

PREDIKSI JARAK LEMPARAN *FLYROCK* DENGAN METODE ANALISIS DIMENSI SERTA RICHARD DAN MOORE AKIBAT KEGIATAN PELEDAKAN PADA TAMBANG BIJIH EMAS

*¹⁾Dea Al Zhahra, ²⁾Bagus Wiyono dan ³⁾Anton Sudiyanto

^{1,2,3}Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknologi Mineral, UPN "Veteran" Yogyakarta

*E-mail: deazhr@gmail.com

Artikel masuk : 11-11-2022 , Artikel diterima : 28-11-2022

ABSTRAK

Kata Kunci : analisis dimensi, Richard dan moore, Jarak Lemparan *Flyrock*

Keywords: *Dimensional Analysis, Richard and Moore, Flyrock Throw Distance.*

Peledakan merupakan salah satu metode yang digunakan untuk membongkar batuan. Kegiatan tersebut mengakibatkan timbulnya efek peledakan, salah satunya yaitu *flyrock*. *Flyrock* adalah fragmentasi batuan yang terlempar akibat hasil peledakan dan apabila terlempar melewati batas aman yang ditentukan maka dapat menimbulkan kerusakan bagi alat ataupun bangunan sekitar dan juga cedera bagi manusia. Oleh karena itu, diperlukan perhitungan dengan berorientasi pada parameter yang dapat dikontrol berupa geometri peledakan untuk memprediksi jarak lemparan *flyrock*.

Penelitian dilakukan dengan mengukur jarak lemparan maksimum *flyrock* secara aktual di lapangan dan menghitung lemparan maksimum *flyrock* secara teoritis. Pengamatan dilakukan sebanyak 28 kali dan didapatkan jarak maksimum lemparan *flyrock* secara aktual adalah 35,24 m. Prediksi jarak maksimum lemparan *flyrock* dilakukan dengan metode Analisis Dimensi serta Richard dan Moore (*faceburst* dan *cratering*), dari metode tersebut didapatkan bahwa hasil metode Analisis Dimensi memiliki kesalahan relatif terkecil yaitu 6,0002% sedangkan penyimpangannya sebesar 2,1505 m. Sehingga metode Analisis Dimensi selanjutnya digunakan untuk menghitung prediksi jarak maksimum lemparan *flyrock* pada lokasi penelitian dengan persamaan yang didapat yaitu $Fd = 0,9999(B^{11,4750}S^{0,0004}St^{-1,9149}H^{5,8037}D^{-0,3079}(P/Q)^{4,6855})$.

Doi : <https://doi.org/10.36986/impj.v4i2.74>

ABSTRACT

Blasting is one of the methods used to dismantle rock. This activity resulted various blasting effects, one of which was flyrock. Flyrock is rock fragmentation that is thrown as a result of blasting and if thrown past the specified safe limit it can cause damage to equipment or surrounding buildings and also injury to humans. Therefore, it is necessary to calculate the oriented parameters that can be controlled in the form of blasting geometry to predict the distance of the flyrock throw.

The research was conducted by measuring the actual maximum flyrock throw distance in the field and calculating the theoretical maximum flyrock throw. Observations were made 28 times and the actual maximum distance of flyrock throwing was 35.24 m. The prediction of the maximum distance of the flyrock throw was carried out using the Dimensional Analysis method and Richard and Moore (faceburst and cratering), from this method it was found that the Dimensional Analysis method had the smallest relative error of 6,0002% while the deviation was 2,1505 m. So that the Dimensional Analysis method is then used to calculate the prediction of the maximum distance of flyrock throwing at the research location with the equation obtained, namely $Fd = 0.9999(B^{11.4750} S^{0.0004} Sf^{1.9149} H^{5.8037} D^{-0.3079} (P/Q)^{4.6855})$.

PENDAHULUAN

Peledakan merupakan salah satu metode yang digunakan untuk membongkar batuan. Dari kegiatan ini maka timbulah yang disebut dengan efek peledakan. Salah satu efek peledakan yang menjadi perhatian utama yaitu *flyrock*. *Flyrock* adalah fragmentasi batuan yang terlempar akibat hasil peledakan. Fragmentasi batuan tersebut apabila melewati batas aman yang ditentukan maka akan menimbulkan kerusakan bagi alat, bangunan sekitar, maupun cedera pada manusia. Oleh karena itu, perhitungan untuk memprediksi jarak lemparan *flyrock* perlu dilakukan.

