



## Optimasi *Explosive Charge per Delay* untuk Mengontrol Getaran Tanah pada Peledakan Tambang Semen

Dhia Fahri Hamdan, Yuliadi, Zaenal\*

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

### ARTICLE INFO

#### Article history :

Received : 17/3/2023

Revised : 22/6/2023

Published : 19/7/2023



Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International License.

Volume : 3

No. : 1

Halaman : 63-70

Terbitan : Juli 2023

### ABSTRAK

Kegiatan penelitian dilakukan di PT XYZ Jawa Barat. Salah satu dampak negatif dari kegiatan peledakan yang dapat merusak lingkungan adalah *ground vibration*. Apabila getaran yang dihasilkan oleh kegiatan peledakan melebihi nilai ambang batas yang telah ditentukan, maka dapat mengakibatkan kerusakan pada struktur bangunan terdekat. Tujuan dilakukannya penelitian ini yaitu untuk menentukan isian handak per *delay* dalam mengontrol getaran tanah akibat peledakan yang mengacu pada data primer dan data sekunder sebagai metode penelitian yang dilakukan. Analisis getaran dilakukan berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI) No 7571 Tahun 2010 dengan mengidentifikasi kelas bangunan yaitu bangunan Kelas 2 yang memiliki nilai PPV 3 mm/s dan nilai ambang batas PPV pada perusahaan yaitu 2 mm/s. Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan antara nilai PVS dan SD, nilai konstanta (K) yang didapat yaitu 1883,9 dan *site* eksponan (e) yaitu 1,824. Nilai PPV prediksi yang dihasilkan di Desa Leuwidendeng yaitu 0,06 mm/s dan 0,08. Sedangkan nilai PPV prediksi pada *office* yaitu 0,22 mm/s dan 0,48 mm/s, serta nilai PPV prediksi di gudang handak sebesar 0,57 mm/s dan 1,97 mm/s. Rekomendasi isian handak per *delay* optimal untuk PPV 2 mm/s pada jarak 200 meter yaitu 22 kg/hole dan pada jarak 550 meter menggunakan muatan handak optimal 137 kg/hole.

**Kata Kunci :** *Ground Vibration; Peak Particle Velocity; Peak Vector Sum.*

### ABSTRACT

Research activities were carried out at PT XYZ West Java. One of the negative impacts of blasting activities that can damage the environment is ground vibration. If the vibration generated by blasting activities exceeds a predetermined threshold value, it can result in damage to nearby building structures. The purpose of this research is to determine the explosive charge per delay in controlling ground vibration due to blasting which refers to primary data and secondary data as the research method being carried out. Vibration analysis was carried out based on the Indonesian National Standard (SNI) No 7571 of 2010 by identifying building classes, namely Class 2 buildings that have a PPV value of 3 mm/s and a PPV threshold value for companies, namely 2 mm/s. Based on the results of the analysis that has been carried out between the PVS and SD values, the constant value (K) obtained is 1883.9 and the exponential site (e) is 1.824. The predicted PPV values generated in Leuwidendeng Village are 0.06 mm/s and 0.08. While the predicted PPV values in the office are 0.22 mm/s and 0.48 mm/s, and the predicted PPV values in the explosives warehouse are 0.57 mm/s and 1.97 mm/s. The recommended explosive charge per delay is optimal for PPV 2 mm/s at a distance of 200 meters, namely 22 kg/hole and at a distance of 550 meters using an optimal explosive charge of 137 kg/hole.

**Keywords :** *Ground Vibration; Peak Particle Velocity; Peak Vector Sum*

© 2023 Jurnal Riset Teknik Pertambangan Unisba Press. All rights reserved.

