

Analisis Pengurangan Getaran Tanah (*Ground Vibration*) Hasil Peledakan *Overburden* Di *Pit* Agathis PT Kalimantan Prima Persada *Jobsite* HJUR, Rantau, Kalimantan Selatan

Yulia Minara^{1*}, Dedi Yulhendra^{1**}

¹Jurusan Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang, Indonesia

*yuliaminara3@gmail.com

**dediyulhendra@ft.unp.ac.id

Abstract. PT Kalimantan Prima Persada is a company engaged in the mining contractor that uses the blasting method. Ground shaking is one of the negative impacts of blasting on the surrounding environment where at a certain level it can cause damage to buildings around the site, especially in Lokpangel Village which is currently located less than 1,100 m. The threshold value for the ground vibration level is 2 mm / s based on the owner standard of PT Bhumi Rantau Energi. Ground vibration measurement data were analyzed using the scaled distance theory to obtain the effect of explosive filling and distance on the resulting ground vibration (PPV). Using the power regression equation approach, it is obtained a prediction of the contents of the explosives within a distance of 1100 meters to be able to meet the established vibration standards. and the value of the coefficient of determination (R²) obtained is 0.526 (53%), so there are still 47% factors outside that can be controlled by certain methods. The vibration reduction method uses the addition of presplitting holes and control of the filling and the V-Cut Blasting Pattern. Based on the scaled distance theory, the prediction of the contents of the explosives was 59.07 kg ANFO. However, because the application of the filling is below the standard, there is no need to reduce it. The use of the fill re-control method and the V-Cut Blasting Pattern has been effective in reducing the impact of ground vibrations to keep it at a predetermined value.

Keywords: blasting, ground vibration, vibration standard, peak particle velocity, scaled distance

1. Pendahuluan

PT Kalimantan Prima Persada merupakan salah satu perusahaan yang bergerak di bidang *Mining Contractor* khususnya tambang batubara. Saat ini PT Kalimantan Prima Persada memiliki beberapa *Jobsite* yang sedang berjalan, salah satunya adalah *Jobsite* HJUR, Rantau, Kalimantan Selatan, Indonesia. Pada *Jobsite* HJUR ini PT Kalimantan Prima Persada berkerja sama dengan *owner* PT Bhumi Rantau Energi yang berada di Desa Shabah, Rantau, Kabupaten Tapin.

Aktivitas penambangan batubara di *Jobsite* HJUR dilakukan dengan menggunakan metode tambang terbuka (*open pit mining*). Sehingga dalam upaya pengambilan bahan galiannya perlu dilakukan kegiatan pembongkaran tanah penutup (*Overburden*). Pada *Jobsite* HJUR memiliki nilai kekerasan batuan penutup yang tinggi mengakibatkan tidak memungkinkan untuk dibongkar langsung (*metode free digging*) ataupun dengan metode *ripping & dozing* sehingga pembongkaran dilakukan dengan menggunakan metode peledakan.

Pada saat peledakan terjadi, tidak semua energi yang dihasilkan digunakan untuk memecahkan batuan. Karena, sebagian energi akan diteruskan pada massa batuan dalam bentuk gelombang yang kemudian dikenal sebagai gelombang seismic. Gelombang

seismic akibat peledakan dirasakan sebagai getaran tanah (*ground vibration*).

Getaran tanah (*ground vibration*) merupakan salah satu dampak negatif peledakan bagi lingkungan sekitar dimana pada tingkat tertentu dapat menyebabkan terjadinya kerusakan struktur bangunan di sekitar lokasi peledakan, terutama perumahan warga pada dusun terdekat yang terletak dari lokasi peledakan dan juga dapat mengganggu kestabilan struktur lereng di sekitar lokasi peledakan.^[4]

PT Kalimantan Prima Persada *Jobsite* HJUR menerapkan nilai ambang batas tingkat getaran tanah yakni sebesar 2 mm/s berdasarkan nilai ambang batas tingkat getaran tanah yang telah disepakati oleh *owner* PT Bhumi Rantau Energi Bersama masyarakat sekitar dan mengacu kepada Standar Nasional Indonesia (SNI) terhadap nilai vibrasi maksimal peledakan yaitu 3 mm/s (berdasarkan kondisi bangunan sekitar area peledakan) yang dapat dilihat pada Tabel 1.^[3]

Tabel 1. SNI 7571:2010 (Baku Tingkat Getaran Peledakan pada Kegiatan Tambang Terbuka terhadap Bangunan)

Kelas	Jenis Bangunan	Peak Vektor Sum (mm/s)
1	Bangunan kuno yang dilindungi Undang-Undang, benda cagar budaya (Undang-Undang No. 6 tahun 1992)	2
2	Bangunan dengan pondasi, pasangan bata dan adukan semen saja, termasuk bangunan dengan pondasi dari kayu dan lantainya diberi adukan semen.	3
3	Bangun dengan pondasi, pasangan bata dan adukan semen diikat dengan slope beton	5
4	Bangunan dengan pondasi, pasangan bata dan adukan semen slope beton, kolom dan rangka diikat dengan ring balk.	7 – 20
5	Bangunan dengan pondasi, pasangan bata dan adukan semen, slope beton, kolom dan diikat dengan rangka baja.	12 – 40

Sumber: BSNi 2010

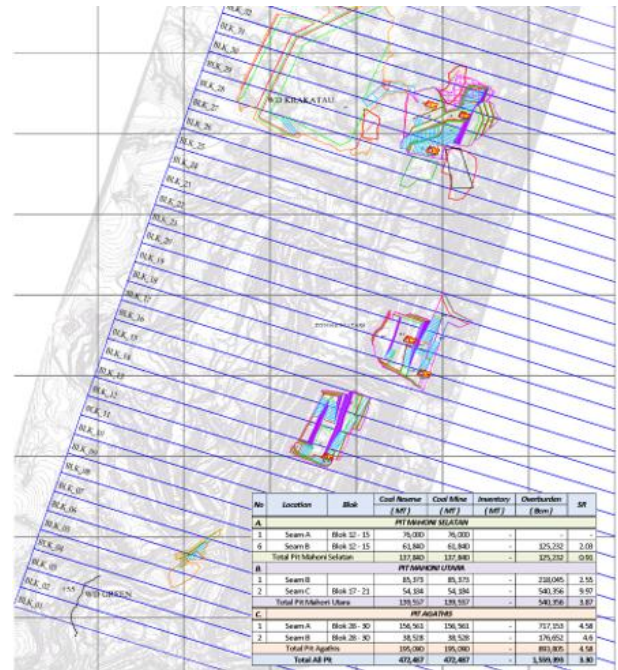
Data rekaman hasil pengukuran *ground vibration* yang dilakukan pada tanggal 13 Juli 2019 – 18 Agustus 2019 di *Pit* Agathis PT Kalimantan Prima Persada *Jobsite* HJUR dengan menggunakan alat *MicromateTM* menunjukkan bahwa dari 23 data yang didapatkan masih terdapat nilai tingkat getaran tanah yang jauh dari standar yang diterapkan yaitu 2 mm/s, dimana getaran tanah maksimal yang dihasilkan mencapai angka 8,931 mm/s, yang menyebabkan masyarakat sekitar lokasi pertambangan melakukan aksi protes terhadap perusahaan karena getaran tanah yang dirasakan cukup tinggi dan dianggap dapat merusak bangunan yang mereka tempati. Getaran tanah pada tingkat tertentu dapat menyebabkan terjadinya kerusakan struktur bangunan di sekitar lokasi peledakan, terutama perumahan warga pada Desa Lokpaikat yang pada saat ini terletak kurang dari 1.100 m dari lokasi peledakan. Seiring kemajuan sequence penambangan pada *pit* Aghatis akan terus bertambah dekat sesuai dengan IUP PT Bhumi Rantau Energi yaitu mencapai 500 m dari Desa Lokpaikat.

