardisasi Nasional, 2010)³ sebagai acuan bahwa getaran dikategorikan aman pada lokasi pertambangan apabila nilai getaran tidak melewati ≤ 2 mm/s. Hal ini berarti bahwa dari getaran hasil peledakan yang berada di luar standar yang diizinkan maka dapat mengancam keselamatan kerja, keluhan masyarakat lokal, mengganggu operasional, kestabilan lereng serta berpotensi menimbulkan kerusakan pada infrastruktur area tambang. Berdasarkan pengamatan di lapangan, aktivitas peledakan di Pit Edelweis masih menunjukkan nilai PPV aktual yang seringkali melebihi batas aman standar acuan SNI. Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor, antara lain desain Tie-Up aktual akibat delay interval yang tidak tepat, sehingga memicu fenomena lubang meledak secara bersamaan (*overlap blast*) pada beberapa lubang ledak. Selain itu, isian bahan peledak per lubang (*charge weight*) juga berkontribusi terhadap peningkatan nilai PPV.

Menurut Singh (2005)⁴, gelombang seismik dibagi menjadi dua, yaitu gelombang badan (*body wave*) dan gelombang permukaan (*surface wave*).

¹ Kahriman, A. (2004). Analysis of parameters of ground vibration produced from bench blasting at a limestone quarry. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 24(11), 887–892.

² Monjezi, M., Bahrami, A., & Ghodrati, B. (2011). Prediction of blast-induced ground vibration using artificial neural networks. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 26(1), 46–50.

³ Badan Standardisasi Nasional. (2010). SNI 7571:2010. Baku tingkat getaran peledakan pada kegiatan tambang terbuka terhadap bangunan. Jakarta: BSN.

⁴ Singh, P. K. (2005). *Blasting technology*. CRC Press.



Gelombang badan merambat melalui massa batuan, menembus ke bagian dalam batuan. Untuk jarak dekat getaran lebih didominasi oleh gelombang badan. Gelombang badan ini akan merambat keluar membentuk bola sampai mereka bertemu dengan suatu bidang kontak. Bidang kontak ini dapat berupa perlapisan batuan, bidang bebas, rekahan, kekar, permukaan, atau tanah. Ketika gelombang badan ini bertemu dengan bidang kontak tersebut maka gelombang permukaan dan gelombang geser akan terbentuk. Gelombang badan dapat dibagi menjadi dua yaitu gelombang tekan (P), dan gelombang geser (S). (Sushil Bhandari, 1997)⁵.

Gelombang permukaan adalah gelombang yang merambat di atas permukaan batuan tetapi tidak menembus batuan. Gerakan gelombang ini menurun terhadap kedalaman. Gelombang permukaan lebih besar dari gelombang badan tetapi penjarannya lambat. Gelombang inilah yang sering menjadi masalah. Gelombang ini membawa energi yang besar dan menghasilkan gerakan yang besar. Kedalaman batuan yang dipengaruhi oleh gerak gelombang ini kira-kira satu panjang gelombang (ISEE Blaster Handbook 18th Edition, 2011)⁶.

Menurut Singh *et al.* (2010)⁷, terdapat dua kategori utama faktor yang memengaruhi besar kecilnya nilai *Peak Particle Velocity* (PPV), yaitu faktor yang dapat dikendalikan (*controllable factors*) dan faktor yang tidak dapat dikendalikan (*uncontrollable factors*).

Tabel 1. Baku Tingkat Getaran Peledakan Pada Tambang Terbuka

Kelas	Jenis Bangunan	PPV (mm/s)
1	Bangunan kuno yang dilindungi undang-undang benda cagar budaya (UU No. 6 Tahun 1992)	2
2	Bangunan dengan pondasi, pasangan bata dan adukan semen saja, termasuk bangunan dengan pondasi dari kayu dan lantainya diberi adukan semen	3
3	Bangunan dengan pondasi, pasangan bata dan adukan semen diikat dengan <i>slope</i> beton	5
4	Bangunan dengan pondasi, pasangan bata dan adukan semen <i>slope</i> beton, kolom dan rangka diikat dengan ring balk	7-20
5	Bangunan dengan pondasi, pasangan bata dan adukan semen, <i>slope</i> beton, kolom dan diikat dengan rangka baja	12-40

