

Analisis Pengaruh Getaran terhadap Kestabilan Lereng *High Wall* Batubara PIT Gunung Turak di PT Antareja Mahada Makmur *Jobsite* PT Multi Harapan Utama Kecamatan Tenggarong, Kabupaten Kutai Kartanegara, Provinsi Kalimantan Timur

Muhammad Faizal Syaifurrisal^{*}, Yuliadi, Elfida Moralista

Prodi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Islam Bandung, Indonesia.

*muhammadfaizalsyaifurrisal@gmail.com, yuliadi@unisba.ac.id, elfidamoralista95@gmail.com

Abstract. One of the negative impacts of blasting is ground vibration, which can influence slope stability. Therefore, this study aims to evaluate and analyze the effects of ground vibration on slope stability based on Peak Particle Velocity (PPV in mm/s), Peak Particle Acceleration (PPA in g), and maximum horizontal acceleration (Amaks in g). This research employed two analytical methods: the non-linear power trendline method and Multiple Linear Regression (MLR). Both methods were used to predict vibration levels using distance and explosive charge per delay as variables. Ground vibration measurements were conducted at 31 points with varying distances. The analysis refers to the company's allowable vibration threshold, which is 0.09 g. Vibration analysis was carried out by examining the relationship between PPA and PPV with Scaled Distance (SD) to determine the maximum explosive charge per delay that can be safely used. The results show that the vibration levels remain within safe limits, as the highest recorded PPA was 0.03 g, below the threshold of 0.12 g, and the maximum PPV was 19.5 mm/s. The maximum allowable explosive charge per delay at a distance of 500 meters was calculated to be 5,461.70 kg for slopes 24. The maximum allowable explosive charge per delay at a distance of 500 meters was calculated to be 4,514.06 kg for slopes 26.

Keywords: *Ground vibration, PPV, PPA, Blasting, Amaks.*

Abstrak. Salah satu dampak negatif dari peledakan adalah getaran tanah. Getaran tanah akan mempengaruhi kestabilan. Oleh karena itu adanya penelitian ini untuk mengetahui dan menganalisis pengaruh getaran tanah terhadap kestabilan lereng berdasarkan nilai *Peak Particle Velocity* (mm/s), *Peak Particle Acceleration* (g), dan *Amaks* (g). Kajian analisis pada penelitian ini menggunakan metode analisis non linier (*Tredline Power*) dan metode *Multiple Linier Regression* (MLR). Pada kedua metode yang digunakan yaitu untuk mengetahui prediksi dari nilai getaran dengan parameter jarak dan bahan peledak per waktu tunda. Pengukuran tingkat getaran peledakan dilakukan sebanyak 31 titik dengan jarak yang bervariasi. Analisis dilakukan berdasarkan nilai ambang batas dari perusahaan dengan tingkat getaran maksimum adalah 0,09 g. Analisis getaran dilakukan berdasarkan pada hubungan *Peak Particle Acceleration* (PPA) dan *Peak Particle Velocity* (PPV) terhadap *Scaled Distance* (SD) untuk mendapatkan muatan bahan peledak maksimum per waktu tunda yang digunakan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tingkat getaran masih dikategorikan aman karena nilai PPA tertinggi sebesar 0,03 g dan nilai ambang batas PPA sebesar 0,12 g dan PPV 19,5 mm/s. Muatan bahan peledak maksimum per waktu tunda yang dapat digunakan pada jarak 500 m sebesar 5.820,08 Kg untuk blok lereng 24 sedangkan untuk blok lereng 26 sebesar 4.514,06 Kg.

Kata Kunci: *Getaran tanah, PPV, PPA, Peledakan, Amaks.*

A. Pendahuluan

Kegiatan peledakan merupakan kegiatan yang dilakukan untuk membeaikan batuan atau memisahkan bahan galian dari batuan induknya dengan cara kimiawi menggunakan bahan peledak. Metode ini dinilai efisien secara biaya dan waktu dibandingkan dengan metode mekanis. Namun, di balik efisiensinya, peledakan juga membawa dampak negatif, salah satunya adalah getaran tanah (ground vibration) yang dapat memengaruhi kestabilan lereng, khususnya pada high wall.

