Kajian Teknis *Fly rock* Hasil Peledakan Berdasarkan Persamaan Empiris dan Teori *Scaled Depth Of Burial* di PT Semen Padang

Technical Study of Flying Rock Result of Blasting based on Empirical and Scaled Depth of Burial at PT Semen Padang

Said Sani Mubarak Al'Qudusi*[1], Aditya Denny Prabawa[2], Yudi Arista Yulanda[3]
[1-3] Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Jambi, Jambi, Indonesia
Corr Author: *[1]mubaraksaid19@gmail.com

ABSTRAK

Aktivitas peledakan memiliki resiko terhadap lingkungan khususnya batu terbang. Faktor yang mempengaruhinya batu terbang adalah burden (m). spasi (m), kedalaman lubang ledak (m), *Stemming* (m), diameter lubang ledak (m), handak per lubang (kg), dan *powder factor* (kg/m^3). Variabel independen mempengaruhi variabel dependen sebesar 82,40%. Terdapat 2 jenis teori rancangan geometri peledakan yaitu berdasarkan R.L Ash dan C.J Konya. Rancangan geometri tersebut dievaluasi menggunakan teori *scaled depth of burial*. Penentuan rancangan geometri peledakan dipilih berdasarkan teori R.L Ash karena lemparan batuan sebesar 7,5887 m, tingkat keekonomisan lebih baik dengan *powder factor* 0,56 (kg/m^3), dan rata-rata sebaran fragmentasi batuan sebesar 25,422 cm. Analisis geoemtri peledakan berdasarkan kondis lapangan yaitu Fumum = 7,5887 ± 19,285 % dan kondisi khusus Fkhusus = 7,5887 ± (19,285 + 13,801)%.

Kata-kata kunci*:* Geometri Peledakan, Jarak aman, Fragmentasi batuan

ABSTRACT

Blasting activities have a risk to the environment, especially *fly rock*. Factor affecting the throwing of flying stones are burden (m), Spacing (m), depth of blast holes (m), Stemming (m), hole diameter (m), use of peforated explosive (kg), and powder factor (kg/m^3). The level of the independent variable affecting the dependent variable is 82,40% usisng multiple non-linear regression analysis. There are 2 theories of blasting geometry design used, according to R.L Ash and C.J Konya. The Geometri design is evaluated usisng the scaled depth of burial theory. The determination of the blasting geometry design was chosen based on the theory of R.L Ash because the rock thorwn was 7,5887 m, the economic level was batter with a powder factor of 0,56 (kg/m^3), and average distributed of rock fragmentation was 25,422 cm. Geometry analysis based on field conditions, namely Fgeneral = 7,5887 ± 19,285 % and Fspecial = 7,5887 ± (19,285 + 13,801)%.

Keywords: *Blasting* design, Safe distance, Distributed of rock

Submitted: 05-05-2023; Revised: 03-10-2023; Accepted: 29-01-2024; Available Online: 07-03-2024
Published by: Mining Engineering, Faculty of Engineering, Universitas Lambung Mangkurat
This is an open access article under the CCBYND license https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
©2024, Geosapta

PENDAHULUAN

Kegiatan peledakan memiliki resiko terhadap lingkungan yaitu getaran tanah, (*ground vibration*), gas beracun (*fumes*), gagal ledak (*misfire*), batu terbang (*fly rock*), dan ledakan udara (*air blast*). *Fly rock* merupakan pecahan batuan akibat peledakan yang terlempar secara tidak terduga dari lokasi peledakan. Dampak yang ditimbulkan jika *fly rock* terlempar melebihi ambang batas yang diizinkan akan terjadi kerusakan alat mekanis, cedera ringan hingga kematian. Bedasarkan KEPMEN 1827 K/30/MEM/2018 halaman 79, bahwa jarak aman peledakan bagi alat dan fasilitas pertambangan 300 m sedangkan manusia 500 m yang diukur pada batas terluar peledakan secara horizontal. Pedoman ini disebutkan bahwa jarak aman dapat berubah-ubah sesuai dengan kajian teknis terhadap *fly rock* pada kegiatan tersebut.

Latar belakang pada penelitian ini memberikan gambaran prediksi *fly rock* dengan geometri peledakan yang diusulkan berdasarkan analisis persamaan variabel. Persamaan variabel tersebut mengasumsikan geometri peledakan merupakan variabel terkontrol yaitu *burden, spasi, stemming*, kedalaman lubang ledak, diameter lubang ledak, *powder factor*, dan rata-rata isian lubang ledak. Kemudian data tersebut dianalisis menggunakan regresi non-linear berganda untuk memprediksi lemparan maksimal *fly rock* berdasarkan pemilihan teori rancangan geometri peledakan. Hasil analisis dievaluasi menggunakan teori skala pengisian (*scaled depth of burial*) untuk menformulasikan rancangan geometri yang baik, benar dan tepat terhadap lemparan *fly rock* dan hasil peledakan. Sehingga kegiatan peledakan selanjutnya dilakukan perencanaan yang baik dengan radius aman yang memungkinkan.

