

Kajian Dampak Getaran Peledakan di Area Blok 2 Kuari D PT Indocement Tunggal Prakasa Tbk Site Citeureup, Kecamatan Gunung Putri, Kabupaten Bogor, Provinsi Jawa Barat

Hena Rosliana *, Yuliadi, Dwihandoyo Marmer

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

*henarosliana27@gmail.com, yuliadibejo@gmail.com, hansmarmer@yahoo.com

Abstract. PT Indocement Tunggal Prakasa Tbk (ITP) is a company that produces cement, ready-mix concrete, manages aggregate and tras quarries. This study examines the impact of blasting vibrations in the area of block 2 quarry D PT ITP Citeureup, the distance to the settlement is only $\pm 421.43\text{m}$ from the mining location. The study aims to analyze the magnitude of vibrations due to blasting, vibration levels based on SNI 7571: 2023, identify factors that influence the level of ground vibration. Data were collected using micromate and analyzed multivariately to determine the relationship of PPV to SD, the amount of explosives, and distance. The analysis of vibration levels was carried out using several approaches, namely by using regression analysis models, log square root, and empirical methods (USBM, Langefors & Kiehlstrom, Indian Standard, Ambreaseye Hedron). Each analysis model produces different k and e value equations, thus producing different predicted PPVs as well. Data processing shows the PPV value of transverse measurement results of $0.118\text{-}0.441\text{mm/s}$, vertical $0.087\text{-}0.402\text{mm/s}$, and longitudinal $0.095\text{-}0.378\text{mm/s}$. Based on the PPV processing, the prediction is $0.194\text{-}0.709\text{mm/s}$, the results of the study indicate that the value of ground vibration in the blasting area is below the threshold.

Keywords: *Ground Vibration, Peak Particle Velocity (PPV) Scaled Distance (SD), Multivariate Analysis, SNI 7571:2023.*

Abstrak. PT Indocement Tunggal Prakasa Tbk (ITP) merupakan perusahaan yang memproduksi semen, beton siap pakai, mengelola tambang agregat dan tras. Penelitian ini mengkaji dampak getaran peledakan di area blok 2 kuari D PT ITP Citeureup, jarak kepemukiman hanya $\pm 421,43\text{m}$ dari lokasi penambangan. Penelitian bertujuan untuk menganalisis besarnya getaran akibat peledakan, tingkat getaran berdasarkan SNI 7571:2023, mengidentifikasi faktor yang mempengaruhi tingkat getaran tanah. Data dikumpulkan menggunakan *micromate* dan dianalisis secara multivariat untuk menentukan hubungan PPV terhadap SD, jumlah bahan peledak, dan jarak. Analisis tingkat getaran dilakukan menggunakan beberapa pendekatan, yaitu dengan menggunakan model analisis regresi, *log square root*, serta metode empiris (USBM, Langefors & Kiehlstrom, Indian Standard, Ambreaseye Hedron). Setiap model analisis menghasilkan persamaan nilai k dan e yang berbeda, sehingga menghasilkan PPV prediksi berbeda juga. Pengolahan data menunjukkan nilai PPV hasil pengukuran transversal $0,118\text{-}0,441\text{mm/s}$, vertikal $0,087\text{-}0,402\text{mm/s}$, dan longitudinal $0,095\text{-}0,378\text{mm/s}$. Berdasarkan pengolahan PPV Prediksi didapatkan $0,194\text{-}0,709\text{mm/s}$, hasil penelitian menunjukkan nilai getaran tanah di area peledakan berada dibawah ambang batas.

Kata Kunci: *Getaran Tanah, Peak Particle Velocity (PPV) Scaled Distance (SD), Analisis Multivariat, SNI 7571:2023.*

A. Pendahuluan

Kegiatan peledakan memiliki tujuan untuk memecah material, membongkar dan memberai batuan dari batuan induknya. Kegiatan penggalian batuan dilakukan secara kimiawi dengan menggunakan bahan peledak untuk memberaikan batuan. Namun saat peledakan dilakukan, muncul dampak negatif seperti getaran tanah yang bisa merambat ke area yang berada di luar lokasi penambangan. Getaran tanah dapat berdampak pada lingkungan sekitar apalagi jika lokasi peledakan cukup dekat dengan pemukiman penduduk. Pada lokasi penelitian di area kuari D PT. Indocement Tunggul Prakasa Tbk (PT ITP) *Site Citeureup*, Kecamatan Gunung Putri, Kabupaten Bogor berjarak 421,43 meter dari perumahan penduduk. Hal ini kemungkinan memiliki pengaruh terhadap getaran peledakan yang dilakukan pada kuari tersebut. Oleh karena itu perlu dilakukan analisis getaran peledakan pada lokasi kuari D. Tingkat getaran peledakan yang dihasilkan dari penambangan terbuka (*Surface mining*) terhadap bangunan di sekitarnya diatur secara baku oleh standar SNI 7571:2023 yang mensyaratkan bahwa untuk nilai ambang batas *peak particle velocity* yang diizinkan adalah 2 mm/s. Standar ini penting untuk memastikan bahwa kegiatan penambangan tidak menyebabkan kerusakan struktur terhadap bangunan di masyarakat sekitar. Maka dari itu dilakukannya pengkajian lebih lanjut terhadap getaran tanah yang ditimbulkan oleh kegiatan peledakan agar tidak menjadi dampak negatif bagi penduduk sekitar.

Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk: (1) Mengetahui besarnya nilai *peak particle velocity* pada peledakan di kuari D, (2) Mengetahui jumlah bahan peledak yang sesuai dengan geometri yang digunakan, (3) Menganalisis pola peledakan (*tie up*) yang digunakan dalam penentuan bahan peledak per *delay*.

