

## ANALISIS PENGARUH MASSA BAHAN PELEDAK TERHADAP GROUND VIBRATION UNTUK MENDAPATKAN $PPV \leq 3\text{MM/S}$ PADA JARAK 300M PIT INUL MIDDLE 3B, PT KALTIM PRIMA COAL, KABUPATEN KUTAI TIMUR, PROVINSI KALIMANTAN TIMUR

Muhammad Wildan Ilyasa<sup>1a</sup>, Singgih Saptono<sup>1</sup>, Indri Lesta Siwidiani<sup>1</sup>, Indun Titisariwati<sup>1</sup>, Wawong Dwi Ratminah<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknologi Mineral,  
Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta

<sup>a</sup>email: [wildanilyasa@gmail.com](mailto:wildanilyasa@gmail.com)

### Abstract

*PT. Kaltim Prima Coal (PT. KPC) is a company engaged in coal mining which is located in Sangatta District, East Kutai Regency, East Kalimantan Province. One of the pits, namely Pit Inul Middle Panel 3B, has a pit boundary which is  $\pm 300\text{m}$  from the residents' houses. Excavation is carried out by carrying out blasting activities on the overburden layer. One of the effects of blasting activities is that it can cause ground vibrations. Excessive ground vibrations can cause damage to the building structure. According to SNI 7571:2010 ground vibrations that can damage class two types of buildings are Peak Particle Velocity (PPV) with a value of  $3\text{mm/s}$ . On 9 April 2022 there were two explosions with a PPV of more than the threshold measured at a resident's house which was  $\pm 300\text{m}$  from the blasting location with values of  $3.33\text{mm/s}$  and  $3.101\text{mm/s}$ . The existence of the PPV results can damage the building structure so it is necessary to carry out an analysis to overcome the impacts. The analysis was carried out by correlating the PPV value with the mass of the explosive charge and the measurement distance. Based on the analysis of the mass of the explosive charge and the measurement distance, it affects the PPV value. There are two proposals to reduce the mass of the explosive charge from  $20\text{kg}$  to  $19\text{kg}$  (Berta, 1985) and  $17\text{kg}$  (USBM, 1962 and Agrawal & Mishra, 2018) at a distance of  $300\text{ m}$ . The proposal is predicted to have a crushing zone of  $9.969\text{m}$  (Kanchibotla et al, 1999) with strong tensile rock damage and some radial cracking of rock (Bauer and Calder, 1978).*

**Keywords** : blasting, ground vibration, explosive charge, crushing zone

### Abstrak

PT. Kaltim Prima Coal (PT. KPC) merupakan perusahaan yang bergerak di bidang pertambangan batubara yang terletak di Kecamatan Sangatta, Kabupaten Kutai Timur, Provinsi Kalimantan Timur. Salah satu pit yaitu Pit Inul Middle Panel 3B memiliki batas pit yang berjarak  $\pm 300\text{m}$  dari rumah penduduk. Pembongkaran dilakukan dengan melakukan kegiatan peledakan pada lapisan penutup. Salah satu efek dari kegiatan peledakan adalah dapat menimbulkan getaran tanah. Getaran tanah yang berlebih dapat menimbulkan kerusakan pada struktur bangunan. Menurut SNI 7571:2010 getaran tanah yang dapat merusak jenis bangunan kelas dua adalah *Peak Particle Velocity* (PPV) dengan nilai  $3\text{mm/s}$ . Pada 9 April 2022 terdapat dua peledakan dengan PPV lebih dari ambang batas yang diukur pada rumah penduduk yang berjarak  $\pm 300\text{m}$  dari lokasi peledakan dengan nilai  $3,33\text{mm/s}$  dan  $3,101\text{mm/s}$ . Adanya hasil PPV tersebut dapat merusak struktur bangunan sehingga perlu dilakukan analisis untuk menanggulangi dampak yang ditimbulkan. Analisis dilakukan dengan menghubungkan nilai PPV dengan massa isian bahan peledak dan jarak pengukuran. Berdasarkan analisis massa isian bahan peledak dan jarak pengukuran berpengaruh pada nilai PPV. Terdapat dua usulan pengurangan massa isian bahan peledak dari  $20\text{ kg}$  menjadi  $19\text{kg}$  (Berta, 1985) dan  $17\text{kg}$  (USBM, 1962 dan Agrawal & Mishra, 2018) pada jarak  $300\text{m}$ . Usulan tersebut diprediksi memiliki *crushing zone* sebesar  $9,969\text{m}$  (Kanchibotla et al, 1999) dengan kerusakan batuan *Strong tensile and some radial cracking of rock* (Bauer dan Calder, 1978).

