

KAJIAN PENGARUH JUMLAH BAHAN PELEDAK DAN JARAK TERHADAP *GROUND VIBRATION* PADA AKTIVITAS PELEDAKAN DI PT DAHANA *JOBSITE* PT BUKIT ASAM (PERSERO) TANJUNG ENIM, SUMATERA SELATAN

Nova Anzelyna Sihombing^{1a}, Haslen Oktarianty², Guskarnali³

^{1,2,3} Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Bangka Belitung, Kampus Terpadu UBB, Desa Balun Ijuk, Kecamatan Merawang, Kabupaten Bangka, Provinsi Kepulauan Bangka Belitung, 33172

^aEmail korespondensi: novaanzelynas@gmail.com

ABSTRAK

Kegiatan peledakan pada tambang sering menimbulkan permasalahan berupa getaran tanah (*ground vibration*). Getaran tanah tersebut dapat berpotensi menimbulkan dampak negatif, terutama pada wilayah sekitar area pertambangan yaitu permukiman warga di RT 26 dan RT 09 Mandala yang berada pada 800-1400 m sehingga memerlukan perhatian dan pengendalian getaran untuk meminimalkan dampaknya terhadap masyarakat sekitar. Oleh karena itu, diperlukan pengendalian untuk meminimalkan dampaknya. Pengukuran getaran dilakukan pada 1 Agustus-27 September 2024 dengan total 30 data. Hasilnya menunjukkan getaran tertinggi sebesar 1,261 mm/s dengan rata-rata 0,791 mm/s, masih dalam batas aman sesuai SNI 7571:2023 dan kesepakatan masyarakat (<1 mm/s). Terdapat empat pengukuran yang melebihi 1 mm/s, yaitu pada 5, 9, 12 Agustus dan 12 September, dengan nilai PPV 1,238-1,261 mm/s. Meski demikian, getaran tersebut tidak menimbulkan kerusakan. Analisis *regresi power* pada *burden* 6 dan spasi 7 menghasilkan persamaan $Y = 654,87x^{-1,198}$ dengan nilai $K = 654,87$ dan $e = -1,198$ serta koefisien determinasi (R^2) 0,8024, *scale distance* memengaruhi PPV sebesar 80,24%. Pada *burden* 5 dan spasi 6 diperoleh persamaan $Y = 7982x^{-1,603}$ dengan $K = 7982$, $e = -1,603$ dan $R^2 = 0,6792$, sehingga *scale distance* berpengaruh 67,92%. Selain itu, korelasi antara jumlah bahan peledak dan PPV sebesar 36,36%, serta jarak dengan PPV sebesar 63,46%. Hal ini menunjukkan semakin banyak bahan peledak, semakin besar getaran, sedangkan semakin jauh jarak ledakan, semakin kecil nilai getaran. Pengendalian dapat dilakukan melalui pengaturan titik inisiasi, panjang *stemming*, penggunaan waktu tunda, serta penerapan *line drill*.

Kata kunci: Getaran Tanah, Peledakan, Isian Bahan Peledak dan Jarak Peledakan.

PENDAHULUAN

PT Dahana adalah Perusahaan yang berfokus pada penyediaan bahan berenergi tinggi dengan layanan terpadu di bidang bahan peledak untuk sektor pertambangan umum, kuari, konstruksi, migas, maupun pertahanan. Perusahaan ini juga memperluas pelayanannya dalam penyediaan bahan dan jasa bahan peledak di sektor pertambangan, salah satunya bekerja sama dengan PT Bukit Asam (Persero) yang berlokasi di Tanjung Enim, Sumatera Selatan.

PT Bukit Asam Persero (PTBA) merupakan salah satu perusahaan tambang batubara terbesar di Indonesia dan merupakan Badan Usaha Milik Negara (BUMN) industri pertambangan batubara nasional. Perusahaan ini berlokasi di Tanjung Enim, Kecamatan Lawang Kidul, Kabupaten Muara Enim, Sumatera Selatan. Kegiatan PT Bukit Asam mencakup tiga area tambang, yaitu Tambang Air Laya dengan Izin Usaha Pertambangan seluas 7.621 ha, Tambang Muara Tiga Besar seluas 3.300 Ha, dan Tambang Banko Barat 4.500 ha. Dalam kegiatan produksinya, perusahaan menerapkan dua metode penambangan, yakni kombinasi back hoe dan

dumptruck serta sistem Bucket Wheel Excavator (BWE) (Rudianto, dkk., 2022).

