

Analisis Pengaruh Jumlah Bahan Peledak terhadap Ground Vibration Akibat Peledakan di Area Tambang Batubara PT. Kayan Putra Utama Coal Site Malinau Kalimantan Utara

Adinda Putri Nadya¹, Andy Erwin Wijaya^{2,*}, Novandri Kusuwa Wardana³

^{1, 2, 3}Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknologi Mineral, Intitut Teknologi Nasional Yogyakarta

Korespondensi* : andy@itny.ac.id

ABSTRAK (10 PT)

Kegiatan peledakan memberikan dampak negatif bagi lingkungan sekitar, salah satu dampak negatif yang diakibatkan oleh kegiatan peledakan adalah getaran tanah (ground vibration). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh jumlah bahan peledak yang digunakan terhadap ground vibration yang dihasilkan dan perbandingan ground vibration aktual dengan prediksi. Penelitian ini dilakukan pada lokasi PT. Kayan Putra Utama Coal Kalimantan Utara (3o 7' 44,94" LS- 3o 00' - 00" LS) dan (116o 29' 00.00" BT – 116o 31' - 53" BT). Data penelitian berupa pengukuran geometri peledakan dan pengukuran ground vibration yang kemudian diolah dalam perhitungan statistic berdasarkan persamaan R.L.Ash, perhitungan Peak Particle Velocity (PPV) dan nilai konstanta menggunakan USBM Oriand' Formula. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ground vibration sangat dipengaruhi oleh jumlah bahan peledak yang digunakan untuk Powder Factor (PF) 0,18 dengan jumlah muatan 151 kg/hole nilai PPV yang dihasilkan 2,6 mm/s sedangkan untuk PPV 0,17 dengan jumlah muatan 129 kg/hole nilai PPV yang dihasilkan 1,3 mm/s. Jadi semakin besar jumlah bahan peledak yang digunakan maka intensitas ground vibration yang dihasilkan akan semakin meningkat. Perbandingan ground vibration aktual dan prediksi diperoleh cukup akurat dengan nilai persentase 86,10%. Dari hasil ground vibration yang didapat 3,29 mm/s, nilai tersebut dikategorikan tidak aman dikarenakan nilainya melewati nilai ambang batas standar PPV yang diterapkan SNI yaitu 3 mm/s.

Kata kunci: Peledakan, Ground Vibration, bahan peledak, Peak Particle Velocity (PPV), Powder Factor (PF).

ABSTRACT (10 PT)

Blasting activities have a negative impact on the surrounding environment, one of the negative impacts caused by blasting activities is ground vibration. This study aims to determine the effects of the amounts of explosives used on the resulting ground vibration and the comparison of actual and predicted ground vibration. This research was conducted at the location of PT. Kayan Putra Utama Coal (3o 7' 44,94" South Latitude - 3o 00' - 00" South Latitude) and (116o 29' 00.00" East Latitude - 116o 31' - 53" East Latitude). Research data is in the form of blasting geometry measurements which are then processed in statical calculations based on the R.L.Ash equation, Peak Particle Velocity (PPV) calculations and constant values using USBM Oriand' Formula. The results showed that ground vibration was strongly influenced by the amount of explosive used for Powder Factor (PF) 0,18 with a total load of 151 kg/hole the PPV value produced was 2.6 mm/s while for PPV 0.17 with a total load of 129 kg/hole the resulting PPV value is 1.3 mm/s, so the amount of explosive used, greater the intensity of ground vibration produced. A comparison of actual and predicted ground vibration was obtained quite accurately with an average percentage value of 86.10%, from the ground vibration results obtained at 3.29 mm/s, this value is categorized as not safe because the value does exceed the PPV standard threshold value applied by SNI.

Keyword: *Blasting, Ground Vibration, explosives, Peak Particle Velocity (PPV), Powder Factor (PF)*

PENDAHULUAN (10 PT)

PT. Kayan Putra Utama Coal merupakan perusahaan pertambangan batubara yang telah beroperasi selama 14 tahun. PT. Kayan Putra Utama Coal juga merupakan salah satu perusahaan tambang batubara yang melakukan kegiatan peledakan dalam pengupasan overburden dalam upaya pencapaian target produksi. Penambangan dilakukan dengan sistem tambang terbuka (stripping mining) yang kegiatan utamanya berupa pengupasan lapisan tanah (overburden) dengan cara pemboran dan peledakan. Peledakan merupakan proses pemberaian

suatu material baik berupa tanah maupun batuan yang tidak dapat dilakukan dengan alat mekanis yang terdiri dari bahan kimia yang bersifat explosive.