## A. Pendahuluan

Tambang Semen Sukabumi (Siam Cement Group) merupakan perusahaan tambang dengan komoditas utama berupa batu gamping sebagai bahan baku pembuatan semen. Metode peledakan dipilih sebagai upaya dalam memberaikan batuan. Kegiatan perencanaan peledakan dalam industri pertambangan yang kurang tepat akan menghasilkan getaran tanah (*ground vibration*) dan suara (*air blast*) yang berlebihan [1]. Salah satu dampak negatif yang sering terjadi yaitu getaran tanah (*ground vibration*). Apabila nilai getaran yang dihasilkan melampaui nilai ambang batas yang telah ditentukan, hal tersebut dapat berpotensi merusak lingkungan disekitarnya termasuk infrastruktur. Dengan demikian perlu dilakukannya pengawasan dan pengendalian nilai *ground vibration* yang dapat dihasilkan dari kegiatan peledakan. Keberhasilan peledakan biasanya dapat dilihat dari ukuran fragmen batuan yang dihasilkan [2].

Penelitian ini dilakukan pada area *quarry C* dan *quarry D* dikarenakan dekatnya jarak antara lokasi peledakan menuju infrastruktur terdekat seperti gudang handak, *office* dan perumahan desa Leuwideng. Jarak paling kritis dari pusat peledakan yaitu 200 meter menuju lokasi gudang handak yang mengakibatkan adanya tingkat getaran yang melebihi nilai ambang batas dan perlu dilakukan dengan pedoman baku mutu tingkat getaran tanah. Tinggi rendahnya getaran peledakan dipengaruhi oleh nilai *scale distance* yang diperoleh melalui perbandingan antara jarak dan muatan handak per *delay* (United State Bureau of Mines). Scaled distance adalah parameter untuk dimensi jarak. Scale distance dinyatakan sebagai perbandingan antara jarak dan isian bahan peledak yang mempengaruhi hasil getaran dan energi ledakan di udara [3].

Berdasarkan SNI Nomor 7571 Tahun 2010 [4] terdapat klasifikasi tingkat getaran tanah maksimum yang dapat diterima oleh bangunan. Dengan kondisi tersebut, maka perlu dilakukannya penelitian mengenai tingkat getaran tanah yang dihasilkan akibat kegiatan peledakan berdasarkan jarak pengukuran getaran dan isian bahan peledak optimal pada lokasi penelitian.

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, terdapat tujuan dalam penelitian ini yaitu sebagai berikut : (1) Untuk mengetahui nilai *Peak Vector Summary* yang dihasilkan pada lokasi penelitian; (2) Untuk mengetahui nilai konstanta peluruhan (K), *site* eksponen (e) dan nilai *scale distance* (SD) di lokasi penelitian; (3) Untuk mengetahui isian handak optimal per *delay* yang masih dapat digunakan di lokasi penelitian.

## B. Metode Penelitian

Peneliti menggunakan metode teknik analisis korelasi data aktual terhadap data prediksi dengan menggunakan pendekatan kuantitatif. Data yang dipilih untuk dijadikan acuan yaitu nilai *Peak Vector Summary* (PVS) dan *Peak Particle Velocity* (PPV) prediksi yang didapatkan melalui analisis grafik regresi linier antara nilai *Scale Distance* (SD) terhadap nilai PVS yang dihasilkan.

Teknik pengambilan sampel yang dilakukan yaitu *Stratified Sampling* dan diperoleh jumlah sampel data sebanyak 28 nilai *Peak Vector Summary* pada area penelitian. Teknik pengambilan data yang digunakan dalam penelitian ini yaitu berdasarkan data primer dan data sekunder, penelitian ini dilakukan dengan pengamatan langsung menuju lokasi penelitian dan mengakses media literasi penunjang dalam penulisan dan memberikan data pendukung penelitian. Adapun teknik analisis data yang digunakan dalam penelitian ini yaitu teknik analisis deskriptif dan teknik analisis regresi.