2. Lokasi Penelitian

Lokasi wilayah IUP OP (Izin Usaha Pertambangan Operasi Produksi) PT Bhumi Rantau Energi dengan No.1425/30/DJB/2004 yang diterbitkan pada tanggal 1 September 2004. Secara administratif lokasi penambangan PT Kalimantan Prima Persada *Jobsite* HJUR terletak di Desa Sabah, Rantau, Kecamatan Bungur, Kabupaten Tapin, provinsi Kalimantan Selatan. Lokasi kerja PT Kalimantan Prima Persada *Jobsite* HJUR dapat dilihat pada Gambar 1.



(a)



(b)

Sumber: PT Kalimantan Prima Persada

Gambar 1. Map lokasi kerja (a) Peta topografi lokasi kerja (b) PT Kalimantan Prima Persada *Jobsite* HJUR

3. Kajian Teori

3.1 Peledakan

Peledakan merupakan suatu upaya yang dilakukan perusahaan untuk membebankan batuan dari batuan induk menggunakan bahan peledak. Untuk menghasilkan peledakan yang optimal perlu mempertimbangkan faktor-faktor yang mempengaruhi kegiatan peledakan:

3.1.1 Kekuatan Bahan Peledak

Kekuatan bahan peledak merupakan ukuran yang digunakan untuk mengukur energi yang terkandung dalam bahan peledak dan kerja yang dapat dilakukan oleh bahan peledak.

3.1.2 Energi Bahan Peledak

Suatu hasil peledakan akan bergantung pada berbagai faktor yaitu, kekuatan batuan, orientasi bidang diskontinuitas, jenis bahan peledak, distribusi bahan peledak dalam batuan, rancangan penyalan peledakan, pola pemboran dan geometri peledakan.

3.1.3 Jenis Energi Bahan Peledak

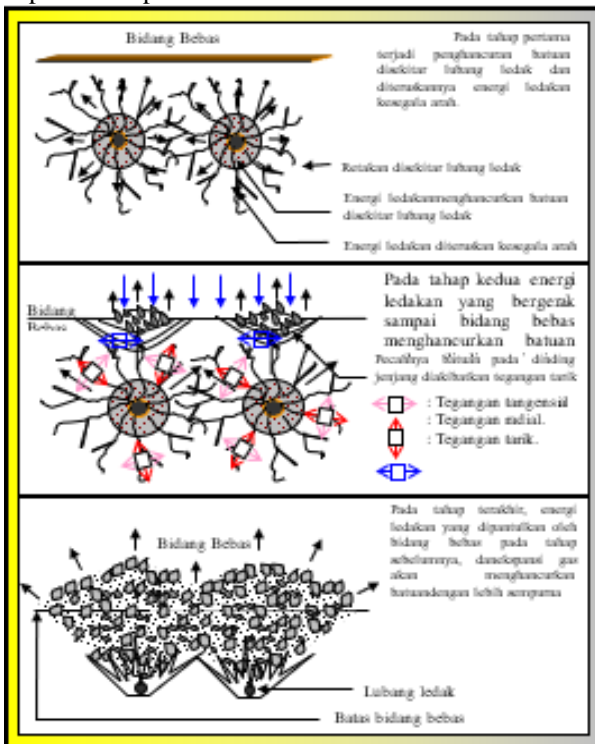
Ada dua jenis energi bahan peledak yang dilepaskan saat ledakan terjadi, yaitu *work energy* dan *waste energy*.

3.1.4 Mekanisme Pecahnya Batuan Akibat Peledakan

Menurut Diktat Angkatan VI^[11] menyatakan bahwa “Proses pecahnya batuan akibat energi ledakan dapat dibagi dalam tiga tingkat, yaitu :

1. Proses pemecahan batuan tingkat I (*dynamic loading*)
2. Proses pemecahan batuan tingkat II (*quasi-static loading*)
3. Proses pemecahan batuan tingkat III (*Release of Loading*)

Mekanisme pecahnya batuan akibat peledakan dapat dilihat pada Gambar 2.



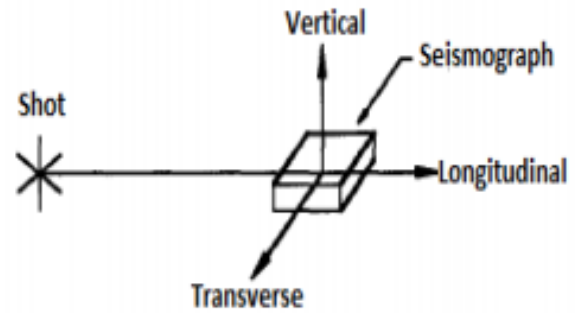
Sumber : Sahrul (2018: 25)^[11]

Gambar 2. Mekanisme pecahnya batuan akibat peledakan

3.2 Getaran Tanah (Ground Vibration)

Getaran adalah gerakan bolak balik suatu masa melalui keadaan seimbang terhadap suatu titik acuan. Getaran peledakan adalah getaran yang diakibatkan oleh aktivitas peledakan di tambang terbuka yang berpengaruh terhadap keutuhan bangunan. Besarnya tingkat getaran dipengaruhi oleh jumlah dan jenis bahan peledak yang digunakan per waktu tunda (*delay*) sama, struktur batuan dan desain peledakan (Standar Nasional Indonesia 7571:2010).

Getaran adalah suatu jenis gelombang seismik yang kompleks dan terdiri dari berbagai jenis gelombang (Gambar 3), diantaranya:



Sumber : Konya & Walter, 1991

Gambar 3. Komponen Getaran

3.3 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Getaran Hasil Peledakan^[12]

Ground Vibration hasil peledakan dipengaruhi oleh dua faktor utama, yaitu:

3.3.1 Faktor Terkontrol

1. Jumlah Muatan Bahan Peledak per delay
2. Jenis Bahan Peledak
3. Waktu Tunda
4. Arah Peledakan
5. Jarak Lokasi Peledakan

3.3.2 Faktor Tak Terkontrol

1. Kondisi Geologi Batuan
2. Pengaruh Air
3. Topografi
4. Bidang Lemah

3.4 Teori Analisis Vibrasi (Teori Scale Distance)

Scale Distance adalah parameter untuk dimensi jarak. Scale distance dinyatakan sebagai perbandingan antara jarak dan isian bahan peledak yang mempengaruhi hasil getaran. Rumus Teori Scale Distance sebagai berikut:

$$PPV = K(d/w^{0,5})^m$$

Sumber: Scale Distance

Keterangan:

- PPV = peak particle velocity (mm/s)
- D = Jarak dari recorder ke lokasi peledakan
- W = Total berat bahan peledak per minimum 8 ms/delay
- K,m = Konstanta,
- $d/w^{0,5}$ = Square root scale distance untuk isian lubang ledak (m/kg^{0,5})