[1]Faktor yang mempengaruhi lemparan *fly rock* yaitu percepatan gravitasi (m/s^2), jumlah isian bahan peledakan per lubang (kg), tinggi *stemming* (m), konstanta batuan, dan sudut lemparan batuan (°). Faktor dominan yang mempengaruhi jarak lemparan *fly rock* adalah *stemming*. Semakin Panjang *stemming* maka semakin meminimalisir hasil lemparan *fly rock*. Analisa penelitian tersebut adalah berdasarkan teori R.L Ash dengan nilai

http://dx.doi.org/10.20527/jg.v10i1.16152

stemming 4,8 m dengan prediksi lemparan *fly rock* adalah 13,21 m dengan kondisi *cratering* dan *face burst.*

[2]Beberapa pendekatan analisis prediksi lemparan *fly rock* yang biasanya digunakan yaitu pendekatan mekanik dan pendekatan empirik. Pendekatan mekanik melibatkan rincian mekanisme secara fisika. Sedangkan model empirik menggunakan analisis statistik dari rentang lemparan *fly rock*. Kedua pendekatan ini memiliki keuntungan dan kekurangan masing-masPemodelan mekanik mencakup secara universal pergerakan *fly rock*., seperti bentuk lintasan, hambatan udara dan pantulan *fly rock*. Kekurangan pemodelan ini perlu memasukkan data sudut pelemparan, keceparan pelemparan, dan massa fragmen untuk memprediksi lemparan *fly rock* yang mana data tersebut sangat sulit didapatkan dan sangat bergantung pada lokasi peledakan tertentu, keuntungan dari pemodelan empiris akan secara langsung memberikan persamaan tunggal dan sederhana. Tetapi terdapat kekurangannya yaitu sangat bergantung pada lokasi tertentu dengan kecocokan statistik.

[2]Penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Ghasemi, dkk pada tahun 2012 di Sungun Copper Mine, Iran. Penelitian ini mengembangan persamaan empiris jarak horizontal maksimal *fly rock* antara *free face* dengan fragmentasi. Pengembangan persamaan jarak *fly rock* menggunakan efek parameter yang bisa dikontrol dengan analisis dimensi dan dikumpulkan dari 150 operasi peledakan tambang bijih. Penelitian tersebut menghasilkan 2 persamaan yaitu persamaan linear dan persamaan non-linear.

Tabel-1. Rentang Nilai Scaled Depth of Burial

Skala (SD)	Hasil
0-0.6	Energi peledakan tidak terkontrol, *fly rock* tidak terkendali, banyak debu, fragmentasi sangat halus, membentuk kawah yang baik dan tidak ada sisi *fallback* pada kawah.
0.64-0.88	Energi peledakan tidak terkontrol, *fly rock* merusak, *airblast* bising, banyak debu, fragmentasi moderat, membentuk kawah yang baik dan ada sisa fallback pada kawah.
0.92-1.4	Energi peledakan terkonrol, fragmentasi baik, volume yang terbongkar besar, *vibration* , *airblast*, dan *fly rock* masih dapat diterima
1.44-1.80	Energi peledakan sangat terkontrol, fragmentasi buruk dan *fly rock* sangat dekat.
1.84-2.40	Sedikit permukaan yang terberai
>2.4	Permukaan tidak terberai

Persamaan linear :

$$F_d\left(\frac{P}{Q}\right)^{\frac{1}{3}} = a_1 + , b_1 B\left(\frac{P}{Q}\right)^{\frac{1}{3}} + c_1 S\left(\frac{P}{Q}\right)^{\frac{1}{3}} + d_1 St\left(\frac{P}{Q}\right)^{\frac{1}{3}} + e_1 H\left(\frac{P}{Q}\right)^{\frac{1}{3}} + f_1 D\left(\frac{P}{Q}\right)^{\frac{1}{3}} \quad (1)$$

Persamaan non-linear :

$$\ln F_d\left(\frac{P}{Q}\right)^{\frac{1}{3}} = a_2 + , b_2 \ln\left[B\left(\frac{P}{Q}\right)^{\frac{1}{3}}\right] , + \ln\left[S\left(\frac{P}{Q}\right)^{\frac{1}{3}}\right] + d_2 \ln\left[St\left(\frac{P}{Q}\right)^{\frac{1}{3}}\right] + e_2 \ln\left[H\left(\frac{P}{Q}\right)^{\frac{1}{3}}\right] + f_2 \ln[D\left(\frac{P}{Q}\right)^{\frac{1}{3}} \quad (2)$$

Berdasarkan data yang telah dikumpulkan di Sungun Copper Mine maka disimpulkan persamaan non linear lebih cocok. Persamaan tersebut disederhanakan menjadi persamaan empiris sebagai berikut :

$$F_d = e^{a_2}\ (B^{b_2} S^{c_2} St^{d_2} H^{e_2} D^{f_2} [(P/Q)^{(b_2/3+c_2/3+d_2/3+e_2/3+f_2/3-1/3)}] \quad (3)$$

