

Studi Empirik Getaran Tanah Akibat Peledakan *Overburden* PT Hanhwa Mining Service Indonesia, Kalimantan Timur¹

Empirical Study of Ground Vibration Due to Overburden Blasting of PT Hanhwa Mining Service Indonesia, East Kalimantan

Ahmad Tri Widiyanto^a, Supardi Razak^{b,2}, Andromeda Nabella^c

^{a,b,c} Program Studi S1 Teknik Pertambangan, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah Jakarta, Jl. Ir H. Juanda No.95, Kota Tangerang Selatan, Banten

ABSTRAK

Dilokasi penelitian PT Kideco Jaya Agung khususnya di dalam *jobsite* Susubang terdapat pemukiman warga disekitar area peledakan. Maka dari itu sangat penting dilakukannya kontrol pada kegiatan peledakan yang berlangsung di wilayah tersebut, dalam rangka pengamanan untuk mencegah terjadinya kerusakan infrastruktur. Oleh karena itu, perlu dilakukan kontrol peledakan dan juga hasil getaran peledakan. Dari hasil analisis dan pengolahan data diperoleh hubungan *scaled distance* dengan menggunakan tiga persamaan dinyatakan sebagai berikut, USBM dengan $PPV = 649.02 \left(\frac{R}{Q^{1/2}}\right)^{-1.326}$, Langefors and Kihlstrom dengan $PPV = 241.02 \sqrt{\left(\frac{Q}{R^{2/3}}\right)^{-1.328}}$, dan Ambraseys-Hendron dengan $PPV = 1734.2 \left(\frac{R}{Q^3}\right)^{-1.323}$. Ketiga metode ini menghasilkan keberhasilan prediksi getaran untuk *Scale Distance* USBM sebesar 83.84%, *Scale Distance* Ambraseys sebesar 83.57% dan untuk *Scale Distance* Langefors sebesar 84.12%, Metode perhitungan prediksi PPV yang paling sesuai digunakan pada lokasi penelitian untuk mendapatkan prediksi getaran guna melakukan pengamanan adalah perhitungan dengan *Scale Distance* Langefors sebesar 84.12%.

Kata Kunci : *Peak Partikel Velocity* (PPV), Getaran Tanah, *Scaled Distance*

ABSTRACT

*In the research location of PT Kideco Jaya Agung, especially in the Susubang jobsite, there are residential areas around the blasting area. Therefore, it is very important to control the blasting activities that take place in the area, in order to prevent infrastructure damage. Therefore, it is necessary to control the blasting and also the blasting vibration results. From the results of data analysis and processing, the scaled distance relationship is obtained using three equations expressed as follows, USBM with $PPV = 649.02 \left(\frac{R}{Q^{1/2}}\right)^{-1.326}$, Langefors and Kihlstrom with $PPV = 241.02 \sqrt{\left(\frac{Q}{R^{2/3}}\right)^{-1.328}}$, and Ambraseys-Hendron $PPV = 1734.2 \left(\frac{R}{Q^3}\right)^{-1.323}$. These three methods produce vibration prediction success for *Scale Distance* USBM of 83.84%, *Scale Distance* Ambraseys of 83.57% and for *Scale Distance* Langefors of 84.12%, The most suitable PPV prediction calculation method used at the research site to obtain vibration predictions for security is the calculation with *Scale Distance* Langefors of 84.12%.*

Keywords: Peak Particle Velocity (PPV), Ground Vibration, Scaled Distance

¹Info Artikel: Received: 11 Desember 2024, Revised: 24 Juni 2025, Accepted: 27 Juni 2025, Published: 1 Juli 2025

² Email: supardi.razak@uinikt.ac.id

PENDAHULUAN

Batuan yang agak keras sering ditemukan selama proses penambangan dan dapat mengganggu produksi overburden. Oleh karena itu, untuk mencapai target produksi yang direncanakan, peledakan dalam penambangan sangat penting. Namun, kegiatan peledakan memiliki efek. Kegiatan peledakan akhir-akhir ini menimbulkan masalah lingkungan yang signifikan. Ini berarti bahwa setiap tindakan peledakan yang dilakukan oleh perusahaan harus patuh dan taat terhadap peraturan. Kerugian lingkungan dan kebisingan adalah efeknya. Kerusakan lingkungan yang dimaksud termasuk getaran dan kebisingan yang disebabkan oleh peledakan yang sering melampaui batas normal, serta lemparan batu dan *flyrock*.