## C. Hasil dan Pembahasan

### Geometri Peledakan

Penentuan geometri peledakan yang digunakan untuk aktivitas peledakan ditentukan dengan acuan berdasarkan rekomendasi R. L Ash dan C. J Konya dan melalui pendekatan melalui metode (*trial and error*). Penerapan geometri melalui metode *trial and error* ditentukan berdasarkan beberapa pertimbangan misalnya menghasilkan *cost* yang optimal, ketercapaian target produksi, hasil fragmentasi yang sesuai dan minimnya dampak negatif peledakan yang dihasilkan. Geometri aktual diambil melalui pengamatan langsung di lokasi penelitian. Tabel 1 menunjukkan perbandingan geometri peledakan aktual terhadap geometri teoritis pada lokasi penelitian.

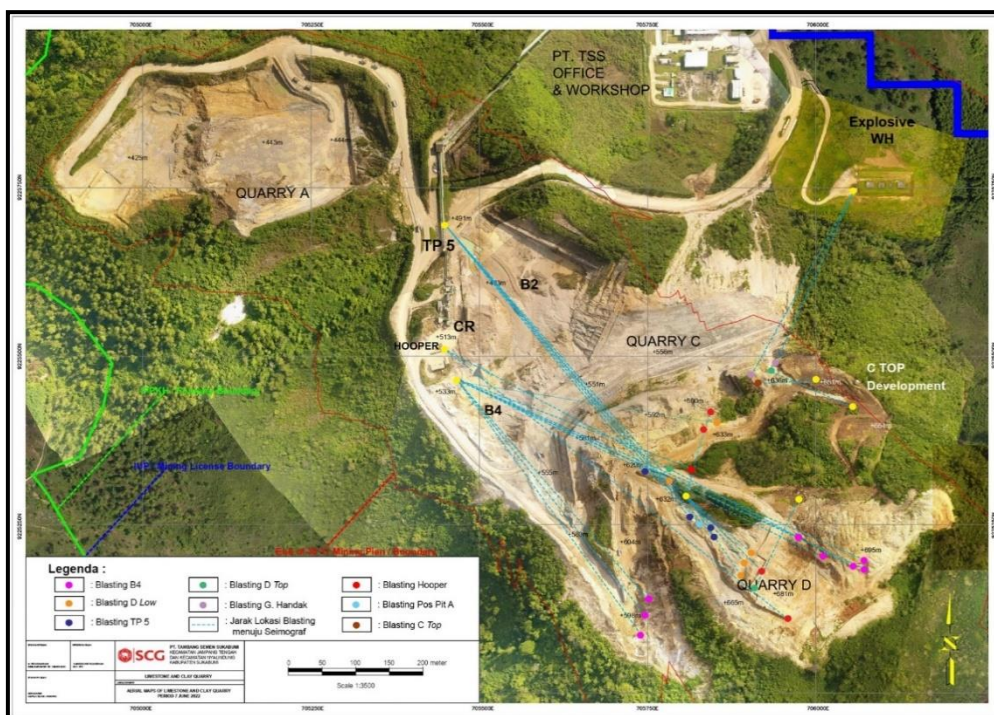
**Tabel 1.** Geometri Peledakan

Geometri Peledakan Teoritis dan Aktual				
Parameter	R. L Ash	C. J Konya	Aktual	Satuan
<i>Burden</i>	1,6	2,18	2,70	m
<i>Spacing</i>	1,93	3,03	3,38	m
<i>Stemming</i>	1,28	2,18	2,5	m
<i>Subdrilling</i>	0,48	0,87	0	m
<i>Loading Density</i>	4,28	5,29	5,3	kg/m
<i>Hole Depth</i>	9,48	9,87	9,66	m
<i>Powder Column</i>	8,2	7,69	7,16	m
<i>W Handak</i>	35,10	32,94	34,7	Kg/hole
<i>Powder Factor</i>	1,16	0,5	0,45	kg/BCM
	0,46	0,2	0,19	Kg/ton
<i>Volume</i>	30,03	65,1	92,9	BCM/Hole

Sumber: Data Penelitian yang Sudah Diolah, 2023.