B. Metode

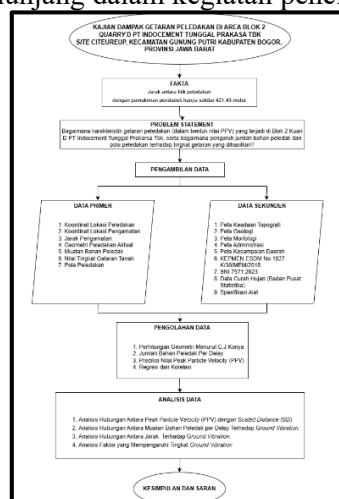
Teknik pengambilan data yang digunakan dalam pelaksanaan penelitian ini terdapat dua metode, diantaranya yaitu sebagai berikut:

1. Data Primer

Data primer ini didapat dari pengamatan dan pengambilan data di lapangan. Data yang diambil di lapangan diantaranya dapat meliputi geometri aktual lubang ledak, diameter lubang, kedalaman lubang dapat diukur dengan menggunakan alat meteran dan bambu *stemming*; koordinat lokasi peledakan dapat ditentukan dengan menggunakan aplikasi *avenza maps* untuk menentukan posisi yang akurat; panjang kolom isian dan *stemming* diukur menggunakan bambu *stemming*; jumlah isian bahan peledak; besaran nilai cepat rambat gelombang seismik yang diukur dengan menggunakan alat *micromate*.

2. Data Sekunder

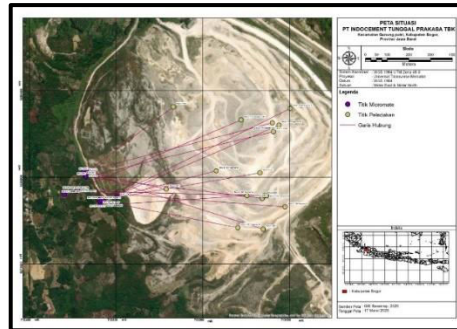
Data sekunder ini didapat dari penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya, yang mana baik dalam bentuk jurnal ataupun buku. Data tersebut dapat meliputi data geologi, peta lokasi penambangan, spesifikasi bahan peledak, curah hujan dan peralatan serta perlengkapan kegiatan peledakan sebagai penunjang dalam kegiatan penelitian.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

C. Hasil Penelitian dan Pembahasan

Lokasi penelitian berada di Kuari D Blok 2 PT Indocement Tungal Prakasa Tbk. Data yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh secara langsung dari lapangan pada lokasi penelitian. Data tersebut meliputi titik-titik lubang bor untuk kegiatan peledakan serta titik-titik koordinat tempat dilakukannya pengukuran getaran. Pengukuran getaran ini dilakukan dengan menggunakan alat *Micromate*, yang berfungsi untuk merekam intensitas dan karakteristik getaran yang dihasilkan dari aktivitas peledakan. Data-data tersebut kemudian dilakukan pengolahan data yang menghasilkan peta situasi jarak pengukuran *ground vibration*.



Gambar 2. Peta Situasi Titik Peledakan dan Titik Pengamatan

Pengolahan Data

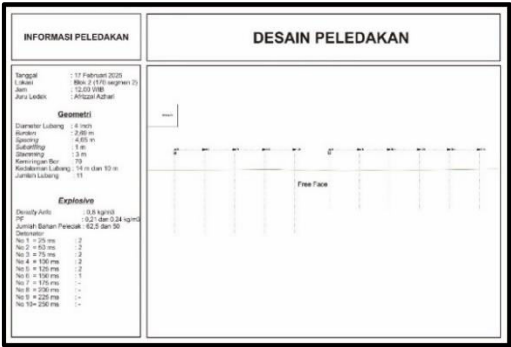
Pengumpulan data geometri peledakan dilakukan secara rutin pada setiap pelaksanaan kegiatan peledakan. Data yang dikumpulkan meliputi panjang burden, spacing, stemming, dan kedalaman lubang.