Prediksi dasar Peak Particle Velocity dapat dicapai dengan menggunakan persamaan berikut:

$$PPV = K(d/w^{0,5})^{(-1,6)} = (SD)^{(-1,6)} \times K$$

Sumber: Oriard's formula

Keterangan:

PPV = peak particle velocity (mm/s)

SD = Scale distance (m/kg^{0,5})

K = confinement factor

Untuk mengkalkulasikan faktor K, menggunakan formula rumus dibawah ini:

$$K = PPV / (D/W^{(1/2)})^{(-1,6)}$$

Sumber: Oriard's formula

3.5 Metode Penanggulangan Vibrasi Peledakan^[10]

3.5.1 Metode Decking

Decking adalah suatu cara pemuatan bahan peledak yang terbagi atas beberapa kolom yang diselingi lapisan "stemming". Pada cara ini, tiap "deck" diberi waktu tunda yang berbeda. "Deck" paling atas diiberi waktu tunda dengan nomor kecil, sedangkan untuk "deck" selanjutnya diberi waktu tunda dengan nomor besar.

3.5.2 Rancangan Geometri Peledakan

Hal yang harus diperhatikan sebelum membuat rancangan adalah pengaruh diameter terhadap kecepatan detonasi, karena kecepatan detonasi berpengaruh terhadap efek penghancurannya semakin besar. Hal ini yang harus diperhatikan adalah kaitan antara muatan spesifik dan ukuran maksimum bongkah.

3.5.3 Metode Peledakan Tunda

Peledakan tunda adalah suatu cara peledakan yang terdiri atas beberapa baris dan kolom lubang tembak dengan menggunakan detonator tunda.

3.5.4 Metode Presplitting

Presplitting adalah suatu metode penanggulangan vibrasi yang akan menghasilkan sebuah bidang irisan yang terbentuk didalam batuan, dimana satu baris lubang bor diledakkan terlebih dahulu sebelum lubang tembak utama untuk produksi diledakkan.

Tujuan presplitting adalah untuk menciptakan sebuah bidang bebas diantara lubang tembak pada baris terakhir.

3.5.5 Metode Line Drilling

Line drilling menciptakan bidang lemah melalui pemboran dengan diameter lubang bor yang relatif lebih kecil dibandingkan lubang tembak serta spasi antar bor yang berdekatan.

3.6 Regresi Power (Non Linear Geometrik)

Analisi regresi dalam statistika adalah salah satu metode untuk menentukan hubungan sebab-akibat antara satu variabel dengan variabel yang lain.

Tidak selamanya hal-hal yang akan diprediksi itu bisa tergambar secara linier, terkadang ada suatu penelitian yang tersebar datanya (tidak membentuk garis menurun atau menaik). Maka dari itu digunakan regresi non linier untuk meramalkannya. Salah satu regresi non linear adalah regresi non linier geometrik (power). Persamaan regresi power adalah sebagai berikut:

$$Y = aX^b \text{ atau } \log Y = \log a + b \log X$$

Keterangan :

Y = adalah variabel tetap (log PPV)

X = adalah variabel peubah (log SD)

Nilai a dan b merupakan konstanta yang dihasilkan dari peramalan menggunakan regresi power ini.

Koefisien determinasi (R²) menyatakan besar sumbangan pengaruh variabel bebas X terhadap variabel tak bebas Y. Sifat – sifat koefisien determinasi :

- Merupakan besaran non negative
- Batasannya adalah $0 \leq R^2 \leq 1$

Koefisien Korelasi (R²) adalah ukuran hubungan linier antara dua variabel / peubah acak X dan Y untuk mengukur sejauh mana titik – titik menggermbol sekitar sebuah garis. Untuk interpretasi nilai koefisien determinasi dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Interpretasi Nilai Koefisien Determinasi

R ²	interpretasi
0,00 – 0,25	tidak ada hubungan/hubungan lemah
0,26 – 0,50	hubungan sedang
0,51 – 0,75	hubungan kuat
0,76 – 1,00	hubungan sangat kuat/ sempurna

4. Metode Penelitian

Jenis penelitian ini termasuk jenis penelitian kuantitatif, dikarenakan menurut Sugiono (2008:14) metode penelitian kuantitatif adalah "Metode Penelitian yang berlandaskan pada filsafat positivisme, digunakan untuk meneliti pada populasi atau sampel tertentu. Pengumpulan data menggunakan instrument penelitian, analisis data bersifat kuantitatif/statistik dengan tujuan untuk menguji hipotesis yang telah ditetapkan".

Penelitian ini menggunakan data yang dikumpulkan bersifat kuantitatif atau dapat dikuantitatifkan. Selain metode penelitian kuantitatif penulis juga menggunakan metode penelitian terapan, dikarenakan menurut A. Muri Yusuf (2005:102)

metode penelitian terapan adalah “Suatu kegiatan yang sistematis dan logis dalam rangka menemukan sesuatu yang baru atau aplikasi baru dari penelitian-penelitian yang telah pernah dilakukan selama ini”.

Penelitian dilakukan selama bulan Juli sampai dengan Agustus 2019 di PT Kalimantan Prima Persada *jobsite* HJUR, Rantau, Kalimantan Selatan. Pengukuran *ground vibration* hanya dilakukan pada *pit* Agathis karena hanya *pit* inilah yang memiliki jarak paling dekat dengan area pemukiman masyarakat, yaitu Desa Lokpaikat. Lokasi pengukuran *ground vibration* dilakukan pada jarak 350-1300 meter dari lokasi peledakan mengarah ke pemukiman masyarakat desa Lokpaikat. Hal ini dilakukan untuk mencari nilai getaran aman sesuai Standar SNI 7571:2010 sehingga didapatkan rancangan peledakan yang terbaik untuk diterapkan.

Data yang digunakan yaitu data primer dan data sekunder. Dimana data primer yang digunakan seperti, desain aktual pola rangkaian peledakan, jumlah bahan peledak per *delay*, hasil pengukuran getaran tanah (nilai PPV), jarak pengukuran. Data sekunder yang digunakan yaitu, *blast map* lokasi peledakan, *blast design*, standar PPV Perusahaan.