**Kondisi Pengukuran pada Area Peledakan**

Pengukuran *ground vibration* dilakukan menggunakan alat ukur getaran yang berasal dari Kanada yaitu *intantel micromate*. Kadua alat tersebut memiliki tiga saluran yang memiliki fungsi sebagai saluran perekam getaran, suara dan saluran untuk transfer data. Gambar 1 menunjukkan lokasi pengukuran *ground vibration* terhadap lokasi kegiatan peledakan berlangsung, dari kondisi tersebut didapatkan variasi jarak, muatan handak, elevasi topografi dan kondisi struktur pada area peledakan.

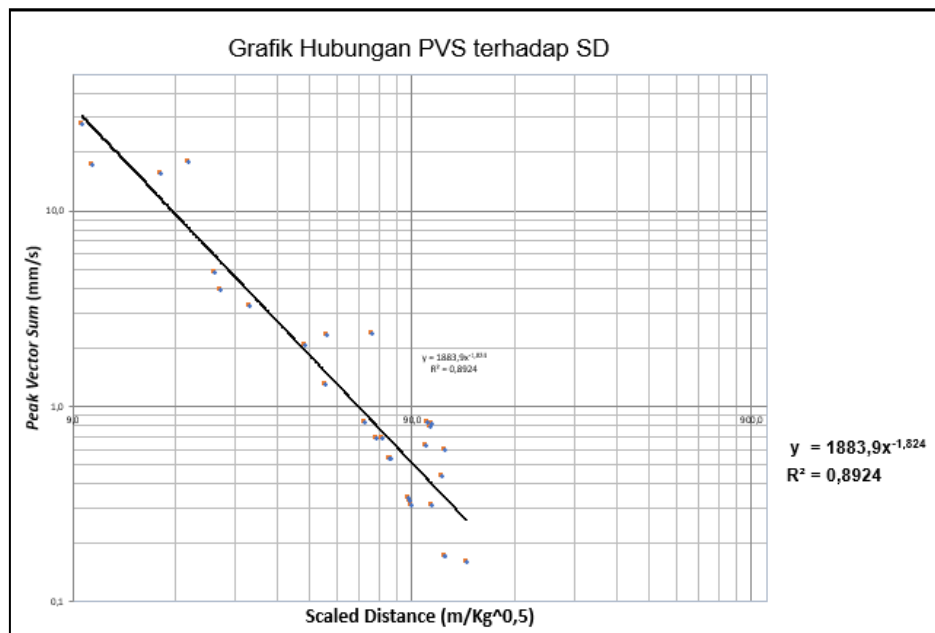


**Gambar 1.** Peta Lokasi Peledakan dan Pengukuran Getaran

**Hubungan Antara Peak Vector Summary (PVS) dan Scale Distance (SD)**

Hubungan antara PVS dan SD dilakukan menggunakan analisis regresi linier untuk mengetahui nilai konstanta (K) dan eksponen (e) peledakan menggunakan bantuan *software microsoft excel* karena input data yang

digunakan dihasilkan oleh dua alat yaitu *micromate* dan *vibracord*. Gambar 1 menunjukkan hubungan antara PVS dan SD menggunakan analisis regresi linier.



**Gambar 2.** Analisis Regresi PVS Terhadap SD

Berdasarkan hasil pengolahan data antara hubungan nilai *scale distance* terhadap nilai PVS, nilai konstanta (K) yang di dapatkan yaitu 1883,9 dengan nilai eksponen (e) sebesar -1,824. Dengan demikian, kurva yang dihasilkan akan mendapatkan persamaan rumus antara hubungan *peak vector sum* dan *scale distance* yaitu  $V = 1883,9 (SD)^{-1,824}$ . Melalui persamaan tersebut dapat di analisisan bahwa sebesar 1883,9 dari total energi hasil peledakan telah tertransfer menuju batuan di sekitarnya dan nilai e sebesar 1,824 menunjukkan hubungan antara geometri peledakan terhadap karakteristik masa batuanannya. Nilai konstanta dan eksponen tersebut dapat digunakan untuk memprediksi nilai *Peak Particle Velocity*. Berdasarkan grafik hubungan PVS dan SD tersebut, didapatkan nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ) sebesar 0,8924, hal tersebut menyatakan bahwa nilai *peak vector sum* ditentukan sebesar 89% oleh nilai *scale distance* dan 11% sisanya merupakan faktor yang tidak diketahui.