Dengan metode peledakan terdapat efek getaran yang dihasilkan, Semakin banyak bahan peledak yang digunakan, maka tekanan dan energi yang dihasilkan untuk mengungkap batuan akan semakin memiliki daya bongkar yang sangat besar. Getaran tanah yang berlebihan berisiko mengganggu kestabilan lereng tambang dan membahayakan lingkungan sekitar, termasuk pemukiman penduduk. Faktor-faktor seperti pola peledakan, arah inisiasi, jumlah bahan peledak per delay, jarak peledakan ke lereng, dan kondisi geoteknik batuan turut memengaruhi intensitas getaran. Oleh karena itu, pemantauan dan analisis getaran menjadi penting dalam menjaga keselamatan operasional tambang.

Penelitian ini dilakukan di Pit Gunung Turak, PT Antareja Mahada Makmur Jobsite PT Multi Harapan Utama yang berlokasi di wilayah dengan topografi curam. Melalui pengukuran parameter seperti Peak Particle Velocity (PPV), Peak Particle Acceleration (PPA), dan melakukan pengolahan untuk percepatan horizontal maksimum (Amaks), penelitian ini bertujuan untuk menganalisis tingkat getaran dan menentukan ambang batas aman dalam aktivitas peledakan.

B. Metode

Data yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari data primer dan data sekunder, dimana kedua data tersebut menjadi syarat dalam melakukan penelitian ini khususnya untuk rekomendasi rancangan teknis geometri lereng, berikut ini merupakan rincian dari pengambilan data :

Data Primer merupakan data yang didapatkan secara langsung di lapangan atau perusahaan yang belum dipublikasikan. Data primer yang digunakan dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Data Geometri Peledakan: Data ini meliputi *burden, spacing, stemming, subdrilling, hole dept*, dan diameter lubang.
2. Data Getaran: Data ini meliputi peak particle velocity (mm/s), peak particle acceleration (g), peak vector summary (mm/s), peak displacement (mm), dan frekuensi (Hz).
3. Jarak Pengukuran: Data ini meliputi jarak lokasi peledakan terhadap lokasi penempatan alat *micromate*.

Data Sekunder merupakan data yang didapatkan dengan melakukan pengumpulan data dan kajian terhadap data-data yang sudah dipublikasikan mencakup rancangan teknis peledakan. Data Sekunder yang digunakan dalam penelitian ini sebagai berikut:

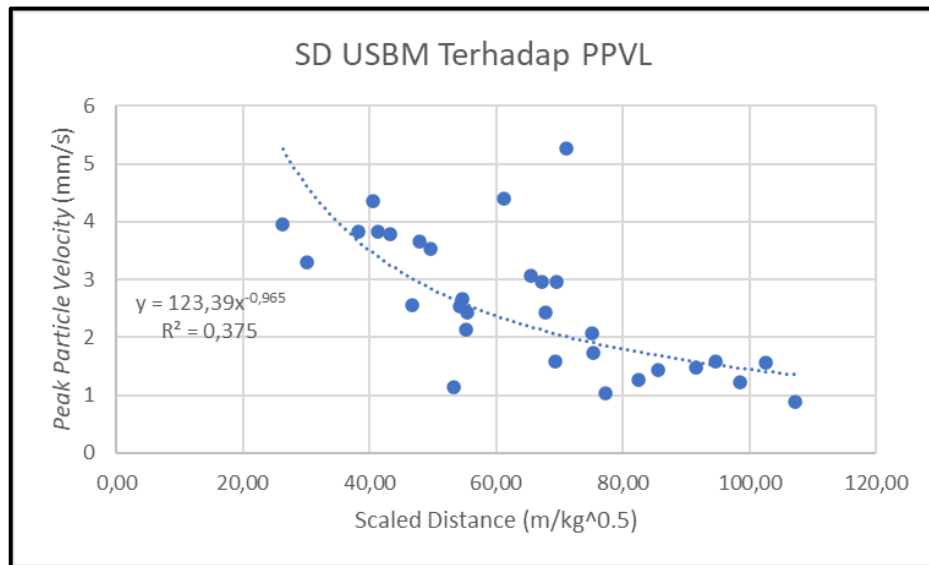
1. Peta Geologi Regional: Informasi mengenai kondisi geologi pada daerah penelitian yang menjelaskan kondisi permukaan seperti litologi, struktur, dan formasi batuan.
2. Peta Topografi Lokal: Informasi mengenai topografi pada daerah yang di petakan menjelaskan kondisi permukaan bumi yang mencakup, elevasi, dan rona muka bumi.
3. Spesifikasi Bahan Peledak: Informasi mengenai bahan peledak yang digunakan seperti DANFO dan *emulsi*
4. Spesifikasi Detonator: Informasi ini mengenai detonator yang digunakan mencakup *in-hole delay* dan *surface delay*, dengan kedua detonator dan memiliki delaynya masing masing.