5. Hasil dan Pembahasan

5.1 Geometri Peledakan

Geometri peledakan dibuat berdasarkan pengalaman dan uji coba (trial and error) yang dilakukan oleh PT Kalimantan Prima Persada *Jobsite* HJUR sehingga diperoleh geometri yang optimal. Geometri peledakan yang diterapkan pada operasi peledakan pada batuan claystone di PT Kalimantan Prima Persada *Jobsite* HJUR dapat dilihat pada Tabel 3 berikut ini:

Tabel 3. Kondisi Pemboran dan Peledakan yang Diterapkan

No	Item	Spesifikasi	Keterangan
1	Burden (B)	7 m	
2	Spasi (S)	8 m	
3	Stemming (T)	3,5 m	Stemming rata-rata
4	Subdrilling (J)	0,5 m	
5	Kedalaman Lubang (H)	5 m	Kedalaman rata-rata
6	Tinggi Jenjang (L)	4,5 m	
7	Panjang Kolom Isian (PC)	1,5 m	
Pola Pemboran:			
Pemboran selang-seling (<i>staggered pattern</i>)			
Metode Peledakan			
1	Pola Peledakan	<i>hole by hole</i>	
2	Decking	<i>Singel deck</i>	
3	Tipe detonator	Non elektrik (nonel)	
4	<i>Surface delay</i>	42 ms 109 ms 176 ms	
5	<i>Inhole delay</i>	500 ms 900 ms	
6	Produk Isian	ANFO	
7	Booster	500 gr	
8	Densitas	0,85 gr/cc	
9	Isian	40 kg	

5.2 Metode Peledakan yang Diterapkan di Pit Agathis PT Kalimantan Prima Persada *Jobsite* HJUR, Rantau

Kegiatan peledakan yang diterapkan di Pit Agathis PT Kalimantan Prima Persada *Jobsite* HJUR, Rantau yaitu menggunakan pola peledakan *hole by hole* dengan *surface delay* detonator 42 ms, 109 ms dan 176 ms dan *inhole delay* detonator 500 ms dan 900 ms. Peledakan dilakukan satu kali peledakan disetiap lokasi peledakannya, artinya pada setiap lokasi peledakan dilakukan dengan menggunakan satu *Initiation Point* (IP) yang diledakan setelah dilakukan pengecekan.

Sistem rangkaian menggunakan sistem nonel (non elektrik) dengan pemicu awal peledakan berupa elektrik detonator yang disambungkan ke *blasting machine* menggunakan *lead wire*.

5.3 Data Aktual Lapangan

Pengukuran getaran hasil peledakan dilakukan pada bulan Juli sampai dengan Agustus 2019 dengan menggunakan alat *MicromateTM*. Pengukuran dilakukan di wilayah antara lokasi peledakan sampai pada pemukiman Desa Lokpaikat dengan Jarak terdekat kurang lebih 1100 meter.

Hasil pengukuran terhadap kegiatan peledakan di Pit Agathis dengan pola ledak selang-seling (*staggered pattern*) dan pola peledakan menggunakan rangkaian *hole by hole*. Didapatkan hasil pengukuran getaran tanah (*ground vibration*) adalah sebagai berikut (Tabel 4 dan 5):

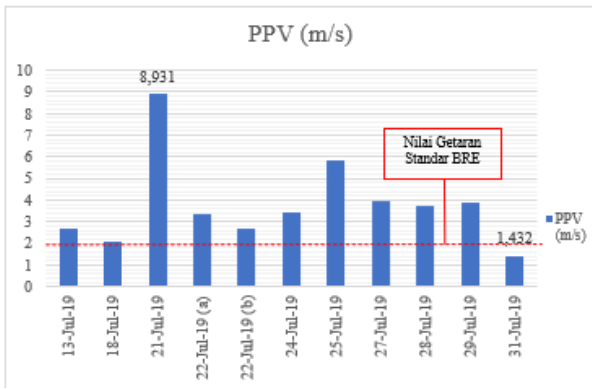
Tabel 4. Data Hasil Pengukuran Vibrasi Aktual Bulan Juli 2019

Tanggal	Lokasi	Jenis Material	Tie Up	Av. Depth (m)	Charge/delay (kg)	PPV (mm/s)	Jarak (m)
13-Jul	Agathis	Claystone	Hole by hole	6,6	42,77	2,665	500
18-Jul	Agathis LW Blok 27	Claystone	Hole by hole	5,3	32,20	2,052	350
21-Jul	Agathis SW Blok 33	Claystone	Hole by hole	5,5	40,84	8,931	500
22-Jul	Agathis LW Blok 31	Claystone	Hole by hole	5,6	36,29	3,390	400
	Agathis SW Blok 33	Claystone	Hole by hole	5,7	36,94	2,701	400
24-Jul	Agathis LW Blok 32-33	Claystone	Hole by hole	5,7	41,04	3,441	500
25-Jul	Agathis LW Blok 32-33	Claystone	Hole by hole	4,5	39,49	5,841	440
27-Jul	Agathis LW Blok 28-29	Claystone	Hole by hole	5	40,50	3,963	700
28-Jul	Agathis LW Blok 52-53	Claystone	Hole by hole	5,7	41,04	3,765	400
29-Jul	Agathis LW Blok 32-33	Claystone	Hole by hole	5,5	39,60	3,870	640
31-Jul	Agathis LW Blok 30-31	Claystone	Hole by hole	4,8	40,32	1,432	1400

Tabel 5. Data Hasil Pengukuran Vibrasi Aktual Bulan Juli 2019

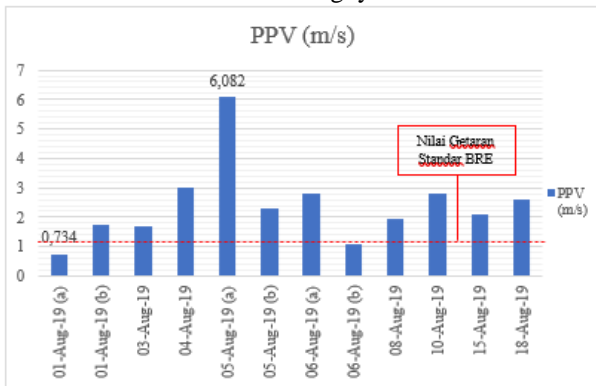
Tanggal	Lokasi	Jenis Material	Tie Up	Av. Depth (m)	Charge/delay (kg)	PPV (mm/s)	Jarak (m)
01-Agu	Agathis Blok 31	Claystone	Hole by hole	4,2	36,29	0,734	1400
	Agathis Blok 30	Claystone	Hole by hole	5,7	38,30	1,744	1300
03-Agu	Agathis Blok 28	Claystone	Hole by hole	4,1	39,03	1,693	900
04-Agu	Agathis Blok 29	Claystone	Hole by hole	5,4	39,31	3,032	500
05-Agu	Agathis Blok 33	Claystone	Hole by hole	5	39,20	6,082	490
	Agathis Blok 28	Claystone	Hole by hole	5,4	39,31	2,316	670
06-Agu	Agathis Blok 33	Claystone	Hole by hole	5,7	41,50	2,807	500
	Agathis Blok 28-29	Claystone	Hole by hole	6,5	40,04	1,090	1300
08-Agu	Agathis Blok 31-32	Claystone	Hole by hole	4,8	40,32	1,925	1300
10-Agu	Agathis Blok 30	Claystone	Hole by hole	4,9	41,16	2,780	670
13-Agu	Agathis Blok 32-33	Claystone	Hole by hole	6,2	41,66	2,088	800
15-Agu	Agathis Blok 33	Claystone	Hole by hole	5,8	38,98	2,586	865

Hasil pengukuran *Ground Vibration* dapat dilihat pada Gambar 4 dan 5.



Gambar 4. Hasil Pengukuran Vibration Bulan Juli 2019

Berdasarkan Gambar 4 di atas dapat dilihat bahwa tingkat getaran tanah tertinggi mencapai 8,931 yaitu pada kegiatan peledakan tanggal 21 Juli 2019 dengan jarak 500 m, kedalaman rata-rata 5,5 m, dan charge weight 40,84 kg/delay. Nilai tingkat getaran pada bulan Juli hanya terdapat 10% getaran hasil peledakan yang masih berada dibawah standar yang ditetapkan oleh Owner PT Bhumi Rantau Energi yaitu 2 mm/s.