Pada proses penggalian material keras diperlukan metode pembongkaran yang lebih cepat, tepat dan efisien serta ekonomis, sehingga dipilihlah metode pengeboran dan peledakan (Anonim, 2011). Kegiatan peledakan memiliki beberapa dampak antara lain *fly rock*, *air blast* dan *ground vibration* (Koesnaryo, 1988).

Tujuan utama peledakan pada proses penambangan umumnya adalah untuk memecahkan lapisan *overburden* atau material penutup agar memudahkan dalam proses kegiatan penambangan batubara (Saptono dan Singgih, 2006).

Kegiatan dari proses peledakan akan menimbulkan dampak berupa getaran tanah atau disebut dengan *ground vibration* (Yudiwan dan Nugroho, 2016). *Ground vibration* adalah gelombang yang bergerak di dalam tanah yang bersumber dari suatu energi atau adanya aktivitas peledakan yang dilakukan oleh manusia (Ma'rief, dkk., 2020).

Ground vibration pada tingkata tertentu dapat mengakibatkan kerusakan lingkungan sekitarnya apabila melampaui batas *ground vibration* pada daerah

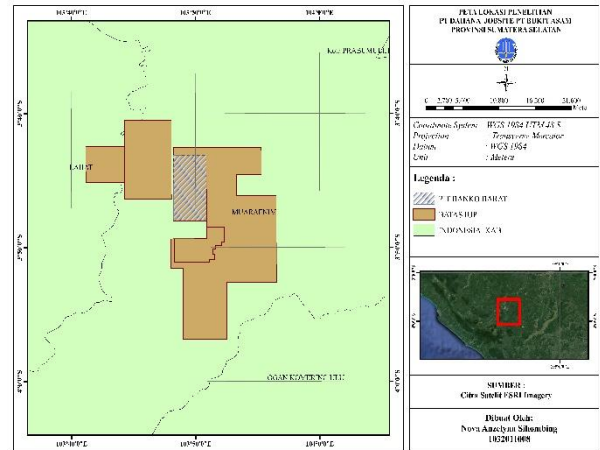
elastis (*elasticzone*) (Siskid, dkk., 1980). Berdasarkan kriteria Kepmen Lingkungan Hidup No 49 tahun 1996 dimana jarak aman untuk dari area peledakan adalah lebih dari 1000 m. Salah satu *pit* penambangan yang terkena dampak dari getaran tanah ialah Banko Barat yang lokasinya 800-1500 meter dengan pemukiman warga yang terkena dampak dari *ground vibration*, ditandai dengan adanya keluhan masyarakat serta indikasi getaran yang terukur melebihi ambang batas pada beberapa titik pengukuran. Peledakan dilokasi penambangan *pit* 2 Banko Barat berada cukup dekat dengan pemukiman sehingga diperlukan penanganan yang optimal untuk mencegah.

METODE PENELITIAN

Lokasi penelitian mengenai *ground vibration* ini dilaksanakan di PT Dahana (Persero) sebagai kontraktor peledakan yang berada di wilayah Izin Usaha Pertambangan (IUP) PT Bukit Asam Tbk (Persero), Jalan Parigi No. 1 Talang Jawa, Tanjung Enim, Kecamatan Lawang Kidul, Kabupaten Muara Enim Provinsi Sumatera Selatan ± 186 Km Barat Daya dari pusat Kota Palembang tepatnya di *Pit* Tambang Banko Barat.).

Data primer yang digunakan dalam penelitian ini meliputi jumlah isian bahan peledak, geometri peledakan, tingkat getaran tanah (*ground vibration*), serta titik koordinat lokasi peledakan dan pemukiman warga. Data sekunder yang digunakan berupa *blast design report* harian, peta area penambangan, spesifikasi bahan peledak, peta situasi, dan litologi batuan. Tahapan pengolahan data diawali dengan pengambilan titik koordinat lokasi peledakan dan titik koordinat pemukiman warga menggunakan alat *handy* GPS, dilanjutkan dengan pengukuran getaran menggunakan micromate yang kemudian dianalisis dengan *software* Thor untuk memahami pola getaran serta dampaknya terhadap lingkungan sekitar. Selanjutnya dilakukan perhitungan nilai *scale distance*

berdasarkan perbandingan jarak dengan isian bahan peledak, penentuan nilai konstanta (K) melalui analisis *regresi power*, serta perbandingan antara nilai PPV aktual dan prediksi menggunakan standar deviasi dan persentase *error*. Analisis juga mencakup pengaruh jumlah isian dan jarak terhadap getaran, dengan acuan standar vibrasi SNI 7571:2023 serta ketentuan jarak aman sesuai Kepmen LH No. 49 Tahun 1996, yang kemudian dijadikan dasar dalam merumuskan upaya pengendalian getaran.



