

## Pengaruh Struktur Geologi terhadap Getaran Peledakan di CV Panghegar Purwakarta Desa Cilalawi dan Linggungung, Kecamatan Sukatani dan Plered, Kabupaten Purwakarta, Provinsi Jawa Barat

Erlanda Alfansa A \*, Yuliadi, Zaenal

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

\*erlandaalfansaasidqi20087@gmail.com, yuliadi@unisba.ac.id, zaenal@unisba.ac.id

**Abstract.** CV Panghegar is an andesite stone mining company that uses blasting methods for rock fragmentation. One of the negative impacts of blasting is ground vibration caused by seismic waves, which can affect nearby infrastructure, such as the Jakarta-Bandung High-Speed Railway. These vibrations are influenced by wave propagation velocity and the characteristics of the medium, including geological structures. This study aims to analyze Peak Particle Acceleration (PPA) values, evaluate the influence of geological structures on vibration attenuation, and develop a predictive model using the Scaled Distance (USBM) approach. The methods used include linear-logarithmic regression analysis and comparison between SD and PPA values. Data were collected through vibration measurements using Minimate and Micromate devices and joint mapping using the scanline method. Results show that actual PPA values range from 0.01 to 0.41 g, with the highest values recorded in the longitudinal direction. PPA tends to decrease with increasing distance from the blast center and is influenced by joint orientation. Geological structures aligned with wave propagation increase PPA, while intersecting structures tend to attenuate vibrations. The predictive model demonstrates a good level of agreement with actual field data.

**Keywords:** *Peak Particle Acceleration, General Direction Of Fractures, Geological Structure, Joint Density.*

**Abstrak.** CV Panghegar merupakan perusahaan tambang batu andesit yang menggunakan metode peledakan untuk fragmentasi batuan. Salah satu dampak negatif dari peledakan adalah getaran tanah yang ditimbulkan oleh gelombang seismik, yang dapat memengaruhi infrastruktur di sekitarnya, seperti jalur Kereta Cepat Indonesia-China. Getaran tersebut dipengaruhi oleh kecepatan rambat gelombang dan kondisi medium, termasuk struktur geologi. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis nilai Peak Particle Acceleration (PPA), pengaruh struktur geologi terhadap redaman getaran, serta menyusun model prediksi menggunakan pendekatan Scaled Distance (USBM). Metode yang digunakan meliputi analisis regresi linier-logaritmik serta perbandingan antara nilai SD dan PPA. Data diperoleh melalui pengukuran getaran menggunakan Minimate dan Micromate serta pemetaan kekar dengan metode scanline. Hasil menunjukkan nilai PPA aktual berkisar 0,01–0,41 g, tertinggi pada arah longitudinal. Nilai PPA menurun seiring bertambahnya jarak dan dipengaruhi orientasi kekar. Struktur yang searah rambat gelombang meningkatkan PPA, sedangkan yang berpotongan meredamnya. Model prediktif menunjukkan tingkat kesesuaian yang baik terhadap data aktual.

**Kata Kunci:** *Peak Particle Acceleration, Arah Umum Kekar, Struktur Geologi, Joint Density.*

## A. Pendahuluan

Kegiatan peledakan merupakan salah satu metode utama dalam industri pertambangan untuk membongkar material batuan. Namun, untuk peledakan tidak hanya menghasilkan fragmentasi batuan, tetapi juga menghasilkan gelombang seismic yang berupa getaran tanah (ground vibration). Getaran ini dapat menyebar hingga ke area di luar Lokasi peledakan dan berpotensi menimbulkan gangguan negatif terhadap infrastruktur di sekitar tambang, lingkungan, dan keselamatan Masyarakat dan pekerja tambang.

Besarnya getaran yang ditimbulkan oleh suatu peledakan dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti jumlah muatan per delay, jarak dari sumber ledak dan tidak kalah penting adalah geologi local, terutama struktur geologi seperti arah dan kerapatan kekar. Struktur geologi dapat bertindak sebagai media penghantar atau peredam gelombang seismic tergantung pada orientasi dan sifat fisiknya

CV Panghegar di Kabupaten Purwakarta merupakan salah satu Lokasi tambang batuan andesit yang secara geologi memiliki kompleksitas struktur berupa kekar dan sesar. Dalam beberapa pengamatan lapangan, terdapat variasi nilai getaran nilai getaran yang signifikan meskipun parameter desain peledakan relative sama. Hal ini mengindikasikan adanya pengaruh kondisi geologi terhadap propagasi gelombang peledakan. Oleh karena itu, perlu dilakukan kajian teknis untuk menganalisis bagaimana struktur geologi mempengaruhi penyebaran getaran akibat peledakan dengan tujuan untuk mendukung pelaksanaan peledakan yang aman dan efisien.

