

Analisis Tingkat Getaran Tanah (*Ground Vibration Level*) Akibat Peledakan *Overburden* untuk Mencapai Kondisi Aman Terhadap Kawasan Pemukiman Penduduk di PT XYZ

Delina Mutiara, Zaenal *, Noor Fauzi Isniarno

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

delina.mutiaraxgp1@gmail.com, zaenal.mq66@gmail.com, noorfauzi85@gmail.com

Abstract. This research investigates ground vibration levels generated by overburden blasting at PT XYZ and assesses their impact on nearby residential areas. It further examines the primary factors influencing vibration intensity, including blasting design parameters and local geological characteristics. Vibration data were collected through direct measurements using a Micromate device at various distances and with different explosive quantities. The findings reveal that both distance and explosive quantity significantly influence Peak Particle Velocity (PPV), with PPV values decreasing as distance increases and rising with larger amounts of explosives. A predictive model based on linear regression demonstrates a strong correlation between distance, explosive quantity, and PPV, with a high coefficient of determination (R^2), indicating its reliability in forecasting vibration impacts. The analysis recommends reducing explosive usage within distances of ≤ 600 meters and optimizing the blasting delay pattern to mitigate vibrations. This research aims to offer technical recommendations to ensure blasting operations remain within safe environmental and safety limits, minimizing potential adverse effects on surrounding residential areas.

Keywords: *Ground vibration, blasting, Peak Particle Velocity (PPV), environmental safety.*

Abstrak. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis tingkat getaran tanah yang diakibatkan oleh peledakan lapisan penutup (*overburden*) di PT XYZ serta dampaknya terhadap permukiman sekitar. Penelitian ini juga mengidentifikasi faktor-faktor utama yang mempengaruhi intensitas getaran tanah, seperti parameter desain peledakan dan kondisi geologi setempat. Data diperoleh melalui pengukuran langsung intensitas getaran menggunakan alat Micromate pada berbagai jarak dan dengan variasi jumlah bahan peledak. Hasil penelitian menunjukkan bahwa jarak dan jumlah bahan peledak secara signifikan mempengaruhi nilai Peak Particle Velocity (PPV), di mana nilai PPV menurun seiring bertambahnya jarak dari sumber peledakan dan meningkat seiring dengan bertambahnya jumlah bahan peledak. Model prediktif berbasis regresi linier memperlihatkan hubungan yang kuat antara jarak, jumlah bahan peledak, dan nilai PPV, dengan koefisien determinasi (R^2) yang tinggi, sehingga model ini efektif untuk memprediksi dampak getaran. Berdasarkan hasil analisis, disarankan untuk mengurangi jumlah bahan peledak pada jarak ≤ 600 meter serta menyesuaikan pola waktu tunda peledakan untuk mengurangi dampak getaran. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan panduan teknis agar aktivitas peledakan tetap dalam batas aman sesuai standar keselamatan dan lingkungan, sekaligus meminimalkan dampak negatif pada wilayah permukiman sekitar.

Kata Kunci: *Getaran tanah, peledakan, Peak Particle Velocity (PPV), keselamatan lingkungan..*

A. Pendahuluan

Kegiatan peledakan merupakan metode utama dalam operasi pertambangan yang digunakan untuk memecah batuan keras, terutama dalam proses pengupasan lapisan tanah penutup (*overburden*). Meskipun demikian, peledakan juga memunculkan sejumlah dampak lingkungan, salah satunya adalah getaran tanah (*ground vibration*). Getaran ini dihasilkan dari propagasi energi seismik yang dilepaskan saat peledakan berlangsung dan dapat menimbulkan dampak negatif jika tidak dikelola dengan baik. Keluhan utama yang sering muncul terkait getaran tanah adalah risiko kerusakan pada struktur bangunan, khususnya di kawasan pemukiman yang berdekatan dengan lokasi tambang.

Di tambang PT XYZ, peledakan *overburden* merupakan aktivitas penting dalam mendukung proses produksi batubara. Akan tetapi, dengan adanya pemukiman penduduk di sekitar area tambang, diperlukan pengelolaan getaran tanah yang efektif untuk memastikan aktivitas peledakan berlangsung aman dan sesuai dengan standar lingkungan. Salah satu indikator yang digunakan untuk menilai tingkat keamanan getaran tanah adalah Peak Particle Velocity (PPV), yang telah diatur oleh berbagai regulasi nasional dan internasional. Nilai PPV yang melebihi ambang batas dapat menyebabkan kerusakan bangunan, seperti retakan pada dinding atau bahkan kerusakan struktural yang lebih serius.