Gambar 5. Hasil Pengukuran Vibration Bulan Agustus 2019

Berdasarkan Gambar 5 dapat dilihat hasil pengukuran vibration bulan Agustus 2019 didapat nilai tingkat getaran tertinggi mencapai 6,082 mm/s pada tanggal 05 Agustus 2019 dengan jarak 490 m, kedalaman rata-rata 45 m, dan change weight 39,20 kg/delay.

Dari kedua grafik di atas dapat disimpulkan bahwa geometri yang digunakan pada kegiatan peledakan di Pit Agathis masih kurang baik, karena getaran yang dihasilkan masih berada diatas standar yang telah ditetapkan oleh Owner PT Bhumi Rantau Energi yaitu 2 mm/s.

5.4 Isian Bahan Peledak

5.4.1 Scaled Distance

Tabel 6. Perhitungan Scaled Distance

Tanggal	Lokasi	Jenis Material	Tie Up	Av Depth (m)	Charge delay (kg)	PPV (mm/s)	Jarak (m)	SD (m/Kg ^{0.5})
13-Jul	Agathis	Ciqzstone	Hole by hole	6,6	42,77	2,665	500	76,454
8-Jul	Agathis LW Blok 27	Ciqzstone	Hole by hole	5,3	32,20	2,052	350	61,679
21-Jul	Agathis Blok 32	Ciqzstone	Hole by hole	5,5	40,84	8,931	500	78,240
22-Jul	Agathis Blok 31	Ciqzstone	Hole by hole	5,6	36,29	3,390	400	66,400
22-Jul	Agathis Blok 33	Ciqzstone	Hole by hole	5,7	36,94	2,701	400	65,813
24-Jul	Agathis LW Blok 32-33	Ciqzstone	Hole by hole	5,7	41,04	3,441	500	78,049
26-Jul	Agathis LW Blok 32-33	Ciqzstone	Hole by hole	4,5	39,49	5,841	440	70,018
27-Jul	Agathis LW Blok 28-29	Ciqzstone	Hole by hole	5	40,50	3,963	700	109,994
28-Jul	Agathis LW Blok 32-33	Ciqzstone	Hole by hole	5,7	41,04	3,765	400	62,439
29-Jul	Agathis LW Blok 32-33	Ciqzstone	Hole by hole	5,5	39,60	3,870	640	101,703
31-Jul	Agathis LW Blok 30-31	Ciqzstone	Hole by hole	4,8	40,32	1,432	1400	220,479
01-Agu	Agathis Blok 31	Ciqzstone	Hole by hole	4,2	36,29	0,734	1400	232,399
	Agathis Blok 30	Ciqzstone	Hole by hole	5,7	38,30	1,744	1300	210,060
03-Agu	Agathis Blok 28	Ciqzstone	Hole by hole	4,1	39,03	1,693	900	144,060
04-Agu	Agathis Blok 29	Ciqzstone	Hole by hole	5,4	39,31	3,032	500	79,748
06-Agu	Agathis Blok 33	Ciqzstone	Hole by hole	5	39,20	6,082	490	78,262
	Agathis Blok 28	Ciqzstone	Hole by hole	5,4	39,31	2,316	670	106,862
06-Agu	Agathis Blok 33	Ciqzstone	Hole by hole	5,7	41,50	2,807	500	77,615
	Agathis Blok 28-29	Ciqzstone	Hole by hole	6,5	40,04	1,090	1300	205,445
08-Agu	Agathis Blok 31-32	Ciqzstone	Hole by hole	4,8	40,32	1,925	1300	204,731
10-Agu	Agathis Blok 30	Ciqzstone	Hole by hole	4,9	41,16	2,780	670	104,433
15-Agu	Agathis Blok 32-33	Ciqzstone	Hole by hole	6,2	41,66	2,088	800	123,945
18-Agu	Agathis Blok 33	Ciqzstone	Hole by hole	5,8	38,98	2,586	865	138,546

5.4.2 Persamaan Hubungan antara Peak Particle Velocity dan Scaled Distance Menggunakan Regresi Power untuk Mendapatkan Grafik Log-log

Analisis yang dilakukan untuk mendapatkan persamaan hubungan antara PPV dan scaled distance adalah meregresikan data PPV dan SD dari hasil pengukuran tersebut dengan regresi power di program microsoft excel. Dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Perhitungan manual persamaan hubungan PPV dan SD menggunakan Regresi Power

No	SD (m/Kg ^{0.5})	PPV (mm/s)	LOG SD	LOG PPV	X1*Y1	X ²
			X1	Y1		
1	76,454	2,665	1,883	0,426	0,802	3,547
2	61,679	2,052	1,790	0,312	0,559	3,205
3	78,240	8,931	1,893	0,951	1,800	3,585
4	66,400	3,390	1,822	0,530	0,966	3,320
5	65,813	2,701	1,818	0,432	0,785	3,306
6	78,049	3,441	1,892	0,537	1,016	3,581
7	70,018	5,841	1,845	0,766	1,414	3,405
8	109,994	3,963	2,041	0,598	1,221	4,167
9	62,439	3,765	1,795	0,576	1,034	3,224
10	101,703	3,870	2,007	0,588	1,180	4,029
11	220,479	1,432	2,343	0,156	0,365	5,491
12	232,399	0,734	2,366	-0,134	-0,318	5,599
13	210,060	1,744	2,322	0,242	0,561	5,393
14	144,060	1,693	2,159	0,229	0,494	4,659
15	79,748	3,032	1,902	0,482	0,916	3,617
16	78,262	6,082	1,894	0,784	1,485	3,586
17	106,862	2,316	2,029	0,365	0,740	4,116
18	77,615	2,807	1,890	0,448	0,847	3,572
19	205,445	1,090	2,313	0,037	0,087	5,349
20	204,731	1,925	2,311	0,284	0,657	5,342
21	104,433	2,780	2,019	0,444	0,896	4,076
22	123,945	2,088	2,093	0,320	0,669	4,382
23	138,546	2,586	2,142	0,413	0,884	4,586
Jumlah			46,571	9,784	19,059	95,137

Perhitungan:

$$Y = aX^b \text{ atau } \text{Log } Y = \text{Log } a + b \text{ Log } X$$

Misal : $\text{Log } Y = Y, \text{Log } a = a, \text{ dan } \text{Log } X = X$, maka :

$$b = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - (\sum_{i=1}^n x_i)(\sum_{i=1}^n y_i)}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2}$$

$$b = \frac{(23)(19,059) - (46,571)(9,784)}{(23)(95,137) - (46,571)^2}$$

$$b = -0,8977$$

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n} - b \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

$$a = \frac{9,784}{23} - (-0,8977) \left(\frac{46,571}{23} \right)$$

$$a = 2,43105$$

Sehingga persamaan diatas menjadi,

$$Y = 2,43105 - 0,8977 \text{ Log } X$$

$$\text{Log } Y = \text{antilog } 2,43105 - 0,8977 \text{ log } X$$

$$\text{Log } Y = 175,02706 - 2,169 X$$

$$Y = 175,02706 X^{-0,8977}$$

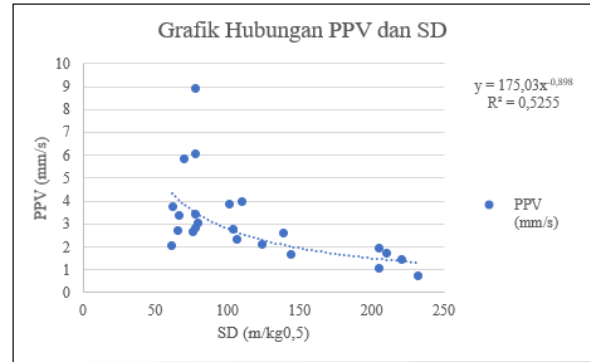
$$Y = 175,02706 (SD)^{-0,8977}$$

Berdasarkan hasil perhitungan di atas diperoleh persamaan regresi yang merupakan persamaan hubungan antara PPV dan *scaled distance* (SD), sehingga persamaan regresi tersebut menjadi $PPV = 175,02706 (SD)^{-0,8977}$. Dari persamaan regresi tersebut diperoleh hasil analisa regresi power (Tabel 8).