Ground vibration atau yang biasanya dikenal sebagai getaran tanah akibat peledakan adalah gelombang yang merambat dalam tanah karena adanya sumber energi, yang biasa berasal dari peristiwa alam seperti gempa bumi atau aktivitas manusia seperti peledakan dalam proses penambangan bahan galian (Lu et al., 2020). Getaran tanah terjadi di daerah elastis, sesuai dengan sifat elastis material yang membuat volume kembali ke kondisi semula setelah tegangan berhenti. Tegangan yang merambat di daerah elastis akan menciptakan gelombang elastis. Getaran tanah adalah pergerakan bumi yang muncul akibat penyebaran gelombang seismic di dalam tanah. Salah satu penyebab gelombang seismic adalah aktivitas peledakan. Diketahui bahwa tujuan peledakan adalah memecahkan batuan dengan energi besar yang melebihi kemampuan elastis batuan sehingga batuan bisa pecah (Nugraha et al., 2021).

Terdapat beberapa faktor yang dapat mempengaruhi terhadap tingkat getaran tanah akibat dari kegiatan peledakan menurut (Permana et al., 2019).

### 1. Pola Peledakan

Pola peledakan yang digunakan akan mempengaruhi nilai getaran yang dihasilkan karena pola peledakan akan mempengaruhi jumlah lubang ledak yang meledak bersamaan. Pola peledakan yang dapat memastikan tidak adanya lubang yang meledak secara bersamaan merupakan pola hole by hole.

### 2. Jumlah Muatan Bahan Peledak per Waktu Tunda

Besarnya nilai getaran dapat dipengaruhi oleh jumlah muatan berat total bahan peledak per waktu tunda. Besar kecilnya intensitas getaran peledakan bergantung kepada jumlah berat bahan peledak maksimum yang meledak secara bersamaan pada interval waktu.

### 3. Jarak dari Lokasi Peledakan

Jarak pada titik peledakan akan memberikan pengaruh yang besar terhadap getaran yang dihasilkan, sama halnya dengan muatan maksimal bahan peledak per waktu tunda. Semakin dekat jarak antara titik peledakan dengan pengukuran getaran, maka getaran yang terukur akan semakin besar.

### 4. Struktur Geologi

Struktur geologi memiliki pengaruh yang sangat tinggi terhadap pola pemboran dan peledakan, seperti adanya sesar, kekar, rekahan, dan masih banyak lainnya. Jika arah umum kekar searah dengan arah peledakan, maka akan meredam getaran dikarenakan terdapat medium kosong pada struktur geologi.

Energi yang dihasilkan dari bahan peledak akan ditransmisikan ke massa batuan, dimana energi tersebut berbentuk gelombang yang menghancurkan massa batuan di sekitar lubang ledak. Gelombang tersebut mempunyai karakteristik yang menentukan besarnya energi yang dihasilkan yaitu amplitudo, frekuensi, dan durasi. Nilai amplitudo yang dihasilkan ditunjukkan dengan percepatan, kecepatan, dan perpindahan partikel, sedangkan frekuensi ditentukan dengan jarak simpangan gelombang (Canima et al., 2019).

### 1. Peak Particle Velocity (PPV)

PPV merupakan nilai maksimal dari kecepatan partikel yang bergerak pada gelombang getaran dan ditunjukkan dalam satuan mm/s.

2. Peak Particle Acceleration (PPA)

PPA merupakan nilai maksimal dari percepatan partikel yang bergerak pada gelombang getaran dan ditunjukkan dalam satuan mm/s<sup>2</sup>.

3. Peak Particle Displacement (PPD)

PPD merupakan nilai maksimal dari perpindahan partikel yang bergerak pada gelombang getaran dan ditunjukkan dalam satuan mm.