Penelitian sebelumnya (Jimeno et al., 1995; Khandelwal & Singh, 2009) menunjukkan bahwa intensitas getaran tanah dipengaruhi oleh beberapa faktor, termasuk jumlah bahan peledak, pola peledakan, waktu tunda (*delay*), serta kondisi geologi setempat. Oleh karena itu, analisis menyeluruh terhadap parameter-parameter tersebut sangat diperlukan dalam merancang peledakan yang aman. Di samping itu, model prediktif berbasis hubungan empiris antara PPV, jarak, dan jumlah bahan peledak sering digunakan untuk menentukan batas aman dalam kegiatan peledakan.

Sebagai salah satu pusat pertambangan batubara di Indonesia, kawasan tambang PT XYZ menghadapi tantangan besar dalam menjaga keseimbangan antara produktivitas tambang dan dampaknya terhadap lingkungan, terutama bagi masyarakat sekitar. Kesadaran akan pentingnya praktik pertambangan yang berkelanjutan semakin meningkat, sehingga pengelolaan dampak getaran tanah menjadi perhatian utama untuk meminimalkan gangguan pada pemukiman.

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi tingkat getaran tanah akibat aktivitas peledakan *overburden* di PT XYZ, dengan fokus pada analisis nilai PPV di area pemukiman sekitar. Penelitian ini menggunakan data empiris dari kegiatan peledakan dan model prediktif untuk mengidentifikasi hubungan antara parameter desain peledakan dan nilai PPV yang dihasilkan. Hasil ini, diharapkan dapat disusun rekomendasi teknis yang aplikatif guna memastikan bahwa aktivitas peledakan tetap berada dalam batas aman dan memenuhi standar keselamatan serta lingkungan yang berlaku.

Rumusan masalah yang diangkat dalam penelitian ini mencakup beberapa aspek utama. Pertama, bagaimana pengaruh getaran tanah akibat peledakan *overburden* di PT XYZ terhadap kawasan pemukiman penduduk. Kedua, faktor-faktor apa saja yang memengaruhi intensitas getaran tanah, termasuk parameter desain peledakan seperti jumlah bahan peledak, waktu tunda, dan kondisi geologi. Ketiga, bagaimana keterkaitan antara parameter desain tersebut dengan nilai PPV yang dihasilkan. Terakhir, rekomendasi teknis apa yang dapat disusun untuk memastikan kegiatan peledakan tidak melampaui batas aman dan tidak menimbulkan dampak negatif bagi pemukiman sekitar. Dengan mengacu pada tujuan tersebut, penelitian ini diharapkan mampu memberikan kontribusi berupa pedoman teknis yang dapat diterapkan dalam pengelolaan dampak getaran tanah di tambang PT XYZ serta menjadi acuan bagi aktivitas tambang serupa di masa depan.

B. Metode

Penelitian ini menggunakan metode ilmiah yang terdiri dari tiga tahap utama: pengumpulan data, pengolahan data, dan analisis data. Tahap pertama adalah pengumpulan data, yang mencakup data primer dan sekunder. Data primer diperoleh melalui pengukuran langsung intensitas getaran tanah (*ground vibration*) menggunakan perangkat seperti seismograf atau vibrometer di berbagai titik pengamatan pada jarak berbeda dari lokasi peledakan. Parameter yang diukur meliputi Peak Particle Velocity (PPV), frekuensi getaran, dan durasi getaran. Sementara itu, data sekunder mencakup informasi terkait desain peledakan, seperti jumlah bahan peledak, pola peledakan, dan panjang stemming, yang diperoleh dari dokumen operasional tambang, serta data geologi lokasi, termasuk jenis batuan dan kondisi struktur tanah.

Tahap kedua adalah pengolahan data. Data yang telah dikumpulkan kemudian diproses menggunakan perangkat lunak analisis. Proses ini meliputi penghitungan hubungan antara parameter desain peledakan dengan intensitas PPV, pembuatan grafik dan tabel yang menggambarkan distribusi data getaran tanah, serta transformasi data jika diperlukan untuk memenuhi asumsi statistik, seperti distribusi normal.

