



ANALISA *LINEAR SUPERPOSITION* DALAM KELOLA GETARAN TANAH HASIL PELEDAKAN PADA PERTAMBANGAN BATUBARA

Linier Superposition Analysis on Managing Blasting Ground Vibration in Coal Mining

Dhion Pradatama¹, Chani Pradasara², dan Syarif Nurdiansyah³

^{1,2} Technical Services Engineer, PT Multi Nitrotama Kimia, Jakarta Selatan, DKI Jakarta

³ Area Manager, PT Multi Nitrotama Kimia, Banjarmasin, Kalimantan Selatan

Artikel masuk : September 2019 , Artikel diterima : Oktober 2019, Artikel terbit : November 2019

ABSTRAK

Kata kunci:

Getaran Tanah, *Linier Superposition*, *Signature Hole Analysis*.

Getaran tanah merupakan getaran yang ditimbulkan akibat dari proses peledakan tambang. Selama ini getaran tanah dianggap sebagai waste energy yang dapat merusak dan menjadi isu terhadap lingkungan di sekitar area tambang. PT. Multi Nitrotama Kimia sebagai perusahaan jasa penjualan bahan peledak di Indonesia memiliki kustomer dengan isu demikian, salah satunya adalah PT Adaro Indonesia. Guna menanggulangi isu tersebut, dilakukan rekayasa teknik terhadap getaran tanah yang dihasilkan dengan prinsip linear superposition menggunakan metode signature hole analysis (SHA) untuk meminimalisir getaran tanah yang ditimbulkan. Penelitian dan percobaan dilakukan menggunakan metode Signature Hole Analisis (SHA) untuk merekam perambatan gelombang di setiap range blok – strip tertentu terhadap area konsen. Gelombang yang telah terekam dianalisis dengan fitur Linear Superposition untuk mendapatkan rekomendasi waktu tunda beserta prediksi getaran tanah.. Rekomendasi yang didapat adalah waktu tunda pada inter-hole dan inter-row yang mana akan diterapkan untuk peledakan selanjutnya. Berdasarkan analisis menggunakan metode Signature Hole Analysis, rekomendasi waktu tunda yang diberikan dapat diterapkan untuk mengakomodir prinsip linear superposition gelombang. Penerapannya dapat dioptimalkan menggunakan inter-deck delay sehingga meminimalisir getaran tanah yang dihasilkan. Dibuktikan oleh getaran tanah yang dihasilkan menggunakan rekomendasi tersebut selalu di bawah standar yang ditetapkan ($PVS = < 2.00 \text{ mm/s}$).

*Dhion Pradatama : dhion@mnk.co.id

Doi :

Keywords:

Ground Vibration, Signature Hole Analysis, Linear Superposition

ABSTRACT

One of the blasting process effect is ground vibration. Ground vibration currently consider as waste energy which it can infere and be an issue to the environment. PT. Multi Nitrotama Kimia as blasting service and explosives sales in Indonesia has customers dealing with that issues, one of them is PT Adaro Indonesia. To overcome the issue, engineering approach is done to the ground vibration by changing waste energy into work energy with the principle of linear superposition using the signature hole analysis (SHA) method to minimize the ground vibration. Researches and experiments are carried out using the Signature Hole Analysis (SHA) method to record wave propagation in each range of certain blocks - strips to the concern area. The recorded waves are analyzed with the Linear Superposition feature to obtain delay time recommendation along with the predicted vibration. The recommended delay time obtained is the delay time on inter-hole and inter-row which will be applied for next blasting. Based on the Signature Hole Analysis method, the recommended delay time given can be applied to accommodate the linear superposition wave principle. Its application can be optimized using inter-deck delay to minimize ground vibration produced. Its proven by ground vibrations produced using the recommendations always below the specified standard ($PVS = <2.00 \text{ mm / s}$).

PENDAHULUAN

Peledakan pada massa batuan mempunyai beberapa tujuan, yaitu : membongkar atau melepaskan batuan (bahan galian) dari batuan induknya atau memecah dan memindahkan batuan. Kegiatan peledakan dapat memberikan dampak ground vibration (getaran tanah), air blast (suara ledakan), flyrock (batu terbang). Ground vibration (getaran tanah) merupakan getaran yang ditimbulkan akibat dari proses peledakan. Selama ini getaran tanah dianggap sebagai waste energy yang dapat merusak dan menjadi isu terhadap lingkungan di sekitar area tambang. PT. Multi Nitrotama Kimia sebagai perusahaan jasa peledakan dan penjualan bahan peledak di Indonesia memiliki customer dengan isu ground vibration, yaitu PT Adaro Indonesia.

