

Kajian Teknis Perencanaan Desain Peledakan Untuk Mengurangi Getaran

Tanah di PT Pamapersada Nusantara Site PT Bukit Asam Tbk

Study Of Blast Design Technical To Minimize Ground Vibration At PT Pamapersada Nusantara Site PT Bukit Asam Tbk

Rosihan Pebrianto ^{1*}, Satriya Wibowo ¹, Alek Al Hadi ¹

¹Jurusan Teknik Pertambangan, Universitas Sriwijaya

* Korespondensi E-mail : rosihanpebrianto@ft.unsri.ac.id

Abstrak

Salah satu dampak kegiatan pengeboran dan peledakan adalah getaran tanah. Batas nilai PPV menurut SNI adalah 5 mm/s untuk bangunan dengan pondasi, pasangan bata dan adukan semen. Rata – rata nilai PPV yang didapat pada kegiatan peledakan di Pit TSBC adalah sekitar 2 mm/s. Masyarakat mengeluh terkait efek getaran tanah tersebut. Menurut mereka tingkat getaran tanah tersebut masih terasa dan dikhawatirkan dapat merusak bangunan. Oleh karena itu, PT Bukit Asam Tbk mengeluarkan aturan nilai PPV ≤ 1 mm/s untuk peledakan didekat perumahan warga. Tujuan penelitian ini adalah untuk membuat rancangan geometri peledakan berupa penentuan ukuran burden dan spasi, ketebalan stemming, jumlah bahan peledak maksimum, konfigurasi delay, dan perkiraan hasil fragmentasi untuk jarak peledakan sekitar 800 m dengan nilai PPV ≤ 1 mm/s. Metode penelitian ini menggunakan metode penelitian kuantitatif dengan cara melakukan observasi, pengumpulan dan pengolahan data, pengujian hasil data, dan membuat desain rancangan peledakan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai PPV dapat diprediksi menggunakan persamaan dari regresi non-linear power. Desain geometri peledakan untuk mendapatkan nilai PPV ≤ 1 mm/s adalah dengan menggunakan metode presplit, dengan rentan spasi 6 – 7,5 m, burden 5 – 6,5 m dan jumlah bahan peledak maksimum 24-40 Kg/Lubang.

Kata kunci: Desain Peledakan, Getaran Tanah, dan Bahan Peledak

Abstract

The impacts of drill and blast activities is ground vibration. A limit of PPV according to SNI is 5 mm/s for buildings with foundations, masonry and cement. The average PPV in this blasting activity is 2 mm/s. The community is complain that level of ground vibration produced was still felt and worried damage the building. So, PT Bukit Asam Tbk has made a regulation of the ground vibration is ≤ 1 mm/s for blasting in the near houses. The purpose of this study is to make a blast design geometry form burden, spacing, and stemming, weight of explosives maximum, , delay configuration, and estimate of the fragmentation in 800m by PPV ≤ 1 mm/s. This research method uses quantitative research methods by observing, collecting and processing data, testing data results, and making blast designs. The results show that the PPV value can be predicted using the equation of non-linear power regression. The design of the blasting geometry to obtain a PPV value of ≤ 1 mm/s is by using a presplit method, with a vulnerable space of 6 – 7.5 m, a burden of 5 – 6.5 m, and a maximum of explosives is 24-40 Kg/hole.

Keywords: Blast Design, Ground Vibration, and Explosives.

Pendahuluan

Penambangan batubara adalah salah satu sektor penting dalam industri pertambangan di Indonesia. Provinsi Sumatera Selatan menjadi salah satu daerah yang memiliki sumber daya batubara paling banyak dengan nilai sumber daya sekitar 50,2 miliar ton. Sumber daya batubara tersebut mengalahkan provinsi-provinsi lain seperti Kalimantan Timur yang memiliki sumber daya sekitar 48,2 miliar ton dan Kalimantan barat yang memiliki sumber daya sekitar 22,8 miliar ton (Andrea, 2020). Adapun target produksi PT Pamapersada Nusantara Distrik MTBU site PT Bukit Asam Tbk adalah

sekitar 118.250.000 BCM Overburden dan 16.000.000 Ton Batubara pada tahun 2024.

Kegiatan pemboran dan peledakan diperlukan untuk memberai material agar memudahkan dalam kegiatan penggalian. Namun, selain menghasilkan dampak positif dalam meningkatkan produktivitas salah satu dampak negatif kegiatan pemboran dan peledakan yang dilakukan di Pit TSBC Bagian Enim Timur PT Pamapersada Nusantara Distrik MTBU Site PT Bukit Asam Tbk adalah Getaran Tanah. Nilai ambang batas peak particle velocity (PPV) menurut SNI 7571 Tahun 2010 untuk bangunan kuno adalah 2 mm/s dan Bangunan dengan pondasi, pasangan bata dan adukan semen adalah 5 mm/s. Adapun nilai rata rata PPV yang

didapatkan dari aktivitas penambangan yang dilakukan adalah sekitar 2 mm/s (Imelda, 2022).

Masyarakat disekitar area tambang memberikan keluhan terkait aktivitas kegiatan pengeboran dan peledakan yang dilakukan oleh PT Pamapersada Nusantara di Pit TSBC. Masyarakat menganggap tingkat getaran tanah yang dihasilkan selama ini masih terasa dan dikhawatirkan bangunan perumahannya akan retak akibat seringnya terkena efek dari getaran tanah. PT Bukit Asam Tbk kemudian mengeluarkan aturan ambang batas dari PPV hasil peledakan untuk wilayah kerja di dekat pemukiman warga adalah ≤ 1 mm/s. Oleh karena itu, Kajian Teknis Perencanaan Desain Peledakan untuk Mengurangi Getaran Tanah di PT Pamapersada Nusantara Site PT Bukit Asam Tbk perlu untuk dilakukan supaya mendapatkan desain dengan nilai PPV ≤ 1 mm/s.

