

ANALISIS GETARAN TANAH UNTUK MENGURANGI KERUSAKAN AKIBAT PELEDAKAN PADA TAMBANG TERBUKA

Tohirin, Andy Erwin Wijaya, Rizqi Prastowo*

Teknik Pertambangan, Fakultas Teknologi Mineral, ITNY, Indonesia

*Corresponding author. Email: rizqi@itny.ac.id

Manuscript received: 28 January 2022; Received in revised form: 20 August 2022; Accepted: 13 October 2022

Abstrak

Peledakan merupakan salah satu dari kegiatan penambangan yang bertujuan untuk memberikan atau melepaskan batuan dari batuan induknya. Pada umumnya kegiatan peledakan menimbulkan sejumlah bahaya yang salah satunya adalah getaran (*ground vibration*). Pengukuran getaran harus dilakukan setiap kali peledakan dilaksanakan. Tujuan dari penulisan ini adalah untuk mengetahui faktor yang mempengaruhi *ground vibration* dan mengetahui cara untuk mengurangi tingkat getaran tanah yang diakibatkan oleh peledakan. Penelitian ini dilakukan di suatu tambang batubara di PT. Bukit Asam pada Pit TSBC Tanjung Enim Sumatera Selatan. Data diperoleh dengan pengambilan data lapangan dan sekunder. Penentuan nilai PPV dan *powder factor* sesuai dengan SNI 7571:2010. Rekomendasi isian muatan bahan peledak per lubang untuk mengurangi nilai PPV agar di bawah 3 mm/s adalah jarak 900 maksimal muatan 34 kg menghasilkan PPV 2,98 mm/s, jarak 950 maksimal muatan 36 kg menghasilkan PPV 2,83 mm/s, jarak 1000 maksimal muatan 40 kg menghasilkan PPV 2,84 mm/s, jarak 1050 maksimal muatan 44 kg menghasilkan PPV 2,83 mm/s. Hubungan nilai *scaled distance* dan PPV aktual di lapangan dengan regresi *power* didapatkan nilai $K = 28942506$ dan $m = -3,187$. Maka untuk mendapatkan nilai PPV < 3 mm/s dengan jarak pengukuran 1000 meter dari lokasi perumahan karyawan, dibutuhkan isian bahan peledak per lubang 39 – 42 kg dengan nilai *powder factor* 0,116 – 0,124 kg/BCM. Melalui isian bahan peledak yang direkomendasikan tersebut masih dapat memberai batuan dengan baik.

Kata Kunci: Peledakan; *ground vibration*; PPV; *scaled distance*,

Abstract

Blasting is one of the mining activities that aims to scatter or release the rock from its parent. In general, explosions are some hazards, one of which is ground vibration. Vibration measurements must be made each time a blast is carried out. This paper aims to determine the factors that affect ground vibrations and find out how to reduce ground vibrations caused by explosions. This research was conducted at a coal mine at PT. Bukit Asam at the Tanjung Enim TSBC Pit, South Sumatra. Data were obtained by taking field and secondary data. Determination of PPV and powder factor values according to SNI 7571:2010. The recommendation for a perforated explosive charge to reduce the PPV distance value to below 3 mm/s is a distance of 900, a maximum load of 34 kg produces a PPV of 2.98 mm/s, a distance of 950, a maximum load of 36 kg produces a PPV of 2.83 mm/s, a maximum of 1000 a load of 40 kg produces a PPV of 2.84 mm/s, a distance of 1050 and a maximum load of 44 kg produces a PPV of 2.83 mm/s. The relationship between the value of the scaled distance and the actual PPV in the field with power regression, the value of $K = 28942506$ and $m = -3.187$. Then to get the PPV value < 3 mm/s with a measurement distance of 1000 meters from the employee housing location, stuffing is needed. Blast

hole 39 – 42 kg with a powder factor value of 0.116 – 0.124 kg/BCM. Through this actual explosive charge, it can still diffuse well.

Keywords: Blasting; ground vibration; PPV; scaled distance.

Pendahuluan

PT. Bukit Asam Tbk. hingga saat ini masih menggunakan metode peledakan dalam pengupasan *overburden* dan *interburden*. Kegiatan peledakan dilakukan bertujuan untuk memecah atau membongkar batuan yang keras pada kedudukan semula menjadi material lepas dengan ukuran fragmentasi tertentu, sehingga alat (unit) mudah untuk menggali (Tjan et al., 2021). Melalui kegiatan peledakan, proses produksi alat gali muat akan lebih cepat dalam peningkatan produktivitas kerja.

