



Penentuan Nilai *Peak Particle Velocity* Peledakan Berdasarkan Analisis Regresi Non Linear dan *US Bureau Of Mines Oriard's Formula* pada Pit Pinang PT Bukit Baiduri Energi

Djuwita Dela Safitri^{1*}, Tommy Trides², Agus Winarno³, Albertus Juvensius Pontus⁴, Lucia Litha Respati⁵

¹⁻⁵Teknik Pertambangan, Universitas Mulawarman, Indonesia

**Penulis Korespondensi:* djuwitadelasafitri@gmail.com

Abstract. This research investigates the Peak Particle Velocity (PPV) resulting from blasting operations at Pit Pinang, PT Bukit Baiduri Energi, employing two prediction approaches: Non-Linear Geometric Regression and the USBM Oriard's Formula. Ground vibration measurements were recorded over a one-month period, from October 9 to November 8, 2025. The findings indicate that the non-linear regression model achieves a higher predictive accuracy of 78.62%, outperforming the USBM Oriard's Formula, which reaches 68.2%. Variations between the observed and estimated PPV values were affected by factors such as the location of geophones, differences in explosive charges, and alterations in borehole depths. In addition, the study evaluates optimal explosive charge recommendations in accordance with SNI 7571:2010 standards to mitigate potential structural damage in surrounding areas. By highlighting these predictive discrepancies and providing practical guidance on charge management, the research offers valuable insights for improving blasting safety and minimizing vibration impacts on nearby infrastructure. The comparison of methods emphasizes the importance of selecting appropriate prediction models to ensure both operational efficiency and environmental safety.

Keywords: PPV; Blasting; Non-Linear Regression; USBM Oriard's Formula; Ground Vibration.

Abstrak. Penelitian ini menyelidiki Kecepatan Partikel Puncak (PPV) yang dihasilkan dari operasi peledakan di Pit Pinang, PT Bukit Baiduri Energi, dengan menggunakan dua pendekatan prediksi: Regresi Geometrik Non-Linear dan Rumus Oriard USBM. Pengukuran getaran tanah dicatat selama periode satu bulan, dari 9 Oktober hingga 8 November 2025. Hasil penelitian menunjukkan bahwa model regresi non-linear mencapai akurasi prediksi yang lebih tinggi sebesar 78,62%, mengungguli Rumus Oriard USBM yang mencapai 68,2%. Variasi antara nilai PPV yang diamati dan diestimasi dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti lokasi geofon, perbedaan muatan bahan peledak, dan perubahan kedalaman lubang bor. Selain itu, penelitian ini mengevaluasi rekomendasi muatan bahan peledak optimal sesuai dengan standar SNI 7571:2010 untuk mengurangi potensi kerusakan struktural di daerah sekitarnya. Dengan menyoroti perbedaan prediksi ini dan memberikan panduan praktis tentang manajemen muatan, penelitian ini menawarkan wawasan berharga untuk meningkatkan keselamatan peledakan dan meminimalkan dampak getaran pada infrastruktur di sekitarnya. Perbandingan metode menekankan pentingnya memilih model prediksi yang tepat untuk memastikan efisiensi operasional dan keselamatan lingkungan.

Kata kunci: Getaran Tanah; Peledakan; PPV; Regresi Non-Linear; Rumus USBM Oriard.

1. LATAR BELAKANG

Getaran tanah (*ground vibration*) merupakan gelombang yang bergerak di dalam tanah yang disebabkan oleh adanya sumber energi di sekitarnya, di mana energi tersebut dapat berasal dari fenomena alam seperti gempa bumi maupun dari aktivitas manusia; salah satunya adalah kegiatan peledakan (*blasting*) dalam operasi pertambangan dan konstruksi yang menghasilkan impuls energi besar yang merambat melalui medium tanah (Kramer, 1996; Dowding & Geiser, 1996).

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui besarnya getaran yang merambat dalam tanah akibat proses peledakan, karena pemahaman karakteristik getaran sangat penting untuk

menilai dampaknya terhadap struktur di sekitarnya (Richart, Hall, & Woods, 1970). Penelitian ini dapat dijadikan referensi seberapa jauh jarak aman di sekitar wilayah penambangan, mengingat bahwa gelombang getaran tanah dari peledakan dapat menyebabkan respons dinamis pada bangunan dan lereng di sekitarnya (Bolt, 1978). Hal ini disebabkan proses peledakan dikhawatirkan akan mengganggu keamanan dan kenyamanan bangunan-bangunan atau lereng-lereng tambang yang ada di sekitarnya, sehingga perlu ditentukan batas aman jarak berdasarkan parameter getaran yang dihasilkan (Wesson & Perkins, 1971). Dalam penelitian ini akan ada dua pembanding untuk hasil *Peak Particle Velocity* (PPV) aktualnya, yang mana salah satu diantaranya akan digunakan untuk menghitung rekomendasi isian bahan peledak. Dua pembanding itu ialah *Peak Particle Velocity* (PPV) berdasarkan Analisis Regresi Non Linear yang disebut dengan *Peak Particle Velocity* (PPV) prediksi 1 dan *Peak Particle Velocity* (PPV) berdasarkan teori *US Bureau of Mines* (USBM) *Oriard's Formula* disebut dengan *Peak Particle Velocity* (PPV) prediksi 2.

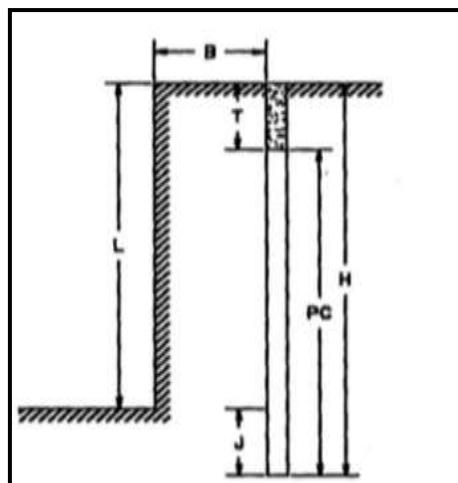
2. KAJIAN TEORITIS

Peledakan

Peledakan merupakan kegiatan pemecahan suatu material (batuan) dengan menggunakan bahan peledak. Batuan diledakkan untuk memberi atau memecahkan menjadi potongan-potongan yang kecil seperti di sebagian besar operasi pertambangan dan penggalian atau pada *blok* besar untuk pertambangan batuan. Kegiatan peledakan merupakan salah satu proses penambangan untuk menggali batuan penutup. Kegiatan peledakan dapat menghasilkan dampak buruk terhadap lingkungan. Salah satu dampak buruk yang sering terjadi adalah *ground vibration* (Bhandari, 1997).