Tabel 1. Geometri Peledakan

Lokasi	Jumlah Lubang	Jumlah lubang meledak bersama	Tinggi jenjang (m)	Kedalaman Lubang (m)	Burden (m)	Spacing (m)	Stemming (m)	PC (m)	Volume (bcm)	Powder Factor (kg/m ³)	Dynamite PCS/LB	Anfo Kg/LB
Blok 2 (170 segmen 2)	5	1	13	14	2.69	4.65	3	11	875.6	0.21	3.6	62.5
Blok 2 (198 Segmen 2)	38	1	9	10	2.78	4.79	3	7	5060.2	0.22	2.0	50.0
Blok 2 (198)	20	1	13	14	2.85	4.78	3	11	3814.4	0.23	3.5	75.0
Blok 2 (170)	13	1	11	12	2.85	4.78	3	9	2125.2	0.22	3.1	62.5
Blok 2 (170)	18	1	12	13	2.8	4.74	3	10	3105.6	0.21	3.0	62.5
Blok 2 (170 Segmen 2A)	12	1	9	10	2.51	3.35	3	7	1009.0	0.35	2.0	50.0
Blok 2 (170 Segmen 2B)	8	1	2	3	2.51	3.35	1	2	201.8	0.29	1.0	12.5
Blok 2 (247)	12	1	4	5	2.66	3.9	1	4	622.4	0.28	1.0	25.0
Blok 2 (234)	33	1	2	3	2.66	3.9	1	2	1027.0	0.24	0.5	12.5
Blok 2 (247)	18	1	9	10	2.83	4.68	3	7	2384.0	0.17	2.4	37.5
Blok 2 (234)	20	1	2	3	2.83	4.68	1	2	794.7	0.19	0.5	12.5
Blok 2 (198 Segmen 4)	9	1	13	14	2.67	4.58	3	11	1540.8	0.21	3.0	62.5
Blok 2 (198 Segmen 3)	24	1	9.5	10.5	3.05	3.92	2	8.5	3012.9	0.23	2.0	50.0
Blok 2 (234 Segmen 3)	12	1	10	11	2.57	3.87	2	9	1312.9	0.27	3.0	50.0
Blok 2 (198 Segmen 4)	15	1	7.5	8.5	2.61	4.21	2	6.5	1401.0	0.24	2.0	37.5
Blok 2 (190 Segmen 4)	19	1	11	12	2.68	4.55	3	9	2780.2	0.20	3.0	50.0
Blok 2 (247 Segmen 3)	20	1	10	11	2.67	4.59	3	8	2696.2	0.22	3.0	50.0
Blok 2 (190)	37	1	10	11	3.17	4.66	3	8	6012.3	0.18	2.0	50.0
Blok 2 (170)	5	1	2	3	3.17	4.66	1	2	221.6	0.17	0.6	12.5
Blok 2 (190)	8	1	9	10	2.77	3.65	3	7	808.8	0.29	2.5	50.0
Blok 2 (170)	11	1	8	9	2.77	3.65	3	6	728.0	0.24	2.0	37.5
Blok 2 (170)	20	1	4	5	2.77	3.65	1	4	556.1	0.29	1.0	25.0
Blok 2 (170)	20	1	11	12	3	5	3	9	3600.0	0.20	2.0	62.5

Peledakan yang dilakukan di lokasi penelitian menggunakan detonator listrik. Rangkaian listrik yang digunakan yaitu seri dan seri paralel. Detonator yang digunakan merupakan produk Pindad SuperDET, dengan nomor urut dari No. 1 hingga No. 10, yang masing-masing memiliki jeda waktu tunda (delay time) mulai dari 25 ms hingga 250 ms. Rentang waktu ini dapat mengatur urutan ledakan yang terkontrol, sehingga dapat menghasilkan fragmentasi batuan yang optimal serta mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan sekitar. Inisiasi peledakan dimulai dari Initial Point (IP), yaitu titik awal yang berfungsi untuk mengalirkan arus listrik ke seluruh rangkaian detonator secara sistematis. Penempatan penomoran delay dilakukan hole by hole, yang berarti setiap lubang ledak memiliki nomor tunda tersendiri dan ditempatkan berdasarkan urutan tembakan yang telah didesain. Metode hole by hole ini dilakukan karena melihat dari kondisi lokasi blok 2 yang dekat dengan penduduk, sehingga peledakan tersebut tidak bisa dilakukan secara sekaligus tetapi dengan beberapa kali tembakan. Dalam desain peledakan tie up ini dapat menentukan lubang yang meledak nya secara

bersamaan dengan melihat nomor detonator atau delay yang sama. Desain peledakan tie up dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Desain Peledakan Tie Up

Penentuan charge per delay dapat dihitung dengan mengalikan muatan bahan peledak per delay dengan jumlah meledak yang bersamaan. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Charge per Delay

Lokasi Peledakan	Q/lubang	Jumlah Lubang Meledak Bersamaan	Q/delay	Lokasi Peledakan	Q/lubang	Jumlah Lubang Meledak Bersamaan	Q/delay
	kg		Kg		kg		Kg
Blok 2 (170 segmen 2)	62.5	1	62.5	Blok 2 (198 Segmen 4)	50	1	50
	50	1	50	Blok 2 (198 Segmen 3)	50	1	50
	50	1	50	Blok 2 (198 Segmen 4)	50	1	50
Blok 2 (198 Segmen 2)	50	1	50		50	2	100
	50	1	50	Blok 2 (190 Segmen 4)	50	1	50
	50	2	100		50	1	50
	62.5	1	62.5		50	1	50
	62.5	1	62.5		50	1	50
Blok 2 (198)	75	1	75		50	1	50
	75	1	75	Blok 2 (247 Segmen 4)	50	1	50
	75	1	75		50	1	50
	75	1	75		50	1	50
Blok 2 (170)	62.5	2	125		50	1	50
Blok 2 (170 Segmen 2A)	50	1	50		50	1	50
	25	1	25		50	1	50
Blok 2 (170 Segmen 2B)	25	1	25		50	1	50
	12.5	2	25	Blok 2 (190 Segmen 6)	50	1	50
	12.5	2	25		38	1	37.5
Blok 2 (247)	37.5	1	37.5		38	1	37.5
	62.5	1	62.5		62.5	1	62.5
Blok 2 (234)	62.5	1	62.5		62.5	1	62.5
	50	1	50	Blok 2 (170)	62.5	1	62.5
	50	1	50		62.5	1	62.5
Blok 2 (198 Segmen 4)	50	1	50				

Multiple Linear Regission Peak Particle Velocity (PPV)

Analisisi multivariat ini digunakan untuk menganalisis lebih dari dua variabel. Dalam analisis multivariat ini akan menunjukan nilai R² sebesar 0,453 yang menunjukan bahwa 45,3% variabel dependen dapat dijelaskan oleh variabel independen.