Pit Tutupan North merupakan salah satu area operasional PT Adaro Indonesia yang memiliki isu dengan lingkungan. Pit Tutupan North berada dekat dengan area kritis yaitu berupa infrastruktur perusahaan migas (Sumur, Tanki, Kantor) dan lingkungan penduduk (Gambar 1) dengan jarak yang sekarang hamper 100 – 1500 m yang mana menjadi perhatian terhadap pengaruh dari getaran tanah akibat peledakan (Gambar 2).



Gambar 1. Infrastruktur Perusahaan Migas Sebagai Titik Konsen Pit Tutupan North (PT Adaro Indonesia, 2019)



Gambar 2. Peta Pit Tutupan North dan Area Konsen (PT Adaro Indonesia, 2019)

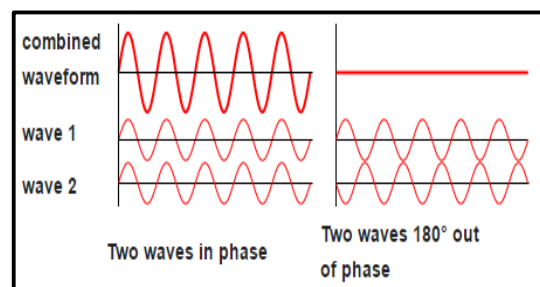
Sesuai dengan regulasi dari Standar Nasional Indonesia (SNI 7571:2010) tentang dampak getaran tanah akibat peledakan terhadap bangunan dan

infrastruktur yang ada di sekitar area penambangan, mengharuskan getaran tanah atau nilai *Peak Vector Sum* (PVS) yang dihasilkan dari peledakan di Pit Tutupan North <2 mm/s (Tabel 1). Guna menanggulangi isu tersebut, maka dilakukan rekayasa terhadap getaran tanah yang dihasilkan. Getaran tanah yang semula adalah *waste energy* dapat diubah menjadi *work energy* dengan prinsip *linear superposition* menggunakan metode *signature hole analysis* (SHA) untuk meminimalisir getaran tanah yang ditimbulkan.

Jika dua gelombang atau lebih merambat dalam medium yang sama dan pada waktu yang sama, akan menyebabkan simpangan dari partikel dalam medium. Simpangan resultan merupakan jumlah aljabar dari simpangan (positif dan negatif) dari masing-masing gelombang. Hal ini disebut prinsip superposisi. *Linear superposition* merupakan suatu prinsip gelombang dimana jika dua atau lebih gelombang dengan fase berbeda merambat pada medium dan waktu yang sama dan memiliki amplitudo dan panjang gelombang yang sama akan menghasilkan simpangan resultan sebesar nol (Gambar 3). Prinsip inilah yang diujicobakan untuk mengatasi isu pada Pit Tutupan dengan merencanakan sedemikian mungkin waktu tunda (*inter-row* dan *inter-hole* delay) yang digunakan pada operasi peledakannya sehingga dapat mengakomodir prinsip *linear superposition* ini. Prinsip ini diharapkan dapat mengurangi getaran tanah hasil peledakan.

Demi mendukung kinerja prinsip ini, maka perlu dilakukan terlebih dahulu *Signature Hole Analysis* (SHA). *Signature Hole Analysis* adalah analisis dengan merekam gelombang dari satu, atau banyak lubang ledak standar. Sensor getaran akan ditempatkan diantara tempat yang sensitive terhadap struktur getaran, (yaitu dinding, bangunan, bendungan), hal ini akan memberikan informasi mengenai homogenitas masa batuan.

Berdasarkan analisis ini dapat dilakukan permodelan gelombang yang mana dapat menghasilkan rekomendasi untuk waktu tunda (*interrow* dan *interhole*) yang dapat mengakomodir prinsip *linear superposition* tersebut.