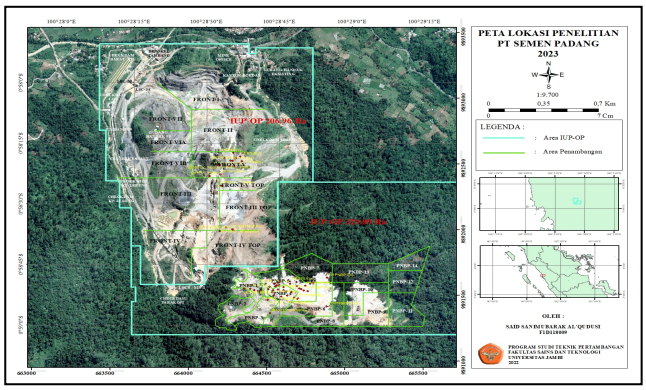
Dampak kegitan peledakan perlu dievaluasi mengunakan skala pengisian (*Scaled Depth of Burial*)[3]. Skala pengisian ini dikelompokkan pada Tabel-1. Evaluasi ini bertujuan untuk mengontrol rancangan geometri peledakan yang menghasilkan energi peledakan yang terkontrol, ukuran fragmentasi yang baik, volume yang terbongkar besar, *vibration*, *airblast*, dan *fly rock* masih dapat diterima.

METODOLOGI

Penelitian ini menggunakan metode deskriptif dengan pendekatan kuantitatif. Tahapan metode penelitian yang digunakan adalah :

Kondisi Lapangan

Secara geografis PT Semen Padang terletak pada1° 04’ 30” LS sampai 1° 06’ 30” LS dan 100° 15’ 30” BT sampai 100° 10’ 30” BT. di daerah. Lokasi tambang PT Semen Padang berada di Bukit Karang Putih, Indarung, Lubuk Kilangan, Kota Padang, Sumatra Barat.



Gambar-1. Peta Lokasi Penelitian

Studi Literatur

Pada tahap studi literatur akan mempelajari teori yang berkaitan dengan penelitian yaitu mekanisme pecahnya batuan akibat peledakan[4], rancangan geometri peledakan[5][6], faktor penyebab lemparan *fly rock*[7][8][2], analisis fragmentasi batuan[9], faktor batuan[10].

Pengambilan Data

Pengambilan data penelitian ini meliputi 2 jenis data penelitian yaitu data primer dan data sekunder. Data primer berupa data kondisi lapangan, titik lokasi peledakan, geometri aktual peledakan (*burden, spasi*, *stemming*, kedalalaman lubang ledak, diameter lubang ledak, *powder factor* dan isian rata-rata per lubang ledak), pola peledakan (echelon/v-*cut*/*box-cut*), lemparan maksimum *fly rock* aktual, arah lemparan batuan, data fragmentasi batuan hasil peledakan. Data sekunder berupa data geologi setempat, data pengeboran dan peledakan, sistem penambangan, karakteristik fisik dan mekanik batuan, faktor batuan.

Analisis Data

Data Penelitian berupa geometri peledakan aktual dirangkum ke dalam tabel berdasarkan nilai maksimum, minimum, jumlah dan rata-rata. Kemudian data tersebut dianalisis berdasarkan teori yang dikembangkan oleh Ghasemi dkk pada tahun 2012 [2] untuk menentukan

http://dx.doi.org/10.20527/jg.v10i1.16152

variabel independen dan variabel dependen. Kemudian data geometri aktual dan data olahan lemparan maksimum *fly rock* aktual dianalisis menggunakan aplikasi pendukung yaitu IBM SPSS Statistic 26. Data tersebut diolah ke dalam persamaan 3. Selanjutnya perancangan geometri peledakan berdasarkan teori R.L Ash [6] dan C.J Konya [5]. Hasil rancangan tersebut dimasukkan ke dalam analisis regresi non-linear berganda untuk memprediksi lemparan *fly rock*. Rancangan geometri peledakan dievaluasi untuk mengetahui dampak yang ditimbulakan peledakan yaitu energi peledakan, fragmentasi batuan, volume yang terbongkar, getaran tanah, ledakan udara, dan *fly rock*. Evaluasi menggunakan teori *scaled depth of burial* yang dikembangkan oleh Taylor, (2010) [3] untuk mendapatkan perbaikkan *stemming* yang baik terhadap lemparan *fly rock* dan hasil fragmentasi batuan.

Rancangan fragmentasi batuan digunakan untuk memprediksi ukuran rata-rata fragmentasi, indeks keseragaman, distribusi persebaran fragmentasi abtuan. Rancangan fragmentasi batuan ini menggunakan teori model KUZ-RAM menurut Cunningham, C, (1983) [11].

Analisis penentuan rancangan geometri ini mempertimbangkan 3 aspek peledakan yaitu faktor keamanan, faktor ekonomis dan ukuran fragmentasi batuan. Faktor keamaan berdasarkan nilai prediksi lemparan *fly rock*. Faktor ekonomis berdasarkan *powder factor*. Faktor ukuran fragmentasi berdasarkan nilai $X_{rata-rata}$.

HASIL DAN DISKUSI

Analisis persamaan menggunakan parameter yang dapat dikontrol dan mudah diobservasi. Data tersebut meliputi data dependen dan data independen. Variabel dependen adalah variabel yang mempengaruhi valiabel independen. Berikut rangkuman geometri peledakan pada tabel-2.

