

Analisis Prediksi Fragmentasi Peledakan Tambang Terbuka dengan Menggunakan Model *Rock Engineering System* (RES) dan Optimasi Geometri Peledakan untuk Mencapai Target Produktivitas Alat Gali Muat pada Kegiatan Pembongkaran Tanah Penutup (Overburden) di PT Kalimantan Prima Persada *Job Site* BDMA Kalimantan Utara

Aldo Mahyandra^{1*}, Dedi Yulhendra^{1**}

¹Jurusan Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang

*aldomahyandra@gmail.com

** dediyulhendra@ft.unp.ac.id

Abstract. The blasting process will produce rocks fragmentation. Thus, there is the possibility of risk of fragmentation, such as boulder size, loading process, and productivity of the equipment cannot be achieved. The Rock Engineering System (RES) is a predictive model for blasting rock fragmentation. This study uses 10 effective parameters that affect rock fragmentation. The data that has been collected is as much as 30 blasting, carried out at PT KPP Job Site BDMA, North Kalimantan. The prediction of fragmentation in this study also uses the Kuz Ram method and a modification from Cunningham (2005) as comparison data. To validate the method that has been used, the correlation coefficient (R2) and the Root Mean Square Error (RMSE) will be analyzed between the actual measurements using split desktop software and the prediction method used. Between the RES model, the Kuz Ram method, and Cunningham method, the R2 value is obtained with a very strong relationship, are 0.97 in area 1 and 0.88 in area 2, and a low RMSE value are 24.31 in area 1 and 10.78 in area 2 using the RES model. So, based on this, the writer can make a blasting geometry to achieve productivity from the 2 theories used (R.L Ash and C.J Konya). Finally, geometries of R.L Ash is a best choice.

Keywords : Rock Engineering System, Productivity, Statistic Analisis, R.L Ash, C.J. Konya

1 Pendahuluan

Kegiatan penambangan dilakukan untuk mendapatkan bahan galian yang berada dalam lapisan tanah atau batuan. Untuk mendapatkan suatu bahan galian harus dilakukan penggalian lapisan penutup. Dalam industri pertambangan sering dijumpai sifat batuan yang relatif keras. Adapun solusi dari permasalahan tersebut adalah dengan melakukan proses peledakan untuk memberaikan batuan yang ada. Kegiatan peledakan bertujuan untuk melepaskan bahan galian dari batuan induk, membuat rekahan, serta memecah dan memindahkan batuan (Wibby, 2015) ^[1].

Suatu proses peledakan akan menghasilkan batuan yang terberai menjadi fragmentasi. Fragmentasi batuan yang memiliki ukuran batuan yang berbeda-beda merupakan salah satu faktor untuk menentukan keberhasilan suatu peledakan. Kutalilake ^[10] Kegiatan

peledakan memiliki dampak yang sangat signifikan terhadap proses selanjutnya seperti *loading*. Perusahaan memiliki target kurang dari 20 % berukuran *boulder* atau ≥ 100 cm untuk alat gali muat *Excavator* PC2000. Hal itu berarti, perusahaan memberikan target fragmentasi yaitu 80 % ukuran ≤ 100 cm, agar mendapatkan target *digging time* ± 9 detik dan produktivitas alat 700 bcm/jam. Hasil dari beberapa kali peledakan menunjukkan bahwa masih terdapat fragmentasi batuan yang tidak seragam dan memiliki ukuran *boulder*, dengan persentasenya pernah mencapai ± 42 % pada pengukuran *software split desktop*.

Terjadinya resiko fragmentasi seperti itu yang tidak dapat diprediksi dengan baik, maka akan berpengaruh pada waktu *digging time*. Oleh karena itu, perlu adanya suatu pemodelan prediksi fragmentasi yang dapat mendekati fragmentasi aktual di lapangan dan kajian mengenai optimasi geometri peledakan

untuk meningkatkan *diggability* dalam pemenuhan target produktivitas alat gali muat OB.

Kuz Ram dan modifikasi C.V.B Cunningham (2005) merupakan salah satu model umum yang digunakan untuk memprediksi fragmentasi batuan. Namun, menurut F. Faramarzi, dkk pada tahun 2013 [3] bahwa model tersebut belum mempertimbangkan secara serentak semua parameter yang relevan di dalam suatu model. Sehingga, pada penelitian ini akan mengaplikasikan model RES untuk mengevaluasi resiko fragmentasi atau fragmentasi yang tidak diinginkan oleh perusahaan dan memprediksi hasil fragmentasi batuan yang menghubungkan beberapa parameter lengkap dari model RES, yang dilakukan di Pit Yarder, PT KPP *job site* BDMA, Kalimantan Utara. Serta, membandingkan dengan hasil prediksi dari Kuz Ram dan Cunningham. Setelah itu, akan dilakukan analisis statistik (*bivariate* dan *multivariate*) dan evaluasi geometri peledakan untuk optimasi kegiatan peledakan guna menurunkan resiko fragmentasi dan mencapai target produktivitas alat gali muat. Karena, beberapa aspek yang menjadi penentu untuk menghasilkan fragmentasi batuan yang dibutuhkan diantaranya penentuan geometri peledakan [2].



Gambar 1. Peta Situasi Tambang PT. KPP BDMA

2. Tinjauan Pustaka

2.1 Deskripsi Umum Perusahaan

Sebagai usaha kontraktor penambangan batubara yang secara astronomis berlokasi di $3^{\circ} 07' 08,7'' N - 3^{\circ} 05' 01'' N$ dan $116^{\circ} 27' 00,4'' E - 116^{\circ} 27' 47,6'' E$, PT Kalimantan Prima Persada BDMA mengelola usaha dengan mengikuti pola kegiatan penambangan secara

umum dengan metoda penambangan *open pit mining*. Proses peledakan menggunakan bahan peledak ANFO dan detonator nonel sebagai sistem iniasi. Peta situasi tambang PT KPP BDMA dapat dilihat pada gambar 1.

2.2 Kondisi Geomorfologi dan Geologi

Lokasi memiliki geomorfologi daratan dan perbukitan yang terjal, serta dikelilingi oleh hutan. Daerah penyelidikan termasuk ke dalam Cekungan Tarakan yang dicirikan dengan lipatan dan sesar. Berada pada Formasi Langap yang didominasi oleh batupasir dan konglomerat dengan pengotor batu lempung [13].

2.3 Data Penelitian

Data penelitian diambil berdasarkan 30 kali peledakan yang telah dilakukan, data ini akan digunakan untuk pengembangan model yang akan digunakan. Untuk pengembangan model RES, maka dari 30 kali peledakan tersebut, 20 data peledakan akan digunakan untuk analisa awal model. Sedangkan, 10 data peledakan lainnya akan digunakan untuk evaluasi model yang digunakan.

Data geoteknik batuan (kekerasan batuan, deskripsi umum batuan, struktur batuan), data kegiatan peledakan (burden, spasi, kedalaman lubang ledak, *loading density*, *powder factor*, *steaming*, *time delay*, *hole diameter*, pola peledakan, pola iniasi), data gambar fragmentasi, dan data *cycle time* alat gali muat merupakan data yang diambil oleh peneliti pada penelitian ini (data primer) seperti pada tabel 1.

Pengambilan data gambar fragmentasi memiliki tujuan untuk dianalisis dalam *software split desktop* untuk mendapatkan X80 (persentase 80 % ukuran batuan) sebagai ukuran aktual di tiap kali kegiatan peledakan. Contoh analisis dapat dilihat seperti pada gambar 2 dan gambar 3.



Gambar 3. Hasil analisis ukuran *boulder* dan X80



Gambar 2. Contoh pengukuran *image analysis split desktop*

Tabel 1. Data Primer Penelitian

Data	Simbol	Min	Max	Rata-rata
<i>Blastibility Index</i>	BI	5,16	8,76	6,48
<i>Powder Factor</i>	PF	112,64	152,47	133,54
Diameter lubang	D	200	200	200,00
Burden (m)	B	8	8	8
Spasi (m)	S	9	9	9
Lubang ledak (m)	H	4,17	8,32	7,41
<i>Steaming (T)</i>	T	2,82	5,3	3,97
Tinggi jenjang (m)	L	4	10	7,30
Tot. Handak/hole (kg)	De	33,82	85,76	71,47
Deviasi lubang (%)	Dev. Lubang	1,5	30,5	9,43
<i>S/B Ratio</i>	S/B	1,125	1,125	1,13
<i>T/B Ratio</i>	T/B	0,3525	0,6625	0,50
<i>L/B Ratio</i>	L/B	0,5	1,25	0,91
<i>B/D Ratio</i>	B/D	40	40	40

2.4 Prediksi Fragmentasi

2.4.1 Metode Kuz Ram

Perkiraan distribusi ukuran fragmentasi hasil peledakan berdasarkan metode Kuz-Ram membutuhkan beberapa masukan data, diantaranya faktor batuan, geometri peledakan, dan jumlah bahan peledak. Model ini menggunakan persamaan (1) untuk mencari fragmentasi rata-rata (X_m).

$$X_m = A \times \left\{ \frac{V_o}{Q} \right\}^{0,8} \times Q^{0,1667} \times \left\{ \frac{E}{115} \right\}^{-0,63} \quad (1)$$

Persamaan tersebut terdiri dari masukan data faktor batuan (A), Volume batuan ter bongkar (m^3) (V_o), berat bahan peledak (Q), dan RWS bahan peledak (ANFO = 100). Langkah selanjutnya yang harus dilakukan yaitu mencari karakteristik ukuran (X_c) yang menggunakan rumus (2), setelah itu menentukan indeks keseragaman batuan yang menggunakan rumus (3), lalu melakukan perhitungan untuk mencari persentase ukuran batuan dengan menggunakan persamaan Rossin Ramler (4).

$$X_c = \frac{x_m}{0,693^{1/n}} \quad (2)$$

$$n = [2,2 - \left(\frac{14B}{d}\right)] \times [1 - \left(\frac{W}{B}\right)] \times [1 - \left(\frac{1+s/B}{2}\right)] \times \left(\frac{PC}{H}\right) \quad (3)$$

$$R = e^{-\left(\frac{x}{X_c}\right)^n} \quad (4)$$

Adapun keterangan dari persamaan diatas adalah karakteristik ukuran (cm) (X_c), indeks keseragaman (n), standar deviasi (0.3) (w), persentase ukuran batuan (%) (R), dan konstanta eksponensial (e).