**Scale Distance (SD), Peak Particle Velocity (PPV) dan Peak Vector Summary (PVS)**

*Scale distance* (SD) merupakan perbandingan antara jarak pengamatan getaran terhadap muatan handak per *delay* yang dinyatakan dalam m/kg. Jarak pengukuran dari titik peledakan akan mempengaruhi nilai PVS dimana semakin dekat jarak peledakan dengan stasiun pengamatan maka akan semakin besar juga tingkat getaran yang diterima atau nilai *particle velocity summary* (PVS) yang didapat, begitupun sebaliknya [5]. *Peak Vector Summary* (PVS) merupakan data yang didapat dari alat ukur baik itu instantel *micromate* maupun *vibracord*. Nilai PVS merupakan nilai tertinggi yang dihasilkan dari berbagai arah gelombang transversal, vertical dan longitudinal [6]. *Peak Particle Velocity* (PPV) merupakan istilah yang digunakan dalam menyatakan satuan tertinggi dari berbagai arah gelombang berdasarkan perhitungan  $K \cdot SD^{-e}$ . Nilai SD, PPV dan *peak vector sum* aktual selama kegiatan penelitian berlangsung dapat dilihat pada Tabel 1.

**Tabel 2.** *Scale Distance* (SD), *Peak Vector Summary* (PVS) dan PPV Prediksi

Date	K	e	Jarak Explosive (m) (kg/hole)	SD	PVS	PPV	Deviation	
					Aktual mm/s	Prediksi mm/s		
06-Apr-22	1883,9	-1,824	514	34,5	87,57	0,340	0,540	-0,200
07-Apr-22			661	34,5	112,62	0,170	0,341	-0,171

12-Apr-22	735	31,8	130,34	0,160	0,261	-0,101
13-Apr-22	657	34,5	111,94	0,170	0,345	-0,175
14-Apr-22	518	34,5	88,25	0,330	0,532	-0,202
19-Apr-22	525	34,5	89,45	0,310	0,519	-0,209
20-Apr-22	294	34,5	50,09	1,290	1,495	-0,205
10-May-22	650	34,5	110,74	0,440	0,352	0,088
11-May-22	625	37,1	102,61	0,820	0,404	0,416
12-May-22	650	39,8	103,10	0,310	0,401	-0,091
17-May-22	658	34,5	112,11	0,600	0,344	0,256
18-May-22	620	37,1	101,79	0,780	0,410	0,370
19-May-22	605	37,1	99,33	0,630	0,429	0,201
23-May-22	460	34,5	78,32	0,539	0,514	0,025
24-May-22	255	18,6	59,13	1,600	1,105	0,495
30-May-22	279	30,2	50,77	2,311	1,459	0,852
07-Jun-22	265	37,1	43,51	2,046	2,155	-0,109
13-Jun-22	175	37,1	28,73	3,265	4,121	-0,856
22-Jun-22	525	37,1	86,19	0,544	0,556	-0,012
23-Jun-22	60	34,5	10,22	27,850	27,18	0,673
12-Jul-22	480	34,5	81,72	0,680	0,724	-0,044
14-Jul-22	138	34,5	23,49	4,810	5,949	-1,139
18-Jul-22	110	45,05	16,39	15,400	11,47	3,926
21-Jul-22	159	42	24,53	3,923	5,497	-1,574
25-Jul-22	475	22,7	99,70	0,830	0,910	-0,080
28-Jul-22	60	34	10,29	17,334	26,82	-9,484
04-Aug-22	380	34	65,17	0,830	0,925	-0,095
08-Aug-22	410	34	70,31	0,68	0,805	0,125

Sumber: Data Penelitian yang Sudah Diolah, 2023.