Pengendalian getaran ledakan dilakukan agar baku tingkat getaran peledakan pada tambang terbuka berada di bawah batas yang telah ditentukan yang diterapkan pada Standar Nasional Indonesia 7571 Tahun 2010 dimana terdapat kelas dan jenis bangunan yang dinilai dengan Peak Vector Sum.

**Tabel 1.**Baku Tingkat Getaran Peledakan Tambang Terbuka Terhadap Bangunan

| Kelas | Jenis Bangunan                                                                                                                              | Peak Vector Sum<br>(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 adukan semen diikat dengan <i>slope</i> beton                                                    | 5                             |
| 4     | Bangunan dengan pondasi, pasangan bata dan adukan semen <i>slope</i> beton, kolom dan rangka diikat dengan <i>ring balk</i>                 | 7 - 20                        |
| 5     | Bangunan dengan pondasi, pasangan bata dan adukan semen, <i>slope</i> beton, kolom dan diikat dengan rangka baja                            | 12 - 40                       |

Sumber: Standar Nasional Indonesia 7571:2010

Kemudian dari kelas tersebut akan mendapatkan nilai frekuensi dan PPV yang berbeda. Berikut merupakan tabel baku tingkat getaran:

**Tabel 2.** Baku Tingkat Getaran Kelas, Frekuensi dan PPV

| Kelas | Frekuensi | PPV |
|-------|-----------|-----|
| 1     | 0 – 5     | 2   |
|       | 5 - 20    | 3   |
|       | 20 - 100  | 5   |
| 2     | 0 - 5     | 3   |
|       | 5 - 20    | 5   |
|       | 20 - 100  | 7   |
| 3     | 0 - 5     | 5   |
|       | 5 - 20    | 7   |
|       | 20 - 100  | 12  |
| 4     | 0 - 5     | 7   |
|       | 5 - 20    | 12  |
|       | 20 - 100  | 20  |
| 5     | 0 - 5     | 12  |
|       | 5 - 20    | 24  |
|       | 20 - 100  | 40  |

Sumber: Standar Nasional Indonesia 7571:2010

Kekar merupakan salah satu struktur geologi yang sering dijumpai pada batuan sebagai bentuk dari hasil gaya-gaya yang bekerja. Kekar adalah struktur yang dihasilkan dari batuan brittle (Hobbs, 1976), Dimana batuan relative belum mengalami dislokasi atau pergeseran, hanya mengalami peregangan (extension). Kekar terbentuk akibat adanya deformasi yang bersifat rapuh dan banyak ditemui pada berbagai jenis batuan (Montgomery, 1987).sistem kekar terbentuk dari kumpulan beberapa set kekar yang memiliki orientasi berbeda (Goldstein and Marshak, 1988).

Kekar terbentuk akibat dari gagalnya sebuah batuan untuk menahan elastisitas dari stress yang

mengenai suatu batuan. Karakteristik umum yang sering dijumpai pada kekar yaitu :

1. Pemotongan bidang perlapisan batuan.
2. Biasanya terisi mineral lain seperti kalsit, kuarsa dan sebagainya.
3. Dapat dikelompokkan berdasarkan sifat dan karakter rekahan atau rekahan serta arah gaya yang bekerja pada batuan tersebut.

Kekar memiliki berbagai ukuran mulai dari ukuran milimeter (micro joint) hingga ratusan kilometer (mayor joint). Kekar dapat dijumpai pada semua batuan dengan Tingkat kerapuhan yang tinggi. Berdasarkan proses terjadinya. Kekar terbagi menjadi dua, yaitu kakar tektonik dan non-tektonik.

Scaled distance merupakan parameter untuk dimensi jarak. Scaled distance dapat dinyatakan sebagai perbandingan antara jarak dan isian bahan peledak yang mempengaruhi hasil getaran. (Permana et al., 2019). Untuk memprediksi getaran dapat dilakukan melalui dua metode, yaitu menggunakan hukum scaled distance dan peak particle acceleration. Dengan menggunakan metode tersebut akan dihasilkan berapa jarak aman dari pusat peledakan. Menurut USBM besarnya scale distance yaitu:

$$SD = \frac{R}{Q^{0.5}} \quad (1)$$

Keterangan :

SD = Scaled Distance (kg/m)

R = Jarak Titik Pengukuran (m)

Q = Bahan Peledak Maksimum per Waktu Tunda (kg)