2.4.2 Metode Modifikasi C. V. B Cunningham (2005)

Metoda perhitungan Cunningham memiliki beberapa parameter yang telah dimodifikasi dari Kuz Ram. modifikasi C.V.B Cunningham perlu dilakukan untuk memprediksi fragmentasi hasil peledakan yang lebih

baik. Perhitungan faktor batuan (A) pada metode ini menggunakan persamaan (6)

$$RMD = (JCF \times JPS) + JPA \quad (5)$$

$$A = 0.06 (RMD + RDI + HF) \quad (6)$$

Setelah itu melakukan pertitungan X_m , Faktor *timing* (A_t), indeks keseragaman (n), dan persentase ukuran fragmentasi menggunakan persamaan yang berturut-turut yaitu (7), (8), (9), dan (14).

$$X_m = A \times A_t \times K^{-0,8} \times Q^{1/6} \times \left\{ \frac{115}{RWS} \right\}^{19/20} \times c(A) \quad (7)$$

Nilai K merupakan PF, c (A) adalah faktor koreksi. Faktor koreksi menggunakan *range* dari tabel *correction factor of joint strength* oleh E. Lopez Jimeno, dkk (1987 : 4)^[9] yang diambil dalam bukunya *Drilling and Blasting Of Rocks* seperti tabel 8. Nilai c(A) yaitu *soft* atau *weak* dengan nilai 0.8.

Tabel 2. Faktor Koreksi terhadap Batuan

<i>Joint Strenth</i>	<i>Correction Factor</i>
<i>Strong</i>	1
<i>Medium</i>	0.9
<i>Weak</i>	0.8
<i>Very Weak</i>	0.7

$$A_t = 0.9 + 0.1 \left(\frac{T}{T_{max}} - 1 \right), T_{max} = \left(\frac{15.6}{C_x} - B \right) \quad (8)$$

Nilai T atau rentang *delay* yang digunakan, C_x yaitu VOD bahan peledak (3400 m/s).

$$n = n_s \times \sqrt{2 - 30 \frac{B}{De}} \times \sqrt{\frac{1+s/B}{2}} \times \left(1 - \frac{W}{B} \right) \times \frac{PC^{0,3}}{H} \times c(n) \quad (9)$$

$$c(n) = \left(\frac{A}{6} \right)^{0,3} \quad (10)$$

Persamaan (11), α_1 yaitu standar deviasi terhadap *in hole delay*, dan α_2 yaitu standar deviasi terhadap *surface delay*, dan T_x yaitu *delay*.

$$n_s = 0.206 \left(1 - \frac{R_s}{4} \right)^{0,8} \quad (11)$$

$$R_s = 6 \times \frac{\alpha_1}{T_x}, \alpha_1 = \sqrt{2\alpha_1^2 + \alpha_2^2} \quad (12)$$

$$X_c = \frac{X_m}{0,693^{1/n}} \quad (13)$$

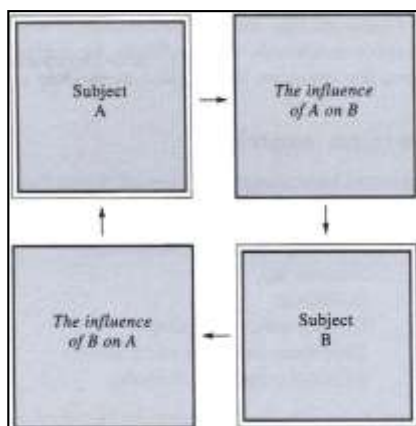
$$R = e^{-\left(\frac{x}{x_c}\right)^n} \quad (14)$$

2.4.3 Rock Engineering System (RES)

Pemodelan *Rock Engineering System* atau RES dikemukakan oleh Hudson pada tahun 1992. Menurut Hudson dalam Faramarzi [3], RES merupakan salah satu pemodelan yang dapat memberikan pembobotan parameter pada mekanika batuan. Model RES menggunakan pendekatan *analytic* atau analisis. Model ini bukan hanya didasari oleh asumsi dari parameter yang saling terkait, tetapi didasari oleh mempelajari permasalahan yang ada, membuat permasalahan tersebut menjadi lebih kecil kedalam beberapa parameter pokok lalu di analisis dan menaksir parameter tersebut menjadi model yang tepat dari desain oleh peneliti. Sehingga, model ini dapat mampu menganalisis proses dari suatu desain untuk menurunkan resiko dari desain atau model yang tidak tepat.

Prinsip utama dalam pemodelan RES adalah menggunakan interaksi matrix dari tiap parameter yang ada. Xia-Ting Feng [4] dalam bukunya *Rock Mechanics and Engineering Volume 3: Analysis, Modeling and Design* tahun 2017 (*Chapter 15 : 451*) menyatakan bahwa tujuan dari *Rock Engineering System* dapat menjadi sebagai tambahan methodology yang dapat membantu suatu desain menjadi lebih optimal, yang menimbulkan hubungan informasi dari parameter kunci sebuah proyek. Sehingga, model RES dapat menurunkan resiko yang akan terjadi.

Prinsip interaksi matrix ini dapat memberikan pembobotan pada setiap parameter yang dapat mempengaruhi variabel terikat, setiap parameter diletakkan pada diagonal matrix dan minimal memiliki 2 parameter yang mempengaruhi variabel terikat, dan parameter tersebut memberikan efek sebab akibat. Pada gambar 4 menunjukkan ada 2 faktor atau parameter yang disebut dengan subjek A dan subjek B.



Gambar 4. Interaksi Matrix [8]

Interaksi matrix apabila telah ditentukan parameter atau variabel utama yang berpengaruh dalam suatu

sistem, langkah selanjutnya adalah memberikan *code* atau kode kedalam *off-diagonal boxes* atau kotak hasil dari pengaruh yang terjadi oleh parameter utama tersebut, untuk memungkinkan atau membuat perhitungan model matematika di dalam sebuah matrix. Pemberian *code* dalam model RES biasanya menggunakan metode *Expert Semi-Quantitative* (ESQ) karena dapat ditentukan secara tepat, yang mana nilai antara 0 hingga 4 telah mewakili setiap interaksi, berdasarkan observasi yang dilakukan di lapangan (S. E. Hill dan M.S. Rosenbaum, 1998) [7].

Tabel 3. Nilai Metode ESQ [8].

Code	Deskripsi
0	Tidak ada interaksi
1	Interaksi lemah
2	Interaksi sedang
3	Interaksi kuat
4	Interaksi sangat kuat/ <i>critical</i>

Interaksi matrix dalam model ini nantinya akan menghasilkan angka-angka *code* yang telah diberikan dan terletak didalam *diagonal box*. Maka, akan terbentuk baris dan kolom. Total penjumlahan baris atau *row* disebut *Cause* (C) *Ordinate*, total penjumlahan dari *column* ini disebut dengan *Effect* (E) *Ordinate*, dan *co-ordinates* disebut jika *code* parameter 1 digabungkan dengan *code* parameter 2.

Setelah itu, akan dihitung nilai C+E yaitu nilai yang mewakili seberapa aktif suatu parameter dalam sebuah sistem matrix (nilai tertinggi). dan nilai C-E yaitu nilai yang mewakili seberapa dominan atau pengaruh parameter di dalam sistem. Jika nilai C-E hasilnya adalah positif hal itu menunjukkan parameter tersebut mempengaruhi sistem lebih besar dari pada sistem yang mempengaruhi parameter. Oleh karena itu, nilai tersebut merupakan parameter yang dominan. Dan apabila nilai C-E hasilnya adalah negatif maka hal itu mewakili sebuah *subordinate* parameter atau berarti sebuah sistem-lah yang memiliki pengaruh lebih besar terhadap parameter tersebut dibandingkan parameter yang mempengaruhi sistem. Dengan nilai tersebut dapat dilakukan pem-plotan nilai *co-ordinates*. Serta akan dilakukan perhitungan nilai persentase pembobotan (a_i) pada tiap parameter dengan menggunakan persamaan (15) dari Hudson (1992) dalam Naeim, dkk (2016) [5].

$$a_i = \frac{(C_i + E_i)}{(\sum_i C_i + \sum_i E_i)} \times 100 \quad (15)$$

2.3.4 Produktivitas Alat Gali Muat

Perhitungan *cycle time* pada penelitian ini menggunakan persamaan (16) yang bersumber dari Eugene P. Fleider 1972 dalam Nata 2019 [11].

$$C_{tm} = T_{ex} + T_{swl} + T_{du} + T_{swe} \quad (16)$$

Maksud dari C_{tm} (*Cycle Time* alat gali muat (detik)), T_{ex} (Waktu *excavating*) atau *digging* (detik)), T_{swl} (Waktu *swing loaded* (detik)), T_{du} (Waktu *dumping* (detik)), dan T_{swe} (Waktu *swing empty* (detik)). Dan,

untuk perhitungan *digging rate* dan produktivitas dilakukan dengan persamaan (17) dan (18).

$$\text{Digging Rate} = \text{Kapasitas Bucket (Bcm)} \times \frac{3600}{\text{Cm}} \quad (17)$$

Sumber : Rocman Hadi, 1992 dalam milia, 2018^[12].

$$Q = \text{Digging Rate} \times \text{PA} \times \text{UA} \quad (18)$$

Sumber : Ghadafi, 2012 dalam milia, 2018^[12].