SUMMARY OUTPUT									
Regression Statistics									
Multiple R	0.67330606								
R Square	0.45334105								
Adjusted R Square	0.401278293								
Standard Error	0.18188547								
Observations	47								
ANOVA									
	df	SS	MS	F	Significance F				
Regression	4	1.152269024	0.288067256	8.70758821	3.26639E-05				
Residual	42	1.389457615	0.033082324						
Total	46	2.541726638							
	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95.0%	Upper 95.0%	
Intercept	0.6545211729	0.353725565	1.852363681	0.07388856	-0.140056702	1.449100159	-0.140056702	1.449100159	
Q/Lubang	0.003987796	0.004240106	0.940494306	0.35234209	-0.004569085	0.012546677	-0.004569085	0.012546677	
Q/Delay	0.005556063	0.004256553	1.305296381	0.1989877	-0.003034008	0.014146134	-0.003034008	0.014146134	
Jarak	-0.001736178	0.000864459	-2.003984656	0.05105966	-0.003480726	8.37077E-06	-0.003480726	8.37077E-06	
SD USEM	0.004920829	0.005910558	0.832548847	0.40980844	-0.007007161	0.016848817	-0.007007161	0.016848817	

Gambar 4. Multiple Linear Regresion

Dari hasil analisis multivariat mendapatkan persamaan multiple linear regission seperti sebagai berikut:

PPV Prediksi = 0.654521 + 0.003987 (Q/Lubang) + 0.005556 (Q/Delay) + (-0.001736) (Jarak) + 0.004920 (SD)

Persamaan ini menunjukkan hubungan antara variabel-variabel independen, yaitu Q/Lubang (muatan bahan peledak per lubang), Q/Delay (muatan per delay), Jarak (jarak pengamatan dari sumber ledakan), dan SD (standar deviasi pengukuran getaran), terhadap variabel dependen Peak Particle Velocity (PPV) Prediksi.

Penentuan Nilai Scaled Distance

Scaled distance dapat dinyatakan sebagai perbandingan antara jarak dan isian bahan peledak yang dapat mempengaruhi hasil dan energi ledakan. Dalam menentukan nilai *scaled distance* dapat dihitung dengan menggunakan beberapa persamaan, seperti USBM, Langefors & Kihlstrom, Indian Standart, dan Ambraseys Hedron. Pada rumus persamaan tersebut terdapat nilai R yang merupakan jarak dari lokasi titik peledakan ke titik pengukuran menggunakan alat *micromate*, dan nilai Q yang merupakan nilai isian bahan peledak maksimum per waktu tunda. Setelah data parameter diambil, kemudian di masukan kedalam persamaan *scaled distance* (SD) yaitu:

1. USBM (united state bureau of mines)

Berikut merupakan persamaan menurut USBM (*United State Bureau of Mines*), 1971 besarnya PPV adalah:

$$SD = \frac{R}{Q^{0,5}} \quad (1)$$

2. Langefors dan Kiehlstrom

Berikut merupakan persamaan menurut Langefors dan Kiehlstrom, 1973 besarnya PPV adalah:

$$SD = \frac{Q^{0,5}}{R^{0,75}} \quad (2)$$

3. Ambresys dan Hendron

Berikut merupakan persamaan menurut Ambresys dan Hendron, 1986 besarnya PPV adalah:

$$SD = \frac{Q}{R^{0,67}} \quad (3)$$

4. Bureau of Indian Standard (BIS).

Berikut merupakan persamaan menurut Bureau of Indian Standard (BIS), 1973 besarnya PPV adalah:

$$SD = \frac{R}{Q^{0,33}} \quad (4)$$

Dengan Keterangan: SD = *Scaled distance* (kg/m)
R = Jarak titik pengukuran ke titik peledakan (m)
Q = Bahan peledak maksimum per waktu tunda (kg).

Untuk menentukan PPV prediksi dihitung dengan menggunakan USBM (*united state bureau of mines*), Langefors dan Kiehlstrom, Ambresys dan Hendron, dan Bureau of Indian Standard (BIS) dengan menggunakan persamaan:

$$PPV = K \times (SD)^{-m} \quad (5)$$

Dengan Keterangan: PPV = *Peak particle velocity* (mm/s)
K = Sesuai dengan grafik hasil pengolahan
m = Sesuai dengan grafik hasil pengolahan
SD = *Scaled distance* (m/kg)

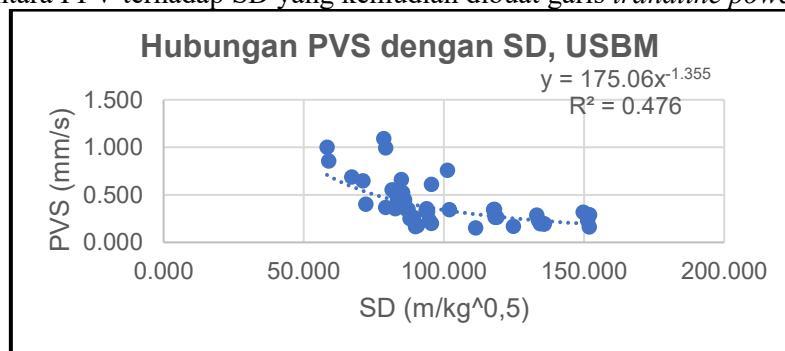
Tabel 3. Charge per Delay

Lokasi Peledakan	Jumlah Lubang Meledak Bersamaan	Q/delay Kg	Jarak m	Scaled Distance				PPV Prediksi				
				USB M	Longefors & Kiehlstrom	Indian Standart	Ambraseye Hedron	PVS Aktual (mm/detik)	USB M	Longefors & Kiehlstrom	Indian Standart	Ambraseye Hedron
Blok 2 (170 segmen 2)	1	62.5	880	111.31	0.049	0.665	224.824	0.152	0.295	0.075	0.145	0.275
Blok 2 (198 Segmen 2)	1	50	960	135.76	0.041	0.502	264.004	0.192	0.226	0.054	0.123	0.213