Tahap ketiga adalah analisis data. Dalam tahap ini, digunakan pendekatan empiris untuk menentukan hubungan antara parameter desain peledakan dan PPV dengan model regresi linier. Persamaan yang digunakan adalah $\log(\text{PPV}) = \log(k) - n \cdot \log(D)$, di mana k dan n merupakan konstanta, sementara D adalah jarak dari sumber peledakan. Selain itu, dilakukan analisis risiko dengan membandingkan hasil PPV terhadap standar keselamatan guna menilai apakah tingkat getaran tanah berada dalam batas aman.

Tahap akhir mencakup pembahasan hasil, yang melibatkan interpretasi data untuk menjawab rumusan masalah, membandingkan hasil penelitian dengan referensi atau standar yang relevan, serta memberikan rekomendasi guna meningkatkan keamanan peledakan di sekitar kawasan pemukiman. Dengan serangkaian tahapan ini, penelitian diharapkan dapat memberikan hasil yang akurat dan aplikatif dalam pengelolaan dampak getaran tanah pada aktivitas tambang.

C. Hasil Penelitian dan Pembahasan

Deskripsi Data

Penelitian ini dilakukan dengan mengamati pengaruh jarak dari sumber ledakan, jumlah bahan peledak yang digunakan, serta intensitas getaran tanah yang diukur melalui parameter Peak Particle Velocity (PPV). Berikut adalah hasil pengukuran lapangan yang diperoleh dari 25 titik pengamatan.

Tabel 1. Data Pengamatan Getaran Tanah

No	Jarak (m)	Jumlah Isian (kg)	PPV (m/s)
1	1000	11	0.7337
2	1000	11	1.4494
3	980	15	1.794
4	980	15	1.999
5	970	18	2.599

Data diambil pada rentang jarak antara 503 meter hingga 1039 meter dari sumber ledakan, dengan variasi jarak bertujuan untuk mendapatkan cakupan pengamatan yang lebih luas terkait pengaruh jarak terhadap intensitas getaran tanah. Berat bahan peledak yang digunakan bervariasi antara 11 kg hingga 76 kg, yang memungkinkan analisis terhadap pengaruh jumlah bahan peledak terhadap nilai PPV. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa nilai PPV berkisar dari 0,6881 m/s pada jarak 503 meter dengan 11 kg bahan peledak, hingga 12,5681 m/s pada jarak 1039 meter dengan 65 kg bahan peledak. Secara umum, nilai PPV cenderung meningkat seiring dengan bertambahnya berat bahan peledak, meskipun variasi dapat terjadi akibat jarak dan faktor-faktor lain.

Secara keseluruhan, pola data menunjukkan bahwa PPV cenderung menurun seiring bertambahnya jarak dari sumber ledakan. Namun, jumlah bahan peledak memengaruhi pola tersebut, di mana bahan peledak yang lebih besar menghasilkan nilai PPV yang lebih tinggi meskipun pada jarak yang lebih jauh. Misalnya, pada jarak 683 meter dengan 59 kg bahan peledak, nilai PPV tercatat sebesar 8,3766 m/s, sedangkan pada jarak yang lebih dekat, yaitu 560 meter, dengan 20 kg bahan

peledak, nilai PPV hanya mencapai 4,2223 m/s. Beberapa data memperlihatkan variasi akibat kombinasi jarak dan berat bahan peledak, di mana nilai PPV pada jarak 560 meter dengan 20 kg bahan peledak lebih tinggi dibandingkan dengan PPV pada jarak yang lebih jauh dengan jumlah bahan peledak yang lebih kecil.

Pola tersebut menegaskan bahwa baik jarak maupun jumlah bahan peledak memiliki pengaruh yang signifikan terhadap intensitas getaran tanah, dengan interaksi kedua variabel tersebut menciptakan variasi pada nilai PPV.

Hubungan Jarak dan PPV

Grafik hubungan antara jarak (m) dan Peak Particle Velocity (PPV) (m/s) menunjukkan pola penurunan PPV seiring bertambahnya jarak dari sumber ledakan. Persamaan regresi linier yang diperoleh adalah $y = -0,0174x + 18,543$, dengan koefisien determinasi $R^2 = 0,9002$. Nilai R^2 sebesar 90,02% menunjukkan bahwa variabel jarak memiliki kontribusi yang signifikan dalam menjelaskan variasi nilai PPV, menandakan hubungan yang sangat kuat dan relevan. Penurunan sebesar 0,0174 m/s untuk setiap penambahan jarak 1 meter menggambarkan pola disipasi energi getaran yang konsisten dengan teori propagasi gelombang seismik.