Getaran tanah (*ground vibration*) adalah gelombang yang bergerak di dalam tanah yang disebabkan oleh adanya sumber energi (Rudini, 2013). Sumber energi tersebut dapat berasal dari alam atau non alam, seperti gempa bumi atau adanya aktivitas manusia, sumber energi non alam adalah salah satunya adalah kegiatan peledakan (Carlos et al., 1987). Getaran tanah (*ground vibration*) terjadi pada daerah *elastic (elastic zone)* sesuai dengan sifat elastis material maka bentuk dan volume akan kembali ke keadaan semula setelah tak ada tegangan yang bekerja. Perambatan tegangan pada daerah elastis akan menimbulkan gelombang getaran. Getaran tanah ini pada tingkat tertentu bisa menyebabkan terjadinya kerusakan struktur di sekitar lokasi peledakan (Maryura et al., 2014).

Getaran tanah yang dihasilkan dari operasi peledakan ini dapat menimbulkan permasalahan seperti kerusakan pada bangunan pemukiman warga, perumahan karyawan, *office*, pada wilayah sekitar *site* pertambangan. Selain itu getaran tanah memiliki dampak untuk kestabilan lereng yang dapat berakibat terjadinya lonsoran pada daerah sekitar tempat operasi

peledakan (Rudini, 2013). Salah satu permasalahan yang dapat terkena dampak dari getaran tanah (*ground vibration*) akibat peledakan adalah perumahan karyawan (*townsite*) yang lokasinya berjarak 1000 m dari lokasi. Jarak ini cukup dekat dengan lokasi kegiatan peledakan. Oleh karena itu penelitian ini bertujuan untuk mengetahui tingkat keamanan kegiatan peledakan yang dilakukan di PT. Bukit Asam pada Pit TSBC Tanjung Enim Sumatera Selatan bagi perumahan karyawan sekitar area penambangan yang diinginkan oleh perusahaan dan sesuai dengan keputusan menteri ESDM nomor 1827/K/MEM/2018. (Keputusan Menteri ESDM Nomor/1827/K/MEM/2018, 2018).

Metode Penelitian

Tahap Pengambilan Data

Data yang diperoleh dari lapangan meliputi data primer dan data sekunder. Data primer terdiri dari massa isian lubang ledak, geometri peledakan, koordinat lapangan, jarak sumber ledakan dengan alat perekaman dan getaran tanah. Geometri peledakan terdiri dari *burden* (B), spasi (S), diameter lubang (D), dan ketinggian lubang (H). Sedangkan data sekunder adalah data bahan peledak, acuan standar peledakan, dan pola peledakan. Pengukuran getaran tanah dilakukan dengan menggunakan alat Blastmate III, dengan akurasi 0,5 mm/s (Instantel, 2009). Pengambilan data lapangan berupa kecepatan gelombang actual lapangan atau disebut dengan *Peak Particle Sum* (PVS). PVS merupakan penjumlahan kecepatan puncak gelombang pada gelombang vertical (V), longitudinal (L), dan transversal (T), diperoleh dengan menggunakan Persamaan 1.

$$PVS = (V^2 + L^2 + T^2)^{0,5} \quad (1)$$

Nilai PVS inilah yang digunakan pada pengolahan data dan penentuan isian bahan peledak. Dalam penelitian ini PVS juga sama dengan *peak particle velocity* (PPV) aktual.

Tahap Pengolahan Data

Pengolahan data (data sekunder) diolah dengan menggunakan *software Shotplus* dan *Microsoft Excel* untuk menentukan jumlah bahan peledak yang meledak secara serentak. Data nilai PPV dan isian bahan peledak kemudian dihitung dengan teori *scaled distance* (SD) ditunjukkan pada Persamaan 2 (Yin et al., 2018):

$$SD = \frac{D}{\sqrt{W}} \quad (2)$$

dengan D adalah jarak dari perekam dengan sumber ledakan (m) dan W adalah jumlah bahan peledak/delay (kg).

