

PREDIKSI FRAGMENTASI HASIL PELEDAKAN MENGGUNAKAN MODEL *ROCK ENGINEERING SYSTEM* (RES) DI PT BHUMI RANTAU ENERGI KABUPATEN TAPIN PROVINSI KALIMANTAN SELATAN

Rahul Gonzales^{1*}, Dedi Yulhendra¹

¹Departemen Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang, Indonesia

* rahulgonzales140101@gmail.com

Abstract. Blasting is the process of breaking up rock (overburden) using explosives. The size of the blasted rock is called fragmentation. The size of the blasted rock fragmentation has an important influence on the next process (excavation and transport). Blasting at PT Bumi Rantau Energi (BRE) produced 30.925% boulders so that the digging time required was 12.33 seconds which resulted in a digging rate of only 510 BCM/hour. This is still far from PT BRE's target of boulder size <20%, digging time of 11 seconds and digging rate of 550 BCM/hour. Therefore, a method is needed to predict the fragmentation size resulting from the blasting geometry and site conditions. The Kuz-ram method is a commonly used method to predict fragmentation size, but it only considers a few factors of rock fragmentation formation. The Rock Engineering System (RES) model has more parameters to predict fragmentation size than the Kuz-ram method. Therefore, the RES model with 14 parameter* was used in this study to predict the fragmentation size of blasted rock. The analysis results stated that the RES model has an R2 value of 0.43, which means that there is a moderate relationship between the actual fragmentation and the prediction of the RES model. In addition, the evaluation result found that this model only has an RMSE value of 9.37, which means that the probability of error is small, making it suitable for predicting the fragmentation size.

Keyword: Blasting, Fragmentation, Rock Engineering System

1 Pendahuluan

Kegiatan peledakan di PT BRE menghasilkan bongkahan batu yang lebih besar (fragmentasi) dari yang diperkirakan. Aktivitas peledakan seharusnya berhasil jika dapat mempengaruhi kegiatan penumpukan dan kegiatan pengangkutan yang sedang berlangsung [1]. Hal ini terjadi di PT BRE yang mana produktivitas alat gali muat Komatsu PC 1250 (*digging time*) yang memiliki kapasitas bucket 5 m³ menurun. Target perusahaan PT BRE untuk aktivitas peledakan adalah menghasilkan boulder <20% sehingga waktu untuk menggali material (*digging time*) hasil peledakan bisa mencapai 11 detik dan produktivitas alat 550 bcm/jam, namun dari hasil observasi didapatkan *digging time* mencapai 12,33 detik sehingga produktivitasnya hanya 510 bcm/jam. Hal ini dapat berakibat pada tidak tercapainya produksi yang diharapkan.

Hasil observasi pada bulan Maret tahun 2023, kegiatan peledakan di PT BRE menghasilkan *boulder* sejumlah 30,925%. Hal ini diketahui setelah dilakukan pengujian fragmentasi menggunakan *Split Desktop*. Besarnya jumlah *boulder* mengakibatkan target produksi *overburden* di PT BRE khususnya di Pit Cendana tidak tercapai yaitu hanya 1.065.121 BCM dari target 1.434.160 BCM.

Prediksi hasil fragmentasi batuan dari rancangan

peledakan sangat diperlukan agar fragmentasi yang dihasilkan dapat sesuai dengan yang diharapkan karena besarnya jumlah *boulder* memiliki pengaruh besar terhadap aktivitas berikutnya (*loading* dan *hauling*) sehingga berakibat kepada tidak tercapainya target produksi. Metode Kuz-ram adalah metode yang paling umum digunakan untuk memprediksi ukuran batuan hasil peledakan. Namun, metode Kuz-ram belum mempertimbangkan semua parameter yang mempengaruhi hasil peledakan [2]. Model *Rock Engineering System* (RES) juga dapat digunakan untuk memprediksi ukuran batuan hasil peledakan. Model RES selain mempertimbangkan parameter-parameter yang ada pada metode Kuz-ram juga mempertimbangkan faktor-faktor lain seperti waktu delay, deviasi kedalaman lubang ledak, diameter lubang ledak, jumlah baris, pola pemboran, rasio *stemming* terhadap *burden* (T/B), rasio sub-drilling terhadap *burden* (J/B), dan rasio *burden* terhadap diameter lubang ledak (B/D).

Metode Kuz-ram adalah metode umum untuk memprediksi ukuran fragmentasi, namun metode ini hanya mempertimbangkan empat parameter yang dapat mempengaruhi ukuran fragmentasi. Oleh karena itu, model *Rock Engineering System* (RES) akan digunakan dalam penelitian ini untuk memprediksi ukuran fragmentasi peledakan, seperti yang dilakukan Faramarzi untuk tambang tembaga Sungun di Iran Barat (2013), Ghaeini untuk tambang tembaga di

Provinsi Kerman Iran (2016) [3], Hasanipah untuk tambang tembaga Sarcheshmeh di Iran (2016) [4], A. Mahyandra untuk tambang batubara di Provinsi Kalimantan, Indonesia (2020) [5]. Hasil penelitian sebelumnya mendapatkan hasil bahwa terdapat interaksi atau hubungan yang kuat antara ukuran fragmentasi aktual dengan ukuran fragmentasi prediksi metode *Rock Engineering System* (RES).

Adanya hubungan yang kuat tersebut, maka akan dilakukan penelitian mengenai Prediksi Fragmentasi Hasil Peledakan Menggunakan Model *Rock Engineering System* (RES) di PT Bumi Rantau Energi Provinsi Kalimantan Selatan. Masalah yang diidentifikasi yaitu terdapat fragmentasi (*boulder*) pada aktivitas peledakan, fragmentasi berukuran *boulder* menyebabkan tingginya *digging time* (waktu gali) alat untuk menggali dan memuat material sehingga waktu yang digunakan (*cycle time*) bertambah yang menyebabkan produktivitas alat gali-muat menurun sehingga target produksi tidak tercapai, dan diperlukan prediksi ukuran fragmentasi sehingga fragmentasi hasil peledakan sesuai dengan yang diharapkan. Tujuan dari penelitian ini antara lain untuk menganalisa perbedaan ukuran geometri aktual dan rencana, mendapatkan ukuran fragmentasi aktual hasil peledakan berdasarkan metode *image analysis* dengan *software split desktop 2.0* sebagai acuan perbandingan metode prediksi, memprediksi ukuran fragmentasi menggunakan model RES dan menganalisa efektifitas model *Rock Engineering System* (RES) untuk memprediksi ukuran fragmentasi batuan hasil peledakan.

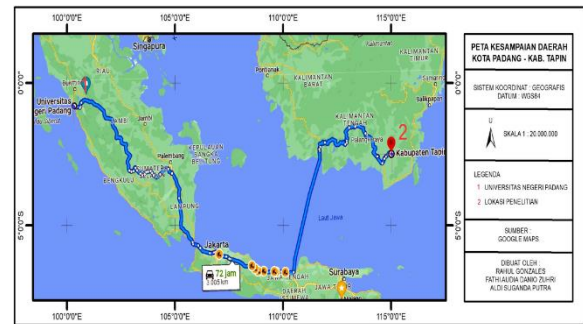
2 Tinjauan Pustaka

2.1 Lokasi dan Kesampaian Daerah

Area pertambangan tersebut semula adalah Koperasi Teratai Putih dan kini menjadi bagian dari Izin Usaha Pertambangan (IUP) yang dimiliki Kuasa Pertambangan Eksplorasi oleh PT Bumi Rantau Energi (PT BRE). Izin Usaha Pertambangan (IUP) Operasi Produksi seluas 2.096 Ha mineralisasi batubara di Kecamatan Lokpaikat dan Piani, Kabupaten Tapin, Provinsi Kalimantan Selatan, telah diberikan kepada PT Bumi Rantau Energi. Izin ini diperoleh dengan menggunakan kode wilayah KW.996PP0184 sesuai dengan Surat Keputusan Bupati Tapin Nomor 188.45/60/KUM/2010. Sedangkan, secara geografis WIUP berada di koordinat antara 115°12'04,00"-115°15'0,00" Bujur Timur dan 02°54'55,00"- 02°57'0,00" Lintang Selatan. Kajian mengenai kepemilikan dan peruntukan lahan dihasilkan informasi bahwa peruntukan lahan sebagai Area Penggunaan Lain (APL) dan Hutan Produksi (HP) pada lokasi WIUP BRE.