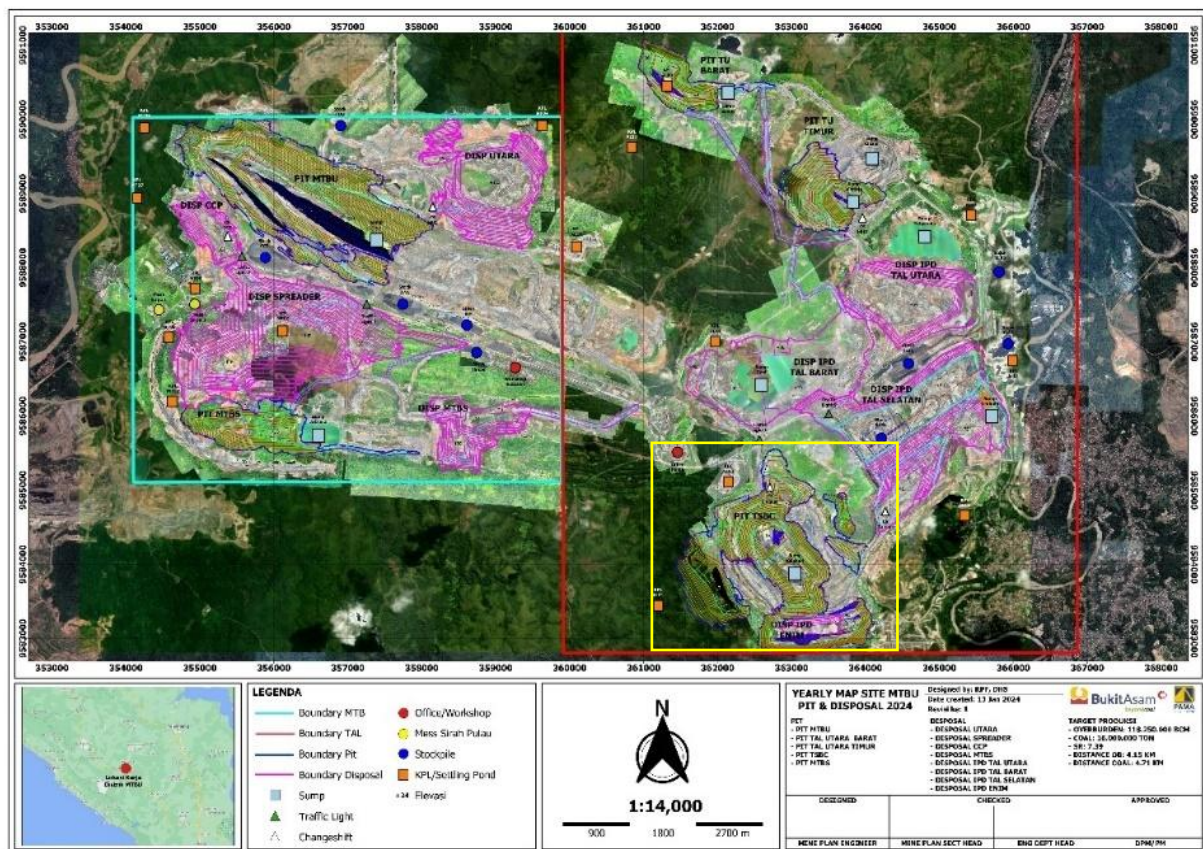
Penelitian ini bertujuan untuk membuat rekomendasi rancangan geometri peledakan

berupa penentuan ukuran burden dan spasi, jumlah bahan peledak maksimum, ketebalan stemming, konfigurasi delay, dan perkiraan hasil fragmentasi untuk jarak peledakan sekitar 800 m dengan syarat nilai PPV yang dihasilkan ≤ 1 mm/s. Adapun hasil yang akan didapatkan dari penelitian ini adalah rumus persamaan dan konstanta untuk memperkirakan nilai PPV yang dihasilkan pada setiap lapisan di elevasi tertentu dan rekomendasi desain peledakan yang dapat digunakan.

Metode

A. Waktu dan Tempat Pelaksanaan

Penelitian dimulai pada tanggal 18 April 2024 sampai 14 Juni 2024 dan berlokasi di PT Pamapersada Nusantara Distrik MTBU Pit TSBC site PT Bukit Asam Tbk. Tanjung Enim, Kabupaten Muara Enim, Provinsi Sumatera Selatan. Gambar 1 berikut adalah titik lokasi penelitian dilakukan.



Gambar 1. Lokasi Penelitian

B. Kondisi Lapangan

Aktivitas penambangan di Pit TSBC PT Pamapersada Nusantara Site PT Bukit Asam Tbk dimulai dari kegiatan *landclearing*, *removal top soil*, *drill and blasting*, *removal overburden*, dan *coal getting*. Kegiatan *drill and blasting* dilakukan agar mempermudah proses penggalan dan

pemuatan lapisan *overburden*. Menurut data dari departemen geoteknik PT Bukit Asam Tbk, Jenis batuan yang ada di Pit TSBC berturut turut, yaitu: *sandy claystone*, *tuffaceous sandstone*, *siltstone*, *Siltstone with intercalated sandstone*, dan *sandstone*. Adapun berikut adalah data densitas,

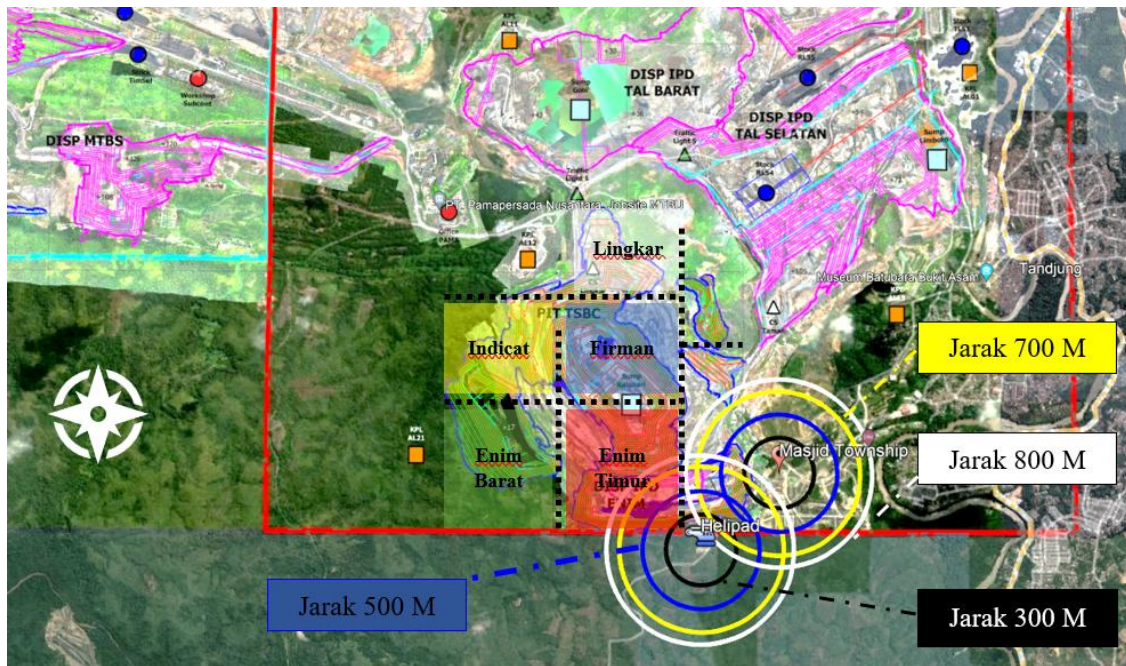
dan kekerasan dari lapisan batuan tanah penutup di Pit TSBC (Tabel 1).