**Kata Kunci** : peledakan, getaran tanah, bahan peledak, *crushing zone*

## I. PENDAHULUAN

PT. Kaltim Prima Coal (PT. KPC) merupakan perusahaan swasta yang bergerak di bidang pertambangan batubara yang terletak di Kecamatan Sangatta, Kabupaten Kutai Timur, Provinsi Kalimantan Timur. Sistem penambangan yang diterapkan yaitu sistem tambang terbuka (surface mining) dengan luas area penambangan seluas 61.543 Ha berdasarkan Izin Usaha Pertambangan Khusus (IUPK). Kegiatan penambangan batubara terdiri dari pembongkaran menggunakan peledakan, pemuatan, dan pengangkutan material lapisan penutup (*overburden*) terlebih dahulu yang kemudian dilakukan penggalian batubara.

Geometri peledakan yang digunakan yaitu Burden = 7 m, Spacing = 10 m dan kedalaman maksimal = 10 m. Kedalaman lubang bor bervariasi menyesuaikan dengan kondisi lapisan batubara atau disebut Top Of Coal. Pelaksanaan kegiatan peledakan menerapkan metode double decking yaitu dengan pengisian dua detonator dalam satu lubang ledak yang dibatasi menggunakan material stemming pada kedalaman lubang 7 – 10 m. Pada dasar lubang ledak dengan kedalaman 8 – 10 m diterapkan metode bottom airdeck menggunakan sysdeck berupa paralon sepanjang 1 m sebagai penyangga rongga udara. Pola peledakan yang diterapkan pada lokasi penelitian adalah detonator by detonator dikarenakan adanya lubang ledak yang diisi menggunakan dua detonator.

Pit Inul Middle Panel 3B merupakan pit di area tambang batubara yang terletak dekat dengan daerah pemukiman warga dan jalan umum. Peledakan lapisan penutup yang dilakukan menghasilkan PPV (*Peak Particle Velocity*) mencapai 3,33mm/s pada jarak 332 m. Nilai tersebut telah melebihi SNI 7571:2010 yaitu nilai PPV maksimal 3 mm/s untuk lokasi peledakan yang berjarak ± 300 m dengan rumah penduduk. Nilai PPV yang melampaui ambang batas tersebut akan menyebabkan kerusakan bangunan pemukiman penduduk. Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Menganalisis hasil pengukuran *ground vibration*.
2. Menentukan massa isian bahan peledak maksimal secara teoritis.
3. Membandingkan prediksi PPV secara teoritis dan aktual.

v = Batas nilai PPV yang diharapkan (m/s)  
 R = Jarak titik pengamatan (m)  
 Kf = Faktor pengaruh jenis tanah terhadap penurunan frekuensi  
 pr = Densitas batuan (kg/m<sup>3</sup>)  
 C = Kecepatan gelombang seismik batuan (m/s)

4. Menentukan efek *blast damage* di sekitar lubang ledak pada lapisan penutup.

## II. METODOLOGI PENELITIAN

### 2.1. Pengambilan Data

- a. Data Primer
  - Pengukuran getaran tanah aktual
  - Jarak peledakan dengan alat pengukuran getara
  - Berat bahan peledak aktual
  - Jumlah lubang dan detonator aktual
- b. Data Sekunder
  - Data getaran tanah terdahulu
  - Data karakteristik massa batuan
  - Spesifikasi bahan peledak
  - Berat bahan peledak rencana

### 2.2. Pengolahan dan Analisis Data

Pengolahan dan analisis data dilakukan dengan metode teoritis, sehingga akan mendapatkan hasil sesuai dengan tujuan penelitian yaitu:

- a. Menganalisis hubungan antara massa isian bahan peledak dan jarak dengan nilai *ground vibration*.
- b. Menentukan massa isian bahan peledak maksimal secara teoritis menggunakan teori :

- Hubungan antara Densitas dan Kecepatan Seismik Batuan  
 Menurut Gardner (1974) semakin tinggi nilai densitas maka akan semakin tinggi nilai seismik yang merambat pada massa batuan tersebut yang dapat dituliskan dengan:

$$\rho = 0,31 \cdot V^{\frac{1}{4}}$$

Keterangan :

$\rho$  = densitas batuan (gr/cm<sup>3</sup>)

V = kecepatan seismik (m/s)

- Massa Isian Bahan Peledak Maksimal  
 Semakin banyak bahan peledak per *delay*, semakin besar getaran tanah yang dihasilkan. Berta(1985) mengusulkan persamaan untuk menentukan jumlah isian maksimal agar PPV tidak melebihi batas menggunakan persamaan berikut:

$$Q = v^2 \cdot R^2 \left( \frac{5 \cdot Kf \cdot \text{Log } R \cdot \pi \cdot pr \cdot C}{\eta g \cdot \eta 1 \cdot \eta 2 \cdot \varepsilon \cdot 10^6} \right)$$

Keterangan :

Q = Jumlah isian maksimum per *delay*/ MIC maksimum(kg)

$\varepsilon$  = Specific explosion energy (MJ/kg)

$\eta g$  = Breaking factor

$\eta 1$  = Impedence factor

$\eta 2$  = Coupling factor

Nilai Kf dapat ditentukan berdasarkan **Tabel 1.**

**Tabel 1** Nilai Kf (Berta, 1985)

Type of ground	Kf
Water logged sands and gravels	0,11 – 0,13
Compacted alluviums	0,06 – 0,09
Hard and compact rock	0,01 – 0,03

Nilai ng diperoleh berdasarkan **Tabel2.**

**Tabel 2** Nilai ng (Berta, 1985)

Energy effect	ng
Fracture in situ	< 0,01
Breakage	0,15
Displacement	0,04
Crushing in the vicinity of hole	0,015 – 0,02
Fly rock	<0,01
Deformation of the solid rock behind the shot	<0,01
Ground Vibration	0,4
Airblast	0,38 – 0,39

Impedence factor ( $\eta_1$ ) dapat dihitung menggunakan persamaan berikut ini:

$$\eta_1 = 1 - \frac{(\rho_e.VOD - \rho_r.C)^2}{(\rho_e.VOD + \rho_r.C)^2}$$

Keterangan :

- $\rho_e$  = Densitas bahan peledak (kg/m<sup>3</sup>)
- VOD = Kecepatan detonasi bahan peledak (m/s)
- $\rho_r$  = Densitas batuan (kg/m<sup>3</sup>)
- C = Kecepatan gelombang seismik batuan (m/s)

Coupling factor ( $\eta_2$ ) dapat dihitung menggunakan persamaan berikut ini :

$$\eta_2 = \frac{1}{e^{\frac{De}{Dc}} - (e-1)}$$

$PPV_{SH}$  = Scaled Distance dari signature hole (dalam bentuk regresi power  $K(SD)^n$ )

- Membandingkan hasil prediksi PPV secara teoritis dengan kondisi aktual untuk mendapatkan persen error
- Menghitung radius crushing zone berdasarkan persamaan Kanchibotla et al (1999) yaitu :

$$r_c = r_o \sqrt{\frac{Pd}{\sigma_c}}$$

Keterangan :

- $r_c$  = crushing zone (mm)
- $r_o$  = diameter lubang ledak (mm)
- $\sigma_c$  = UCS batuan (Pa)
- $Pd$  = Detonation Pressure bahan peledak (Pa)

Keterangan :

- De = Diameter lubang ledak (m)
- Dc = Diameter bahan peledak (m)
- e = 2,72

Menurut USBM (1962) hukum scaled distance dapat digunakan untuk mengontrol getaran tanah yang dinyatakan dalam perbandingan antara jarak dan isian bahan peledak yang mempengaruhi hasil getaran dan energi peledakan. Rumus scaled distance oleh USBM dituliskan sebagai berikut:

$$PPV_k = K \left( \frac{R}{\sqrt{Q}} \right)^n$$

Keterangan :