Geometri Peledakan

Geometri peledakan terdiri dari beberapa parameter yaitu *burden*, *spacing*, *stemming*, *subdrilling* dan kedalaman lubang ledak. Dalam mencari besaran geometri peledakan jenjang, ada beberapa persamaan yang dapat dipakai antara lain rumus R. L. Ash dan rumus C. J. Konya (Fadhila dkk, 2022).



Gambar 1. Geometri Peledakan (Konya dan Walter, 1991).

Keterangan:

B = *Burden* (m)

T = *Stemming* (m)

J = *Subdrilling* (m)

L = Tinggi jenjang (m)

H = Keadalaman lubang ledak (m)

PC = *Powder column* (m)

Teori Gelombang

Gelombang yang bergerak di dalam tanah yang disebabkan oleh adanya sumber energi (gelombang seismik) disebut getaran tanah. Sumber energi tersebut dapat berasal dari alam, seperti gempa bumi atau adanya aktivitas manusia, salah satu diantaranya adalah kegiatan peledakan (Permana dan Heryadi, 2019).

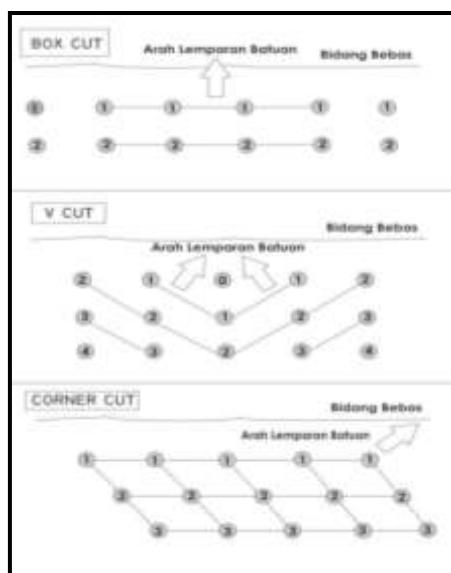
Gelombang seismik merupakan gelombang yang merambat di permukaan bumi. Gelombang tersebut mewakili transmisi energi disepanjang bagian bumi yang *solid*. Jenis lain dari transmisi energi ini adalah gelombang suara, gelombang cahaya dan gelombang radio. Selain gelombang seismik yang dihasilkan secara alami, ada beberapa gelombang seismik yang dibuat oleh manusia. Ketika manusia membuat gelombang seismik yang dapat dirasakan, maka itulah yang disebut sebagai getaran (Konya dan Walter, 1991).

Pola Peledakan

Pola peledakan merupakan urutan waktu peledakan antara lubang-lubang bor dalam satu baris dengan lubang bor pada baris berikutnya ataupun antara lubang bor yang satu dengan lubang bor yang lainnya. Pola peledakan ini dapat ditentukan berdasarkan urutan waktu

peledakan serta berdasarkan arah runtuhan material yang diharapkan. Berdasarkan arah runtuhan batuan, pola peledakan dapat diklasifikasikan sebagai berikut (Permanda dan Kopa, 2021):

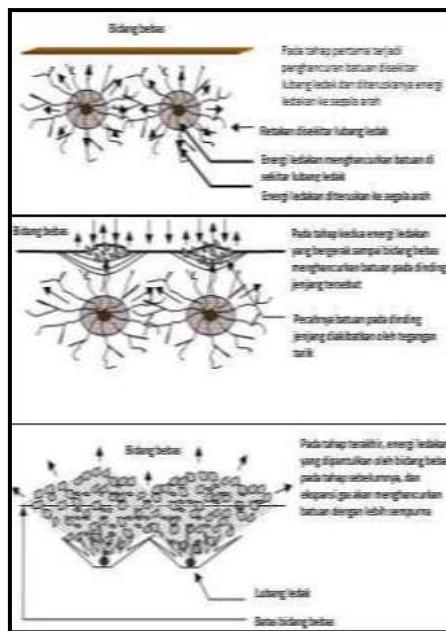
- a. *Box cut* yaitu pola peledakan yang arah runtuhan batuannya ke depan membentuk kotak.
- b. *Echelon cut* atau *corner cut*, yaitu pola peledakan yang arah runtuhan batuannya ke salah satu sudut dari bidang bebasnya.
- c. “*V*” *cut*, yaitu pola peledakan yang arah runtuhan batuannya kedepan dan membentuk huruf V.



Gambar 2. Pola Peledakan Berdasarkan Arah Runtuhan Batuan (Harukadol dan Kopa, 2021).

Mekanisme Pecahnya Batuan Akibat Peledakan

Konsep mekanisme pecahnya batuan yang dipakai adalah konsep pemecahan dan reaksi-reaksi mekanik dalam batuan homogen. Sifat mekanis dalam batuan yang homogen akan berbeda dari batuan yang mempunyai rekahan-rekahan dan heterogen seperti yang dijumpai dalam pekerjaan peledakan (Sundari, 2019). Pada prinsipnya, pecahnya batuan akibat energi peledakan dapat dibagi dalam tiga tahap, yaitu *dynamic loading*, *quasi-static loading* dan *release of loading*.



Gambar 3. Proses Pecahnya Batuan Akibat Peledakan (Wahyudi dan Kopa, 2020).

Getaran tanah (*ground vibration*)

Getaran tanah (*ground vibration*) adalah gelombang yang bergerak didalam tanah disebabkan oleh adanya sumber energi. Sumber energi tersebut dapat berasal dari alam, seperti gempa bumi atau adanya aktivitas manusia, salah satu diantaranya adalah kegiatan peledakan. Getaran tanah (*ground vibration*) terjadi pada daerah elastis (*elastic zone*). Standar getaran tanah adalah besar atau kuat getaran yang diijinkan akibat dari kegiatan dimana tidak melewati batas aman (Purwaningsih dkk, 2023).

Scale Distance (SD)

Scale distance merupakan perhitungan yang didapatkan dari perbandingan antara jarak dan muatan isian per *delay*. *Scale distance* akan mempermudah dalam menentukan jumlah bahan peledak yang diperlukan dan jarak aman untuk muatan bahan peledak yang jumlahnya telah ditentukan dan diperhitungkan. Nilai *scale distance* semakin besar akan semakin aman dibandingkan dengan nilai *scale distance* yang lebih kecil, karena semakin jauh jaraknya akan lebih aman dibandingkan dengan jarak yang lebih dekat (Sari dkk, 2020).

$$SD = \frac{D}{\frac{1}{W^2}}$$

Keterangan:

SD = *Scale Distance* perbandingan antara jarak dan isian bahan peledak ($\text{m}/\text{kg}^{1/2}$)

D = Jarak dari *recorder* ke lokasi peledakan (m)

W = Total berat bahan peledak per minimum *delay* (kg)

Peak Particle Velocity (PPV)

Peak particle velocity merupakan kecepatan gelombang maksimum yang dihasilkan dan dapat digunakan untuk menghitung besarnya getaran pada suatu lokasi peledakan tergantung seberapa jauh lokasi peledakan dan jarak rekaman ke lokasi peledakan tersebut (Sari dkk, 2020).