Standar getaran untuk bangunan dengan pondasi sederhana adalah 3 mm/s, berdasarkan baku Indonesia 7572:2023 yang dikeluarkan oleh Kementerian Energi dan Sumber Daya Alam. Tiga metode perhitungan kecepatan getaran titik teratas, yaitu metode jarak sederhana, USBM (Duvall & Fogelson, 1962), Langefors & Kihlstrom, 1963, dan Ambraseys-Hendron, 1968, digunakan untuk mencapai tujuan penelitian ini untuk menghitung prediksi nilai titik teratas kecepatan getaran tanah yang optimal berdasarkan baku tingkat standar Indonesia. Selain itu, untuk mengetahui bagaimana hasil prediksi getaran yang dihasilkan dipengaruhi oleh berbagai nilai faktor.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif dengan menggunakan proses data berupa angka yang dapat dihitung secara statistik dan sistematis. Data yang akan diolah berasal dari observasi langsung di lapangan dan data pendukung dari perusahaan. Selanjutnya, data diolah untuk menentukan keberhasilan prediksi getaran tanah.

Perbandingan antara jarak dan isian bahan peledak yang mempengaruhi hasil getaran disebut sebagai jarak skala. Berat muatan bahan peledak yang meledak secara bersamaan serta jarak antara lokasi peledakan dan lokasi pengamatan memengaruhi nilai SD. Faktor skala jarak untuk pergerakan tanah dan getaran udara adalah sebagai berikut: Pelemahan getaran tanah dalam hal komponen kecepatan puncak dan intensitas getaran udara dievaluasi menggunakan skala jarak. Faktor *scale distance* (SD) dapat dirumuskan pada Persamaan (1).

$$SD = R/Q^{1/3} \quad (1)$$

dimana :

R = Jarak pusat peledakan terhadap titik pengamatan (m)

W = Jumlah bahan peledak per *delay* (kg)

Dengan penentuan *scaled distance*, kita dapat menentukan getaran yang terjadi pada suatu lokasi. Getaran yang dimaksud adalah PPV (*Peak Particle Velocity*) dimana kecepatan maksimum batuan bergerak dari posisi semula. Banyak formula yang digunakan didalam penentuannya, salah satunya dengan menggunakan USBM yang ditunjukkan pada Persamaan (2).

$$PPV = K(SD)^{-b} \text{ atau } PPV = K \left(\frac{R}{Q^{1/2}} \right)^{-b} \quad (2)$$

Dimana:

PPV = *Peak particle velocity* (mm/s),

R = Jarak antara lokasi peledakan dan alat *monitoring* (m)

- Q = Total berat bahan peledak per minimum *delay* (kg)
 K,b = Konstanta batuan
 SD = *Square Root Scale distance* untuk isian lubang ledak (m/kg^{0,5})

Selain itu, ada prediksi berdasarkan Langefors and Kihlstrom (1963) dapat ditunjukkan pada Persamaan (3).

$$PPV = K \left(\sqrt{\frac{Q}{R^{2/3}}} \right)^b \quad (3)$$

Prediksi yang ketiga adalah menggunakan Ambraseys-Hendron (1968) yang dapat ditunjukkan pada Persamaan (4).

$$PPV = K \left(\frac{R}{Q^{1/3}} \right)^{-b} \quad (4)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian lapangan menunjukkan bahwa PT Hanhwa BN-KJA menggunakan dua jenis pola peledakan yaitu *Box cut* dan *Echelon*. Detonator elektronik digunakan sebagai sistem inisiasi. Untuk peledak, emulsi dengan densitas 1,28 gr/cc. Hasil penelitian menggunakan data PPV. Geometri lubang ledak dan jarak terdekat dari lokasi pengukuran digunakan untuk menghitung hubungan antara jumlah bahan peledak per lubang. Setelah jarak dan isian lubang ledak diperoleh, perhitungan untuk Scale Distance (SD) dan Peak Particel Velocity (PPV) dilakukan menggunakan persamaan USBM (Duvall & Fogelson, 1962), Langefors and Kihlstrom, 1963, dan Ambraseys-Hendron, 1968. Selanjutnya, nilai konstanta (k dan e) diperoleh dengan menggunakan *Microsoft Excel*.