C. Hasil Penelitian dan Pembahasan

Hubungan Scale Distance (SD) dengan PPVL

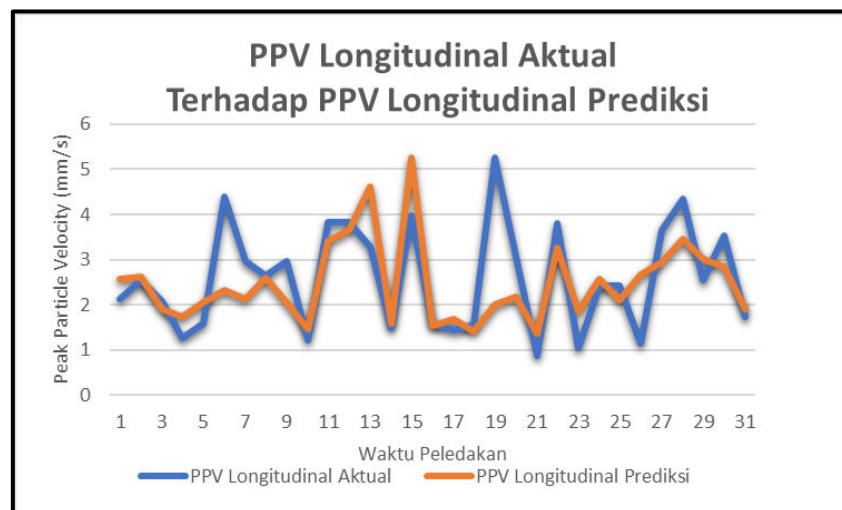
Analisis hubungan parameter peledakan terhadap nilai kecepatan partikel puncak yang diperoleh dari hasil pengukuran getaran tanah akibat peledakan. Selanjutnya dilakukan dengan membuat kurva antara Scaled Distance (SD) yang mewakili parameter peledakan terhadap PPVL hasil pengukuran getaran tanah akibat peledakan sehingga dihasilkan persamaan yang menunjukkan hubungan keduanya (Basuki, 2011). Parameter seperti nilai PPVL dan Scaled Distance (SD) dapat dihubungkan melalui kurva yang dibuat melalui software ms. excel untuk mendapatkan nilai koefisien peluruhan getaran (k) dan konstanta kondisi massa batuan (α) yang berlaku di Pit Gunung Turak. Persamaan yang menunjukkan hubungan antara Peak Particle Velocity (PPVL) dengan Scaled Distance (SD) adalah: $PPA = k \times (R/\sqrt{W}) - \alpha = k \cdot (SD) - \alpha$. Berdasarkan hasil dari analisis didapatkan nilai koefisien peluruhan getaran (k)

sebesar 123,39 dan konstanta kondisi massa batuan (α) sebesar 0,965 (Gambar 1).



Gambar 1. Hubungan SD dengan PPV

Akurasi prediksi secara keseluruhan dapat dikatakan cukup baik, karena perbedaan antara nilai aktual dan prediksi masih dalam rentang wajar. Hal ini mengindikasikan bahwa model yang digunakan memiliki performa yang layak dan representatif dalam memproyeksikan nilai PPV longitudinal. Kemampuan model untuk mengikuti pola fluktuasi menunjukkan bahwa parameter-parameter yang digunakan dalam proses prediksi seperti Q Delay dan jarak memiliki kontribusi terhadap perubahan nilai PPV longitudinal (Gambar 2).