Sebelum peledakan terlebih dahulu melakukan perhitungan *ground vibration* secara teori dengan data-data peledakan yang direncanakan. Akan tetapi, hasil prediksi dengan aktual dilapangan terdapat perbedaan. Dari hasil perhitungan maka didapatkan selisih atau koreksi perhitungan antara PPV prediksi dengan hasil PPV aktual. Adapun persamaan *peak particle velocity* (PPV) berdasarkan USBM *Oriard's Formula* yaitu sebagai berikut (Jihan dkk, 2023):

$$= K (SD)^{-1,6} \text{ atau } PPV = K \left(\frac{D}{W^{\frac{1}{2}}} \right)^{-1,6}$$

Keterangan:

PPV = *Peak Particle Velocity* (mm/s)

SD = *Scale Distance* perbandingan antara jarak dan isian bahan peledak ($\text{m}/\text{kg}^{1/2}$)

K = Konstanta

D = Jarak dari *recorder* ke lokasi peledakan (m)

W = Total berat bahan peledak per minimum *delay* (kg)

Untuk mendapatkan nilai *peak particle velocity* prediksi terlebih dahulu menentukan nilai konstanta dengan rumus sebagai berikut (Jihan dkk, 2023):

$$K = \frac{PPV}{\left(\frac{D}{W^{\frac{1}{2}}} \right)^{-1,6}}$$

Untuk menghitung nilai *ground vibrator* prediksi menggunakan persamaan PPV dan nilai konstanta (K), dimana nilai K yang digunakan adalah nilai K rata-rata. Oleh sebab itu, perhitungan untuk mencari nilai K dengan menggunakan data aktual selama melakukan pengukuran dilapangan.

Nilai Deviasi PPV

Menurut Parandan (2012), nilai deviasi diperoleh dari selisih antara PPV prediksi dan PPV aktual dan untuk mendapatkan presentasenya nilai deviasi dibagi PPV aktual kemudian dikalikan dengan 100 %. Setelah itu, maka akan diperoleh nilai deviasi rata-rata dari beberapa data yang kemudian akan dijadikan sebagai pembanding dengan hasil penelitian, apakah nilai penelitian tersebut dapat dipakai untuk pengukur selanjutnya. Adapun persamaan dari nilai deviasi yaitu sebagai berikut:

$$\text{Deviasi} = \frac{\text{Selisih antara PPV prediksi dan PPV aktual}}{\text{PPV aktual}}$$

$$\text{Deviasi (rata - rata)} = \frac{\text{Jumlah deviasi (\%)}}{\text{Jumlah data}}$$

Standar Getaran

Di Indonesia kini telah memiliki Standar Nasional Indonesia (SNI) 7571:2010 untuk baku tingkat getaran peledakan, untuk radius aman peledakan dijelaskan dalam Kepmen ESDM No 1827 K30 Tahun 2018 yaitu jarak aman peledakan bagi alat dan fasilitas pertambangan 300 (tiga ratus) meter serta bagi manusia 500 (lima ratus) meter dari batas terluar peledakan diukur pada jarak horizontal atau berdasarkan kajian teknis. Baku tingkat getaran peledakan pada tambang terbuka terhadap bangunan dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Baku Tingkat Getaran Peledakan pada Tambang Terbuka Terhadap Bangunan (SNI 7571 : 2010).

Kelas	Jenis Bangunan	Peak Vector Sum (mm/detik)
1	Bangunan kuno yang dilindungi undang-undang benda cagar budaya (Undang-undang No.6 Tahun 1992)	2
2	Bangunan dengan pondasi, pasangan bata dan adukan semen saja, termasuk bangunan dengan pondasi dari kayu dan lantainya diberi adukan semen	3

3	Bangunan dengan pondasi, pasangan bata dan aduka semen diikat dengan <i>slope</i> beton	5
4	Bangunan dengan pondasi, pasang bata dan adukan semen <i>slope</i> beton, kolom dan rangka diikat dengan ring baik	7 – 20
5	Bangunan dengan pondasi, pasangan bata dan adukan semen, <i>slope</i> beton, kolom dan diikat dengan rangka baja	12 – 40

Analisis Regresi Non Linier Geometri (*Power*)

Menurut Yudiwan dkk (2016), didalam kajian statistik, untuk menganalisa persamaan PPV maka dapat menggunakan metode regresi *power* pada program komputer. Adapun persamaan dari regresi *power* didalam kajian statistik secara umum adalah sebagai berikut:

$$Y = a (X)^b$$

Keterangan:

y = Variabel Terikat

a = Konstanta

X = Variabel Bebas

b = Konstanta

Adapun perhitungan statistik untuk mendapatkan nilai konstanta *b*, yaitu sebagai berikut:

$$b = \frac{n (\sum \log X \log Y) - (\sum \log X) (\sum \log Y)}{n (\sum \log^2 X) - (\sum \log X)^2}$$

Keterangan:

b = Nilai konstanta yang dipengaruhi sifat mekanik batuan

Y = Nilai PPV

X = Nilai *Scaled Distance*

n = Jumlah data

Perhitungan konstanta *k* menggunakan metode regresi *power* (regresi *non linear* geometri), yaitu sebagai berikut:

$$k = 10^{m-(b.n)}$$

Keterangan:

- k = Nilai konstanta yang dipengaruhi bahan peledak
- b = Nilai konstanta yang dipengaruhi sifat mekanik batuan
- m = Nilai rata-rata log PPV
- n = Nilai rata-rata *Scale Distance*

Koefisien Korelasi

Korelasi merupakan istilah yang dapat digunakan untuk mengukur suatu kekuatan hubungan antar variabel. Analisis korelasi merupakan cara untuk mengetahui ada atau tidak adanya suatu hubungan antar variabel, yaitu misalnya hubungan dua variabel (Yudiwan dkk, 2016). Adapun tabel pedoman untuk memberikan interpretasi koefisien korelasi dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Pedoman untuk Memberikan Interpretasi Koefisien Korelasi (Yudiwan dkk, 2016).

Interval Koefisien	Degree Of Association
0,00 – 0,19	Sangat Rendah
0,20 – 0,39	Rendah
0,40 – 0,59	Sedang
0,60 – 0,79	Kuat
0,80 – 1,00	Sangat Kuat

Koefisien Determinasi

Koefisien determinasi dilambangkan dengan R^2 . Nilai ini menyatakan proporsi variasi keseluruhan dalam nilai variabel *dependent* yang dapat diterangkan atau diakibatkan oleh hubungan linear dengan variabel *independent*, selain itu (sisanya) diterangkan oleh variabel yang lain (Yudiwan dkk, 2016).