**Nilai PPV pada Struktur Bangunan Terdekat**

Prediksi nilai *Peak Particle Velocity* (PPV) pada struktur bangunan terdekat dapat dilakukan dengan mengolah dan menganalisis data berdasarkan nilai *peak vector sum* pada lokasi penelitian. Input data yang digunakan dalam mengetahui PPV prediksi pada lokasi tersebut diantaranya yaitu nilai konstanta (K) = 1883,9 , nilai *site* eksponen (e) = -1,824 dan nilai *scale distance*. Tabel 3, Tabel 4 dan Tabel 5 Menunjukkan nilai PPV yang diterima oleh infrastruktur disekitar area peledakan.

**Tabel 3.** Nilai *Peak Particle Velocity* di Desa Leuwidendeng

Nilai Getaran di Desa Leuwidendeng						
<i>Blasting Location</i>	K	M	Lokasi Pengukuran	Jarak (m)	SD (m/Kg <sup>0,5</sup> )	PVS Prediksi mm/s
<i>Quarry C</i>	1883,9	-1,824	Pemukiman	1500	255,07	0,08
<i>Quarry D</i>				1700	289,08	0,06

Sumber: Data Penelitian yang Sudah Diolah, 2023.



**Tabel 4.** Nilai *Peak Particle Velocity* di *Office*

<i>Office</i>						
<i>Blasting</i>	K	M	Lokasi	Jarak	<i>SD</i>	<i>PVS</i> Prediksi
<i>Location</i>			Pengukuran	(m)	(m/Kg <sup>0,5</sup> )	mm/s
<i>Quarry C</i>	1883,9	-1,824	<i>Office</i>	550	93,53	0,48
<i>Quarry D</i>				850	144,54	0,22

Sumber: Data Penelitian yang Sudah Diolah, 2023.

**Tabel 5.** Nilai *Peak Particle Velocity* di Gudang Handak

<i>Explosive Warehouse</i>						
<i>Blasting</i>	K	M	Lokasi	Jarak	<i>SD</i>	<i>PVS</i> Prediksi
<i>Location</i>			Pengukuran	(m)	(m/Kg <sup>0,5</sup> )	mm/s
<i>Quarry C</i>	1883,9	-1,824	<i>Explosive</i>	253	43,01	1,97
<i>Quarry D</i>			<i>Warehouse</i>	500	85,00	0,57

Sumber: Data Penelitian yang Sudah Diolah, 2023.

**Rekomendasi Muatan Handak Optimal per Delay untuk Batasan PPV 2 mm/s.**

Penentuan estimasi handak maksimum per *delay* dilakukan berdasarkan data konstanta (K) = 1883,1 dan nilai *site* eksponen (e) = -1,824 yang telah ditentukan melalui persamaan regresi nilai PPV terhadap *scale distance*, jarak pengukuran menuju lokasi peledakan (D) dengan variasi nilai berdasarkan data aktual dilapangan serta nilai PPV maksimal berdasarkan nilai ambang batas perusahaan yaitu 2 mm/s. Berdasarkan contoh perhitungan tersebut diketahui nilai K = 1883,1, e = -1,824 dengan nilai PPV maksimum 2 mm/s sehingga hasil muatan handak maksimum per *delay* yang dihasilkan yaitu 88 Kg. Gambar 2 menunjukkan rekomendasi muatan handak dalam variasi jarak pengukuran (y) dan muatan handak per *delay* (x), kolom berwarna kuning merupakan nilai PVS yang melebihi nilai ambang batas. Dengan demikian, rekomendasi muatan handak dan jarak pengukuran yang optimal berada pada kolom berwarna putih yang menghasilkan nilai PPV kurang dari 2 mm/s.