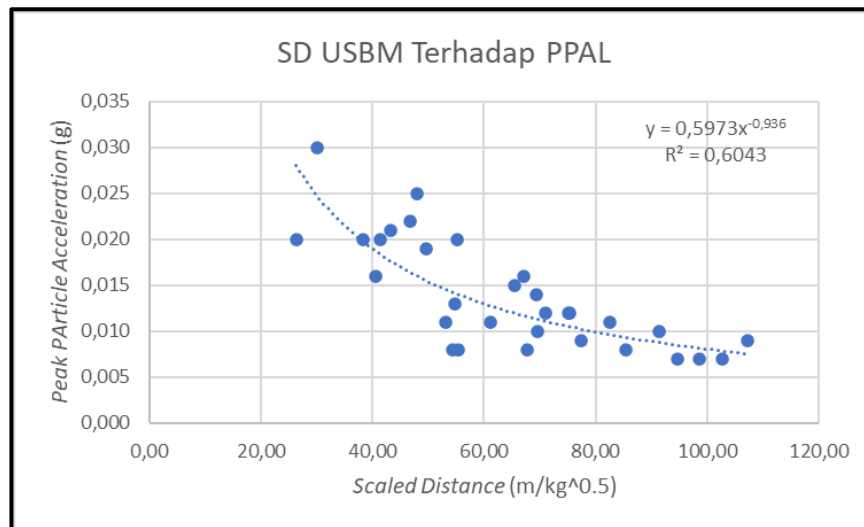


Gambar 2. Perbandingan PPV Aktual dan Prediksi

Hubungan Scale Distance (SD) dengan PPAL

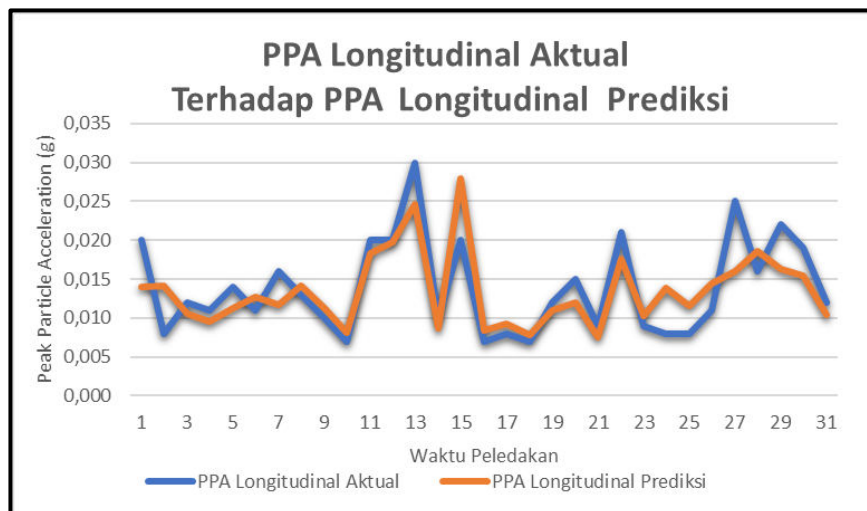
Analisis hubungan parameter peledakan terhadap nilai percepatan partikel puncak yang diperoleh dari hasil pengukuran getaran tanah akibat peledakan. Selanjutnya dilakukan dengan membuat kurva antara Scaled Distance (SD) yang mewakili parameter peledakan terhadap PPAL hasil pengukuran getaran tanah akibat peledakan sehingga dihasilkan persamaan yang menunjukkan hubungan keduanya. Parameter seperti nilai PPAL dan Scaled Distance (SD) dapat dihubungkan melalui kurva yang dibuat melalui software ms. excel untuk mendapatkan nilai koefisien peluruhan getaran (k) dan konstanta kondisi massa batuan (α) yang berlaku di Pit Gunung Turak. Persamaan yang menunjukkan hubungan antara Peak Particle Velocity (PPVL) dengan Scaled Distance (SD) adalah: $PPA = k \times (R/\sqrt{W})^{-\alpha} = k \times$

(SD)- α . Berdasarkan hasil dari analisis didapatkan nilai koefisien peluruhan getaran (k) sebesar 0,5973 dan konstanta kondisi massa batuan (α) sebesar 0,936 (Gambar 3).



Gambar 3. Hubungan SD dengan PPAL

Terlihat bahwa grafik PPA aktual (garis biru) dan grafik prediksi (garis oranye) memiliki pola yang hampir serupa, yang menunjukkan bahwa model prediksi memiliki tingkat akurasi yang cukup baik dalam memetakan perilaku percepatan partikel puncak pada arah longitudinal. Secara umum, kedua garis mengalami fluktuasi yang hampir bersamaan, terutama pada titik-titik pengamatan ke-13 hingga ke-15 dan ke-27 hingga ke-29, di mana terjadi lonjakan PPA yang cukup signifikan. Perbedaan antara data aktual dan prediksi terlihat masih dalam batas wajar, meskipun terdapat beberapa titik yang menunjukkan selisih cukup jelas, seperti pada titik ke-14. Dalam grafik antara data aktual dan hasil prediksi menunjukkan bahwa pendekatan yang digunakan dalam pemodelan cukup dapat diandalkan dalam memperkirakan nilai PPA longitudinal (Gambar 4).