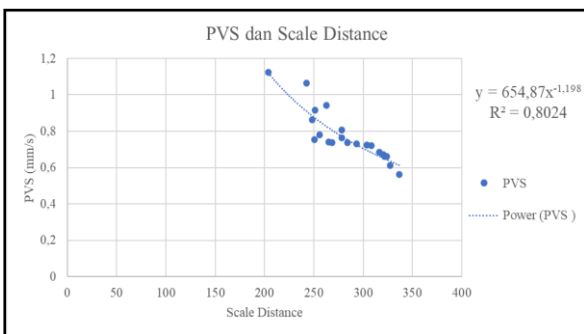
Gambar 1. Lokasi Penelitian *pit* 2 Banko Barat

HASIL DAN PEMBAHASAN

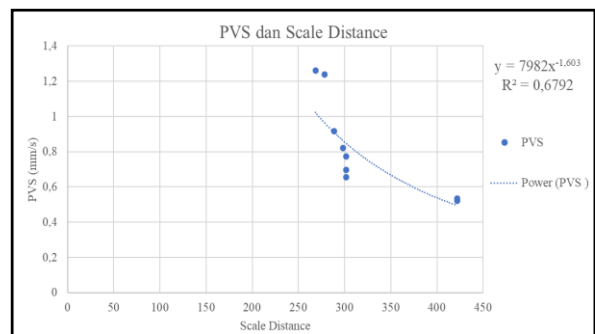
Pengukuran *Ground Vibration* Aktual

Pada kombinasi *Burden* 6 dan spasi 7 Getaran tertinggi tercatat pada 9 Agustus 2024 di RT 09 Mandala sebesar 1,123 mm/s (PF 0,1-0,11, *delay* 67,109), sedangkan terendah pada 22 September 2024 di RT 26 sebesar 0,562 mm/s (PF 0,060-0,080, *delay* 67,109). Sementara itu, pada kombinasi *burden* 5 dan spasi 6, getaran tertinggi tercatat pada 12 Agustus 2024 di RT 26 sebesar 1,261 mm/s, dan terendah pada 11 September di RT 26 sebesar 0,523 mm/s.

Analisis Hubungan PVS dan *Scale Distance*



(a)



(b)

Gambar 2. Hubungan PVS dan *Scale Distance*: (a). *Burden* 6 dan Spasi 7 dan (b). *Burden* 5 dan Spasi 6

Gambar 2 (a) didapat hubungan nilai SD dan PPV yaitu pada *burden* 6 dan spasi 7 nilai koefisien korelasi (r)= -0,898 dan koefisien determinasi (R²) sebesar 0,8024 atau setara 80,24 %. Pada gambar 2 (b) *burden* 5 dan spasi 6 menghasilkan nilai koefisien korelasi (r)=

-0,8239 dan koefisien determinasi (R²) sebesar 0,6792 atau setara 67,92 %.

Analisis Nilai Konstanta (K) dan Eksponen (e)

Menganalisis dan menentukan nilai K dan e maka perlu dilakukannya metode analisis *regresi* digunakan menentukan hubungan sebab-akibat dua variabel serta digunakan untuk memprediksi nilai PVS yang merupakan variable terikat dan *scaled distance*. Kurva yang sesuai untuk dua variable yang berhubungan ini adalah kurva berpangkat (*power*) karena bentuk persamaan yang dihasilkan merupakan bentuk persamaan berpangkat ($y = ax^b$) pada table x yang sesuai dengan rumus prediksi getaran tanah $PPV = K(SD)^{-e}$.

Persamaan yang di dapat dari perhitungan *Regresi Power* sebagai berikut:

- a. Persamaan dengan *burden* 6 dan spasi 7
 $PPV = 654,87 (SD)^{-1,198}$
- b. Persamaan dengan *burden* 5 dan spasi 6
 $PPV = 7982 (SD)^{-1,603}$

Analisis Nilai PPV Prediksi dan Aktual

Membandingkan nilai PPV prediksi dengan nilai aktual bertujuan untuk mengevaluasi tingkat keakuratan metode yang digunakan dalam memperkirakan besarnya getaran tanah di lokasi pengukuran.