Lokasi penambangan PT BRE dari Kota Padang dapat ditempuh menggunakan Pesawat dari Bandara Internasional Minangkabau (BIM) ke Bandara Internasional Syamsudin Noor di Banjarbaru yang sebelumnya harus transit terlebih dahulu di Bandara Internasional Soekarno Hatta di Kabupaten Tangerang.

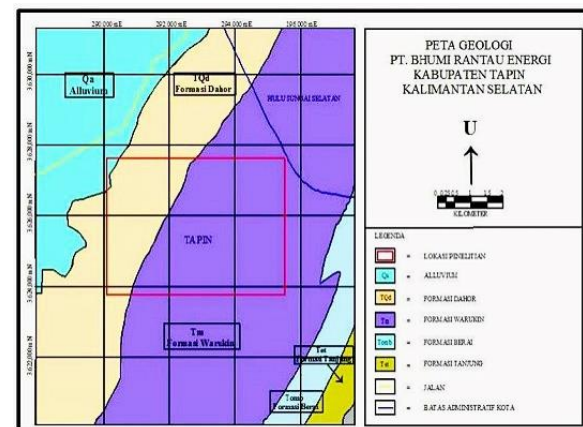
Dari Bandara Internasional Syamsudin Noor, perjalanan dilanjutkan menggunakan transportasi darat ke Kabupaten Tapin sejauh 113 kilometer. Lokasi dan kesampaian PT BRE dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Lokasi dan Kesampaian Daerah

2.2 Kondisi Geomorfologi dan Geologi

Secara umum, morfologi kawasan dapat dipecah menjadi dua satuan morfologi yang berbeda: satuan morfologi dataran dan satuan morfologi lereng bergelombang. Lereng bergelombang dengan ketinggian antara 35 dan 150 meter di atas permukaan laut (dpl). Daerah penelitian secara regional merupakan bagian dari Cekungan Barito. Berada pada formasi warukin yang didominasi oleh batulempung.



Gambar 2. Peta geologi daerah penelitian

2.3 Prediksi Fragmentasi menggunakan Model *Rock Engineering System* (RES)

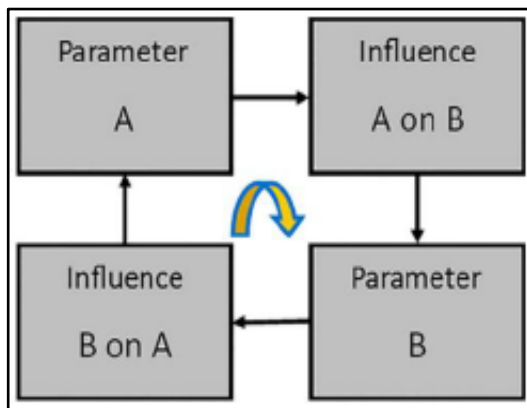
Ukuran bongkah batuan hasil kegiatan peledakan disebut fragmentasi. Sebagian besar fragmentasi memerlukan ukuran yang kecil karena dapat ditangani dengan lebih mudah nantinya. Namun, penghalang di tepi jalan memerlukan fragmentasi yang besar. Dalam perkembangannya terdapat beberapa metode dalam menentukan ukuran fragmentasi batuan hasil peledakan.

Model *Rock Engineering System* atau RES dikemukakan oleh Hudson pada tahun 1992. Hudson mengklaim bahwa RES adalah model yang dapat memberikan parameter pembobotan untuk mekanika batuan [2]. Model RES menggunakan metodologi atau penyelidikan ilmiah. Model ini tidak hanya didasarkan pada asumsi bahwa parameter terkait satu sama lain,

melainkan didasarkan pada pembelajaran tentang masalah yang sudah ada kemudian dirincikan menjadi model baru. Parameter utama kemudian dilihat dan diestimasi oleh peneliti untuk menjadi model desain yang tepat. Akibatnya, model ini mampu menganalisis proses desain untuk mengurangi kemungkinan desain atau model yang tidak sesuai.

Pemodelan RES didasarkan pada penggunaan matriks interaksi untuk setiap parameter. Pada buku *Rock Mechanics and Engineering Volume 3* oleh Xia-Ting Feng: *Investigasi, Demonstrasi dan Rencana 2017* (Bagian 15: 451) diungkapkan bahwa tujuan RES dapat sebagai strategi tambahan yang bisa membantu rencana menjadi lebih ideal, yaitu mengarah ke hubungan data dari batas-batas kritis sebuah usaha. Akibatnya, model RES dapat mengurangi risiko kesalahan [6].

Setiap parameter yang ditempatkan pada diagonal matriks harus memiliki setidaknya dua parameter yang mempengaruhi variabel dependen, dan parameter tersebut memberikan efek kausal. Prinsip interaksi matriks ini dapat memberikan bobot pada setiap kemungkinan parameter yang mempengaruhi variabel dependen. Subjek A dan Subjek B adalah dua faktor atau parameter yang digambarkan pada gambar 3.



Sumber: Hasanipah, 2016
Gambar 3. Interaksi Matrix

Langkah selanjutnya adalah memberikan kode ke dalam kotak-kotak *off-diagonal* atau kotak hasil dari pengaruh yang terjadi oleh parameter utama, seperti memungkinkan atau membuat perhitungan model matematika dalam matriks setelah parameter atau parameter utama.

Pengkodean pada model RES tipikal menggunakan metode *Expert Semi-Quantitative* (ESQ) karena dapat ditentukan dengan tepat bahwa setiap interaksi telah direpresentasikan dengan nilai antara 0 dan 4 [7]. Nilai metode ESQ dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Nilai Metode ESQ

| Kode | Deskripsi |
|------|-----------------------|
| 0 | Tidak ada interaksi |
| 1 | Interaksi Lemah |
| 2 | Interaksi Sedang |
| 3 | Interaksi Kuat |
| 4 | Interaksi Sangat Kuat |

Nomor kode yang telah disediakan dan terdapat di dalam kotak diagonal tersebut nantinya akan dihasilkan oleh matriks interaksi pada model ini. Baris dan kolom akan muncul. Ordinat Penyebab (C) adalah jumlah total dari baris, dan Ordinat Akibat (E) adalah jumlah total dari kolom ini. Koordinat disebut jika kode parameter pertama digabungkan dengan kode parameter 2.

Selanjutnya itu akan dihitung nilai C+E yang merupakan nilai tertinggi untuk keaktifan suatu parameter dalam suatu matriks sistem. Selain itu, nilai C-E menunjukkan parameter sistem yang dominan atau berpengaruh. Jika nilai C-E positif, ini menunjukkan bahwa sistem lebih mempengaruhi parameter pada pembentukan fragmentasi. Oleh karena itu, ini adalah parameter yang paling penting. Selain itu, jika nilai C-E negatif, ini menunjukkan sistem dengan pengaruh yang lebih besar pada parameter ini daripada parameter yang mempengaruhi sistem. Selanjutnya dapat melakukan plotting nilai koordinat dengan nilai ini. Selain itu, Hudson (1992) dalam metode Naeim et al. juga menghitung nilai proporsi pembobotan (α_i) pada setiap parameter menggunakan persamaan 1 [3].

$$\alpha_i = \frac{C+E}{\sum C+E} \times 100 \tag{1}$$

Persamaan (1), α_i adalah persentase efek parameter, C+E adalah penjumlahan nilai kolom C dan baris E, $\sum C+E$ adalah total jumlah C+E

2.4 Diggability Excavator

Ekskavator menggunakan daya gali sebagai kekuatan pendorong utama mereka. Waktu penggalian (*diggability*) ekskavator adalah jumlah waktu yang diperlukan untuk menggali material. Waktu siklus peralatan gali-muat, atau waktu total, termasuk waktu penggalian juga. [1] Rumus berikut digunakan untuk menentukan tingkat penggalian menggunakan waktu penambangan data, waktu siklus, kapasitas, dan faktor pengisian.

$$Digging Rate = \frac{BC \times BFF \times 3600}{CT} \tag{2}$$

Persamaan (2), BC adalah *bucket capacity* (m^3), BFF adalah *bucket fill factor*, dan CT adalah *cycle time* (detik).