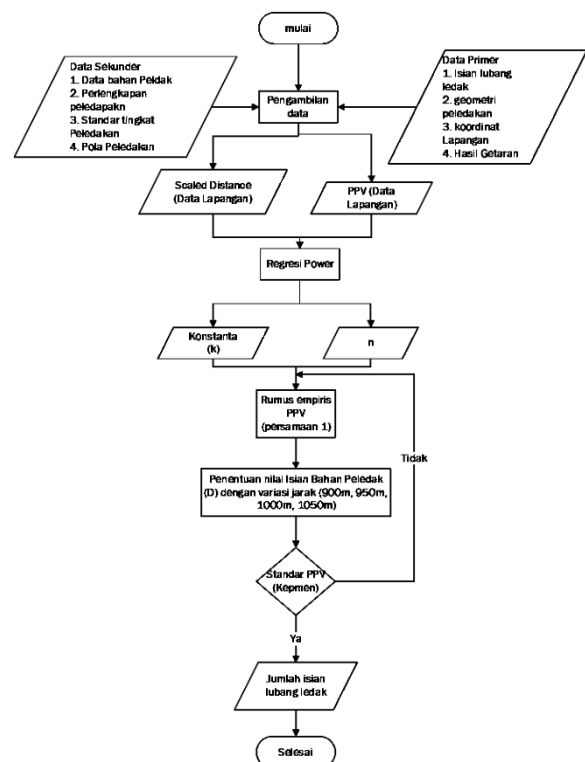
Regresi *power* digunakan untuk mendapatkan persamaan hubungan antara nilai PPV vs *scaled distance*. Analisis tersebut bertujuan untuk mengetahui nilai yang didapatkan sudah memenuhi standar getaran yaitu di atas 50%. Melalui hubungan antara nilai PPV vs *scaled distance* Persamaan ini akan digunakan untuk mengkaji metode peledakan yang ada dari segi isian bahan peledaknya, dan membuat rancangan isian bahan peledak yang tepat untuk mendapatkan nilai PPV yang ditetapkan. Namun hal ini jika memungkinkan untuk diterapkan. Hasil hubungan antara nilai PPV dan *Scaled Distance* akan ditampilkan dalam bentuk grafik.

Tahap Analisis Data

Hubungan antara nilai *Scaled distance* (SD) dan nilai *peak particle velocity* (PPV) menggunakan analisis regresi *power* mendapatkan nilai konstanta (k) dan nilai n selanjutnya nilai k dan nilai n tersebut dihitung menggunakan rumus empiris pada Persamaan 3 (Yin et al., 2018):

$$PPV = k \left(\frac{\sqrt{W}}{D} \right)^n \quad (3)$$

untuk mendapatkan persamaan nilai jarak peledakan D dengan variasi jarak 900 m, 950 m, 1000 m, 1050 m dan persamaan nilai W untuk penentuan berat isian bahan peledak dengan variasi 34 kg, 36 km, 38 kg, 40 kg, 42 kg, 44 kg. Setelah mengkaji nilai D dan W, jika nilai PPV yang didapatkan belum memenuhi standar Kepmen dan standar perusahaan, akan dikaji ulang dengan merubah varian isian bahan peledak dan jarak peledakan sehingga mendapatkan nilai PPV yang ditetapkan. Seluruh tahapan ini dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diaram alir penelitian.

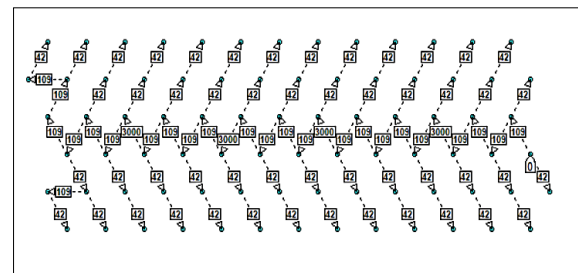
Hasil dan Pembahasan

Peledakan dilakukan sebanyak 18 kali peledakan di lokasi Pit *Township Basecamp* (TSBC) PT Bukit Asam (Persero) Tbk. Hal ini bertujuan untuk memperoleh data yang minim *noise*, maka selama kegiatan peledakan tidak terdapat penggunaan *subdrilling*. Dalam satu lubang ledak terdiri dari panjang *stemming* dan panjang isian bahan peledak. *Burden* (B) dan spasi (S) setiap peledakan selalu sama yaitu berturut

– turut 7 meter dan 8 meter. Sedangkan kedalaman lubang ledak yaitu rata-rata 7 m dan diameter lubang 6,75 inches.

