

## Kajian Pengaruh Kekar Terhadap Peak Particle Velocity dari Getaran Peledakan Tambang Batu Andesit PT Gunung Kulalet di Jawa Barat

Muhamad Fadhil Saputra\*, Yuliadi, Zaenal

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

\*saputrafadhil4@gmail.com, zaenal.mq66@gmail.com, yuliadibejo@gmail.com

**Abstract.** Ground vibration is a wave that moves in the ground caused by the presence of an energy source. Waves cannot propagate optimally if there is interference in the medium. Disturbances in the medium one of them is the geological structure. The existence of geological structure makes wave propagation becomes not optimal so it is necessary to study the influence of structure on wave propagation. The research method used in this study is to perform a comparative analysis technique between scaled distance with peak particle velocity in rocks with high rock strength and rocks that have a structure. In addition, the study of the colleration between the joint direction and the direction of the measurement points. The results of the discussion will issue recommendations for optimal explosives so that the peak particle velocity value does not exceed the threshold value. The propagation of vibrations traversed in rocks has different characteristics. Wave propagation is influenced by several factors such as the joint direction against the direction of blasting measurements and also the resulting PPV value. Of the three waveforms, vertical waves have a greater influence compared to the other two waves. Determination of the effect of waves on the value of Peak Particle Velocity depends on the value of the decay constant (k) and site exponent (e) from the results showed that the condition of the general direction of the two directions of measurement in two companies have intersecting directions. Joint density conditions have a tight space between joint distances (<60mm). From the results of the study found that the optimal explosive recommendation that can be used is 65.40 kg for PT Gunung Kulalet.

**Keywords:** *Peak Particle Velocity, Joint Direction, Joint Density.*

**Abstrak.** Getaran tanah (ground vibration) adalah gelombang yang bergerak di dalam tanah disebabkan oleh adanya sumber energi. Gelombang tidak dapat merambat secara optimal jika terdapat gangguan pada medium tersebut. Gangguan yang terdapat pada medium salah satunya adalah struktur geologi. Adanya struktur geologi membuat perambatan gelombang menjadi tidak optimal, sehingga diperlukan kajian mengenai pengaruh struktur terhadap perambatan gelombang. Metode penelitian yang digunakan pada penelitian ini yaitu melakukan teknik analisis komparatif antara scaled distance dengan peak particle velocity pada batuan dengan kekuatan batuan yang tinggi dan batuan yang memiliki struktur. Selain itu dilakukan pengkajian hubungan antara arah umum kekar dan arah umum titik pengukuran terhadap getaran peledakan yang dihasilkan. Hasil dari pembahasan tersebut akan mengeluarkan rekomendasi bahan peledak optimal agar nilai peak particle velocity tidak melebihi nilai ambang batas. Perambatan getaran yang dilalui pada batuan memiliki karakteristik yang berbeda. Perambatan gelombang dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti arah umum kekar terhadap arah pengukuran peledakan dan juga nilai PPV yang dihasilkan. Dari ketiga bentuk gelombang, gelombang vertikal memiliki pengaruh yang lebih besar dibandingkan dengan kedua gelombang lainnya. Penentuan pengaruh gelombang pada nilai Peak Particle Velocity bergantung pada nilai konstanta peluruhan (k) dan site exponent (e) Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa kondisi arah umum kekar terhadap kedua arah pengukuran pada dua perusahaan memiliki arah yang berpotongan. Kondisi joint density memiliki spasi jarak antar kekar yang rapat (<60mm). Dari hasil kajian didapatkan bahwa rekomendasi bahan peledak optimal yang dapat digunakan yaitu 65,40 kg untuk PT Gunung Kulalet.

**Kata Kunci:** *Peak Particle Velocity, Arah Umum Kekar, Joint Density.*

## A. Pendahuluan

Kegiatan peledakan banyak digunakan di industri pertambangan. Hal ini disebabkan karena peledakan merupakan salah satu cara untuk memberaikan bahan galian yang masif menjadi ukuran yang lebih kecil. Kegiatan peledakan dapat dilakukan ketika bahan galian tidak dapat diberaikan menggunakan alat mekanis. Kegiatan peledakan dapat menghasilkan beberapa dampak negatif, salah satunya adalah getaran tanah atau ground vibration. Dari dampak negatif tersebut, gelombang seismik yang menyebabkan getaran tanah, mungkin yang paling berbahaya dan sulit dikendalikan. Dampaknya sangat relevan ketika ada konstruksi di dekatnya.

Getaran tanah (ground vibration) adalah gelombang yang bergerak di dalam tanah disebabkan oleh adanya sumber energi. Sumber energi ini dapat berasal dari alam seperti gempa bumi ataupun dari hasil kegiatan peledakan. Getaran tanah ini pada tingkat tertentu bisa menyebabkan terjadinya kerusakan struktur di sekitar lokasi peledakan.