Nilai *cycle time* merupakan salah satu elemen dalam menentukan nilai *digging rate*. Rumus untuk menentukan nilai waktu siklus penggali adalah sebagai berikut [1] :

$$CTm = Tm1 + Tm2 + Tm3 + Tm4 \tag{3}$$

Persamaan (3), CTm adalah waktu edar excavator (detik), Tm1 adalah waktu menggali (*digging*) material (detik), Tm2 adalah waktu berputar (*swing*) isi (detik), Tm3 adalah waktu menumpahkan muatan (detik), Tm4 adalah waktu berputar (*swing*) kosong (detik).

2.5 Analisis Statistik

Analisis korelasi, analisis koefisien determinasi, dan regresi merupakan jenis analisis statistik yang dilakukan.

2.5.1 Analisa Korelasi

Hubungan yang terbentuk dari suatu variabel dengan variabel lain berbentuk diagram pencar (*scatter plot*) disebut korelasi. Hal ini mengidentifikasi hubungan antara dua variabel dengan koefisien korelasi (ρ) nilainya adalah $-1 \leq \rho \leq 1$.

2.5.2 Koefisien determinasi

Semua varietas variabel dependen (Y) yang dapat dipahami oleh varietas variabel otonom (X) termasuk koefisien determinasi (R^2). Koefisien ditentukan dengan mencari tahu koefisien koneksi. Maksud dari nilai koefisien detail ditampilkan pada Tabel 2 [1].

Tabel 2. Nilai koefisien determinasi

| R^2 | Interpretasi |
|-------------|-----------------------------------|
| 0,00 – 0,25 | Hubungan lemah |
| 0,26 – 0,50 | Hubungan sedang |
| 0,51 – 0,75 | Hubungan kuat |
| 0,76 – 1,00 | Hubungan sangat kuat/sem sempurna |

2.5.3 Regresi

Pemeriksaan regresi digunakan untuk memahami hubungan antara setidaknya dua macam faktor, khususnya hubungan antara faktor otonom atau indikator dan variabel dependen yang juga disebut variabel pemisah. Pemeriksaan hubungan antara dua faktor disebut pemeriksaan relaps langsung jika hanya mencakup satu faktor bebas. Hubungan yang terjalin antara variabel bebas (X) dan variabel terikat (Y) digambarkan dengan menggunakan model linier umum [9].

$$Y = i + Xi \quad (4)$$

Persamaan (4), Y adalah variabel dependen, Xi adalah variabel independen, I adalah *intercept*.

2.5.4 Root mean square error (RMSE)

Root mean square error (RMSE) digunakan untuk mengevaluasi kinerja persamaan yang didapatkan dari hasil regresi linear. Uji eror menggunakan RMSE dilakukan dengan menggunakan persamaan 6 [10].

$$RMSE = \sqrt{1/n (y - y'')^2} \quad (5)$$

Persamaan (5), RMSE adalah *Root mean square error*, n adalah jumlah data, y adalah nilai aktual, dan y'' adalah nilai prediksi.

3 Metode Penelitian

3.1 Desain Penelitian

3.1.1 Jenis Penelitian

Penelitian ini tergolong kepada jenis penelitian terapan. Penelitian jenis ini lebih menitik beratkan pada penggunaan pengetahuan untuk tujuan tertentu, penerapan pengetahuan, atau keduanya. Penelitian ini merupakan upaya logis dan metodis untuk mempelajari sesuatu yang baru dari penelitian sebelumnya.

3.1.2 Waktu Penelitian

Pengumpulan data dilaksanakan pada tanggal 20 Maret – 19 April 2023 untuk observasi dan pengambilan data primer dan data sekunder.

3.1.3 Lokasi Penelitian

PT Bhumi Rantau Energi (BRE) yang berada di Kabupaten Tapin Provinsi Kalimantan Selatan merupakan lokasi penelitian.

3.2 Jenis dan Sumber Data

Informasi yang digunakan dibagi antara data utama (primer) dan tambahan (sekunder). Data primer adalah informasi yang dikumpulkan langsung dari pengamatan yang dilakukan di lapangan dan sebagai hasil pengamatan tersebut. Data primer penelitian ini adalah:

3.2.1 Parameter Rock Engineering System (RES)

Parameter RES terdiri atas geometri dan kondisi lokasi peledakan. Geometri peledakan di lapangan diukur menggunakan meteran untuk mendapatkan kondisi aktualnya. Parameter-parameter RES seperti *burden*, jumlah isian handak per lubang, *spasi/burden* rasio, *stemming/burden* rasio, *stiffness* rasio, deviasi kedalaman lubang ledak, diameter lubang, *subdrilling/burden* rasio, dan *burden/diameter* lubang rasio diukur menggunakan meteran di lapangan. Sedangkan untuk parameter lainnya seperti *powder factor*, waktu *delay*, *blastability index*, jumlah lubang dan pola pemboran didapatkan dari pengamatan langsung di lapangan.

3.2.2 Waktu Penggalian (Digging Time)

Waktu penggalian (*cycle time*) diperlukan untuk mengukur sejauh mana efek fragmentasi terhadap produktivitas alat gali muat guna tercapainya target produksi. Perhitungan waktu penggalian dilakukan dengan menggunakan alat *stopwatch*.

3.2.3 Foto hasil peledakan

Foto hasil peledakan digunakan untuk mengetahui distribusi ukuran fragmentasi aktual yang diolah menggunakan *software Split Desktop 2.0*. Data ini diperlukan sebagai pembandingan X80 pada model *Rock Engineering System (RES)*.

Data sekunder pada penelitian ini adalah:

3.2.4 *Blasting plan* atau rencana peledakan

Merupakan informasi penting dalam penelitian ini karena disana sudah terdapat parameter-parameter yang digunakan pada model RES seperti geometri peledakan rencana, *powder factor*, waktu *delay*, diameter lubang, jumlah baris, dan pola pemboran yang digunakan.

3.3 Teknik Pengumpulan Data

Strategi pemilahan informasi yang digunakan dalam penelitian adalah sebagai berikut:

3.3.1 Tahap persiapan

Dilakukan tinjauan literatur dari penelitian sebelumnya dan buku-buku pendukung tentang bagaimana penelitian itu dilakukan.

3.3.2 Pengamatan lapangan

Pada titik ini, penulis meninjau kondisi lokasi penambangan, khususnya kegiatan peledakan, dan mengamati geometri peledakan, fragmentasi batuan, daya gali, dan waktu siklus peralatan gali-muat.

3.3.3 Pengumpulan data

Yaitu data primer berupa (a) geometri peledakan aktual sebagai acuan dan pembandingan untuk merancang geometri usulan, (b) waktu penggalian dan kecepatan penggalian peralatan penggalian dan pemuatan untuk menentukan bagaimana fragmentasi mempengaruhi produktivitas peralatan, (c) untuk mengetahui fragmentasi yang dihasilkan digunakan foto hasil peledakan. Selain data primer, data sekunder juga diperlukan yaitu data *blasting plan*.