Perhitungan untuk menentukan prediksi jarak lemparan *flyrock* dilakukan dengan menggunakan metode Analisis Dimensi yang dikembangkan oleh Ebrahim Ghasemi serta metode Richard dan Moore. Kedua metode tersebut berorientasi pada parameter peledakan yang dapat dikontrol berupa geometri peledakan diantaranya *burden*, spasi, tinggi *stemming*, kedalaman lubang ledak, diameter lubang ledak, *powder factor*, isian rata-rata per lubang ledak, serta jarak *burden* awal ke *freeface*. Namun kedua metode tersebut mempunyai kelemahan yaitu karena metode tersebut bersifat *site-dependent*, karena data statistik yang diolah untuk menentukan jarak lemparan *flyrock* tersebut hanya berlaku pada lokasi dimana pengukuran tersebut dilakukan.

METODOLOGI PENELITIAN

Menurut pengujian yang telah dilakukan oleh Adrian J. Moore dan Alan B. Richards (2005), ada tiga faktor yang mempengaruhi terjadinya *flyrock* pada kegiatan peledakan yaitu :

1. *Face Burst*, kondisi *burden* dapat mengontrol lemparan batuan ke depan jenjang. Jarak *burden* pada baris depan peledakan di lapangan terkadang terlalu dekat dan dapat menyebabkan potensi *flyrock* secara *face burst* semakin besar. Berikut persamaan yang digunakan :

$$L = \frac{K^2}{g} \left(\frac{\sqrt{m}}{B} \right)^{2.6} \quad (1)$$

Keterangan :

L = lemparan maksimal (m)

K = konstanta

g = percepatan gravitasi (9,81 m/s²)

m = berat isian bahan peledak per meter (kg/m)

B = *burden* awal (m)

2. *Cratering*, terjadi saat tinggi *stemming* yang terlalu pendek serta terdapatnya bidang lemah pada lubang ledak. Bidang lemah tersebut biasanya merupakan material *broken* dari hasil peledakan sebelumnya. Berdasarkan kondisi tersebut maka *flyrock*

dapat terlempar ke segala arah dari lubang ledak yang diinisiasi. Perhitungan menggunakan Persamaan 2.

$$L = \frac{k^2}{g} \left(\frac{\sqrt{m}}{SH} \right)^{2.6} \quad (2)$$

Keterangan :

- L = lemparan maksimal (m)
- k = konstanta (6,1977)
- g = percepatan gravitasi (9,81 m/s²)
- m = berat isian bahan peledak per meter (kg/m)
- SH = *stemming height* (m)

3. *Rifling*, terjadi saat *stemming* sudah sesuai untuk mencegah *flyrock* secara *cratering* namun material *stemming* yang digunakan kurang baik. *Flyrock* yang disebabkan lebih cenderung dari kemiringan lubang ledak karena jika pada lubang ledak tegak *flyrock* diasumsikan akan kembali pada titik semula (lihat Persamaan 3.).

$$L = \frac{k^2}{g} \left(\frac{\sqrt{m}}{SH} \right)^{2.6} \sin 2\theta \quad (3)$$

Keterangan :

- L = lemparan maksimal (m)
- k = konstanta (12,8750)
- g = percepatan gravitasi (9,81 m/s²)
- m = berat isian bahan peledak per meter (kg/m)
- SH = *stemming height* (m)
- θ = kemiringan lubang ledak

Ebrahim Ghasemi (2012) membuat persamaan untuk memprediksi jarak *flyrock* dengan menggunakan metode Analisis Dimensi berdasarkan parameter peledakan yang dapat dikontrol berupa *burden*, spasi, tinggi *stemming*, kedalaman lubang ledak, diameter lubang ledak, *powder factor*, isian rata-rata per lubang ledak. Kemudian untuk menganalisa pengaruh parameter tersebut dengan jarak lemparan *flyrock* aktual maka parameter-parameter tersebut diuji sensitifitasnya menggunakan analisis regresi.