Beberapa perusahaan yang menggunakan metode peledakan di Jawa Barat perlu mengendalikan tingkat getaran peledakan agar target produksi data tercapai tanpa menimbulkan dampak negatif pada daerah sekitar. Tingkat getaran peledakan bergantung pada cepat rambat gelombang untuk merambat melalui mediumnya masing – masing. Gelombang tidak dapat merambat secara optimal jika terdapat gangguan pada medium tersebut. Gangguan yang terdapat pada medium salah satunya adalah struktur geologi. Adanya struktur geologi sebagai peredam getaran membuat perambatan gelombang menjadi tidak optimal sehingga diperlukan kajian mengenai pengaruh struktur terhadap perambatan gelombang di PT Gunung Kulalet.

Berikut ini tujuan penelitian yang telah dilaksanakan, di antaranya adalah:

1. Menganalisis perambatan getaran tanah hasil kegiatan peledakan pada kedua perusahaan berdasarkan perubahan nilai PPV;
2. Menganalisis pengaruh konstanta peluruhan dan site exponent terhadap perambatan getaran hasil peledakan;
3. Mengetahui nilai isian bahan peledak yang optimal agar getaran tidak melebihi nilai ambang batas.

## B. Metodologi Penelitian

Methodologi penelitian terbagi menjadi beberapa tahapan yaitu pengambilan data, pengolahan data, dan analisis data. Pengambilan data terbagi menjadi dua yaitu data primer dan data sekunder. Data primer yang didapatkan dari kegiatan penelitian yaitu koordinat titik penelitian, geometri peledakan, data geoteknik, dan data getaran tanah hasil kegiatan peledakan. Data sekunder yang didapatkan dari kegiatan penelitian yaitu peta topografi, peta geologi, peta morfologi, spesifikasi peralatan dan perlengkapan kegiatan peledakan.

Teknik pengolahan data dilakukan untuk mendapatkan hasil dari pengambilan data di lapangan sebelumnya atau melalui studi literatur. Pengolahan data dilakukan untuk mendapatkan nilai PPV Prediksi, konstanta peluruhan, site exponent, serta berat bahan peledak optimal. Teknik analisis data yang dilakukan dari hasil pengolahan data, di antaranya adalah melakukan analisis teknik komparatif antara peak particle velocity dengan beberapa faktor yang mempengaruhi perambatan getaran tanah. Selain itu dilakukan juga analisis pengaruh arah umum kekar dan arah umum pengukuran terhadap nilai peak particle velocity.

## C. Hasil Penelitian dan Pembahasan

Kegiatan penelitian dilakukan di PT Gunung Kulalet. Kegiatan penelitian sendiri terdiri dari lima titik peledakan beserta empat titik pengamatan getaran peledakan. Rekapitan koordinat kegiatan penelitian dapat dilihat pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Koordinat Lokasi Penelitian

Lokasi	Koordinat	Jarak (m)
--------	-----------	-----------

	X (mE)	Y (mN)	
Peledakan 1	789129	9224315	50
Peledakan 2	789069	9224265	140
Peledakan 3	789065	9224302	130
Peledakan 4	789047	9224277	280
Peledakan 5	789062	9224242	250

Pada lokasi pengamatan, dilakukan pengukuran geometri peledakan beserta tingkat getaran tanah, serta berat bahan peledak per waktu tunda setiap lubangnya. Jarak pengambilan data bervariasi dan akan digunakan untuk membandingkan pengaruh perambatan gelombang terhadap medium yang dilaluinya berdasarkan jarak yang bervariasi. Pengukuran geometri peledakan dilakukan pada PT Gunung Kulalet dan CV Panghegar. Data geometri peledakan yang diukur yaitu burden (m), spacing (m), stemming (m), diameter lubang (m), dan kedalaman lubang ledak (m). Adapun rincian geometri peledakan aktual dapat dilihat pada Tabel 2.