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, penelitian ini difokuskan untuk menganalisis nilai *ground vibration* yang dihasilkan oleh kegiatan peledakan pada Pit Edelweis, baik secara prediksi maupun hasil pengukuran aktual, guna mengetahui apakah nilai tersebut masih berada dalam batas aman sesuai dengan standar acuan yang berlaku. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk mengkaji nilai *Peak Particle Velocity* (PPV) yang ideal berdasarkan *charge weight* dan desain *tie-up* yang diterapkan, sehingga dapat digunakan sebagai acuan dalam mengurangi tingkat *ground vibration* pada kegiatan peledakan di lapangan.

⁵ Bhandari, S. (1997). Engineering rock blasting operations. A.A. Balkema.

⁶ International Society of Explosives Engineers. (2011). ISEE blasters' handbook (18th ed.). International Society of Explosives Engineers.

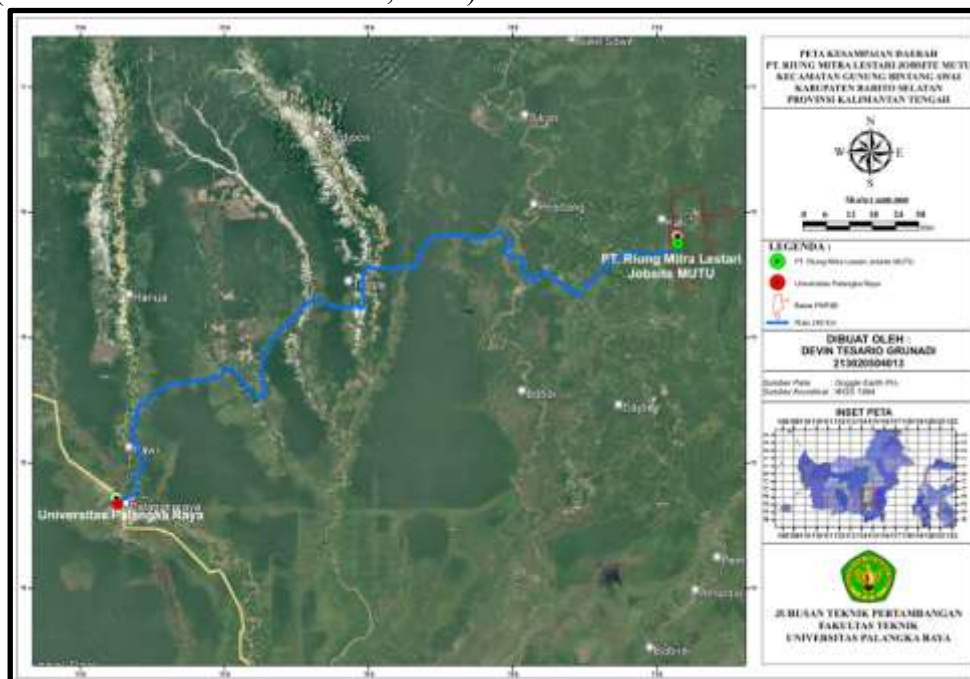
⁷ Singh, P. K., Roy, M. P., & Paswan, R. K. (2010). Prediction of blast-induced ground vibration using Support Vector Machine. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 47(8), 1363–1370.



Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai *ground vibration* yang dihasilkan oleh kegiatan peledakan pada Pit Edelweis, baik secara prediksi maupun aktual, serta untuk memberikan rekomendasi terkait *charge weight* dan desain *tie-up* yang ideal dalam upaya mengendalikan nilai *Peak Particle Velocity* (PPV) agar tetap berada di bawah batas aman sesuai dengan standar acuan yang berlaku.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan di Pit Edelweis PT. Riung Mitra Lestari *Jobsite* Multi Tambangjaya Utama, yang berlokasi di Kecamatan Gunung Bintang Awai, Kabupaten Barito Selatan, Provinsi Kalimantan Tengah. Kegiatan penelitian dilakukan pada bulan Mei hingga Juni 2025 dengan tujuan untuk menganalisis nilai *ground vibration* hasil kegiatan peledakan baik secara prediksi maupun aktual, serta menentukan desain peledakan yang ideal agar nilai *Peak Particle Velocity* (PPV) tetap berada di bawah batas aman sesuai dengan (Badan Standardisasi Nasional, 2010)⁸