Distance	Charge mass per delay (Kg)									
	10	15	25	30	40	60	65	75	85	95
250	0,65	0,94	1,50	1,77	2,30	3,33	3,59	4,09	4,58	5,07
270	0,57	0,82	1,30	1,54	2,00	2,90	3,12	3,55	3,98	4,40
290	0,50	0,72	1,14	1,35	1,76	2,54	2,74	3,12	3,49	3,87
300	0,47	0,68	1,08	1,27	1,65	2,39	2,57	2,93	3,28	3,63
320	0,41	0,60	0,96	1,13	1,47	2,12	2,29	2,60	2,92	3,23
340	0,37	0,54	0,86	1,01	1,31	1,90	2,05	2,33	2,61	2,89
360	0,33	0,48	0,77	0,91	1,18	1,71	1,84	2,10	2,36	2,61
380	0,30	0,44	0,70	0,83	1,07	1,55	1,67	1,90	2,13	2,36
400	0,28	0,40	0,64	0,75	0,98	1,41	1,52	1,73	1,94	2,15
420	0,25	0,37	0,58	0,69	0,89	1,29	1,39	1,59	1,78	1,97
440	0,23	0,34	0,53	0,63	0,82	1,19	1,28	1,46	1,63	1,81
460	0,21	0,31	0,49	0,58	0,76	1,10	1,18	1,34	1,51	1,67
520	0,17	0,25	0,39	0,47	0,61	0,88	0,94	1,07	1,20	1,33
540	0,16	0,23	0,37	0,43	0,57	0,82	0,88	1,00	1,12	1,24
560	0,15	0,22	0,34	0,41	0,53	0,77	0,82	0,94	1,05	1,16
660	0,11	0,16	0,26	0,30	0,39	0,57	0,61	0,70	0,78	0,86
760	0,09	0,12	0,20	0,23	0,30	0,44	0,47	0,54	0,60	0,67
780	0,08	0,12	0,19	0,22	0,29	0,42	0,45	0,51	0,57	0,64
800	0,08	0,11	0,18	0,21	0,28	0,40	0,43	0,49	0,55	0,61
820	0,07	0,11	0,17	0,20	0,26	0,38	0,41	0,47	0,52	0,58

PPV = mm/s

**Gambar 3.** Rekomendasi Muatan Handak Optimal per Delay untuk PPV maksimal 2 mm/s

Dengan berdasarkan nilai Konstanta (K) = 1883,9 dan nilai eksponen (e) = -1,824 maka dapat dilakukan perancangan terhadap muatan handak maksimum per *delay* untuk berbagai variasi jarak sesuai PPV yang ditentukan. Tabel 2 menunjukkan rekomendasi muatan handak optimal per *delay* untuk berbagai variasi jarak dengan maksimal PPV 2 mm/s.

**Tabel 6.** *Scale Distance (SD), Peak Vector Summary (PVS) dan PPV Prediksi*

Estimasi Muatan Handak Maksimum (PPV 2 mm/s)					
K	e	PPV	PPV Prediksi	D	Q
		mm/s	mm/s	m	Kg
1883,9	-1,824	2	1,972	100	5,4
			1,997	200	21,9
			1,998	300	49,3
			1,999	400	87,7
			1,999	500	137,0
			1,996	600	197,0
			1,996	700	268,0
			1,995	800	350,0
			2,000	900	444,0
			1,999	1000	548,0
			1,999	1100	663,0
			1,999	1200	789,0
			1,999	1300	926,0
			1,999	1400	1074,0
			1,999	1500	1233,0

Sumber: Data Penelitian yang Sudah Diolah, 2023.

**D. Kesimpulan**

Tingkat getaran tanah dinyatakan dalam nilai *Peak Vector Summary (PVS)* di lokasi penelitian menghasilkan variasi nilai yang dipengaruhi oleh muatan handak dan jarak pengukuran. PVS terendah menghasilkan nilai 0,160 mm/s dengan isian handak 34 kg/hole dan jarak pengukuran 735 m. Sedangkan PVS tertinggi yaitu 27,850 mm/s dengan isian handak 34,5 kg/hole dan jarak pengukuran 60 meter.