**Tabel 2.** Geometri Peledakan Aktual

Lokasi	Jumlah Lubang	Burden (m)	Spacing (m)	Stemming (m)	Hole Depth (m)	Powder Column (m)	Powder Factor (Kg/BCM)
1	140	1,8	1,8	1,2	3,0	1,8	0,35
2	80	1,8	1,8	1,2	3,0	1,8	0,35
3	120	1,8	1,8	1,2	3,0	1,8	0,35
4	90	1,8	1,8	1,2	3,0	1,8	0,35
5	155	1,8	1,8	1,2	3,0	1,8	0,35

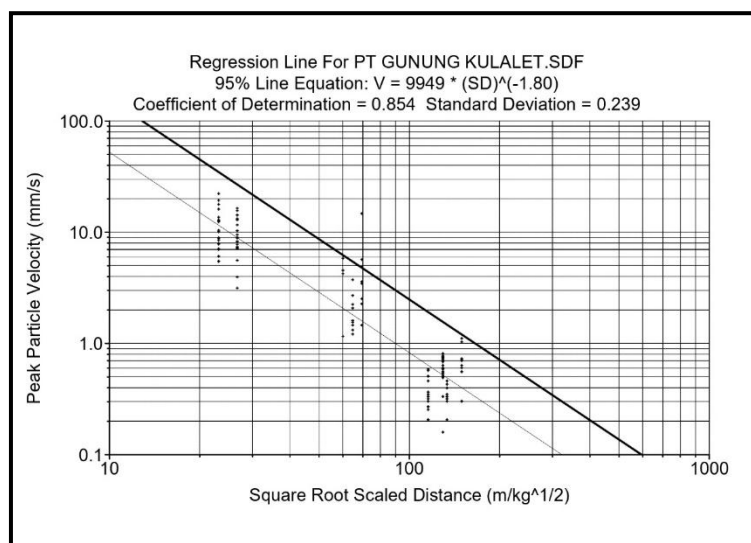
Dari data pengukuran didapatkan beberapa variabel data, salah satunya yaitu peak particle velocity (PPV). Berdasarkan arahnya, peak particle velocity terbagi menjadi tiga jenis yaitu transversal, longitudinal, dan vertical. Dari data tersebut dibuat grafik hubungan antara peak particle velocity (PPV) dengan scaled distance. Adapun data hasil pengukuran peak particle velocity (PPV) dapat dilihat pada Tabel 3.

**Tabel 3.** Data Peak Particle Velocity (PPV)

Titik Pengamatan	Jarak (m)	Jumlah Lubang Meledak Bersamaan	Peak Particle Velocity (mm/s)						PVS (mm/s)	
			Trans		Vert		Long			
			Min	Maks	Min	Maks	Min	Maks	Min	Maks
1	50	3	3,14	11,40	2,76	15,60	2,56	16,40	3,27	24,40

		4	2,52	9,84	5,45	22,20	3,57	12,40	5,83	24,60
2	140	4	1,19	3,73	0,62	2,70	0,76	2,68	1,33	4,28
3	130	3	1,37	3,59	0,83	5,67	1,16	5,57	1,49	5,75
		4	0,60	2,35	0,30	5,81	1,16	1,43	1,26	5,94
4	280	3	0,21	1,11	0,14	0,71	0,30	1,03	0,32	1,39
		4	0,16	0,70	0,11	0,75	0,08	0,81	0,17	1,12
5	250	3	0,21	0,46	0,16	0,43	0,06	0,10	0,22	0,46
		4	0,16	0,59	0,18	0,48	0,06	0,10	0,21	0,68

Konstanta peluruhan dan site exponent merupakan dua variabel yang digunakan untuk menentukan nilai prediksi getaran tanah. Penentuan nilai konstanta peluruhan dan site exponent didapatkan menggunakan software Blastware. Variabel yang digunakan yaitu hubungan antara scaled distance dan peak particle velocity. Pemodelan Grafik hubungan antara scaled distance dan peak particle velocity dapat dilihat pada Gambar 1.



**Gambar 1.** Grafik Hubungan Antara *Scaled Distance* dengan PPV di PT Gunung Kulalet

Dari hasil pengolahan data, didapatkan persamaan  $PPV = 9949 * SD^{-1,8}$  untuk PT Gunung Kulalet dengan nilai koefisien determinasi sebesar 0,854 dan nilai standar deviasi sebesar 0,239. Nilai konstanta peluruhan ( $k$ ) yang didapatkan sebesar 9949 dan site exponent ( $e$ ) sebesar 1,8.

Kekar (joint) berfungsi sebagai peredam getaran karena terdapat ruang kosong berisi udara di dalam kekar. Ruang kosong yang diisi oleh udara akan meredam gelombang hasil peledakan karena perbedaan fasa batuan dan fasa udara. Arah datangnya gelombang akan mempengaruhi apakah gelombang hasil peledakan akan teredam atau tidak. Jika arah gelombang hasil peledakan berpotongan dengan arah umum kekar, maka gelombang hasil peledakan akan mengalami peredaman. Hasil penelitian menunjukkan bahwa titik pengukuran mengalami perpotongan dengan arah umum kekar. Arah umum kekar yang didapatkan dengan nilai N 110o E pada kuadran II, dimana arah umum kekar sejajar dengan dua titik pengukuran

yaitu titik 2 dan 3 yang berada pada kuadran II dan IV. Adapun rekapitulasi kondisi arah pengukuran getaran terhadap arah umum kekar dapat dilihat pada Tabel 4.