2.4.5 Rancangan Geometri Peledakan Usulan

Rancangan geometri peledakan usulan menggunakan teori R.L. Ash dan C.J. Konya. Perbedaan dari kedua teori ini adalah, teori R.L Ash (1967) membuat pedoman perhitungan geometri peledakan jenjang berdasarkan pengalaman yang sudah diperoleh diberbagai tempat dengan pekerjaan dan batuan yang berbeda-beda (Sahrul, 2018)^[13]. Sedangkan, Teori C.J Konya (1991), menambahkan pertimbangan untuk membuat rancangan geometri peledakan dengan faktor koreksi terhadap posisi lapisan batuan, keadaan struktur geologi, serta koreksi terhadap jumlah lubang ledak yang diledakkan (Milia, 2018)^[12].

2.4.6 Analisis Statistik

Analisis statistik pada penelitian ini menggunakan analisis *bivariate* dan *multivariate* yang diolah menggunakan *software* SPSS. Analisis *bivariate* dilakukan dengan menggunakan analisis regresi sederhana dengan 3 uji coba analisis yaitu uji coba linear, eksponensial, dan polinomial (orde 2) yang akan menghasilkan nilai koefisien determinasi atau R^2 yang menunjukkan hubungan yang terjadi dari parameter yang ada.

Analisis *multivariate*, yang akan menghasilkan persentase variabel independen menjelaskan variabel dependen. Hasil dari analisis ini yaitu analisis korelasi, dan analisis regresi linear berganda berupa persamaan yang berguna untuk mengetahui pengaruh dari variabel independen terhadap variabel dependen. Persamaan tersebut akan dilakukan jika asumsi-asumsi untuk melihat kevalidan dari persamaan yang telah didapat.

Analisis tersebut dilakukan untuk melihat pengaruh antara variabel PF, deviasi kedalaman lubang, dan deviasi *steaming* terhadap fragmentasi peledakan ukuran *boulder*. Pengaruh antara variabel fragmentasi peledakan ukuran *boulder* terhadap *digging time* alat gali muat. Serta, pengaruh antara *digging time* terhadap produktivitas alat gali muat.

3. Metode Penelitian

3.1 Desain Penelitian

3.1.1 Jenis Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode penelitian kuantitatif. Menurut A. Muri Yusuf, 2005 "Penelitian tipe kuantitatif dapat digunakan apabila data yang

dikumpulkan berupa data kuantitatif atau jenis data lain yang dapat dikuantitaskan dan diolah menggunakan teknik statistik". Selain itu juga, penelitian ini termasuk penelitian terapan karena ditujukan untuk memberikan solusi atas permasalahan pada Pit Yarder.

3.1.2. Waktu penelitian

Kegiatan observasi lapangan dilaksanakan pada tanggal 1 - 7 Oktober 2019 dan kemudian dilanjutkan kegiatan pengambilan data yang dilakukan mulai tanggal 8 Oktober sampai 5 Desember 2019.

3.1.3 Lokasi Penelitian

Kegiatan penelitian dilaksanakan di PT Kalimantan Prima Persada, *Jobsite* BDMA, yang terletak di Provinsi Kalimantan Utara, Kabupaten Malinau, Kecamatan Malinau Selatan, Desa Labannyarit. Pengambilan data penelitian dilakukan pada Pit Yarder PT KPP BDMA.

3.2 Jenis Dan Sumber Data Penelitian

Data yang dibutuhkan dalam penelitian ini dikelompokkan atas dua jenis data, yaitu data primer dan data sekunder. Data primer pada penelitian ini merupakan data hasil observasi dan pengujian laboratorium, yaitu geometri lereng aktual, sampel batuan untuk uji sifat fisik dan mekanik batuan, serta pengukuran kondisi diskontinuitas lereng di lapangan. Sedangkan data sekunder bersumber dari laporan penelitian terdahulu dari perusahaan, brosur perusahaan, dari data instansi yang terkait dan juga dari literatur-literatur, seperti data litologi, peta topografi, peta geologi dan data curah hujan.

3.3 Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data dalam penyusunan penelitian ini yaitu dengan mengumpulkan dan menggabungkan berbagai data yang mendukung untuk pengembangan penelitian ini. Pengambilan data dilakukan dengan melakukan pengamatan secara langsung sesuai dengan literatur yang ada.

3.4. Teknik Analisis Data

Tahapan analisis data, dilakukan dengan cara menganalisis dengan melakukan perhitungan serta pengambilan keputusan.

1. Melakukan pengolahan data pengukuran fragmentasi aktual.
2. Melakukan analisis perhitungan dan membandingkan distribusi fragmentasi X80 antara Kuz Ram C.V.B Cunningham dengan RES.
3. Melakukan perhitungan evaluasi model dengan nilai koefisien determinasi (R^2) yaitu $0,3 < R^2 \leq 1$ dan *Root Mean Square Error* (RMSE) yaitu < 30 cm.
4. Pengolahan analisis statistik
5. Estimasi model optimum dan rancangan usulan geometri peledakan untuk mendapatkan target produktivitas alat gali muat dengan menggunakan teori R.L Ash dan C.J Konya.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Lokasi Pengambilan Data

Penelitian ini membagi lokasi pengambilan data dalam Pit Yarder dengan 2 area seperti pada gambar 5. Karena, terdapat perbedaan struktur geologi dalam Pit Yarder. Sehingga, akan berpengaruh terhadap fragmentasi dan penentuan usulan geometri peledakan. Warna abu-abu untuk area 1, dan warna merah muda untuk area 2.



Gambar 5. Pembagian Area pad Pit Yarder

4.2 Prediksi Fragmentasi

4.2.1 Metode Kuz Ram

Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan, maka didapatkanlah hasil perhitungan dari metode Kuz Ram pada kedua area seperti pada tabel 4 dan tabel 5.

Tabel 4. Perhitungan Metode Kuz Ram Area 1

No	Tanggal (2019)	Pit/Blok	Xm	Xc	Fragmentasi (%)		80 % (\leq . cm)
					≥ 60 cm	≥ 100 cm	
1	12 Okt	Yarder/	98.54	175.73	60.29	49.68	≤ 372.35
2	16 Okt	Yarder/39	97.37	132.87	67.61	48.91	≤ 198.9
3	23 Okt	Yarder/37	98.78	170.23	60.94	49.72	≤ 345
4	24 Okt	Yarder/	95.62	172.66	59.52	49.04	≤ 371.76
5	1-Nov	Yarder/	96.68	168.44	60.31	49.23	≤ 346.25
6		Yarder/	98.61	195.66	58.79	49.75	≤ 475.96
7	2-Nov	Yarder/	96.39	173.00	59.76	49.21	≤ 369.57
8	3-Nov	Yarder/39	105.55	205.11	60.21	51.04	≤ 485.68
9	4-Nov	Yarder/26	100.26	173.15	61.20	50.07	≤ 351.91
10	8-Nov	Yarder/40	108.40	171.25	64.97	52.23	≤ 310.03
11	11-Nov	Yarder/36	103.90	161.38	64.49	51.11	≤ 285.76
Rata-rata			100.01	172.68	61.64	50.00	355.74

Tabel 5. Perhitungan Metode Kuz Ram Area 2

No	Tanggal (2019)	Pit/Blok	Xm	Xc	Fragmentasi (%)		80 % (\leq . cm)
					≥ 60 cm	≥ 100 cm	
1	10-Okt	Yarder-40	57.64	114.14	49.26	39.40	≤ 277
2	11-Okt	Yarder-40	57.91	94.25	49.08	35.15	≤ 177.31
3	13-Okt	Yarder-	57.29	102.97	49.00	37.46	≤ 220.33
4	14-Okt	Yarder-	55.21	100.71	48.24	36.95	≤ 219.65
5	17-Okt	Yarder-39	57.69	108.43	49.21	38.52	≤ 245.9
6		Yarder-39	61.97	113.72	50.68	39.64	≤ 250
7	Yarder-39	58.08	103.48	49.29	37.59	≤ 218.92	
8	18-Okt	Yarder-41	60.03	99.54	50.02	36.67	≤ 191.89
9	Yarder-40	60.35	110.07	50.13	38.94	≤ 240.15	
10	19-Okt	Yarder-40	53.36	88.04	46.99	33.36	≤ 168.63
11	Yarder-40	56.60	96.04	48.60	35.76	≤ 190.72	
12	20-Okt	Yarder-41	59.58	127.58	49.89	41.09	≤ 342.81
13	Yarder-40	56.97	92.25	48.63	34.53	≤ 172.42	
14	21-Okt	Yarder-40	56.90	107.50	48.94	38.32	≤ 245.42
15	Yarder-39	61.34	128.09	50.39	41.31	≤ 332.96	
16	22-Okt	Yarder-40	58.81	118.60	49.65	40.07	≤ 294.76
17	23-Okt	Yarder-39	55.81	113.12	48.70	39.14	≤ 282.95
18	31-Okt	Yarder-41	60.55	111.48	50.20	39.19	≤ 246.19
19	03-Nov	Yarder-37	55.02	95.89	48.01	35.77	≤ 197.16
Rata-rata			57.95	106.63	49.21	37.83	237.64

Tabel 4 dan tabel 5, terlihat bahwa masih ada fragmentasi batuan yang berukuran ≥ 60 cm sebesar 61.64 % dan *boulder* ≥ 100 cm yaitu 50.00 % pada area 1, dan 49.21 % ukuran ≥ 60 cm serta 37.83 % ukuran ≥ 100 cm pada area 2. Serta, persentase 80 % pada kedua area memiliki ukuran rata-rata dikategorikan *boulder*.