Kegiatan peledakan yang dilakukan menggunakan pola pemboran selang – seling (*staggered patern*), sedangkan pola rangkaian peledakan yang digunakan adalah *echelon cut* dan pola inisiasi *row by row* dengan menggunakan *surface delay detonator 42 ms, 67 ms dan 109 ms* serta *inhole delay detonator 500 ms, 3000 ms dan 6000 ms*. Sistem rangkaian menggunakan system nonel (non elektrik) dengan pemicu awal ledakan berupa elektrik *detonator* yang disambungkan ke *blasting machine* menggunakan *lead wire*. Peledakan tidak dilakukan dengan satu kali peledakan, melainkan dilakukan bertahap atau dibuat menjadi beberapa *initiation point* (IP) yang dilakukan secara bergantian setelah dilakukan pengecekan. Detonator yang digunakan dikombinasikan guna untuk mendapatkan hasil peledakan yang baik berupa arah lemparan peledakan dan penentuan jumlah lubang ledak yang meledak secara bersamaan dalam periode waktu tunda 8 ms. Hal ini dilakukan agar

vibrasi semakin kecil. Pola rangkaian peledakan dapat dilihat pada Gambar 2 di bawah ini.



Gambar 2 Rangkaian nonel.

Pengukuran di lapangan menggunakan alat ukur yaitu *Blastmate* dan *micromate* untuk mengukur getaran dan suara akibat peledakan (Instantel, 2009). Setiap peledakan di PT. Bukit Asam selalu dilakukan pengukuran getaran guna untuk memastikan peledakan yang dilakukan selalu aman bagi perumahan karyawan sekitar. Lokasi pengukuran dilakukan di pemukiman terdekat dari Pit *townsite basecamp*, *Blastmate* didesain untuk dapat mengukur dan mencatat getaran tanah dan suara akibat peledakan dengan tepat. Hasil pengukuran getaran tanah dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil pengukuran getaran di Pit Townsite Basecamp (TSBC).

Tanggal	B (m)	S (m)	Lubang ledak		Peak Particle Velocity (mm/s)			PVS (mm/s)	Jarak Pengukuran	Jumlah Lubang	Anfo (kg)
			D (inch)	H (m)	Transversal	Vertikal	Longitudinal				
6-Nov-20	7	8	6,75	7,0	2,696	2,301	2,018	3,069	1037	130	37,04
9-Nov-20	7	8	6,75	7,0	1,340	1,033	1,836	1,894	1234	80	37,04
10-Nov-20	7	8	6,75	7,0	1,474	1,356	1,167	1,663	1216	87	37,10
13-Nov-20	4	5	6,75	7,5	1,316	0,828	0,883	1,322	1262	41	42,58
16-Nov-20	7	8	6,75	7,5	0,993	1,017	0,583	1,223	1233	49	36,71
18-Nov-20	7	8	6,75	7,5	1,813	1,789	1,852	2,403	1051	136	36,96
20-Nov-20	7	8	6,75	7,5	2,128	1,103	1,316	2,197	1161	74	36,46
25-Nov-20	7	8	6,75	7,5	2,617	2,175	1,939	3,319	1075	95	37,04
30-Nov-20	7	8	6,75	7,5	1,781	1,017	0,977	1,881	1075	77	37,10
1-Dec-20	7	8	6,75	7,5	1,001	0,638	0,638	1,031	1025	60	37,04
2-Dec-20	7	8	6,75	7,5	1,482	1,844	1,371	1,847	1103	81	36,90
4-Dec-20	6	7	6,75	7,0	0,599	0,512	0,638	0,775	1489	103	47,51
5-Dec-20	6	7	6,75	7,0	0,520	0,292	0,497	0,546	1490	93	47,50
15-Dec-20	8	8	6,75	7,0	0,552	0,335	0,410	0,656	1510	130	37,04
18-Dec-20	7	8	6,75	8,0	1,206	0,851	1,111	1,351	1533	110	42,33
21-Dec-20	6	7	6,75	8,0	0,504	0,363	0,394	0,598	1800	127	47,50
23-Dec-20	6	7	6,75	7,5	0,670	0,646	0,481	0,757	1533	68	47,85
31-Dec-20	5	6	6,75	7,0	1,009	0,473	0,638	1,029	1387	120	47,61

Pada rumus *scale distance*, faktor yang paling mempengaruhi nilai PPV adalah isian bahan peledak dan jarak pengukuran. Hubungan antara jarak dan getaran tanah

(*peak particle velocity*) dapat dilihat bahwa semakin jauh jarak antara lokasi peledakan dan lokasi pengukuran, maka getaran tanah yang dihasilkan akan semakin kecil.