Gambar 1. Peta Kesampaian Daerah

Metode penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif deskriptif (Amelia et al., 2023), yang berfokus pada analisis hubungan antara *scaled distance* (SD) dan nilai PPV. Pengumpulan data dilakukan melalui dua tahapan, yaitu pengambilan data primer dan data sekunder (Muslimin et al., 2024). Data primer diperoleh melalui pengukuran langsung di lapangan menggunakan alat *Micromate*, yang mencatat nilai PPV aktual pada beberapa titik pengamatan di sekitar area peledakan (Nugraha, 2025). Sedangkan data sekunder dikumpulkan dari pihak perusahaan, meliputi data geometri peledakan (*burden*, *spacing*, kedalaman lubang, tinggi jenjang, dan *stemming*), jumlah lubang ledak, *charge weight*, jenis bahan peledak, serta desain *tie-up* aktual.

Analisis data dilakukan dengan metode regresi power untuk mengetahui hubungan empiris antara nilai *Peak Particle Velocity* (PPV) dan *scaled distance* (SD).

⁸ Badan Standardisasi Nasional. (2010). SNI 7571:2010. Baku tingkat getaran peledakan pada kegiatan tambang terbuka terhadap bangunan. Jakarta: BSN.



Cara yang praktis dan efektif untuk mengontrol getaran adalah dengan menggunakan *Scaled Distance*. Sehingga memungkinkan pelaksana lapangan menentukan jumlah bahan peledak yang diperlukan atau jarak aman untuk muatan bahan peledak yang jumlahnya telah ditentukan. Harga SD yang besar akan lebih aman, karena semakin jauh jaraknya akan lebih aman dibandingkan dengan jarak yang lebih dekat. Batas *Scaled Distance* yang dipakai adalah $SD = 50$. Dengan menggunakan sistem metrik. Data nilai PPV dan isian bahan peledak kemudian dihitung dengan teori scaled distance (SD) ditunjukkan pada Persamaan (Dowding, 1985)⁹.

$$SD = \frac{D}{\sqrt{W}}$$

Dimana :

SD = *Scaled Distance*

D = Jarak muatan maksimum terhadap lokasi pengamatan (m)

W = Muatan bahan peledak maksimum per periode tunda (kg)

Peak Particle Velocity (PPV) merupakan kecepatan maksimum yang digunakan untuk menghitung besarnya getaran pada suatu lokasi yang tergantung pada jarak lokasi tersebut dari pusat peledakan dan dari jumlah bahan peledak yang dipakai per periode (*delay*). Untuk menentukan besarnya kecepatan partikel puncak (PPV) yang dihasilkan dalam sebuah peledakan maka dapat ditentukan persamaan sebagai berikut (Dowding, 1985)¹⁰.

$$PPV = K \left(\frac{D}{\sqrt{W}} \right)^{-n}$$

Dimana :

PPV = *Ground Vibration as Peak Particle Velocity*, (mm/s).

D = Jarak muatan maksimum terhadap lokasi pengamatan, (m).

W = Muatan bahan peledak maksimum per periode tunda, (kg).

K = Koefisien peluruhan getaran

n = Konstanta kondisi massa batuan

Analisis regresi power merupakan metode statistik yang digunakan untuk memodelkan hubungan non-linier antara dua variabel yang mengikuti pola pangkat (*power law*). Pada penelitian *ground vibration*, metode ini relevan karena hubungan antara PPV dan *Scaled Distance* bersifat eksponensial (Dowding, 1985)¹¹.

$$Y = ax^b$$

Untuk memudahkan perhitungan, persamaan non-linier tersebut ditransformasi menjadi bentuk linier melalui operasi logaritma natural (Montgomery *et al.*, 2012)¹²:

$$\text{Log } Y = a + b \log x$$

⁹ Dowding, C. H. (1985). Blast vibration monitoring and control. Prentice Hall.