Tabel 1. Data Geotek Lapisan OB Pit TSBC

Jenis Lapisan	Densitas t/m ³	UCS (Mpa)	
		Qu	E
Top Soil	2,01		
A1 Elevasi 5 s/d -15	2,03	15	18
A1 Elevasi -15 s/d -35	2,07	19	36

A1 Elevasi -35 s/d -55	2,13	64	112
BC Elevasi -30 s/d -55	2,17	66	85
BC Elevasi -55 s/d -70	2,30	169	180

Berdasarkan pengamatan, jarak terdekat dari rencana peledakan pada kegiatan penambangan tahunan dengan Masjid Township dan Helipad adalah sekitar 800 meter (Gambar 2).



Gambar 2. Peta Situasi Pit TSBC

Kegiatan pengeboran di Pit TSBC Bagian Enim menggunakan alat bor Sandvik D245S. Alat bor Sandvik D245S menggunakan metode pengeboran *rotary* untuk membuat sebuah lubang ledak. Alat bor ini dilengkapi sebuah mata bor jenis *tricone* ukuran 6 ¾ Inchi atau sekitar 171,45 mm dan dapat membuat lubang dengan kedalaman maksimal sekitar 8 m. Alat bor Sandvik D245S dapat melakukan pengeboran lubang rata rata sekitar 70 m/jam. Pola yang digunakan adalah pola pemboran selang-seling dengan arah vertikal. Adapun berikut adalah tabel 2 tentang geometri aktual dan tahapan-tahapan aktivitas *drilling and blasting* yang dilakukan di Pit TSBC PT Pamapersada Nusantara Site PT Bukit Asam Tbk.

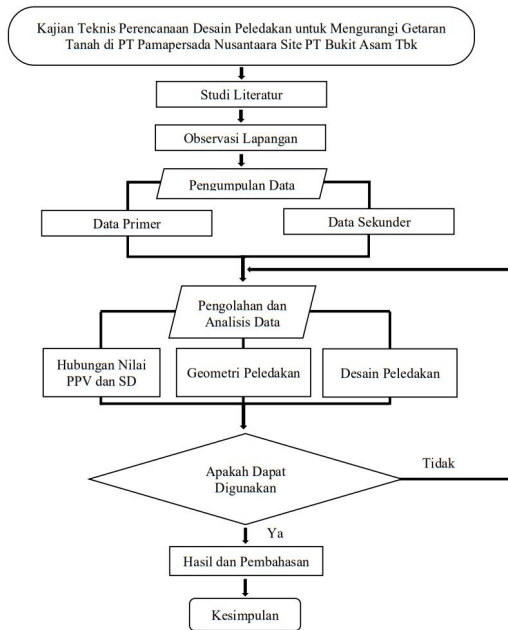
Tabel 2. Rancangan Geometri Lubang Ledak

Geometri	Ukuran
Diameter	171,45 mm / 6 ¾ Inchi
Kedalaman	6-8 meter
Burden	6-7 meter
Spasi	7-8 meter

Pada kegiatan peledakan, PT Pamapersada Nusantara menggunakan pola peledakan *echelon* dan *boxcut*. Adapun *surface delay* yang tersedia untuk melakukan kegiatan peledakan adalah *delay* 109 ms, 67 ms, dan 42 ms dengan *inhole delay* 500 ms, 3000 ms, dan 6000 ms. Bahan peledak yang digunakan adalah ANFO dengan densitas 0,8 gr/cc. Jenis primer yang digunakan adalah jenis dayagel 180 gram.

C. Tahapan Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode penelitian kuantitatif dengan cara melakukan perhitungan data primer dan data sekunder yang diperoleh di lapangan. Pengolahan data-data tersebut dilakukan untuk menyelesaikan akar permasalahan, dimana tingkat getaran tanah yang dihasilkan wajib ≤ 1 mm/s. Adapun tahapan penelitian yang dilakukan, yaitu : studi literatur, orientasi lapangan, pengambilan data, pengolahan data, analisis, dan pembuatan rekomendasi. Berikut adalah diagram alir dari tahapan penelitian yang dilakukan (gambar 3).



Gambar 3. Bagan Alir Penelitian

Hasil dan Pembahasan

Perencanaan desain peledakan untuk mendapatkan nilai getaran tanah ≤ 1 mm/s, membutuhkan 3 parameter utama dalam penentuannya. Parameter yang pertama adalah penentuan hubungan nilai PPV dan *Scale Distance* agar mendapatkan nilai konstanta K dan b yang tepat sebagai acuan dalam menentukan perkiraan nilai PPV dan jumlah bahan peledak maksimum dengan baik. Selanjutnya adalah parameter yang kedua, melakukan penentuan ukuran geometri dan desain peledakan agar mendapatkan konfigurasi ukuran *burden*, *spasi*, *stemming*, dan waktu tunda yang tepat dengan hasil perkiraan fragmentasi yang baik. Terakhir adalah parameter untuk membuat desain peledakan pada jarak 800 m berdasarkan kedua parameter sebelumnya, sehingga didapatkan desain peledakan yang optimal berdasarkan hasil dari perhitungan pada dua parameter sebelumnya. Adapun persamaan dalam penentuan prediksi nilai PPV untuk melakukan perencanaan desain peledakan pada penelitian ini adalah berikut:

$$PPV = K \times SD^{-b} \quad (1)$$

$$SD = d / (w^{0.5}) \quad (2)$$

Keterangan:

PPV : *Peak particle velocity* (mm/s)

SD : *Scale Distance*

K,b : Konstanta dari kondisi lokal dan peledakan

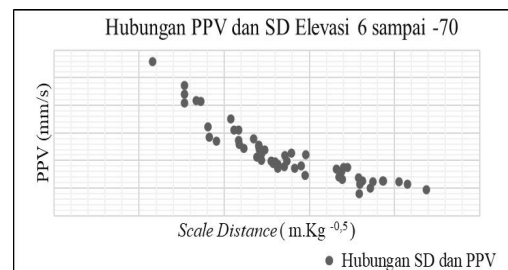
d : Jarak peledakan terhadap pengamatan (m)

w : Muatan bahan peledak per *delay* (Kg)

Berdasarkan persamaan (1) diatas, terdapat 4 variabel utama yang diperlukan dalam menentukan hasil perhitungan dari nilai PPV. Dua variabel berupa *scale distance* dan PPV akan didapatkan dengan cara melakukan pengukuran langsung dilapangan. Pengukuran tersebut menggunakan alat ukur getaran *blasmate*. Sedangkan dua variabel berupa nilai K dan b akan didapatkan dengan cara membuat analisis terkait hubungan antara nilai PPV dan SD. Berikut adalah pembahasan tentang hubungan antara nilai PPV dan SD agar mendapatkan nilai konstanta K dan b sebagai bahan perkiraan dalam perhitungan nilai PPV yang dihasilkan dan penentuan dalam penggunaan jumlah bahan peledak maksimum.

1. Nilai PPV Terhadap Nilai *Scale Distance*

Hubungan nilai *Peak Particle Velocity* (PPV) terhadap nilai *Scale Distance* (SD) dapat ditentukan dengan cara melakukan pengukuran getaran dilapangan dengan menggunakan alat ukur getaran jenis *blastmate*. Hasil pengukuran ini kemudian akan di-*plotting* kedalam bentuk grafik menggunakan *software excel* sebagai gambar 4 berikut. Pengumpulan data ini diperlukan untuk mencari persamaan dalam menentukan prediksi nilai PPV yang akan didapatkan pada percobaan berikutnya.