Tabel 3. Hubungan antara Koefisien Determinasi (Yudiwan dkk, 2016).

Koefisien Determinasi (R^2)	Degree Of Association
0.85 – 1	Very Significant
0.70 – 0.84	Significant
0.60 – 0.69	Fair
0.50 – 0.59	Poor
< 0.50	Very Poor

3. METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penulisan yaitu dengan pendekatan masalah yang berupa pengambilan bahan, baik berupa dasar teori maupun data objek yang diamati secara langsung dilapangan. Adapun tahapan dalam penggerjaan skripsi ini adalah sebagai berikut:

Tahap Persiapan

Adapun tahapan persiapan yang dilakukan dalam penelitian kali ini yaitu sebagai berikut:

a. Studi Literatur

Tahap awal sebelum melakukan penelitian ini adalah studi literatur. Studi literatur ini meliputi berbagai literatur yang bersumber dari buku, jurnal dan hasil laporan dari penelitian terdahulu atau penelitian yang telah dilakukan sebelumnya.

b. Observasi Lapangan

Observasi lapangan merupakan kegiatan pengamatan terhadap kondisi dan keadaan langsung yang ada dilapangan. Pada tahap observasi lapangan ini merupakan tahap dimana pencarian masalah yang akan diangkat dalam penelitian.

Metode Pengambilan Data

Tahap pengambilan data ini ditujukan untuk memperoleh data yang akan dianalisis. Pengambilan data-data dilapangan dilakukan dengan cara observasi dan pengamatan langsung dilapangan dan data yang didapatkan dari perusahaan, adapun data-data yang diambil berupa data primer dan data sekunder.

Metode Langsung (Primer)

Metode langsung (primer) merupakan metode dimana data yang dibutuhkan diambil secara langsung dilapangan. Adapun data yang dapat dikumpulkan adalah sebagai berikut:

- a. Hasil Pengukuran Getaran Tanah (PPV)
- b. Jarak Lokasi Peledakan dengan Bangunan dan Lereng di Sekitar pit
- c. Jumlah Isian Bahan Peledak Per Lubang

Metode Tidak Langsung (Sekunder)

Metode tidak langsung (sekunder) merupakan metode di mana pengumpulan data yang diambil secara tidak langsung sebagai data pendukung penelitian berupa data yang berasal dari perusahaan. Adapun data yang dapat dikumpulkan adalah sebagai berikut ini:

- a. Geometri Pemboran dan Peledakan
- b. Jenis *Surface Delay* dan *Inhole Delay*
- c. *Powder Factor*
- d. Desain Pola Pemboran dan Peledakan

Tahap Pengolahan Data

Pengolahan data dapat dilakukan dengan menghimpun data-data yang telah diperoleh dan dikelompokkan sesuai dengan data yang diperlukan. Sesuai dengan tujuan penelitian dimana akan dilakukan usulan atau rekomendasi dari muatan bahan peledakan yang sesuai dan mengurangi efek dari getaran yang ditimbulkan. Adapun data-data yang diolah adalah sebagai berikut:

- a. Perhitungan *Scale Distance*
- b. Menentukan Nilai k dan e
- c. Perhitungan Nilai PPV Prediksi
- d. Jumlah Isian Maksimum Bahan Peledak

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Kegiatan Pemboran dan Peledakan

Kegiatan pemboran dan peledakan merupakan rangkaian utama dalam proses pembongkaran batuan di area penambangan PT. Bukit Baiduri Energi. Pemboran dilakukan untuk membuat lubang pada masa batuan sebagai tempat pengisian bahan peledak. Proses ini dimulai dari penentuan pola bor yang meliputi burden, spacing, kedalaman dan diameter lubang bor yang disesuaikan dengan karakteristik batuan.

Pemboran

Pada lokasi penelitian di Pit Pinang, kegiatan dari pemboran dilakukan oleh unit *Epiroc PowerROC T50* dan *Furukawa HCR L100* dengan diameter lubang atau diameter bor adalah 5 inch atau 127 mm. Dengan prinsip pemboran adalah *top hammer drilling*. Pola pemboran yang digunakan di Pit Pinang adalah pola pemboran *Staggered pattern/Zig-Zag*. Pola ini dipakai agar didapatkan distribusi energi ledakan yang optimal pada saat peledakan dengan arah pemboran yang diterapkan adalah pemboran tegak, dengan perbandingan jarak burden yang digunakan adalah 6 meter dan spasi 7 meter.

Peledakan

Jarak lokasi peledakan dengan bangunan dekat area tambang dan perkampungan adalah antara 500-1000 meter. Alat pengukur yang digunakan dalam mengukur nilai getaran tanah

pada setiap kali dilakukan aktivitas peledakan adalah *Instantel Micromate*. Kondisi atau jenis bangunan paling rendah pada daerah sekitar lokasi peledakan yaitu jenis bangunan kelas 2 (SNI 7571:2010), yaitu jenis bangunan dengan pondasi pasangan bata dan adukan semen saja, termasuk bangunan dengan pondasi dari kayu dan lantainya diberikan adukkan semen sehingga nilai maksimum PPV harusnya 3 mm/s. Namun menurut kesepakatan antara warga dan pihak perusahaan maka ditetapkan bahwa nilai PPV maksimum adalah 2 mm/s.

Bahan peledak yang digunakan oleh PT. Dahana selaku *sub-contractor* peledakan di PT. BBE (Bukit Baiduri Energi) adalah ANFO, sedangkan ANFO sendiri merupakan salah satu jenis bahan peledak kimia yang terdiri sari campuran dari ammonium nitrat (AN) sebagai zat pengoksidator dan *fuel oil* (FO) sebagai bahan bakar dengan perbandingan antara AN sebesar 94,5 % dan FO sebesar 5,5 %. Untuk pencampurannya menggunakan *Mobile Mixing Unit* (MMU). Adapun densitas dari bahan peledak ANFO adalah 0,85 gr/cc, selama penelitian bahan peledak ANFO yang digunakan yaitu sebesar 23 – 54,2 kg dalam satu lubang. Adapun gambar bahan peledak ANFO dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 4. Bahan Peledak ANFO.