Tabel 1. Persentase Keakuratan PPV Prediksi dan Aktual *Burden* 6 dan Spasi 7

No.	Tanggal	Isian/ delay (kg)	Scale Distance	PVS Aktual	PVS Prediksi	Selisih	Error	Persentase Akurat	Jarak (m)	HDAB
1	01/08/2024	20	293.372	0,731	0,725	0,006	1%	99%	1.312	1324
2	02/08/2024	18	320.319	0,670	0,652	0,018	3%	97%	1.359	1370
3	03/08/2024	18	303.349	0,723	0,696	0,027	4%	96%	1.287	1460
4	03/08/2024	20	323.559	0,660	0,645	0,015	2%	98%	1.447	1297
5	06/08/2024	15	278.338	0,765	0,772	-0,007	-1%	99%	1.078	929,2
6	07/08/2024	18	251.259	0,914	0,873	0,041	5%	95%	1.066	1097
7	08/08/2024	15	327.396	0,611	0,635	-0,024	-4%	96%	1.268	1078
8	09/08/2024	25	203.8	1,123	1,121	0,002	0%	100%	1.019	1268
9	15/08/2024	20	268.328	0,738	0,807	-0,069	-9%	91%	1.200	1023
10	16/08/2024	15	265.17	0,742	0,818	-0,076	-10%	90%	1.027	1211
11	18/08/2024	15	316.294	0,685	0,662	0,023	3%	97%	1.225	1084
12	20/08/2024	15	284.019	0,738	0,753	-0,015	-2%	98%	1.100	1212
13	24/08/2024	15	308.289	0,721	0,683	0,038	5%	95%	1.194	1101
14	28/08/2024	28	255.693	0,781	0,854	-0,073	-9%	91%	1.353	1177
15	29/08/2024	15	262.588	0,941	0,828	0,113	12%	88%	1.017	1359
16	31/08/2024	28	248.323	0,863	0,885	-0,022	-3%	97%	1.314	1021
17	02/09/2024	25	250.4	0,755	0,876	-0,121	-16%	84%	1.252	1326
18	12/09/2024	28	242.275	1,064	0,911	0,153	14%	86%	1.282	1262
19	13/09/2024	15	278.08	0,806	0,773	0,033	4%	96%	1.077	1082
20	20/09/2024	19	321.182	0,662	0,650	0,012	2%	98%	1.400	1415
21	22/09/2024	18	336.583	0,562	0,615	-0,053	-9%	91%	1.428	1437
Jumlah		405	5,939	16,255	16	0,020	-9%	1981%	25.705	25.533
Min		15	204	0,562	0,615	-0,121	-16%	84%	1.017	929,20
Max		28	337	1,123	1,121	0,153	14%	100%	1.447	1.460
Mean		19.29	282.79	0,774	0,773	0,001	6%	94%	1.224	1.216
Standar Deviasi						0,0621				