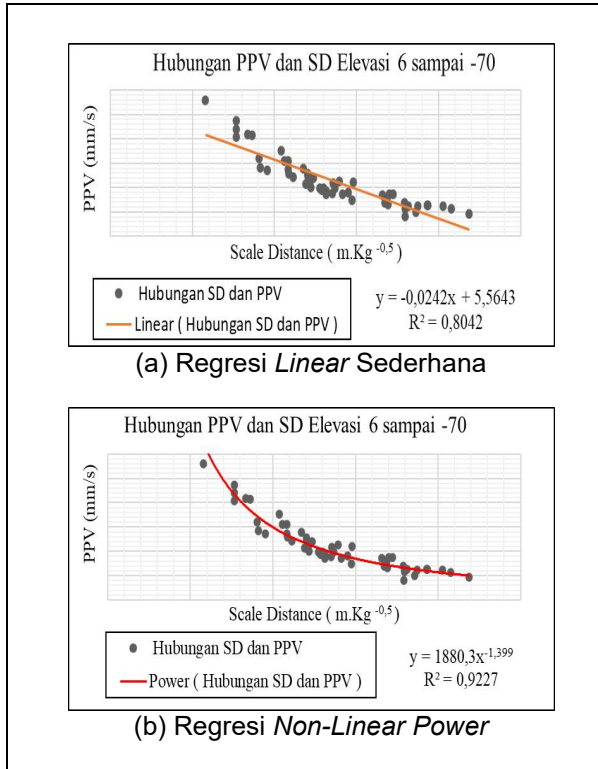


Gambar 4. Grafik Hubungan PPV dan SD

Pada gambar diatas, dapat diketahui persebaran dari populasi *plot-plot* hubungan nilai PPV dan SD yang ada di Pit TSBC. Dalam penentuannya rumus persamaan nilai PPV dan SD, *plot-plot* tersebut perlu untuk dilakukan analisis menggunakan hasil analisis persamaan regresi dari hubungan nilai PPV dan SD.

a. Analisis Hubungan PPV dan *Scale Distance*

Analisis hubungan nilai PPV terhadap *Scale Distance* dapat dilakukan dengan menggunakan beberapa persamaan regresi seperti persamaan regresi *linear* sederhana dan persamaan regresi *non-linear power*. Analisis hubungan nilai PPV terhadap SD menggunakan persamaan regresi akan mendapatkan hasil berupa grafik, persamaan, dan koefisien determinasi. Gambar 5 berikut adalah hasil dari grafik analisis regresi data yang telah dikumpulkan selama penelitian.



Gambar 5. Grafik Analisis Persamaan Regresi.
(a) *Linear* Sederhana, (b) *Non-Linear Power*

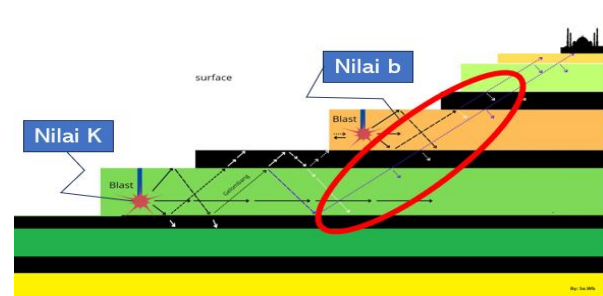
Hasil analisis menggunakan regresi *linear* sederhana menunjukkan nilai koefisien determinasi 0,8042 yang artinya memiliki interpretasi hubungan yang kuat. Sedangkan, hasil analisis menggunakan regresi *non-linear power* menunjukkan nilai koefisien determinasi yang lebih tinggi, yaitu 0,9227 yang artinya memiliki interpretasi hubungan sangat kuat.

Kesimpulan dari kedua persamaan regresi diatas didapatkan bahwa persamaan yang menggunakan regresi *non-linear power* mendapatkan nilai koefisien determinasi tertinggi dan apabila dilihat dari garis trendline yang dihasilkan maka garis yang dihasilkan lebih mengikuti bentuk dari plot-plot nilai PPV dan SD. Oleh karena itu, Penggunaan analisis regresi *non-linear power* sebagai penentu nilai konstanta K dan b dapat dipilih.

b. Penentuan Nilai Konstanta K dan b

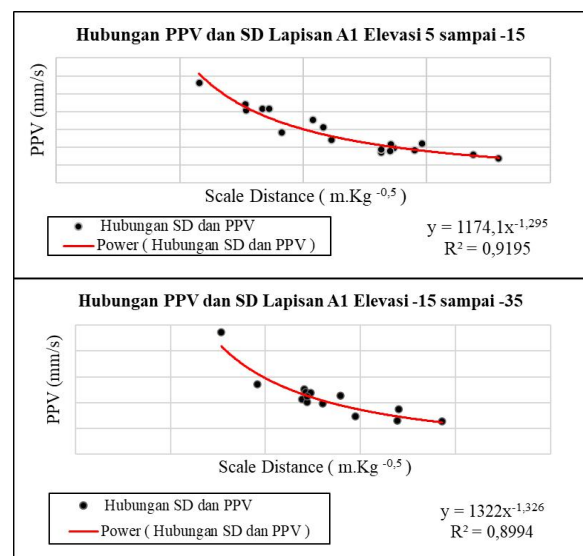
Secara umum, kecepatan gelombang seismik meningkat seiring dengan kedalaman dan jenis lapisan di dalam bumi. Perubahan dalam sifat material pada lapisan lapisan tersebut dipengaruhi oleh tekanan dan suhu yang meningkat seiring dengan kedalaman (Kennet.dkk,1995). Setelah mendapatkan persamaan regresi yang paling baik dalam memperkirakan hasil hubungan PPV dan SD. Maka, data perlu untuk dikelompokkan mulai dari jenis lapisan batuan hingga rentan elevasinya.