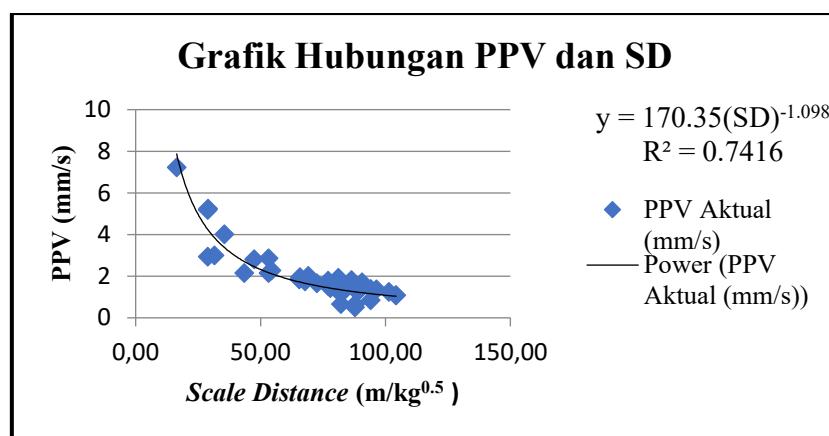
Tabel 4. Hasil pengukuran Getaran Tanah (*Ground Vibration*) diLapangan.

Tanggal	Lokasi Peledakan	Jumlah Lubang	Jarak (m)	Isian Per Delay (W) (Kg)			PPV Aktual (mm/s)	
				H	SD	PPV	PVS	
9/10/2025	Seam A13	80	500	30,4	6,7	90,68	1,71	2,23
10/10/2025	Seam A13	163	500	23	5,2	104,26	1,08	1,15

10/10/2025	Seam A14	67	500	23	5,2	104,26	1,09	1,18
11/10/2025	Seam A13	54	400	26,9	6,1	77,12	1,78	2,13
11/10/2025	Seam A16	76	500	26,9	6,1	96,40	1,37	1,60
12/10/2025	Seam A13	71	300	31,7	6,2	53,28	2,16	2,24
12/10/2025	Seam A11	39	300	31,7	6,2	53,28	2,86	3,62
13/10/2025	Seam A8	43	400	24,3	5,5	81,14	1,92	2,59
13/10/2025	Seam A12	57	500	24,3	5,5	101,43	1,25	1,61
14/10/2025	Seam A13	71	500	41,1	6,8	77,99	1,43	1,85
16/10/2025	Seam A17	130	500	37,3	6,8	81,87	1,41	1,45
16/10/2025	Seam A14	40	400	37,3	6,8	65,49	1,84	1,94
17/10/2025	Seam A17	89	500	37	7	82,20	1,15	1,39
17/10/2025	Seam A14	31	500	37	7	82,20	0,654	0,892
18/10/2025	Seam A11, A12	73	400	37	6,6	65,76	1,95	2,47
18/10/2025	Seam A14	27	100	37	6,6	16,44	7,23	8,24
20/10/2025	Seam A14, A15	63	500	42	7,7	77,15	1,52	1,55
23/10/2025	Seam A12	82	200	47,5	8	29,02	5,25	7,27
23/10/2025	Seam A18	36	300	47,5	8	43,53	2,15	2,37
24/10/2025	Seam A11	61	400	30,4	7,1	72,55	1,66	1,85
24/10/2025	Seam A17	85	300	30,4	7,1	54,41	2,28	2,48
25/10/2025	Seam A17	17	500	31,7	6,1	88,81	1,33	1,39
25/10/2025	Seam A12	61	500	31,7	6,1	88,81	1,25	1,29
25/10/2025	Seam A14	32	200	31,7	6,1	35,52	4,01	4,02
27/10/2025	Seam A12	97	400	33,5	6,5	69,11	2,02	2,36
27/10/2025	Seam A13	23	500	33,5	6,5	86,39	1,82	1,89
28/10/2025	Seam A11	160	500	54,2	9	67,92	1,75	1,79
1/11/2026	Seam A18	44	300	40	8,2	47,43	2,81	3,12
1/11/2027	Seam A12, A14	126	200	40	8,2	31,62	3,00	3,42
4/11/2025	Seam A11	124	200	47,9	8,9	28,90	2,93	3,17
4/11/2025	Seam A12	66	200	47,9	8,9	28,90	5,18	5,53
7/11/2025	Seam A12	37	500	28,2	6,3	94,16	0,851	0,865
7/11/2025	Seam A17	83	500	28,2	6,3	94,16	1,39	1,53
8/11/2025	Seam A12	115	500	32,4	6,5	87,84	0,646	0,795
8/11/2025	Seam A11	45	500	32,4	6,5	87,84	0,504	0,532

Hubungan Antara *Scale Distance* Terhadap PPV Aktual

Analisis korelasi dan regresi non linier geometri dilakukan antara *scale distance* dengan PPV Aktual. Hal ini dilakukan untuk melihat seberapa pengaruh *scale distance* terhadap PPV Aktual. Hubungan *scale distance* dengan PPV Aktual dapat dilihat pada Gambar 7.

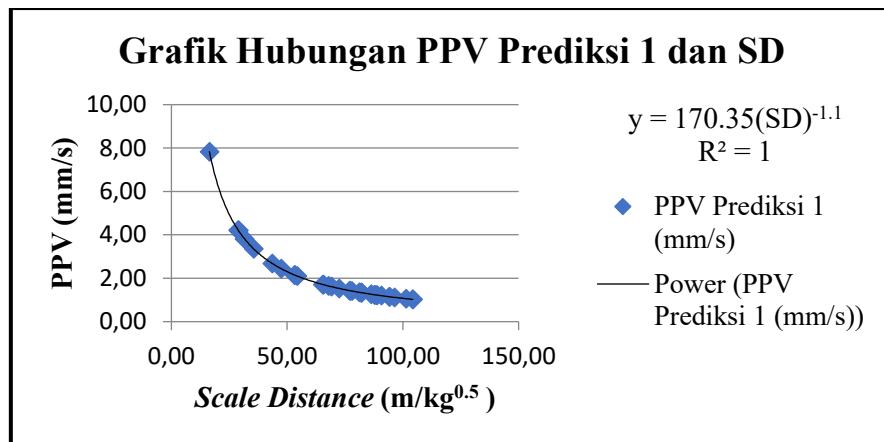


Gambar 5. Grafik Hubungan PPV dan *Scale Distance*.

Nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,7416 nilai (r) sebesar -0,861 yang merupakan akar dari (R^2). Nilai dari (R^2) yaitu (r) dinyatakan dalam bentuk negatif karena bentuk *trendline* mengarah dari kiri atas kekanan bawah. Nilai koefisien korelasi atau (r) = -0,861 menyatakan korelasi negatif dan kuat. Korelasi negatif menyatakan bahwa setiap kenaikan nilai x atau *Scale Distance* (SD) maka akan diikuti dengan penurunan nilai y atau *Particle Velocity* (PPV). Dengan kata lain nilai SD berbanding terbalik dengan nilai PPV. Korelasi kuat menyatakan pengaruh yang kuat dari perubahan nilai x atau SD terhadap nilai y atau PPV. Sedangkan nilai koefisien determinasi atau (R^2) = 0,7416 = 74,16 % masuk dalam hubungan yang signifikan, hal ini menyatakan bahwa dalam persamaan yang didapatkan, nilai y atau PPV ditentukan sebesar 74,16 % oleh nilai x atau SD.