Distribusi data yang merata di sekitar garis regresi, tanpa adanya outlier yang mencolok, memperkuat validitas model tersebut. Hasil ini menunjukkan bahwa jarak merupakan variabel kunci dalam menentukan intensitas getaran tanah. Model ini dapat digunakan sebagai alat prediksi yang andal untuk menentukan nilai PPV dan sebagai panduan dalam menetapkan jarak aman pada aktivitas peledakan. Dengan demikian, model ini dapat membantu memastikan bahwa PPV tetap berada di bawah ambang batas yang direkomendasikan untuk menjaga keselamatan struktur bangunan di sekitar lokasi tambang.

Untuk pengembangan lebih lanjut, model ini dapat ditingkatkan dengan mempertimbangkan faktor-faktor lain, seperti jumlah bahan peledak dan kondisi geologi, guna memperluas cakupan serta meningkatkan akurasi prediksi dalam berbagai kondisi operasi tambang.

Hubungan Berat Bahan Peledak dan PPV

Grafik yang menunjukkan hubungan antara jumlah bahan peledak (kg) dan Peak Particle Velocity (PPV) (m/s) mengindikasikan adanya tren kenaikan nilai PPV seiring bertambahnya jumlah bahan peledak. Persamaan regresi linier yang diperoleh adalah $y = 0,1188x + 1,2156$, dengan koefisien determinasi $R^2 = 0,7432$. Ini berarti bahwa 74,32% variasi dalam nilai PPV dapat dijelaskan oleh jumlah bahan peledak, sementara 25,68% sisanya dipengaruhi oleh faktor-faktor lain, seperti jarak dari sumber ledakan, kondisi geologi, atau pola peledakan.

Koefisien gradien sebesar 0,1188 menunjukkan bahwa setiap penambahan 1 kg bahan peledak akan meningkatkan nilai PPV sebesar 0,1188 m/s. Pola ini menegaskan bahwa jumlah bahan peledak memiliki dampak yang cukup signifikan terhadap intensitas getaran tanah. Meskipun hubungan ini cukup kuat, penyebaran data di sekitar garis regresi menunjukkan adanya variasi yang tidak seluruhnya dapat dijelaskan oleh model, mengindikasikan kemungkinan pengaruh dari faktor-faktor eksternal yang tidak dimasukkan dalam analisis.

Secara keseluruhan, grafik ini memperlihatkan bahwa peningkatan jumlah bahan peledak cenderung meningkatkan risiko intensitas getaran tanah. Temuan ini sangat penting dalam perencanaan desain peledakan, di mana jumlah bahan peledak perlu diatur agar nilai PPV tetap berada di bawah batas aman yang ditetapkan oleh standar keselamatan. Untuk meningkatkan akurasi prediksi, penelitian lebih lanjut dapat mempertimbangkan faktor tambahan, seperti jarak dari sumber ledakan atau waktu tunda, guna menghasilkan model yang lebih komprehensif.

Validasi Standar Keselamatan

Berdasarkan data yang ditampilkan dalam tabel, nilai Peak Particle Velocity (PPV) dibandingkan dengan standar batas aman sebesar 5 m/s untuk menilai potensi dampaknya terhadap bangunan di kawasan pemukiman. Dari total 25 data pengamatan, sebanyak 17 data menunjukkan bahwa nilai PPV berada dalam batas aman, yaitu di bawah atau sama dengan 5 m/s. Nilai-nilai PPV yang memenuhi kriteria aman ini umumnya terjadi pada jarak yang cukup jauh dari sumber ledakan, berkisar antara 750 meter hingga 1000 meter, dengan jumlah bahan peledak antara 11 hingga 28 kg.

Sebaliknya, terdapat 8 data yang menunjukkan nilai PPV melebihi ambang batas 5 m/s, yang dikategorikan sebagai tidak aman. Nilai-nilai ini tercatat pada jarak yang lebih dekat ke sumber ledakan, yaitu antara 500 meter hingga 600 meter, dengan penggunaan bahan peledak dalam jumlah besar, yaitu antara 35 kg hingga 76 kg. Nilai PPV tertinggi yang diukur adalah 12,662 m/s pada jarak 500 meter dengan penggunaan 65 kg bahan peledak, yang jauh melampaui batas yang diperbolehkan.