Tabel 8. Hasil Analisa Regresi Power

NO	SD (m/Kg ^{0,5})	PPV (mm/s)	K
1	76,454	2,665	175,027
2	61,679	2,052	175,027
3	78,240	8,931	175,027
4	66,400	3,390	175,027
5	65,813	2,701	175,027
6	78,049	3,441	175,027
7	70,018	5,841	175,027
8	109,994	3,963	175,027
9	62,439	3,765	175,027
10	101,703	3,870	175,027
11	220,479	1,432	175,027
12	232,399	0,734	175,027
13	210,060	1,744	175,027
14	144,060	1,693	175,027
15	79,748	3,032	175,027
16	78,262	6,082	175,027
17	106,862	2,316	175,027
18	77,615	2,807	175,027
19	205,445	1,090	175,027
20	204,731	1,925	175,027
21	104,433	2,780	175,027
22	123,945	2,088	175,027
23	138,546	2,586	175,027

Grafik regresi dapat dilihat pada Gambar 6 berikut ini :



Gambar 6. Grafik Hubungan PPV dan SD

5.5 Metode Usulan

5.5.1 Peledakan dengan Metode Presplitting

Pada tahap ini, pengurangan tingkat getaran tanah akibat peledakan dilakukan dengan mengubah hal-hal sebagai berikut:

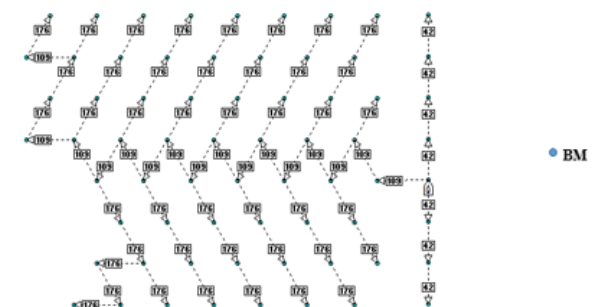
- Pola *Tie Up* : *Hole by Hole*
- Surface delay detonator* : 176 ms dan 109 ms (produksi), 42 ms (*presplitting*)
- Inhole delay detonator* : 500 ms

Percobaan (*trial*) dilakukan dua kali, dengan berbagai teknis untuk mendapatkan hasil terbaik.

5.5.2.1 Percobaan Pertama

Tabel 9. Rancangan *trial presplitting I*

No	Detail	Keterangan
1	Drill pattern	7 x 8
2	Rata-rata <i>depth</i>	6 m
3	Jumlah Lubang	66 holes
4	Decking	Single Deck
5	<i>Tie-up Design</i>	Hole by Hole
6	Tipe Detonator	Non Elektrik (Nonel)
7	<i>Surface Delay</i>	109 dan 176 ms
8	<i>Inhole Delay</i>	500 ms
9	Produk Isian	ANFO
10	Density	0,85 gr/cc
11	Isian	40 kg
12	MIC	40 kg
(Berat Charge per sekali ledak)		

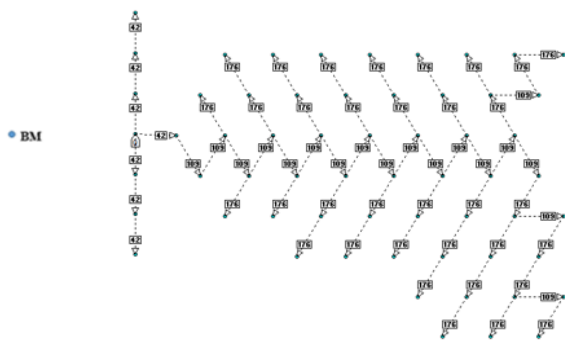


Gambar 7. Blast design *trial presplitting I*

5.5.2.2 Percobaan Kedua

Tabel 10. Rancangan trial presplitting II

No	Detail		Keterangan
1	Drill pattern	7 x 8	Presplit : 4
2	Rata-rata depth	6 m	
3	Jumlah Lubang	62 holes	52 prod ; 8 presplit
4	Decking	Single Deck	
5	Tie-up Design	Hole by Hole	
6	Tipe Detonator	Non Elektrik (Nonel)	
7	Surface Delay	109 dan 176 ms	Trim : 42 ms
8	Inhole Delay	500 ms	
9	Produk Isian	ANFO	
10	Density	0,85 gr/cc	
11	Isian	40 kg	Lubang Produksi
		35 kg	Lubang Presplit
12	MIC	40 kg	
	(Berat Charge per sekali ledak)		



Gambar 8. Blast design trial presplitting II

Dari dua kali percobaan dengan penambahan lubang presplitting dengan spasi setengah dari lubang produksi. Lubang presplitting yang dibuat untuk membentuk bidang rekah yang akan memisah dan meredam perambatan getaran tanah menuju pemukiman masyarakat Dusun Lokpaikat. Adapun hasil getaran tanah dari masing-masing peledakan lubang presplitting dan lubang produksi diperoleh (Tabel 11) sebagai berikut :

Tabel 11. Hasil pengukuran ground vibration dengan metode presplitting

No	Lokasi	Depth (m)	Charge/delay (kg)	Tie Up	Jarak (m)	PPV (mm/s)	PPV Normal (mm/s)
1	Agathis	6	40	Hole by Hole	1000	4,516	5,100
2	Agathis	7	40	Hole by Hole	1000	3,912	4,400

5.5.2 Peledakan dengan Pengontrolan Ulang Isian dan Pola Peledakan V-Cut

Pada tahap ini, pengukuran tingkat getaran tanah akibat kegiatan peledakan dilakukan dengan merubah hal-hal sebagai berikut :

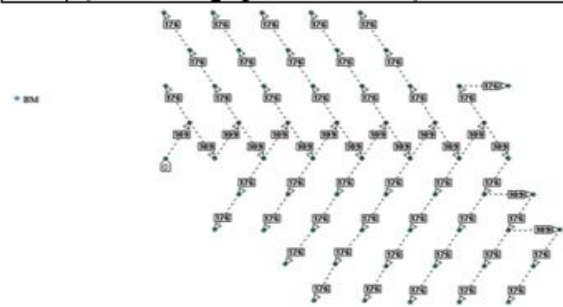
- a. Pola Tie Up : Hole by Hole
- b. Surface delay detonator : 176 ms dan 109 ms
- c. Inhole delay detonator : 500 ms

Percobaan (trial) dilakukan tiga kali, dengan berbagai teknis untuk mendapatkan hasil terbaik.