Gambar 4. Perbandingan PPA Aktual dan PPA Prediksi

Percepatan Horizontal Maksimum (Amaks)

Percepatan horizontal maksimum (A_{maks}) adalah nilai percepatan tanah maksimum dalam arah horizontal yang terjadi selama suatu gempa bumi. Nilai ini sangat penting dalam bidang rekayasa geoteknik dan teknik sipil karena digunakan sebagai dasar dalam perencanaan dan perancangan struktur tahan gempa seperti bangunan dan kestabilan lereng. Dalam perolehan nilai amaks didapatkan dari rumpus empiris menurut Frank J Lucca (2003).

$$Amaks = \left(\frac{2 \times \pi \times PPV \times f}{386,4} \right) \quad (1)$$

Tabel 1. Pengolahan Nilai Percepatan Horizontal Maksimum

NO	PPVL		PPVTr		Frekuensi pi	Amaks (Longitudinal)		Amaks (Transversal)	
	mm/s	Inchi/s	mm/s	Inchi/s		(g)	(m/s ²)	(g)	(m/s ²)
1	2,136	0,084	2,869	0,113	7,23	0,0099	0,097	0,013	0,130
2	2,538	0,100	2,948	0,116	7,17	0,0116	0,114	0,014	0,133
3	2,081	0,082	2,034	0,080	7,17	0,0095	0,094	0,009	0,092
4	1,277	0,050	2,191	0,086	7,23	0,0059	0,058	0,010	0,100
5	1,584	0,062	1,836	0,072	7,17	0,0073	0,071	0,008	0,083
6	4,39	0,173	3,610	0,142	7,17	0,0201	0,198	0,017	0,162
7	2,956	0,116	3,846	0,151	7,17	0,0136	0,133	0,018	0,173
8	2,656	0,105	2,814	0,111	7,17	0,0122	0,120	0,013	0,127
9	2,964	0,117	2,238	0,088	7,23	0,0137	0,135	0,010	0,102
10	1,216	0,048	1,655	0,065	7,17	0,0056	0,055	0,008	0,074
11	3,823	0,151	2,822	0,111	7,17	0,0175	0,172	0,013	0,127
12	3,823	0,151	2,822	0,111	7,17	0,0175	0,172	0,013	0,127
13	3,295	0,130	3,760	0,148	7,17	0,0151	0,148	0,017	0,169
14	1,482	0,058	1,505	0,059	7,23	0,0069	0,067	0,007	0,068
15	3,965	0,156	5,170	0,204	7,23	0,0184	0,180	0,024	0,235
16	1,576	0,062	0,993	0,039	7,23	0,0073	0,072	0,005	0,045
17	1,442	0,057	2,010	0,079	7,17	0,0066	0,065	0,009	0,090
18	1,553	0,061	1,316	0,052	7,17	0,0071	0,070	0,006	0,059
19	5,265	0,207	3,775	0,149	7,17	0,0242	0,237	0,017	0,170
20	3,058	0,120	2,633	0,104	7,10	0,0139	0,136	0,012	0,117
21	0,875	0,034	0,867	0,034	7,17	0,0040	0,039	0,004	0,039
22	3,791	0,149	3,137	0,124	7,30	0,0177	0,174	0,015	0,144
23	1,040	0,041	1,379	0,054	7,30	0,0049	0,048	0,006	0,063
24	2,428	0,096	4,146	0,163	7,17	0,0111	0,109	0,019	0,187
25	2,428	0,096	4,146	0,163	7,23	0,0112	0,110	0,019	0,188
26	1,135	0,045	1,868	0,074	7,23	0,0053	0,052	0,009	0,085
27	3,665	0,144	3,129	0,123	7,17	0,0168	0,165	0,014	0,141
28	4,351	0,171	3,492	0,137	7,17	0,0200	0,196	0,016	0,157
29	2,554	0,101	2,569	0,101	7,23	0,0118	0,116	0,012	0,117
30	3,523	0,139	3,909	0,154	7,17	0,0162	0,159	0,018	0,176
31	1,726	0,068	1,742	0,069	7,43	0,0082	0,081	0,008	0,081
MIN	0,875	0,034	0,867	0,034	7,100	0,004	0,039	0,004	0,039
MAX	5,265	0,207	5,170	0,204	7,433	0,024	0,237	0,024	0,235
Rata rata	2,600	0,102	2,685	0,106	7,201	0,012	0,117	0,012	0,121

Sumber: Data Penelitian yang Sudah Diolah, 2025

Koefisien Seismik Horizontal (kh)