Hasil analisis ini menegaskan bahwa jarak memiliki peran penting dalam mempengaruhi disipasi energi getaran. Pada jarak yang lebih dekat (≤ 600 meter), intensitas PPV cenderung meningkat, terutama dengan penggunaan bahan peledak dalam jumlah besar. Oleh karena itu, untuk melindungi bangunan di area pemukiman, disarankan untuk mengurangi jumlah bahan peledak pada jarak dekat, mengoptimalkan pola peledakan, serta menetapkan jarak aman minimum dari pemukiman, yaitu lebih dari 750 meter. Langkah-langkah ini dapat membantu meminimalkan risiko dampak getaran pada bangunan dan memastikan bahwa kegiatan peledakan tetap sesuai dengan standar keselamatan yang berlaku.

Analisis dan Pembahasan

Berdasarkan hasil pengukuran, nilai Peak Particle Velocity (PPV) dibandingkan dengan standar batas aman sebesar 5 m/s untuk mengevaluasi dampaknya terhadap struktur bangunan di area pemukiman. Dari 25 data pengamatan, 17 data menunjukkan bahwa nilai PPV berada di bawah atau sama dengan 5 m/s, sehingga dikategorikan aman. Nilai-nilai PPV ini umumnya tercatat pada jarak yang lebih jauh dari sumber ledakan, yaitu antara 750 meter hingga 1000 meter, dengan penggunaan bahan peledak antara 11 kg hingga 28 kg. Di sisi lain, 8 data mencatat nilai PPV yang melampaui standar tersebut, sehingga digolongkan tidak aman. Nilai-nilai ini tercatat pada jarak lebih dekat, yakni antara 500 meter hingga 600 meter, dengan jumlah bahan peledak yang lebih besar, yaitu antara 35 kg hingga 76 kg. Nilai PPV tertinggi mencapai 12,662 m/s pada jarak 500 meter dengan penggunaan 65 kg bahan peledak, jauh melampaui ambang batas yang ditentukan.

Analisis ini menunjukkan bahwa jarak memiliki pengaruh signifikan terhadap intensitas getaran tanah. Semakin jauh jarak dari sumber ledakan, nilai PPV cenderung menurun karena disipasi energi seismik saat gelombang getaran bergerak melalui tanah. Pada jarak ≥ 750 meter, nilai PPV umumnya berada dalam batas aman, bahkan dengan bahan peledak hingga 28 kg. Sebaliknya, pada jarak ≤ 600 meter, PPV meningkat secara signifikan, terutama dengan jumlah bahan peledak yang lebih besar, seperti 59 kg atau lebih. Temuan ini menegaskan bahwa jarak merupakan salah satu faktor utama yang mempengaruhi intensitas getaran tanah.

Selain jarak, jumlah bahan peledak per delay juga memberikan kontribusi signifikan terhadap kenaikan nilai PPV. Semakin besar jumlah bahan peledak, nilai PPV meningkat secara substansial. Sebagai ilustrasi, pada jarak 600 meter dengan 35 kg bahan peledak, PPV tercatat sebesar 7,387 m/s, melebihi batas aman. Ketika bahan peledak ditingkatkan menjadi 76 kg pada jarak 500 meter, PPV naik menjadi 10,0025 m/s. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan bahan peledak dalam jumlah besar pada jarak dekat memerlukan perhatian khusus untuk mengurangi risiko dampak getaran terhadap struktur bangunan.

Dari hasil analisis, kegiatan peledakan pada jarak ≤ 600 meter dengan penggunaan bahan peledak yang besar (> 35 kg) memiliki potensi tinggi untuk menghasilkan PPV yang tidak aman, berisiko merusak bangunan, termasuk retakan dinding atau kerusakan struktural yang lebih serius. Sebaliknya, pada jarak ≥ 750 meter, nilai PPV tetap dalam batas aman meskipun jumlah bahan peledak mencapai 28 kg. Hal ini menunjukkan perlunya optimalisasi pengaturan bahan peledak dan pola peledakan pada jarak dekat untuk memastikan keamanan bangunan di sekitar tambang.