Analisis dimensi dapat didefinisikan sebagai metode penelitian untuk menyimpulkan informasi lebih lanjut tentang fenomena tertentu bergantung pada postulat bahwa fenomena apapun dapat menjelaskan melalui persamaan dimensi homogen. Dengan kata lain, analisis dimensi ada teknik untuk mengubah dimensi asli dari variabel-variabel suatu masalah kedalam produk tanpa dimensi.

Teori mendasar dari analisis dimensi yaitu bahwa jumlah dari parameter tanpa dimensi (*π terms*) yang dapat dibentuk dari jumlah fisik variabel-variabel yaitu *n-m* dimana *n* yaitu jumlah fisik dari variabel-variabel dan *m* yaitu jumlah dari dimensi dasar.

Persamaan analisis dimensi dengan metode Ebrahim Ghasemi yang sudah disesuaikan konstantanya pada lokasi penelitian dapat dilihat seperti berikut.

$$F_d = 0,9999(B^{11,4750} S^{0,0004} St^{-1,9149} H^{5,8037} D^{0,3079} (P/Q)^{4,6855}) \quad (4)$$

Keterangan :

- F_d = *Flyrock Distance* (m)
- B = *Burden* (m)
- S = Spasi (m)
- H = Kedalaman Lubang Ledak (m)
- St = *Stemming* (m)
- D = Diameter lubang ledak (m)
- P = *Powder factor* (kg/m³)
- Q = Isian rata-rata per lubang ledak (kg)

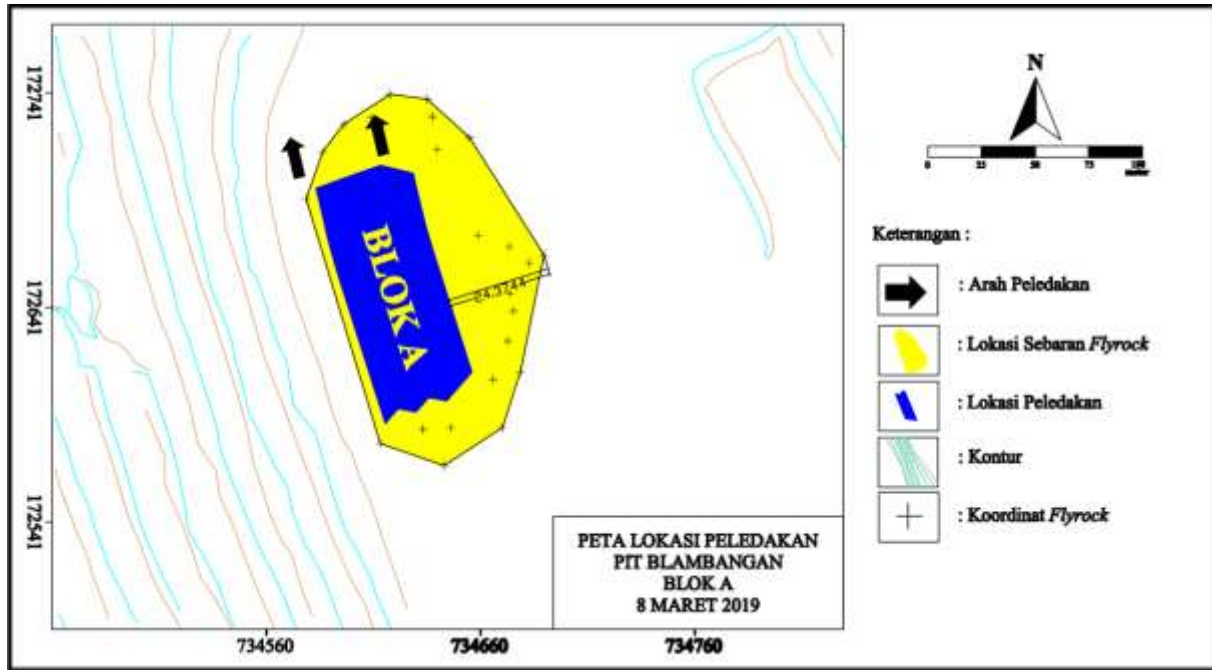
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengamatan dilakukan selama 28 kali di Pit Blambangan. Lemparan maksimum aktual adalah jarak lemparan terjauh yang dapat dicapai oleh *flyrock* dari lokasi peledakan berdasarkan kondisi sebenarnya dilapangan. Penentuan lemparan maksimum aktual ini dibantu oleh software AutoCad untuk *plotting* koordinat lemparan *flyrock* dari hasil pengamatan (peta persebaran *flyrock* lihat Gambar 1). Sebelum dilakukan pengukuran jarak lemparan terjauh juga dilakukan

pengukuran faktor-faktor yang mempengaruhi lemparan maksimum *flyrock* (lihat Tabel 1).