Data *Vibration Peak Particel Velocity*

Kecepatan maksimum *Peak Particle Velocity* (PPV) adalah cara untuk menghitung besarnya getaran pada suatu lokasi yang dipengaruhi oleh jarak lokasi dari pusat peledakan dan jumlah bahan peledak yang digunakan per periode (*delay*). Dalam penelitian ini, alat *Micromate InstanTel* digunakan untuk mengukur getaran tanah di lokasi peledakan. Ini mengukur nilai koefisien peluruhan getaran (k) dan konstanta kondisi batuan (e), yang akan digunakan untuk perhitungan *regresi linear* untuk mendapatkan nilai perbandingan antara hasil PPV prediksi dan nilai PPV sebenarnya. Alat ukur getaran *micromate instanTel* digunakan untuk mengukur getaran aktual. Sebanyak 30 data getaran tanah dikumpulkan dari Februari hingga April 2024. Gelombang *transversal*, *longitudinal*, dan *vertikal* digunakan untuk mengumpulkan data getaran tanah sebenarnya (Tabel 1).

Tabel 1. Data getaran peledakan

No	Tanggal	Distance (m)	Vibration Record (mm/s)			Max PPV (mm/s)
			Transversal	Vertical	Longitudinal	
1	21 February 2024	555	2.837	3.641	1.695	3.641
2	24 February 2024	949	2.238	0.701	2.104	2.238
3	25 February 2024	790	1.395	0.733	1.521	1.521
4	26 February 2024	844	1.632	0.938	1.521	1.632
5	27 February 2024	631	1.553	1.821	1.54	1.821

6	28 February 2024	583	1.458	2.743	2.026	2.743
7	01 March 2024	600	2.491	1.324	1.387	2.491
8	04 March 2024	1277	0.615	0.969	0.946	0.969
9	05 March 2024	822	1.033	1.174	1.474	1.474
10	06 March 2024	631	1.907	1.458	1.647	1.907
11	07 March 2024	836	1.033	1.427	1.253	1.427
12	12 March 2024	413	2.239	1.9	3.358	3.358
13	14 March 2024	805	1.308	1.482	0.482	1.482
14	16 March 2024	687	1.939	1.056	0.694	1.939
15	17 March 2024	887	0.954	0.993	1.474	1.474
16	18 March 2024	706	2.136	2.467	1.466	2.467
17	19 March 2024	511	3.799	2.433	3.295	3.799
18	24 March 2024	663	2.309	2.908	2.01	2.908
19	25 March 2024	389	4.832	4.233	5.825	5.825
20	26 March 2024	492	3.917	5.029	4.926	5.029
21	28 March 2024	704	1.632	3.704	2.554	3.704
22	29 March 2024	704	3.515	2.286	2.475	2.554
23	31 March 2024	778	2.751	1.9	2.262	2.751
24	02 April 2024	723	1.458	1.395	1.773	1.773
25	06 April 2024	324	5.572	4.682	3.894	5.572
26	08 April 2024	288	8.103	7.511	7.456	8.103
27	13 April 2024	533	2.262	1.159	2.475	2.475
28	14 April 2024	279	6.369	5.722	6.211	6.369
29	15 April 2024	199	10.372	9.174	11.578	11.578
30	16 April 2024	651	1.568	1.915	1.844	1.915

Perhitungan *Scaled Distance*

Perbandingan antara jarak dan isian bahan peledak yang mempengaruhi hasil getaran dikenal sebagai *Scale distance*. Berat muatan bahan peledak dan jarak antara lokasi peledakan dan lokasi pengamatan memengaruhi SD. menghitung jumlah bahan peledak yang meledak dan jarak peledakan dari Februari hingga April 2024. Perhitungan ini menggunakan geometri lubang ledak untuk menentukan nilai penggunaan bahan peledak. Setelah perhitungan yang selesai, nilai *scaled distanced* dapat dilihat pada Tabel 2.