- $PPV_k$  = Peak Particle Velocity Konvensional (mm/s)
- R = Jarak dari Seismograf ke Lokasi Peledakan (m)
- Q = Total Berat Bahan Peledak(kg)
- K = Konstanta dari Bahan Peledak yang Dicari

b = Konstanta dari Batuan yang Dicari  
Sedangkan menurut Agrawal & Mishra (2018) persamaan scaled distance konvensional tidak mempertimbangkan adanya superimposition wave yaitu gelombang yang dapat saling menguatkan. Pada persamaan yang dikembangkan oleh Agrawal & Mishra menggabungkan antara data peledakan single hole dan peledakan produksi untuk mendapatkan superimposition factor, maka persamaan menjadi linear sebagai berikut :

$$PPV_m = K (PPV_{SH}) - S$$

Keterangan :

- K = site factor yang dicari
- S = superimposition factor

Nilai detonation pressure dapat ditentukan dengan persamaan Jimeno(1995) berikut:

$$Pd = \frac{\rho_e.VOD^2}{4}$$

Keterangan :

- $Pd$  = Pressure Detonation (kPa)
- $\rho_e$  = Explosive Density (gr/cm<sup>3</sup>)
- VOD = Velocity of Detonation (m/s)

Kemudian untuk mengetahui tingkat kerusakan batuan pada radius crushing zone dapat menggunakan kriteria Bauer dan Calder (1978) pada **Tabel 3.**

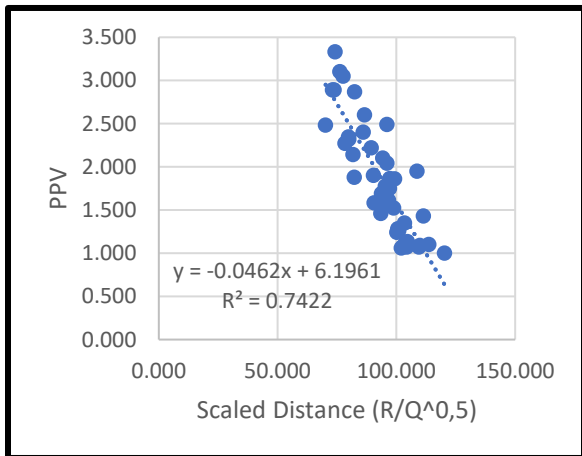
**Tabel 3** Kriteria Efek PPV untuk Kerusakan Akibat Peledakan pada Batuan, Bauer dan Calder (1978)

PPV (mm/s)	Effect on structures and rock masses
>2.500	Complete break-up of rock masses
635 – 2.500	Strong tensile and some radial cracking of rock
250 – 635	Minor tensile slabbing in rock
<250	No fracturing of intact rock

**III. HASIL DAN PEMBAHASAN**

**3.1. Analisis Hasil Pengukuran Ground Vibration**

Hasil pengukuran ground vibration sebanyak 45 kali dilapangan didapatkan bahwa memiliki hubungan dengan jarak dan massa isian bahan peledak dapat dilihat pada **Gambar 1** menggunakan skema Scaled Distance.



**Gambar 1.** Grafik PPV vs Scaled Distance

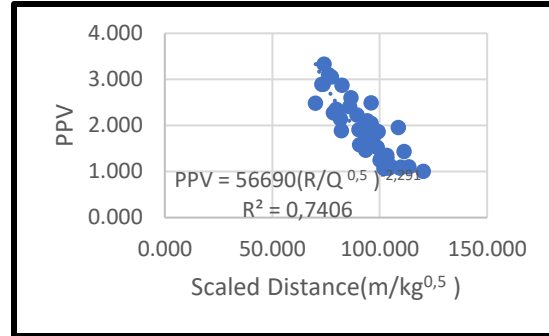
Berdasarkan Gambar 1 didapatkan bahwa nilai PPV berbanding terbalik dengan nilai jarak, sehingga semakin besar nilai jarak maka semakin kecil nilai PPV, sebaliknya semakin besar nilai massa isian bahan peledak maka semakin besar nilai PPV.