Hubungan Antara *Scale Distance* Terhadap PPV Prediksi 1

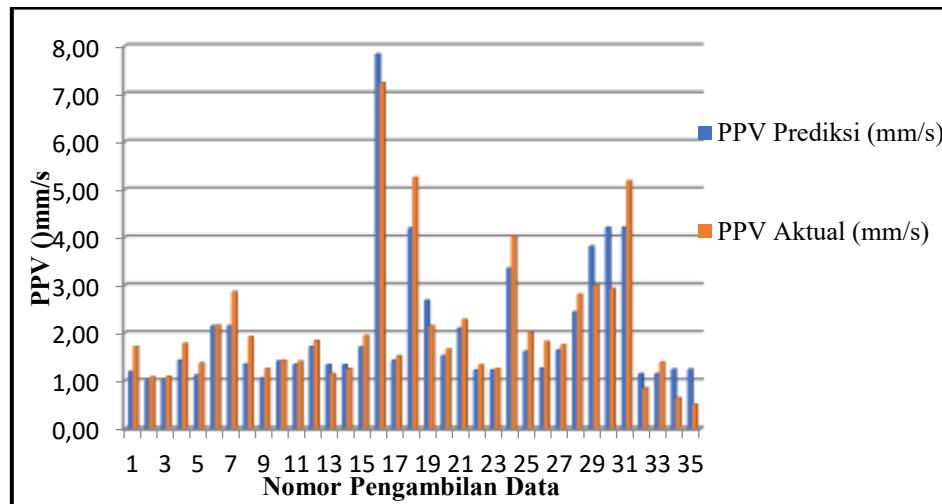
Dari hasil perhitungan yang dilakukan pada lampiran D didapatkan nilai $k = 170,35$ dan $b = -1,10$ sehingga diketahui hasil dari persamaan regresi power adalah $170,35(SD)^{-1,10}$. Selanjutnya akan dilakukan analisis dengan membuat grafik hubungan antara *scale distance* (SD) dan PPV untuk mengetahui nilai koefisien determinasi dan koefisien korelasi untuk mengetahui pengaruh hubungan antara nilai *scale distance* (SD) terhadap nilai PPV dan dapat dilihat pada Gambar 8 dibawah ini.



Gambar 6. Grafik Hubungan PPV Prediksi 1 dan *Scale Distance*.

Perbandingan PPV Aktual dengan PPV Prediksi 1

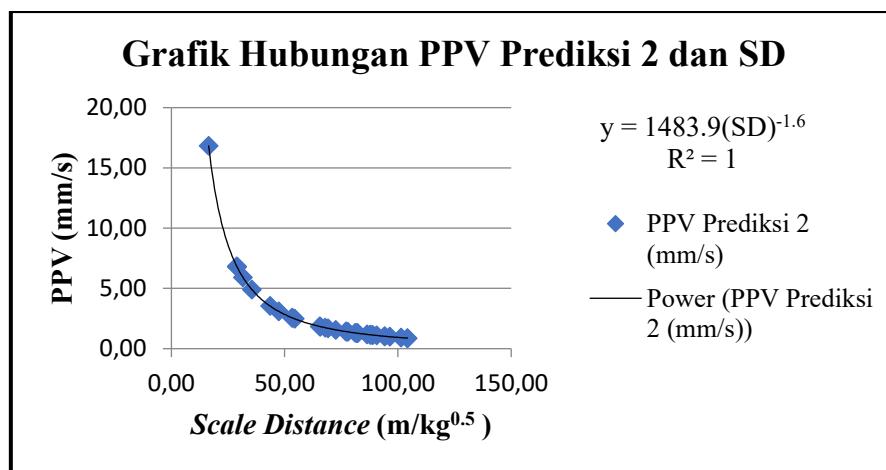
Nilai PPV prediksi 1 yang dibandingkan dengan nilai PPV aktual, didapatkan nilai deviasi sebesar 21,38 % dan tingkat akurasinya adalah sebesar 78,62 %. Selanjutnya setelah didapatkan nilai deviasinya maka dapat dilihat grafik perbandingannya pada Gambar. 9 Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa terdapat 4 data yaitu nomor 18, 29, 30 dan 31 yang selisih nilai PPV nya cukup jauh sehingga menyebabkan akurasi dari PPV Prediksi 1 dengan PPV aktual sebesar 78.62 %.



Gambar 7. Diagram Perbandingan PPV Aktual dan PPV Prediksi 1.

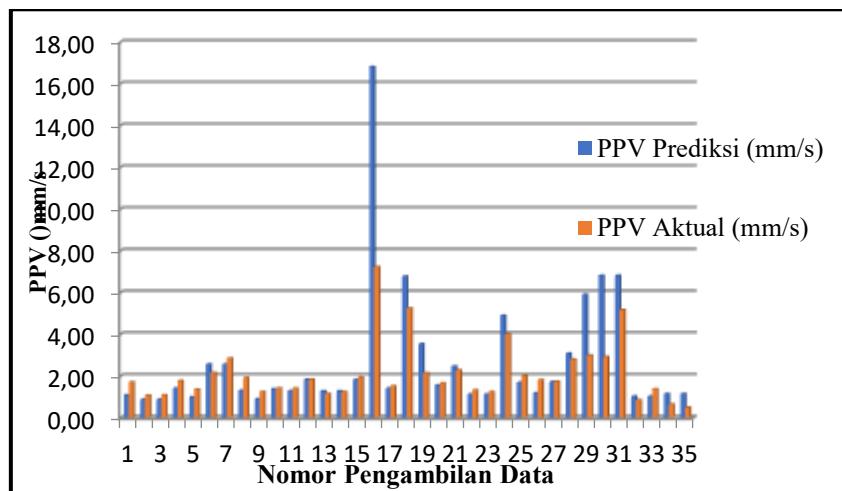
Hubungan Antara *Scale Distance* Terhadap PPV Prediksi 2

Analisis korelasi dan regresi non linear geometri dilakukan antara *scale distance* dengan PPV prediksi 2 berdasarkan USBM *Oriard's Formula*. Hal ini dilakukan untuk melihat seberapa pengaruh *scale distance* terhadap PPV prediksi. Hubungan *scale distance* dengan PPV prediksi 2 dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 8. Grafik Hubungan PPV Prediksi 2 dan *Scale Distance*.