¹⁰ Dowding, C. H. (1985). Blast vibration monitoring and control. Prentice Hall.

¹¹ Dowding, C. H. (1985). Blast vibration monitoring and control. Prentice Hall.

¹² Montgomery, D. C., Peck, E. A., & Vining, G. G. (2012). Introduction to linear regression analysis (5th ed.). Wiley.



Keterangan :

Y = variabel terikat nilai *Peak Particle Velocity* atau PPV (mm/s)

X = variabel bebas (*Scaled Distance*)

α = konstanta peluruhan getaran (*site constant*)

β = konstanta kondisi massa batuan (*slope* atau eksponen)

Nilai koefisien determinasi (R^2) digunakan untuk mengevaluasi ukuran statistik i variansi dalam variabel terikat yang dapat dijelaskan oleh variabel bebas dalam suatu model regresi (Ghozali, 2018)¹³. Nilai R^2 berkisar antara 0 hingga 1, dimana nilai yang mendekati 1 menunjukkan bahwa model regresi memiliki kemampuan yang baik dalam memprediksi variabel terikat, sedangkan nilai yang mendekati 0 menunjukkan kemampuan prediksi model yang terbatas.

Tahap selanjutnya dilakukan evaluasi dan rekomendasi desain peledakan dengan mengatur charge weight per *delay* serta desain tie-up agar tidak terjadi *overlap blast*, sehingga nilai PPV dapat dikendalikan tetap berada di bawah ambang batas aman sesuai dengan (Badan Standardisasi Nasional, 2010)¹⁴

¹³ Ghozali, I. (2018). Aplikasi analisis multivariate dengan program IBM SPSS 25. Semarang: Badan Penerbit Universitas Diponegoro.

¹⁴ Badan Standardisasi Nasional. (2010). SNI 7571:2010. Baku tingkat getaran peledakan pada kegiatan tambang terbuka terhadap bangunan. Jakarta: BSN.



Gambar 2. Diagram Alir Pemikiran

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Nilai PPV yang ideal berdasarkan *charge weight* dan desain *tie - up*

a. Parameter kegiatan peledakan

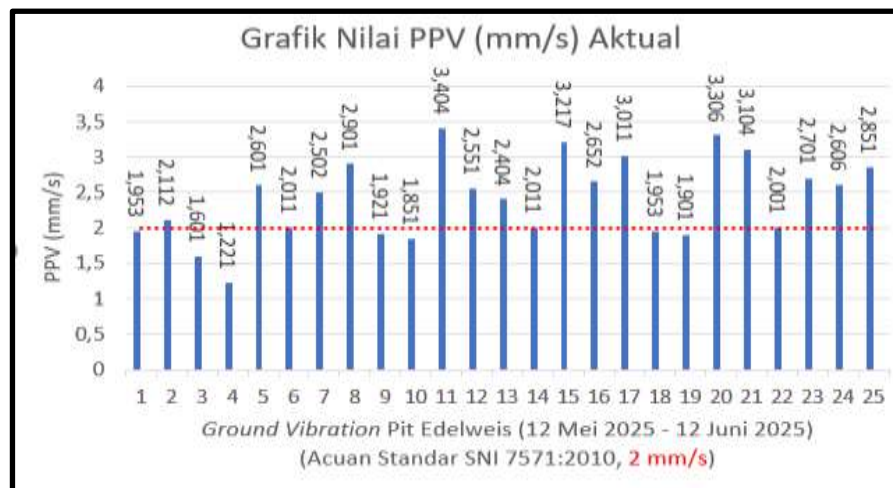
Berdasarkan hasil Penelitian, parameter peledakan yang diterapkan di Pit Edelweis PT. Riung Mitra Lestari *Jobsite* Multi Tambangjaya Utama meliputi pola pengeboran *staggered*, lubang ledak vertikal, diameter lubang 200 mm, serta geometri peledakan dengan *burden* 7–8,5 m dan *spacing* 8–9 m. Pola rangkaian peledakan yang digunakan adalah *Box Cut* dan *Echelon*, dengan waktu tunda *surface* dan *in-hole* yang telah ditentukan. Penggunaan bahan peledak ANFO dengan *loading density* 25 kg/m dan inisiasi menggunakan Emulex 500 gr menunjukkan konsistensi dalam pelaksanaan peledakan. Namun,