**3.2. Menentukan Massa Isian Bahan Peledak Maksimal**

Perhitungan untuk menentukan massa isian bahan peledak maksimal dilakukan dengan mengunci nilai PPV pada 3 mm/s dan jarak pengukuran 300m. Perhitungan dilakukan dengan menggunakan persamaan Berta (1985), Scaled Distance USBM (1962), dan Modified Scaled Distance Agrawal & Mishra (2018) di bawah ini.

- Berta (1985)  

$$Q = \frac{1}{(0,003)^2 \cdot (300)^2} \cdot \left( \frac{5 \cdot 0,08 \cdot \text{Log}300 \cdot \pi \cdot 2300 \cdot 3030,15}{0,4 \cdot 0,99 \cdot 1 \cdot 2,39 \cdot 10^6} \right)$$
- USBM (1962)

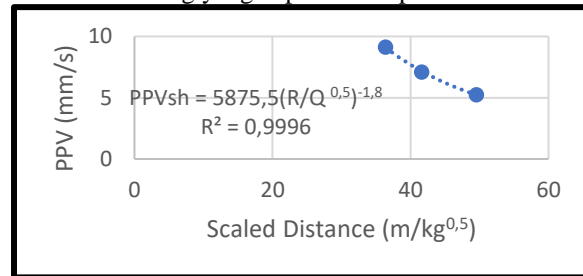


**Gambar 2.** Grafik PPV vs Scaled Distance

Pada perhitungan USBM dilakukan dengan menggunakan regresi power data peledakan yang dapat dilihat pada **Gambar 2**. Sehingga, dapat ditentukan persamaan PPV sebagai berikut

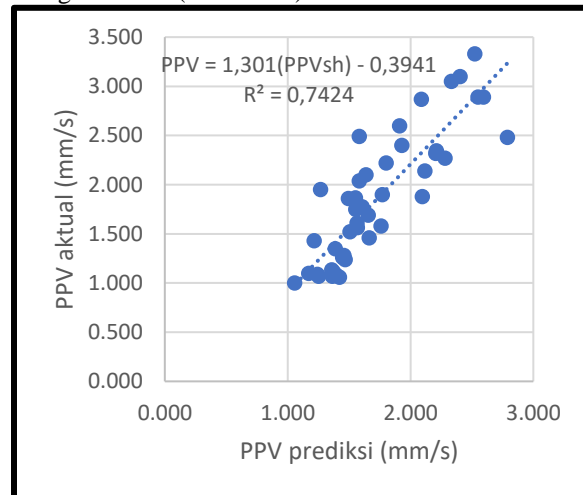
$$PPV = 56689,8453 \left( \frac{R}{\sqrt{Q}} \right)^{-2,2914}$$

- Agrawal & Mishra (2018)  
 Pada perhitungan Agrawal & Mishra dilakukan dengan melakukan regresi power pada data single hole blasting yang dapat dilihat pada **Gambar 3**.



**Gambar 3.** Grafik PPV vs Scaled Distance Single Hole Blasting

Kemudian dari persamaan pada **Gambar 3** dilakukan prediksi pada data peledakan produksi yang selanjutnya dilakukan perbandingan dari data prediksi dan aktual sehingga membentuk garis lurus (**Gambar4**).



**Gambar 4.** Grafik PPV aktual dan PPV prediksi Peledakan Produksi

Sehingga didapatkan persamaan sebagai berikut untuk menentukan massa isian bahan peledak maksimal,

$$Q = (300 \times (\frac{3 + 0,3941}{7644,087})^{\frac{1}{1,8}})^2$$

Hasil yang didapat dari persamaan tersebut bahwa isian massa bahan peledak dapat dikurangi yang mulanya 20kg menjadi 19kg(Berta,1985) dan 17kg(USBM,1962 dan Agrawal & Mishra,2018)

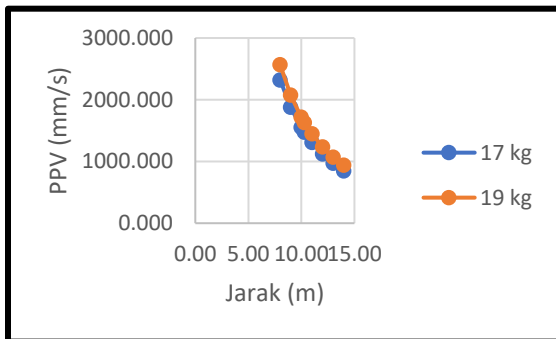
**3.3. Membandingkan Hasil Prediksi PPV Teoritis dan Aktual**