3.4 Teknik Pengolahan dan Analisa Data

Teknik pengolahan dan analisa data adalah sebagai berikut:

3.4.1 Pengolahan Data

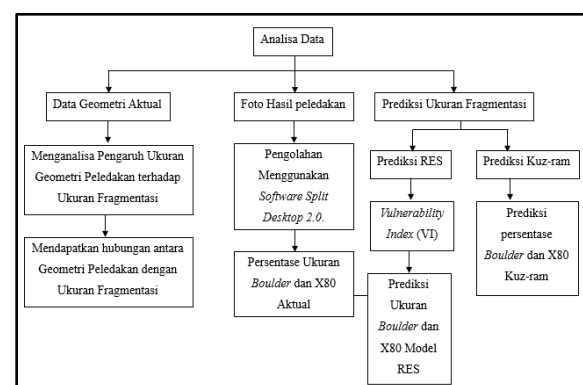
Beberapa alat bantu, termasuk perangkat lunak dan pemrosesan manual, digunakan selama langkah pemrosesan data. Pertama, menghitung deviasi aktual dari desain memerlukan langkah pemrosesan yaitu memasukkan data geometri peledakan ke dalam *Microsoft Excel*. Selanjutnya data deviasi dapat digunakan untuk menentukan seberapa efektif operasi

peledakan yang sebenarnya.

Selanjutnya distribusi fragmentasi juga dapat diketahui melalui pengolahan data fragmentasi. Data fragmentasi didapatkan dengan mengimput foto hasil peledakan ke *software Split Desktop 2.0*. Selain itu, digunakan juga model model RES untuk memprediksi ukuran fragmentasi untuk kemudian dibandingkan dengan kondisi aktual.

Kemudian, lakukan pengolahan data *digging time* dan *cycle time* dari alat gali muat mendapatkan *digging rate* atau kemampuan alat muat menggali material dalam satu jam. Semua data yang diolah kemudian dibandingkan dengan target yang sudah ditetapkan oleh perusahaan.

3.4.2 Tahapan Analisis Data



Gambar 4. Alur Analisa data

Gambar 4 menunjukkan alur analisa data. Geometri dan fragmentasi merupakan dua hal utama dalam tahapan analisa data. Tahapan-tahapan yang dilakukan yaitu:

3.4.2.1 Menganalisa pengaruh geometri aktual terhadap fragmentasi

Data geometri adalah parameter utama dalam kegiatan peledakan. Ukuran geometri akan memiliki pengaruh kepada ukuran batuan yang dihasilkan dari kegiatan peledakan. Oleh karena itu, dilakukan analisa pengaruh ukuran geometri aktual yang berbeda-beda terhadap ukuran fragmentasi yang dihasilkan yang berguna untuk mengetahui parameter apa yang paling berpengaruh terhadap ukuran fragmentasi.

3.4.2.2. Menganalisa persentase boulder dan X80 aktual

Foto hasil peledakan diolah menggunakan *software Split Desktop 2.0* untuk mendapatkan distribusi ukuran fragmentasi. Tahapan ini menghasilkan data berupa persentase *boulder* aktual dan ukuran X80 (cm) dari fragmentasi yang dihasilkan. Data X80 aktual akan dibandingkan dengan nilai *Vulnerability Indeks (VI)* pada model RES untuk mendapatkan prediksi X80 model RES.

3.4.2.3 Memprediksi ukuran fragmentasi

Prediksi fragmentasi dilakukan menggunakan model RES. Prediksi model RES dilakukan dengan menginput 14 parameter untuk kemudian didapatkan nilai *Vulnerability Indeks* (VI). Nilai VI akan dibandingkan dengan ukuran X80 aktual untuk mendapatkan prediksi X80 dari model RES.

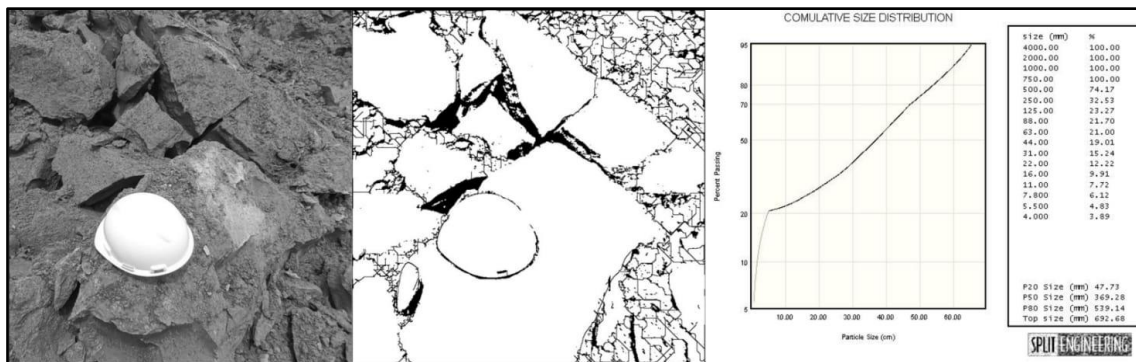
3.4.2.4 Mengevaluasi prediksi model RES terhadap ukuran fragmentasi aktual

Evaluasi hasil metode prediksi dilakukan dengan menganalisa koefisien determinasi (R^2) antara metode prediksi dan kondisi aktual serta melakukan uji eror menggunakan *root mean square error* (RMSE) untuk mengetahui efektifitas metode prediksi.

4 Hasil Penelitian dan Pembahasan

4.1 Hasil Penelitian

4.1.1 Geometri Peledakan Aktual



Gambar 5. Proses mendapatkan distribusi fragmentasi aktual

Hasil pengolahan fragmentasi aktual dapat dilihat pada gambar 6 dibawah ini.

| No. | Tanggal (2023) | Lokasi (Seam/Blok) | <50 cm (%) | >50 cm (%) | 80% (... cm) |
|-----------|----------------|--------------------|------------|------------|--------------|
| 1. | 21 Maret | F/26 | 74,14 | 25,83 | 53,93 |
| 2. | 22 Maret | F/26 | 83,06 | 16,94 | 48,15 |
| 3. | 23 Maret | F/26 | 78,79 | 21,21 | 50,76 |
| 4. | 25 Maret | F/25-27 | 69,36 | 30,64 | 57,67 |
| 5. | 26 Maret | F/26 | 68,79 | 31,21 | 58,14 |
| 6. | 27 Maret | F/21 | 85,25 | 14,75 | 48,63 |
| 7. | 28 Maret | F/24-26 | 68,23 | 31,77 | 58,62 |
| 8. | 29 Maret | F/24-26 | 59,11 | 40,89 | 67,67 |
| 9. | 30 Maret | F/27 | 65,20 | 34,80 | 61,34 |
| 10. | 1 April | F/27 | 84,37 | 15,63 | 47,41 |
| 11. | 2 April | F/27 | 57,49 | 42,51 | 69,57 |
| 12. | 3 April | F/26-27 | 85,28 | 14,72 | 46,90 |
| 13. | 4 April | K/22-24 | 87,13 | 12,87 | 45,90 |
| 14. | 5 April | F/26-27 | 80,15 | 19,85 | 49,90 |
| 15. | 6 April | E/24 | 57,16 | 42,84 | 69,97 |
| 16. | 8 April | F/24 | 63,94 | 36,06 | 62,55 |
| 17. | 9 April | F/24-26 | 53,79 | 46,21 | 74,64 |
| 18. | 10 April | KL/25 | 80,39 | 19,61 | 49,75 |
| 19. | 11 April | F/25-26 | 42,78 | 57,22 | 93,50 |
| 20. | 12 April | F/25-27 | 81,02 | 18,98 | 49,37 |
| 21. | 13 April | F/26 | 59,80 | 40,20 | 66,88 |
| 22. | 15 April | F/25-26 | 66,67 | 33,33 | 83,07 |
| Rata-rata | | | | 30,925 | 59,74 |

Gambar 6. Distribusi Fragmentasi Aktual

Gambar 6 menunjukkan bahwa kegiatan peledakan di PT BRE secara aktual menggunakan *software split desktop 2.0* menghasilkan *boulder* dengan rata-rata yaitu 30,925%. Selain itu, 80% fragmentasi batuan hasil

Geometri peledakan merupakan data masukan utama pada proses peledakan yang akan berpengaruh kepada hasil dan efek peledakan. Hasil rancangan geometri peledakan di Pit Cendana yang dikelola oleh PT Hasnur Riung Sinergi (HRS) menggunakan pola 8 X 9 meter untuk *burden* dan spasi. Namun, pada kondisi aktual di lapangan ditemukan bahwa geometri aktual belum sesuai dengan geometri rancangan dengan rata-rata memiliki pola 7,96 X 8,7 meter. Hal ini berarti bahwa terdapat deviasi 0,04 meter dari *burden* rencana dan 0,3 meter dari spasi rencana.