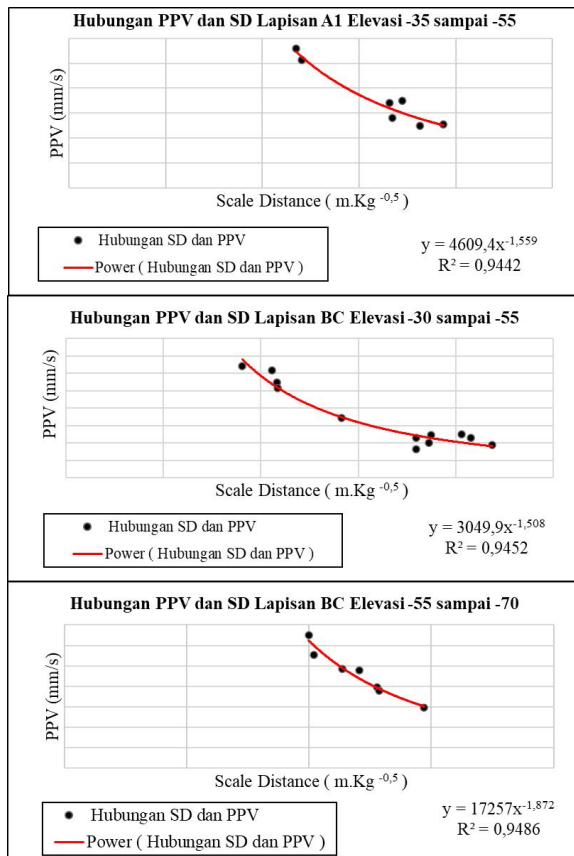
Pengelompokan data ini perlu untuk dilakukan karena terdapat perbedaan lapisan yang ada pada setiap rentan elevasinya. Perbedaan ini mengakibatkan kecepatan seismik yang berbeda dengan tingkat hambatan yang berbeda pula pada setiap lapisannya. Hasil yang akan didapatkan dari pengelompokan ini adalah persamaan untuk mendapatkan nilai konstanta K dan b. Dimana nilai konstanta K adalah faktor reaksi getaran yang timbul dari bahan peledak terhadap lapisan batuan dan nilai b adalah faktor hambatan pada batuan asal peledakan hingga ketempat pengukuran. Gambar 6 berikut adalah ilustrasi dari gerak rambat gelombang seismik yang dihasilkan.



Gambar 6. Ilustrasi gerak gelombang seismik

Berdasarkan ilustrasi gambar diatas, jenis lapisan tanah penutup batubara di Pit TSBC bagian Enim Timur terdapat lima lapisan. Adapun lapisan yang diamati pada penelitian ini adalah lapisan A1 dan BC yang terdiri dari material *Tuffaceous Sandstone* dan *Siltstone*, dengan rentan elevasi dari 6 sampai -70 Mdpl. Garis trendline pada regresi mengalami penurunan seiring bertambah nilai scale distance, penurunan ini terjadi karena adanya bidang diskontinuitas antar lapisan. Gambar 11 berikut adalah grafik dalam menentukan nilai konstanta dari setiap elevasi dan lapisan.





Gambar 7. PPV dan SD Per Elevasi

Dari data persamaan grafik *non-linear power* diatas (Gambar 7), maka didapatkan nilai koefisien K dan b sebagai Tabel 3 berikut.

Tabel 3. Nilai Koefisien K dan b

Lapisan	Elevasi	K	B
Lapisan A1	5 s/d -15	1174,1	-1,295
Lapisan A1	-15 s/d -35	1322,0	-1,326
Lapisan A1	-35 s/d -55	4609,4	-1,559
Lapisan BC	-30 s/d -55	3049,9	-1,508
Lapisan BC	-55 s/d -70	17257,0	-1,872

Tabel diatas menunjukkan nilai konstanta K dan B yang didapatkan dari pengelompokan berdasarkan lapisan di elevasi tertentu. Nilai konstanta K menunjukan nilai yang semakin

meningkat seiring bertambahnya kedalaman lapisan. Adapun nilai konstanta b bernilai negative menunjukan nilai pereduksian getaran oleh lapisan pada rentan elevasi tertentu, nilainya akan semakin meningkat seiring bertambahnya kedalaman karena lapisan tersebut.

c. Pengujian Hasil Prediksi dan Aktual PPV

Nilai konstanta yang didapatkan perlu untuk dilakukan pengujian agar dapat digunakan sebagai bahan perkiraan nilai PPV. Perhitungan nilai PPV dilakukan dengan menggunakan variabel Y sebagai PPV dan X sebagai *Scale Distance*. Adapun untuk melakukan pengukuran getaran menggunakan *blasmate*. Hasil perkiraan PPV dan aktual yang didapatkan dari percobaan menggunakan nilai konstanta diatas adalah sebagai tabel 4 berikut ini.

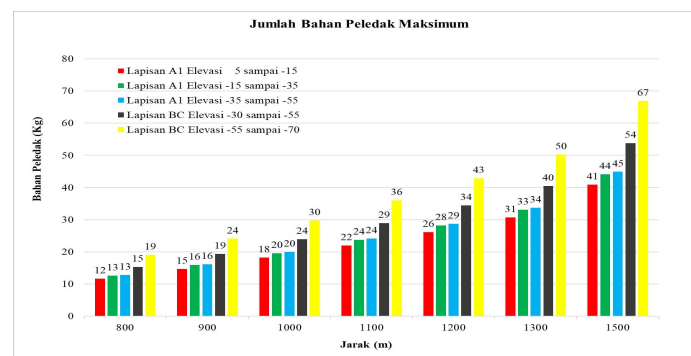
Tabel 4. Hasil Perkiraan dan Aktual Getaran

Lapisan dan Elevasi	Perkiraan (mm/s)	Aktual (mm/s)	Deviasi
A1 Elevasi -11	1,286	1,146	12%
A1 Elevasi -30	1,328	1,199	11%
A1 Elevasi -41	1,547	1,397	11%
BC Elevasi -61	1,001	1,063	6%
BC Elevasi -45	1,087	0,958	13%

Hasil penggunaan nilai konstanta ini dapat dikategorikan berhasil karena didapatkan hasil yang mendekati aktual. Perkiraan ini memiliki tingkat deviasi rata rata hingga sekitar 16%. Oleh karena itu, nilai konstanta K dan b sesuai tabel 3 dapat digunakan sebagai penentuan PPV.

d. Jumlah Bahan Peledak Maksimum

Berdasarkan tabel 3 tentang nilai koefisien lapisan batuan pada setiap rentan elevasinya. Hasil dari perhitungan berdasarkan persamaan (2) menunjukkan bahwa semakin jauh jaraknya, maka jumlah bahan peledak maksimum semakin besar. Pada gambar dibawah ini (Gambar 8) adalah rekomendasi dalam penggunaan jumlah bahan peledak maksimum agar mendapatkan nilai $PPV \leq 1 \text{ mm/s}$ dengan rentan jarak mulai dari 800-1500 m pada setiap lapisan di elevasi.



Gambar 8. Jumlah Bahan Peledak Maksimum

Nilai Jumlah bahan peledak maksimal yang dapat digunakan berdasarkan grafik di atas menunjukkan jumlah yang semakin besar sesuai kedalaman, kekerasan, dan jarak. Semakin dalam dan keras lapisan batuan yang akan diledakan serta semakin jauh jaraknya, maka jumlah maksimum untuk mendapatkan tingkat getaran yang sama akan semakin besar.