5.5.2.1 Percobaan Pertama

Tabel 12. Rancangan Pola Peledakan V-Cut I

No	Detail	
1	Drill pattern	7 x 8
2	Rata-rata depth	
3	Jumlah Lubang	60 holes
4	Decking	Single Deck
5	Tie-up Design	Hole by Hole
6	Tipe Detonator	Non Elektrik (Nonel)
7	Surface Delay	109 dan 176 ms
8	Inhole Delay	500 ms
9	Produk Isian	ANFO
10	Density	0,85 gr/cc
11	Isian	40 kg
12	MIC	40 kg
	(Berat Charge per sekali ledak)	

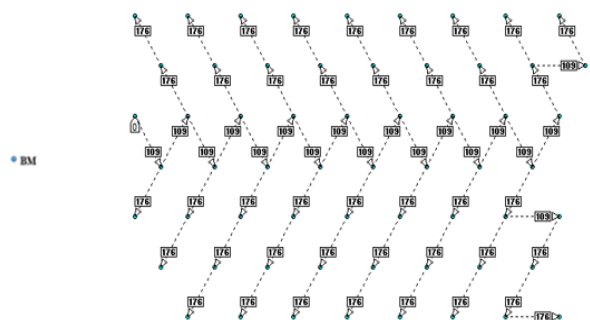


Gambar 9. Blast design Pola Peledakan V-Cut I

5.5.2.2 Percobaan Kedua

Tabel 13. Rancangan Pola Peledakan V-Cut II

No	Detail	
1	Drill pattern	7 x 8
2	Rata-rata depth	
3	Jumlah Lubang	60 holes
4	Decking	Single Deck
5	Tie-up Design	Hole by Hole
6	Tipe Detonator	Non Elektrik (Nonel)
7	Surface Delay	109 dan 176 ms
8	Inhole Delay	500 ms
9	Produk Isian	ANFO
10	Density	0,85 gr/cc
11	Isian	40 kg
12	MIC	40 kg
	(Berat Charge per sekali ledak)	

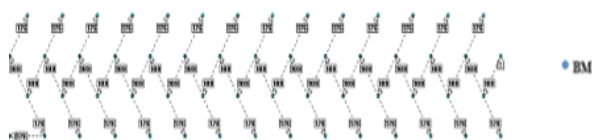


Gambar 10. Blast design Pola Peledakan V-Cut II

5.5.2.3 Percobaan Ketiga

Tabel 14. Rancangan Pola Peledakan V-Cut III

No	Detail	
1	Drill pattern	7 x 8
2	Rata-rata depth	
3	Jumlah Lubang	62 holes
4	Decking	Single Deck
5	Tie-up Design	Hole by Hole
6	Tipe Detonator	Non Elektrik (Nonel)
7	Surface Delay	109 dan 176 ms
8	Inhole Delay	500 ms
9	Produk Isian	ANFO
10	Density	0,85 gr/cc
11	Isian	40 kg
12	MIC	40 kg
(Berat Charge per sekali ledak)		



Gambar 11. Blast design Pola Peledakan V-Cut III

Dari tiga kali percobaan dengan menggunakan metode pengontrolan isian dan pola peledakan v-cut ini didapatkan hasil pengukuran getaran (Tabel 16) sebagai berikut :

Tabel 15. Hasil pengukuran ground vibration dengan metode Pola Peledakan V-Cut

No	Lokasi	Depth (m)	Charge/delay (kg)	Tie Up	Jarak (m)	PPV (mm/s)	PPV Normal (mm/s)
1	Agathis	6	40	Hole by Hole	1000	0,779	1,432; 1,744; 2,088
2	Agathis	6	40	Hole by Hole	1000	0,950	1,432; 1,744; 2,088
3	Agathis	6	40	Hole by Hole	1000	0,774	1,432; 1,744; 2,088

5.6 Analisis Ground Vibration pada Metode Peledakan

5.6.1 Hubungan PPV san Scaled Distance (SD)

Untuk mendapatkan nilai konstanta Y=175,02706 dan X (-0,8977), penulis menggunakan perhitungan dengan menggunakan regresi power dari data pengukuran PPV aktual di lapangan. Nilai konstanta tersebut merupakan perwakilan kondisi material yang ada di lokasi peledakan dan metode peledakan yang diterapkan.

Dengan menggunakan konstanta tersebut maka didapatkan persamaan hubungan antara PPV dan SD yaitu $PPV=175,02706 (SD)^{-0,8977}$

Tabel 17. Perbandingan PPV aktual dan analisis regresi (prediksi)

No	K	SD (m Kg ^{0,8977})	PPV (mm/s)		Simpangan PPV Aktual-PPV Analisis	PPV Std		Jarak
			Aktual	Analisis Regresi		SNU	PT. KPP	
1	175,027	76,454	2,665	3,568	-0,903	3	2	500
2	175,027	61,679	2,052	4,326	-2,274	3	2	350
3	175,027	78,240	8,931	3,494	5,437	3	2	500
4	175,027	66,400	3,390	4,049	-0,659	3	2	400
5	175,027	65,813	2,701	4,081	-1,380	3	2	400
6	175,027	78,049	3,441	3,502	-0,061	3	2	500
7	175,027	70,018	5,841	3,861	1,980	3	2	440
8	175,027	109,994	3,963	2,574	1,389	3	2	700
9	175,027	62,439	3,765	4,279	-0,514	3	2	400
10	175,027	101,703	3,870	2,761	1,109	3	2	640
11	175,027	220,479	1,432	1,379	0,053	3	2	1400
12	175,027	232,399	0,734	1,315	-0,581	3	2	1400
13	175,027	210,060	1,744	1,440	0,304	3	2	1300
14	175,027	144,060	1,693	2,020	-0,327	3	2	900
15	175,027	79,748	3,032	3,435	-0,403	3	2	500
16	175,027	78,262	6,082	3,494	2,588	3	2	490
17	175,027	106,862	2,316	2,641	-0,325	3	2	670
18	175,027	77,615	2,807	3,520	-0,713	3	2	500
19	175,027	205,445	1,090	1,469	-0,379	3	2	1300
20	175,027	204,731	1,925	1,474	0,451	3	2	1300
21	175,027	104,433	2,780	2,696	0,084	3	2	670
22	175,027	123,945	2,088	2,312	-0,224	3	2	800
23	175,027	138,546	2,586	2,082	0,494	3	2	865
Jumlah			70,828	65,782	5,146			
Rata-rata			3,084	2,860	0,224			

5.6.2 Prediksi Isian Bahan Peledak Maksimal yang Meledak per delay

Tabel 18. Prediksi isian bahan peledak pada PPV = 2 mm/s

PPV (mm/s)	D (m)	W (kg)
2	50	0,12
2	100	0,49
2	150	1,10
2	200	1,95
2	250	3,05
2	300	4,39
2	350	5,98
2	400	7,81
2	450	9,89
2	500	12,20
2	550	14,77
2	600	17,58
2	650	20,63
2	700	23,92
2	750	27,46
2	800	31,24
2	850	35,27
2	900	39,54
2	950	44,06
2	1000	48,82
2	1050	53,82
2	1100	59,07
2	1150	64,56
2	1200	70,30
2	1250	76,28
2	1300	82,50
2	1350	88,97