variasi kedalaman lubang (4–9 m) dan *stemming* (2–4,5 m) menunjukkan adanya penyesuaian terhadap kondisi lapangan.

b. Nilai PPV prediksi dan aktual terhadap standar acuan

Nilai PPV aktual yang diukur menggunakan alat *Micromate InstanTel* menunjukkan bahwa beberapa peledakan menghasilkan getaran di atas acuan batas aman SNI 7571:2010 (2 mm/s), dengan nilai tertinggi mencapai 3,404 mm/s.



Gambar 3. Grafik nilai PPV Aktual (mm/s)

Tabel 2. Hasil Perhitungan Analisis Data PPV dan SD

No	Scaled Distance (m/kg) ^{0,5}	PPV (mm/s)	LOG PPV y_i	LOG SD x_i	$x_i \times y_i$	x_i^2
1	60,04	1,953	0,29	1,78	0,52	3,16
2	54,63	2,112	0,32	1,74	0,56	3,02
3	65,12	1,601	0,20	1,81	0,37	3,29
4	72,69	1,221	0,09	1,86	0,16	3,47
5	53,70	2,601	0,42	1,73	0,72	2,99
6	54,92	2,011	0,30	1,74	0,53	3,03
7	52,56	2,502	0,40	1,72	0,69	2,96
8	50,92	2,901	0,46	1,71	0,79	2,91
9	56,45	1,921	0,28	1,75	0,50	3,07
10	57,03	1,851	0,27	1,76	0,47	3,08
11	55,20	1,953	0,29	1,74	0,51	3,03
12	52,98	2,551	0,41	1,72	0,70	2,97
13	54,22	2,404	0,38	1,73	0,66	3,01
14	54,79	2,011	0,30	1,74	0,53	3,02
15	49,77	3,217	0,51	1,70	0,86	2,88
16	52,05	2,652	0,42	1,72	0,73	2,95
17	50,82	3,011	0,48	1,71	0,82	2,91
18	48,82	3,404	0,53	1,69	0,90	2,85



19	55,91	1,901	0,28	1,75	0,49	3,05
20	49,11	3,306	0,52	1,69	0,88	2,86
21	49,42	3,104	0,49	1,69	0,83	2,87
22	54,09	2,001	0,30	1,73	0,52	3,00
23	53,40	2,701	0,43	1,73	0,75	2,98
24	52,91	2,606	0,42	1,72	0,72	2,97
25	52,10	2,851	0,45	1,72	0,78	2,95
Total	1.363,65	60,35	9,25	43,38	15,96	75,30

Perhitungan :

$$Y = ax^b \text{ atau } \log Y = \log a + b \log x$$

$$\text{Koefisien } \beta : \beta = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i - (\sum_{i=1}^n x_i)(\sum_{i=1}^n y_i)}{(\sum_{i=1}^n x_i^2) - (\sum_{i=1}^n x_i)^2}$$

$$\beta = \frac{(25)(15,96) - (43,38)(9,25)}{25(75,30) - (43,38)^2}$$

$$\beta = -2,643$$

$$\text{Intersep } \alpha : \alpha = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n} - \beta \sum_{i=1}^n x_i$$

$$\alpha = \frac{9,25}{25} - (-2,643 \times \frac{43,38}{25})$$

$$\alpha = 4,955$$

Sehingga persamaan diatas menjadi :