4.2.2 Metode Modifikasi C.V.B Cunningham (2005)

Metode modifikasi Cunningham menghasilkan perhitungan fragmentasi yang berbeda dari Kuz Ram. Hal itu dapat dilihat pada tabel 6 dan tabel 7. Yang mana, pada metode ini menghasilkan fragmentasi sesuai dengan *delay* yang digunakan.

Tabel 6. Perhitungan Metode Cunningham Area 1

Tanggal	27		42		60		80		100	
	2005	2008	2005	2008	2005	2008	2005	2008	2005	2008
12 Okt	48.00	58.07	204.00	204.00	91.52	21.20	208.78			
16 Okt	47.80	57.80	198.70		93.09	30.31	223.97			
23 Okt										
24 Okt										
1-Nov										
2-Nov										
3-Nov										
4-Nov										
8-Nov										
11-Nov										
Rata-rata	47.70	58.03	277.00		93.47	47.40	208.07			

Tabel 7. Perhitungan Metode Cunningham Area 2

Tanggal	27		42		60		80		100	
	2005	2008	2005	2008	2005	2008	2005	2008	2005	2008
10 Okt	48.00	58.07	204.00	204.00	91.52	21.20	208.78			
11 Okt	47.80	57.80	198.70		93.09	30.31	223.97			
13 Okt										
14 Okt										
17 Okt										
18 Okt										
19 Okt										
20 Okt										
21 Okt										
22 Okt										
23 Okt										
31 Okt										
Rata-rata	47.70	58.03	277.00		93.47	47.40	208.07			

Metode Cunningham memperlihatkan bahwa semakin besar waktu *delay* maka pukuran fragmentasi batuan akan semakin besar. Area 1 menghasilkan persentase ukuran *boulder* dengan rata-rata dari 37.89 % hingga 43.98 %. Sedangkan area 2 berkisar dari nilai 34.45 % hingga 40.30 %. Dan, 80 % fragmentasi batuan pada kedua area menunjukkan ukuran kategori *boulder*.

4.2.3 Rock Engineering System (RES)

Artikel Faramarzi^[3], memperkenalkan model dasar dari RES yang diaplikasikan untuk mengevaluasi resiko fragmentasi (fragmentasi yang buruk) dan atau *boulder*, memprediksi fragmentasi batuan di peledakan jenjang berdasarkan parameter yang dipertimbangkan. prinsip dari *Rock Engineering System* yang digunakan dalam metodologi penentuan *Vulnerability Index* (VI). Tahun 2004 Bernados dan Kaliampakos pertama kali memperkenalkan prinsip dari model RES yang digunakan sebagai konsep metodologi penentuan *Vulnerability Index* (VI), di mana nilai VI tersebut digunakan untuk mencari dan menentukan bidang lemah pada saat penggunaan *tunnel machine boring* (TBM), dari model tersebut dianalisa dan dikembangkan untuk memprediksi fragmentasi peledakan, dimana model ini digunakan untuk menentukan fragmentasi peledakan pada X_{80} atau

ukuran fragmentasi persentase 80% lolos ayakan oleh Faramarzi, H. Mansouri, dan Ebrahimi Farsangi pada tahun 2013.

Oleh karena itu, ada 3 langkah yang digunakan dalam prediksi resiko fragmentasi menggunakan model RES^[3]. Pertama, mengidentifikasi parameter-parameter yang berhubungan dengan fragmentasi batuan seperti pada tabel 8. Kedua, menganalisa pengaruh yang terjadi antara kedua parameter terhadap fragmentasi dan memberikan *code*. Hasil dari metode ESQ pada tabel 11. Ketiga, yaitu menentukan nilai *Vulnerability Index* (VI) dengan persamaan (19)^[6].

$$VI = 100 - \sum_{i=1} a_i \frac{Q_i}{Q_{max}} \quad (19)$$

Nilai Q_i merupakan nilai *rating* (seperti tabel 10) dari setiap parameter ke- i , dan Q_{max} berdasarkan persamaan (20).

$$Q_{max} = \max \text{rat. } 1 + \max \text{rat. } P_2 + \dots + \max \text{rat. } P_n \quad (20)$$

Nilai $\max \text{rat. } 1$ merupakan nilai *maximum rating* parameter ke-1. dan *maximum rating* P_n merupakan nilai *maximum rating* parameter ke- n .

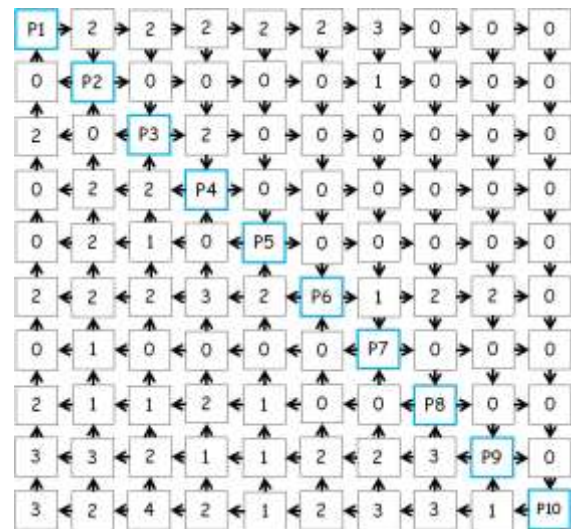
Tabel 8. Parameter Pemodelan RES

P ₁	Burden (B)	P ₆	Stiffness Ratio (L/B)
P ₂	Jumlah pengisian handak per lubang	P ₇	Waktu Delay
P ₃	Powder Factor (PF)	P ₈	Dev. kedalaman lubang ledak
P ₄	Spasi/Burden Ratio (S/B)	P ₉	Diameter lubang ledak (D)
P ₅	Steaming/Burden Ratio (T/B)	P ₁₀	Blastibility Index (BI)

Tabel 9. Klaisfikasi Nilai VI

Risk Description	Low - Medium	Medium - High	High - Very High
Category	I	II	III
VI	0 - 33	33 - 66	66 - 100

Berdasarkan nilai VI dari persamaan (19). maka, akan dihubungkan kedalam tabel klasifikasi VI (tabel 9) yang bersumber dari Bernardos dan Kaliampakos tahun 2004 dalam Faramarzi^[3]. Pada kategori I, terdapat skala dengan nilai VI yang kecil yang berarti hal itu tidak secara signifikan mempengaruhi hasil atau aktifitas selanjutnya dari fragmentasi yang buruk. Kategori II, berarti masalah dari fragmentasi yang buruk tidak begitu berpengaruh atau sedikit berpengaruh terhadap aktifitas selanjutnya, namun harus dilakukan evaluasi dan diperbaiki. Sedangkan, kategori III berarti ada beberapa lokasi dengan fragmentasi buruk, yang mana dapat menyebabkan beberapa kesulitan selama *loading* atau *hauling* yang harus segera dipertimbangkan.



Gambar 6. Diagonal Boxes Interaksi Matrix

Tabel 10. Nilai dan Rating Parameter^[3]

Kode	Parameter Nama	Nilai dan rating					
		Nilai	<3	3 s.d 5	5 s.d 7	7 s.d 9	>9
P1	Burden (B) (m)	Rating	4	3	2	1	0
		Nilai	<500	500 s.d 1000	1000 s.d 2000	2000 s.d 3000	3000 s.d 4500
P2	Jumlah isian handak per lubang (kg)	Rating	5	4	3	2	1
		Nilai	<125	125 s.d 150	150 s.d 175	175 s.d 210	210 s.d 300
P3	Powder Factor (PF) (g/ton)	Rating	0	1	2	3	4
		Nilai	<1	1 s.d 2	2 s.d 3	3 s.d 4	
P4	Spasi/Burden ratio (S/B)	Rating	0	3	2	1	0
		Nilai	<0,7	0,7 s.d 0,9	0,9 s.d 1,2	1,2 s.d 1,4	
P5	Steaming/Burden ratio (T/B)	Rating	0	2	4	3	1
		Nilai	<1	1 s.d 2	2 s.d 3	3 s.d 4	
P6	Stiffness Ratio (L/B)	Rating	0	1	2	3	4
		Nilai	<20	20 s.d 50	50 s.d 70	70 s.d 100	100 s.d 200
P7	Waktu delay (ms)	Rating	0	1	3	4	2
		Nilai	0	0 s.d 5	5 s.d 10	10 s.d 15	
P8	Deviasi kedalaman lubang ledak (%)	Rating	4	3	2	1	0
		Nilai	<100	100 s.d 150	150 s.d 200	200 s.d 250	250 s.d 300
P9	Diameter lubang ledak (mm)	Rating	4	3	2	1	0
		Nilai	0 s.d 20	21 s.d 40	41 s.d 60	61 s.d 80	
P10	Blastibility Index (BI)	Rating	4	3	2	1	0

Hasil dari peng-code-an pada gambar 6 dilakukan perhitungan pembobotan nilai seperti pada tabel 12 dan hasil plot c-o ordinate seperti gambar 7.