Analisis kestabilan lereng yang menggunakan metode pseudo-static pada lereng yang mendapatkan pengaruh dari getaran peledakan membutuhkan koefisien horizontal (Kh). Pengukuran getaran peledakan yang tidak dapat dilakukan di muka lereng karena alasan keamanan, maka perlu adanya metode prediksi agar getaran peledakan yang diterima oleh lereng lebih sesuai dengan kondisi aktual.(Chusna et al., 2023). Getaran peledakan dihasilkan dari pelepasan energi tinggi secara tiba-tiba, yang menciptakan gelombang seismik primer (P-wave) dan sekunder (S-wave) yang menjalar melalui massa batuan. Nilai percepatan maksimum partikel (Peak Particle Acceleration) yang terjadi di lereng

dapat digunakan untuk menghitung nilai koefisien seismik lokal dengan rumus:

$$kh = \frac{Amaks}{g} \quad (2)$$

Tabel 2. Pengolahan Nilai Koefisien Seismik Horizontal

Amaks		Koefisien Seismik
g	m/s ²	kh
0,0099	0,097	0,009891
0,0116	0,114	0,011644
0,0095	0,094	0,009548
0,0059	0,058	0,005913
0,0073	0,071	0,007267
0,0201	0,198	0,020141
0,0136	0,133	0,013562
0,0122	0,120	0,012186
0,0137	0,135	0,013725
0,0056	0,055	0,005579
0,0175	0,172	0,017540
0,0175	0,172	0,017540
0,0151	0,148	0,015118
0,0069	0,067	0,006863
0,0184	0,180	0,018361
0,0073	0,072	0,007298
0,0066	0,065	0,006616
0,0071	0,070	0,007125
0,0242	0,237	0,024156
0,0139	0,136	0,013900
0,0040	0,039	0,004015
0,0177	0,174	0,017717
0,0049	0,048	0,004860
0,0111	0,109	0,011140
0,0112	0,110	0,011243
0,0053	0,052	0,005256
0,0168	0,165	0,016815
0,0200	0,196	0,019963
0,0118	0,116	0,011827
0,0162	0,159	0,016164
0,0082	0,081	0,008214
0,004	0,039	0,004
0,024	0,237	0,024
0,012	0,117	0,012

Sumber: Data Penelitian yang Sudah Diolah, 2025

Pengaruh Koefisien Seismik Horizontal Dan Nilai Amaks (g) Terhadap Factor of Safety (FOS)
Koefisien seismik dalam konteks kestabilan lereng, didefinisikan sebagai rasio antara percepatan lateral (biasanya dalam satuan g) terhadap gravitasi bumi. Nilai ini merepresentasikan gaya inersia akibat gempa atau getaran dinamis yang bekerja horizontal pada massa lereng. Dalam konteks peledakan tambang, nilai percepatan lateral ini bukan berasal dari gempa bumi, melainkan dari impuls getaran akibat ledakan dinamis yang bersifat terlokalisasi dan berulang (Singh & Roy, 2009). Nilai kh ini kemudian digunakan dalam analisis kestabilan pseudo-statik (Kramer, 1996; Sitar et al., 2005).

Tabel 3. Pengaruh Nilai Koefisien Seismik Horizontal Terhadap *Factor of Safety*

Koefisien Seismik	FS BLOK LERENG	
	24	26
0,0099	1,625	1,663
0,0116	1,61	1,656
0,0095	1,624	1,663
0,0059	1,632	1,677
0,0073	1,63	1,67
0,0201	1,582	1,622
0,0136	1,611	1,65
0,0122	1,608	1,653
0,0137	1,611	1,649
0,0056	1,633	1,678
0,0175	1,595	1,636
0,0175	1,595	1,636
0,0151	1,606	1,641
0,0069	1,629	1,672
0,0184	1,596	1,629
0,0073	1,63	1,67
0,0066	1,629	1,673
0,0071	1,628	1,671
0,0242	1,57	1,609
0,0139	1,61	1,649
0,0040	1,635	1,685
0,0177	1,595	1,637
0,0049	1,632	1,68
0,0111	1,612	1,658
0,0112	1,612	1,658
0,0053	1,632	1,679
0,0168	1,597	1,639
0,0200	1,582	1,623
0,0118	1,61	1,655
0,0162	1,603	1,641
0,0082	1,628	1,667

Penentuan Estimasi Muatan Bahan Peledak Maksimum

Jarak dan muatan bahan peledak merupakan faktor yang dapat menentukan tingkat getaran dari kegiatan peledakan, semakin dekat jarak antar lokasi pengukuran dengan area peledakan maka akan semakin besar tingkat getaran yang dihasilkan, semakin banyak muatan bahan peledak yang meledak secara bersamaan maka akan semakin besar tingkat getaran yang dihasilkan. Keduanya dapat dihubungkan untuk mengetahui besarnya pengaruh jarak dengan muatan bahan peledak yang dibutuhkan.