Tabel 1. Lemparan Maksimum Aktual dan Faktor-Faktor yang Mempengaruhinya

No	Lokasi	Lemparan Aktual (m)	Burden (m)	Spasi (m)	Tinggi Stemming (m)	Kedalaman Lubang Ledak (m)	Powder Factor (kg/m ³)	Rata-rata Isian perlubang Ledak (kg)	Burden Awal kearah FF (m)
1	BLOK AA	28,66	3,8	4,4	3,24	7,17	0,5432	57,8525	-
2	BLOK AP & AO	25,85	3,3	3,6	3,15	6,3	0,9579	62,5912	-
3	BLOK R	35,24	3,8	4,4	2,82	4,56	0,7644	48,0575	-
4	BLOK J	27,7	3,8	4,4	2,7	4,36	0,8256	49,1398	-
5	BLOK AD	23,78	3,8	4,4	3,61	6,72	0,5691	56,3333	2,1
6	BLOK AB	18,44	3,8	4,4	3,82	7,43	0,5593	62,0000	-
7	BLOK AB	19,34	3,8	4,4	3,84	7,56	0,5562	62,8628	-
8	BLOK AG	20,76	3,8	4,4	3,63	7,07	0,5627	58,9933	-
9	BLOK A	24,37	3,8	4,4	3,28	7,11	0,6057	63,9043	-
10	BLOK AD	20,37	3,8	4,4	3,52	6,9	0,5698	58,1134	-
11	BLOK B	21,96	3,8	4,4	3,55	7,16	0,5752	61,1688	-
12	BLOK AI & AIX	23,24	3,8	4,4	2,93	4,43	0,7347	44,5926	-
13	BLOK AC	31,56	3,8	4,4	2,78	4,22	0,8412	48,1042	2,2
14	BLOK E	25,24	3,8	4,4	3,26	6,66	0,6194	60,6919	-
15	BLOK D	21,06	3,8	4,4	3,5	7,29	0,5777	62,6897	-
16	BLOK AF	22,53	3,8	4,4	3,27	5,75	0,6279	51,9697	1,76
17	BLOK AK	18,9	3,8	4,4	3,91	7,7	0,5412	62,4324	-
18	BLOK AL	19,47	3,8	4,4	3,86	7,62	0,5565	63,4546	-
19	BLOK I	22,54	3,8	4,4	3,56	7,05	0,6024	62,9470	1,67
20	BLOK AN	24,26	3,8	4,4	3,71	7,32	0,5529	60,2763	2
21	BLOK H	20,35	3,8	4,4	3,64	7,43	0,5679	62,9497	-
22	BLOK AF	21,49	3,8	4,4	3,56	7,13	0,6019	63,7037	1,75
23	BLOK F	31,39	3,8	4,4	2,72	4,65	0,7734	49,7852	-
24	BLOK L	29,24	3,8	4,4	3	5,56	0,6869	54,6715	1,52
25	BLOK K	21,3	3,8	4,4	3,52	7,28	0,5962	64,5941	-
26	BLOK J	25,54	3,8	4,4	3,27	6,54	0,6475	62,1404	2,2
27	BLOK M	19,9	3,8	4,4	3,5	7,13	0,5632	59,6111	1,7
28	BLOK AI	23,81	3,8	4,4	3,27	6,55	0,6384	61,3784	-



Gambar 1. Peta Persebaran *Flyrock* di Lokasi Penelitian

Dari hasil analisis regresi pada Gambar 2 didapatkan bahwa *stemming* memiliki nilai regresi tertinggi terhadap jarak lemparan *flyrock* maksimum aktual dengan $R^2 = 0,7523$. Dari 28 kali pengamatan lemparan aktual *flyrock* di lokasi penelitian seperti terlihat pada Tabel 1 semuanya tidak ada yang mencapai jarak 50 m dari lokasi peledakan. Dengan jarak lemparan *flyrock* terjauh yaitu 35,24 m. Untuk sebaran lemparan *flyrock* aktual dapat dilihat pada Tabel 2