$$\text{konstanta } \alpha : \alpha = 10^a$$

$$Y = 4,955 - 2,643$$

$$\log Y = \text{antilog } 4,955 - 2,643$$

$$\log Y = 90.183,95 - 2,643 \log x$$

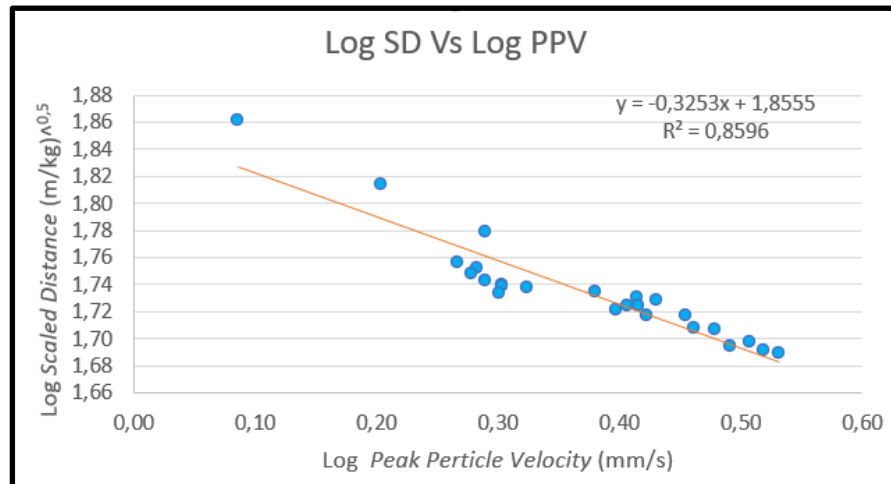
$$Y = 90.183,95 x^{-2,643}$$

Dengan menggunakan persamaan dan nilai konstanta yang telah diperoleh dari data pengukuran PPV aktual maka : $PPV = 90.183,95 (\frac{D}{\sqrt{W}})^{-2,643}$

$$PPV = 90.183,95 (60,04)^{-2,6423}$$

$$PPV = 1,801 \text{ mm/s}$$

Persamaan prediksi yang dihasilkan dari analisis regresi power adalah : $PPV = 90183,95 (\frac{D}{\sqrt{W}})^{-2,643}$ dengan koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,8596, yang menunjukkan bahwa 85,96% variasi PPV dapat dijelaskan oleh *scaled distance* (SD). Namun masih terdapat 14,04% dipengaruhi oleh faktor seperti karakteristik sifat massa batuan dan faktor geologi, hal ini mengindikasikan bahwa scaled distance pada jumlah energi peledakan tidak secara kompleks memprediksi medan geologi yang tidak merata di Pit Edelweis.

Gambar 5. Hubungan *scaled distance* dengan PPV

c. Perbandingan PPV berdasarkan prediksi dan aktual berdasarkan pola peledakan

Pola *Echelon* menunjukkan akurasi prediksi yang lebih tinggi (92,76%) dibandingkan dengan pola *Box Cut* (89,99%). Hal ini mengindikasikan bahwa pola *Echelon* lebih terkontrol dalam distribusi waktu tunda dikarenakan kondisi lapangan pola *box cut* ditemukan jumlah lubang yang *overlap* pada interval 17 ms berkisar total 60 lubang dibandingkan pola *echelon* yang sampai 35 lubang, *overlap tie – up*. Mengacu pada SNI 7571:2010¹⁵, batas aman getaran peledakan pada tambang terbuka adalah 2 mm/s. Hasil Penelitian menunjukkan bahwa sebagian besar nilai PPV masih dalam kategori aman, namun terdapat beberapa sesi peledakan yang menghasilkan PPV aktual >2 mm/s.