Hasil Prediksi PPV pada 45 kali peledakan dibandingkan dengan hasil PPV aktual. Pada teori Giorgio Berta menghasilkan data dengan prediksi PPV lebih besar dibandingkan dengan teori scaled distance. Selisih PPV aktual dan prediksi rata-rata yang dihasilkan teori Giorgio Berta sebesar 0,427mm/s. Nilai ini jauh lebih tinggi dibandingkan dengan teori Scaled Distance Konvensional dan Modified Scaled Distance dengan nilai 0,266 mm/s dan 0,269 mm/s yang menjadikan hasil prediksi dari teori Scaled Distance lebih akurat untuk menggambarkan hasil PPV di lapangan. Grafik berikut menunjukkan besarnya perbedaan antara PPV teoritis dan PPV aktual.

**3.4. Menentukan Efek Blast Damage di Sekitar Lubang Ledak pada Lapisan Penutup**

Penentuan efek blast damage diperlukan untuk mengetahui kerusakan batuan sekitar lubang ledak akibat kegiatan peledakan menggunakan usulan massa isian bahan peledak secara teoritis. Massa isian bahan peledak usulan yang diperlukan adalah yang dapat merusak batuan sekitar dengan geometri peledakan burden 7m dan spasi 10m. Berdasarkan dari perhitungan menggunakan persamaan Kanchibotla(1999) berikut:

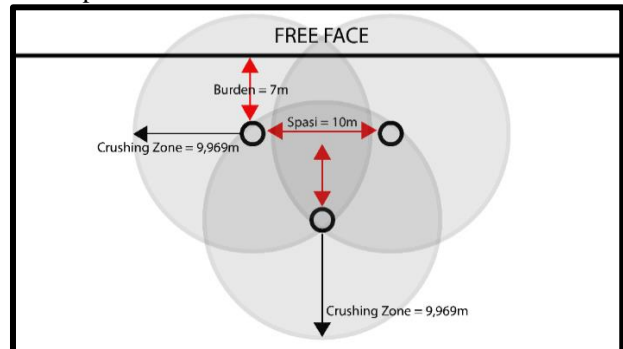
$$r_c = 200 \sqrt{\frac{8546725575}{3440000}}$$



**Gambar 5.** Grafik Perbandingan Prediksi PPV dengan Isian 17kg dan 19kg

Maka didapatkan nilai Crushing Zone yang dihasilkan dari kegiatan peledakan di lokasi penelitian yaitu

sebesar 9,969m(**Gambar 6**). Kemudian hasil PPV di prediksi menggunakan scaled distance dengan mengunci nilai pada jarak tersebut dengan isian 17kg dan 19kg (**Gambar5**). Kriteria kerusakan batuan dapat dilihat pada **Tabel 4**.



**Gambar 6.** Skema *Crushing Zone* Peledakan

**Tabel 4.** Hasil Prediksi dan Kriteria Kerusakan Batuan

Radius <i>Crushing Zone</i> (m)	Prediksi PPV (mm/s)		Kriteria (Bauer dan Calder, 1978)
	Isian 17 kg	Isian 19 kg	
9,969	1560,5	1724,8	<i>Strong tensile and some radial cracking of rock</i>