2. Geometri Peledakan dan Desain Peledakan

a) Penentuan *Burden* dan *Spasi*

Berdasarkan metode perhitungan dari RL Ash, CJ Konya dan ICI *Explosive*, hasil perhitungan dalam menentukan geometri peledakan berupa *Burden* dan *Spasi* adalah sebagai tabel 5 berikut (Suwandi,2009):

Tabel 5. Rekomendasi Ukuran *Burden* dan *Spasi*

Lapisan dan Elevasi	Geometri	Metode Perhitungan (m)		
		RL Ash	CJ Konya	ICI Explosive
Lapisan A1 Elevasi 5 s/d -15	<i>Burden</i>	6	4,7	4 – 7
	<i>Spasi</i>	6 – 10	5	4 – 10
Lapisan A1 Elevasi -15 s/d -35	<i>Burden</i>	6	4,7	4 – 7
	<i>Spasi</i>	6 – 10	5	4 – 10
Lapisan A1 Elevasi -35 s/d -55	<i>Burden</i>	5	4,6	4 – 7
	<i>Spasi</i>	5 – 9	4,9	4 – 10
Lapisan BC Elevasi -30 s/d -55	<i>Burden</i>	5	4,6	4 -7
	<i>Spasi</i>	5 – 9	4,9	4 – 10
Lapisan BC Elevasi -55 s/d -70	<i>Burden</i>	5	4,5	4 – 7
	<i>Spasi</i>	5 – 9	4,8	4 – 10

b) Penentuan Ketebalan *Stemming*

Kajian dari *Scale Depth of Burial* menurut *Blasting Analysis International* pada tahun 2008 menunjukkan bahwa semakin sedikit *stemming*, maka akan semakin tidak terkontrolnya ledakan dan mengakibatkan *airblast* yang sangat kuat. Apabila *stemming* yang diberikan terlalu banyak, maka energinya tidak cukup untuk memberai batuan. Panjang rasio isian bahan peledak dan *stemming* berdasarkan hasil perhitungan sebagai tabel 6 Berikut:

Tabel 6. Hasil Perhitungan *Scale Depth of Burial*

D mm	L m	PC m	T m	LD Kg/m	SDB	Keterangan
171	7	3	4	18,52	1,53	Very Controlled Energy
171	7	4	3	18,52	1,22	Controlled Energy

Dari Tabel 6 diatas, dapat diketahui bahwa nilai SDB yang menunjukkan rasio penggunaan *stemming* yang baik untuk diameter lubang 171 mm dan panjang lubang sebesar 7 m adalah dengan menggunakan rentan *stemming* lebih dari 2 m dan kurang dari 5 m. Penggunaan *stemming* yang terlalu pendek akan mengakibatkan energi dari bahan peledak tidak terkontrol dan berhamburan, Sedangkan dalam penggunaan yang terlalu panjang maka energi yang ada akan terperangkap dan tidak mampu untuk memberai batuan.

Supaya energi peledakan tetap dalam keadaan optimal dengan jumlah bahan peledak yang lebih sedikit. Penggunaan metode *decking* perlu untuk diimplementasikan. Ada beberapa cara untuk menggunakan metode *decking* agar hasil energi tetap terkontrol, salah satunya adalah menggunakan *double deck*. Fungsi dari penggunaan metode ini adalah untuk memperkecil getaran dan mendapat fragmentasi yang baik dengan energi yang terkontrol.

c) Konfigurasi Waktu Tunda

Penentuan konfigurasi *surface delay* menggunakan landasan teori John Floyd. Tabel 7 berikut adalah hasil perhitungan dari penggunaan konfigurasi delay dengan parameter terbaik disitiap indikatornya.

Tabel 7. Konfigurasi *Surface Delay*

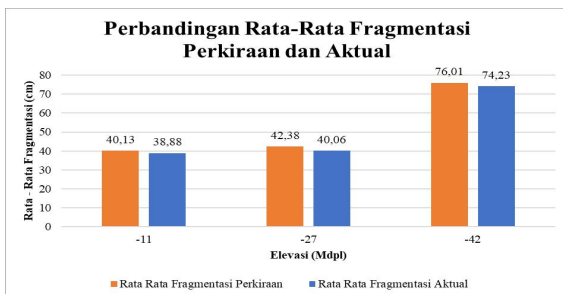
B m	S M	<i>Surface Delay</i>		Nilai Delay ms/m
		<i>Interhole</i>	<i>Interrow</i>	
7,0	8,0	109 ms	67 ms	16,56
		109 ms	42 ms	15,21
6,5	7,5	109 ms	67 ms	17,73
		109 ms	42 ms	16,38
6,0	7,0	109 ms	67 ms	19,09
		109 ms	25 ms	15,74
5,5	6,5	109 ms	42 ms	17,73
		109 ms	67 ms	20,67
5,0	6,0	109 ms	17 ms	16,13
		109 ms	25 ms	17,16
		109 ms	42 ms	19,33
		109 ms	67 ms	22,53

Konfigurasi *surface delay* pada tabel diatas menunjukkan konfigurasi waktu tunda paling optimal dengan parameter *best fragmentation*, *ground vibration minimize*, *air blast minimize*, *flyrock controller*, and *limit bacbreak*. Semakin besar nilai delay yang digunakan, maka frekuensi getaran yang akan dihasilkan semakin kecil (John Floyd, 2005). Oleh karena itu, konfigurasi paling aman untuk digunakan pada Pit TSBC adalah 109 ms dan 67 ms.

d) Perkiraan Fragmentasi

Fragmentasi merupakan hasil akhir dari tujuan peledakan. Semakin kecil fragmentasi, maka semakin mudah untuk digali dan dimuat (Wahyu Hidayat, 2020). Apabila penggunaan jumlah bahan peledak dikurangi, maka ukuran fragmentasi akan meningkat dan menghasilkan fragmen yang berukuran relatif lebih besar. Agar mendapatkan fragmentasi yang sama dengan penggunaan bahan peledak sebelumnya, maka perlu untuk melakukan kajian supaya mendapatkan perhitungan yang tepat sebagai prediksi penentuan desain.

Semakin kecil jarak antara *burden* dan *spasi* yang digunakan dengan menggunakan jumlah bahan peledak yang sama maka fragmentasi yang dihasilkan akan semakin kecil dan apabila lapisan dari suatu batuan semakin dalam dan memiliki tingkat kekerasan yang bertambah keras, maka fragmentasinya akan semakin besar (Cunningham, 2005). Pada penelitian ini, rentan nilai faktor batuan yang digunakan adalah 3,3 – 6,3 tergantung jenis lapisan dan elevasinya, selanjutnya untuk nilai RWS ANFO yang digunakan adalah 100, dan ukuran geometrinya menyesuaikan desain yang digunakan untuk melakukan perhitungan. Hasil dari beberapa percobaan di lapangan secara langsung didapatkan hasil perkiraan dan aktual yang dapat dilihat pada Gambar 9 berikut ini.