Lokasi Peledakan	Jumlah Lubang Meledak Bersamaan	Q/delay y Kg	Jarak m	Scaled Distance				PVS Aktual (mm/detik)	PPV Prediksi			
				USB M	Longefors & Kiehlstrom	Indian Standart	Ambraseye Hedron		USB M	Longefors & Kiehlstrom	Indian Standart	Ambraseye Hedron
Blok 2 (198)	1	50	945.63	133.73	0.041	0.507	260.053	0.234	0.230	0.055	0.124	0.218
	1	50	940.84	133.05	0.042	0.509	258.735	0.287	0.232	0.056	0.124	0.220
	1	50	950.42	134.41	0.041	0.506	261.370	0.195	0.229	0.055	0.124	0.217
	2	100	955.21	95.52	0.058	1.008	208.977	0.201	0.363	0.103	0.185	0.308
	1	62.5	805.66	101.91	0.052	0.706	205.831	0.344	0.333	0.084	0.150	0.316
	1	62.5	800.88	101.30	0.053	0.709	204.610	0.76	0.335	0.085	0.151	0.319
	1	75	820	94.69	0.057	0.837	197.262	0.233	0.368	0.097	0.166	0.338
	1	75	810.44	93.58	0.057	0.844	194.962	0.331	0.373	0.099	0.167	0.344
	1	75	813	93.88	0.057	0.842	195.578	0.353	0.372	0.098	0.167	0.342
	1	75	815.22	94.13	0.057	0.840	196.112	0.324	0.370	0.098	0.166	0.341
Blok 2 (170)	2	125	885.26	79.18	0.069	1.325	179.925	0.368	0.468	0.140	0.217	0.391
Blok 2 (170 Segmen 2A)	1	50	881.91	124.72	0.044	0.532	242.529	0.168	0.253	0.061	0.127	0.244
	1	25	756.1	151.22	0.035	0.295	261.372	0.231	0.195	0.040	0.090	0.217
Blok 2 (170 Segmen 2B)	1	25	748.3	149.66	0.035	0.297	258.676	0.319	0.198	0.040	0.091	0.220
	2	25	752.2	150.44	0.035	0.296	260.024	0.303	0.196	0.040	0.091	0.218
	2	25	760	152.00	0.035	0.294	262.720	0.289	0.194	0.039	0.090	0.215
Blok 2 (247)	1	37.5	930	151.87	0.036	0.385	281.224	0.164	0.194	0.043	0.106	0.193
Blok 2 (234)	1	62.5	465.42	58.87	0.079	1.020	118.906	0.855	0.700	0.179	0.186	0.752
	1	62.5	460.84	58.29	0.079	1.026	117.736	1	0.709	0.182	0.187	0.764

Penentuan Nilai Konstanta (K) dan Site Exponent (e) dari Nilai PPV pada Grafik Excel

Dalam menentukan nilai konstanta peledakan, dilakukan dengan bantuan grafik *excel* yang dibuat dengan menggunakan *Mirosoft Excel*. Data yang digunakan untuk membuat grafik tersebut yaitu berupa *Q/delay*, dan jarak untuk dapat menentukan persamaan *scaled distance*. Kemudian untuk dapat menentukan nilai *peak particle velocity* (PPV) Prediksi, harus terlebih dahulu membuat grafik *excel* dari hubungan antara PPV terhadap SD yang kemudian dibuat garis *trandline power*

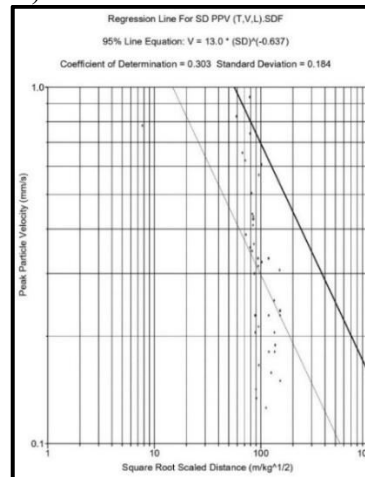


Gambar 5. Grafik Hubungan PVS dengan SD

Penentuan Nilai K dan e dari Nilai PPV pada Grafik Log Square Root

Dalam menentukan nilai konstanta peledakan, dilakukan dengan bantuan grafik yang dibuat dengan menggunakan Software Blastware. Data yang digunakan pada software blastware mencakup nilai peak particle velocity (Transversal, Longitudinal, dan vertial), berat bahan peledak maksimum per waktu tunda, serta jarak dari lokasi titik peledakan ke titik pengukuran menggunakan alat micromate. Data tersebut dimasukkan kedalam tools scaled distance yang nantinya di buat grafik tingkat kepercayaan dengan hasilnya berupa nilai konstanta K, nilai konstanta e, dan nilai koefisien determinasi (R2). Nilai konstanta yang didapatkan dari pengolahan data menggunakan software blastware dengan tingkat kepercayaan 95%. Hasil dari grafik tingkat kepercayaan tersebut digunakan untuk memprediksi nilai dari peak partical velocity (PPV) yang dihasilkan dari kegiatan peledakan. Selain itu, penentuan muatan bahan peledak juga disesuaikan dengan keadaan aktual di lapangan serta mempertimbangkan jarak dan nilai ambang batas getaran yang diizinkan.