**IV. KESIMPULAN**

1. Dapat diketahui hubungan massa isian bahan peledak berbanding lurus terhadap nilai PPV. Dimana semakin besar massa isian maka semakin besar nilai PPV. Sedangkan hubungan jarak pengukuran dengan nilai PPV berbanding terbalik, sehingga semakin besar nilai jarak maka semakin kecil nilai PPV
2. Didapatkan massa bahan peledak maksimal yang dapat digunakan pada jarak 300 m untuk mendapatkan PPV ≤ 3 mm/s yang semula 20kg dapat dikurangi menjadi 19 kg sesuai teori Berta atau 17 kg sesuai teori *Scaled Distance* Konvensional dan *Modified Scaled Distance*.
3. Didapatkan berdasarkan hasil perbandingan PPV prediksi dan aktual didapat nilai selisih rata - rata pada masing masing teori adalah Teori Giorgio Berta = 0,427mm/s, Teori *Scaled Distance* Konvensional = 0,266mm/s, Teori *Modified Scaled Distance* = 0,269 mm/s
4. Dapat Diketahui Berdasarkan kriteria *blast damage* Bauer dan Calder (1978) kegiatan peledakan menggunakan massa isian susulan menghasilkan *Strong tensile and some radial cracking of rock* pada radius 9,969m sehingga dapat diterapkan dilapangan.

## V. DAFTAR PUSTAKA

- Agrawal, Hermant dan A.K. Mishra (2018) : *Modified scaled distance regression analysis approach for prediction of blast-induced ground vibration in multi-hole blasting*. India, Dhanbad, Department of Mining Engineering, Indian Institute of Technology (Indian School of Mines).
- Berta, G. (1985) : *An Engineering Tool*. Italia, Milan.
- Bhandari, S. (1997) : *Engineering Rock Blasting Operations*. Rotterdam, A.A. Balkema.
- Dowding, Charles. H, (1985) : *Blast Vibration Monitoring And Control*. Prentice – Hall. Inc: USA
- Esen, S. dkk (2003) : *Modelling the size of the crushed zone around a blasthole*. International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences 40 (2003) 485–495.
- Fourney, W.L., Barker, D.B., dan Holloway, D.C. (1981): *Model Studies of Explosive Well Stimulation Techniques*. Int. J. Rock Meck. Min. Sci. & Geomech. Abstr. Vol. 18. Pp. 113-127.
- Hayat, M.B., Alagha, dan L., Ali, D. (2019) : *Air Decks in Surface Blasting Operations*. Journal of Mining Science, Vol. 55, No. 6, pp. 922-929.
- Hustrulid, W. (1999): *Blasting Principle for Open Pit Mining*. Colorado, Colorado School of Mines.
- Jinemo, C.L., Jinemo, E.L., dan Cardeco, F.J.A. (1995) : *Drilling and Blasting of Rock*. Rotterdam, A.A. Balkema.
- Kanchibotla, S.S. dkk (1999) : *Modelling fines in blast fragmentation and its impact on crushing and grinding*. Proceedings of Explo'99—A Conference on Rock Breaking. The Australasian Institute of Mining and Metallurgy, Kalgoorlie, Australia. p. 137–44.
- Koesnaryo. (2011) : *Teknik Peledakan Batuan*. Yogyakarta, Jurusan Teknik Pertambangan, Fakultas Teknologi Mineral, UPN “Veteran” Yogyakarta
- Konya, J.C., dan Walter, E.J. (1990): *Surface Blast Design*. Ohio, Intercontinental Development
- Naapuri, J. (1987) : *Surface Drilling and Blasting*. Tamrock.
- Olofsson, S.O. (1990) : *Applied Explosives Technology for Construction and Mining*. Sweden, APPLEX.
- Sheriff, R. E. dan Geldart L.P. (1995) : *Exploration Seismology*, Newyork, Cambridge University Press.
- Siagian, K. J. (2014): *Analisis Geometri Peledakan Untuk Mendapatkan Nliai PPV  $\leq$  2 mm/s Pada Jarak 500 m*, PT. Orica Mining Services, Site PT. KPUC, Samarinda, Kalimantan Timur. Yogyakarta, Jurusan Teknik Pertambangan, Fakultas Teknologi Mineral, UPN “Veteran” Yogyakarta.
- Sun, C. (2013): *Damage Zone Prediction for Rock Blasting*. Disertasi, University of Utah.
- Telford, W.M. dkk (1990), *Applied Geophysics*, 2nd ed, Cambridge University Press.
- Walpole, R.E. (1995). *Pengantar Statistika*, edisi ke-3, Penerbit PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta
- Zou, D. (2017): *A Text Book of Computer Based Numerical and Statistical Technique: New Age International Limited Publishers*. Singapore, Metallurgical Industry Press dan Springer.