B. Nilai PPV yang ideal berdasarkan *charge weight* dan desain *tie – up*

a. Faktor – faktor yang mempengaruhi nilai getaran tanah

Charge weight dan sistem inisiasi *delay* pada detonator merupakan prediktor paling signifikan terhadap getaran dimana *delay* interval yang terlalu singkat akan mempengaruhi jumlah lubang meledak secara bersamaan. Data menunjukkan bahwa *charge weight* yang digunakan berkisar antara 50–111 kg/*delay*. Nilai PPV tertinggi (3,404 mm/s) terjadi pada *charge weight* 111 kg/*delay* dengan jarak 512 m (SD = 48,82). Di mana setiap penurunan nilai *scaled distance* akan terjadi peningkatan PPV.

b. Rekomendasi jumlah isian bahan peledak (*charge weight*)

Berdasarkan persamaan regresi power $PPV = 90.183,95 \left(\frac{D}{\sqrt{W}}\right)^{-2,643}$, ditentukan jumlah muatan maksimal per *delay* agar PPV tetap < 2 mm/s sesuai standar aman. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa semakin dekat jarak pengukuran, muatan per *delay* harus semakin kecil, sedangkan pada jarak lebih jauh dapat digunakan muatan lebih besar tanpa melampaui ambang batas PPV.

¹⁵ Badan Standarisasi Nasional Nomor SNI 7571:(2010)., Baku tingkat getaran peledakan pada kegiatan tambang terbuka terhadap bangunan.



Pada jarak Jarak 500 m : 50–74 kg/delay (PPV 1,17–1,96 mm/s), Jarak 600 m : 80–104 kg/delay (PPV 1,34–1,90 mm/s), Jarak 700 m : 120–144 kg/delay (PPV 1,53–1,94 mm/s), Jarak 800 m : 165–189 kg/delay (PPV 1,64–1,96 mm/s).

c. Rekomendasi rangkaian (*tie – up*)

- a) Pada plan tanggal 13 Juni peneliti merekomendasikan pola *box cut* dikarenakan situasi pada sisi barat pit adanya kegiatan *coal getting* dan pada arah sisi utara adanya kegiatan *land clearing*, pola *box cut* berfokus agar lemparan *fly rock* ke tengah agar tidak mengganggu kegiatan operasional setelah kegiatan *blasting*. Rancangan peledakan pada panel Edelweis 10 Utara (blok 12–13, seam M10–14) menggunakan pola *box cut*. Parameter utama meliputi jumlah lubang 30 lubang, diameter bor 200 mm, kedalaman rata-rata 7,5 m, *burden* 8 m, dan *spacing* 9 m. Pengaturan waktu tunda menggunakan kombinasi *inhole delay* 900 ms dengan *surface delay* 109 ms 42 ms dan 67 ms, serta interval waktu tunda pada interval 17 ms. Hasil simulasi menunjukkan bahwa tidak terdapat lubang yang meledak secara bersamaan dalam waktu interval 17 ms, sehingga distribusi energi relatif merata.
- b) Pada plan tanggal 14 Juni peneliti merekomendasikan pola *echelon* dikarenakan pada sisi barat pit dekat dengan *highwall* sehingga pola *echelon* sangat relevan untuk bantu arah *fly rock* kesisi *freeface* bagian timur. Rancangan peledakan pada panel Edelweis 10 Selatan (blok 03–04, seam Exp M14) menggunakan pola *echelon*, dengan arah IP ke selatan dan *free face* utama di sisi timur. Jumlah lubang yakni 41 lubang, dengan diameter bor 200 mm, kedalaman 7,5 m, *burden* 8 m, *spacing* 9 m. Penggunaan kombinasi delay yang sama (*inhole* 900 ms, *surface* 109 ms dan 67 ms) pada waktu interval 17 ms menunjukkan tidak adanya ledakan serentak. Hal ini memastikan bahwa hasil getaran dari *Tie-Up* tersebut dapat mengurangi PPV pada area lokasi tersebut.

4. KESIMPULAN

Hasil pengukuran *ground vibration* selama periode Mei-Juni 2025 menunjukkan bahwa 17 total data peledakan menghasilkan nilai PPV aktual yang melebihi batas aman SNI 7571:2010, yaitu 2 mm/s, dengan nilai tertinggi mencapai 3.404 mm/s. Nilai PPV aktual berkisar antara 1.221 - 3.404 mm/s. Persamaan prediksi yang dihasilkan dari analisis regresi power adalah $PPV = 90.183,95 \left(\frac{D}{\sqrt{W}}\right)^{-2,643}$, dengan koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,8596. Hal ini menunjukkan model *scaled distance* ini dapat memprediksi 85,96% variasi getaran dengan akurat. Pola *Echelon* menunjukkan akurasi prediksi yang lebih tinggi (92,76%) dibandingkan pola *Box Cut* (89,99%), mengindikasikan pola *Echelon* lebih terkendali dikarenakan kondisi lapangan pola *box cut* ditemukan jumlah lubang yang overlap pada interval 17 ms berkisar total 60 lubang dibandingkan pola *echelon* yang sampai 35 lubang.