**Tabel 4.** Kondisi Arah Pengukuran Getaran Terhadap Arah Umum Kekar di PT Gunung Kulalet

Titik Peledakan	Jumlah Lubang Meledak Bersamaan	Jarak (m)	Charge per Delay (kg)	Arah	
				Pengukuran	Kekar
1	3	50	3,51	N 290° E	N 90° E
	4	50	4,68	N 290° E	
2	4	140	4,68	N 329° E	
3	3	130	3,51	N 310° E	
	4	130	4,68	N 310° E	
4	3	280	3,51	N 162° E	
	4	280	4,68	N 162° E	
5	3	250	3,51	N 160° E	
	4	250	4,68	N 160° E	

Pada Tabel 4 menjelaskan kondisi arah umum kekar terhadap arah umum pengukuran getaran peledakan di PT Gunung Kulalet. Tabel tersebut menjelaskan bahwa arah umum pengukuran berpotongan dengan arah umum kekar dengan nilai sebesar N 1100 E. Kondisi joint density pada lereng PT Gunung Kulalet memiliki jarak spasi antar kekar yang sangat rapat (<60mm), namun jarak titik pengukuran dengan lereng memiliki selisih 50 hingga 100 meter sehingga joint density yang rapat diasumsikan tidak mempengaruhi perambatan gelombang. Jika dikorelasikan dengan nilai PPV, tidak terdapat penurunan nilai PPV yang signifikan pada ketiga bentuk gelombang.

Berdasarkan data pengukuran getaran peledakan, didapatkan nilai konstanta peluruhan (k) dan site exponent (e) dari masing masing jenis gelombang. Dari hasil rekapitulasi, didapatkan nilai k maksimum dengan nilai sebesar 5.729,2 dan nilai e maksimum dengan nilai sebesar -2,007 dari jenis gelombang vertikal. Hal ini membuktikan bahwa gelombang vertikal memiliki pengaruh yang paling besar dalam perambatan gelombang. Rekapitulasi nilai k dan e dapat dilihat pada Tabel 5.

**Tabel 5.** Rekapitulasi nilai k dan e

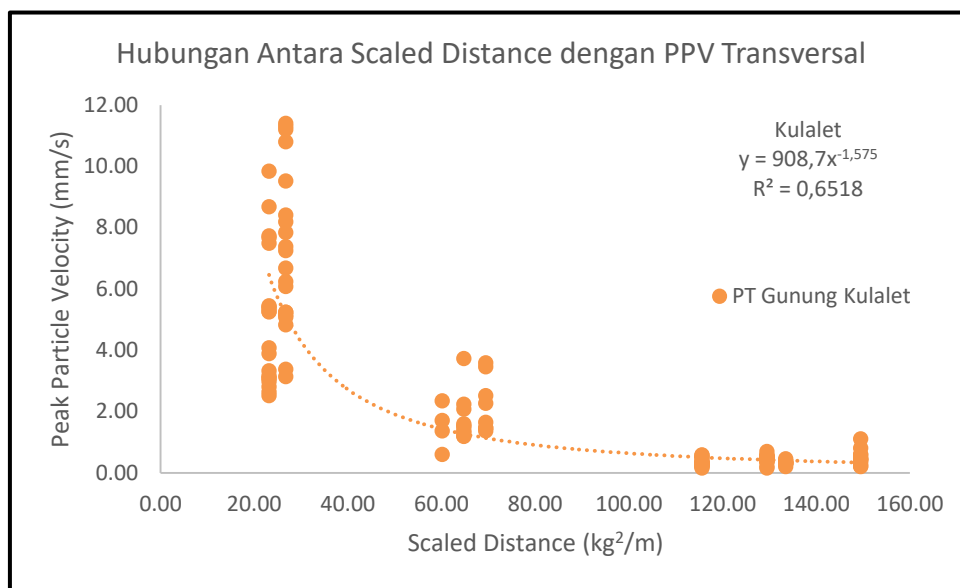
Lokasi	Jenis Gelombang	R <sup>2</sup>	R
PT Gunung Kulalet	$PPV_T = 908,7x^{-1,575}$	0,65	0,80
	$PPV_V = 5.729,2x^{-2,007}$	0,71	0,84
	$PPV_L = 4.700,3x^{-2,012}$	0,71	0,84

Lokasi	Jenis Gelombang	R <sup>2</sup>	R
	$PVS = 4.217,6x^{-1,83}$	0,72	0,85

Berikut ini merupakan hasil nilai regresi dari setiap jenis gelombang, di antaranya adalah:

1. Peak Particle Velocity Transversal terhadap Scaled Distance

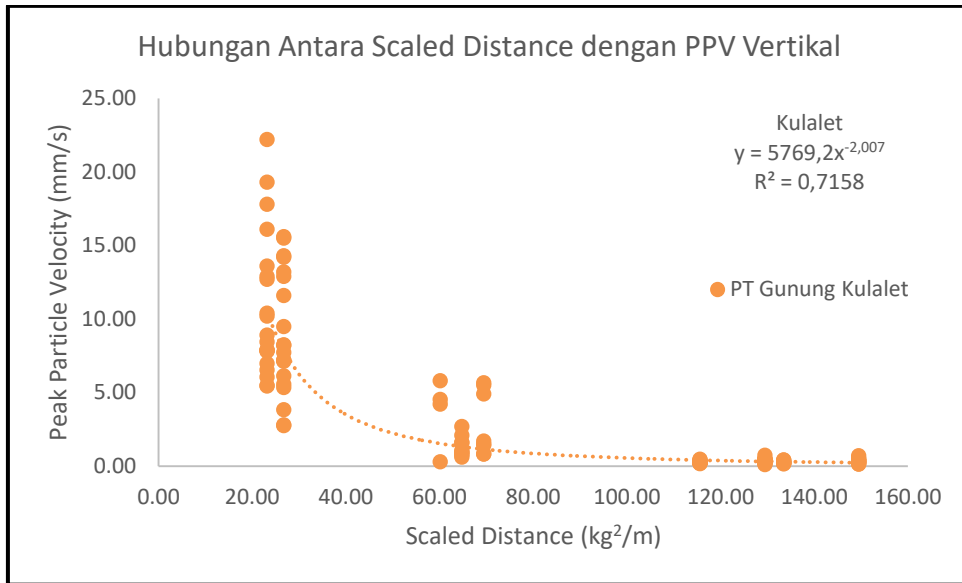
Berdasarkan hasil analisis regresi menggunakan trendline power yang dapat dilihat pada Gambar 2, didapatkan persamaan regresi yaitu  $y = 908,7x^{-1,575}$  pada PT Gunung Kulalet. Dari hasil analisis didapatkan nilai konstanta peluruhan sebesar 908,7 pada PT Gunung Kulalet dan 41,174. Untuk melihat hubungan antar kedua variabel dapat dilihat pada nilai koefisien determinasi dan koefisien korelasi. Koefisien determinasi pada PT Gunung Kulalet didapatkan sebesar 0,6518. Koefisien korelasi yang didapatkan pada PT Gunung Kulalet sebesar 0,8073;



**Gambar 2.** Grafik Hubungan Antara Scaled Distance dengan PPV Transversal

2. Peak Particle Velocity Transversal terhadap Scaled Distance

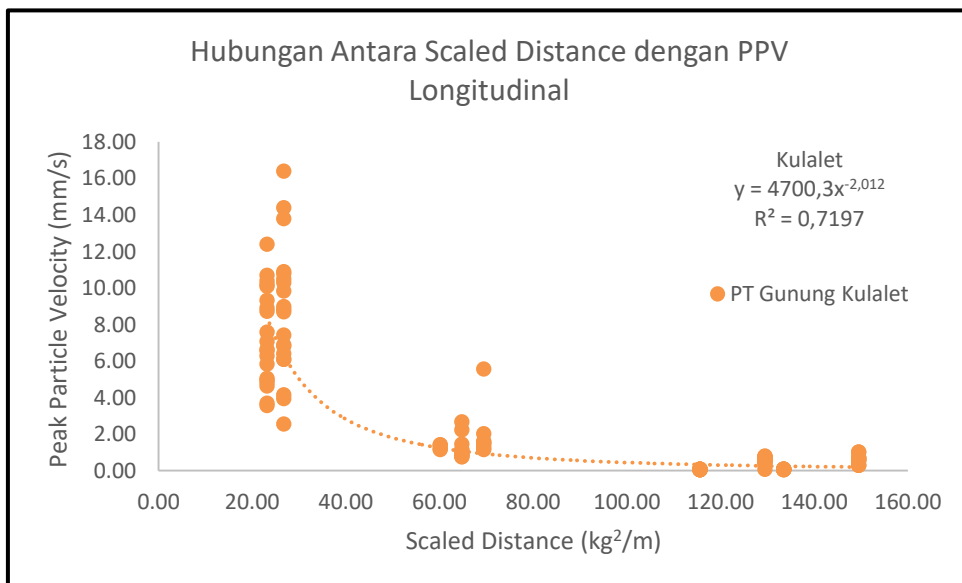
Berdasarkan hasil analisis regresi menggunakan trendline power yang dapat dilihat pada Gambar 3, didapatkan persamaan regresi yaitu  $y = 5.729,2x^{-2,007}$  pada PT Gunung Kulalet. Dari hasil analisis didapatkan nilai konstanta peluruhan sebesar 5.729,2 dan nilai site exponent yang didapatkan pada PT Gunung Kulalet sebesar 2,007. Untuk melihat hubungan antar kedua variabel dapat dilihat pada nilai koefisien determinasi dan koefisien korelasi. Koefisien determinasi pada PT Gunung Kulalet didapatkan sebesar 0,7158. Koefisien korelasi yang didapatkan pada PT Gunung Kulalet sebesar 0,8460;