Gambar 3. Prinsip *Linear Superposition* gelombang

Tabel 1. Baku tingkat getaran peledakan terhadap kelas dan jenis

Kelas	Jenis bangunan	Peak Vector Sum (mm/detik)
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	Bangunan 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

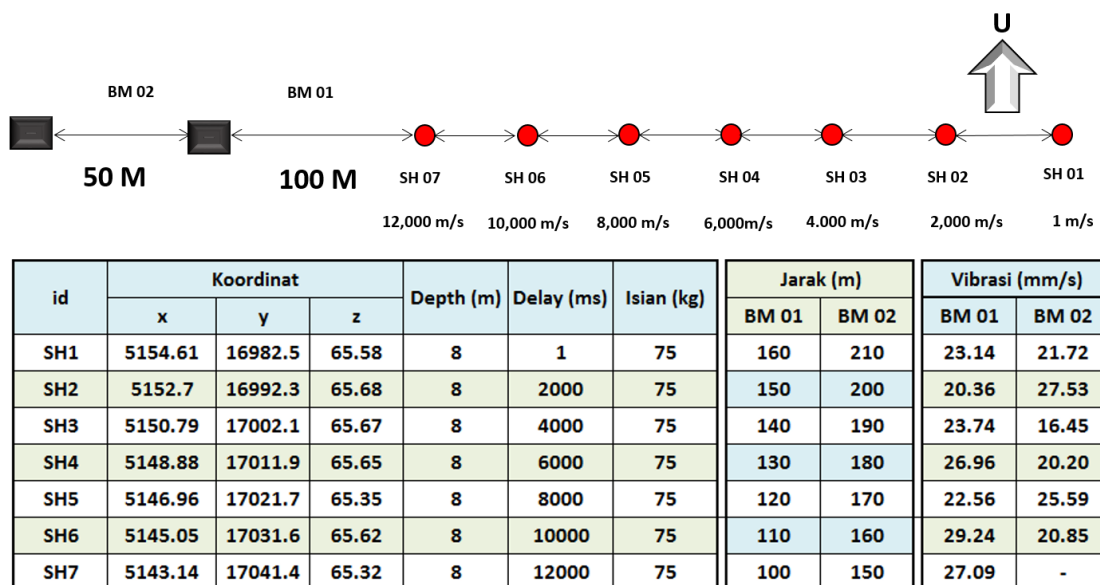
Sumber: Standar Nasional Indonesia, (SNI 7571 : 2010)

Output dari *signature hole analysis* ada dua, yaitu analisis *scaled distance*, dimana akan didapatkan prediksi nilai getaran yang akan dihasilkan berdasarkan pada jumlah isian bahan peledak dengan jarak terhadap area konsen. Kedua adalah *linear superposition* dengan simulasi waktu tunda yang dapat diterapkan pada kegiatan peledakan nanti. Pada metode *signature hole*, alat ukur (*blasting monitor*) ditempatkan secara paralel terhadap lubang ledak dan berada diantara dari lubang ledak dengan area konsen.

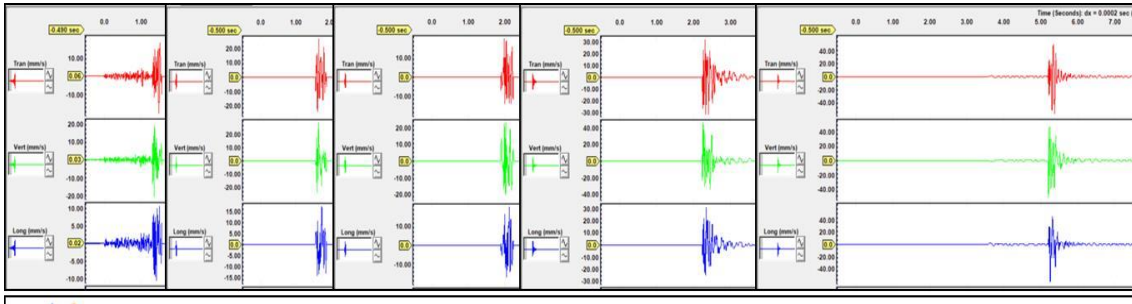
Oleh karena itu dilakukan peledakan *signature hole* di Pit Tutupan North. *Signature hole analysis* di Pit Tutupan North dilakukan dengan peledakan pada tujuh lubang standar dengan waktu tunda antar lubangnya yaitu 1m/s, 2.000 m/s, 4.000 m/s, 6.000 m/s, dan 8.000 m/s, 10.000 m/s, dan 12.000 m/s dengan isian bahan peledak per lubang sebanyak 75 Kg dengan kedalaman masing-masing 8 meter. Waktu tunda didesain dengan waktu yang panjang bertujuan agar dalam pengolahan data