Peledakan pada kegiatan penambangan selain menimbulkan hancurnya batuan (pemberaian) juga akan mengakibatkan getaran pada massa batuan atau material di sekitarnya. Tingkat getaran dari ledakan bervariasi tergantung pada rancangan peledakan dan kondisi geologi dari batuan. Karena itu penerapan metode peledakan harus benar dan sesuai dengan kondisi batuan yang akan diledakkan. Getaran peledakan yang dihasilkan harus berada pada keadaan aman mengingat kondisi lingkungan. Hal ini berarti bahwa pengaruh dari getaran peledakan yang berada di luar standar ukuran peledakan yang diijinkan akan menimbulkan gangguan terhadap kenyamanan, kesehatan manusia, dan keselamatan bangunan atau lereng tambang di sekitarnya.

Agar penelitian ini dapat terlaksana dengan baik dan sesuai dengan prosedur yang telah ditetapkan, maka penelitian ini khusus dilakukan di area pit Tanjung Nanga dimulai tanggal 12 April 2022 hingga 12 Juni 2022 yang mencakup pengontrolan kegiatan di lapangan meliputi, pengukuran geometri peledakan dan ground vibration serta menemukan cara efektif mengurangi tingkat ground vibration. Dalam perhitungan geometri peledakan rumusan yang digunakan adalah rumus dari R.L.Ash, sedangkan perhitungan Peak Particle Velocity (PPV) menggunakan USBM Oriard' Formula dalam Sundoyo (2015). Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh jumlah bahan peledak yang digunakan terhadap getaran tanah yang dihasilkan dan membandingkan nilai ground vibration aktual dengan prediksi.

METODE PENELITIAN

Dalam melaksanakan penelitian ini, metode penelitian yang digunakan oleh penulis adalah sebagai berikut :

Studi Literatur

Studi literatur dilakukan dengan mencari bahan-bahan Pustaka yang menunjang, antara lain :

- Perpustakaan
- Penelitian yang pernah dilakukan oleh perusahaan
- Jurnal ilmiah dan informasi-informasi lain
- Peta-peta, grafik, serta tabel
- Instansi yang terkait dengan permasalahan

Penelitian di Lapangan

- Observasi dan pengamatan secara langsung di lapangan serta mencari data-data pendukung
- Menentukan titik dan batas lokasi pengamatan agar penelitian tidak meluas, tidak keluar dari permasalahan yang ada, serta data yang diambil dapat dimanfaatkan secara efektif
- Mencocokkan data-data yang telah ada, pengambilan dan tambahan.

Pengambilan Data

Pengambilan data langsung di lapangan dipakai sebagai salah satu bahan untuk mengetahui permasalahan yang ada sehingga dapat diambil suatu solusi yang tepat. Data-data yang diambil antara lain :

Data primer

Yaitu data yang diambil dengan melakukan pengambilan secara langsung di lapangan, meliputi pengamatan kegiatan penambangan dan wawancara, meliputi : geometri peledakan, jenis bahan ledak, jumlah muatan bahan peledak, perlengkapan peledakan digunakan, nilai powder factor dan nilai ground vibration aktual, desain tie up, delay time,

Pengambilan Data

Yaitu data yang diambil berasal dari literatur, penelitian terdahulu, serta arsip penunjang yang diperoleh di PT. Kayan Putra Utama Coal Site Malinau. Meliputi : profil perusahaan, peta kesampaian daerah, peta IUP.

Pengolahan dan Analisis Data

Data yang telah terkumpul baik dari studi literatur maupun dari pengambilan data di lapangan dikelompokkan berdasarkan jenis dan kegunaannya, sehingga akan terlihat apakah terjadi penyimpangan atau tidak. Jika terjadi penyimpangan data yang cukup tinggi maka pengambilan data harus semakin banyak sehingga dapat diambil rata-rata yang mewakili keadaan. Data-data tersebut kemudian diolah dan dianalisa untuk mendapatkan suatu kesimpulan sementara.

Pembahasan

Dilakukan untuk mendapatkan hasil akhir berdasarkan kesimpulan sementara yang telah didapat dan analisis yang telah dilakukan sehingga dapat ditarik kesimpulan akhir dari analisis data tersebut.

Kesimpulan

Dilakukan dengan tujuan memperoleh kesimpulan akhir. Kesimpulan akhir diperoleh setelah dilakukan antara hasil pengolahan data dengan permasalahan yang diteliti dan kesimpulan ini merupakan hasil akhir untuk direkomendasikan dari semua masalah yang dibahas.