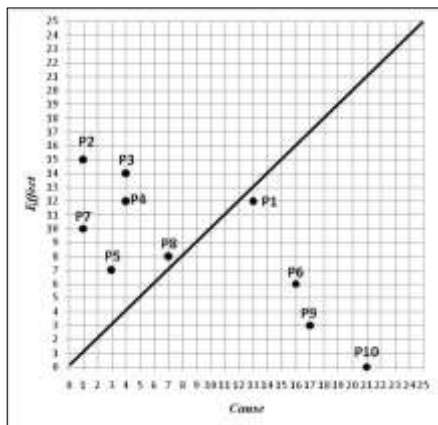
Tabel 11. Penjumlahan Baris (E) dan Kolom (C)

Keterangan	Kolom (Cause)										C ordinate
Baris (Effect)	P1	2	2	2	2	2	3	0	0	0	13
	0	P2	0	0	0	0	1	0	0	0	1
	2	0	P3	2	0	0	0	0	0	0	4
	0	2	2	P4	0	0	0	0	0	0	4
	0	2	1	0	P5	0	0	0	0	0	3
	2	2	2	3	2	P6	1	2	2	0	16
	0	1	0	0	0	0	P7	0	0	0	1
	2	1	1	2	1	0	0	P8	0	0	7
	3	3	2	1	1	2	2	3	P9	0	17
	3	2	4	2	1	2	3	3	1	P10	21
E ordinate	12	15	14	12	7	6	10	8	3	0	

Tabel 12. Daftar C-E co-ordinates dan pembobotan

Parameter		C	E	C+E	ai (%)
Kode	Nama				
P1	Burden (B)	13	12	25	14,4
P2	Jumlah isian handak per lubang	1	15	16	9,2
P3	Powder Factor (PF)	4	14	18	10,3
P4	Spasi/Burden ratio (S/B)	4	12	16	9,2
P5	Steaming/Burden ratio (T/B)	3	7	10	5,7
P6	Stiffness Ratio (L/B)	16	6	22	12,6
P7	Waktu delay	1	10	11	6,3
P8	Deviasi kedalaman lubang ledak	7	8	15	8,6
P9	Diameter lubang ledak	17	3	20	11,5
P10	Blastibility Index (BI)	21	0	21	12,1
Jumlah (Σ)		87	87	174	100

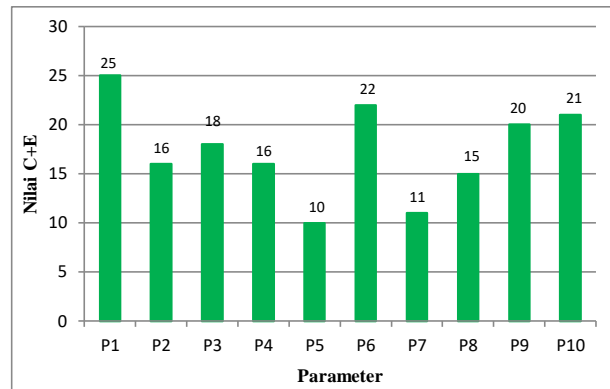
Tabel 12 menunjukkan bahwa parameter *burden* merupakan parameter yang aktif dalam mempengaruhi sistem dengan jumlah 25. Hasil pengurangan yang memiliki nilai positif seperti *burden*, *stiffness ratio*, diameter lubang ledak, dan nilai *blastibility index* menunjukkan bahwa parameter tersebut lebih dominan dalam mempengaruhi ukuran fragmentasi batuan. Parameter lain yang memiliki hasil pengurangan bernilai negatif lainnya seperti jumlah isian bahan peledak per lubang, PF, S/B ratio, T/B ratio, waktu delay, dan deviasi kedalaman lubang ledak, menunjukkan sebuah nilai *subordinate* parameter atau sistem memiliki peran yang dominan lebih besar dalam mempengaruhi parameter tersebut.



Gambar 7. Cause-Effect Plot (c-e ordinate)

Berdasarkan gambar 7, bahwa parameter yang dipilih termasuk parameter *subordinate* atau *Effect* > *Cause* maka hasil plot akan berada lebih banyak di sebelah kiri garis C=E atau garis diagonal. Dan parameter yang dominan atau *Cause* > *Effect* maka hasil plot berada disebelah kanan. Gambar 106 juga memperlihatkan bahwa jika nilai C+E semakin besar, maka titik akan semakin dekat pada garis C=E. Seperti P1 dan P8 yang memiliki nilai adalah 25 dan 15.

Oleh karena itu, gambar 7 dapat disimpulkan bahwa parameter yang memiliki interaksi yang sangat kuat dalam mempengaruhi persentase fragmentasi batuan ukuran *boulder* adalah *burden*. Lalu parameter L/B ratio, diameter lubang ledak, dan nilai BI berturut-turut sedikit menguasai atau mendominasi atau mempengaruhi sebuah sistem (karena berada disebelah kanan). Sedangkan, jumlah isian bahan peledak per lubang, PF, S/B ratio, T/B ratio, waktu delay, dan deviasi kedalaman lubang ledak merupakan parameter yang dipengaruhi oleh sistem (karena berada sedikit dekat garis C=E disebelah kiri).



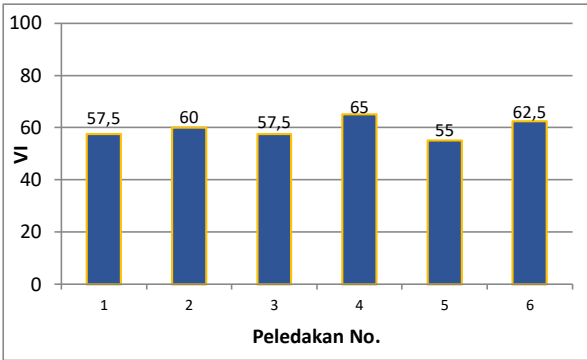
Gambar 7. Kaeaktifan Parameter (C+E)

Evaluasi menggunakan metoda RES dari 30 kali pengambilan data pada penelitian ini, sebanyak 20 kali kegiatan peledakan akan dilakukan untuk melakukan perhitungan nilai VI, sedangkan untuk peledakan lainnya yaitu 5 kali peledakan pada area 1 dan 5 kali peledakan pada area 2 yang pada hal ini sebagai pengukuran aktual menggunakan *split desktop* yang penulis bandingkan dengan metoda prediksi fragmentasi model RES, Kuz Ram, dan C.V.B Cunningham (2005) untuk mengevaluasi metode yang manakah yang terbaik dalam memprediksi persentase fragmentasi batuan ukuran *boulder* untuk X80.

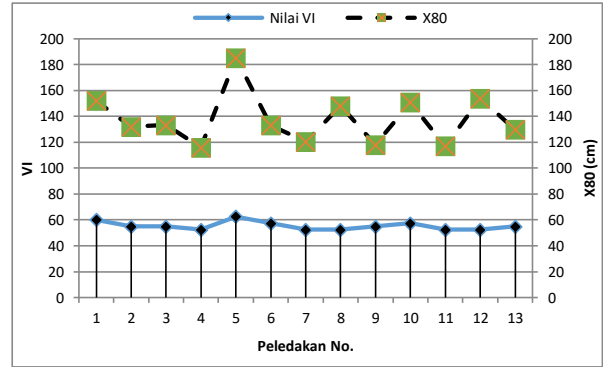
Tabel 13 menunjukkan contoh perhitungan nilai VI untuk peledakan ke-1 pada area 2 menggunakan persamaan (19). Gambar 8 dan gambar 9 memperlihatkan nilai VI tertinggi pada area 1 berkisar nilai 55 hingga 65, area 2 nilai VI berkisar 52,5 dan hingga 62,5 . Artinya, kedua area termasuk kedalam kategori II dengan deskripsi resiko fragmentasi dalam level *medium – high* atau terjadi masalah fragmentasi buruk dan akan berpengaruh pada aktifitas. Gambar 10 dan gambar 11 memperlihatkan bagaimana pergerakan nilai perbandingan antara nilai VI dengan pengukuran persentase 80 % dalam kondisi aktual oleh *software split desktop*. Pada gambar terlihat hubungan korelasi yang cukup bagus.