Perbandingan PPV Aktual dengan PPV Prediksi 2

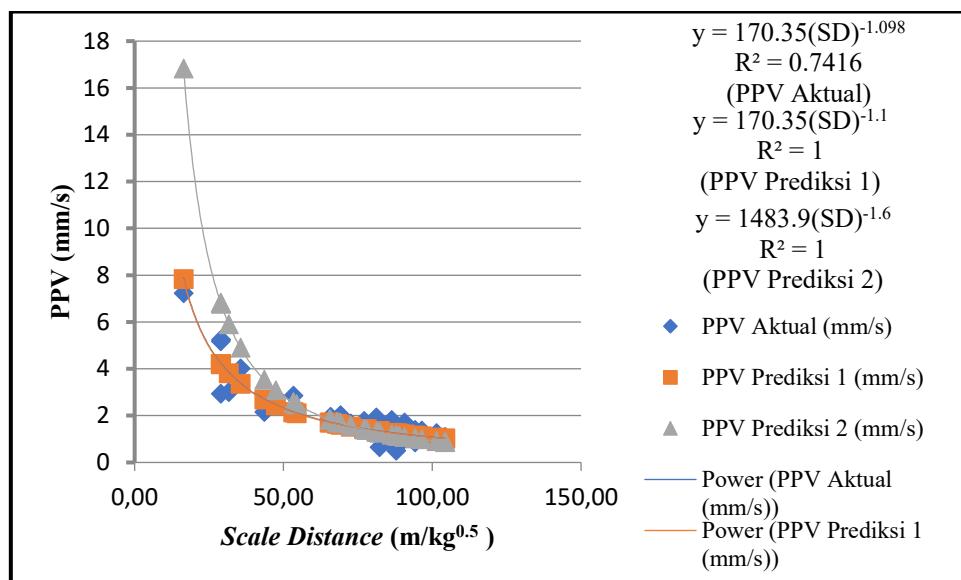


Gambar 9. Diagram Perbandingan PPV Aktual dan PPV Prediksi 2.

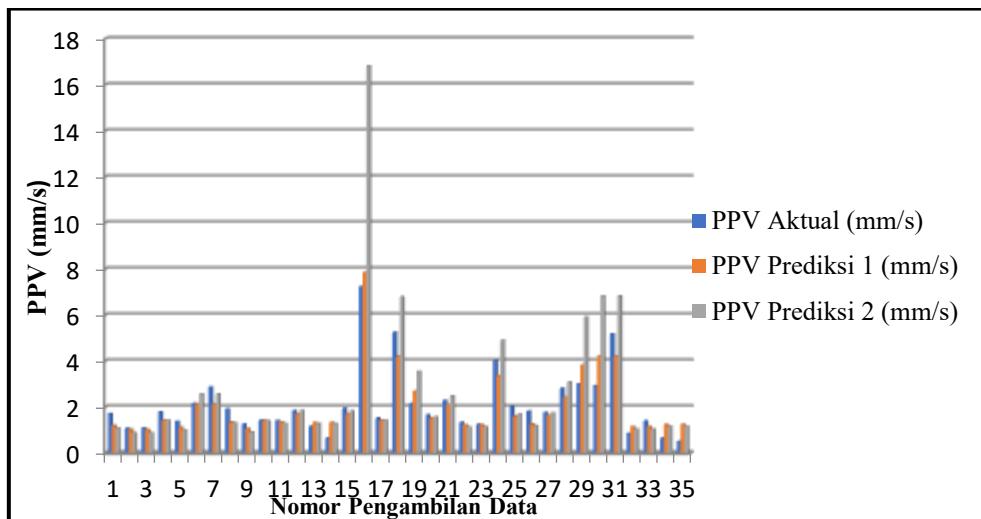
Perbandingan Antara PPV Prediksi Menurut Analisis Regresi Non Linier Geometri dengan USBM *Oriard's Formula*

Setelah mendapatkan nilai PPV prediksi serta mendapatkan nilai konstanta dan eksponen hasil analisis regresi non linear geometri serta telah dilakukan perhitungan PPV prediksi maka didapatkan nilai PPV prediksi baik itu PPV prediksi 1 menggunakan analisis regresi non linear geometri atau PPV prediksi 2 menggunakan persamaan USBM *Oriard's Formula*, lalu dibandingkan manakah dari kedua prediksi tersebut yang lebih akurat dalam memprediksi hasil getaran dari peledakan yang dilakukan di Pit Pinang sehingga kita bisa menentukan cara yang paling akurat dalam memprediksi sebuah getaran akibat peledakan dan didapatkan bahwa PPV prediksi menggunakan analisis regresi non linear geometri lebih akurat

yaitu dengan akurasi sebesar 78,62 %, sedangkan PPV prediksi menurut USBM *Oriard's Formula* yaitu sebesar 68,2 %.



Gambar 10. Grafik Hubungan PPV dan *Scale Distance*.



Gambar 11. Diagram Perbandingan Antara PPV Aktual dan Kedua PPV Prediksi.

Pada Gambar 13 bisa dilihat bahwa secara rata-rata keseluruhan data nilai dari PPV prediksi, baik itu PPV prediksi 1 maupun PPV prediksi 2 terdapat beberapa data yang nilainya lebih rendah dibandingkan nilai PPV aktual. Lebih tingginya nilai PPV aktual dari PPV prediksi 1 dan 2 disebabkan oleh beberapa faktor, yaitu :

- a. Penempatan *geophone* yang kurang tepat
- b. Penggunaan jumlah bahan peledak pada beberapa lubang cenderung lebih tinggi dibandingkan dengan hasil perhitungan

- c. Kedalaman lubang yang berubah lebih pendek dari rencana, dikarenakan terjadi pendangkalan atau masuknya material *cutting* saat dilakukan pengeboran

Rekomendasi Isian Bahan Peledak

Rekomendasi isian maksimum bahan peledak dilakukan karena lokasi peledakan di Pit Pinang berdekatan dengan bangunan, sehingga perlu dilakukan perhitungan isian maksimum bahan peledak agar efek getaran yang dihasilkan dari hasil kegiatan peledakan tidak mencapai batas yang dapat merusak bangunan yang berada di sekitar area pit tersebut. Berdasarkan perhitungan yang dilakukan dapat diketahui nilai *scale distance* (SD) yang akan dipakai ketika kegiatan peledakan dengan nilai getaran tanah (*ground vibration*) yang aman pada jarak 500 meter adalah 77,33 kg. Berdasarkan perhitungan yang dilakukan didapatkan nilai rekomendasi jumlah isian maksimum bahan peledak berdasarkan jarak lokasi peledakan dengan bangunan lain untuk mendapatkan nilai PPV sama dengan 2 mm/s, sesuai dengan ketentuan yang telah ditetapkan dalam SNI 7571:2010.