Perbandingan besarnya nilai jarak lemparan *flyrock* secara teoritis dan aktual dapat dilihat pada Tabel 3. Pada perhitungan standar deviasi dari prediksi lemparan maksimum *flyrock* dan

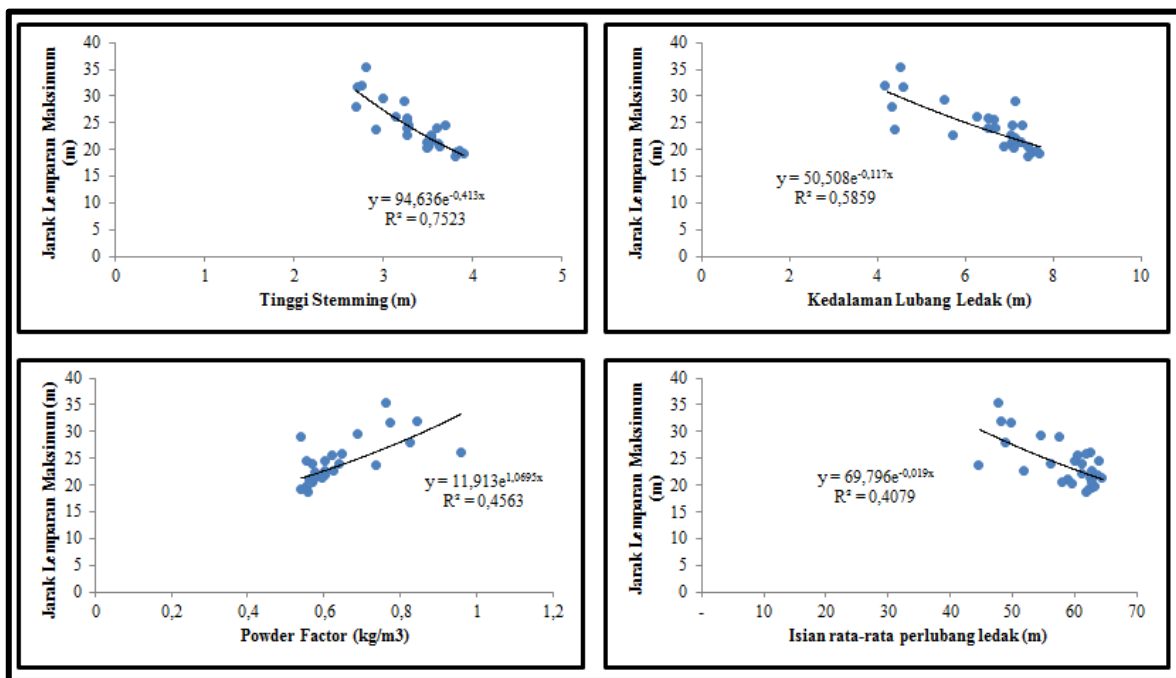
lemparan maksimum *flyrock* aktual pada teori Richard dan Moore adalah sebesar 11,4005 m untuk *face burst* dan 4,6475 m untuk *cratering*, serta 2,1505 m untuk Analisis Dimensi. Sedangkan untuk persen *error* Analisis Dimensi yang sudah dianalisa konstantanya (Persamaan 4) adalah yang paling mendekati dengan lemparan maksimum aktual dengan 6,0062%, diikuti dengan *cratering* sebesar 12,4110%, dan *faceburst* dengan 40,4038%. Oleh karena itu, persamaan Analisis Dimensi digunakan untuk menentukan prediksi *flyrock* karena menghasilkan tingkat keakuratan paling tinggi.