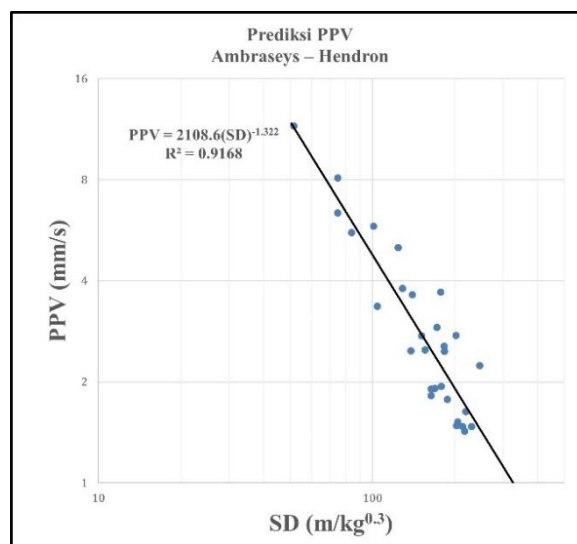
Tabel 2. Perhitungan *scaled distance*

Tanggal	Distance (m)	Charge Weight (kg)	Scale Distance		
			Ambraseys	Langefors	USBM
21 February 2024	555	99	119.97	25.93	55.78
24 February 2024	949	90	211.76	47.25	100.03
25 February 2024	790	90	176.28	39.34	83.27
26 February 2024	844	90	188.33	42.03	88.97
27 February 2024	631	90	140.80	31.42	66.51
28 February 2024	583	90	130.09	29.03	61.45
01 March 2024	600	90	133.89	29.88	63.25
04 March 2024	1277	90	284.96	63.59	134.61

05 March 2024	822	90	183.42	40.93	86.65
06 March 2024	631	90	140.80	31.42	66.51
07 March 2024	836	90	186.55	41.63	88.12
12 March 2024	413	99	89.28	19.30	41.51
14 March 2024	805	99	174.01	37.62	80.91
16 March 2024	687	90	153.30	34.21	72.42
17 March 2024	887	90	197.93	44.17	93.50
18 March 2024	706	90	157.54	35.15	74.42
19 March 2024	511	99	110.46	23.88	51.36
24 March 2024	663	90	147.94	33.01	69.89
25 March 2024	389	90	86.80	19.37	41.00
26 March 2024	492	99	106.35	22.99	49.45
28 March 2024	704	99	152.18	32.90	70.75
29 March 2024	704	90	157.09	35.05	74.21
31 March 2024	778	90	173.61	38.74	82.01
02 April 2024	723	90	161.33	36.00	76.21
06 April 2024	324	90	72.30	16.13	34.15
08 April 2024	288	90	64.27	14.34	30.36
13 April 2024	533	90	118.94	26.54	56.18
14 April 2024	279	81	64.48	14.90	31.00
15 April 2024	199	90	44.41	9.91	20.98
16 April 2024	651	90	145.3	32.42	68.621

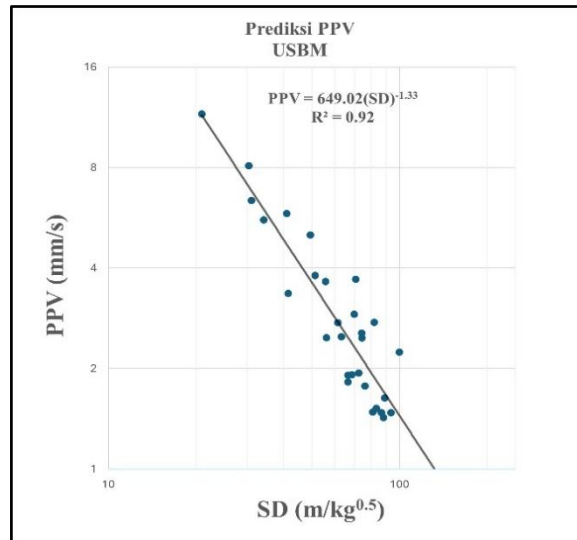
Hasil Nilai Konstanta Dengan Metode *Regresi Power*