4.1.2 Fragmentasi Aktual

Ukuran fragmentasi aktual berpedoman kepada hasil foto fragmentasi di lapangan kemudian diolah menggunakan *software Split Desktop 2.0* dan *Microsoft Excel*. Data masukannya adalah foto fragmentasi hasil peledakan dengan hasil yang didapatkan yaitu distribusi ukuran fragmentasi batuan. Proses untuk mendapatkan distribusi fragmentasi aktual dapat dilihat pada gambar 5.

peledakan berukuran 59,74 cm yang berarti masih tergolong *boulder*.

4.1.3 Prediksi Rock Engineering System (RES)

Model RES memprediksi ukuran fragmentasi hasil peledakan dengan parameter *burden*, jumlah bahan peledak, *powder factor* (PF), rasio spasi/*burden*, rasio *stemming/burden*, *stiffness* rasio, waktu tunda (*delay*), deviasi kedalaman lubang, diameter lubang ledak, *blastability index* (BI), jumlah baris, rasio *subdrilling/burden*, rasio *burden/diameter* lubang, dan pola pemboran. Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan, maka didapatkan hasil perhitungan fragmentasi menggunakan model RES seperti pada gambar 7.

Gambar 7 menunjukkan bahwa prediksi X80 model RES atau 80% ukuran fragmentasi peledakan dari 22 kegiatan peledakan memiliki nilai beragam dari 42,22 cm hingga 67,26 cm. Rata-rata 80% fragmentasi peledakan berukuran 59,72 cm. Hal ini mengidentifikasi bahwa 80% ukuran fragmentasi masih tergolong *boulder*. Nilai X80 ini akan dibandingkan dengan X80 aktual untuk mengetahui seberapa efektif metode ini.

| Peledakan Ke- | X80 (cm) | Peledakan Ke- | X80 (cm) |
|---------------|----------|---------------|----------|
| 1 | 50,71 | 12 | 50,71 |
| 2 | 50,71 | 13 | 42,22 |
| 3 | 50,71 | 14 | 50,71 |
| 4 | 50,71 | 15 | 67,26 |
| 5 | 50,71 | 16 | 67,26 |
| 6 | 58,98 | 17 | 67,26 |
| 7 | 67,26 | 18 | 58,98 |
| 8 | 67,26 | 19 | 67,26 |
| 9 | 67,26 | 20 | 67,26 |
| 10 | 58,98 | 21 | 67,26 |
| 11 | 67,26 | 22 | 67,26 |
| Rata-rata | | | 59,72 |

Gambar 7. Prediksi fragmentasi RES

4.2 Pembahasan

4.2.1 Geometri peledakan aktual

Geometri peledakan aktual di PT BRE masih belum sesuai dengan geometri yang telah direncanakan khususnya pada *burden*, spasi, dan *powder factor* (PF). Ketiga parameter ini menjadi parameter yang dapat berpengaruh terhadap terbentuknya fragmentasi batuan. *Burden* dan spasi yang awalnya direncanakan 8 X 9 meter dengan PF 0,14 belum diaplikasikan dengan baik di lapangan dengan kondisi aktual didapatkan *burden* dan spasi 7,96 X 8,7 meter dengan PF 0,15 kg/m³.

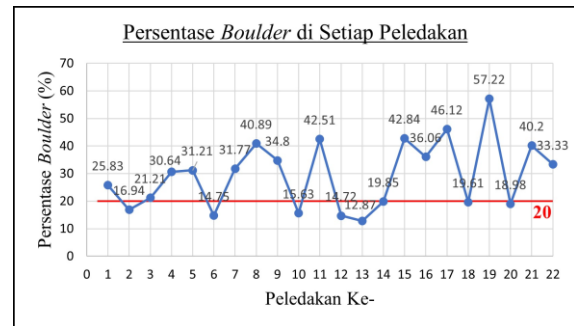
Geometri yang lebih rapat dengan PF yang lebih tinggi harusnya bisa menghasilkan ukuran fragmentasi yang lebih kecil dari yang diperkirakan. Namun, terdapat faktor-faktor teknis di lapangan yang juga memiliki pengaruh penting terhadap ukuran fragmentasi, yaitu persiapan lokasi peledakan yang kurang maksimal seperti lokasi peledakan yang tidak rata dan kemampuan pekerja dalam proses pengisian bahan peledak (*charging*) yang kurang baik.

4.2.2 Fragmentasi peledakan aktual

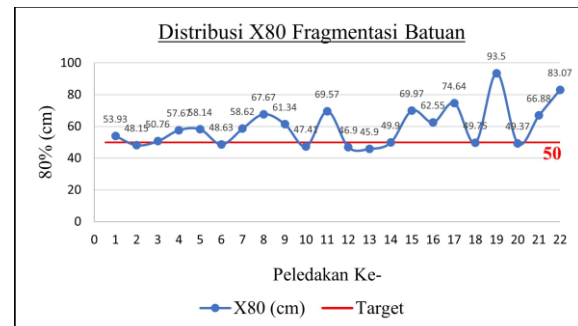
Hasil penelitian menunjukkan bahwa masih terdapat *boulder* melebihi 20% pada kegiatan peledakan di PT BRE. Pada 22 aktivitas peledakan, terdapat *boulder* lebih dari 20% pada 14 aktivitas peledakan masing-masing pada peledakan 1, 3, 4, 5, 7, 8, 9, 11, 15, 16, 17, 19, 21, dan 22 seperti yang terlihat pada gambar 8.

Gambar 8 menunjukkan bahwa persentase *boulder* aktual pada 22 kegiatan peledakan memiliki persentase beragam dari 12,85% hingga 57,22%. Selanjutnya X80 atau 80% ukuran fragmentasi peledakan dapat dilihat

pada gambar 9.



Gambar 8. Persentase boulder di setiap peledakan



Gambar 9. Distribusi X80 Fragmentasi Batuan

Gambar 9 menunjukkan bahwa distribusi ukuran fragmentasi 80% pada 22 kegiatan peledakan umumnya masih berada diatas target (50 cm) dengan ukuran mencapai 93,5 cm. hanya 8 dari 22 kegiatan peledakan tersebut yang memiliki nilai X80 lebih kecil dari 50 cm yaitu pada peledakan ke 2, 6, 10,12, 13, 14, 18, dan 20.

