

Analysis of The Effect Explosive on Fragmentation

Graneta Hosano Putra *, Yuliadi, Elfida Moralista

Prodi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Islam Bandung, Indonesia.

*granetahosanop@gmail.com, yuliadi@unisba.ac.id, elfidamoralista95@gmail.com

Abstract. This study was conducted to determine the amount explosives used and fragmentation resulting from blasting activities using WipFrag Software. Methodology in study is to analyze the fragmentation resulting from blasting activities using WipFrag Software to match the criteria cofferdam material, namely 40-70 cm. Data required are burden, spacing, hole depth, stemming and the amount explosives. Calculation of the actual fragmentation distribution using WipFrag software obtained a chunk size of >70cm based on two geometries applied respectively by 20% and 30%. Furthermore, blasting geometry and blasting fragmentation distribution were redesigned to optimize fragmentation according to R. L Ash, C. J. Konya and Kuz-Ram. Based on the results the fragmentation analysis carried out according to Kuz-Ram, blasting geometry was obtained according to R.L Ash with a burden of 2.7 m, spacing of 3 m, hole depth of 6 m and using explosives of 13.87 kg/hole with PF 0.29. Fragmentation produced from this geometry is with an average size of rock fragmentation of 40-70 cm and produces chunks of >70cm of 19.21%. While the blasting geometry according to C.J Konya with a burden of 3.5 m, spacing of 3.8 m, Hole depth of 6 m and explosives of 11.08 kg/hole with PF of 0.14 produces chunks of >70cm of 16.50%.

Keywords: *Blasting, Explosive, Fragmentation.*

Abstrak. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui jumlah bahan peledak yang digunakan dan fragmentasi yang dihasilkan dari kegiatan peledakan menggunakan Software WipFrag. Metodologi dalam penelitian ini adalah menganalisis fragmentasi yang dihasilkan dari kegiatan peledakan dengan menggunakan Software WipFrag agar sesuai dengan kriteria material batu timbun (cofferdam) yaitu 40-70 cm. Data yang diperlukan adalah burden, spasi, kedalaman lubang, stemming dan jumlah bahan peledak. Perhitungan distribusi fragmentasi aktual menggunakan software WipFrag didapatkan ukuran bongkah >70cm berdasarkan dua geometri yang diterapkan berturut-turut sebesar 20% dan 30%. Selanjutnya dilakukan perancangan ulang geometri peledakan serta distribusi fragmentasi peledakan untuk mengoptimalkan fragmentasi menurut R. L Ash, C. J. Konya dan Kuz-Ram. Berdasarkan hasil analisis fragmentasi yang dilakukan menurut Kuz-Ram maka diperoleh geometri peledakan menurut R.L Ash dengan burden 2,2 m, spasi 3 m, kedalaman lubang 6 m dan menggunakan bahan peledak sebanyak 11,66 kg/hole. Fragmentasi yang dihasilkan dari geometri tersebut yaitu dengan ukuran rata-rata fragmentasi batuan 40-70 cm dan menghasilkan bongkah ukuran >70cm sebesar 19,21%. Sedangkan geometri peledakan menurut C.J Konya dengan burden 3,5 m, spasi 4 m, kedalaman lubang 6 m dan bahan peledak 11,66 kg/hole dengan PF 0,14 menghasilkan bongkah ukuran >70cm sebesar 18,27%.

Kata Kunci: *Blasting, Explosive, Fragmentation.*

A. Pendahuluan

Peledakan merupakan teknik fragmentasi batuan yang esensial dalam industri pertambangan, bertujuan untuk memecah massa batuan menjadi ukuran yang dapat diangkut dan diolah lebih lanjut. Proses ini melibatkan pembebanan energi tinggi dari bahan peledak (seperti ANFO atau emulsi) yang menghasilkan gelombang kejut (*shock wave*) dan tekanan gas untuk meretakkan batuan (Jimeno et al., 1995). Efektivitas peledakan bergantung pada parameter desain seperti spasi, burden, kedalaman lubang ledak (*bench height*), dan pola penyusunan delay (Persson et al., 1994). Selain itu, faktor geomekanik batuan seperti kekuatan tekan (*uniaxial compressive strength*/UCS) dan struktur geologi (kekar atau sesar) juga memengaruhi hasil fragmentasi (Bhandari, 1997).