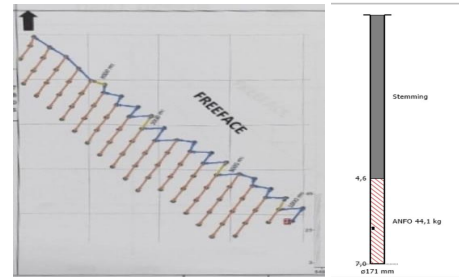
Gambar 9. Hasil Perkiraan dan Aktual Fragmentasi

Hasil percobaan menunjukkan selisih yang tidak terlalu jauh antara perkiraan dan aktual. Rata rata dari persentase tingkat deviasi yang didapatkan dari hasil perkiraan fragmentasi ini adalah hingga 12%. Sehingga, perhitungan dapat digunakan untuk melakukan perkiraan.

3. Rekomendasi Desain untuk Jarak 800 m

Peledakan akan dikatakan baik apabila fragmentasi dari hasil peledakan tersebut merata, tidak terjadi *misfire*, dan terkendalinya *flyrock*, *airblast*, dan getaran tanah. Berdasarkan penelitian sebelumnya, Posisi IP yang menghadap ke arah tempat pengukuran menunjukkan hasil getaran yang lebih kecil daripada yang membelakangi (Hani Sari. dkk, 2020). Oleh karena itu, dalam desain peledakan

ini lubang ledak yang dekat dengan area masjid atau rumah warga diledakan terlebih dahulu agar membentuk bidang diskontinuitas (*freeface*) yang baru dan menghasilkan getaran yang seminim mungkin. Gambar 10 berikut adalah contoh desain yang digunakan di Pit TSBC dengan total lubang 85 dengan burden 7 m, spasi 8 m, kedalaman 7 m, diameter 6 ¾ Inchi dan jumlah bahan peledak 45 Kg system singledeck, dan jarak pengukuran kurang lebih 1200 m dari Masjid Township.



Gambar 10. Blast Design System Single Deck

Dari desain pada gambar 10 diatas, didapatkan hasil aktual dan perkiraan dari nilai *peak particle velocity* sebagai tabel 8 berikut:

Tabel 8. Perbandingan Perkiraan dan Aktual PPV

Hasil	PPV (mm/s)	Deviasi
Perkiraan	1,42	3 %
Aktual	1,38	

Dari tabel 8 diatas, hasil nilai PPV yang didapatkan sesuai dengan prediksi dengan tingkat deviasi 3%. Desain peledakan tersebut masih belum memenuhi standar kebijakan yang diberikan oleh PT Bukit Asam Tbk. Oleh karena itu, perlu untuk melakukan redesain supaya mendapatkan nilai PPV ≤ 1 mm/s.

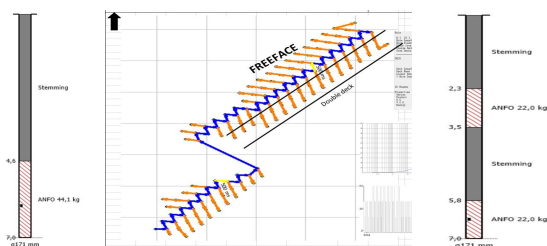
Perencanaan desain peledakan dengan konfigurasi delay yang optimal di setiap parameter, fragmentasi rata-rata kurang dari 50 cm, persentase lebih dari 50% untuk ukuran fragmentasi < 87 cm, energi yang digunakan terkontrol, dan memiliki nilai *powder factor* terkecil, dan nilai PPV kurang dari 1 mm/s pada jarak 800 m adalah sebagai tabel 9 berikut.

Tabel 9. Desain Peledakan Jarak 800 m

Lapisan dan Elevasi	AN FO Kg	B M	S M	L M	D mm	Surface Delay		Deck
						Inter hole	Inter Row	
A1 Elevasi 5 s/d -15	24	6,5	7,5	7,0	171	109 ms	67 ms	Doble Deck
A1 Elevasi -15 s/d -35	25	6,5	7,5	7,0	171	109 ms	67 ms	Doble Deck

A1 Elevasi -35 s/d -55	26	6,5	7,5	7,0	171	109 ms	67 ms	Doble Deck
BC Elevasi -30 s/d -55	32	5,0	6,0	7,0	171	109 ms	67 ms	Doble Deck
BC Elevasi -55 s/d -70	40	5,5	6,5	7,0	171	109 ms	67 ms	Doble Deck

Berdasarkan data dari tabel diatas, penggunaan bahan peledak yang sedikit akan mengurangi *burden* dan *spasi*. Adapun untuk getaran, semakin dalam dan keras, maka bahan peledak yang digunakan bisa semakin besar. Supaya peledakan dapat menghasilkan nilai PPV ≤ 1 mm/s dan mendapatkan hasil fragmentasi yang tetap baik, penggunaan metode peledakan dengan menggunakan lubang *presplit* perlu untuk dilakukan. Metode desain peledakan *presplit* dari penelitian sebelumnya telah menunjukkan bahwa peledak *presplit* dapat mengurangi getaran dan menghasilkan lereng *bench* yang lebih halus (Shungshuang Xiao. dkk, 2019). Penggunaan lubang *presplit* sebelum peledakan utama ini bertujuan membuat *freeface* baru sehingga getaran yang akan dihasilkan dari lubang utama akan dipantulkan dan sisi *bench* untuk *final wall* dapat lebih aman dan rapi. Penggunaan *presplit* untuk mendukung lubang produksi utama ini lebih cocok dan apabila dilihat secara teknis, fragmentasi pada lubang produksi akan tetap terjaga karena tidak mengurangi desain yang telah digunakan. Berikut adalah uji coba perencanaan dengan menggunakan metode desain *presplit* dengan sistem *double deck* pada bagian lubang ledak yang mengarah ke area pemukiman (Gambar 11).



Gambar 11. Blast Design *Presplit Doubledeck*

Berikut adalah hasil perhitungan untuk perkiraan yang didapatkan dalam desain peledakan tersebut (Tabel 10):

Tabel 10. Perkiraan Desain Peledakan *Presplit*

Deck	PF (Kg/M ³)	PPV (mm/s)		Deviasi
		Prediksi	Aktual	
<i>Double</i>	0,14	1,15	1,099	4,6 %
<i>Single</i>	0,14	1,76	0,741	137 %

Hasil perkiraan nilai PPV dari desain peledakan untuk Lapisan A1 Enim pada elevasi - 2 Mdpl dengan menggunakan jumlah bahan peledak 40 Kg, *Burden* 6 meter, spasi 7 meter, kedalaman 7 meter, jarak dari lubang terdekat ke titik ukur sekitar 920 meter. Mendapatkan hasil aktual nilai getaran tanah 1,099 mm/s untuk metode *doubledeck* (Lubang *presplit*) dan 0,741 mm/s untuk lubang produksi (*singledeck*).

Deviasi tingkat getaran tanah yang terjadi pada area peledakan lubang produksi (*single*) terjadi karena adanya bidang *discontinue* yang terbentuk dari hasil peledakan lubang *presplit* (*doubledeck*). Mekanisme peledakan yang dilakukan adalah dengan meledakan terlebih dahulu pada bagian lubang *presplit* yang memiliki jumlah bahan peledak yang sesuai untuk mendapatkan nilai PPV ≤ 1 mm/s. Selanjutnya, setelah terbentuknya bidang *discontinue* maka lubang produksi akan meledak dan menghasilkan PPV yang *relative* lebih kecil dan mendapatkan hasil fragmentasi yang tetap sesuai dengan kegiatan kegiatan pada peledakan sebelumnya.