4.2.3 Prediksi Rock Engineering System (RES)

Pada penelitian ini, digunakan 14 parameter RES untuk memprediksi ukuran fragmentasi batuan hasil peledakan. Parameter-parameter tersebut dipilih berdasarkan studi literatur yang telah dipelajari kemudian disesuaikan dengan kondisi yang ada di lapangan. Parameter yang dipilih akan diinteraksikan satu sama lain dengan parameter lainnya. Interaksi ini dinyatakan berupa angka dari 0 sampai 4 yang menunjukkan tingkat hubungan atau pengaruh suatu parameter terhadap parameter lainnya. Oleh karena itu, parameter-parameter tersebut dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Parameter untuk Pemodelan RES

| Kode | Parameter | Kode | Parameter |
|------|------------------------------------|------|--------------------------------|
| P1 | Burden (B) | P8 | Deviasi kedalaman lubang ledak |
| P2 | Jumlah pengisian handak per lubang | P9 | Diameter lubang ledak (D) |
| P3 | Powder Factor (PF) | P10 | Blastability Index (BI) |
| P4 | Spasi/Burden Ratio | P11 | Jumlah baris |
| P5 | Rasio Stemming/Burden | P12 | Rasio Subdrilling/burden (J/B) |
| P6 | Stiffness Rasio (H/B) | P13 | Rasio Burden/Diameter lubang |
| P7 | Waktu Delay | P14 | Pola pemboran |

Berikutnya parameter-parameter tersebut dibuatkan

diinteraksikan atau dihubungkan pada suatu kotak

diagonal sejumlah parameter yang ada untuk mendapatkan nilai (*code*) interaksi antar paramete (gambar 10). Pada kotak-kotak diagonal tersebut akan diberi nilai pengaruh dengan nilai antara 0-4 sesuai dengan tabel 1 dari S.E. Hill dan M.S. Rosenbaum, 1998. Nantinya angka-angka pada kolom dan baris matriks akan terbentuk kemudian dijumlahkan untuk mengetahui persentase pengaruh setiap parameter.

| | | | | | | | | | | | | | |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| P1 | 1,2 | 1,3 | 1,4 | 1,5 | 1,6 | 1,7 | 1,8 | 1,9 | 1,10 | 1,11 | 1,12 | 1,13 | 1,14 |
| 2,1 | P2 | 2,3 | 2,4 | 2,5 | 2,6 | 2,7 | 2,8 | 2,9 | 2,10 | 2,11 | 2,12 | 2,13 | 2,14 |
| 3,1 | 3,2 | P3 | 3,4 | 3,5 | 3,6 | 3,7 | 3,8 | 3,9 | 3,10 | 3,11 | 3,12 | 3,13 | 3,14 |
| 4,1 | 4,2 | 4,3 | P4 | 4,5 | 4,6 | 4,7 | 4,8 | 4,9 | 4,10 | 4,11 | 4,12 | 4,13 | 4,14 |
| 5,1 | 5,2 | 5,3 | 5,4 | P5 | 5,6 | 5,7 | 5,8 | 5,9 | 5,10 | 5,11 | 5,12 | 5,13 | 5,14 |
| 6,1 | 6,2 | 6,3 | 6,4 | 6,5 | P6 | 6,7 | 6,8 | 6,9 | 6,10 | 6,11 | 6,12 | 6,13 | 6,14 |
| 7,1 | 7,2 | 7,3 | 7,4 | 7,5 | 7,6 | P7 | 7,8 | 7,9 | 7,10 | 7,11 | 7,12 | 7,13 | 7,14 |
| 8,1 | 8,2 | 8,3 | 8,4 | 8,5 | 8,6 | 8,7 | P8 | 8,9 | 8,10 | 8,11 | 8,12 | 8,13 | 8,14 |
| 9,1 | 9,2 | 9,3 | 9,4 | 9,5 | 9,6 | 9,7 | 9,8 | P9 | 9,10 | 9,11 | 9,12 | 9,13 | 9,14 |
| 10,1 | 10,2 | 10,3 | 10,4 | 10,5 | 10,6 | 10,7 | 10,8 | 10,9 | P10 | 10,11 | 10,12 | 10,13 | 10,14 |
| 11,1 | 11,2 | 11,3 | 11,4 | 11,5 | 11,6 | 11,7 | 11,8 | 11,9 | 11,10 | P11 | 11,12 | 11,13 | 11,14 |
| 12,1 | 12,2 | 12,3 | 12,4 | 12,5 | 12,6 | 12,7 | 12,8 | 12,9 | 12,10 | 12,11 | P12 | 12,13 | 12,14 |
| 13,1 | 13,2 | 13,3 | 13,4 | 13,5 | 13,6 | 13,7 | 13,8 | 13,9 | 13,10 | 13,11 | 13,12 | P13 | 13,14 |
| 14,1 | 14,2 | 14,3 | 14,4 | 14,5 | 14,6 | 14,7 | 14,8 | 14,9 | 14,10 | 14,11 | 14,12 | 14,13 | P14 |

Gambar 10. Kotak diagonal interaksi matriks

Parameter-parameter pada tabel 3 dapat ditemukan dalam kotak abu-abu yang membentang dari kiri atas ke kanan bawah dan diberi label P1, P2, P3, dan seterusnya. Dampak yang terjadi di antara parameter-parameter tersebut dapat dipahami melalui angka-angka di dalam kotak. Contohnya, jika kotak P1 berdampak pada kotak P2, maka kotak ini juga akan berdampak pada kotak 1,2, dan seterusnya. Sementara itu, kotak 2,1 akan digunakan untuk menjelaskan bagaimana P1 dipengaruhi oleh kotak P2 dan seterusnya dengan kotak yang berbeda.

Nilai pengkodean pengaruh antara parameter-parameter RES dapat dilihat pada gambar 11 setelah sebelumnya dilakukan analisa pengaruh antar parameter.

| | | | | | | | | | | | | | |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|
| P1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 | 1 | 0 |
| 0 | P2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 0 | P3 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 2 | 2 | P4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 2 | 1 | 0 | P5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 2 | 2 | 3 | 2 | P6 | 1 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | P7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 1 | 1 | 2 | 1 | 0 | 0 | P8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 3 | 3 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | P9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 3 | 2 | 4 | 2 | 1 | 2 | 3 | 3 | 1 | P10 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | P11 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | P12 | 0 | 0 |
| 3 | 1 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | P13 | 0 |
| 2 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | P14 |

Gambar 11. Matriks interaksi antara parameter RES

Selanjutnya dilakukan penjumlahan nilai C dan E serta menganalisa persentase (α_i) parameter tersebut memiliki efek terhadap ukuran fragmentasi. Hasil analisa nilai C dan E, dan α_i dapat dilihat pada gambar 12.

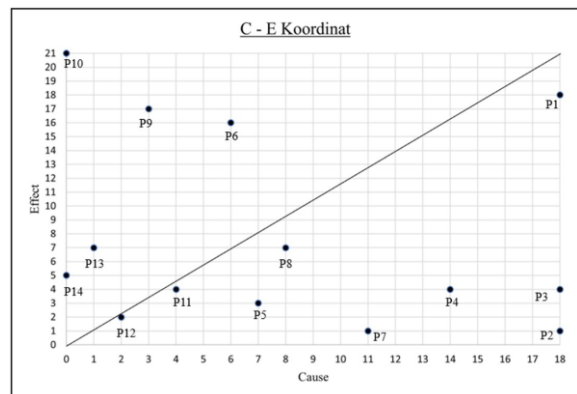
Gambar 12 menunjukkan bahwa *burden* merupakan parameter yang paling berpengaruh terhadap ukuran fragmentasi batuan hasil peledakan dengan nilai C+E = 36 dan α_i 16,36%. Untuk lebih jelasnya, nilai C dan E masing-masing parameter di plot untuk mengetahui parameter-parameter lain yang mempengaruhi ukuran

fragmentasi seperti yang dapat dilihat pada gambar 13. Pada gambar 13, parameter yang memiliki nilai E > C maka hasil plot akan berada di sebelah kiri garis C=E atau garis diagonal. Sebaliknya parameter yang memiliki nilai C > E maka hasil plot akan berada di sebelah kanan garis. Pada gambar 13 juga dapat dilihat bahwa semakin besar nilai C+E setiap parameter maka titik akan semakin dekat dengan garis C-E, seperti P1 yang memiliki nilai 36.