Dalam rangka pembangunan bendungan memerlukan batu timbun (*cofferdam*) sehingga dilakukan peledakan untuk memenuhi permintaan dengan fragmentasi 40-70 cm. Dengan demikian penelitian ini dilakukan untuk mengetahui jumlah bahan peledak yang digunakan dan fragmentasi yang dihasilkan dari kegiatan peledakan berdasarkan Software WipFrag dan Teori Kuz-Ram (1973).

Material batu timbun yang ideal menurut Pedoman Kriteria Umum Desain Bendungan Tahun 2003 yaitu berukuran 40 – 70 cm. Dalam perencanaan kegiatan peledakan, perlu dilakukannya rancangan geometri yang baik agar mendapatkan hasil yang optimal.

Langkah utama dalam perancangan geometri peledakan yang baik agar sesuai dengan nilai fragmentasi yang dihasilkan yaitu dengan mempertimbangkan muatan bahan peledak dalam satuan kilogram (Kg) untuk setiap lubang ledak. Dengan demikian, perlu dilakukan kajian terhadap kegiatan peledakan tersebut untuk menentukan apakah ekonomis atau tidak.

Adapun identifikasi masalah pada kegiatan ini yaitu:

1. Adanya kebutuhan batu timbun (*Cofferdadm*) dengan fragmentasi 40-70 cm
2. Geometri dan Jumlah bahan peledak yang digunakan agar dapat menghasilkan fragmentasi 40-70 cm.

Adapun batasan masalah dalam penelitian adalah menganalisis hasil kegiatan peledakan menggunakan *Software WipFrag* agar menghasilkan fragmentasi 40-70 cm yang digunakan sebagai material batu timbun (*cofferdam*).

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka perumusan masalah dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Bagaimana geometri peledakan dan jumlah bahan peledak yang digunakan pada kegiatan peledakan ?
2. Bagaimana hasil fragmentasi yang dihasilkan berdasarkan *Software WipFrag* ?

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui geometri peledakan dan jumlah bahan peledak yang digunakan pada kegiatan peledakan serta mengetahui ukuran fragmentasi yang dihasilkan dari kegiatan peledakan berdasarkan Software WipFrag.

B. Metode

Data yang diperlukan dalam penelitian ini diperoleh dari hasil kegiatan pengamatan dan pengambilan data langsung di lapangan yang dilakukan di PT MMU Bukit Rejeki serta mendapatkan data sekunder dari berbagai literatur, yaitu:

1. Data Primer

Metode ini dilakukan dengan cara pengamatan dan pengukuran langsung pada lokasi kegiatan yang dilakukan berdasarkan parameter-parameter yang telah ditentukan meliputi data geometri peledakan aktual seperti burden, spasi, kedalaman lubang ledak, diameter lubang ledak dan jumlah bahan peledak sesuai kondisi di lapangan