Dari nilai scaled distance yang telah didapatkan maka dapat diketahui kecepatan maksimal untuk menghitung besaran dari getaran pada suatu daerah dengan menggunakan prediktor persamaan analisis getaran.

$$PPA = K \left( \frac{R}{\sqrt{Q_{max}}} \right)^{-e} \quad (2)$$

Keterangan :

PPA = Peak Particle Acceleration (g/m/s<sup>2</sup>)

K = Koefisien Peluruhan Getaran

R = Jarak Pengukuran (m)

Q<sub>max</sub> = Isian Bahan Peledak Per Delay (kg)

e = Konstanta Massa Batuan

Trendline Power yaitu garis lengkung yang dapat digunakan pada kumpulan data yang membandingkan pengukuran yang meningkat pada kecepatan tertentu. Metode trendline memiliki syarat bahwa terdapat pergerakan data yang meningkat maupun menurun secara terus-menerus. Persamaan nilai trendline power dinyatakan dengan persamaan  $y = ax-b$ .

Regresi linear yaitu hubungan antara satu variabel dengan variabel lain baik satu ataupun lebih. Analisis linier dibagi menjadi analisis linier sederhana yaitu melibatkan satu variabel sedangkan analisis linier berganda yaitu melibatkan lebih dari satu variabel dalam modelnya. Dalam penentuan koefisien korelasi dapat dilakukan dengan mengakarkan koefisien determinasi, dari koefisien korelasi didapatkan pola dan keeratan atau kekuatan hubungan antara dua variabel. Koefisien determinasi merupakan sumbangan pengaruh yang diberikan variabel bebas atau *independent* (X) terhadap variabel terikat atau variabel *dependen* (Y). (Harlan, 2018)

**Tabel 3.** Klasifikasi Koefisien Determinasi

| Interval Koefisien | Tingkat Hubungan   |
|--------------------|--------------------|
| 0,00               | Tidak Ada Korelasi |
| 0,01 – 0,399       | Korelasi Lemah     |
| 0,40 – 0,599       | Korelasi Moderat   |
| 0,60 – 0,999       | Korelasi Kuat      |
| 1,00               | Korelasi Sempurna  |

Sumber: (Harlan, 2018)

**Tabel 4.** Klasifikasi Koefisien Korelasi

| Interval Koefisien | Tingkat Hubungan |
|--------------------|------------------|
| 0,00 – 0,199       | Sangat Rendah    |
| 0,20 – 0,399       | Rendah           |
| 0,40 – 0,599       | Cukup            |
| 0,6 – 0,799        | Kuat             |
| 0,80 – 1,000       | Sangat Kuat      |

Sumber: (Harlan, 2018)

**B. Metode**

Penelitian ini dilakukan pada CV Panghegar. Pengambilan data berdasarkan dari data primer yang dimana data tersebut didapat dari lokasi penelitian dengan berbagai kegiatan dalam pengambilan data nya seperti data geometri peledakan, data getaran hasil peledakan (PPA Vertikal, Longitudinal, transversal, Frekuensi, PVS), data kedudukan struktur geologi, jenis bahan peledak, peta situasi aera peledakan, dan koordinat titik pengamatan dan titik peledakan.

Kemudian pengambilan data yang digunakan untuk menunjang dalam dilakukannya pengolahan ataupun menganalisa data. Menggunakan perhitungan metode *statistika* berupa model *regresi* untuk menentukan pengaruh dalam dua variabel yang berbeda untuk mendapatkan hasil dari pengambilan data di lapangan sebelumnya atau melalui studi literatur. Pengolahan data dilakukan untuk mendapatkan nilai PPA Prediksi, kontanta peluruhan (K) dan *site exponent* (e)

Dalam menganalisis data melakukan analisis teknik komparatif anatara *peak particle acceleration* dengan beberapa faktor yang memepengaruhi perambatan getaran tanah, dan juga menganalisis pengaruh arah umum kekar dan arah umum pengukuran terhadap nilai *peak particle acceleration*.