Tabel 13. Nilai Parameter dan VI Peledakan ke-1 Area 2

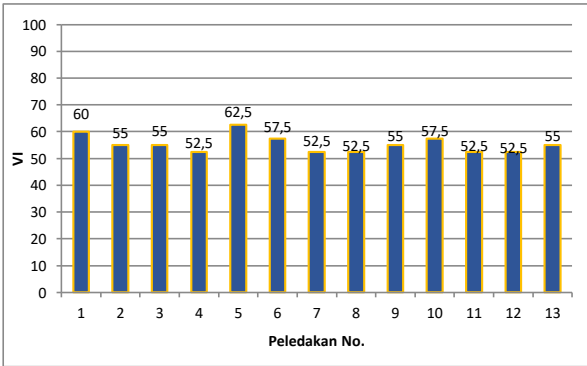
Parameter	P1 (m)	P2 (kg)	P3 (g/ton)	P4	P5	P6	P7 (ms)	P8 (%)	P9 (mm)	P10	Jumlah
Nilai	8	63,77	132,19	1,125	0,413	0,962	67	17,75	200	43	
Rating(Qi)	1	5	1	3	0	0	3	0	1	2	16
Pembobotan (ai (%))	14,4	9,2	10,3	9,2	5,7	12,6	6,3	8,6	11,5	12,1	100,0
Maximum rating (Q max)	4	5	4	3	4	4	4	4	4	4	40
VI	60										



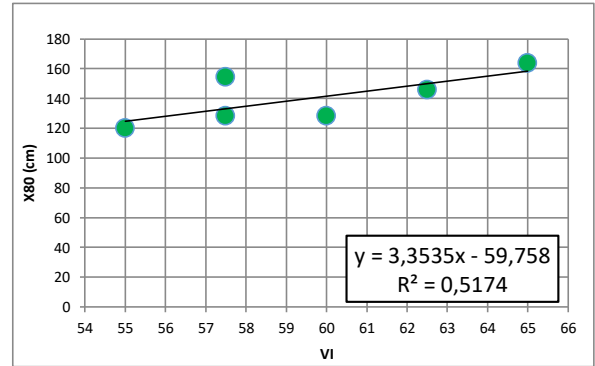
Gambar 8. Nilai VI Area 1



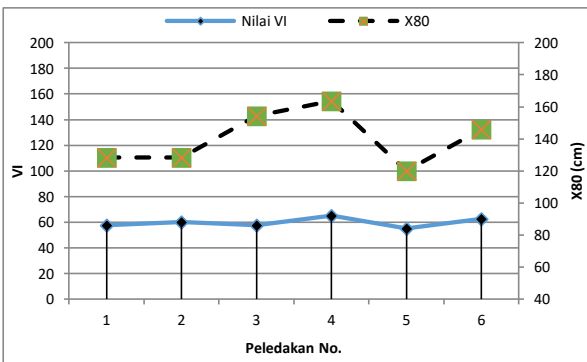
Gambar 11. Nilai VI dan Pengukuran X80 Area 2



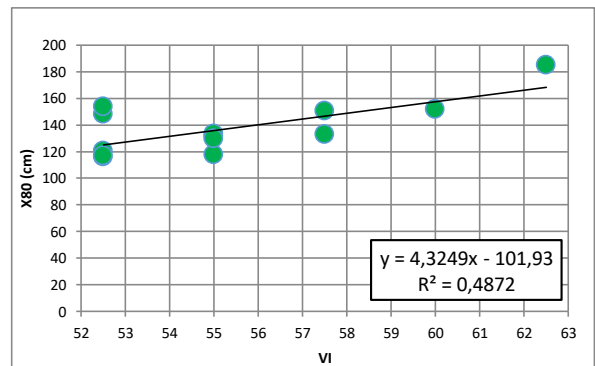
Gambar 9. Nilai VI Area 2



Gambar 12. Regresi Linear Peledakan 1 – 6 Area 1



Gambar 10. Nilai VI dan Pengukuran X80 Area 1



Gambar 13. Regresi Linear Peledakan 1 – 13 Area 2

Persamaan linear dicari dengan menggunakan bantuan perangkat lunak *software microsoft excel*. Hal itu menghasilkan nilai hubungan determinasi atau R^2 dan suatu persamaan yang akan dijadikan sebagai persamaan untuk mencari nilai ukuran fragmentasi dengan persentase 80 % berdasarkan model RES. Area 1 dan area 2 menghasilkan persamaan (21) dan (22).

$$X80 \text{ (cm)} = 3.353(VI) - 59.75 \quad (21)$$

$$X80 \text{ (cm)} = 4.324(VI) - 101.9 \quad (22)$$

Maka akan didapatkan hasil perhitungan seperti pada tabel 14 dan tabel 15.

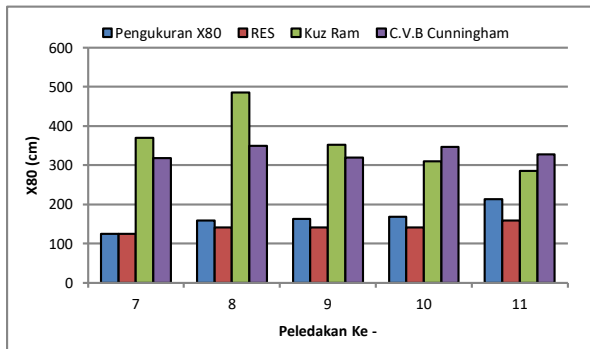
Tabel 14. Prediksi X80 model RES area 1

No. Peledakan	VI	Regresi Linear	X80 (cm)
7	55	X80 (cm) = 3,353(VI)- 59,75	124,665
8	60		141,43
9	60		141,43
10	60		141,43
11	65		158,195
Rata-rata			141,43

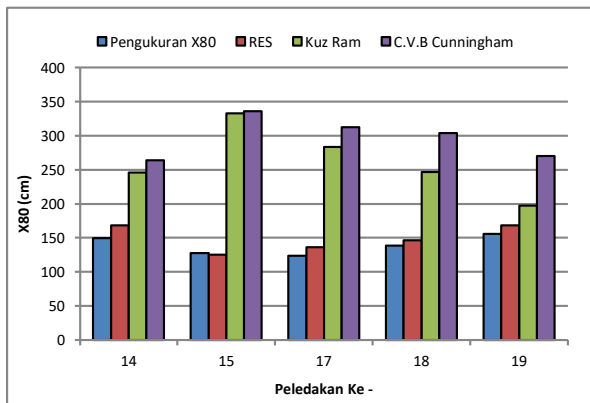
Tabel 15. Prediksi X80 model RES area 2

No. Peledakan	VI	Regresi Linear	X80 (cm)
14	62,5	X80 (cm) = 4,324(VI)-101,9	168,35
15	52,5		125,11
17	55		135,92
18	57,5		146,73
19	62,5		168,35
Rata-rata			148,892

Rata-rata ukuran prediksi fragmentasi dengan persentase 80 % menggunakan metoda RES menunjukkan ukuran *boulder* yaitu ukuran 141.43 cm pada area 1 dan 148.89 cm pada area 2. Hal ini menunjukkan bahwa persentase ukuran fragmentasi berukuran *boulder* terjadi pada tiap kali kegiatan peledakan.

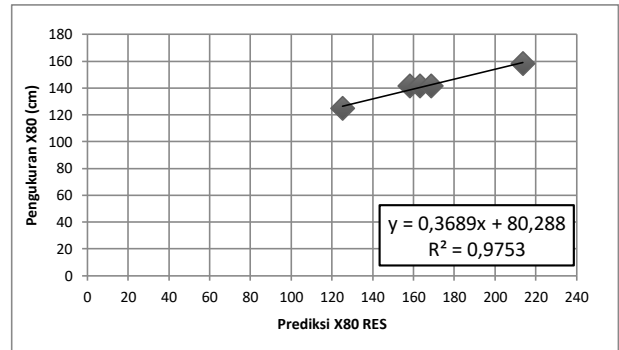


Gambar 14. X80 aktual dan prediksi Area 1

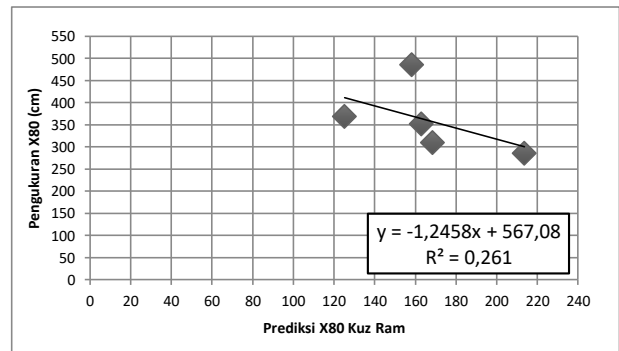


Gambar 15. X80 aktual dan prediksi Area 2

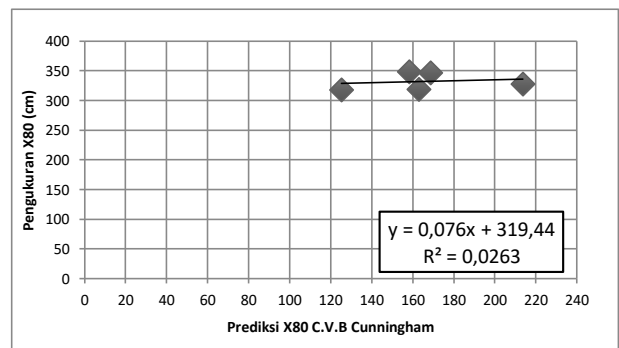
Gambar 14 dan 15, terlihat bahwa metoda yang memiliki selisih perbedaan dengan pengukuran aktual oleh *software split desktop* X80 adalah model RES. Selanjutnya akan dilakukan evaluasi terhadap ketiga metode atau model prediksi. Pertama, melihat koefisien determinasi (R^2). Hubungan antara pengukuran dan prediksi X80 terhadap ketiga metoda menghasilkan nilai koefisien korelasi (R^2) sangat kuat yaitu pada model RES di kedua area dengan nilai R^2 yaitu 0.975 dan 0.888 (gambar 16 dan gambar 19).