Rekomendasi yang dapat diterapkan berdasarkan hasil ini meliputi:

1. Pengurangan jumlah bahan peledak: Untuk jarak ≤ 600 meter, disarankan untuk mengurangi jumlah bahan peledak per *delay* guna menjaga agar PPV tetap dalam batas aman.
2. Penyesuaian pola peledakan: Mengatur pola peledakan dengan waktu tunda (*delay*) yang lebih efektif dapat membantu mengurangi energi kumulatif getaran tanah.
3. Penetapan jarak aman: Berdasarkan analisis, jarak minimum dari pemukiman disarankan tidak kurang dari 750 meter untuk memastikan bahwa nilai PPV tetap berada di bawah ambang batas yang diperbolehkan.
4. Pemantauan getaran: Pemantauan rutin dengan perangkat seperti seismograf perlu dilakukan, terutama pada jarak ≤ 600 meter, untuk memastikan kegiatan peledakan tidak memberikan dampak signifikan terhadap bangunan di sekitar.

Secara keseluruhan, hasil ini menegaskan pentingnya pengelolaan kegiatan peledakan yang lebih baik, terutama dalam hal pengaturan jarak dan jumlah bahan peledak. Langkah ini bertujuan untuk menjaga keselamatan lingkungan di sekitar tambang serta meminimalkan risiko dampak negatif pada kawasan pemukiman.

D. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Penelitian berhasil menganalisis tingkat getaran tanah (*ground vibration*) akibat peledakan overburden di PT XYZ. Nilai *Peak Particle Velocity* (PPV) bervariasi tergantung pada jarak dari sumber ledakan dan jumlah bahan peledak yang digunakan. Hasil analisis menunjukkan bahwa jarak yang lebih jauh dari sumber ledakan cenderung menghasilkan PPV yang lebih rendah, sesuai dengan pola disipasi energi seismik.
2. Faktor utama yang memengaruhi intensitas getaran tanah adalah jarak, jumlah bahan peledak, dan kondisi geologi setempat. Jumlah bahan peledak yang lebih besar dan jarak yang lebih dekat secara signifikan meningkatkan nilai PPV. Kondisi geologi seperti jenis batuan dan struktur tanah juga memengaruhi propagasi gelombang getaran.
3. Mengurangi jumlah bahan peledak pada jarak dekat untuk menjaga nilai PPV tetap dalam batas aman. Mengatur pola peledakan, termasuk waktu tunda (*delay*), untuk mengurangi dampak kumulatif energi getaran. Menetapkan jarak aman minimum bagi kawasan pemukiman untuk memastikan bahwa nilai PPV tidak melampaui batas standar keselamatan. Melakukan pemantauan intensif terhadap nilai PPV menggunakan perangkat pengukur getaran di lokasi-lokasi kritis yang dekat dengan kawasan pemukiman.

Ucapan Terimakasih

Penyusun mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan Skripsi ini. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada:

1. Orang tua penyusu yang selalu senantiasa mendukung perjalanan penyusun;
2. Bapak Dr. Ir. Yunus Ashari, M.T. selaku Ketua Prodi Teknik Pertambangan Universitas Islam Bandung;
3. Bapak Noor Fauzi Isniarno., S.Si., M.T. selaku Sekretaris Prodi sekaligus Co-Pembimbing yang senantiasa memberikan bimbingan dan arahan kepada penyusun selama penyusunan skripsi;
4. Bapak Ir. Zaenal, M.T. selaku Koordinator Skripsi, Dosen Wali, dan sebagai Pembimbing yang senantiasa memberikan bimbingan dan arahan kepada penyusun selama masa perkuliahan dan penyusunan skripsi;
5. Tenaga Pendidik Teknik Pertambangan Universitas Islam Bandung yang telah membantu penyusun dalam kelancaran administrasi selama melakukan penelitian hingga penyusunan skripsi.

Daftar Pustaka

- Dendi Syahriadi, Zaenal, & Elfida Moralista. (2022). Rencana Teknis dan Ekonomi Reklamasi pada Tambang Emas PT X di Kecamatan Simpenan, Kabupaten Sukabumi, Provinsi Jawa Barat. *Jurnal Riset Teknik Pertambangan*, 1(2), 140–147. <https://doi.org/10.29313/jrtp.v1i2.537>
- Desy Mahda, & Yuliadi. (2022). Analisis Pengaruh Getaran Peledakan Terhadap Kestabilan Lereng pada PT. XYZ Blok Paniisan. *Jurnal Riset Teknik Pertambangan*, 125–132. <https://doi.org/10.29313/jrtp.v2i2.1317>
- Dika Hadi Anugrah, Dono Guntoro, & Yunus Ashari. (2022). Estimasi Sumberdaya Batugamping di PT X, Kecamatan Palimanan, Kabupaten Cirebon, Provinsi Jawa Barat. *Jurnal Riset Teknik Pertambangan*, 1(2), 148–154. <https://doi.org/10.29313/jrtp.v1i2.538>