dapat membedakan gelombang antar lubang yang terekam berdasarkan waktu tunda tersebut. Getaran (PVS) yang berhasil direkam oleh BM1 dan BM2 pada lubang SHA1 adalah 23,14 mm/s dan 21,72 mm/s, SHA2 adalah 20,36 mm/s dan 27,53 mm/s, SHA3 adalah 23,74 mm/s dan 16,45 mm/s, SHA4 adalah 26,96 mm/s dan 20,20 mm/s, SHA5 adalah 22,56 mm/s dan 25,59 mm/s, SHA6 adalah 29,24 mm/s dan 20,85 mm/s, dan SHA7 adalah 27,09 mm/s (Gambar 4).

Setelah gelombang peledakan *signature hole* berhasil terekam, selanjutnya gelombang-gelombang tersebut akan dianalisis untuk mengeluarkan amplitudo gelombang tersebut keluar dari fasenya dengan prinsip *linear superposition*. Data gelombang tersebut dianalisis menggunakan *software* dengan *advanced module*, yang mana hasil analisisnya akan berupa simulasi waktu tunda (*inter-row*, *inter-hole*, dan *inter-deck delay*) dan prediksi nilai getaran yang dihasilkan (Gambar 5).



Gambar 4. Desain Peledakan *Signature Hole* (PT SIS, 2019)



Gambar 5. Analisis Gelombang *Signature Hole* (Technical Services Department, 2019)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam analisisnya dibutuhkan pemodelan gelombang dan analisis mengeluarkan amplitudo gelombang dari fasenya dengan prinsip *linear superposition* untuk menghasilkan model gelombang yang komprehensif.

Setelah dilakukan analisis terhadap gelombang *signature hole*, maka akan didapatkan simulasi waktu tunda berupa *inter-row*, *inter-hole*, dan *inter-deck delay*, berdasarkan *prinsip linear superposition*, beserta dengan prediksi getaran yang akan dihasilkan (Gambar 6).

Berdasarkan analisis, waktu tunda (*inter-row* dan *inter-hole*) yang direkomendasikan untuk peledakan di area Pit Tutupan North adalah 54ms x 68ms untuk area North 1, 108ms x 108ms untuk area North 2, 31ms x

53ms untuk area CT1, dan 47ms x 78ms untuk area CT2 (Tabel 2). Waktu tunda yang direkomendasikan ini akan digunakan sebagai desain waktu tunda pada peledakan di Pit Tutupan North (Gambar 7).

Berdasarkan analisis menggunakan metode *Signature Hole Analysis*, rekomendasi waktu tunda yang diberikan dapat diterapkan untuk mengakomodir prinsip *linear superposition* gelombang. Penerapannya dapat dioptimalkan menggunakan *inter-deck delay* sehingga meminimalisir getaran tanah yang dihasilkan dan distribusi energy yang lebih baik. Penggunaan rekomendasi waktu tunda (*inter-hole* dan *inter-row*) ini harus diperbarui dengan melakukan *signature hole analysis* per periode waktu tertentu apabila terjadi perubahan yang signifikan pada elevasi rencana peledakan sehingga dapat mewakili area tersebut.