Dapat disimpulkan bahwa parameter yang memiliki interaksi yang sangat kuat dalam mempengaruhi persentase fragmentasi batuan ukuran *boulder* adalah *burden*. Lalu parameter deviasi kedalaman lubang, rasio T/B, rasio S/B, waktu *delay*, PF, dan jumlah handak per lubang berturut-turut merupakan parameter yang mendominasi atau mempengaruhi sistem (karena berada di sebelah kanan garis diagonal). Sedangkan, rasio S/B, jumlah baris, rasio B/D, pola pemboran, diameter lubang, *stiffness rasio*, dan BI merupakan parameter yang dipengaruhi oleh sistem (berada di sebelah kiri garis diagonal).

| Parameter | | C | E | C+E | α_i (%) |
|-----------|--|-----|-----|-----|----------------|
| Kode | Nama | | | | |
| P1 | <i>Burden</i> | 18 | 18 | 36 | 16.36 |
| P2 | Jumlah handak per lubang | 18 | 1 | 19 | 8.64 |
| P3 | <i>Powder Factor</i> | 18 | 4 | 22 | 10.00 |
| P4 | Rasio spasi/ <i>burden</i> | 14 | 4 | 18 | 8.18 |
| P5 | Rasio <i>stemming</i> / <i>burden</i> | 7 | 3 | 10 | 4.55 |
| P6 | <i>Stiffness rasio</i> | 6 | 16 | 22 | 10.00 |
| P7 | Waktu <i>delay</i> | 11 | 1 | 12 | 5.45 |
| P8 | Deviasi kedalaman lubang | 8 | 7 | 15 | 6.82 |
| P9 | Diameter lubang ledak | 3 | 17 | 20 | 9.09 |
| P10 | <i>Blastability Index</i> (BI) | 0 | 21 | 21 | 9.55 |
| P11 | Jumlah baris | 4 | 4 | 8 | 3.64 |
| P12 | Rasio <i>subdrilling</i> / <i>burden</i> | 2 | 2 | 4 | 1.82 |
| P13 | Rasio <i>burden</i> /diameter lubang | 1 | 7 | 8 | 3.64 |
| P14 | Pola pemboran | 0 | 5 | 5 | 2.27 |
| Jumlah | | 110 | 110 | 220 | 100 |

Gambar 12. Daftar C-E coordinates dan pembobotan



Gambar 13. Cause – Effect Plot (*c-e ordinate*)

Selanjutnya pada model RES, 14 parameter yang telah ditentukan dilakukan pembobotan sesuai dengan data yang ada di lapangan untuk mendapatkan nilai *Vulnerability Index* (VI) seperti pada gambar 14 dan gambar 15 yang didapatkan dengan menggunakan persamaan 6 [2].

$$VI = 100 - \sum_{i=1}^n \left(\alpha_i \frac{Q_i}{Q_{max}} \right) \quad (6)$$

Persamaan (6), VI adalah *vulnerability index* (indeks kerentanan), α_i adalah persentase C+E dari $\sum C+E$, Q_i adalah nilai pembobotan, Q_{max} adalah nilai pembobotan maksimal.

Nilai VI dari persamaan 6 kemudian akan dikaitkan dengan tabel pengelompokan VI pada tabel 4. Klasifikasi I menunjukkan bahwa skala tersebut tidak berdampak signifikan pada hasil diskontinuitas yang mengerikan atau tindakan selanjutnya. Klasifikasi II menunjukkan bahwa masalah fragmentasi yang tidak menguntungkan dan cenderung terlepas dari apakah hal itu secara signifikan mempengaruhi aktivitas selanjutnya. Klasifikasi III adalah bahwa ada beberapa

area dengan fragmentasi yang tidak menguntungkan, yang dapat menimbulkan tantangan selama pengisian atau pengangkutan dan harus segera dipertimbangkan

Tabel 4. Klasifikasi VI

| <i>Rock Description</i> | <i>Low-Medium</i> | <i>Medium-High</i> | <i>High-Very High</i> |
|-------------------------|-------------------|--------------------|-----------------------|
| <i>Category</i> | I | II | III |
| VI | 0 – 33 | 33-66 | 66-100 |

| Parameter | P1 (m) | P2 (kg) | P3 (g/ton) | P4 | P5 | P6 | P7 (ms) | P8 | P9 (mm) | P10 | P11 | P12 | P13 | P14 | Jumlah |
|----------------|-----------|------------|---------------|------|------|-------|------------|------|------------|------|------|------|------|------------------|--------|
| Nilai | 8 | 72,25 | 140 | 1,03 | 0,55 | 0,87 | 176 | 0 | 200 | 50 | 3 | 0,03 | 40 | <i>Staggered</i> | |
| Q_i | 1 | 5 | 1 | 3 | 0 | 0 | 2 | 4 | 2 | 2 | 4 | 0 | 1 | 3 | 28 |
| α_i (%) | 16,36 | 6,64 | 10,00 | 8,18 | 4,55 | 10,00 | 5,45 | 6,82 | 9,09 | 9,55 | 3,64 | 1,82 | 3,64 | 2,27 | 100 |
| Q_{Max} | 4 | 5 | 4 | 3 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 3 | 3 | 2 | 52 |
| VI | 46 | | | | | | | | | | | | | | |

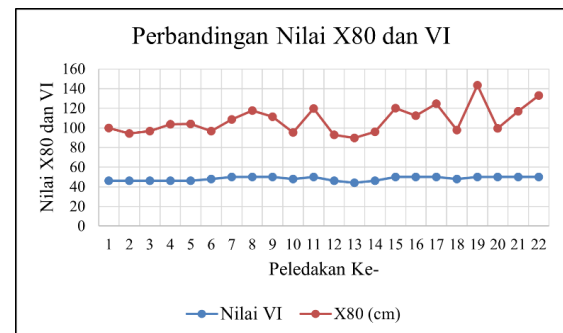
Gambar 14. Pembobotan nilai VI peledakan ke-1

| Peledakan Ke- | VI | Peledakan Ke- | VI |
|---------------|----|---------------|-------|
| 1 | 46 | 12 | 46 |
| 2 | 46 | 13 | 44 |
| 3 | 46 | 14 | 46 |
| 4 | 46 | 15 | 50 |
| 5 | 46 | 16 | 50 |
| 6 | 48 | 17 | 50 |
| 7 | 50 | 18 | 48 |
| 8 | 50 | 19 | 50 |
| 9 | 50 | 20 | 50 |
| 10 | 48 | 21 | 50 |
| 11 | 50 | 22 | 50 |
| Rata-rata | | | 59,74 |

Gambar 15. Nilai VI pada setiap peledakan

Gambar 15 menunjukkan hasil pembobotan nilai VI didapatkan nilai 59,94 yang mengidentifikasikan bahwa data penelitian masuk dalam kategori II (*Medium-High*), itu artinya fragmentasi dapat berpengaruh kepada aktivitas selanjutnya sehingga harus dilakukan perbaikan.

Selanjutnya nilai VI yang didapatkan dari pembobotan parameter RES dilakukan perbandingan dengan data ukuran 80% fragmentasi aktual menggunakan *software split desktop 2.0*. Hasil perbandingan menunjukkan bahwa terdapat hubungan korelasi yang cukup bagus seperti yang terlihat pada gambar 16.

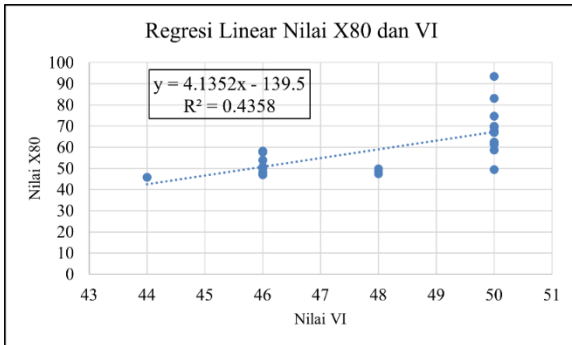


Gambar 16. Perbandingan Nilai X80 dan VI

Gambar 16 menunjukkan bahwa terdapat hubungan korelasi yang cukup bagus antara nilai X80 aktual dengan VI. Ketika grafik aktual naik dan turun, grafik VI RES juga mengikuti alurnya.

Selanjutnya dilakukan analisa statistik (regresi linear). Analisis statistik dilakukan untuk mengetahui seberapa kuat hubungan atau pengaruh antara ukuran fragmentasi batuan hasil peledakan dari metode prediksi dengan ukuran fragmentasi aktual. Selanjutnya rumus hasil regresi akan digunakan untuk menghitung ukuran X80 prediksi RES.