Perhitungan PPV dan nilai konstanta (K) menggunakan USBM Oriard' Formula dengan persamaan sebagai berikut :

$$PPV = k \left(\frac{D}{\sqrt{W}} \right)^{-n} = k x (SD)^{-n}$$

Dimana :

PPV = Peak Particle Velocity, (mm/s).

D = Jarak muatan maksimum terhadap area pengamatan, (m).

W = Total berat bahan peledak maksimum per periode tunda, (kg).

K,n = Nilai Konstanta yang diperoleh dari kondisi lokal dan kondisi peledakan.

HASIL DAN ANALISIS

Hasil Pengukuran *Ground Vibration*

Output ledakan dinyatakan dengan Powder Factor (PF) dan massa batuan terberai. Secara umum rentang kriteria PF untuk peledakan suatu batuan tertentu diketahui berdasarkan data empiris yang terkumpul di lapangan. Isian bahan peledak yang digunakan sangat berpengaruh signifikan terhadap distribusi ukuran fragmentasi yang dibongkar dan mempengaruhi aktivitas penambangan selanjutnya.

Tabel 1. Pengaruh Jumlah Bahan Peledak terhadap *Ground Vibration*

Tanggal	Lokasi	Jumlah Muatan (kg/hole)	Jarak (m)	PPV (mm/s)	Delay		Powder Factor (kg/m ³)
					Control Row (ms)	Sayap (ms)	
24 Mei 2022	Tanjung Nanga	141	1200	1.57	25	65	0.18
25 Mei 2022	Tanjung Nanga	145	1200	1.84	25	65	0.18
25 Mei 2022	Tanjung Nanga	151	1200	2.62	25	17	0.18
29 Mei 2022	Tanjung Nanga	129	1200	1.25	25	17	0.17
25 Mei 2022	Tanjung Nanga	141	500	3.23	25	65	0.18

Pada penelitian di Pit Tanjung Nanga mengukur data getaran tanah selama peledakan. Kegiatan peledakan di Pit Tanjung Nanga dilakukan pada siang hari sekitar atau pada jam istirahat (12.00-13.00). *Blastmate III* digunakan sebagai alat ukur *ground vibration*, sedangkan GPSmao Garmin 62s digunakan untuk menghitung jarak lokasi peledakan ke lokasi pengamatan. Pengukuran dilakukan pada jarak (500-1200 meter).

Dari hasil pengolahan data di atas dapat disimpulkan bahwa semakin besar jumlah bahan peledak yang digunakan maka semakin besar pula nilai *ground vibration* yang dihasilkan akan semakin meningkat, dan hasil dari *ground vibration* tergantung pada perubahan jarak dari titik peledakan dengan lokasi pengukuran. Namun perlu dicatat bahwa intensitas *ground vibration* yang dihasilkan bergantung pada berat muatan bahan peledak yang meledak per interval waktu, bukan pada jumlah total bahan peledak.

Hasil Perbandingan *Ground Vibration* Aktual Dengan Prediksi

Untuk menghitung nilai *ground vibration* prediksi menggunakan persamaan PPV dan nilai Konstanta (K) dimana nilai K yang digunakan adalah nilai K rata-rata yang diperoleh dari persamaan PPV dan *Scaled Distance*. Perhitungan untuk mencari K didapat dari data aktual pengukuran di lapangan.

Tabel 2. Hasil Pengukuran PPV dan *Scaled Distance*

Tanggal	Lokasi	PPV (mms)	Jarak (m)	Berat Isian (kg)	SD (m/kg ^{0,5})
13 Mei 2022	Pit Tanjung Nanga	2,365	800	141	67,372
17 Mei 2022	Pit Tanjung Nanga	2,397	800	137	68,349
21 Mei 2022	Pit Tanjung Nanga	1,397	1000	141	84,215
23 Mei 2022	Pit Tanjung Nanga	1,667	900	141	75,794
24 Mei 2022	Pit Tanjung Nanga	1,572	1200	141	101,058
25 Mei 2022	Pit Tanjung Nanga	1,841	1200	145	99,655
25 Mei 2022	Pit Tanjung Nanga	2,619	1200	151	97,655
25 Mei 2022	Pit Tanjung Nanga	3,286	500	141	42,108
29 Mei 2022	Pit Tanjung Nanga	1,318	1200	129	105,654
29 Mei 2022	Pit Tanjung Nanga	1,254	1200	129	105,654