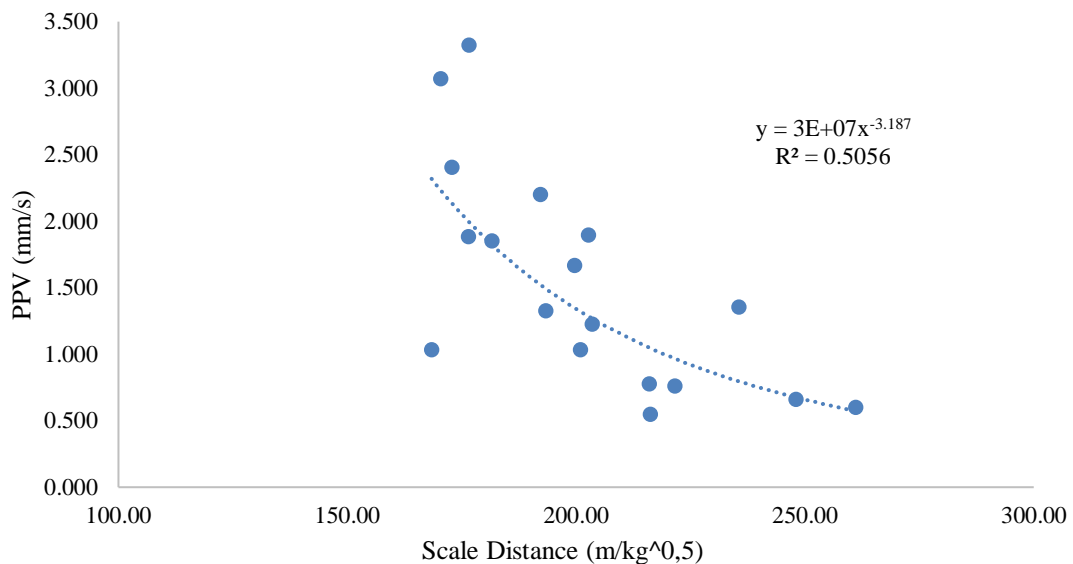
Hubungan ini menguatkan teori tentang hubungan antar jarak serta jumlah bahan peledak dengan getaran tanah yang dihasilkan aktivitas peledakan. Penggunaan penjumlahan bahan peledak dapat dioptimalkan dengan melakukan penelitian tentang distribusi berat bahan peledak per waktu tunda dan 72 hubungan jarak terhadap besaran getaran tanah yang dihasilkan suatu aktivitas peledakan atau yang disebut *scale distance*. Berikut perhitungan *scaled distance* selama penelitian dapat dilihat pada Tabel 2.

Salah satu metode yang digunakan untuk menentukan hubungan sebab akibat antara satu variabel dengan variabel yang lain adalah dengan menggunakan analisis regresi. Analisis ini telah digunakan secara luas dalam analisis PPV karena dengan metode regresi dapat digunakan untuk memprediksi konstanta pada persamaan PPV. Nilai PPV merupakan variabel terikat dan *scaled distance* merupakan variabel

bebas. Grafik antara getaran tanah PPV aktual dan nilai SD memperlihatkan hubungan antara kedua variabel tersebut. Grafik hubungan antara nilai *peak particle velocity* dan *scaled distance* dapat dilihat pada Gambar 3 di bawah ini

Tabel 2. *Scaled distance* selama penelitian.

Tanggal	Jarak M	Isian/ Lubang (kg)	nilai SD (m/kg ^{1/2})	PPV Aktual
6-Nov-20	1037	37,04	170,40	3,069
9-Nov-20	1234	37,04	202,77	1,894
10-Nov-20	1216	37,10	199,64	1,663
13-Nov-20	1262	42,58	193,40	1,322
16-Nov-20	1233	36,71	203,50	1,223
18-Nov-20	1051	36,96	172,88	2,403
20-Nov-20	1161	36,46	192,28	2,197
25-Nov-20	1075	37,04	176,64	3,319
30-Nov-20	1075	37,10	176,49	1,881
1-Dec-20	1025	37,04	168,42	1,031
2-Dec-20	1103	36,90	181,58	1,847
4-Dec-20	1489	47,51	216,02	0,775
5-Dec-20	1490	47,50	216,19	0,546
15-Dec-20	1510	37,04	248,11	0,656
18-Dec-20	1533	42,33	235,63	1,351
21-Dec-20	1800	47,50	261,17	0,598
23-Dec-20	1533	47,85	221,62	0,757
31-Dec-20	1387	47,61	201,01	1,029



Gambar 3. Grafik hubungan antara *scaled distance* dan PPV.