Tabel 2. Persentase Keakuratan PPV Prediksi dan Aktual *Burden* 5 dan Spasi 6

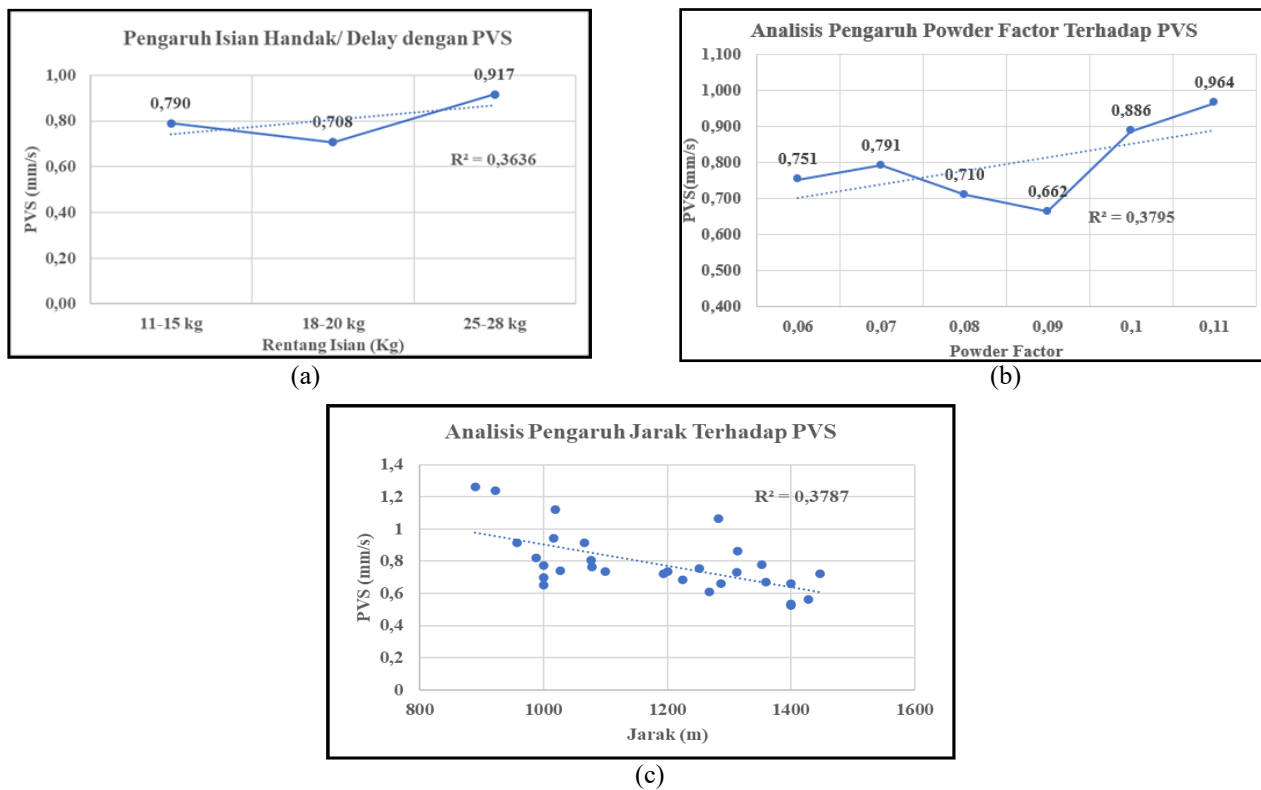
No.	Tanggal	Isian/ delay (kg)	Scale Distance	PVS Aktual	PVS Prediksi Regresi Power	Selisih	Error	Persentase Akurat	Jarak	HDAB
1	05/08/2024	11	278.295	1,238	0,963	0,275	22%	78%	923	929,2
2	10/08/2024	11	288.546	0,916	0,909	0,007	1%	99%	957	957,1
3	12/08/2024	11	268.345	1,261	1,021	0,240	19%	81%	890	871,7
4	03/09/2024	11	298.195	0,820	0,862	-0,042	-5%	95%	989	990,7
5	04/09/2024	11	301.511	0,654	0,847	-0,193	-29%	71%	1.000	1003
6	05/09/2024	11	301.511	0,772	0,847	-0,075	-10%	90%	1.000	1006
7	11/09/2024	11	422.116	0,523	0,494	0,029	6%	94%	1.400	1428
8	14/09/2024	11	422.116	0,533	0,494	0,039	7%	93%	1.400	1378
9	17/09/2024	11	301.511	0,697	0,847	-0,150	-21%	79%	1.000	1003
Jumlah		99	2,882	7,414	7,282	0,132	-11%	779%	9.559	9.559

Min	11	268	0,523	0,494	-0,193	-29%	71%	890	890
Max	11	422	1,261	1,021	0,275	22%	99%	1.400	1.400
Mean	11	320.24	0,823	0,809	0,015	13%	87%	1.062	1.062
Standar Deviasi									0,159

Tabel 2 ditemukan beberapa data yang tidak sesuai, pada data n (17) dengan selisih masing-masing -0,121 mm/s (*error* -16%). Hal serupa juga terjadi pada Tabel 3 ditemukan beberapa data yang tidak sesuai, pada data

n (1) nilai PPV aktual mencapai 1,238 mm/s, sedangkan hasil prediksi hanya 0,963 mm/s, dengan selisih *error* sebesar 22%. Perbedaan ini diduga karena tidak digunakannya *linedrill*.

Analisis Jumlah Bahan Peledak dan Jarak Terhadap *Ground Vibration*



Gambar 3. Pengaruh Jumlah Bahan Peledak dan jarak Terhadap *Ground Vibration*: (a). Pengaruh Jumlah Isian, (b). Pengaruh *Powder Column* dan (c). Pengaruh Jarak.

Semakin besar isian per *delay*, maka nilai getaran (PVS) yang dihasilkan juga semakin tinggi. Sebaliknya, semakin kecil isian, maka getaran yang dihasilkan juga lebih rendah. Perbedaan nilai getaran pada isian yang sama bisa disebabkan oleh perbedaan jarak antara titik peledakan dan lokasi pengukuran. Pada lampiran, terlihat bahwa isian 11 kg menghasilkan getaran tinggi, yaitu 1,231 dan 1,261 mm/s, karena jaraknya kurang dari 1000 meter dari permukiman. Hasil analisis linear menunjukkan bahwa nilai PVS dipengaruhi oleh isian bahan peledak sebesar 36,3% ($R^2 = 0,363$) (gambar 3a).