Berdasarkan hasil grafik hubungan PPVS dengan SD tingkat kepercayaan 95%, didapatkan nilai koefisien peluruhan (K) sebesar 13,0 yang menunjukkan energi rambatan gelombang *summary* (transversal, vertikal dan longitudinal) yang diterima oleh massa batuan senilai 13,0 dan didapatkan nilai konstanta *site exponent* (e) sebesar -0,637 yang menunjukkan nilai keterkaitan geometri peledakan dengan karakteristik batuan. Nilai koefisien determinasi (R^2) yang didapatkan yaitu sebesar 0,303 yang menunjukan bahwa nilai PPVS dapat ditentukan sebesar 30,3% oleh nilai SD. Sehingga didapatkan persamaan hubungan antara nilai PPVS dengan SD untuk menentukan PPVS Prediksi yaitu $PPVS \text{ Prediksi} = 13.0 (SD)^{-0.637}$. Hubungan kedua variabel tersebut dapat diategorikan sebagai hubungan rendah menurut (Harlan, 2018).



Gambar 6. Grafik Hubungan PPV Summary dengan SD Tingkat Kepercayaan 95%

Penentuan Prediksi Muatan Bahan Peledak per Delay

Berdasarkan nilai ambang batas yang telah ditetapkan oleh pihak PT Indocement Tunggul prakasa Tbk yaitu 2 mm/s. Persamaan yang digunakan untuk menghitung prediksi muatan bahan peledak yang optimal, dapat disesuaikan dengan nilai ambang batas yang telah ditetapkan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$W = \left(\frac{K \times R^{-e}}{PPV} \right)^{-e}$$

$$W = \left(\frac{175.06 \times 100^{-1.355}}{2} \right)^{-1.355}$$

$$W = 10.976 \text{ kg}$$

Dari muatan bahan peledak yang telah dihitung dan jarak yang telah ditentukan, maka dapat menentukan nilai PPV perediksi dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$PPV = k \left(\frac{R}{W^{0.5}} \right)^{-e}$$

$$PPV = 175.06 \left(\frac{100}{10.976^{0.5}} \right)^{-1.355}$$

$$PPV = 1.730 \text{ mm/s}$$

Hasil dari perhitungan diatas menunjukan prediksi muatan bahan peledak per delay dengan jarak yang telah ditentukan yaitu 100 meter, maka akan menghasilkan nilai PPV prediksi yang mendekati nilai ambang batas yaitu 2 mm/s dan masih berada di bawah nilai ambang batas. Untuk lebih lengkapnya, dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Prediksi Muatan Bahan Peledak

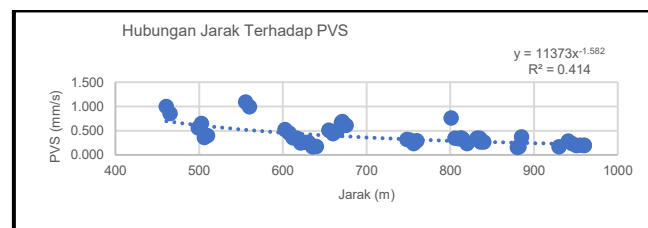
PPV	K	e	Jarak	SD	Q/Delay	PPV Prediksi
2	175.06	-1.355	100	30.185	10.976	1.730
2	175.06	-1.355	150	31.205	23.107	1.654
2	175.06	-1.355	200	31.950	39.186	1.602
2	175.06	-1.355	250	32.540	59.028	1.563
2	175.06	-1.355	400	33.818	139.902	1.483
2	175.06	-1.355	450	34.146	173.677	1.464
2	175.06	-1.355	500	34.442	210.743	1.447
2	175.06	-1.355	550	34.713	251.045	1.432
2	175.06	-1.355	600	34.961	294.532	1.418
2	175.06	-1.355	650	35.191	341.159	1.405
2	175.06	-1.355	700	35.406	390.885	1.394

PPV	K	e	Jarak	SD	Q/Delay	PPV Prediksi
2	175.06	-1.355	750	35.607	443.672	1.383
2	175.06	-1.355	800	35.795	499.486	1.373
2	175.06	-1.355	850	35.974	558.295	1.364
2	175.06	-1.355	900	36.143	620.070	1.355
2	175.06	-1.355	950	36.303	684.782	1.347

Pembahasan Hasil

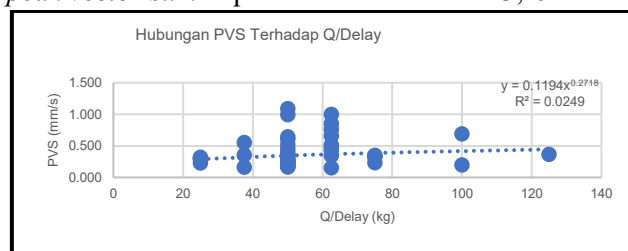
Berdasarkan SNI 7571 Tahun 2023 tentang Tingkat Getaran Peledakan Pada Kegiatan Tambang Terbuka Terhadap Bangunan, konstruksi infrastruktur pada bangunan yang dekat dengan lokasi peledaan termasuk jenis bangunan kelas 2 dengan bangunan dengan pondasi, pasangan bata dan adukan semen saja, termasuk bangunan dengan pondasi dari kayu dan lantainya diberi adukan semen. Dari klasifikasi tersebut *range* PPV yang dapat diterima oleh bangunan tersebut berkisar antara 3 – 7 mm/s. Dari hasil pengukuran yang telah dilakukan pada jarak 460 meter hingga 955 meter yang dekat dengan pemukiman sekitar, hasil tingkat getaran yang dihasilkan tidak melebihi dari nilai ambang batas. Dapat diasumsikan berdasarkan data getaran tersebut bahwa kegiatan peledakan yang dilakukan PT Indocement Tunggul Prakasa Tbk tidak menyebabkan kerusakan pada infrastruktur bangunan warga yang ada berada di sekitar are peledakan. Jarak pengukuran dari titik peledakan ke titik pengamatan menjadi faktor yang dapat berpengaruh dalam menentukan tingkat getaran yang ada pada kegiatan peledakan. Semakin dekat titik pengamatan terhadap titik peledakan, maka akan semakin besar nilai *peak particle velocity* yang dihasilkan.