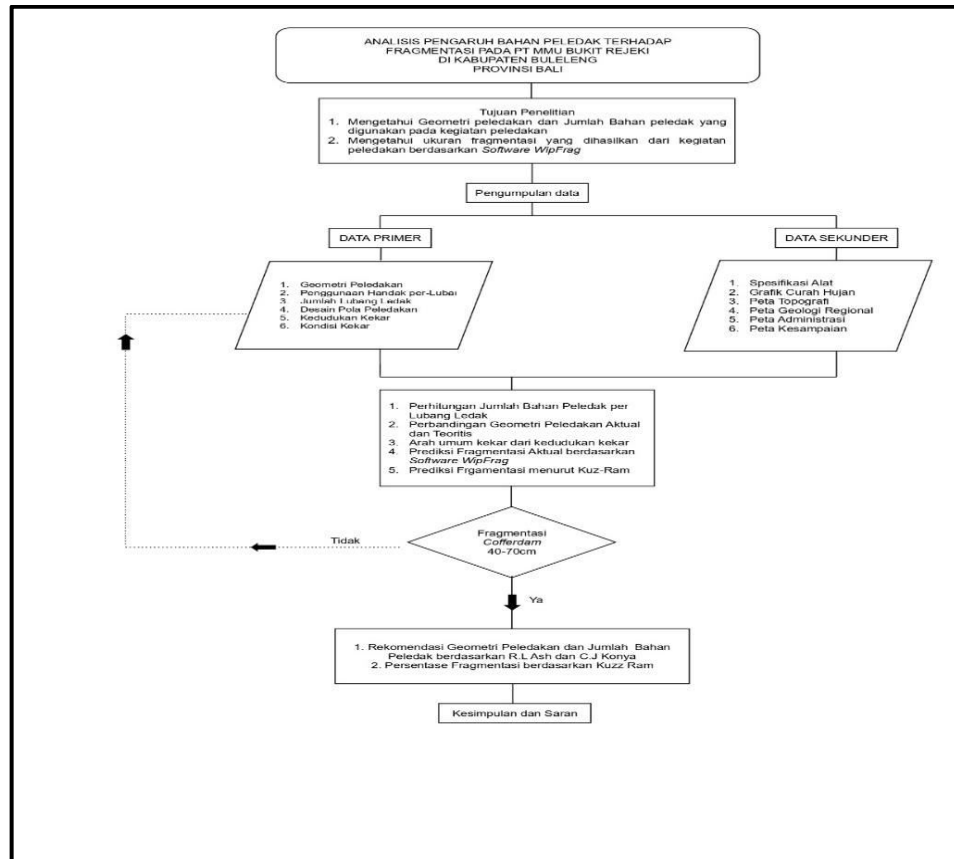
2. Data Sekunder

Metode ini dilakukan dengan mengkaji berbagai macam literatur yang berkaitan dengan penelitian meliputi Peta Topografi, Peta Administrasi, Peta kesampaian, Peta geologi, spesifikasi alat dan data Curah Hujan.

Data fragmentasi yang diambil berupa foto hasil peledakan yang dianalisis ukuran fragmentasinya menggunakan Software Wipfrag. Hasilnya, dapat menganalisis dengan cepat fragmentasi batuan dengan media foto hasil peledakan.

Setelah kegiatan pengambilan data di lapangan langkah selanjutnya yang akan dilakukan yaitu analisis hasil pengolahan data yang meliputi :

1. Penentuan Geometri Peledakan berdasarkan teori R.L Ash dan C.J Konya
 2. Penentuan Jumlah bahan peledak perlubang ledak
 3. Penentuan persentase fragmentasi hasil peledakan berdasarkan teori Kuz-Ram (1973).
- Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar dalam metodologi penelitian



Gambar 1. Metodologi Penelitian

C. Hasil Penelitian dan Pembahasan

Kegiatan utama yang dilakukan oleh perusahaan yaitu pembeaian yang dilakukan dua tahap drilling dan blasting, Dimana dari hasil kegiatan tersebut nantinya batuan akan dijadikan material batu timbun (*cofferdam*). Adapun data yang diambil yaitu geometri aktual dan penggunaan bahan peledak aktual. Hasil dari data yang didapatkan menggunakan software *WipFrag* akan didapatkan distribusi fragmentasi hasil peledakan. Peledakan yang dilakukan bertujuan untuk memberaikan batuan Andesit guna dijadikan material batu timbun (*cofferdam*), peledakan dilakukan oleh PT MMU Bukit Rejeki mulai dari proses pemboran hingga peledakannya. Pola peledakan menggunakan rangkaian seri, detonator yang digunakan yaitu listrik dengan delay disesuaikan pada jumlah lubang dan baris (*row*).