**C. Hasil Penelitian dan Pembahasan**

Faktor yang dapat mempengaruhi cepat rambat gelombang, yaitu jenis gelombang, jarak, muatan bahan peledak, maksimum per waktu tunda. Berdasarkan data pengukuran getaran tanah dari hasil kegiatan 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 11.186 dan nilai e maksimum dengan nilai sebesar 1.703 dari jenis gelombang longitudinal. Membuktikan gelombang longitudinal memiliki pengaruh yang paling besar dalam perabatan gelombang. Rekapitulasi nilai K dan e dapat dilihat pada **Tabel 1**.

**Tabel 5.** Rekapitulasi Nilai K dan e

| Hubungan <i>Scaled Distance</i> dengan PPA |                    |        |       |                       |                          |                       |
|--------------------------------------------|--------------------|--------|-------|-----------------------|--------------------------|-----------------------|
| N<br>o                                     | Jenis<br>Gelombang | K      | e     | Persamaan PPA         | Koefisien<br>Determinasi | Koefisien<br>Korelasi |
| 1                                          | Tranversal         | 9.368  | 1.649 | 9,368 (SD)-<br>1,649  | 0.1835                   | 0.428369              |
| 2                                          | Vertikal           | 19.77  | 2.035 | 19,77 (SD)-<br>2,035  | 0.5277                   | 0.726429              |
| 3                                          | Longitudinal       | 11.186 | 1.703 | 11,186 (SD)-<br>1,703 | 0.7267                   | 0.852467              |
| 4                                          | PVS                | 326.6  | 1.502 | 326,67 (SD)-<br>1,502 | 0.6558                   | 0.809814              |

Berikut hasil dari nilai regresi setiap jenis gelombang, diantaranya adalah:

1. *Scaled Distance* terhadap Peak Particle Acceleration Tranversal

Berdasarkan hasil analisis regresi menggunakan trendline power, didapatkan persamaan regresi yaitu  $y = 9,368x - 1,649$ . Dari hasil persamaan tersebut maka didapatkan nilai kostanta peluruhan sebesar 9,368 dan nilai *site exponent* sebesar 1,649. Untuk melihat hubungan antara dua variable dapat dilihat pada nilai koefisien determinasi dan koefisien korelasi. Nilai koefisien

determinasi yang didapatkan sebesar 0,1835 dan nilai koefisien korelasi sebesar 0,4283.

2. Scaled Distance terhadap Peak Particle Acceleration Vertikal

Berdasarkan hasil analisis regresi menggunakan trendline power, didapatkan persamaan regresi yaitu  $y = 19,77x - 2,035$ . Dari hasil persamaan tersebut maka didapatkan nilai konstanta peluruhan sebesar 19,77 dan nilai site exponent sebesar 2,035. Untuk melihat hubungan antara dua variabel dapat dilihat pada nilai koefisien determinasi dan koefisien korelasi. Nilai koefisien determinasi yang didapatkan sebesar 0,5277 dan nilai koefisien korelasi sebesar 0,7264.

3. Scaled Distance terhadap Peak Particle Acceleration Longitudinal

Berdasarkan hasil analisis regresi menggunakan trendline power, didapatkan persamaan regresi yaitu  $y = 11,186x - 1,703$ . Dari hasil persamaan tersebut maka didapatkan nilai konstanta peluruhan sebesar 11,186 dan nilai site exponent sebesar 1,703. Untuk melihat hubungan antara dua variabel dapat dilihat pada nilai koefisien determinasi dan koefisien korelasi. Nilai koefisien determinasi yang didapatkan sebesar 0,7267 dan nilai koefisien korelasi sebesar 0,8524.

4. Scaled Distance terhadap Peak Vector Sum

Berdasarkan hasil analisis regresi menggunakan trendline power, didapatkan persamaan regresi yaitu  $y = 326,67x - 1,502$ . Dari hasil persamaan tersebut maka didapatkan nilai konstanta peluruhan sebesar 326,67 dan nilai site exponent sebesar 1,502. Untuk melihat hubungan antara dua variabel dapat dilihat pada nilai koefisien determinasi dan koefisien korelasi. Nilai koefisien determinasi yang didapatkan sebesar 0,6558 dan nilai koefisien korelasi sebesar 0,8098.