Tabel 4. Muatan Bahan Peledak Maksimum Blok 24

No	PPVTr	k	e	Jarak	Muatan Handak Maksimum per Delay
1	19,44	111,07	-0,927	25	14,55
2	19,44	111,07	-0,927	50	58,20
3	19,44	111,07	-0,927	75	130,95
4	19,44	111,07	-0,927	100	232,80
5	19,44	111,07	-0,927	125	363,76

No	PPVTr	k	e	Jarak	Muatan Handak Maksimum per Delay
7	19,44	111,07	-0,927	150	523,81
8	19,44	111,07	-0,927	175	712,96
9	19,44	111,07	-0,927	200	931,21
10	19,44	111,07	-0,927	225	1.178,57
11	19,44	111,07	-0,927	250	1.455,02
12	19,44	111,07	-0,927	275	1.760,58
13	19,44	111,07	-0,927	300	2.095,23
14	19,44	111,07	-0,927	325	2.458,99
15	19,44	111,07	-0,927	350	2.851,84
16	19,44	111,07	-0,927	375	3.273,80
17	19,44	111,07	-0,927	400	3.724,85
18	19,44	111,07	-0,927	425	4.205,01
19	19,44	111,07	-0,927	450	4.714,27
20	19,44	111,07	-0,927	475	5.252,63
21	19,44	111,07	-0,927	500	5.820,08

Sumber: Data Penelitian yang Sudah Diolah, 2025

Tabel 5. Muatan Bahan Peledak Maksimum Blok 26

No	PPVTr	k	e	Jarak	Muatan Handak Maksimum per Delay
1	17,28	111,07	-0,927	25	11,29
2	17,28	111,07	-0,927	50	45,14
3	17,28	111,07	-0,927	75	101,57
4	17,28	111,07	-0,927	100	180,56
5	17,28	111,07	-0,927	125	282,13
7	17,28	111,07	-0,927	150	406,27
8	17,28	111,07	-0,927	175	552,97
9	17,28	111,07	-0,927	200	722,25
10	17,28	111,07	-0,927	225	914,10
11	17,28	111,07	-0,927	250	1.128,52
12	17,28	111,07	-0,927	275	1.365,50
13	17,28	111,07	-0,927	300	1.625,06
14	17,28	111,07	-0,927	325	1.907,19
15	17,28	111,07	-0,927	350	2.211,89
16	17,28	111,07	-0,927	375	2.539,16
17	17,28	111,07	-0,927	400	2.889,00
18	17,28	111,07	-0,927	425	3.261,41
19	17,28	111,07	-0,927	450	3.656,39
20	17,28	111,07	-0,927	475	4.073,94
21	17,28	111,07	-0,927	500	4.514,06

Sumber: Data Penelitian yang Sudah Diolah, 2025

D. Kesimpulan

Nilai ambang batas *Peak Particle Velocity (PPV)* pada blok 24 yaitu sebesar 19,44 mm/s sedangkan pada blok 26 sebesar 17,28 mm/s dan Nilai ambang batas *Peak Particle Acceleration (PPA)* pada blok 24 sebesar 0,12 g sedangkan pada blok 26 sebesar 0,091 g. Muatan bahan peledak maksimum per *delay* yang dapat digunakan pada blok 24 dengan jarak 100 meter sebesar 232,80 kg sedangkan pada blok 26 dengan jarak 100 meter sebesar 180,56 kg. Nilai amaks yang direkomendasikan pada blok 24 yaitu $0,883 \text{ m/s}^2$ dan nilai koefisien seismik horizontal sebesar 0,09 sedangkan pada blok 26 sebesar $0,785 \text{ m/s}^2$ dan nilai koefisien seismik horizontal sebesar 0,08.

Ucapan Terimakasih

Terimakasih kepada pihak pihak yang telah membantu dalam penelitian ini seperti kepada

perusahaan, teman angkatan, seluruh warga himpunan dan keluarga yang senantiasa membantu penyusun dalam menyelesaikan penelitian ini.