Tabel 2. Presentase Lemparan *Flyrock* Aktual

No	Skala Lemparan (m)	Presentase
1	≤ 20	17,86
2	20 – 30	71,43
3	30 – 50	10,71
4	≥ 50	0

Tabel 3. Perhitungan Lemparan *Flyrock* Teoritis dan Aktual

No	Tanggal	Lokasi	Perkiraan Jarak Lemparan Teoritis		Analisis Dimensi (m)	Jarak Lemparan Maksimum Aktual (m)
			Richard and Moore			
			Face Burst (m)	Cratering (m)		
1	14 Februari 2019	BLOK AA	-	26,0371	26,1562	28,66
2	15 Februari 2019	BLOK AP & AO	-	28,0158	25,4735	25,85
3	19 Februari 2019	BLOK R	-	37,3562	29,1761	35,24
4	20 Februari 2019	BLOK J	-	41,8278	31,5766	27,7
5	22 Februari 2019	BLOK AD	19,3036	19,6558	20,5756	23,78
6	25 Februari 2019	BLOK AB	-	16,9686	19,4537	18,44
7	04 Maret 2019	BLOK AB	-	16,7398	19,4476	19,34
8	05 Maret 2019	BLOK AG	-	19,3755	20,8857	20,76
9	08 Maret 2019	BLOK A	-	25,2196	25,4359	24,37
10	09 Maret 2019	BLOK AD	-	20,9894	21,8789	20,37
11	09 Maret 2019	BLOK B	-	20,5313	21,9414	21,96
12	11 Maret 2019	BLOK AI & AIX	-	33,8185	27,0335	23,24
13	12 Maret 2019	BLOK AC	17,1044	38,7698	29,8167	31,56
14	13 Maret 2019	BLOK E	-	25,6239	24,9050	25,24
15	14 Maret 2019	BLOK D	-	21,3026	22,7636	21,06
16	14 Maret 2019	BLOK AF	30,5545	25,4206	23,2719	22,53
17	15 Maret 2019	BLOK AK	-	15,9717	18,9836	18,9
18	19 Maret 2019	BLOK AL	-	16,5152	19,3415	19,47
19	19 Maret 2019	BLOK I	35,0223	20,3817	21,6473	22,54
20	20 Maret 2019	BLOK AN	21,9144	18,3079	20,4056	24,26
21	20 Maret 2019	BLOK H	-	19,2374	21,3374	20,35
22	21 Maret 2019	BLOK AF	31,0105	20,3817	21,7753	21,49
23	21 Maret 2019	BLOK F	-	41,0328	31,3460	31,39
24	26 Maret 2019	BLOK L	44,7316	31,8050	27,1300	29,24
25	27 Maret 2019	BLOK K	-	20,9894	22,4999	21,3
26	28 Maret 2019	BLOK J	17,1044	25,4206	24,5478	25,54
27	29 Maret 2019	BLOK M	33,4380	21,3026	22,4957	19,9
28	01 April 2019	BLOK AI	-	25,4206	24,5652	23,81



Gambar 2. Grafik Regresi Penyebab *Flyrock* dengan Parameter yang dapat dikontrol

KESIMPULAN

1. Dari 28 kali pengamatan peledakan, lemparan maksimum *flyrock* aktual adalah sebesar 35,24 m dan lemparan yang berjarak lebih dari 30 m hanya terjadi 3 kali dengan presentasi sebesar 10,71% dari keseluruhan peledakan.
2. Untuk memprediksi jarak lemparan maksimum *flyrock* yang ada di lokasi peledakan, dari beberapa dasar teori yang disebutkan sebelumnya metode Analisis Dimensi adalah yang paling akurat dengan koreksi yang paling kecil karena memiliki kesalahan relatif sebesar 6,0062% dengan penyimpangan sebesar 2,1505 m.
3. Kontrol terhadap tinggi *stemming* harus benar-benar dilakukan karena dari hasil hubungan korelasi *stemming* dengan jarak lemparan aktual *flyrock* menunjukkan hubungan korelasi yang sangat kuat yaitu 75,23%, sehingga penggunaan *stemming* akan sangat berpengaruh terhadap jarak lemparan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PT Tambang Tondano Nusajaya selaku penyedia lokasi penelitian terkhusus Departemen *Drill and Blast*, Bapak Ir. Bagus Wiyono, MT. dan Bapak Ir. Anton Sudiyanto, MT. selaku dosen pembimbing, Keluarga serta teman-teman sekalian atas segala bentuk *support* dan doa yang telah diberikan.

DAFTAR PUSTAKA

Abdurrachman, H. 2015. Analisis Flyrock untuk Mengurangi Radius Aman Alat dari 300 Meter ke 200 Meter pada Peledakan Overburden di Pit Bendili, PT. Kaltim Prima Coal, Sangatta, Kalimantan Timur. *Skripsi*. Program Studi Sarjana Teknik Pertambangan. UPN "Veteran Yogyakarta.