**Gambar 3.** Grafik Hubungan Antara *Scaled Distance* dengan PPV Vertikal

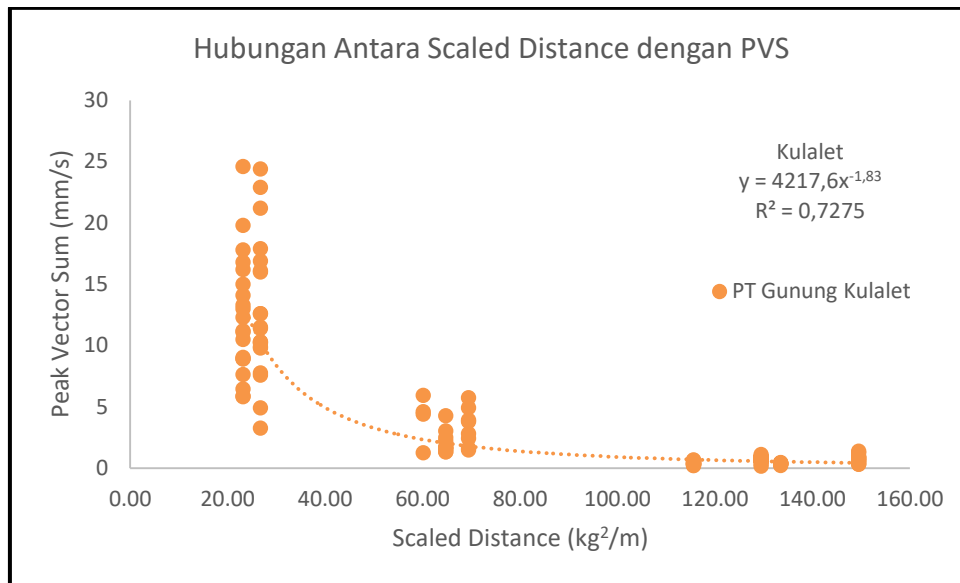
3. Peak Particle Velocity Transversal terhadap Scaled Distance

Berdasarkan hasil analisis regresi menggunakan trendline power yang dapat dilihat pada Gambar 4, didapatkan persamaan regresi yaitu  $y = 4.700,3x^{-2,012}$  pada PT Gunung Kulalet. Dari hasil analisis didapatkan nilai konstanta peluruhan sebesar 4.700,3 pada PT Gunung Kulalet. Nilai site exponent yang didapatkan pada PT Gunung Kulalet sebesar 2,012. Untuk melihat hubungan antar kedua variabel dapat dilihat pada nilai koefisien determinasi dan koefisien korelasi. Koefisien determinasi pada PT Gunung Kulalet didapatkan sebesar 0,7197. Koefisien korelasi yang didapatkan pada PT Gunung Kulalet sebesar 0,8483;



**Gambar 4.** Grafik Hubungan Antara *Scaled Distance* dengan PPV Longitudinal

Nilai konstanta peluruhan dipengaruhi oleh tingkat peredaman batuan. Semakin kecil nilai konstanta peluruhan maka semakin tinggi tingkat peredaman batuan pada daerah tersebut. Nilai konstanta peluruhan berbanding lurus dengan nilai site exponent, semakin tinggi nilai konstanta peluruhan maka semakin tinggi nilai site exponent.