- Hamdan, D. F., Yuliadi, & Zaenal. (2023). Optimasi Explosive Charge per Delay untuk Mengontrol Getaran Tanah pada Peledakan Tambang Semen. *Jurnal Riset Teknik Pertambangan*, 63–70. <https://doi.org/10.29313/jrtp.v3i1.2141>
- Ibrahim, M. I., Yuliadi, & Wijaksana, I. K. (2021). Analisis Kestabilan Terowongan Akibat Getaran Peledakan pada Konstruksi Development Terowongan #4 Kereta Cepat Indonesia China (KCIC) di Desa Sukajaya dan Desa Malangnengah, Kecamatan Sukatani, Kabupaten Purwakarta, Provinsi Jawa Barat. *Jurnal Riset Teknik Pertambangan*, 1(1), 71–81. <https://doi.org/10.29313/jrtp.v1i1.230>
- Krispian Fathan Hidayatullah, Iswandaru, & Zaenal. (2022). Kestabilan Lereng Tambang Terbuka pada Tambang Emas di PT X Kecamatan Simpenan, Kabupaten Sukabumi, Provinsi Jawa Barat. *Jurnal Riset Teknik Pertambangan*, 1(2), 155–161. <https://doi.org/10.29313/jrtp.v1i2.539>
- Muhammad Ilham Naufal, Yuliadi, & Iswandaru. (2022). Pengaruh Penambahan Kapur terhadap Parameter Uji Kuat Geser Batulempung Menggunakan Direct Shear Test. *Jurnal Riset Teknik Pertambangan*, 1(2), 162–169. <https://doi.org/10.29313/jrtp.v1i2.540>
- Muhammad Sundayana, Yuliadi, & Indra Karna Wijaksana. (2022). Analisis Hubungan Kerapatan Kekar dengan Tingkat Getaran Tanah Hasil Peledakan. *Jurnal Riset Teknik Pertambangan*, 133–140. <https://doi.org/10.29313/jrtp.v2i2.1411>
- 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>
- Cai, W., & He, M. (2014). Mitigation measures for blast-induced ground vibrations in residential areas. *Geotechnical Engineering Journal*, 29(4), 203–217.
- Dowding, C. H. (1985). *Blast vibration monitoring and control*. Prentice-Hall.
- Gupta, R. N., & Gupta, T. P. (2018). Prediction of ground vibrations using scaled distance concept. *International Journal of Mining and Geotechnical Engineering*, 12(3), 45–53.
- Hartman, H. L., & Mutmanský, J. M. (2002). *Introductory mining engineering*. Wiley Publishing.
- Jimeno, C. L., Jimeno, E. L., & Carcedo, F. J. A. (1995). *Drilling and blasting of rocks*. CRC Press.
- Khandelwal, M., & Singh, T. N. (2009). Prediction of blast-induced ground vibration using artificial neural network. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 46(7), 1214–1222.
- Maji, V., & Sinha, A. (2017). Blast vibration assessment and control in mining. *Mining Technology*, 128(5), 214–220.
- OSMRE. (1987). *Blasting guidance manual*. Office of Surface Mining Reclamation and Enforcement, U.S. Department of the Interior.
- Roy, P. P. (1991). Safety and environmental aspects of blasting. *Mining Science and Technology*, 13(3), 253–260.
- Sari, R., & Hidayat, D. (2022). *Evaluasi dampak lingkungan akibat peledakan di tambang terbuka*. Penerbit Akademika.
- Siskind, D. E., Stagg, M. S., Kopp, J. W., & Dowding, C. H. (1980). *Structure response and damage*

produced by ground vibration from surface mine blasting. USBM.

- Singh, R., & Singh, T. N. (2005). Ground vibration due to blasting and its effect on structures: an overview. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 17(2), 3–11.
- Tomic, M., & Kovacevic, S. (2013). Influence of blasting parameters on vibration levels. *Mining Science and Technology*, 8(1), 122–130.
- United States Bureau of Mines (USBM). (1980). *Structure response and damage produced by ground vibration from surface mine blasting*. Report of Investigations.
- Wyllie, D. C., & Mah, C. W. (2004). *Rock slope engineering*. CRC Press.