Daftar Pustaka

- Kulalet Desa Baleendah, G., Baleendah, K., Bandung, K., Jawa Barat Givano Imanul Halim, P., & Widayati, S. (2024). *Evaluasi Kinerja Alat Crushing Plant Batuan Andesit di PT.* <https://journal.sbpublisher.com/index.php/minetech>
- Rafly Aditya Pratama, Solihin, & Yunus Ashari. (2024). Analisis Kinerja Crushing Plant untuk Mencapai Target Produksi Batu Andesit. *Jurnal Riset Teknik Pertambangan*, 103–108. <https://doi.org/10.29313/jrtp.v4i2.5030>
- Rifai, A., W, S., & Winarti. (2024). Analisis Getaran Peledakan Tambang Batubara di PT. X, Tenggara Seberang Terhadap Pemukiman. *Jurnal Riset Teknik Pertambangan*, 93–102. <https://doi.org/10.29313/jrtp.v4i2.4371>
- Almumtazah, N, N Azizah, Y L Putri, and D C R Novitasari. 2021. “Prediksi Jumlah Mahasiswa Baru Menggunakan Metode Regresi Linier Sederhana.” *Jurnal Ilmiah Matematika Dan Terapan* 18(1): 31–40. doi:10.22487/2540766x.2021.v18.i1.15465.
- Chusna, Ifa Aulia, Bagus Wiyono, Wawong Dwi Ratminah, Toto Sudarto, and R. Dikky Surya Ramadhan. 2023. “Prediksi *Coefficient Of Seismic* Dengan Metode *Scaled Distance* Untuk Analisis Kestabilan Lereng Pada Beban Dinamis.” *KURVATEK* 8(1): 63–72. doi:10.33579/krvtk.v8i1.3784.
- Deressa, Geleta Warkisa, Bhanwar Singh Choudhary, and Nagessa Zerihun Jilo. 2025. “*Optimizing Blast Design and Bench Geometry for Stability and Productivity in Open Pit Limestone Mines Using Experimental and Numerical Approaches.*” *Scientific Reports* 15(1): 1–36. doi:10.1038/s41598-025-90242-6.
- Han, Bo, Ziao Lu, Luan Dong, and Jingjing Zhang. 2024. “*Lightweight Non-Destructive Detection of Diseased Apples Based on Structural Re-Parameterization Technique.*” *Applied Sciences (Switzerland)* 14(5): 1. doi:10.3390/app14051907.
- Hu, Y. G., W. Z. Yang, M. S. Liu, and X. X. Wu. 2021. “*Spatial Distribution of Vibration and Damage of High Rock Slope under Blast Loading.*” *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 861(4). doi:10.1088/1755-1315/861/4/042070.
- Shi, Xiuzhi, Xianyang Qiu, Jian Zhou, Dan Huang, Xin Chen, and Yonggang Gou. 2016. “*A Comparative Study of Ground and Underground Vibrations Induced by Bench Blasting.*” *Shock and Vibration* 2016: 9. doi:10.1155/2016/2143575.
- Simangunsong, Ganda Marihot, Simon Heru Prasetyo, and Riadi Simka Pinem. 2024. “*Relationship between Blasting Operation and Slope Stability: A Case Study at Borneo Indo Bara Open Pit Coal Mine.*” *Scientific Reports* 14(1). doi:10.1038/s41598-024-81784-2.
- Su, Hengyu, and Shu Ma. 2022. “*Study on the Stability of High and Steep Slopes under Deep Bench Blasting Vibration in Open-Pit Mines.*” *Frontiers in Earth Science* 10(September): 1–15. doi:10.3389/feart.2022.990012.
- Sumari, Arwin Datumaya Wahyudi, Adhika Febrianto, and Yushintia Pramitarini. 2021. “Sistem Prediksi Permintaan Darah Menggunakan Metode Regresi Linier.” *Jurnal Informatika Polinema* 7(2): 85–90. doi:10.33795/jip.v7i2.495.
- Sundoyo, and Kadek Ayu Lande. 2018. “Analisis Ground Vibration Pada Kegiatan Peledakan Batuan Penutup Yang Aman Terhadap Bangunan Pada PT. Rinjani Kartanegara Site Bakungan Kecamatan Loa Janan Provinsi Kalimantan Timur.” *Journal Geologi Pertambangan* 1(23): 19–30.

Dwi, I. 2020. Kajian Getaran Peledakan Overburden Terhadap Penggunaan Bahan Peledak Optimum Penambangan Batubara Di PT. Kalimantan Prima Persada Jobsite BDMA, Malinau Kalimantan Utara. Fakultas Teknik Universitas Islam Bandung 2020 M / 1441 H.