Jenis bahan peledak yang digunakan di PT. MMU Bukit Rejeki adalah *Ammonium Nitrate* (AN) yang dibeli dari PT MNK. Dimana nantinya bahan peledak ini akan dicampurkan antara *Ammonium Nitrate* (AN) dan *Fuel Oil*. Bahan peledak ini digunakan pada semua jenis kondisi lubang baik lubang kering maupun basah, dengan densitas 0,85 gr/cc, *Relative Weight Strength* (RWS) 0,75 dan kecepatan detonasi (*velocity of detonation*) bahan peledak sebesar 4400 – 5600 m/s.

Dari hasil penelitian didapatkan data geometri peledakan aktual rata-rata yang dilakukan PT. MMU Bukit Rejeki dari laporan harian peledakan.

Tabel 1. Geometri Peledakan Aktual

Geometri Peledakan					
NO	Tanggal Peledakan	Burden	Spasi	Stemming	Depth
		(m)	(m)	(m)	(m)
1	7 April 2023	2,25	3	3	6
2	11 April 2023	2,25	3	2,65	5,3
3	17 April 2023	2,25	3	2,8	5,6
4	21 April 2023	2,5	2,75	2,8	5,6
5	24 April 2023	2,5	2,75	2,35	4,7
	Rata-rata	2,35	2,9	2,72	5,44

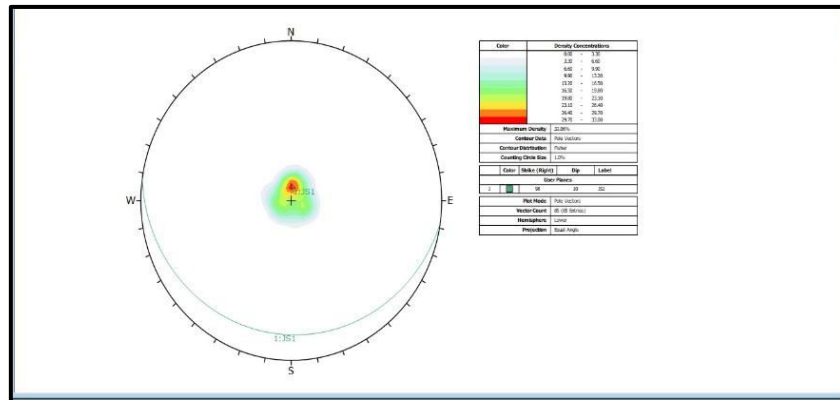
Sumber : Data Penelitian

Nilai *Powder Factor* didapatkan dari membagi bahan peledak yang digunakan dengan volume batuan yang akan diledakan. Berdasarkan diameter lubang ledak didapatkan nilai *loading density* yang digunakan yaitu sebesar 3,89 kg/m. Dari data geometri peledakan aktual dapat mengetahui volume (BCM) yang terberaikan dari hasil kegiatan peledakan, namun jika dalam satuan tonase didapatkan dengan mengalikan *volume* dengan densitas batuan. Nilai *Powder Factor*, *Loading Density*, *volume* dan tonase dapat dilihat pada Tabel dibawah.

Tabel 2. Nilai Powder Factor, Loading Density, dan Volume

Keterangan		7 April 2023	11 April 2023	17 April 2023	21 April 2023	24 April 2023
Loading Density (LD)	Kg/m			3,89		
Powder Factor (PF)	Kg/BCM	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29
Berat Handak (Qe)	Kg/lubang	11,67	10,30	10,89	10,89	9,14
Jumlah Lubang	Lubang	35	24	40	40	40
Volume Total	BCM	1.417,50	858,60	1.512,00	1.540,00	1.2922,50

Berdasarkan hasil analisis kekar dari software Dips pada lokasi penelitian memiliki arah umum kekar yang menuju kuadran 2 yaitu dengan nilai N102°E/10°. Arah umum tersebut untuk menentukan nilai Joint Plane Orientation (JPO).