Tabel 3. Konversi PPV dan SD menjadi Log PPV dan Log SD

No	PPV	SD	yi Log PPV	xi log SD	xi × yi	x ²
1	2,365	67,372	0,374	1,828	0,684	3,343
2	2,397	68,349	0,380	1,835	0,697	3,366
3	1,397	84,215	0,145	1,925	0,280	3,707
4	1,667	75,794	0,222	1,880	0,417	3,533
5	1,572	101,058	0,196	2,005	0,394	4,018
6	1,841	99,655	0,265	1,998	0,530	3,994
7	2,619	97,655	0,418	1,990	0,832	3,959
8	3,286	42,108	0,517	1,624	0,839	2,639
9	1,318	105,654	0,120	2,024	0,243	4,096
10	1,254	105,654	0,098	2,024	0,199	4,096
Jumlah			2,735	19,133	5,113	36,752

Perhitungan :

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

Misal : Log Y = Y, Log a = a, dan Log X = X, maka

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

$$b = \frac{(10)(5,113) - (19,133)(2,735)}{10(43,25) - (19,133)^2}$$

$$b = -0,83317$$

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

$$a = \frac{2,75}{10} - (-0,83317 \times \frac{19,133}{10})$$

$$a = 1,86763$$

Sehingga persamaan diatas menjadi :

$$Y = 1,86763 - 0,83317$$

$$\text{Log } Y = \text{antilog } 1,86763 - 0,83317$$

$$\text{Log } Y = 73,7573 - 0,83317 \text{ log } X$$

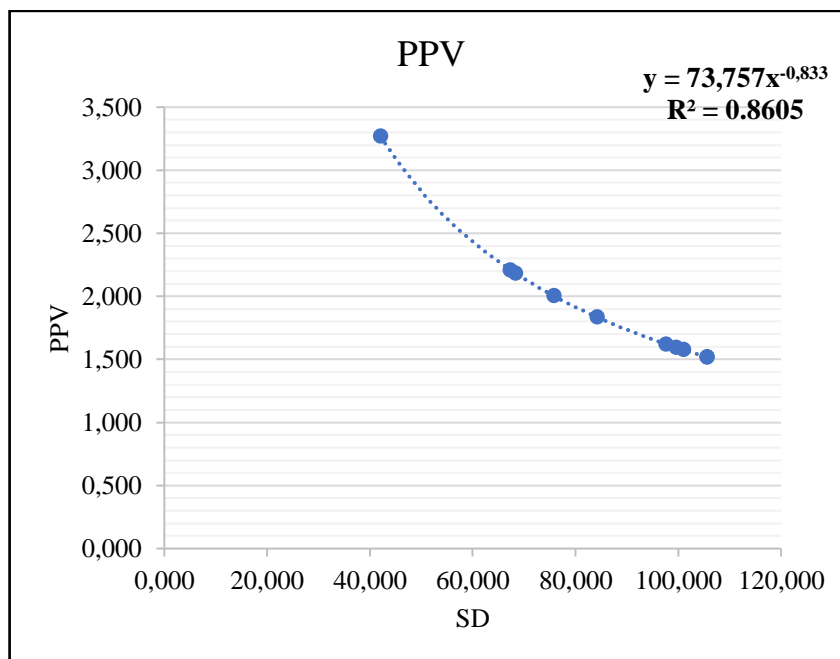
$$Y = 73,7573 X^{-0,83317}$$



Dengan menggunakan persamaan dan nilai konstanta yang telah diperoleh dari data pengukuran PPV aktual, $PPV = 73,7573 (SD)^{-0,83317}$ diperoleh analisis regresi power yang merupakan persamaan hubungan antara PPV dan *Scaled Distance* (SD). Data hasil analisis regresi power sebagai berikut :

Tabel 4. Hasil Analisis Regresi Power

No	SD	PPV Prediksi	Konstanta
1	67,372	2,210	73,7573
2	68,349	2,184	73,7573
3	84,215	1,835	73,7573
4	75,794	2,003	73,7573
5	101,058	1,576	73,7573
6	99,655	1,595	73,7573
7	97,655	1,622	73,7573
8	42,108	3,269	73,7573
9	105,654	1,519	73,7573
10	105,654	1,519	73,7573



Gambar 1. Grafik Regresi

Perbandingan antara PPV prediksi dengan PPV aktual dilakukan untuk mengetahui apakah hasil analisis yang telah ditetapkan dapat digunakan atau tidak, berikut ini hasil pengamatan PPV prediksi dan PPV aktual :