Gambar 16. Pengukuran dan prediksi X80 RES Area 1



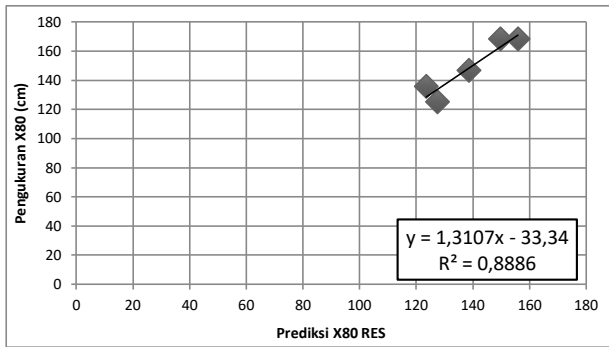
Gambar 17. Pengukuran dan prediksi X80 Kuz Ram Area 1



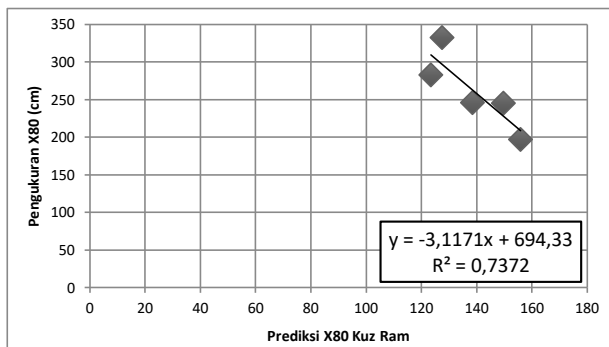
Gambar 18. Pengukuran dan prediksi X80 Cunningham Area 1

Selanjutnya akan dilakukan evaluasi dengan melihat nilai RMSE menggunakan persamaan (23)^[3]. Perbandingan hasil dari nilai R^2 dan RMSE dapat dilihat pada tabel 16 dan 17.

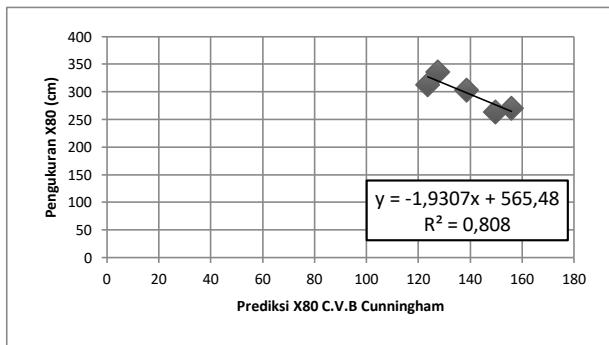
$$RMSE(x) = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_{imeas} - x_{ipred})^2} \quad (23)$$



Gambar 19. Pengukuran dan prediksi X80 RES Area 2



Gambar 20. Pengukuran dan prediksi X80 Kuz Ram Area 2



Gambar 21. Pengukuran dan prediksi X80 Cunningham Area 2

Tabel 16. Hasil Analisis Area 1

Model Prediksi	R ²	RMSE	Jumlah Peledakan
RES	0.97	24.314	5
Kuz Ram	0.26	194.846	5
Cunningham	0.02	166.296	5

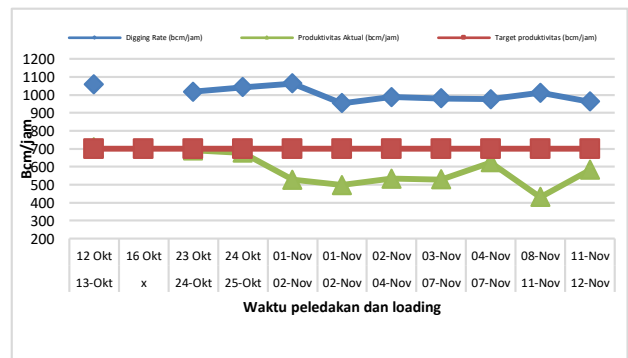
Tabel 17. Hasil Analisis Area 2

Model Prediksi	R ²	RMSE	Jumlah Peledakan
RES	0.88	10.782	5
Kuz Ram	0.73	121.898	5
Cunningham	0.80	158.002	5

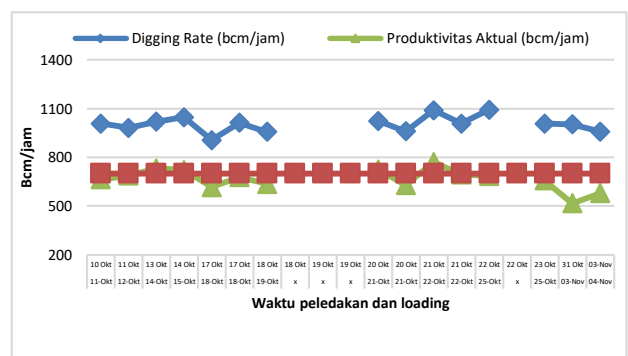
Hasil perhitungan analisis yang telah dilakukan pada area 1 menunjukkan bahwa model prediksi RES memiliki R² sangat kuat yaitu 0.97 dan nilai RMSE yang rendah 24.314 dibandingkan dengan metoda yang lainnya. Pada area 2 menunjukkan hal yang sama dengan nilai R² yang kuat yaitu 0.88 untuk metoda RES. Serta, nilai RMSE yang rendah yaitu 10.782.

4.3 Produktivitas Alat

Berdasarkan persamaan (18), maka didapatkanlah hasil produktivitas seperti pada gambar 22 dan 23.



Gambar 22. Digging Rate dan Prod. Area 1



Gambar 23. Digging Rate dan Prod. Area 2

Produktivitas alat dengan target 700 bcm/jam, maka pada area 1 memiliki rata-rata produktivitas yaitu 580.30 bcm/jam dan area 2 yaitu 666.25 bcm/jam. Sedangkan, dari nilai produktivitas per masing-masing peledakan pada area 1 terlihat peledakan no. 1 saja yang mencapai target produktivitas. Sedangkan pada area 2, yang mencapai target produktivitas yaitu pada peledakan no. 3, 4, 11, dan 13.

4.4 Analisis Statistik

Setelah dianalisis *bivariate*, dan menunjukkan kriteria yang dapat dimasukkan kedalam tahapan analisis *multivariate* untuk mendapatkan persamaan regresi linear berganda. Maka didapatkan lah hasil analisisnya.

4.4.1 Variabel PF, Dev. Lubang, Dev. Steaming terhadap Fragmentasi Boulder

Tabel 18. Hasil Analisis Linear Berganda Area 1

No	Keterangan	Nilai
1	Nilai R (Koefisien Korelasi)	0,941
2	Nilai R Square	0,885
3	Uji Hipotesis pvalue (< 0.05)	0,001

Tabel 19. Hasil Analisis Linear Berganda Area 2

No	Keterangan	Nilai
1	Nilai R (Koefisien Korelasi)	0,670
2	Nilai R Square	0,449
3	Uji Hipotesis pvalue (< 0.05)	0,035

4.4.2 Variabel Fragmentasi Boulder terhadap Digging Time

Tabel 20. Hasil Analisis Linear Berganda Area 1

No	Keterangan	Nilai
1	Nilai R (Koefisien Korelasi)	0.769
2	Nilai R Square	0.592
3	Uji Hipotesis pvalue (< 0.05)	0.009

Tabel 21. Hasil Analisis Linear Berganda Area 2

No	Keterangan	Nilai
1	Nilai R (Koefisien Korelasi)	0.831
2	Nilai R Square	0.691
3	Uji Hipotesis pvalue (< 0.05)	0.000

4.4.3 Variabel Digging Time terhadap Produktivitas

Tabel 22. Hasil Analisis Linear Berganda Area 1

No	Keterangan	Nilai
1	Nilai R (Koefisien Korelasi)	0,711
2	Nilai R Square	0,505
3	Uji Hipotesis pvalue (< 0.05)	0,021

Tabel 23. Hasil Analisis Linear Berganda Area 2

No	Keterangan	Nilai
1	Nilai R (Koefisien Korelasi)	0,627
2	Nilai R Square	0,393
3	Uji Hipotesis pvalue (< 0.05)	0,012

Tabel 25. Usulan Geometri Area 1

Geometri	Aktual	Area 1					Area 2				
		RL Ash				C.J Konya	RL Ash				C.J Konya
		H 8.3	H 8.8	H 8.3	H 8.8		H 8.3	H 8.8	H 8.3	H 8.8	
D (mm)	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
Burden (m)	8	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.1
Spasi (m)	9	8.3	8.8	8.3	8.8	8.3	8.3	8.8	5.5	6.6	5.4
Steaming (m)	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9	3.6
Depth Hole (m)	7.4	8.3	8.8	8.3	8.8	8.3	8.3	8.8	6.3	6.8	8.3
PC (m)	2.8	3.33	3.7	3.33	3.7	3.33	3.33	3.7	1.83	2.2	3.6
Tinggi Jenjang (m)	7.29	6.9	7.4	6.9	7.4	6.9	7.2	7.7	5.2	5.7	7.3
Tot Handak/lbg (kg/m)	71.4	83.65	93.07	83.65	93.07	83.65	83.65	93.07	45.96	55.38	89.7
Volume Batuan (m3)	533.8	378.76	428.35	378.76	428.35	378.76	378.76	428.35	191.66	248.25	226.46
PF (kg/m3)	0.13	0.22	0.21	0.22	0.21	0.22	0.22	0.21	0.24	0.22	0.39
Gas bag (m)	1	1.1	1.2	1.1	1.2	1.1	1.1	1.2	0.6	0.7	1.2
Rata Fragmentasi X80 (cm) (%) Aktual	151.73	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Rata Fragmentasi X80 (cm) Kuz Ram	355.74	134.85	133.95	134.85	133.95	134.85	81.62	80.82	96.44	91.79	52.95
Rata Fragmentasi ≥ 100 cm (%) Cunningham 42 ms	229.61	108.78	108.58	108.78	108.58	108.78	95.68	95.18	103.65	102.31	78.69
Rata Fragmentasi X80 (cm) RES	141.43	99.52	99.52	99.52	99.52	99.52	92.68	92.68	103.49	92.68	92.68
Delay (Control)(ms)	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42
Delay (Wings)(ms)	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25