Gambar 2. Analisis Kekar

Untuk mendapatkan nilai Rock Mass Description (RMD) perlu dilakukannya perhitungan RQD dengan metode scanline menggunakan rumus Priest & Hudson (1976).

$$\begin{aligned} \text{RQD} &= 100 (0,1 \times 17 + 1) e^{-0,1 \times 17} \\ &= 49,32\% \end{aligned}$$

Menurut Binicawski (1989) nilai RQD yang didapatkan pada lokasi penelitian termasuk batuan kategori Blocky dengan kondisi batuan Very blocky and seamy.

Tabel 3. Klasifikasi Batuan Berdasarkan Nilai RQD

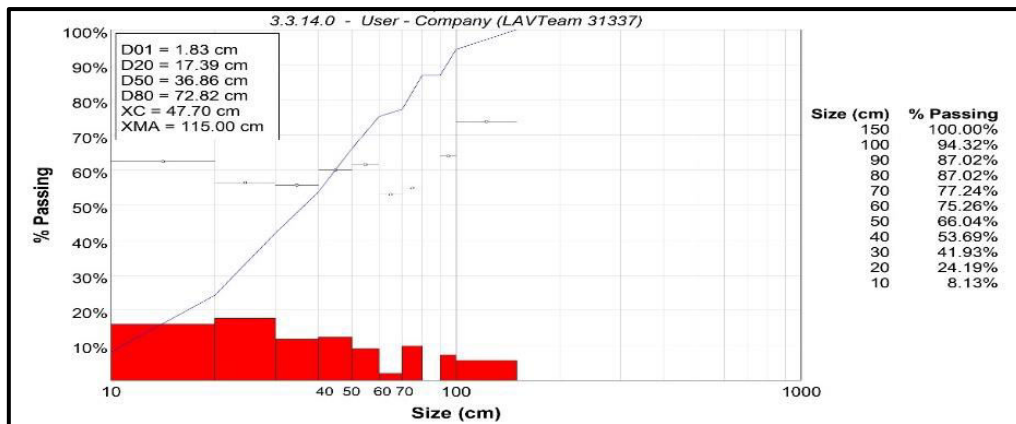
Kondisi Batuan	RQD %	RMD
<i>Hard and Intact</i>	95 – 100	<i>Massive</i>
<i>Hard Stratified or Schistose</i>	90 – 99	
<i>Massive moderately jointed</i>	85 – 95	
<i>Moderately blocky and seamy</i>	75 – 85	<i>Blocky</i>
<i>Very blocky and seamy</i>	30 – 75	
<i>Crushed but chemically intact</i>	3 – 30	<i>Friable</i>
<i>Sand and gravel</i>	0 – 3	

Sumber : Binicawski (1989)

Didapatkan Fragmentasi batuan hasil peledakan aktual yang dimana dari kelima pengamatan tersebut didapatkan hasil yang mendekati standar ukuran material batu timbun pada tanggal 7 April 2023 dan masih memiliki persentasi lolos tidak mencapai 80%.



Gambar 3. Fragmentasi Hasil Peledakan 7 April 2023



Gambar 4. Grafik Analisis Fragmentasi Hasil Peledakan 7 April 2023

Geometri aktual didapatkan dari hasil laporan harian PT MMU Bukit Rejeki. Sedangkan rekomendasi geometri peledakan dan jumlah bahan peledak didapatkan dari perhitungan teoritis menurut R.L Ash (1963) dan CJ Konya. Perbandingan geometri peledakan tersebut guna mendapatkan output geometri peledakan yang aktual dengan hasil fragmentasi yang sesuai dengan ukuran material batu timbun (*cofferdam*).