Tinggi dan rendahnya tingkat getaran tanah dapat dipengaruhi oleh waktu tunda yang digunakan. Waktu tunda yang digunakan pada peledakan di CV Panghegar yaitu 25 ms dan 75 ms. Jika semakin tinggi nilai waktu tunda yang digunakan, maka getaran yang dihasilkan juga akan semakin berkurang dan begitu juga sebaliknya. Hal tersebut disebabkan oleh adanya waktu penjarangan pada surface delay yang lebih lama sehingga akan mengurangi lubang ledak yang meledak bersamaan dan getaran yang dihasilkan akan berkurang. Adapun penggunaan bahan peledak per waktu tunda akan berhubungan dengan waktu tunda, karena jika penggunaan bahan peledak dengan nilai yang sama namun menggunakan waktu tunda yang berbeda, seperti halnya dengan menggunakan waktu tunda yang lebih kecil, maka getaran tanah yang dihasilkan akan lebih besar dibandingkan dengan waktu tunda yang lebih besar.

Pengukuran kondisi massa batuan dilakukan pada 4 section yang berada di CV Panghegar. Diperoleh data nilai rock mass rating dengan hasil RMR 76 berada pada kelas II yang berarti good rock. Untuk arah umum kekar berada pada kuadran II dan kuadran IV. Kondisi arah umum kekar terhadap arah umum pengukuran getaran tanah bahwa arah umum pengukuran berpotongan dengan arah umum kekar. Kondisi joint density pada CV Panghegar ini memiliki jarak sepasi antara kekar yang cukup renggang (0,6 – 2 m). Sehingga joint density yang cukup renggang diasumsikan dapat mempengaruhi perambatan gelombang.

#### D. Kesimpulan

Hasil pengukuran pada 25 titik pengamatan menunjukkan Pengukuran dan analisis terhadap nilai Peak Particle Velocity (PPV) dan Peak Particle Acceleration (PPA) menunjukkan bahwa besarnya getaran sangat dipengaruhi oleh jarak terhadap sumber ledakan, arah perambatan gelombang, serta jumlah muatan bahan peledak per delay. Secara umum, nilai getaran yang tercatat masih berada dalam ambang batas yang ditetapkan oleh pihak berwenang, namun pada beberapa titik yang berdekatan dengan sumber ledak, nilai getaran mendekati ambang batas. Oleh karena itu, pengendalian desain peledakan dan distribusi muatan menjadi aspek penting untuk memastikan keamanan operasional, terutama di wilayah yang berdekatan dengan infrastruktur strategis seperti jalur Kereta Cepat Indonesia–China (KCIC).

Struktur geologi di lokasi penelitian, yang didominasi oleh kekar dengan arah dan intensitas yang beragam, terbukti memberikan pengaruh terhadap besar-kecilnya nilai PPA yang terukur. Pada area dengan intensitas kekar tinggi dan arah kekar yang sejajar dengan arah rambat gelombang, terjadi penurunan nilai percepatan akibat redaman energi oleh bidang rekahan. Sebaliknya, jika arah kekar tegak lurus terhadap arah rambat gelombang, gelombang cenderung terpantul dan terkonsentrasi sehingga menghasilkan nilai percepatan yang lebih tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa struktur geologi memiliki peran signifikan dalam menentukan distribusi getaran di lapangan.

Model prediksi yang dibangun menggunakan pendekatan Scaled Distance (USBM) menunjukkan hubungan yang cukup baik antara parameter jarak, muatan bahan peledak per delay, dan nilai getaran (PPV dan PPA). Hasil regresi menghasilkan nilai koefisien determinasi dan korelasi yang kuat pada hampir seluruh komponen arah getaran, terutama komponen longitudinal. Hal ini menunjukkan bahwa pendekatan USBM dapat digunakan sebagai alat bantu prediksi dalam perencanaan peledakan yang aman. Selain itu, model ini juga mampu memberikan estimasi besaran muatan bahan peledak maksimum yang masih berada dalam batas aman getaran sesuai standar, berdasarkan jarak tertentu dari sumber ledakan.

### Ucapan Terimakasih

Alhamdulillah, puji syukur kehadirat Allah SWT Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang dan atas segala limpahan rahmat, karunia, serta hidayah-Nya sehingga penyusun dapat menyelesaikan Skripsi ini. Terima kasih kepada kedua orang tua yang telah memberikan segala upaya dan jerih payah yang tiada tara kepadaku anakmu ini. Terima kasih kepada keluarga besar yang menyemangati penyusun dari awal hingga akhir masa perkuliahan. Dan terima kasih kawan seperjuangan yang telah menemani dan menyemangati penyusun dari awal hingga akhir masa perkuliahan. Dimanapun kalian berada jangan pernah saling melupakan dan tetap menjadi keluarga tambang 2020.