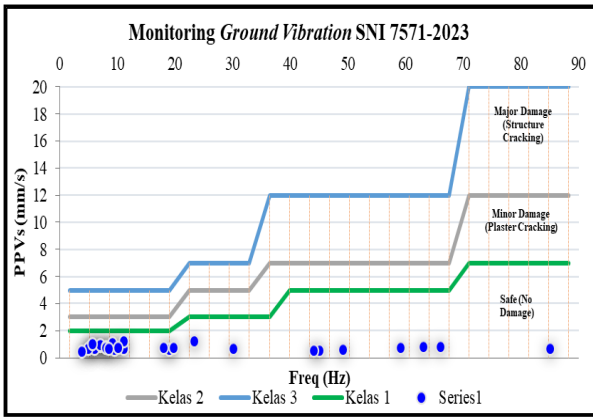
Pengaruh *powder column* terhadap hasil nilai *ground vibration*. Nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0.3792 yang mengindikasikan bahwa sekitar 37,92% PF mempengaruhi getaran (gambar 3c)

Pengaruh jarak ledak terhadap besarnya getaran, hasil analisis linear menunjukkan nilai korelasi (r)= -0,6154 dan $R^2 = 0,3787$, yang berarti PVS dipengaruhi oleh isian bahan peledak sebesar 37,87% (gambar 3c)

Analisis *Ground Vibration* Terhadap Bangunan di Sekitar Tambang Menurut SNI 7571: 2023

Pengukuran getaran dilakukan di rumah warga RT 09 Mandala dan RT 26 Keban Agung, berdasarkan keluhan warga terkait getaran akibat peledakan tambang. Tujuannya adalah memastikan apakah getaran yang terjadi masih sesuai dengan batas aman dalam SNI 7571:2023 dan menilai potensi dampak seperti retak atau kerusakan pada struktur rumah. Kepmen LH No. 49 Tahun 1996 dan hasil wawancara, rumah tergolong bangunan kelas 3 karena menggunakan pondasi beton dan pasangan bata semen.

Getaran tertinggi selama pengukuran sebesar 1,261 mm/s, terendah 0,512 mm/s pada jarak 1.171 m. Menurut SNI 7571:2023, batas aman getaran untuk bangunan kuno adalah 2 mm/s, dan untuk bangunan biasa 3 mm/s. Selama pengukuran, tidak ada getaran yang melebihi batas 3 mm/s. Dengan demikian, aktivitas peledakan di Pit 2 Banko Barat masih dalam kategori aman.



Gambar 4. Grafik Getaran Aktual dan Getaran Sesuai SNI 7573: 2023

Pengaruh Ground Vibration Terhadap Pemukiman Warga

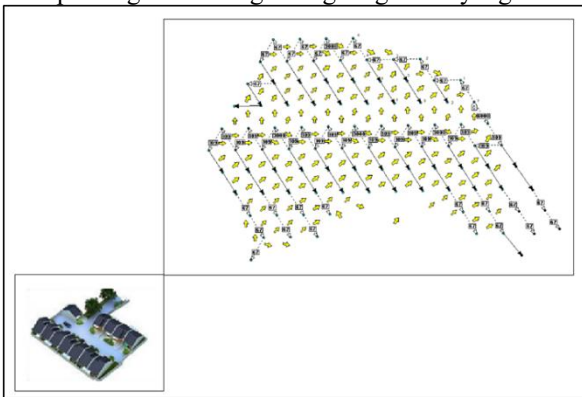
Meski getaran masih di bawah batas aman menurut SNI 7571:2023, kontrol getaran tetap diperlukan untuk mengurangi dampaknya. Sebagai respons, PT Bukit Asam menjalankan program CSR untuk menangani keluhan warga, termasuk memperbaiki kerusakan rumah. Perusahaan juga melakukan pengukuran retakan menggunakan alat *crack* meter untuk menilai dampak getaran secara langsung. Hasil analisis linear menunjukkan nilai koefisien determinasi yaitu sebesar (R^2) = 0,0044 atau hanya 0,4% pengaruh.

Analisis Dalam Melakukan Kontrol Ground Vibration

Kontrol getaran merupakan suatu upaya untuk menaikkan atau mengurangi tingkat getaran. Pada saat observasi dilapangan peneliti menemukan upaya yang dapat dilakukan untuk meminimalisir getaran adalah sebagai berikut:

1. Penentuan Arah *Intitation Point*

Penentuan arah *initiation point* dilakukan dengan tujuan untuk mengarahkan getaran agar menjauhi rumah warga sehingga hanya getaran sisa dari peledakan yang mengarah ke rumah warga yang mana getaran tersebut merupakan getaran dengan tingkat getaran yang rendah.