Tabel 4. Perbandingan Geometri Aktual dan Geometri Teoritis

Variabel	Aktual			Teoritis		Satuan
	07/04/23	11/04/23	17/04/23	R.L Ash	C.J Konya	
Rata-rata <i>Burden</i> (B)	2,25	2,25	2,25	2,2	3,5	m
Rata-rata <i>Spacing</i> (S)	3	3	3	3	4	m
<i>Stemming</i> (T)	2,75	2,75	2,75	3	3	m
<i>Subdrilling</i> (J)	0	0	0	0	0	m
<i>Loading Density</i> (LD)	3,89	3,89	3,89	3,89	3,89	kg/m
Kedalaman Lubang (H)	6	6	6	6	6	m
<i>Powder Column</i> (PC)	3	2,65	2,80	3	3	m
Berat Handak (Qe)	11,67	10,30	10,89	11,66	11,66	kg
<i>Powder Factor</i> (PF)	0,29	0,29	0,29	0,29	0,14	kg/BCM
Jumlah Lubang	35	24	40	35	35	-
<i>Volume</i> (BCM)	1.417,50	858.60	1.512,00	1.386,00	2.940,00	BCM
Tonase (ton)	1.4175	0.8586	1.5120	1.3860	2.9400	Ton

Sumber : Data Hasil Pengolahan

Berdasarkan data penelitian, dimana batuan Andesit pada lokasi penelitian memiliki berat jenis 2,3 ton/m³ dan kekerasan 61,655 MPa. Menurut Biniewicz (1989) maka batuan Andesit pada lokasi penelitian termasuk batuan cukup kuat. Untuk memprediksi fragmentasi hasil peledakan menurut Kuz-Ram diperlukan nilai *Blastability Index* dan faktor batuan :

$Blastability\ Index\ (BI) = 0,5\ (RMD + JPS + JPO + SGI + H)$

$$= 0,5 (20 + 10 + 10 + 7,5 + 5,5)$$

$$= 26,5$$

$$\text{Faktor Batuan (A)} = \text{BI} \times 0,12$$

$$= 26,5 \times 0,12$$

$$= 3,18$$

Berdasarkan data geometri peledakan dan penggunaan bahan peledak dapat diprediksi ukuran fragmentasi yang dihasilkan secara teoritis

Tabel 5. Prediksi Fragmentasi Teoritis

Standar Ukuran	R.L Ash		C.J Konya	
	Tertahan (%)	Lolos (%)	Tertahan (%)	Lolos (%)
40 cm	39,97	60,03	80,38	19,62
50 cm	31,38	68,62	60,95	39,05
60 cm	24,54	75,42	38,06	61,94
70 cm	19,21	80,79	18,27	81,73

Sumber : Data Pengolahan

Optimalisasi Geometri Peledakan dan Penggunaan Bahan Peledak

Untuk mengoptimalkan geometri peledakan dengan volume terberaikan yang diinginkan tanpa menghiraukan pertimbangan penggunaan *powder factor*, bahan peledak, dan volume batuan yang terberaikan maka dibuatlah rekomendasi geometri usulan.

Tabel 6. Geometri Teoritis

Parameter	Geometri		Satuan
	R.L Ash	C.J Konya	
Burden (B)	2,2	3,5	m
Spacing (S)	3	4	m
Kedalaman (H)	6	6	m
Subdrill (J)	0	0	m
Berat Handak (Qe)	11,66	11,66	kg/lubang
Powder Factor (PF)	0,29	0,14	kg/BCM
Volume	39.60	84.00	BCM/lubang
Tonase	3.960	8.400	Ton/lubang

Sumber : Data Olah Peneliti

Pembobotan Blastability Index dan Faktor Batuan

Dalam menganalisis fragmentasi batuan hasil peledakan menggunakan perhitungan berdasarkan metode Kuzz-Ram sangat dipengaruhi oleh nilai Blastability Index dan Faktor Batuan (Rock Factor) yang dapat ditentukan dengan pembobotan dari beberapa parameter yang telah dikembangkan oleh Lilly (1986). Parameter tersebut meliputi Rock Mass Description (RMD), Joint Plane Orientation (JPO), Joint Plane Spacing (JPS), Specific Gravity Influence (SGI), dan Hardness (H).