Tabel-2. Rangkuman Geometri Peledakan Aktual

	Satuan	Simbol	Jumlah	Min	Max	Rata-rata
Burden	m	B	99,6	2,6	4,5	3,688889
Spasi	m	S	114,2	3,5	5,3	4,22963
Kedalaman lubang	m	H	263	6,7	11,1	9,740741
Stemming	m	St	104,5	2,5	4,6	3,87037
Kolom isian	m	PC	158,5	4,2	6,6	5,87037
Tinggi jenjang	m	Hj	328	11	13	12,1481
Diameter lubang	m	D	3,329	0,102	0,127	0,123296
Volume peledakan	m^3	V	5134,995	131,04	270	190,185
Loading density	kg/m	De	421,0409	10,6172	16,459	15,59411
Handak per lubang	kg	Q	2472,7266	60,51851	108,6337	91,58247
Powder factor	kg/m^3	P	13,7677	0,232	0,75965	0,50992
Jumlah lubang		N	1771	27	130	65,59259

Analisis Kondisi Lapangan Peledakan *Fly rock*

Pengelompokkan 2 kondisi lapangan yaitu kondisi lapangan secara umum dan secara khusus. Secara umum kondisi lapangan yaitu permukaan jenjang peledakan yang tidak rata (simbol : TR) yang membuat *burden*, spasi dan *staggered pattern* yang tidak sesuai dengan *blasting plan* (simbol : **BST**). Kemudian setiap peledakan menggunakan 2 *booster* dan 2 *in hole delay* per lubang ledak (simbol : **22H**). Sebagian besar lubang ledak berongga di area PLB (Pit Limit Barat) dan berair jika kemarinnya hujan. Jika di area peledakan PNBP terdapat beberapa lubang berongga dan berair (simbol lubang berair : **LA** dan lubang berongga : **LB**). Selanjutnya pengelompokkan kondisi khusus dimana ada peledakan toe lereng (simbol : **TL**). Terdapat peledakan *boulder* yang masuk ke dalam rangkaian (Simbol **: BP**). Kemudian adanya peledakan di dinding jenjang (simbol : **DJ**), hal ini dikarenakan peledakan sebelumnya menghasilkan *boulder*. Pengelompokkan selanjutnya adalah perangkaian peledakan yang tidak ideal dikarenakan kondisi geologi dan adanya material tanah dan material loading (simbol :**G**). Berikutnya terdapat lubang pendek di depan *freeface* (simbol : **LP**) serta *freeface* yang terhalangi oleh material *blasting* sebelumnya (simbol : **FB**). Selanjutnya akan mengelompokkan kondisi umum dan khusus terhadap *fly rock* aktual lapangan. Pengelompokkan Kondisi Lapangan Penelitian. Rata-rata lemparan *fly rock* pada kondisi umum adalah 81,80 m dan maksimumnya adalah 155,11 m. Sedangkan rata-rata lemparan *fly rock* pada kondisi khusus adalah 100,46 m dan maksimumnya adalah 274,85 m.

Tabel-3. Simbol Kondisi Lapangan Peledakan

Simbol	Keterangan
TR	Jenjang tidak rata
BST	Burden, Spasi, *Stemming* tidak sesuai dengan *blasting plan*
22H	2 *booster* dan 2 *in hole delay*/lubang
LA	Lubang berair
LB	Lubang berongga
FB	Freeface terhalang material *blasting* sebelumnya
DJ	Peledakan dinding jenjang
TL	Peledakan toe lereng
LP	Lubang pendek di depan *freeface*
G	Terdapat material tanah dan material *loading*
BP	Boulder masuk ke dalam rangkaian peledakan