Regresi Non Linear Geometri (Power): Dalam kajian statistik, dapat menggunakan metode regresi power dengan program Microsoft Excel untuk menghitung persamaan PPV. Untuk memperoleh nilai peluruhan getaran (k) dan konstanta kondisi batuan (e), yang diperlukan untuk perhitungan getaran tanah, masing-masing nilai k dan e . Hasil regresi ini dapat ditunjukkan pada Gambar 1.



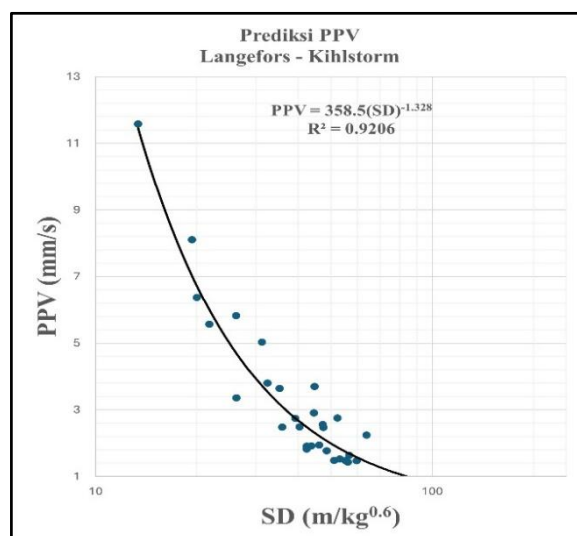
Gambar 1. Regresi power dengan scaled distance Ambraseys-Hendron

Untuk pengukuran getaran tanah dengan metode *scale distance* (Ambraseys), nilai K sebesar 2168.8 dan nilai e sebesar -1.322, menurut hasil *regresi power* yang ditunjukkan pada gambar 1. Selain itu, grafik di atas menunjukkan hubungan antara nilai PPV dan nilai jarak pengukuran (Ambraseys). Nilai determinasi R^2 0,9168 menunjukkan hubungan yang sangat kuat antara nilai PPV (*Peak Particel Velocity*) dan *scale distance*.



Gambar 2. *Regresi power dengan scaled distance (USBM)*

Untuk pengukuran getaran tanah dengan metode *scale distance* Method (USBM), nilai K sebesar 649.02 dan nilai e sebesar -1.333, menurut hasil regresi daya yang ditunjukkan pada gambar 2. Selain itu, grafik di atas menunjukkan hubungan nilai PPV terhadap nilai *scale distance* (USBM). Nilai determinasi R^2 0,92 menunjukkan hubungan yang sangat kuat antara nilai PPV (*velocity peak particle*) dan *scale distance*.



Gambar 3. *Regresi power dengan scaled distance (Langfors)*

Untuk pengukuran getaran tanah dengan metode *scale distance* (Langefors), nilai K adalah 358.5 dan nilai e adalah -1.328, seperti yang ditunjukkan oleh hasil regresi power di atas, yang dapat dilihat pada Gambar 3. Selain itu, grafik di atas menunjukkan hubungan nilai

PPV terhadap nilai jarak pengukuran (Langefors). Nilai koefisien determinasi R^2 0,9206 menunjukkan hubungan yang sangat kuat antara nilai PPV (*Peak Particel Velocity*) dan *scale distance*.