Rock Mass Description (RMD) yaitu susunan batuan utuh yang terpisah oleh bidang diskontinuitas berupa kekar. Bidang diskontinuitas dapat membuat kekuatan massa batuan menjadi berkurang. Didapatkan nilai Rock Quality Designation sebesar 49,32 pada daerah penelitian yang termasuk kedalam Rock Mass Description yang tergolong kondisi batuan Blocky dengan nilai bobot 20.

Joint Plane Spacing (JPS) berdasarkan keadaan aktual di lapangan didapat rata-rata spasi bidang kekar sebesar <1 m maka termasuk kedalam kelas close dengan bobot 10. Joint Plane Orientation (JPO) berdasarkan data didapatkan Horizontal dengan bobot 10.

Specific Gravity Influence (SGI) yaitu sifat batuan terkait berat jenis dan porositasnya. Berdasarkan hasil uji sampel yang dilakukan di Laboratorium didapatkan densitas batuan daerah penelitian sebesar 2,3 gr/cm³ maka didapatkan nilai SGI sebesar 7,5. Sedangkan Hardness (H) yaitu nilai kekerasan batuan berdasarkan skala Mosh terhadap nilai UCS dari batuan breksi tersebut, dimana

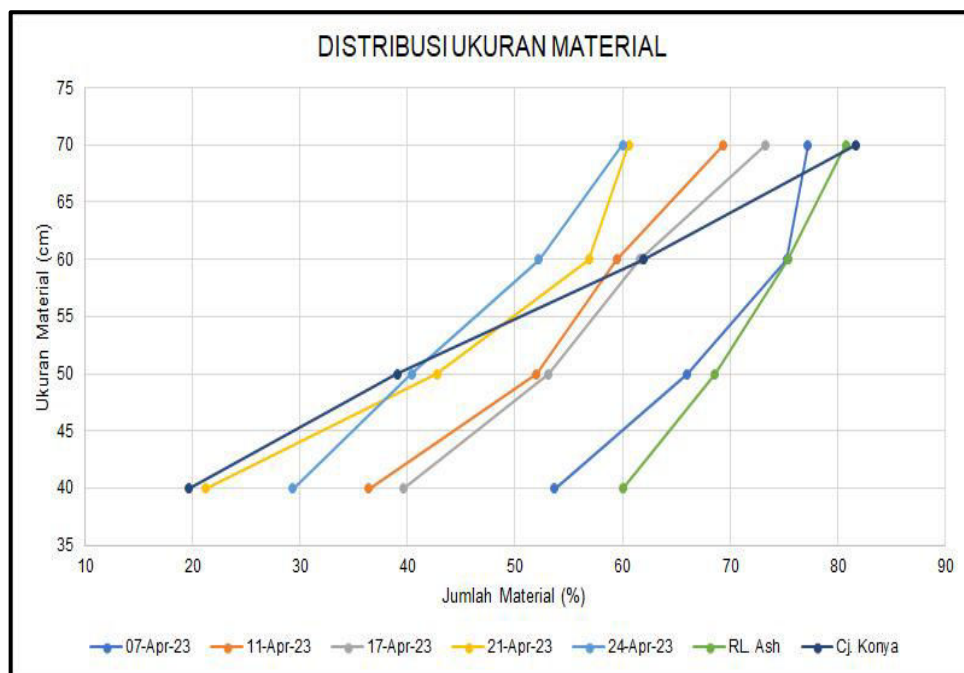
pada daerah penelitian memiliki nilai UCS 61,655 MPa. Menurut Binieawski (1989) termasuk kedalam klasifikasi batuan cukup kuat dengan skala Mosh 5,5. Dari parameter pembobotan massa batuan maka didapatkan nilai Blastability Index sebesar 26,5 dan Faktor Batuan sebesar 3,18.