http://dx.doi.org/10.20527/jg.v10i1.16152

Tabel-4. Pengelompokkan Kondisi Lapangan Peledakan

No	Tanggal	Lokasi	TR	BST	22H	LA	LB	FB	DJ	TL	LP	G	BP	Jarak Lemparan (m)	Prediksi *Fly rock*	eror	%eror
1	18/10/2022	PNBP-4	V	V	V						V	V		68,18	63,15388097	0,073718378	7,371837827
2	19/10/2022	PNBP-4		V	V			V						155,1	149,7043331	0,03478831	3,478831018
3	20/10/2022	PNBP-4		V	V									129,08	127,961573	0,008664604	0,866460357
4	21/10/2022	PNBP-4		V	V			V			V			49,07	49,54068824	0,009592179	0,959217926
5	22/10/2022	PNBP-4		V	V						V			207,2	251,7349158	0,214936852	21,49368524
6	24/10/2022	PNBP-4	V	V	V	V								58,98	58,07980047	0,015262793	1,526279297
7	25/10/2022	PNBP-4		V	V			V						44,37	62,44975672	0,40747705	40,74770501
8		PLB	V	V	V	V	V							84,46	105,3447333	0,247273659	24,72736594
9	26/10/2022	PNBP-4	V	V	V	V	V	V						47,09	46,83917802	0,005326438	0,532643821
10	27/10/2022	PNBP-4	V		V	V	V		V					64,23	65,11618362	0,013797036	1,379703602
11	28/10/2022	PNBP-4		V	V	V	V						V	41,89	58,82912159	0,404371487	40,4371487
12	29/10/2022	PNBP-4		V	V	V		V					V	83,35	76,33108665	0,084210118	8,421011813
13		PLB		V	V	V	V	V						90,43	97,565871	0,078910439	7,891043897
14	31/10/2022	PNBP-4	V	V	V	V		V						127,50	97,19652556	0,237674309	23,76743093
15		PLB			V	V	V	V						129,73	151,3929479	0,166984876	16,69848758
16	01/11/2022	PNBP-4		V	V									65,21	55,77255861	0,144723837	14,47238366
17	02/11/2022	Pit Limit	V	V	V							V		81,63	57,20268071	0,299244387	29,92443868
18		PLB		V	V					V				274,85	244,3605247	0,110931327	11,09313272
19	03/11/2022	PLB		V	V					V				75,88	71,43006628	0,058644356	5,864435577
20	04/11/2022	PNBP-4		V	V	V	V							92,49	82,81605272	0,104594521	10,45945213
21	05/11/2022	PNBP-4		V	V	V	V							71,72	60,78858101	0,152418	15,24180004
22		PLB		V	V					V				77,68	70,7853522	0,088757052	8,8757052
23		PNBP-7	V	V	V	V	V					V		116,33	93,76903792	0,193939328	19,39393285
24	07/11/2022	PNBP-5		V	V	V	V							26,50	51,48165562	0,942703986	94,27039856
25		PLB			V	V	V			V				65,22	58,43752709	0,103993758	10,39937582
26	08/11/2022	PLB		V	V	V	V							45,14	51,40189989	0,138721752	13,87217522
27		PNBP-5		V	V	V	V							59,21	46,93546398	0,207305118	20,73051178
Rata Umum														81,80			
Rata Khusus														100,46			
Max Umum														155,10			
Max Khusus														274,85			
Eror umum																0,192855313	19,28553128
Eror khusus																0,138011355	13,8011355

Analisis *Fly rock* Aktual dan Prediksi *Fly rock*

Data lemparan *fly rock* aktual dan geometri peledakan aktual dimasukan ke dalam aplikasi SPSS untuk diolah datanya. Setelah diolah maka didapatkan variabel a2, b2, c2, d2, e2, dan f2 yang terlampir pada Tabel-5.

Tabel-5. Estimasi parameter

Parameter	*Estimate*	*Std. Error*	95% Confidence Interval	
			Lower Bound	*Upper Bound*
A	28,444	3,902	20,329	36,559
B	2,696	1,783	-1,011	6,403
C	7,639	1,825	3,844	11,433
D	11,197	2,309	6,396	15,998
E	-11,738	2,914	-17,798	-5,677
F	3,03	0,653	1,673	4,388

Tabel 6. Analisis ANOVA

Source	*Sum of Squares*	df	*Mean Squares*
Regression	191,326	6	31,888
Residual	1,225	21	,058
Uncorrected Total	192,550	27	
Corrected Total	6,951	26	

Dependent variable: Ln_FPQ[a]

a. R *squared* = 1 – (*Residual Sum of Squares*) / (*Corrected Sum of Squares*) = ,824.

Diketahui R *squared* analisis ini adalah 0,824 yang mana variabel independen mempengaruhi variabel 20dependent sebesar 82,40%. Persamaan yang telah dirancang sebelumnya dapat digunakan dalam memprediksi lemparan *fly rock*.

Rancangan Geometri Peledakan R.L Ash dan C.J Konya

Rancangan geometri peledakan bertujuan untuk memperkecil radius lemparan *fly rock*. Berikut rancangan geometri peledakan menurut metode R.L Ash dan C. J Konya.

Tabel-7. Rancangan geometri peledakan

Rancangan Geometri Peledakan	R.L Ash	C.J Konya	Satuan
Burden	4,45	3,0919	m
Spasi	5,34	4,3286	m
Stemming	3,115	3,0919	m
Subdrilling	1,335	0,9275	m
Kedalaman lubang	11,3	11,9275	m
Tinggi jenjang	9,965	11	m
Panjang kolom	8,1	8,8355	m
Diameter lubang	0,127	0,127	m
Volume peledakan	237,63	147,520	m^3
Loading density	16,45	16,47	kg/m
Pemakaian handak/lubang	133,32	145,52	kg
Powder factor	0,56	0,98	kg/m^3
Prediksi lemparan *fly rock*	5,6138	1,3432	m

http://dx.doi.org/10.20527/jg.v10i1.16152

Evaluasi Rancangan Geometri Peledakan

Perbaikkan usulan rencangan geometri peledakan menurut Teori *Scaled depth of burial* adalah *stemming* 3,2 m, diameter lubang ledak 0,127 m dan *loading density* 16,46 kg/m. Perbaikkan usulan ini bertujuan untuk mendapatkan energi peledakan yang terkontrol, fragmentasi yang baik, volume yang terbongkar besar, *vibration*, *air blast* dan *fly rock* masih dapat diterima. Kemudian diperoleh prediksi lemparan *fly rock* yang baru berdasarkan persamaan yang telah dianalsis sebelumnya dan hasil analisis diperoleh pada Tabel-8.