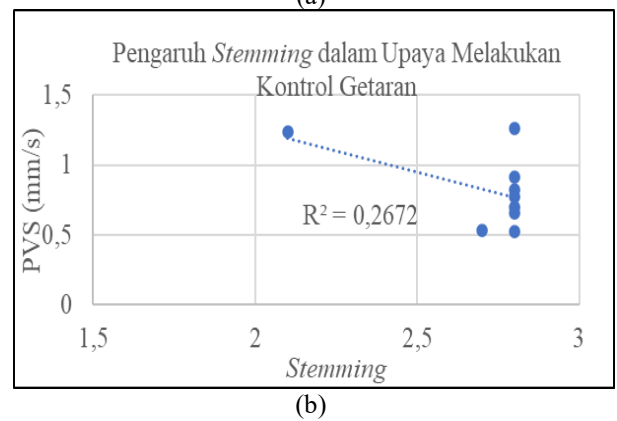
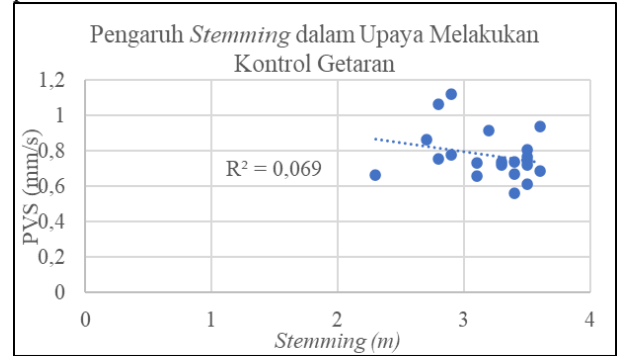
Gambar 5. Arah Inisiasi Poin Peledakan 02 Agustus Membelakangi Rumah Warga.

Pola pemoran dan arah peledakan dirancang sedemikian rupa agar energi ledakan tidak langsung

menuju area permukiman, sehingga dampak getaran maupun lontaran dapat dikendalikan.

2. Kontrol Getaran Melalui Penggunaan *Stemming*.

Stemming berfungsi menahan tekanan gas agar energi difokuskan ke dalam batuan. energi peledakan dapat dimanfaatkan secara optimal untuk fragmentasi batuan, sekaligus menekan penyebaran getaran ke permukaan dan area sekitar.

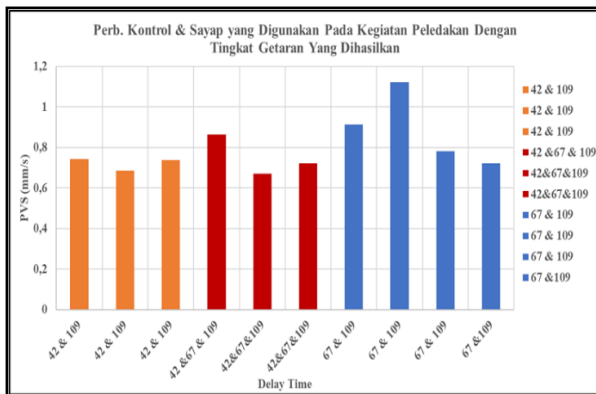


Gambar 6. Pengaruh *Stemming* Dalam Upaya Melakukan Kontrol Getaran: (a). *Burden* 6 dan Spasi 7 dan (b). *Burden* 5 dan Spasi 6.

Gambar 6 (a) menunjukkan panjang *stemming* 2,3-3,8 meter r sebesar -0,2626 dan R^2 sebesar 0,069 (6,9%), sedangkan gambar 6 (b) menunjukkan bahwa *stemming* dari 2-3 meter dengan $r = -0,5169$ dan R^2 sebesar 0,2672 (26,72%). Panjang *stemming* berperan dalam pengendalian getaran, di mana *stemming* yang terlalu pendek menyebabkan energi ledakan cepat keluar ke permukaan sehingga menimbulkan getaran tinggi dan potensi lontaran batu, sedangkan *stemming* yang terlalu panjang justru menahan energi berlebihan sehingga mengurangi efisiensi peledakan tanpa memberi manfaat lebih terhadap penurunan getaran.

3. Kontrol Getaran Melalui Penggunaan *Delay*

Delay time yang sering digunakan sebagai *surface* adalah 42 ms, 67 ms, 109 ms, dan 3000 ms sebagai jeda.