Tabel 5. Hasil Perbandingan PPV Aktual dengan Prediksi

Tanggal	H Rata - Rata	Hole	Penggunaan Bahan Peledak	Berat Isian	Jarak	PPV Prediksi	PPV Aktual	Akurasi Prediksi (%)
13 Mei 2022	6,36	37	3663	141	800	2,210	2,365	93,40
17 Mei 2022	7,15	35	3875	137	800	2,184	2,397	91,06
21 Mei 2022	8,89	25	3525	141	1000	1,835	1,397	76,16
23 Mei 2022	9	37	5217	141	900	2,003	1,667	83,25
24 Mei 2022	8,8	29	4089	141	1200	1,576	1,572	99,77
25 Mei 2022	9,19	39	5601	145	1200	1,595	1,841	86,59
25 Mei 2022	9,19	31	4453	151	1200	1,622	2,619	61,91
25 Mei 2022	8,44	85	11225	141	500	3,269	3,286	99,45
29 Mei 2022	8,86	21	2614,5	129	1200	1,519	1,318	86,80
29 Mei 2022	8,86	21	2614,5	129	1200	1,519	1,254	82,59
<i>Avarage</i>								86,10

Berdasarkan data-data yang didapat dilapangan dan dari hasil perhitungan diatas maka hasil perhitungan *ground vibration* prediksi dengan aktul diperoleh persamaan yang cukup besar, dengan nilai akurasi prediksi **86,10 %**. Sulit memprediksi intensitas *ground vibration* secara teoritis secara tepat dan akurat dikarenakan banyaknya faktor yang berpengaruh.

Standar Peledakan SNI 7571-2010

Berdasarkan hasil pengamatan dan pengukuran dilapangan, *ground vibration* peledakan yang didapat **3,29 mm/s** dengan jumlah bahan peledak 141 kg/lubang pada jarak 500 meter (tabel 1). Dari hasil pengukuran *ground vibration* tersebut maka hasilnya dikategorikan tidak aman dikarenakan nilainya melewati nilai ambang batas standar PPV yang diterapkan SNI yaitu **3 mm/s** (Standar Peledakan SNI 7571-2010).

Desain Geometri Peledakan menurut ICI-Explosive

Tabel 6. Geometri Peledakan Menurut ICI-Explosive

<i>Burden (B)</i>	8 m
<i>Spacing (S)</i>	9,6 m
<i>Stemming (T)</i>	6 m
<i>Subdrilling (J)</i>	1,6 m
Tinggi Jenjang	10,4 m
Panjang Kolom	6 m
Volume	921,6 m ³
Jumlah Bahan Peledak	146 kg
Powder Factor (PF)	0,16 kg/m ³

Dalam usulan geometri peledakan menurut ICI-Explosive didapatkan jumlah isian bahan peledak 146 kg dengan nilai PF 0,16 kg/m³. Nilai tersebut digunakan untuk mencari PPV prediksi dengan menggunakan nilai K yang sudah didapat didapatkan nilai sebesar **1,86 mm/s** nilai tersebut menunjukkan lebih kecil dari nilai PPV dari hasil penelitian menggunakan geometri aktual dari perusahaan sebesar **1,97 mm/s**. [2], [5].

KESIMPULAN

Dari hasil analisis data pengamatan di lapangan, maka dapat diambil suatu kesimpulan sebagai berikut :

1. Semakin besar jumlah bahan peledak yang digunakan maka intensitas *ground vibration* yang dihasilkan akan semakin meningkat. Hasil *ground vibration* juga tergantung pada perubahan jarak dari titik peledakan dengan lokasi pengukuran.