Pada grafik hubungan *peak vector sum* terhadap jarak yang dapat dilihat pada **Gambar 7**, dengan menggunakan persamaan linear yang dimana sumbu Y merupakan nilai *peak vector sum* dan sumbu X merupakan nilai jarak yang didapatkan secara aktual di lapangan. Dari hubungan jarak dengan *peak vector sum*, didapatkan nilai koefisien peluruhan (K) sebesar 11373 yang menunjukkan energi rambatan gelombang transversal yang diterima oleh massa batuan senilai 11373 dan didapatkan nilai konstanta *site exponent* (e) sebesar -1,582 yang menunjukkan nilai keterkaitan geometri peledakan dengan karakteristik batuan. Koefisien determinasi (R^2) yang didapat pada hasil hubungan jarak dengan *peak vector sum* yaitu sebesar 0,414 menunjukan bahwa 41,4% nilai *peak vector sum* akan dipengaruhi oleh jarak, hubungan kedua variabel tersebut dapat diategorikan sebagai hubungan cukup menurut (Harlan, 2018)



Gambar 7. Grafik Hubungan PVS dengan Jarak

Pada grafik hubungan *peak vector sum* terhadap jarak yang dapat dilihat pada **Gambar 8**, dengan menggunakan persamaan linear yang dimana sumbu Y merupakan nilai *peak vector sum* dan sumbu X merupakan nilai Q/delay yang didapatkan secara aktual di lapangan. Dari hubungan *peak vector sum* dengan Q/lubang, didapatkan nilai koefisien peluruhan (K) sebesar 0,1194 yang menunjukkan energi rambatan gelombang transversal yang diterima oleh massa batuan senilai 0,1194 dan didapatkan nilai konstanta *site exponent* (e) sebesar -0,2718 yang menunjukkan nilai keterkaitan geometri peledakan dengan karakteristik batuan. Nilai koefisien determinasi (R^2) yang didapatkan yaitu sebesar 0,0349 yang menunjukan bahwa nilai *peak vector sum* dapat ditentukan sebesar 3,49% oleh nilai Q/delay.



Gambar 8. Grafik Hubungan PVS dengan Q/Delay

D. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pengolahan data yang telah dilakukan dari aktivitas peledakan, maka terdapat kesimpulan yang diambil yaitu:

Besarnya getaran tanah pada kegiatan peledakan di kuari D berkisar antara 0.118 mm/s hingga 0.938 mm/s untuk nilai *peak particle velocity* transversal, 0.071 mm/s hingga 0,741 mm/s untuk nilai *peak particle velocity* vertikal, 0.095 mm/s hingga 0.828 mm/s untuk nilai *peak particle velocity* longitudinal, dan 0.152 mm/s hingga 1.09 mm/s untuk nilai *peak vector sum*. Nilai *peak particle velocity* pada kegiatan peledakan di kuari D dapat dikatakan masih berada dibawah tingkat getaran tanah dari nilai ambang batas, baik berdasarkan tingkat getaran menurut SNI 7571 Tahun 2023 maupun ketetapan dari pihak perusahaan PT Indocement Tungal Prakasa Tbk.

Jumlah bahan peledak yang digunakan dalam geometri aktual yaitu 25 kg hingga 75 kg per lubang. Pola peledakan (*tie up*) yang digunakan pada blok 2 kuari D yaitu menggunakan *tie up hole by hole*, yang mana penentuan bahan peledak per *delay*-nya ditentukan oleh *tie up* yang digunakan.

Ucapan Terimakasih

1. Bapak Dr. Ir. Yunus Ashari, M.T. selaku Ketua Prodi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Islam Bandung.
2. Bapak Noor Fauzi Isniarno, S.Si., M.T. selaku Sekretaris Prodi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Islam Bandung.
3. Bapak Ir. Zaenal, M.T. selaku Koordinator Skripsi, Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Islam Bandung.
4. Bapak Ir. Yuliadi, S.T., M.T., IPM. selaku Dosen Pembimbing Skripsi yang senantiasa membimbing dalam hal penyusunan draft skripsi
5. Bapak Ir. Dwihandoyo Marmer selaku Co-Pembimbing Skripsi yang senantiasa membimbing dalam hal penyusunan draft skripsi.
6. Bapak Dono Guntoro, S.T., M.T. selaku Dosen Wali atas bimbingan dan arahannya selama ini, penyusun sangat menghargai waktu dan perhatian yang telah bapak berikan.