Gambar 7. Grafik Perbandingan Waktu Tunda (*Delay Time*) yang Digunakan dengan Tingkat Getaran yang Dihasilkan

Kombinasi penggunaan *delay* yang lebih bervariasi mampu menyebarkan energi ledakan secara lebih merata, sehingga menurunkan getaran. Pengaturan *delay* menjadi salah satu metode efektif dalam mengendalikan dampak getaran, khususnya di area permukiman.

4. Penggunaan *Linedrill*

Linedrilling merupakan suatu metode peledakan berupa lubang bor berdiameter kecil berderet di sepanjang batas akhir peledakan produksi dengan jarak spasi sangat pendek tidak diisi dengan bahan peledak (*unloaded*).



Gambar 8. Perbandingan Nilai Getaran Peledakan (PPV) antara Penggunaan dan Tanpa Penggunaan *Linedrill*

Metode *linedrill* secara konsisten menurunkan nilai getaran peledakan (PPV) di semua lokasi pengukuran, yaitu 3003, 2045, dan 2043. Penurunan PPV ini terjadi karena *linedrill* berfungsi meredam energi ledakan, sehingga getaran yang menyebar menjadi lebih kecil.

KESIMPULAN

Hasil pengukuran getaran tanah di permukiman burden 6 dan spasi 7 menghasilkan nilai K sebesar 654,87 dan e sebesar -1,198 dengan R^2 sebesar 80,24%, sedangkan pada burden 5 dan spasi 6 diperoleh K sebesar 7892 dan e -1,603 dengan R^2 sebesar 67,92%. Getaran dipengaruhi oleh jumlah isian bahan peledak dan jarak peledakan, di mana semakin besar isian atau

semakin dekat jaraknya, maka getaran yang dihasilkan semakin tinggi, dengan nilai korelasi masing-masing 36,36% dan 37,38%. Untuk mengendalikan getaran, dilakukan pengaturan arah inisiasi, pengendalian *stemming*, waktu tunda, dan penerapan *linedrill* di area dekat permukiman.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih kepada Program Studi Teknik Pertambangan Universitas Bangka Belitung yang telah mendukung penelitian ini. PT Dahana, PT Bukit Asam dan PT Putera Perkasa Abadi (PPA) yang telah memberikan kesempatan penulis untuk melakukan penelitian pada kegiatan peledakan. Kedua Orang Tua yang senantiasa memberikan doa, semangat, dan selalu mendukung sehingga penelitian ini selesai.

REFERENSI

- Anonim., 2011. Modul Pendidikan dan Pelatihan Juru Ledak Penambangan Bahan Galian. Bandung: Pusdiklat Teknologi Mineral & Batubara. Departemen ESDM – RI.
- Kartodharmo, M., 1998. Teknik peledakan. Bandung : Laboratorium Geoteknik Pusat Antar Universitas Ilmu Rekayasa Intitut Teknologi Bandung.
- Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor : KEP-49/MENLH/XI/1996. Baku Tingkat.
- Koesnaryo, S., 1988. Bahan Peledak dan Metode Peledakan, Jurusan Teknik Pertambangan Universitas Pembangunan Nasional “Veteran”. Yogyakarta.
- Ma’rief, A. A., Qadri, A., Okviyani, N., & Mahyuni, T. E., 2020. “Analisis Pengaruh Jumlah Bahan Peledak Terhadap Ground Vibration Akibat Ledakan Pada Area Pit SM-A Tambang Batubara PT Sims Jaya Kalimantan Timur”. *Jurnal Geomine*, 8(1), 74 – 79.
- Rudianto, B., Santoso, J., & Pratama, I., 2022. Sistem penambangan kombinasi backhoe-dumptruck dan BWE: Suatu studi kasus dalam penambangan batubara. *Jurnal Teknik Pertambangan Indonesia*, X(Y), 123–134.
- Saptono dan Singgih., 2006. Teknik Peledakan. Yogyakarta : Universitas Pembangunan Nasional “Veteran”.
- 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*. U.S. Bureau of Mines, Report of Investigations 8507.
- Standar Nasional Indonesia 7571:2023. Baku Tingkat Getaran Peledakan Pada Kegiatan Tambang Terbuka Terhadap Bangunan. Badan Standarisasi Nasional, Jakarta.
- Yudiwan, Y., dan Nugroho, W., 2016. Analisis tingkat getaran tanah (ground vibration) akibat peledakan di PIT Kinong, PT Firman Kataun Perkasa, Kabupaten Kutai Barat, Kalimantan Timur. *Jurnal Teknologi Mineral, FT UNMUL*, 4(1), 47–53