Data hasil pengukuran perlu disesuaikan dengan kurva yang akan dipakai karena penyesuaian tersebut memberikan interpretasi secara matematis mengenai hubungan antara dua variabel. Melalui persamaan kurva yang diperoleh dapat digunakan untuk memprediksi harga

variabel terikat yaitu PPV. Jenis kurva yang sesuai terhadap data hasil pengukuran PPV dan *scaled distance* adalah kurva berpangkat *power*. Hal tersebut dikarenakan bentuk persamaan PPV merupakan fungsi berpangkat ($y=ax^b$). Penentuan persamaan empiris dari PPV dan

scaled distance dapat dilakukan dengan menggunakan kurva linier dan kurva berpangkat *power* untuk memprediksi nilai getaran tanah (Rudini, 2013).

Hasil analisis hubungan antara SD dan PPV aktual didapatkan dari hasil pengukuran getaran di lapangan. Berdasarkan hasil pengukuran pada saat penelitian berlangsung maka didapatkan PPV maksimal sebesar 3,319 mm/s. Hasil pengukuran tersebut masih berada pada ambang batas aman yang telah ditentukan oleh perusahaan yaitu untuk di Pit (TSBC) adalah 4 mm/s dan untuk standar SNI yaitu 5 mm/s untuk bangunan dengan pondasi pasangan bata dan adukan semen diikat dengan *slope* beton (SNI 7571:2010, 2010). Pada Gambar 3 menunjukkan bahwa terdapat hubungan yang kuat antara SD dan getaran tanah aktual (PPV) yaitu setiap penurunan nilai SD diikuti dengan peningkatan nilai PPV aktual. Koefisien determinasi (R^2) dari analisis data tersebut menunjukkan angka 0,558 yang berarti bahwa PPV aktual dipengaruhi oleh SD sebesar 55,8 %. Konstanta yang didapatkan pada persamaan untuk nilai PPV prediksi yaitu $K = 28942506$ dan $n = -3,187$. Nilai konstanta tersebut dapat digunakan untuk menghitung prediksi getaran yang akan dihasilkan pada peledakan selanjutnya. Dengan menggunakan persamaan yang telah didapatkan, maka dapat dilakukan prediksi nilai tingkat getaran tanah dengan mengatur nilai isian per delay pada rumus prediksi nilai PPV sehingga didapatkan isian yang optimum dengan jarak yang telah ditentukan.

Berdasarkan rumus yang sama, dilakukan perhitungan nilai (K) pada data yang didapatkan selama September dan November 2020. Nilai (K) diperoleh dengan regresi *power* pada *Microsoft office excel* yaitu adalah 28.942.506 dan nilai (n) -3,187 sehingga Persamaan 3 menjadi

$$PPV = 28.942.506 \left(\frac{\sqrt{w}}{D} \right)^{3,187} \quad (4)$$

Berdasarkan rumus tersebut, dapat ditentukan jumlah optimal bahan peledak per lubang dengan jarak pengukuran 1000 m, yang jarak tersebut merupakan perumahan Karyawan. Untuk mendapatkan nilai PPV <3 mm/s dapat ditentukan seberapa banyak jumlah bahan peledak per lubang. Batas aman PPV menurut perusahaan adalah standar SNI yaitu 5 mm/s namun untuk lebih aman lagi penulis merancang PPV <3 mm/s. Rancangan tersebut hanya berlaku untuk material di Pit *Townsite Basecamp* (TSBC) karena konstanta yang didapat adalah dari hasil pengukuran getaran sebelumnya. Dapat dilihat pada Tabel 3 – Tabel 6 berikut :

Tabel 3. Rancangan isian perlubang jarak 900 meter.

No	Jarak (m)	Isian Lubang (kg)	K	SD (m/kg ^{1/2})	PPV (mm/s)
1	900	34	28942506	154,35	2,98
2	900	36		150,00	3,36
3	900	38		146,00	3,66
4	900	40		142,30	3,97
5	900	42		138,87	4,30
6	900	44		135,68	4,63
7	900	46		132,70	4,97

Rancangan pada jarak 900 meter mendapatkan berat isian yang optimal untuk PPV di bawah 3 mm/s adalah seberat 34 kg dengan PPV 2,98 mm/s.

Tabel 4. Rancangan isian perlubang jarak 950 meter.

No	Jarak (m)	Isian Lubang (kg)	K	SD (m/kg ^{1/2})	PPV (mm/s)
1	950	34	28942506	162,92	2,58
2	950	36		158,33	2,83
3	950	38		154,11	3,08
4	950	40		150,21	3,35
5	950	42		146,59	3,62
6	950	44		143,22	3,89
7	950	46		140,07	4,18

Rancangan pada jarak 950 meter mendapatkan berat isian yang optimal untuk PPV di bawah 3 mm/s adalah seberat 34 sampai 36 kg dengan PPV 2,58 dan 2,83 mm/s.