Nilai *Scale Distance (SD)* yang dihasilkan pada lokasi penelitian memiliki nilai rata-rata 73,28 m/kg<sup>0,5</sup> dengan SD terendah yaitu 10,22 kg dan SD tertinggi senilai 130,34 kg. Berdasarkan analisis persamaan regresi linier, nilai konstanta peluruhan (K) yang dihasilkan yaitu 1883,9 yang menyatakan total energi hasil peledakan telah tertransfer menuju batuan di sekitarnya dan nilai e sebesar 1,824 menunjukkan hubungan antara geometri peledakan terhadap karakteristik masa batuananya.

Penentuan estimasi handak maksimum per *delay* dilakukan berdasarkan data konstanta (K) = 1883,1 dan nilai *site* eksponen (e) = 1,824 yang telah ditentukan melalui persamaan regresi nilai PPV terhadap *scale distance*, jarak pengukuran (m) serta nilai PPV maksimal berdasarkan nilai ambang batas perusahaan yaitu 2 mm/s. Pada jarak 200 m dapat menggunakan muatan handak maksimal sebesar 22 Kg sedangkan pada jarak 550 m dapat menggunakan 137 Kg.

**Daftar Pustaka**

[1] A. Rifandy and M. H. Domili, “Analisis Getaran Tanah Akibat Peledakan untuk Mencapai Kondisi Aman pada Kawasan Pemukiman pada PT. Cipta Kridatama Site MHU,” *JGP (Jurnal Geologi Pertambangan)*, vol. 2, no. 16, 2014.

- [2] YY. Hutajulu, Y. Taruna, F. F. Lakoy, F. Indrajaya, and DAK. Wijaya, “Tingkat Keberhasilan Pengeboran dan Peledakan pada Pembongkaran Tanah Penutup,” *Jurnal Pertambangan*, vol. 5, no. 1, 2021.
- [3] F. Shodik, Yuliadi, and D. Marmer, “Analisis Penentuan Optimum Intershot Delay Timing dengan Signature Hole Analysis Methode dan Penentuan Isian Bahan Peledak Maksimum Per Delay untuk Mengontrol Getaran Tanah Hasil Peledakan Overburden pada PT DNX Indonesia Jobsite Adaro, Tabalong Kalimantan Selatan,” *Prosiding Teknik Pertambangan*, vol. 5, no. 1, 2019.
- [4] Badan Standarisasi Nasional, *Baku Tingkat Getaran Peledakan pada Kegiatan Tambang Terbuka Terhadap Bangunan*. Indonesia, 2010.
- [5] Muhammad Sundayana, Yuliadi, and Indra Karna Wijaksana, “Analisis Hubungan Kerapatan Kekar dengan Tingkat Getaran Tanah Hasil Peledakan,” *Jurnal Riset Teknik Pertambangan*, pp. 133–140, Dec. 2022, doi: 10.29313/jrtp.v2i2.1411.
- [6] A. B. Richards and A. J. Moore, “Blast Vibration Course Measurment Assessment-Control,” *Jurnal Rekayasa Sriwijaya*, vol. 18, no. 1, pp. 25–32, 2005.
- [7] R. Altindag, “The evaluation of rock brittleness concept on rotary blast hole drills,” Isparta, 2001.
- [8] R. F. Chiappetta, “New Blasting Technique to Eliminate Subgrade Drilling, Improve Fragmentation, Reduce Explosive Consumption & Lower Ground Vibration,” 2004.
- [9] C. V. B. Cunningham, *Kuz – Ram Model For Prediction of Fragmentation From Blasting Symposium on Rock Fragmentation by Blasting*. Sweden, 1983.
- [10] G. R. Fitransyah, “Evaluasi Getaran Peledakan Berdasarkan Tingkat Peluruhan di PT Dahana Job Site Ck Kjb, Kampung Long Lanuk, Kecamatan Sambaliung, Kabupaten Berau, Kalimantan Timur,” *Universitas Islam Bandung*, 2016.