Tabel 19. Prediksi isian bahan peledak pada PPV = 3 mm/s

PPV (mm/s)	D (m)	W (kg)
3	50	0,30
3	100	1,20
3	150	2,70
3	200	4,80
3	250	7,51
3	300	10,81
3	350	14,71
3	400	19,21
3	450	24,32
3	500	30,02
3	550	36,33
3	600	43,23
3	650	50,74
3	700	58,85
3	750	67,55
3	800	76,86
3	850	86,77
3	900	97,27
3	950	108,38
3	1000	120,09
3	1050	132,40
3	1100	145,31
3	1150	158,82
3	1200	172,93
3	1250	187,64
3	1300	202,96
3	1350	218,87

5.6.3 Hubungan antara Jarak dan Isian Bahan Peledak yang Meledak per delay dengan Menggunakan Regresi Power



Gambar 12. Grafik hubungan jarak dan isian

Dari grafik di atas dapat dilihat untuk mendapatkan nilai PPV = 2 mm/s pada jarak 1100 meter, maka isian bahan peledak maksimal yang diperbolehkan meledak bersamaan adalah 59,07 kg, berdasarkan acuan di atas, isian bahan peledak aktual masih berada dibawah standar sehingga tidak diperlukan lagi pengurangan isian bahan peledaknya. Dimana isian bahan peledak aktual yang saat ini diterapkan PT Kalimantan Prima Persada *Jobsite* HJUR yaitu 40 kg.

6. Penutup

6.1 Kesimpulan

1. Rancangan peledakan yang ditetapkan di *Pit* Agathis PT Kalimantan Prima Persada *Jobsite* HJUR belum memenuhi standar vibrasi yang telah ditetapkan.
2. Hasil *Peak Particle Velocity* (PPV) pengukuran getaran tanah (*Ground Vibration*) 23 data pengukuran yang diperoleh PPV rata-rata aktual = 3,084 mm/s, PPV rata-rata analisis (prediksi) 2,860 mm/s dan nilai penyimpangan *Peak Particle Velocity* 0,228.
3. Dari hubungan PPV dan *scaled distance* diperoleh persamaan $y = 175,02706x^{-0,8977}$ $R^2 = 0,5255$ untuk mendapatkan nilai PPV diangka 2 mm/s dengan jarak 1100 m, maka dibutuhkan isian maksimal sebanyak 59,07 kg ANFO 0,85.
4. Penggunaan metode peledakan dengan pengontrolan ulang isian dan pola peledakan *v-cut* dengan *surface delay* 109 ms dan 176 ms dan *in-hole delay* 500 ms lebih efektif dan ekonomis untuk mengurangi getaran peledakan pada daerah pengukuran sehingga memperoleh nilai PPV mendekati standar 2 mm/s pada jarak 1100 meter.

6.2 Saran

1. Sebaiknya dilakukan penimbangan manual dari bahan peledak yang keluar dari alat MMU untuk memastikan berat yang keluar sama dengan jumlah isian yang diinginkan dan lakukan peninjauan geometri peledakan yang diterapkan untuk mendapatkan nilai vibrasi yang lebih terkontrol.
2. Lakukan pengukuran di tanah/daerah yang masih asli (belum pernah dilakukan pekerjaan penambangan) untuk mendapatkan nilai *peak particle velocity* yang lebih akurat dan lakukan pengukuran di berbagai lokasi di pemukiman warga yang terdekat dari lokasi peledakan untuk mendapatkan variasi jarak dan isian yang aman (tidak melebihi ambang batas *peak particle velocity* yang sudah diterapkan)
3. Lakukan pengulangan peledakan dengan jumlah lubang yang meledak serentak (MIC 8 ms) dengan isian yang sama pada lokasi yang sama sebanyak 9 kali pengulangan untuk mendapatkan nilai konstanta yang akurat (sumber:diktat KJL kelas 1)
4. Faktor tidak terkontrol (geologi batuan, tofografi, bidang lemah) sebaiknya diperhitungkan untuk penelitian sejenis dimasa akan datang.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Anonim. (2012). Diktat Peledakan Pada Kegiatan Penambangan Bahan Galian. Diklat Teknik Pemberaian Batuan. Pusdiklat Teknologi Mineral dan Batubara. Bandung.
- [2] Anonim. (2013). Diklat Teknik Pemberaian Batuan pada Penambangan Bahan Galian. Pusdiklat Teknologi Mineral dan Batubara. Bandung.
- [3] Badan Standar Nasional Indonesia SNI 7571:2010. (2010). Baku Tingkat Getaran Peledakan Tambang. Jakarta.
- [4] Dwihandoyo, Marmer. (2013). Dampak Peledakan. Diklat Pengelolaan Peledakan pada Penambangan Bahan Galian (Juru Ledak Kelas I). Bandung.
- [5] Fadhly, F., Yulhendra, D., & Anaperta, Y. M. (2014). Analisis *ground vibration* pada kegiatan peledakan dengan metoda *peak particle velocity* beserta pengaruhnya terhadap bangunan di PT. Pamapersada Nusantara distrik MTBU *job site* Tanjung Enim. *Bina Tambang*, 2(1).
- [6] Koesnaryo, S. (2001). Teori Peledakan. Pusdiklat Teknologi Mineral dan Batubara. Bandung.
- [7] Kursus Juru Ledak Kelas II. (2004). Modul. Bandung. Pusdiklat Teknologi Mineral dan Batubara.
- [8] Helmi, Vikri. (2015). Analisis Pengurangan Tingkat *Ground Vibration* Pada Kegiatan Peledakan *Overburden* di Pit 14 Utara PT. Madhani Talatah Nusantara *Job Site* KPUC Desa Separi Kecamatan Tenggara Seberang Provinsi Kalimantan Timur. *Skripsi. Fakultas Teknik. Universitas Negeri Padang*. Padang.
- [9] Maryura, R., Toha, M. T., & 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*, 2(1).
- [10] Permana, A. R., & Heriyadi, B. (2019). Kajian Pengurangan Getaran Tanah (*Ground vibration*) Pada Peledakan *Overburden* Tambang Batubara Di PT. Artamulia TataPratama Site Tanjung Belit Provinsi Jambi. *Bina Tambang*, 4(1), 344-356.
- [11] Ramadana, Sahrul. (2018). Analisis Geometri Peledakan Guna Mendapatkan Fragmentasi Batuan yang Diinginkan untuk Mencapai Target Produktivitas Alat Gali Muat pada Kegiatan Pembongkaran Lapisan Tanah Penutup (*Overburden*) di Pit Menara Utara PT. Arkananta Apta Pratista *Job Site* PT. Kpuc, Malinau, Kalimantan Utara. *Skripsi. Fakultas Teknik. Universitas Negeri Padang*. Padang.
- [12] Saptono, Singgih. (2016). Teknik Peledakan. Jurusan Teknik Pertambangan UPN Veteran: Yogyakarta.
- [13] Situmorang, C. R., Kopa, R., & Sumarya, S. (2015). Analisis getaran tanah (*ground vibration*) hasil peledakan *overburden* di *site* tambang air laya selatan PT. Bukit asam (persero), tbk tanjung enim sumatera selatan. *Bina Tambang*, 2(1), 151-161.