Tabel-8. Evaluasi rancangan geometri peledakan

Metode Rancangan	Prediksi Lemparan *Fly rock* Sebelumnya	Prediksi Lemparan *Fly rock* Sesudahnya
R.L Ash	5,6138 m	7,5887 m
C.J Konya	1,3432 m	1,9735 m

Rancangan Fragmentasi Batuan

Rancangan fragmentasi batuan menggunakan model KUZ-RAM menurut Cunningham, C, 1983. Rancangan tersebut menyesuaikan geometri peledakan menurut teori R.L Ash dan C.J Konya yang telah dievaluasi sebelumnya. Rancangannya berupa screen size, persentase tertahan dan lolos, persentase fraksi, ukuran rata-rata, dan indeks keseragaman batuan. Rancangan tersebut dirangkum pada tabel di bawah ini. Rancangan fragmentasi dengan penyesuaian geometri peledakan R.L Ash adalah ukuran rata-rata fragmentasi batuan hasil peledakan $X_{rata\text{-}rata}$ = 25,422 cm dan indeks keseragaman fragmentasi batuan n = 1,68131. Rancangan fragmentasi dengan penyesuaian geometri peledakan C.J Konya Ukuran rata-rata fragmentasi batuan hasil peledakan $X_{rata\text{-}rata}$ = 16,5835 cm dan indeks keseragaman fragmentasi batuan n = 1,94708.

Tabel-9. Rancangan fragmentasi (R.L Ash)

Screen size, cm	Tertahan (R), %	Lolos (P), %	Fraksi, %	$(X/Xc)^n$
2,5	98,61	1,39	0	0,0140
5	95,60	4,4	3,01	0,0450
10	86,56	13,44	9,04	0,1444
20	62,94	37,06	23,62	0,4630
40	22,65	77,35	40,29	1,4848
60	5,31	94,69	17,34	2,9359
80	0,85	99,15	4,46	4,7621
100	0,1	99,90	0,75	6,9301
200	0	100	0,1	22,2262

Tabel-10. Rancangan fragmentasi (C.J Konya)

Screen size, cm	Tertahan (R), %	Lolos (P), %	Fraksi, %	$(X/Xc)^n$
2,5	96,96	3,04	0	0,0309
5	88,76	11,24	8,2	0,1192
10	63,14	36,86	25,62	0,4597
20	16,99	83,01	46,15	1,7728
40	0,11	99,89	16,88	6,8357
60	0	100	0,11	15,0538
80	0	100	0	26,358
100	0	100	0	40,701
200	0	100	0	156,94

Analisis Penentuan Rancangan Geometri Peledakan

Pada penentuan rancangan yang lebih baik, penelitian ini mempertimbangkan 3 aspek yaitu faktor keamanan dari prediksi radius aman dari lemparan *fly rock,* tingkat keekonomisan peledakan dalam hal ini adalah *powder factor* serta prediksi fragmentasi batuan hasil peledakan. Berikut tabel perbandingan antara kedua metode yang telah dievaluasi menggunakan teori *Scaled depth of burial* untuk penentuan rancangan yang disarankan terlihat pada Tabel-11.

Tabel-11. Perbandingan metode R.L Ash dan C.J Konya

Metode	*Fly rock* (m)	*Powder factor* (kg/m^3)	$X_{rata\text{-}rata}$ (cm)
R.L Ash	7,5887	0,56	25,422
C.J Konya	1,9735	0.98	16,583

Kedua rancangan ini memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing. Penilaian rancangan R.L Ash lebih baik jika dibandingkan dengan rancangan C.J Konya dikarenakan memiliki *powder factor* yang lebih kecil yaitu 0,56 kg/m^3 dengan prediksi lemparan *fly rock* 7,5887 m. Rancangan R.L Ash lebih ekonomis jika dibandingkan dengan C.J Konya dengan lemparan *fly rock* yang wajar. Rancagangan R.L Ash menghasilkan prediksi fragmentasi batuan hasil peledakan yang baik dengan rata-rata 25, 422 cm dan distribusi sebaran fragmentasi di rentang yang aman walaupun terdapat *boulder* (>100 cm) sebesar 0,1 %, hal ini sangat wajar dan dapat diterima dengan presentase *boulder* batuan itu. Pencegahan terjadinya *boulder* di lapangan sangat sulit dilakukan dikarenakan terdapat kondisi yang mempengaruhinya.

Analisis Rancangan Geometri Peledakan terhadap Kondisi Lapangan

Analisis Kondisi Lapangan Peledakan terhadap *fly rock* bahwa *fly rock* juga dipegaruhi oleh kondisi lapangan. Oleh karena itu, diperlukan penyesuaian prediksi lemparan *fly rock* berdasarkan rancangan geometri peledakan yang dipilih sebelumnya. Penyesuaian tersebut berupa pendekatan error rata-rata dari kondisi lapangan umum dan kondisi lapangan khusus. Error diperoleh untuk kondisi umum sebesar 19,285 % dan kondisi khusus adalah (19,285 +13,801) %. Perlu diingat juga bahwa di dalam kondisi khusus terdapat parameter kondisi umum juga termasuk ke dalamnya. Karena kondisi khusus jarang ditemukan di lapangan.