Kesimpulan

Nilai rata rata PPV yang dihasilkan pada kegiatan peledakan sebelumnya adalah sekitar 2 mm/s. Hubungan nilai antara scale distance dan nilai *peak particle velocity* mendapatkan nilai koefisien determinasi yang sangat kuat pada regresi non-linear power. Hasil nilai konstanta K dan b dipengaruhi oleh jenis lapisan dan elevasinya. Berdasarkan perhitungan jumlah bahan peledak maksimum. Semakin jauh jaraknya dan semakin keras lapisannya, maka jumlah penggunaan bahan peledak maksimum yang dapat digunakan akan semakin besar.

Hasil perencanaan geometri peledakan berupa rentan ukuran *Burden* dan *Spasi* untuk melakukan peledakan di Pit TSBC Bagian Enim Timur adalah dengan *Burden* 4 - 7 m dan *Spasi* 4 - 10 m. Panjang ukuran stemming yang dapat digunakan adalah 2 - 5 meter. Ketebalan dari ukuran stemming mempengaruhi hasil energi yang akan ditimbulkan. Konfigurasi waktu tunda yang dapat digunakan di Pit TSBC adalah dengan menggunakan kontrol 109 ms dan sirip 67 ms. Semakin kecil ukuran *burden* dan *spasi* maka ukuran fragmentasi akan semakin kecil, dan apabila semakin besar ukuran *burden* dan *spasi* maka semakin besar fragmentasinya.

Desain peledakan pada jarak 800 m menggunakan bahan peledak lebih sedikit. Agar mendapatkan nilai PPV ≤ 1 mm/s penggunaan metode peledakan *presplit* dengan system isian *doubledeck* perlu untuk dilakukan. Jumlah bahan peledak maksimum yang dapat digunakan adalah 24 - 40 Kg tergantung pada setiap lapisan per elevasinya. Adapun *burden* dan *spasi* yang

digunakan untuk lapisan A1 adalah 6,5 m x 7,5 m, dan ukuran 5 - 5,5 m x 6 - 6,5 m untuk lapisan BC.

Daftar Pustaka

- Apriani, W., Asof, M., Mukiat. (2019). Dampak Peledakan Overburden Terhadap Keselamatan Kerja di PT Bukit Asam Tbk. *Jurnal Pertambangan*.
- Badan Standarisasi Nasional. (2010). Standar Nasional Indonesia (SNI) 7571:2010 Tata Cara Pemboran dan Peledakan untuk Pertambangan. Jakarta, Indonesia: Badan Standarisasi Nasional.
- Buffham, Brent. (2022). Republished: A Few Timing Concepts John Floyd. Technical Manager of Maxam. Australia.
- Cahyadi, R., Toha, T., Komar, S. (2017). Analisis Korelasi Scaled Distance Terhadap Getaran Tanah pada Operasi Peledakan Batu Kapur PT Semen Baturaja. *Jurnal Teknik Patra Akademika*. 8(2), 26-38
- Feng, Xiating. (2016). Rock Mechanics and Engineering. Institute of Rock and Soil Mechanics. State Key Laboratory of Geomechanics and Geotechnical Engineering. Wuhan: China. 451-460.
- Fitriansyah, Genta., Yuliadi., Marmer, Dwihandoyo. (2016). Evaluasi Getaran Peledakan Berdasarkan Tingkat Peluruhan di PT Dahana Job Site CK KJB Berau Kalimantan Timur. *Prosiding Teknik Pertambangan*. 2(1), 47-56.
- Harsiga, E., and E. P. S. B. T. Tono. (2024). "Technical study of blasting geometry to reduce the level of fragmentation at the Air Laya mine site PT. Bukit Asam, Tbk." IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Vol. 1419. No. 1. IOP Publishing.
- Hidayat, Wahyu. (2020). Evaluasi Geometri Peledakan Terhadap Fragmentasi Hasil Peledakan di Pit M PT Berkat Anugerah Sejahtera Jobsite PT Multi Harapan Utama Kabupaten Kutai Kartanegara Provinsi Kalimantan Timur. *Jurnal Geologi Pertambangan*. 28(2), 14-26.
- Kennet, B. L., England, E. R., Buland, R. (1995). Constraints on seismic velocities in the earth from traveltimes. *Geophysical Journal International*, 122(1), 108-124.
- Lenny., Abrianto Akuan., Irvani. (2016). Evaluasi Pengaruh Tie-Up Peledakan Terhadap Getaran Pada Penambangan Batu Granit PT Mandiri Karya Makmur Di Desa Tanjung Gunung Kecamatan Pangkalanbaru. *Jurnal Mineral*, 1(1). 35-42.
- Lidwina, Andrea. (2020). *Provinsi dengan Jumlah Cadangan Batubara Terbesar*. Katadata.co.id.
- Mahyandra, Aldo., Yulhendra, Dedi. (2020). Analisis Fragmentasi Peledakan Tambang Terbuka Dengan Menggunakan Model Rock Engineering System (RES) di PT XYZ. *Prosiding TPT XXIX Perhapi*.
- Minara, Yulia., Yulhendra, Dedi. (2023). Analisis Pengurangan Getaran Tanah Hasil Peledakan Overburden di Pit Agathis PT Kalimantan Prima Persada. *Jurnal Bina Tambang*. 5(5). 78-88.
- Pratiwi, Imelda., Cahyono, Yudho., Putri, Fairus. (2022). Evaluasi Dampak Getaran Tanah Terhadap Bangunan Pada Aktivitas Peledakan di Pit TSBC PT Bukit Asam Tbk Tanjung Enim, Sumatera Selatan. *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan*.
- Sari, Hani Vinola., Isjudarto, Agustinus., Sidiq, Hidayatullah. (2020). Analisis Pengaruh Pola Rangkaian Peledakan Terhadap Tingkat Getaran Tanah di Quarry Tuban I-IV PT Semen Indonesia (PERSERO) TBK Kab. Tuban Provinsi Jawa Timur. *Mining Insight*. Teknik Pertambangan ITNY. Vol. 01, No. 01, Halaman 63-70.
- Wardhana, F., Toha, M. T., Juniah, R. (2020). Analisis Hasil Getaran Peledakan Menggunakan Bahan Peledak Emulsion. *Jurnal Pertambangan*. 4(1), 37-42.
- Xiao, Shuangshuang., Wang, Hongsheng., Dong, Guowei. (2019). A Preliminary Study on The Design Method for Large-Diameter Deep Hole Presplit Blasting and Its Vibration Isolation Effect. *International Journal of Aerospace Engineering*. Volume 2018. Halaman 1.