### Daftar Pustaka

- Aprian, A. (2025). Analisis Perkuatan Tunnel menggunakan Metode RMR, Q-System, dan Finite Element Method pada TD XC-2 CG 460. *Jurnal Riset Teknik Pertambangan*, 91–106. <https://doi.org/10.29313/jrtp.v5i1.5900>
- Kulalet Desa Baleendah, G., Baleendah, K., Bandung, K., Jawa Barat Givano Imanul Halim, P., & Widayati, S. (2024). *Evaluasi Kinerja Alat Crushing Plant Batuan Andesit di PT*. <https://journal.sbpubliher.com/index.php/minetech>
- Rifai, A., W, S., & Winarti. (2024). Analisis Getaran Peledakan Tambang Batubara di PT. X, Tenggara Seberang Terhadap Pemukiman. *Jurnal Riset Teknik Pertambangan*, 93–102. <https://doi.org/10.29313/jrtp.v4i2.4371>
- Akbar, F., & Isniarno, N. F., (2022), Pengaruh Geometri Peledakan Terhadap Getaran Tanah dan Fragmentasi Batuan pada PT . Gunung Kulalet, Kecamatan Baleendah Kabupaten Bandung, Provinsi Jawa Barat. *704*, 283–289.
- Ambraseys NR and Hendron AJ, (1968), Dynamic behaviour of rock masses. In: *Rock Mechanics in Engineering Practices*. London: Wiley
- 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.
- Duvall WI and Petkof B, (1959), *Spherical Propagation of Explosion Generated Strain Pulses in Rock*. Washington: U. S. Department of the Interior, Bureau of Mines
- Faizah, A. Al, Qadri, A., Okviyani, N., & Mahyuni, E. T., (2020), Akibat Ledakan Pada Area Pit SM-A Tambang Batubara PT Sims Jaya. 8 (April), 74–79.
- Farnanda, A. N., & Pratama, F. H., (2020), Proyek Kereta Cepat Jakarta Bandung (Nomor 03111740000102).
- Fitriansyah, G. R., Yuliadi, I., & Marmer, D., (2016), Evaluasi Getaran Peledakan berdasarkan Tingkat Peluruhan di PT Dahana Job Site Ck Kjb , Kampung Long Lanuk , Kecamatan adalah kecepatan puncak partikel (*Peak Particle Velocity*) dan jarak terukur (*Scale*) yang digunakan untuk menghitung

besarnya getaran peledakan. 9, 47–56.

Harlan, Johan., (2018), Analisis Regresi Linear. Penerbit Gunadarma. Depok

Hosseini, S., Pourmirzaee, R., Armaghani, D. J., & Sabri Sabri, M. M., (2023), Prediction of ground vibration due to mine blasting in a surface lead–zinc mine using machine learning ensemble techniques. *Scientific Reports*, 13(1), 1–20. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-33796-7>

Indonesia, S. N., & Nasional, B. S., (2010), Baku tingkat getaran peledakan pada kegiatan tambang terbuka terhadap bangunan.

Konya, C.J., and Walter, E.J., 1990, "*Surface Blast Design*", New Jersey

Langefors U and Kihlstrom B., (1963), *The Modern Technique of Rock Blasting*, 2nd edn. New York, NY: John Wiley & Sons

Permana, A. R., & Heriyadi, B., (2019), Kajian Pengurangan Getaran Tanah ( Ground vibration ) Pada Peledakan Overburden Tambang Batubara Di PT . Artamulia TataPratama Site Tanjung Belit Provinsi Jambi. 4(1), 344–356.

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;

Santoso, E., Melati, S., & Ramadhan, M. F., (2021), Kajian Ambang Batas Getaran Peledakan. 7(1), 55–59.

Simangunsong, (2015), Effect of bedding plane on prediction blast - induced ground vibration in open pit coal mines. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 79, 1–8.

Siregar, Syofian., (2015), *Statistika Parametrik Untuk Penelitian Kuantitatif Dilengkapi Dengan Perhitungan Manual dan Aplikasi SPSS Versi 17*. Jakarta: Bumi Aksara.