Analisis Hasil dan Pembahasan

Analisis hasil dan pembahasan pada subab ini mengacu pada 2 poin permasalahan yaitu pertama hubungan antara *powder factor* (PF) aktual dan rancangan *powder factor* (PF) terhadap lemparan *fly rock*. PF aktual dan rancangan PF memiliki nilai kurang lebih sama dengan yaitu 0,5 kg/m^3, tetapi memiliki selisih jauh terhadap fly rock. PF aktual dengan 0,5 kg/m^3 memiliki lemparan fly rock aktual pada kondisi umum 81,80 m dan pada kondisi khusus 100,46 m. Rancangan PF berdasarkan teori R.L Ash yang telah dievaluasi dan disesuaikan kondisi lapangan yaitu F_{umum} = 7,5887 $\pm$ 19,285 % dan F_{khusus} = 7,5887 $\pm$ (19,285 % + 13,801 %). Sesuai dengan analisis yang telah dijelaskan sebelumnya, faktor yang mempengaruhi lemparan *fly rock* adalah burden (m), spasi (m), *stemming* (m), kedalaman lubang ledak (m), diameter lubang ledak (m), penggunaan handak per lubang (kg) dan

http://dx.doi.org/10.20527/jg.v10i1.16152

powder faktor (kg/m^3). analisis regresi non-linear berganda menghasilkan r-squared sebesar 0,824, yang dimana sebesar 82,40% variabel independen mempengaruhi variabel dependen. Jadi tidak bisa membandingkan secara langsung antara *powder factor* dengan lemparan fly rock karena terdapat variabel lain yang mempengaruhinya.

Permasalahan kedua adalah mempertanggungjawabkan ususlan geometri. Telah diketahui sebelumnya pemilihan rancangan geometri peledakan yaitu R.L Ash yaitu F_{umum} = 7,5887 $\pm$ 19,285 % dan F_{khusus} = 7,5887 $\pm$ (19,285 % + 13,801 %). Nilai tersebut cukup kecil jika dibandingan dengan Kepmen 1827 K/30/MEM/2018 bahwa jarak aman peledakan bagi alat dan fasilitas pertambangan 300 m sedangkan manusia 500 m yang diukur pada batas terluar peledakan secara horizontal. Tetapi hubungan antara jarak lemparan aktual dan prediksi fly rock memiliki selisih cukup dekat dengan rata-rata eror kondisi umum sebesar 19,285 % dan eror kondisi khusus sebesar 33,086 %. Masalahnya terletak dalam menyesuaikan lemparan *fly rock* pada kondisi aktual dan kondisi peledakan secara teori. Solusi dari permasalahan ini adalah *trial* dan eror untuk menyesuaikan hal tersebut. Hal tersebut bertujuan untuk mendapatkan faktor koreksi ($F_{koreksi}$) untuk usulan geometri peledakan aktual peledakan aktual terhadap prediksi lemparan *fly rock*. Perbaikkan nantinya terletak faktor koreksi terhadap persamaan berikut :

$$F_d = e^{a_2}\ (B^{b_2} S^{c_2} St^{d_2} H^{e_2} D^{f_2} [(P/Q)^{(b_2/3+c_2/3+d_2/3+e_2/3+f_2/3-1/3)}] \times F_{koreksi} \quad (4)$$

KESIMPULAN DAN SARAN

Faktor yang mempengaruhi lemparan *fly rock* adalah *burden* (m), spasi (m), kedalaman lubang ledak (m), *Stemming* (m), diameter lubang (m), penggunaan handak perlubang (kg) dan *powder factor* (Kg/m^3). Penggunaan analisis regresi non-linear berganda menghasilkan r-*squared* sebesar 0,824, yang dimana sebesar 82,40% variabel independen mempengaruhi variabel dependen.

Jarak maksimal *fly rock* produksi adalah 274,85 m dan jarak minimum *fly rock* produksi 26,50 meter, serta rata-rata produksi 90,09 m. Rata-rata fragmentasi 80% (F80) adalah 60,19 cm. Rata-rata jarak prediksi *fly rock* adalah 89,126 m, maksimum jarak prediksi *fly rock* 251,7349 m, dan minimum prediksi *fly rock* adalah 46,8391 m. Ukuran batuan yang terlempar akibat peledakan sangat bervariasi dan sangat sulit dikontrol. Ukurannya dengan rentang 10-50 cm. Rata-rata lemparan *fly rock* pada kondisi umum adalah 81,80 m dan maksimumnya adalah 155,11 m. Sedangkan rata-rata lemparan *fly rock* pada kondisi khusus adalah 100,46 m dan maksimumnya adalah 274,85 m.