Analisis regresi antara hasil prediksi RES dengan kondisi aktual dapat dilihat pada gambar 17. Gambar 17 menunjukkan bahwa terdapat hubungan “sedang” antara nilai X80 aktual dengan nilai VI RES dengan $R^2 = 0,43$.



Gambar 17. Regresi Linear Nilai X80 dan VI

Hasil analisa regresi didapatkan persamaan untuk mendapatkan X80 dengan model RES, yaitu:

$$X80 = 4,1352(VI) - 139,5 \quad (7)$$

Persamaan (7), X80 adalah ukuran lolos 80%, VI adalah *vulnerability index* (indeks kerentanan).

Persamaan ini digunakan untuk memprediksi nilai X80 menggunakan model RES. Hasil perhitungan X80 menggunakan persamaan 7 dapat dilihat pada gambar 18. Gambar 18 menunjukkan bahwa hasil X80 RES menggunakan persamaan 8 terdapat fragmentasi berukuran *boulder* di lokasi peledakan dengan rata-rata 59,72 cm. Nilai ini hampir sama dengan rata-rata fragmentasi berukuran *boulder* aktual menggunakan *software Split Desktop 2.0*. yaitu berukuran 59,74 cm.

Selanjutnya hasil prediksi RES dilakukan uji eror menggunakan *root mean square error* (RMSE) sehingga didapatkan kesimpulan hasil evaluasi prediksi model RES untuk memprediksi fragmentasi batuan yang dapat dilihat pada tabel 5.

| Peledakan Ke- | X80 (cm) | Peledakan Ke- | X80 (cm) |
|------------------|----------|---------------|--------------|
| 1 | 50,71 | 12 | 50,71 |
| 2 | 50,71 | 13 | 42,22 |
| 3 | 50,71 | 14 | 50,71 |
| 4 | 50,71 | 15 | 67,26 |
| 5 | 50,71 | 16 | 67,26 |
| 6 | 58,98 | 17 | 67,26 |
| 7 | 67,26 | 18 | 58,98 |
| 8 | 67,26 | 19 | 67,26 |
| 9 | 67,26 | 20 | 67,26 |
| 10 | 58,98 | 21 | 67,26 |
| 11 | 67,26 | 22 | 67,26 |
| Rata-rata | | | 59,72 |

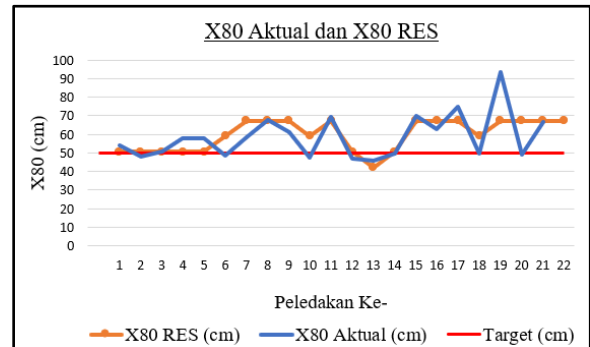
Gambar 18. Hasil X80 Rock Engineering System

Tabel 5. Hasil percobaan model RES

| Parameter | Hasil |
|------------------|------------------------|
| Jumlah Peledakan | 22 |
| R ² | 0,43 (Hubungan Sedang) |
| RMSE | 9,47 |

4.2.4 Analisa Efektivitas Model Rock Engineering System (RES)

Prediksi ukuran fragmentasi menggunakan metode model RES menghasilkan prediksi yang berbeda-beda dengan fragmentasi aktual di lapangan. Perbandingan prediksi metode tersebut dengan aktual dapat dilihat pada gambar 19.



Gambar 19. Perbandingan X80 aktual dan prediksi

Gambar 19 menunjukkan bahwa grafik prediksi fragmentasi menggunakan model RES memiliki alur yang serupa dengan alur grafik ukuran fragmentasi aktual. Akurasi prediksi metode ini didukung dengan nilai koefisien determinasi (R²) yang tinggi yaitu 0,43 serta RMSE yang rendah yaitu 9,47. Terdapat hubungan yang baik antara hasil fragmentasi aktual dengan model RES dengan tingkat eror yang rendah.

5 PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Ukuran geometri aktual di PT BRE menggunakan *burden* dan spasi 7,96 X 8,7 meter dengan nilai PF 0,15 kg/m³. Angka-angka ini belum sesuai dengan geometri yang direncanakan yaitu menggunakan *burden* dan spasi 8 X 9 meter dengan PF 0,14 kg/m³. Artinya, terdapat deviasi antara geometri aktual dan rancangan yaitu 0,04 pada *burden* dan 0,3 pada spasi.
2. Ukuran fragmentasi aktual di PT BRE masih terdapat *boulder* dengan 80% (X80) berukuran antara 45 – 93 cm dengan rata-rata berukuran 59 cm. Pada 22 aktivitas peledakan, terdapat 14 aktivitas peledakan yang menghasilkan *boulder* dengan ukuran mencapai 93,5 cm.
3. Ukuran fragmentasi prediksi menggunakan model RES 80% (X80) berkisar antara 42 – 67 cm dengan rata-rata berukuran 59 cm. Hal ini menunjukkan bahwa menurut prediksi model RES masih terdapat *boulder* pada aktivitas peledakan di PT BRE.
4. Model *Rock Engineering System* (RES) cukup efektif untuk memprediksi ukuran fragmentasi hasil peledakan dengan nilai koefisien determinasi (R²) antara ukuran fragmentasi aktual dan prediksi RES yaitu 0,43 yang mengidentifikasi bahwa terdapat hubungan “sedang” antara keduanya. Hal ini juga didukung dengan hasil uji *Root Mean Square Error* (RMSE) yang rendah yaitu hanya 9,37.

4.2 Saran

1. Sebaiknya parameter-parameter pengujian RES ditambah lagi agar hasil yang didapatkan lebih akurat namun tetap menyesuaikan dengan kondisi di lapangan.
2. Sebaiknya model RES bisa dijadikan acuan untuk memprediksi ukuran fragmentasi batuan hasil peledakan di lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Putri, M., Yulhendra, D., & Octova, A. (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.
- [2] Famarzi, F., Mansouri, H., & Farsangi, M. E. (2013). A rock engineering systems based model to predict rock fragmentation by blasting. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 60, 82-94.
- [3] Ghaeini Hesarouieh, N., Mousakhani, M., Bakhshandeh Amnieh, H., & Jafari, A. (2017). Prediction of fragmentation due to blasting using mutual information and rock engineering system; case study: Meydook copper mine. *International Journal of Mining and Geo-Engineering*, 51(1), 23-28.
- [4] Hasanipannah, M., Jahed Armaghani, D., Monjezi, M., & Shams, S. (2016). Risk assessment and prediction of rock fragmentation produced by blasting operation: a rock engineering system. *Environmental Earth Sciences*, 75, 1-12.
- [5] Mahyandra, A., & Yulhendra, D. (2020). ANALISIS PREDIKSI FRAGMENTASI PELEDAKAN TAMBANG TERBUKA DENGAN MENGGUNAKAN MODEL ROCK ENGINEERING SYSTEM (RES) DI PT XYZ. *Prosiding Temu Profesi Tahunan PERHAPI*, 731-742.
- [6] Feng, Xia-Ting. (2016). Rock Mechanics and Engineering Volume 3 Analysis, Modeling, and Design. Institute of Rock and Soil Mechanics. State Key Laboratory of Geomechanics and Geotechnical Engineering. Wuhan: China. 451-460.
- [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. Hustrulid, W. A. (1999). q Balkema
- [8] Hastono, Susanto Priyo. 2006. *Analisis Data SPSS*. Jakarta: Universitas Indonesia
- [9] Chai, T., & Draxler, R. R. (2014). Root mean square error (RMSE) or mean absolute error (MAE)?—Arguments against avoiding RMSE in the literature. *Geoscientific model development*, 7(3), 1247-1250