KESIMPULAN

Dari hasil analisis dan pengolahan data diperoleh hubungan *scaled distance* dengan menggunakan tiga persamaan dinyatakan sebagai berikut, USBM dengan $PPV = 649.02 \left(\frac{R}{Q^{1/2}}\right)^{-1.326}$, Langefors and Kihlstrom dengan $PPV = 241.02 \sqrt{\left(\frac{Q}{R^{2/3}}\right)^{-1.328}}$, dan Ambraseys-Hendron dengan $PPV = 1734.2 \left(\frac{R}{Q^{1/3}}\right)^{-1.323}$. Keberhasilan prediksi getaran dengan skala jarak USBM sebesar 83,84%, skala jarak Ambraseyes sebesar 83,57%, dan skala jarak Langefors sebesar 84,12% dihasilkan oleh ketiga metode ini. Untuk lokasi penelitian, perhitungan prediksi PPV yang paling sesuai adalah dengan skala jarak Langefors sebesar 84,12%. Perhatikan jumlah bahan peledak yang diperlukan dan jarak peledakan untuk mengontrol getaran, karena jarak yang lebih jauh akan menghasilkan nilai PPV yang lebih kecil daripada jarak yang lebih dekat, nilai skala jarak yang besar akan lebih aman.

DAFTAR PUSTAKA

- Arora, S., and Day, K. (2010): Estimation of near-field peak particle velocity: A mathematical model. *Jurnal of geology and Mining Research* Vol. 2 (4). Pp. 68-73.
- Attewell, P. B. (1964): Recording and Interpretation of Shock Effects in Rocks. *Mining and Minerals Engineer-ing*, 21 – 28.
- Nabella, A., & Razak, S. (2023). Studi fragmentasi batuan peledakan menggunakan metode top air decking. *Jurnal Inovasi Pertambangan dan Lingkungan*, 3(2), 54-64.
- C.J. Konya, E. W. (1990). *Surface Blast Design*. New Jersey, USA: Prentince-Hall, Inc.
- Chiapetta. (1990). *Blasting Analysis*. Sweden: Lulea University.
- Dowding, C. (1985). *Blast Vibration Monitoring and Control*. New Jersey: Prentice-Hall Inc.
- Duvall, W. I. (1962). *Review of criteria for estimating damage to residences from blasting vibrations*. US Department of the Interior. Washington, D.C: Bureau of Mines.
- Hustrulid, Wiliam. (1999). "Blasting Principles for Open Pit Mining Vol 1". *Rotterdam Brookfield*.
- Jimeno, C. L. (1995). *Drilling And Blasting of Rock*. Rotterdam, Netherland: AA.BALKEMA.
- Koesnaryo.S. (2001). Teori Peledakan. *Pusat Pendidikan dan Pelatihan Teknologi Mineral dan Batu Bara*. Bandung: Pusat Pendidikan dan Pelatihan Teknologi Mineral dan Batu Bara.
- Kumar, R., Choudhury, D., and Bhargava, K. (2016): Determination of Blast- induced Ground Vibration Equations for Rocks Using Mechanical and Geological Properties. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*. Pp. 341-349.
- Kumar, R., Choudhury, D., Bhargava, K. (2014b): Response of shallow foundation in rocks subjected to underground blast loading using FLAC3D. *Disaster Advances*, 7(2), 64 – 71.

- Langefors, U. K. (1978). *The modern technique of rock blasting*. Michigan: Wiley (3rd edition).
- Nicholls, H.R., Johnson, C.F., Duvall, W.I. (1971): *Blasting Vibrations and Their Effects on Structures*. *United States Departemant of the interior Bureau of Mines*, Bulletin 656.
- R.L Ash, B. K. (1990). *Surface Minin*. Littleton, Colorado, USA : Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc. (SME).
- Standar Nasional Indonesia. 2023. *Baku Tingkat Getaran Peledakan pada Kegiatan Tambang Terbuka Terhadap Bangunan* : Badan Standarisasi Nasional
- Sugiyono. (2008). *Metode Penelitian Kuantitatif dan R&D*. Bandung: ALFABETA
- Razak, S., Simangunsong, G. M., & Karian, T. (2024). Analisis Kestabilan Lubang Bukaak 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 Empirik Peak Particel Velocity (PPV) Tambang Bawah Tanah PT Freeport Indonesia. *Jurnal Geomine*, 11(2), 121-133.
- Walter, C. K. (1990). *Surface Blast Design*. New Jersey, USA.: Prentince-Hall, Inc.