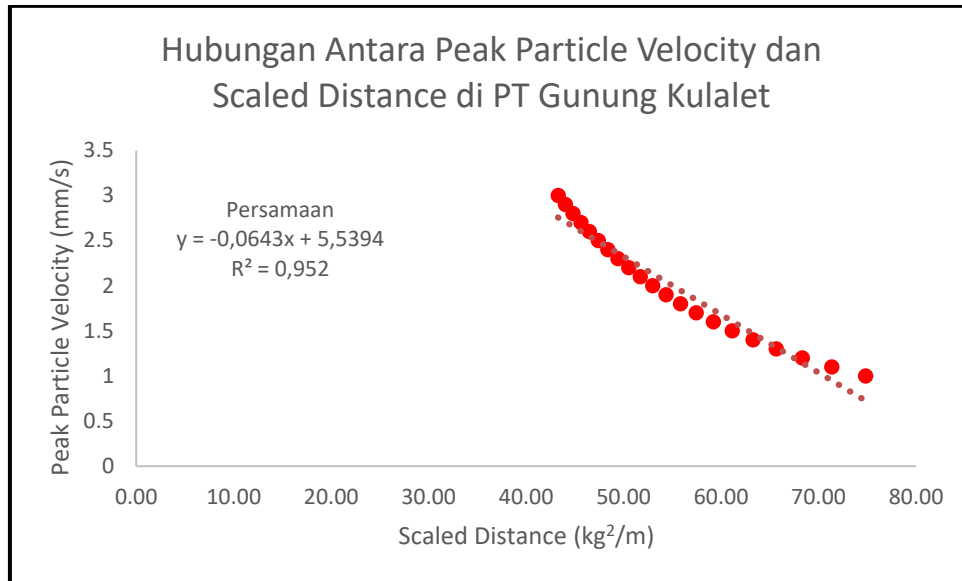
**Gambar 5.** Grafik Hubungan Antara *Scaled Distance* dengan PVS

Dari hasil analisis dapat dilihat bahwa kedua variabel memiliki koefisien korelasi yang berbeda pada lokasi pengamatan. PT Gunung Kulalet memiliki koefisien korelasi sebesar 0,8529 yang menunjukkan hubungan yang kuat. PT Gunung Kulalet memiliki nilai konstanta peluruhan sebesar 4.217,6 dan site exponent sebesar 1,83.

Penggunaan bahan peledak akan mempengaruhi tingkat getaran yang dihasilkan. Penentuan bahan peledak yang akan digunakan dapat ditentukan menggunakan grafik hubungan antara nilai scaled distance dan peak vector sum. Garis linear antara kedua variabel tersebut dapat menghasilkan persamaan yang dapat digunakan untuk menghitung kebutuhan bahan peledak per lubang yang optimal.

Berdasarkan hasil analisis regresi menggunakan trendline linear yang dapat dilihat pada Gambar 6, didapatkan persamaan linear yaitu  $y = -0,0643x + 5,5394$ . Variabel yang digunakan pada pembuatan grafik ini yaitu nilai PPV dengan rentang nilai mulai dari 1 mm/s hingga 3 mm/s dengan interval kenaikan sebesar 0,1mm/s. Adapun persamaan yang digunakan untuk mencari nilai scaled distance yaitu menggunakan persamaan trendline power PPV Vertikal. Nilai scaled distance yang didapatkan akan digunakan untuk menentukan berat bahan peledak per lubang yang akan digunakan agar nilai PPV tidak melebihi nilai ambang batas.





**Gambar 6.** Grafik Hubungan Antara *Scaled Distance* dengan *Peak Vector Sum* di PT Gunung Kulalet

Dari hasil analisis dapat dilihat bahwa kedua variabel menghasilkan koefisien determinasi cukup tinggi. PT Gunung Kulalet memiliki koefisien determinasi sebesar 0,952 yang menunjukkan hubungan sangat kuat. Nilai koefisien korelasi yang dihasilkan pada PT Gunung Kulalet memiliki tingkat hubungan yang sangat kuat dengan nilai sebesar 0,975. Rekapitulasi nilai PPV dan scaled distance dapat dilihat pada Tabel 6.

**Tabel 6.** Rekapitulasi Nilai PPV dengan Scaled Distance PT Gunung Kulalet

No	PPV (mm/s)	SD (kg <sup>2</sup> /m)	No	PPV (mm/s)	SD (kg <sup>2</sup> /m)
1	1,0	74,82	12	2,1	51,70
2	1,1	71,35	13	2,2	50,51
3	1,2	68,32	14	2,3	49,40
4	1,3	65,65	15	2,4	48,37
5	1,4	63,27	16	2,5	47,39
6	1,5	61,13	17	2,6	46,48
7	1,6	59,20	18	2,7	45,61
8	1,7	57,43	19	2,8	44,79
9	1,8	55,82	20	2,9	44,02
10	1,9	54,34	21	3,0	43,28
11	2,0	52,97			

#### D. Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang diperoleh dari penelitian ini yaitu:

1. Dari ketiga bentuk gelombang, nilai peak particle velocity yang mengalami pengaruh paling besar dalam perambatan getaran yaitu nilai PPV Vertikal. Pemilihan nilai PPV Vertikal yang paling mempengaruhi perambatan getaran berdasarkan pada nilai konstanta peluruhan ( $k$ ) dan site exponent ( $e$ ) terbesar dari tiga bentuk gelombang lainnya;
2. Nilai konstanta peluruhan yang didapatkan sebesar 5729,2 dan site exponent sebesar 2,007 pada PT Gunung Kulalet. Dari perbandingan kondisi joint density dengan nilai  $k$  dan  $e$  dapat disimpulkan bahwa semakin rapat kondisi joint density maka nilai  $k$  dan  $e$  yang dihasilkan akan semakin besar.
3. Dari hasil analisis didapatkan bahwa rekomendasi nilai isian bahan peledak yang optimal pada PT Gunung Kulalet sebesar 65,40 kg dengan jarak maksimal sejauh 350 meter.