Tabel 5. Rancangan isian perlubang jarak 1000 meter.

No	Jarak (m)	Isian Lubang (kg)	K	SD (m/kg ^{1/2})	PPV (mm/s)
1	1000	34	28942506	171,50	2,19
2	1000	36		166,67	2,40
3	1000	38		162,22	2,62
4	1000	40		158,11	2,84
5	1000	42		154,30	3,07
6	1000	44		150,76	3,31
7	1000	46		147,44	3,55

Rancangan pada jarak 1000 meter mendapatkan berat isian yang optimal untuk PPV di bawah 3 mm/s adalah seberat 34 sampai 40 kg dengan PPV 2,19 dan 2,84 mm/s.

Tabel 6. Rancangan isian perlubang jarak 1050 meter.

No	Jarak (m)	Isian Lubang (kg)	K	SD (m/kg ^{1/2})	PPV (mm/s)
1	1050	34	28942506	180,07	1,88
2	1050	36		175,00	2,06
3	1050	38		170,33	2,24
4	1050	40		166,02	2,43
5	1050	42		162,02	2,63
6	1050	44		158,29	2,83
7	1050	46		154,81	3,04

Rancangan pada jarak 1050 meter mendapatkan berat isian yang optimal untuk PPV di bawah 3 mm/s adalah seberat 34 sampai 44 kg dengan PPV 1,88 dan 2,83 mm/s.

Range isian bahan peledak disesuaikan pada operasi peledakan pada bulan November dan Desember yaitu pada saat penelitian dengan *range* isian 36 sampai 38 kg per lubangnya. Lokasi perumahan karyawan yang terdekat yaitu area Masjid *Townsite* dengan jarak 900 sampai 1050 meter. Pada rancangan untuk mencari isian bahan peledak optimal dengan PPV di bawah 3 mm/s dengan perhitungan prediksi dan konstanta yang sudah didapat diperoleh dengan analisis regresi *power*. Nilai rancangan untuk berat isian bahan peledak

yang optimal untuk mendapatkan nilai PPV sesuai dengan SNI dan standar perusahaan dapat ditunjukkan pada Tabel 3 – 6 pada sel kolom berwarna biru.

Apabila dipersempit lagi untuk wilayah pengukurannya jarak perumahan karyawan yaitu berjarak >1000 m, maka dari Tabel 3 – 6 dapat ditarik kesimpulan :

1. Bahan isian peledak yang optimal untuk PPV di bawah 3 ms pada jarak 900 meter adalah 34 kg
2. Bahan isian peledak yang optimal untuk PPV di bawah 3 ms pada jarak 950 meter adalah 34-46 kg
3. Bahan isian peledak yang optimal untuk PPV di bawah 3 mm/s pada jarak 1000 meter adalah 34-40 kg namun sudah memasuki Kawasan perumahan karyawan.

Untuk mempermudah pengisian bahan peledak dengan jarak > 1000 meter dibatasi dengan angka maksimal 40 kg jadi :

1. Pengukuran pada jarak 950 m optimal bahan peledaknya 34 – 36 kg
2. Pengukuran pada jarak 1000 m optimal bahan peledaknya 36 – 40 kg

Perhitungan *powder factor* menggunakan data yang didapat pada saat penelitian yaitu untuk lubang ledak diambil yang terbanyak pada saat penelitian dan daya gel sesuai dengan yang ada di perusahaan. *Powder factor* yang diperoleh dari isian 40 kg dengan jarak 1000 m adalah 0,121 BCM yang dapat mengurangi getaran tetapi masih sanggup untuk memberai batuan dengan baik yang ada di *Pit Townsite Basecamp* (TSBC). Rekomendasi nilai PPV <3 mm/s dengan muatan perlubang maksimal 40 kg mampu menghasilkan *powder factor* yang masih tergolong dapat memberai batuan dengan baik dan sesuai standar perusahaan yaitu 0,116 – 0,124 kg/BCM sesuai yang ditampilkan pada Tabel 7.

Tabel 7. Rancangan perhitungan *Powder Factor*.