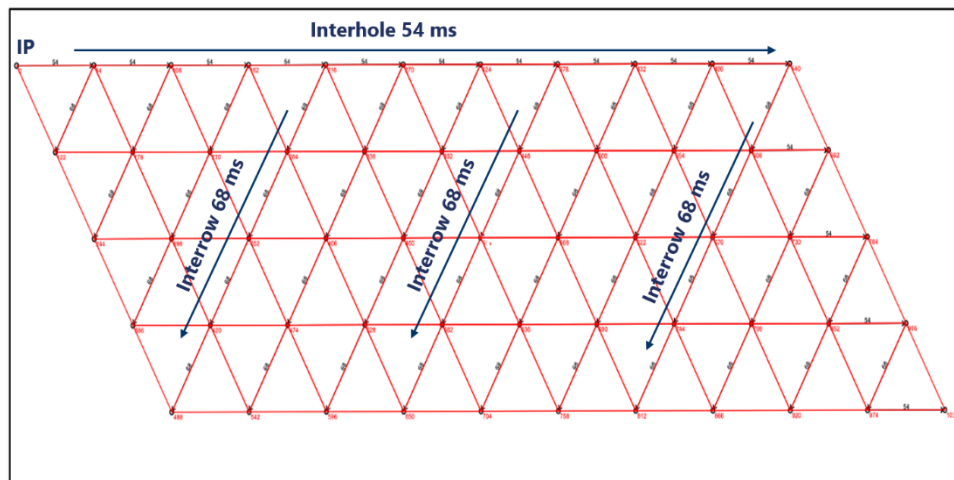
Signature Hole Analysis Table																
Filename [Double Click to view]	Blast Timing			Peak Particle Velocity				PVS Peak [mm/s]	Dominant FFT Frequency				Upper/Lower Frequency Ratio			
	Deck Delay [msec]	Hole Delay [msec]	Row Delay [msec]	Trans [mm/s]	Vert [mm/s]	Long [mm/s]	Peak [mm/s]		Trans [Hz]	Vert [Hz]	Long [Hz]	Peak [Hz]	Trans	Vert	Long	Peak
R5D0H54R68.BWP	0	54	68	19.70	21.40	19.70	21.40	24.50	2.3	2.0	4.5	4.5	0.687	0.230	0.557	0.687
R5D0H68R54.BWP	0	68	54	19.70	21.40	19.70	21.40	24.50	2.3	2.0	4.5	4.5	0.687	0.230	0.557	0.687
R5D0H52R94.BWP	0	52	94	23.00	22.80	16.90	23.00	26.20	20.5	20.0	3.0	20.5	8.490	2.100	4.130	8.490
R5D0H94R52.BWP	0	94	52	23.00	22.80	16.90	23.00	26.20	20.5	20.0	3.0	20.5	8.490	2.100	4.130	8.490
R5D0H53R67.BWP	0	53	67	21.80	23.90	21.70	23.90	26.80	2.3	2.0	4.5	4.5	0.605	0.234	0.625	0.625
R5D0H67R53.BWP	0	67	53	21.80	23.90	21.70	23.90	26.80	2.3	2.0	4.5	4.5	0.605	0.234	0.625	0.625
R5D0H48R63.BWP	0	48	63	21.00	24.20	22.60	24.20	27.00	2.3	2.0	2.3	2.3	5.140	1.830	3.920	5.140
R5D0H63R48.BWP	0	63	48	21.00	24.20	22.60	24.20	27.00	2.3	2.0	2.3	2.3	5.140	1.830	3.920	5.140
R5D0H52R66.BWP	0	52	66	23.50	23.70	22.80	23.70	27.20	2.3	2.0	4.5	4.5	0.706	0.277	0.657	0.706
R5D0H66R52.BWP	0	66	52	23.50	23.70	22.80	23.70	27.20	2.3	2.0	4.5	4.5	0.706	0.277	0.657	0.706
5D0H109R62.BWP	0	109	62	24.90	23.30	21.30	24.90	27.80	8.5	17.3	4.5	17.3	3.880	1.410	3.140	3.880
R5D0H49R64.BWP	0	49	64	20.90	25.50	18.30	25.50	27.80	2.3	2.0	2.3	2.3	4.370	1.610	3.650	4.370
R5D0H64R49.BWP	0	64	49	20.90	25.50	18.30	25.50	27.80	2.3	2.0	2.3	2.3	4.370	1.610	3.650	4.370
5D0H108R61.BWP	0	108	61	25.80	25.70	17.50	25.80	28.20	8.8	17.5	4.5	17.5	4.780	1.520	2.910	4.780
R5D0H48R80.BWP	0	48	80	25.00	23.90	20.50	25.00	28.20	187.0	2.0	3.3	187.0	0.759	0.334	1.030	1.030
R5D0H50R65.BWP	0	50	65	27.00	24.90	20.20	27.00	28.20	2.3	2.0	2.3	2.3	0.045	0.018	0.036	0.045
R5D0H65R50.BWP	0	65	50	27.00	24.90	20.20	27.00	28.20	2.3	2.0	2.3	2.3	0.045	0.018	0.036	0.045
R5D0H68R95.BWP	0	68	95	22.00	22.70	18.10	22.70	28.20	10.5	42.5	3.5	42.5	0.053	0.015	0.042	0.053
R5D0H80R48.BWP	0	80	48	25.00	23.90	20.50	25.00	28.20	187.0	2.0	3.3	187.0	0.759	0.334	1.030	1.030
R5D0H95R68.BWP	0	95	68	22.00	22.70	18.10	22.70	28.20	10.5	42.5	3.5	42.5	0.053	0.015	0.042	0.053