Daftar Pustaka

- Andi Maulana Yusuf, Yuliadi, & Elfida Moralista. (2024). Perencanaan dan Pentahapan Penambangan Nikel PT. Hillconjaya Sakti Site Indrabakti Mustika. *Jurnal Riset Teknik Pertambangan*, 133–142. <https://doi.org/10.29313/jrtp.v4i2.5215>
- Jati Nugroho, Yuliadi, & Yunus Ashari. (2024). Pengaruh Geometri Dan Penggunaan bahan Peledak Di kuari Batu Andesit Terhadap Jarak Flyrock. *Jurnal Riset Teknik Pertambangan*, 163–170. <https://doi.org/10.29313/jrtp.v4i2.5278>
- Rosdiana, H., Ashari, Y., & Fauzi Isniarno, N. (2025). *Pengaruh Intensitas Curah Hujan terhadap Kegiatan Pemompaan pada Sump Berdasarkan Water Balance di PT XYZ A B S T R A K*. <https://journal.sbpubliher.com/index.php/minetech>
- Ahmad Erlangga Adji. (2019). “Analisis Geometri Peledakan Untuk Mendapatkan Hasil Fragmentasi Dan *Digging Time* Optimal Di Pit North Tutupan Pt. Sis Site Adaro (Pt. Adaro Indonesia)”.
- Assany, Fadhlan., & Kopa, R. (2021). “Kajian Teknis Dan Ekonomis Peledakan Di Pit 1 Pt. Pebana Adi Sarana Kabupaten Lima Puluh Kota Sumatera Barat”. *Jurnal Bina Tambang*, 6(1).
- Bajpayee, T. S., Rehak, T. R., Mowrey, G. L., & Ingram, D. K. (2004). “*Blasting Injuries In Surface Mining With Emphasis On Flyrock And Blast Area Security*”. *Journal Of Safety Research*, 35(1), 47–57. <https://doi.org/10.1016/j.jsr.2003.07.003>
- Fadilah, F. N., Devy, S. D., & Umar, H. (2016). “Analisis Kemampugaruan Massa Batuan Berdasarkan Metode Grading Pada Tambang Batupasir Kecamatan Samarinda Seberang Samarinda Kalimantan Timur (*Rippability Analysis Of Rock Mass Based On Grading Method On Sandstone Mine At District Samarinda, East Kalimantan Province*)”.

- Ghasemi, E., Ataei, M., & Hashemolhosseini, H. (2012). “*Development Of A Fuzzy Model For Predicting Ground Vibration Caused By Rock Blasting In Surface Mining*”. *Jvc/Journal Of Vibration And Control*, 19(5), 755–770. <https://doi.org/10.1177/1077546312437002>
- Hall, L., Shih, J.-Y., Zangeneh, A., & Pacoste, C. (N.D.). “*A Methodology For Control And Design Of Required Ground Reinforcement Measures Regarding Train-Induced Ground Vibrations*”. <https://ssrn.com/abstract=4410659>
- Harlan, Johan. 2018. “Analisis Regresi Linear”. Penerbit Gunadarma. Depok.
- Hermawan, W., & Marmer, D. (2017). “Prosiding Teknik Pertambangan Analisis Pengaruh Tingkat Getaran Tanah Terhadap Jarak Dan Muatan Bahan Peledak Per Delay Di Area Penambangan Phase 6 Pit Batu Pt Amman Mineral Nusa Tenggara (*Analysis Of Ground Vibration Level Influence To Distance And Explosive Charge Per Delay At Phase 6 Pit Batu Hijau Mining Area Pt Amman Mineral Nusa Tenggara*)”. Prosiding Teknik Pertambangan. <https://doi.org/https://doi.org/10.29313/pertambangan.v0i0.7496>
- Keputusan Menteri Esdm Nomor 1827 K 30 Mem 2018. tentang “Pedoman Pelaksanaan Kaidah Teknik Pertambangan yang Baik”. (N.D.).
- Maryura, R., Toha, M., & Sudarmono, D. (2014). “Kajian Pengurangan Tingkat Getaran Tanah (*Ground Vibration Level*) Pada Operasi Peledakan Interburden B2-C Tambang Batubara Air Laya Pt. Bukit Asam (Persero), Tbk Tanjung Enim”. *Jurnal Ilmu Teknik Sriwijaya*, 2(1).
- Pribadi, B. I., Yuliadi, & Marmer, D. 2017. “Analisis getaran tanah hasil peledakan berdasarkan tingkat peluruhan di PT Dahana JSP PT Ricobana Abadi-Berau Coal, Kecamatan Sambaliung, Kabupaten Berau, Provinsi Kalimantan Timur”. Prosiding Teknik Pertambangan, Universitas Islam Bandung & Sekolah Tinggi Teknologi Mineral Indonesia. ISSN: <https://doi.org/10.29313/PERTAMBANGAN.V0I0.7496>.
- Rabbani, I. (2021). “Evaluasi Geometri Peledakan Terhadap Fragmentasi Menggunakan Metode Kuz-Ram”. *Jurnal Eksakta Kebumian*, 1(2). <https://doi.org/10.25105/jek.v1i2.10691>
- Rizki Aulia, M., & Oktarianty, H. (2020). “Analisis Pengaruh Jarak Terhadap Ground Vibration Di Sekitar Pemukiman Warga Pt Semen Padang Indarung Provinsi Sumatera Barat (*Analysis Of Distance On Ground Vibration At Around Residential Areas In Pt Semen Padang Indarung West Sumatera Province*)” (Vol. 5, Issue 1).
- Rudini. (N.D.). “Analisis *Ground Vibration* Pada Peledakan *Overburden* Di Panel 4 Pit J Pt. Kaltim Prima Coal, Sangatta, Kalimantan Timur”.
- Sni 7571:2023. tentang “Baku Tingkat Getaran Peledakan Pada Tambang Terbuka Terhadap Bangunan” (2023).
- Vinola Sari, H., Isjudarto, A., Sidiq, H., Studi Teknik Pertambangan, P., & Teknologi Mineral, F. (2020). “Analisis Pengaruh Pola Rangkaian Peledakan Terhadap Tingkat Getaran Tanah Di Quarry Tuban I-Iv Pt. Semen Indonesia (Persero) Tbkab”. Tuban Provinsi Jawa Timur. *In Mining Insight* (Vol. 01, Issue 01).
- Wibisono, A. P. (2021). “Analisa Pengaruh Getaran Peledakan Terhadap Pemukiman Warga Di Pt Buma Jobsite Adaro, Tanjung Tabalong, Kalimantan Selatan”. *Jurnal Eksakta Kebumian*, 1(2). <https://doi.org/10.25105/jek.v1i2.10793>