Isian/ Lubang (kg)	Jumlah Lubang Ledak	Total isian (kg)	Burden (m)	Spasi (m)	Kedalaman (m)	Daya gel (0,182kg/pcs)	Volume (BCM)	<i>Powder Factor</i> (kg/BCM)
42	150	6300	6	7.5	7.5	49,14	50625	0,124
41	140	5740	6	7.5	7.5	45,5	47250	0,121
40	130	5200	6	7.5	7.5	36,4	43875	0,119
39	120	4680	6	7.5	7.5	27,3	40500	0,116

PPV yang dihasilkan dengan isian 42 – 39 kg adalah < 3 mm/s

Kesimpulan

Berdasarkan uraian analisis dan pembahasan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut: Pertama, hasil analisis hubungan antara nilai SD dan PPV aktual yang didapat dari hasil pengukuran getaran di lapangan dan diolah menggunakan analisis regresi *power* dengan bantuan *Microsoft office excel* yaitu, koefisien determinasi (R^2) dari analisis data tersebut menunjukkan nilai 0,558. Hal tersebut menunjukkan bahwa PPV aktual dipengaruhi oleh SD sebesar 55,8% berarti nilai R^2 yang didapatkan melebihi dari 50% dapat dikatakan peledakan yang dilakukan di Pit TSBC PT. Bukit Asam Tbk aman dan tidak mengganggu area perumahan karyawan dengan nilai R^2 yang sedang. Kedua, rekomendasi isian muatan per lubang untuk mengurangi nilai PPV agar di bawah 3 mm/s

- jarak 900, maksimal muatan 34 kg menghasilkan PPV 2,98 mm/s
- jarak 950, maksimal muatan 36 kg menghasilkan PPV 2,83 mm/s
- jarak 1000, maksimal muatan 40 kg menghasilkan PPV 2,84 mm/s
- jarak 1050, maksimal muatan 44 kg menghasilkan PPV 2,83 mm/s

Terakhir, rekomendasi nilai PPV <3 mm/s dengan muatan perlubang maksimal 40 kg mampu menghasilkan *powder factor* yang masih tergolong dapat memberai batuan dengan baik dan sesuai standar perusahaan yaitu 0,116 – 0,124 kg/BCM.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih ditujukan kepada PT Bukit Asam, Tbk sebagai penyedia data pada penelitian ini.

Daftar Pustaka

- Instantel. 2009. *8-Channel Blastmate III™ and Minimate Plus™ Multi-sensor Vibration and Overpressure Monitors*.
<https://cdn.thomasnet.com/ccp/10019814/103446.pdf>
- Carlos, L.J., Emilio, L.J., Francisco, J.A.C., and Yvonne Visser de, R. 1987. *Drilling and Blasting of Rocks* (1st ed.). London: Routledge.
<https://doi.org/10.1201/9781315141435>
- Keputusan Menteri ESDM Nomor 1827K/30/MEM/2018. 2018. Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia tentang Pedoman Pelaksanaan Kaidah Teknik Pertambangan yang Baik.
<https://bdtbt.esdm.go.id/wp-content/uploads/2019/12/Keputusan-Menteri-ESDM-Nomor-1827-K-30-MEM-2018.pdf>
- Maryura, R., Toha, M. and Sudarmono, D. 2014. *Kajian Pengurangan Tingkat Getaran Tanah (Ground Vibration Level) pada Operasi Peledakan Interburden B2-C Tambang Batubara Air Laya PT. Bukit Asam (Persero), Tbk Tanjung Enim*. Jurnal Ilmu Teknik Sriwijaya. 2(1), pp. 103329.
- Rudini. 2013. *Analisis Ground Vibration*

- pada Peledakan Overburden di Panel 4 Pit J PT. Kaltim Prima Coal, Sangatta, Kalimantan Timur.* Thesis, UPN "Veteran" Yogyakarta. <http://eprints.upnyk.ac.id/2555/1/Abstrak%20Rudini%20%28112080040%29.pdf>
- SNI 7571:2010. 2010. *Baku Tingkat Getaran Peledakan pada Kegiatan Tambang Terbuka terhadap Bangunan.* Jakarta: Badan Standardisasi Nasional. http://repository.trisakti.ac.id/webopac_usaktiana/digital/000000000000000075787/2016_TA_TB_07308039_LAMPIRAN.pdf
- Tjan K.S., Hartami. P.N. and Purwiyono, T.T. 2021. *Analisis Pengaruh Kelembapan Lubang Ledak Terhadap Fumes Hasil.* Indonesian Mining and Energy Journal. 3(1), pp. 28 – 35. <https://e-journal.trisakti.ac.id/index.php/imej/article/view/9184>
- Yin, Z., Hu, Z., Wei, Z., Zhao, G., Hai-feng, M., Zhang, Z. and Feng, R. 2018. *Assessment of Blasting-Induced Ground Vibration in an Open-Pit Mine under Different Rock Properties.* Advances in Civil Engineering, 2018(4603687) 10 pages. <https://doi.org/10.1155/2018/4603687>