Tabel 5. Rekomendasi Isian Bahan Peledak.

No	PPV (mm/s)	Jarak (m)	SD (m/kg ^{0,5})	Isian Bahan Peledak Maksimum (Kg)
1	2	500	56,86	77,33
2	2	600	56,86	111,35
3	2	700	56,86	151,56
4	2	800	56,86	197,95
5	2	900	56,86	250,54
6	2	1000	56,86	309,30
7	2	1100	56,86	374,26
8	2	1200	56,86	445,40

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Hasil perhitungan nilai PPV prediksi berdasarkan analisis regresi non linear yaitu antara 1,03 mm/s - 7,83 mm/s, sedangkan nilai PPV prediksi menurut teori *US Bureau of Mines* (USBM) *Oriard's Formula* yaitu antara 0,88 mm/s sampai dengan 16,83 mm/s. Berdasarkan perhitungan deviasi diperoleh nilai akurasi dari PPV prediksi berdasarkan analisis regresi non linear adalah sebesar 78,62%, sedangkan nilai akurasi dari PPV prediksi menurut USBM *Oriard's Formula* adalah sebesar 68,2%. Berdasarkan keakurasiannya, maka analisis dengan menggunakan regresi non linear lebih mendekati dengan PPV aktual. Berdasarkan ketentuan SNI 7571-2010 bahwa 2 mm/s merupakan PPV maksimal, maka jumlah isian maksimum bahan peledak dengan *scale distance* sebesar 56,86 m/kg^{0,5} dan dapat diketahui

nilai maksimum bahan peledak berdasarkan jarak 500 meter maka isian maksimum bahan peledak 77,53 kg/lubang.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Tuhan Yang Maha Esa atas taburan cinta dan kasih sayang-Mu telah memberikan kekuatan dan membekali penulis dengan ilmu atas karunia serta kemudahan yang engkau berikan, sehingga penulis dapat menyelesaikan jurnal ini, Terimakasih juga kepada Bapak dan Ibu Dosen yang sudah mengarahkan serta memberi saran kepada penulis dalam penyusunan jurnal ini. Terima kasih kepada kepada PT. Bukit Baiduri Energi atas dukungan dan kerja sama yang diberikan selama proses penelitian, bantuan berupa penyediaan data, fasilitas, serta bimbingan teknis dari pihak perusahaan sangat membantu dalam pelaksanaan penelitian ini. Bagian ini disediakan bagi penulis untuk menyampaikan ucapan terima kasih, baik kepada pihak penyandang dana penelitian, pendukung fasilitas, atau bantuan ulasan naskah.

DAFTAR REFERENSI

- Bhandari, S. (1997). *Engineering rock blasting operations*. J. N. V. University.
- Bolt, B. A. (1978). *Earthquakes and geological discovery*. W. H. Freeman.
- Dowding, C. H., & Geiser, F. (1996). *Construction vibration: Measurement and causes*. Prentice Hall.
- Fadhila, Dwinagara, B., Amri, N. A., & Rauf, A. (2022). Kajian teknis geometri peledakan untuk memenuhi target fragmentasi di lokasi penambangan batugamping PT Semen Padang. *Jurnal Teknologi Pertambangan*, 8(1).
- Harukadol, T., & Kopa, R. (2021). Evaluasi rancangan geometri peledakan untuk mengoptimalkan hasil peledakan pada penambangan batu andesit di PT Bintang Sumatera Pacific, Pangkalan Koto Baru, Kabupaten Lima Puluh Kota, Provinsi Sumatera Barat. *Jurnal Bina Tambang*, 6(2).
- Jihan, Arifin, M., & Jafar, N. (2023). Studi ground vibration pada peledakan quarry PT Vale Indonesia Tbk, Sorowako, Kabupaten Luwu Timur, Provinsi Sulawesi Selatan. *Journal of Energy and Mineral Resources*, 1(1). <https://doi.org/10.33096/jemr.v1i1.52>
- Konya, C. J., & Walter, E. J. (1991). *Rock blasting and overbreak control* (NHI Course No. 13211). National Highway Institute.
- Kramer, S. L. (1996). *Geotechnical earthquake engineering*. Prentice Hall.
- Permana, A. R., & Heriyadi, B. (2019). Kajian pengurangan getaran tanah (ground vibration) pada peledakan overburden tambang batubara di PT Artamulia Tata Pratama, Site Tanjung Belit, Provinsi Jambi. *Jurnal Bina Tambang*, 4(1).
- Permana, N., & Kopa, R. (2021). Evaluasi geometri peledakan berdasarkan pengaruh perhitungan blasting index untuk mendapatkan fragmentasi ideal pada front

penambangan di PT Ansar Terang Crushindo 1, Pangkalan Koto Baru, Kabupaten Lima Puluh Kota, Sumatera Barat. *Jurnal Bina Tambang*, 6(1).

Purwaningsih, A., Tohir, S., Rahayu, S. N., & Purwita, L. D. (2023). Kajian pengukuran getaran tanah (ground vibration) operasi peledakan di PT Semen Baturaja (Persero) Tbk. *UEEJ–Unbara Environmental Engineering Journal*, 3(2).

Richart, F. E., Hall, J. R., & Woods, R. D. (1970). *Vibrations of soils and foundations*. Prentice Hall.

Sari, H. V., Isjudarto, A., & Sidiq, H. (2020). Analisis pengaruh pola rangkaian peledakan terhadap tingkat getaran tanah di Quarry Tuban I–IV PT Semen Indonesia (Persero) Tbk, Kabupaten Tuban, Provinsi Jawa Timur. *Mining Insight*, 1(1).

Standar Nasional Indonesia. (2010). *SNI 7571:2010—Baku tingkat getaran peledakan pada kegiatan tambang terbuka terhadap bangunan*. Badan Standardisasi Nasional.

Wahyudi, A. T., & Kopa, R. (2020). Kajian teknis penentuan geometri peledakan untuk mengoptimalkan perolehan hasil peledakan CV Tekad Jaya, Desa Lareh Sago Halaban, Kabupaten Lima Puluh Kota, Sumatera Barat. *Jurnal Bina Tambang*, 5(5).

Wesson, R. L., & Perkins, D. M. (1971). Effects of vibration on structures. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 61(3), 709–725.

Yudiwan, Y., Nugroho, W., & Trides, T. (2016). Analisis tingkat getaran tanah (ground vibration) akibat peledakan di Pit Kinong, PT Firman Kataun Perkasa, Kecamatan Melak, Kabupaten Kutai Barat, Kalimantan Timur. *Jurnal Teknologi Mineral FT UNMUL*, 4(1).