Nilai PPV ideal (di bawah 2 mm/s) dapat dicapai dengan mengontrol ketat *charge weight* per *delay* dan menerapkan desain *tie-up* yang menghindari ledakan bersamaan. Rekomendasi *charge weight* maksimum per *delay* yang aman untuk jarak pengukuran adalah :

- Jarak 500 m : 50 - 74 kg/delay (PPV Prediksi: 1.169 - 1.962 mm/s)



- Jarak 600 m : 80 - 104 kg/delay (PPV Prediksi: 1.344 - 1.900 mm/s)
- Jarak 700 m : 120 - 144 kg/delay (PPV Prediksi: 1.528 - 1.944 mm/s)
- Jarak 800 m : 165 - 189 kg/delay (PPV Prediksi: 1.635 - 1.956 mm/s)

Selain itu, desain tie-up yang ideal menggunakan kombinasi *inhole delay* 900 ms dan *surface delay* 109 ms, 67 ms dan 42 ms dengan interval 17 ms, yang terbukti efektif dalam memastikan tidak ada lubang ledak yang meledak secara bersamaan, sehingga distribusi energi lebih merata dan nilai PPV dapat dikendalikan.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Amelia, D., Setiaji, B., Primadewi, K., Habibah, U., Lounggina, T., Peny, L., Rajagukguk, K. P., Nugraha, D., Safitri, W., Wahab, A., Larisu, Z., Setiaji, B., & Dharta, F. Y. (2023). *Metode Penelitian Kuantitatif*. Yayasan Penerbit Muhammad Zaini.
- Badan Standardisasi Nasional. (2010). SNI 7571:2010. Baku tingkat getaran peledakan pada kegiatan tambang terbuka terhadap bangunan. Jakarta: BSN.
- Bhandari, S. (1997). Engineering rock blasting operations. A.A. Balkema.
- Dowding, C. H. (1985). Blast vibration monitoring and control. Prentice Hall.
- Ghozali, I. (2018). Aplikasi analisis multivariate dengan program IBM SPSS 25. Semarang: Badan Penerbit Universitas Diponegoro.
- International Society of Explosives Engineers. (2011). ISEE blasters' handbook (18th ed.). International Society of Explosives Engineers.
- Kahrman, A. (2004). Analysis of parameters of ground vibration produced from bench blasting at a limestone quarry. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 24(11), 887–892.
- Monjezi, M., Bahrami, A., & Ghodrati, B. (2011). Prediction of blast-induced ground vibration using artificial neural networks. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 26(1), 46–50.
- Montgomery, D. C., Peck, E. A., & Vining, G. G. (2012). Introduction to linear regression analysis (5th ed.). Wiley.
- Muslimin, D., Alamin, Z., Alizunna, D., Nur Ainia, R., Prakoso, F. A., Missouri, R., Masita, Allo, K. P., Nugraha, D., & Dian, H. (2024). *METODOLOGI PENELITIAN: PENDEKATAN KUANTITATIF, KUALITATIF, DAN CAMPURAN* (T. P. Wahyuni (ed.); 1st ed.). CV LAUK PUYU PRESS.
- Nugraha, D. (2025). *METODOLOGI PENELITIAN: TEORI DAN PRAKTIK* (N. Mayasari (ed.)). Penerbit Widina Media Utama.
- Singh, P. K. (2005). Blasting technology. CRC Press.
- Singh, P. K., Roy, M. P., & Paswan, R. K. (2010). Prediction of blast-induced ground vibration using Support Vector Machine. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 47(8), 1363–1370.