Rancangan geometri peledakan menurut R.L Ash yaitu *burden* 4,45 m, spasi 5,34 m, *stemming* 3,115 m, *subdrilling* 1,335 m, kedalaman lubang 11,3 m, tinggi jenjang 9,965 m, panjang kolom 8,1 m, diameter lubang 0,127 m, *loading density* 16,45 kg/m, pemakaian handak/lubang 133,32 kg, dan powder factor 0,56 kg/m^3. Prediksi lemparan *fly rock* menurut rancangan geometri R.L Ash adalah 5,61 m. Rancangan menurut C.J Konya *burden* 3,09 m, spasi 4,32 m, *stemming* 3,09 m, *subdrilling* 0,93 m, kedalaman lubang 11,93 m, tinggi jenjang 11 m, panjang kolom 8,84 m, diameter lubang 0,127 m, *loading density* 16,47 kg/m, pemakaian handak/lubang 145,52 kg, dan powder factor 0,98 kg/m^3. Prediksi lemparan *fly rock* menurut rancangan geometri C.J Konya adalah 1,34 m.

Berdasarkan evaluasi geometri peledakan menggunakan teori *scaled depth of burial*, nilai *scale depth* yang disarankan yaitu 1,4. Perbaikkan geometri peledakan berupa stemming 3,2 m, diameter lubang ledak 0,127 m dan *loading density* 16,46 kg/m. Prediksi lemparan *fly rock* geometri peledakan munurut RL. Ash adalah 7,5887 m dan prediksi lemparan *fly rock* geometri peledakan munurut C.J Konya adalah 1,9735 m.

Rancangan fragmentasi batuan berdasarkan rancangan teori R.L Ash adalah Ukuran rata-rata fragmentasi batuan hasil peledakan Xrata-rata = 25,422 cm dan indeks keseragaman fragmentasi batuan n = 1,68131. Sedangkan Rancangan fragmentasi batuan berdasarkan rancangan teori C.J Konya sebagai berikut Ukuran rata-rata fragmentasi batuan hasil peledakan Xrata-rata = 16,5835 cm dan indeks keseragaman fragmentasi batuan n = 1,94708.

Rancangan menurut R.L Ash memiliki lemparan *fly rock* yaitu 7,5887 m, lebih ekonomis dengan powder factor (PF) adalah 0,56 kg/m^3 dan distribusi fragmentasi batuan rata-rata 25,422 cm.

Berdasarkan analisis geometri peledakan terhahap kondisi lapangan yaitu pada kondisi umum F_{umum} = 7,5887 $\pm$ 19,285 % dan pada kondisi khusus F_{khusus} = 7,5887 $\pm$ (19,285 % + 13,801 %). Error diperoleh untuk kondisi umum sebesar 19,285 % yang senilai 34,577 m dan kondisi khusus adalah 13,801 % yang senilai 23,528 m. Jika kondisi lapangan mempengaruhi lemparan fly rock secara positif maka nilai dari F_{umum} adalah 42,166 m dan F_{khusus} adalah 65,694 m. Jika kondisi lapangan mempengaruhi lemparan fly rock secara negatif maka nilainya adalah F_{umum} adalah 26,988 m dan F_{khusus} adalah 50,517 m.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PT Semen Padang yang memberikan kesempatan dalam pengambilan data penelitian, baik data penelitian primer dan data sekunder.

DAFTAR ACUAN

1. Novianti. Analisis Geometri Peledakan Terhadap Fly Rock Hasil Peledakan di PT Semen Padang , Kecamatan Lubuk Kilangan , Kota Padang , Sumatera Barat. Sains dan Teknologi. Universitas Jambi. Jambi. 2023.
2. Ghasemi E, Sari M, Ataei M. Development of an empirical model for predicting the effects of controllable blasting parameters on flyrock distance in surface mines. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. 2012 Jun 1;52:163-70. doi: 10.1016/j.ijrmms.2012.03.011.
3. Taylor R. Macraes Phase III Vibration and Air Blast Assessment. PT. Orica Mining Service. Oceana Gold Limited. New Zealand. 2010.
4. Wyllie DC, Mah C. Rock Slope Engineering Civil And Mining 4th Edition, 4 ed. London and New York: Spon Press Taylor & Francis Group. 2005.
5. Konya CJ, *Blast Design*. Montville: Intercontinental Development Corporation. 1995. doi: 10.4324/9781315733722-2.
6. Ash R. Design of Blasting Round Surface Mining.

1990.
7. Bhandari S. Engineering Rock Blasting Operations. Rotterdam: A.A Balkema. 1997.
8. Richards AB dan Moore AJ .Golden Pike Cut-Back Flyrock Control and Calibration of a Predictive Model. Kalgoorlie. 2005. doi: 10.1049/ep.1968.0392.
9. Safarudin S, Purwanto P, Djamaluddin D. Analisis Pengaruh Geometri Peledakan Terhadap Fragmentasi dan Digging Time Material Blasting. Jurnal Penelitian Enjiniring. 2016;20(2):54-62
10. Lilly PA. An empirical method of assessing rock mass blastability. The Aus. 1986 Oct.
11. Cunningham CV. The Kuz-Ram fragmentation model–20 years on. InBrighton conference proceedings 2005 Sep 13 (Vol. 4, pp. 201-210). European Federation of Explosives Engineers.

http://dx.doi.org/10.20527/jg.v10i1.16152