Akande, J.M. 2014. Evaluation of the Environmental Impacts of Blasting in Okorusu Fluospar Mine, Namibia. *International Journal of Engineering and Technology*. Volume 4(2): 101 – 108.

Bazzazi A.A, M. Osanloo, Y. Azimi. 2010. Flyrock Prediction by Multiple Regression Analysis in Esfordi Phosphate Mine of Iran.

Proceedings of the 9th International Symposium on Rock Fragmentation by Blasting. Taylor and Francis Group: 649-657.

Bhandari, S. 1997. *Engineering Rock Blasting Operations*. A.A.Balkema. Rotterdam.

Bieniawski, Z.T. 1973. *Engineering Classification of Jointed Rock Mass*. Transaction of the South African Institution of Civil Engineering.

Bluman, A. G. 2012. *Elementary Statistics: A Step By Step Approach*. 8th ed. McGraw-Hill. USA.

Elesman, I., Rosul A., Mohamed, M.T. 2006. Measurement and Evaluation of Blasting Ground Vibrations and Airblast at Limestone Quarries of Assiut Cement Company (Cemex). *Journal of Engineering Sciences, Assiut University*. Volume 34(4): 1293 – 1309.

Exploration Department. 2011. *Geologi Daerah Toka Tindung Project*. PT. Tambang Tondano Nusajaya. Manado.

Exploration Department. 2019. *Kolom Stratigrafi Regional Daerah Batupangah*. PT. Tambang Tondano Nusajaya. Manado.

Geotechnical Department. 2018. *Sifat Fisik dan Mekanik Batuan Daerah Batu Pangah*. PT. Tambang Tondano Nusajaya. Manado.

Ghasemi, E., M. Sari, M. Ataei. 2012. Development of an Empirical Model for Predicting The Effects of Controllable Blasting Parameters on Flyrock Distance in Surface Mines. *International Journal of Rock Mechanic and Mining Sciences*. Volume 52: 163-170.

Hustrulid, W. 1999. *Blasting Principles for Open Pit Mining Vol. 1 – General Design Concepts*. Colorado School of Mines. Golden. Colorado. USA.

Jimeno C. L. 1995. *Drilling and Blasting of Rocks*. A.A Balkema Brookfield. Rotterdam.

Konya, C. J., E. J. Walter. 1990. *Surface Blast Design*. Seismological Observatory John Carroll University. New Jersey.

Khasanah, U. 2016. *Analisis Regresi*. Program Studi Pendidikan Matematika Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan UAD Yogyakarta. Yogyakarta.

Peraturan Menteri Tenaga Kerja dan Transmigrasi Nomor 13/MEN/X/2011 tentang Nilai Ambang Batas Faktor Fisika dan Faktor Kimia di Tempat Kerja.

- Putri, A. H., Yuliadi, D. Marmer. 2017. Analisis Arah dan Jarak Lemparan *Flyrock* Akibat Kegiatan Peledakan di PT. Dahana Jobsite PT. Adaro Indonesia, Kabupaten Tabalong Provinsi Kalimantan Selatan. *Prosiding Teknik Pertambangan*. Volume 3(2): 610-618.
- Rawlings, J. A., S. G. Pantula, D. A. Dickey. 1998. *Applied Regression Analysis : A Research Tool*. 2nd ed. Springer. USA.
- Richard, A. B., A. J. Moore. 2005. Golden Pike Cut Back Fly Rock Control and Calibration of a Predictive Model. *Terrock Consulting Engineers*. Australia.
- Sangpiel, A. Sound and Distance. <http://www.sengpielaudio.com/calculator-SoundAndDistance.htm>. 25 Juli 2019 (18.35).
- Taylor, R. 2010. Macraes Phase III Vibration and Air Blast Assessment. *PT. Orica Mining Service*. Oceana Gold Limited. New Zealand.
- White, F.M. 1999. The Buckingham Pi Theorem in Dimensional Analysis. https://ocw.mit.edu/courses/mechanical-engineering/2-25-advanced-fluid-mechanics-fall-2013/dimensional-analysis/MIT2_25F13_The_Buckingham.pdf. 5 Juli 2019 (10.17).