Gambar 6. Output analisis gelombang *signature hole* berdasarkan *linear superposition* (Technical Services Department, 2019)

Tabel 2. Rekomendasi *Inter-Hole* dan *Inter-Row* Pit Tutupan North

Tutupan Sub Area	Inter-Hole (ms)		Inter-Row (ms)	
North 1	54	68	68	54
North 2	108	108	108	108
CT 1	31	53	53	31
CT 2	47	78	78	47

Sumber: Technical Services Department (2019)

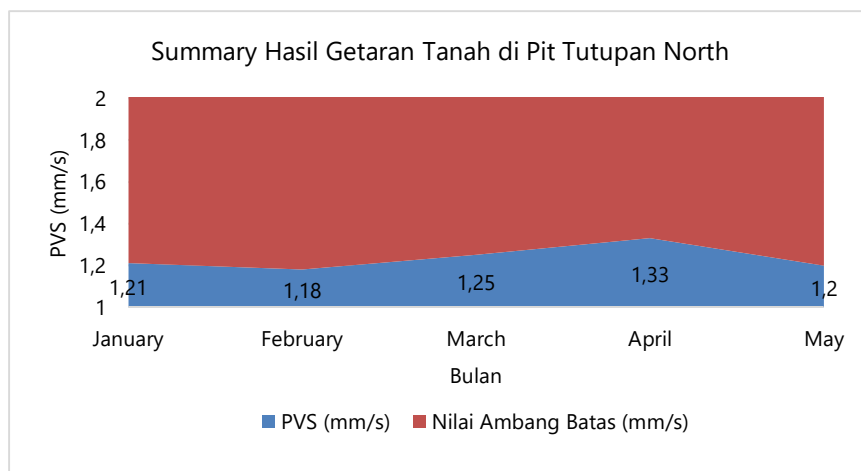


Gambar 7. Desain Peledakan berdasarkan prinsip *linear superposition* (Technical Services Department, 2019)

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan analisis *signature hole* dan hasil rekomendasi melalui prinsip *linear superposition* yang kemudian diimplementasikan pada peledakan di Pit Tutupan North menunjukkan hasil yang positif. Dibuktikan oleh hasil getaran tanah rata-rata yang dihasilkan selama kegiatan peledakan pada tahun 2019 di Pit Tutupan North dengan menggunakan

rekomendasi tersebut selalu tidak melebihi batas maksimal PPV yang ditetapkan (< 2.00 mm/s) (Gambar 8) dengan menggunakan desain *inter-row* dan *inter-hole* yang dapat mengakomodir prinsip *linear superposition*. Selanjutnya, sebagai *improvement* lanjutan dapat dilanjutkan uji coba dengan optimalisasi delay menggunakan *inter-deck* delay berdasarkan prinsip *linear superposition*.



Gambar 8. Rangkuman Hasil Getaran Tanah di Pit Tutupan North (PT Adaro Indonesia, 2019)

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada PT.Adaro Indonesia sebagai pelanggan PT.Multi Nitrotama Kimia yang memberikan dukungan dan persetujuan mereka untuk menerbitkan makalah ini.

DAFTAR PUSTAKA

- _____. (2010). Blastware Operator Manual Handbook. (pp. 6.35-6.58). InstanTel Inc., Ottawa, Ontario, Canada.
- Hustrulid, W. (1999). Blasting Principles for Open Pit Mining. (Vol. 1, pp. 272-273). A.A. Balkema, Rotterdam, Brookfield.
- Yang, R., Scovira, D. S., & Patterson, N. J. (2009). "An integrated approach of signature hole vibration monitoring and modeling for quarry vibration control". International symposium on Rock fragmentation by blasting, FRAGBLAST 9, pp. 597-605.