4.5 Estimasi Model Optimum

Hal ini perlu dilakukan untuk mencapai target produktivitas. Estimasi penulis gunakan uji *trial and error* dengan melihat target produktivitas, fragmentasi *boulder* ($\leq 20\%$), dan menggunakan *digging time* optimum (yang dapat dilakukan oleh alat, berdasarkan pengamatan). Sehingga didapatkanlah persamaan regresi linear berganda (24 dan 25) untuk estimasi model optimum. Dengan hasil seperti pada tabel 24.

$$Y = 9,001 (X1) - 93,309 (X2) + 1445,186 (\text{Area 1}) \quad (24)$$

$$Y = -1,758 (X1) - 27,674 (X2) + 1102,209 (\text{Area 2}) \quad (25)$$

Tabel 24. Hasil Model Estimasi Optimum

Area	Frag. ≥ 100 cm	Digging Time (s) Optimum	Prod. model (bcm/jam)
	1	20	9.9
2	20	13.2	701.75

4.6 Geometri Peledakan Aktual, Usulan dan Prediksi Fragmentasi

Setelah dilakukan perhitungan geometri peledakan usulan menggunakan teori R.L Ahs da, C.J Konya, maka dilakukan prediksi fragmentasi X80 pada tiap usulan dengan menggunakan metoda yang paling baik berdasarkan pembahasan sebelumnya yaitu model RES. Namun, penulis akan melihat juga hasil dari metoda yang lain agar dapat menjadi pembanding. Maka, didapatkanlah kesimpulan usulan geometri seperti pada tabel 25. Usulan tersebut berdasarkan pertimbangan penulis, karena melihat struktur yang berbeda-beda dan hasil pengamatan pada tiap kali kegiatan peledakan.

5. Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

1. PT Kalimantan Prima Persada BDMA melakukan kegiatan penambangan metoda *open pit mining*.

2. Prediksi fragmentasi :

- a. Prediksi fragmentasi menggunakan metoda Kuz Ram dan Cunningham menghasilkan fragmentasi *boulder* $> 20\%$.
- b. Prediksi fragmentasi X80 antara model RES, Kuz Ram, dan Cunningham menunjukkan bahwa model RES memiliki nilai koefisien korelasi (R^2) yang sangat kuat dan RMSE kecil pada kedua area.

3. Analisis produktivitas menghasilkan pada area 1 memiliki rata-rata nilai *digging rate* sebesar 1005.67 bcm/jam dan mendapatkan produktivitas rata-rata 580.30 bcm/jam. Sedangkan area 2 memiliki nilai rata-rata *digging rate* 1004.66 bcm/jam dengan produktivitas rata-rata yaitu 666.25 bcm/jam. Produktivitas tersebut belum mencapai target dari perusahaan tetapkan yaitu 700 bcm/jam.
4. Analisis statistik:
 - a. Hubungan variabel PF, dev. lubang ledak, dan dev. *steaming* terhadap fragmentasi *boulder*. memiliki nilai koefisien korelasi 0.941 (area 1) dan 0.670 (area 2). Hal itu berarti, variabel X tersebut dapat menjelaskan variabel Y sebesar 94.1 % dan 67.0 %. Sedangkan 5.9 % dan 33 % dijelaskan oleh variabel lain, yang diasumsikan seperti kondisi material, cuaca, dan atau *human error* pada saat pengisian jumlah bahan peledak.
 - b. Hubungan variabel fragmentasi *boulder* terhadap *digging time* alat pada area 1 dan area 2 yaitu 0.769 dan 0.831. Hal itu berarti variabel X dapat menjelaskan variabel Y sebesar 76.9 % dan 83.1 %, sedangkan selebihnya dijelaskan oleh variabel yang lain. Variabel yang lain tersebut diasumsikan seperti kemampuan operator.
 - c. Hubungan variabel *digging time* terhadap produktivitas alat menghasilkan nilai koefisien korelasi 0.711 untuk area 1 dan 0.627 untuk area 2 atau 71.1 % dan 62.7 % variabel X dapat menjelaskan variabel Y. Selebihnya dijelaskan oleh variabel lain yang penulis asumsikan seperti kemampuan operator, dan faktor *break down* alat
 - d. Estimasi model optimum untuk mencapai target produktivitas yaitu fragmentasi *boulder* ≤ 20 % dengan *digging time* optimum 9.9 detik untuk area 1 dan 13.2 detik untuk area 2.
5. Perhitungan geometri usulan direkomendasikan menggunakan teori R.L Ash.

5.2 Saran

1. Terjadinya dev. lubang ledak dapat diminimalisir dengan cara memastikan agar preparasi area rapi. Serta, dev. *steaming* dapat diminimalisir dengan cara menjaga agar *gas bag* tidak bocor, dan penulis menyarankan menggunakan *ball deck*.
2. Optimasi waktu *digging* dapat dilakukan dengan cara meminimalisir terjadinya *boulder* dan pengecekan terhadap kuku *bucket*.
3. Analisis revisi geometri menggunakan teori R.L. Ash akan mendapatkan fragmentasi yang diinginkan

Daftar Pustaka

- [1] Awela, Wibby. 2015. *Modul Peledakan*. Diambil dari academia.edu. Diakses pada 08 Desember 2019.
- [2] Chandra, Nopali. 2012. *Analisis Geometri Peledakan pada Lapisan Interburden B2 – C untuk Mengurangi Fly Rock di Pit Prebench PT. Pamapersada Nusantara*. Proyek Akhir. Fakultas Teknik. Universitas Negeri Padang: Padang.
- [3] Faramarzi, F. dkk. 2013 *A Rock Engineering Systems Based Model to Predict Rock Fragmentation by Blasting*. International Journal of Rock Mechanichs and Mining Sciences. Mining Engineering Departement. University of Kerman: Iran.
- [4] Feng, Xia-Ting. 2016. *Rock Mechanichs and Engineering Volume 3 Analysis, Modeling, and Design*. Institute of Rock and Soil Mechanics. State Key Laboratory of Geomechanics and Geotechnical Engineering. Wuhan: China.
- [5] Ghaeini, Naeim. dkk. 2016. *Prediction of Blasting Fragmentation Using the Mutual Information and Rock Engineering System Case Study Meydook Copper Mine*. International Journal of Mining and Geo-Engineering. School of Mining. University of Tehran: Iran.
- [6] Hasanipahan, M. dkk. 2016. *Risk Assessment and Prediction of Rock Fragmentation Produced by Blasting Operation a Rock Engineering System*. Environmental Earth Science (Artikel) 75:808.
- [7] Hill, S.E. Rosenbaum, S.E. 1998. *Assessing the Significant Factors in a Rock Weathering System*. Quarterly Journal of Engineering Geology. Department of Geology. Imperial College of Science, Technology, and Medicine London: England.
- [8] Hudson, J.A. 1997. *Rock Mechanics Interaction and Rock Engineering System (RES)*. Buku (Online).
- [9] Jimeno, Carlos Lopez. dkk. 1987. *Drilling and Blasting of Rocks*. ISBN 90 5410 1997 (Buku). Geoming Technological Institue of Spain: Spanyol.
- [10] Kulatilake, P.H.S.W. dkk. 2012. *New Prediction Models for Mean Particle Size in Rock Blast Fragmentation*. Geotech Geol Eng (Paper).
- [11] Nur Ananda, Natasya. dan Anaperta, Yoszi Mingsi. 2019. *Evaluasi Efisiensi Alat Gali-Muat terhadap Produktivitas setelah Delay Shift Change pada Pembongkaran Overburden Bulan Februari 2019 di Pit AB RTS (Roto South) Tambang Batubara PT Bukit Makmur Mandiri Utama Jobsite PT Kideco Jaya Agung*. Jurnal. Fakultas Teknik. Universitas Negeri Padang: Padang.
- [12] Putri, Milia. 2018. *Optimasi Geometri Peledakan untuk Mencapai Target Fragmentasi dan Diggability dalam Pemenuhan Target Produktivitas Ore di Pit Durian Barat dan Pit South Osela Site Bakan PT J Resources Bolaang Mongondow Sulawesi Utara*. Tugas Akhir. Fakultas Teknik. Universitas Negeri Padang: Padang.
- [13] Ramadana, Sahrul. 2018. *Analisis Geometri Peledakan Guna Mendapatkan Fragmentasi Batuan yang Diinginkan untuk Mencapai Target Produktivitas Alat Gali Muat pada Kegiatan Pembongkaran Lapisan Tanah Penutup (Overburden) di Pit Menara Utara PT arkananta Apta Pratista Job Site PT KPUC, Malinau, Kalimantan Utara*. Tugas Akhir. Fakultas Teknik. Universitas Negeri Padang: Padang.