#### Acknowledge

1. Dosen dan Staff Prodi Teknik Pertambangan Universitas Islam Bandung. kepada Bapak Dr. Ir. Yunus Ashari, M.T. selaku Ketua Program Studi, Bapak Noor Fauzi Isnarno, S.Si.,S.Pd., M.T. selaku Sekretaris Program Studi, Bapak Ir. Yuliadi, S.T, M.T. selaku Pembimbing serta Wali Dosen, Bapak Zaenal, Ir., M.T. selaku Co – Pembimbing, serta seluruh Dosen dan Staf yang senantiasa memberikan dukungan, motivasi kepada penyusun;
2. Keluarga Penyusun. Terimakasih kepada kedua orang tua yang senantiasa memberikan support baik berupa moril maupun materil demi menyelesaikan studi anakmu ini. Terimakasih juga kepada adik tercinta Muhammad Farid Saputra yang selalu mem backup dan menyemangati penyusun;
3. Perusahaan Penelitian, Terimakasih kepada PT Gunung Kulalet yang telah meberikan penyusun kesempatan untuk melakukan penelitian di perusahaan;
4. Tambang 2017. Terimakasih kepada angkatan 2017 yang sama sama berproses mulai dari awal hingga sekarang sudah berada di jalannya masing masing. Tetap ingat bahwa dimanapun kita berada kita tetap satu, tambang 2017 sampai mati.

#### Daftar Pustaka

- [1] Agrawal, Hemant., Mishra, A.K. 2018. “Modified Scaled Distance Regression Analysis Approach for Prediction Ofblast-Induced Ground Vibration in Multi-Hole Blasting”. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*. 11 (2019) 202 – 207;
- [2] Cahyadi, R., Toha, T., Komar, S., 2016. “Analisis Korelasi Scaled Distance Getaran Tanah pada Operasi Peledakan Batu Kapus PT. Semen Baturaja. Pertambangan, T. Politeknik. Palembang;
- [3] Canima, D., & Heriyadi, B. 2019. “Analisis Penentuan Batas Aman Ground Vibration Akibat Kegiatan Peledakan Terhadap Kestabilan Lereng Highwall Penambangan Pit 13 West PT Multi Harapan Utama, Samarinda, Kalimantan Timur”. *Bina Tambang*. 4(4), 24 – 38;
- [4] Fadhy, F., Yulhendra, D., & Anaperta, Y.M. 2014. “Analisis Ground Vibration pada Kegiatan Peledakan dengan Metoda Peak Particle Velocity Beserta Pengaruhnya Terhadap Bangunan di PT. Pamapersada Nusantara Distrik MTBU Jobsite Tanjung Enim”. *Bina Tambang*. 2(1);
- [5] Lawal, A. I., Kwon, S., Hammed, O. S., & Idris, M.A. 2021. “Blast – Induced Ground Vibration Prediction in Granite Quarries: An Application of Gene Expression Programming, ANFIS, and Sine Cosine Algorithm Optimized ANN”. *International Journal of Mining Science and Technology*. 31(2). 265 – 277;
- [6] Maryura, R., Toha, M. T., & 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*, 2(1);
- [7] Rodríguez, R., García de Marina, L., Bascompta, M., & Lombardía, C. 2021. “Determination of The Ground Vibration Attenuation Law From a Single Blast: a Particular Case of Trench Blasting”. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 13(5), 1182–1192;
- [8] Sofyan, R. N. 2017. “Evaluasi Desain Geometri Peledakan Terhadap Payload Bucker Untuk Meningkatkan Produktivitas Alat Gali Muat PC4000 Class”. *GEOSAPTA*, 3(1), 1–8;
- [9] Sundoyo, Lande, K.A. 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”. *Jurnal Geologi Pertambangan*. 1(23);
- [10] Tripathy, G.R., Gupta, I.D. 2002. “Prediction of Ground Vibrations Due To Construction Blasts in Different Types of Rock”. *Australia: Rock Mechanics and Rock Engineering*. 35(3). 195 – 204;
- [11] Yan, Y., Hou, X., & Fei, H. 2020. “Review of Predicting The Blast-Induced Ground Vibrations to Reduce Impacts on Ambient Urban Communities”. *Journal of Cleaner Production*, 260, 121 – 135.