ISSN: 1907-5995

2. Perbandingan *ground vibration* prediksi dengan aktual diperoleh persamaan yang cukup mendekati dengan akurasi prediksi rata-rata **86,10 %**.
3. Jika mengacu pada standar vibrasi peledakan dengan lokasi tambang, dari hasil pengukuran *ground vibration* pada tanggal 25 Mei 2022 yaitu nilai vibrasi yang dihasilkan **3,29 mm/s** dikategorikan tidak aman dikarenakan melebihi nilai ambang batas standar getaran yang diterapkan SNI yaitu **3 mm/s**.
4. Hasil rancangan geometri peledakan dengan parameter *ICI-Explosive* memiliki nilai *burden* (B) 8 m, spasi (S) 9,6 m, *stemming* (S) 6 m, *subdrilling* (J) 1,6 m, tinggi jenjang (L) 10,4 m, *powder column* (PC) 6 m, dengan *powder factor* (PF) 0,16 kg/m³ dan isian perlubang 146 kg. sehingga didapatkan nilai PPV prediksi sebesar **1,86 mm/s**.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada PT. Kayan Putra Utama Coal khususnya rekan-rekan mentor di departemen *Planning and Survey* yang telah memberikan ilmu dan dukungan dalam proses penelitian, serta tim dosen Program Studi Teknik Pertambangan Institut Teknologi Nasional Yogyakarta yang telah membimbing dalam pengerjaan skripsi ini hingga selesai.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Anonim, "*Baku Tingkat Getaran Peledakan pada Kegiatan Tambang Terbuka terhadap Bangunan*," Badan Standardisasi Nasional, Jakarta, 2010.
- [2] Ash, R. L., "*Design of Blasting Round, Surface Mining*," BA Kennedy, Editor, Society for Mining, Metallurgy, and Exploration. 1990; 565-584.
- [3] Bachtiar, A., "*Slide Kuliah Geologi Indonesia*," Prodi Teknik Geologi, Fakultas Ilmu Kebumihan dan Teknologi Mineral Institut Teknologi Bandung, 2006.
- [4] Dinas Komunikasi dan Informatika Kab. Malinau, "Statistik Kabupaten Malinau," 2018.
- [5] Ezra, R., & Yulhendra, D., "Perancangan Program Aplikasi Geometri Peledakan Tambang Terbuka Berbasis Mobile Menggunakan Bahasa Pemrograman Android Studio," *Bina Tambang*, 2020; 5(2), 159-173.
- [6] Fadillah, M. I., "*Evaluasi kebutuhan jumlah alat untuk mencapai target produksi batubara di PT Pipit Mutiara Jaya Site Sebakis, Nunukan Kalimantan Utara*," 2019.
- [7] Hermawan, W., Yuliadi, Y., & Marmer, D., "*Analisis Pengaruh Tingkat Getaran Tanah Terhadap Jarak dan Muatan Bahan Peledak per Delay di Area Penambangan Phase 6 Pit Batu Hijau PT Amman Mineral Nusa Tenggara*," *Prosiding Teknik Pertambangan*, 2017; 561-568.
- [8] Heryanto, R., Abidin, H. Z., Supriatna, S., "*Peta Geologi Lembar Malinau, Kalimantan*," Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, 1995.
- [9] Hidayat, R., Priatmadi, B. J., Septiana, M., & Sofarini, D., "Penentuan jarak aman peledakan batubara terhadap lingkungan sekitar wilayah pertambangan," *Enviro Scientiae*, 2016; 10(2), 88-95.
- [10] Hikmah, N., Sahdian, E., Samanlangi, A. I., & Mahyuni, E. T., "*Analisis Ground Vibration Menggunakan Pendekatan Peak Particle Velocity Pada Kegiatan Peledakan Serta Dampak Terhadap Bangunan PT. Kideco Jaya Agung Kabupaten Paser Provinsi Kalimantan Timur*," Universitas Veteran Republik Indonesia, Makasar, 2015.
- [11] Koesnaryo, S., "*Teknik Pemboran dan Peledakan*," Jurusan Teknik Pertambangan, Fakultas Teknologi Mineral, Yogyakarta : Universitas Pembangunan Nasional "Veteran", 1988.
- [12] Ma'rief, A.A., Qadri, A., Okviyani, N., Mahyuni, E.T., "Analisis Pengaruh Jumlah Bahan Peledak Terhadap Ground Vibration Akibat Ledakan Pada Area Pit SM-A Tambang Batubara PT Sims Jaya Kalimantan Timur," *Jurnal Geomine*, 2020; 8(1), 74-79.
- [13] Pasang, J., "*Analisis Pengaruh Pola Rangkaian peledakan Terhadap Tingkat Getaran Tanah (Ground Vibration Level)*," 2013.
- [14] Revia, O., "*Jurnal Analisis Uji Getaran Peledakan pada Tambang*," Samarinda, Universitas Mulawarman, 2012.
- [15] Syaiful, M., I., "*Velocity of Detonation Report*," Malinau. Orica, 2020.
- [16] Zhao, X. L., & Grzebieta, R. H. (Eds.). "Structural Failure and Plasticity : IMPLAST 2000," *Elsevier*, 2000. 4-6 October, Melbourne, Australia.