Fragmentasi Batuan

Fragmentasi batuan hasil peledakan aktual yang dilakukan selama penelitian didapatkan bongkah yang dianalisis menggunakan Software WipFrag. Dari kelima geometri peledakan secara berturut-turut sebesar 22,76%, 31,61%, 26,67%, 39,44% dan 39,98%

Hasil tersebut menunjukkan bahwa bongkah hasil peledakan aktual terbilang cukup besar. Jika dibandingkan dengan geometri peledakan menurut R.L Ash dan C.J Konya persentase bongkah dengan ukuran >70 cm lebih kecil.

Grafik Hubungan Standar Ukuran dengan Material Tertahan. Berdasarkan grafik tersebut dapat dilihat bahwa geometri peledakan yang menghasilkan distribusi ukuran fragmentasi yang mencapai angka 80% yaitu geometri menurut R.L Ash dan C.J Konya.



Gambar 5. Grafik Hubungan Standar Ukuran dengan Material Tertahan

Berdasarkan grafik tersebut dapat dilihat bahwa geometri peledakan yang menghasilkan distribusi ukuran fragmentasi yang mencapai angka 80% diukur 70 cm yaitu geometri menurut R.L Ash dan C.J Konya. Berdasarkan ukuran fragmentasi rata-rata dan kelolosan bongkah, fragmentasi hasil perhitungan menggunakan geometri menurut R.L Ash dan C.J Konya dianggap paling optimal karena ukuran fragmentasi rata-rata yang dihasilkan tidak terlalu besar sehingga bisa dijadikan material batu timbun (*cofferdam*).

D. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian ini, peneliti menyimpulkan beberapa hasil penelitian sebagai berikut: (1) Agar mencapai target ukuran yang sesuai dengan material batu timbun (*cofferdam*) geometri peledakan yang digunakan yaitu geometri peledakan teoritis menurut R.L Ash dengan burden 2,5 m, spasi 3,5 m, kedalaman 6 m, jumlah bahan peledak 11,66 kg per lubang ledak dan geometri peledakan menurut C.J Konya dengan burden 3,5 m, spasi 4 m, kedalaman 6 m, jumlah bahan peledak 11,66 kg per lubang ledak, (2) Hasil Analisis fragmentasi aktual 5 kali peledakan menggunakan Software *WipFrag* berturut-turut diperoleh hasil yang paling baik yaitu hasil peledakan yang dilakukan pada tanggal 7 April 2023 menghasilkan bongkah dengan ukuran >70 cm 22,76%.

Selanjutnya direkomendasikan geometri peledakan menurut R.L Ash, C.J Konya dengan jumlah bahan peledak 11,66 kg perlubang ledak menggunakan Analisis Fragmentasi berdasarkan Kuz-Ram menghasilkan bongkah dengan ukuran >70 cm sebesar 19,47%.

Ucapan Terimakasih

Terima kasih kepada dosen pembimbing saya Bapak Ir. Yuliadi, S.T., M.T. IPM, dan Ibu Elfida Moralista, S.Si., M.T.yang telah membimbing saya dalam proses pembuatan skripsi ini saya harap hasil penelitian ini bisa bermanfaat untuk peneliti selanjutnya.

Daftar Pustaka

- Jati Nugroho, Yuliadi, & Yunus Ashari. (2024). Pengaruh Geometri Dan Penggunaan bahan Peledak Di kuari Batu Andesit Terhadap Jarak Flyrock. *Jurnal Riset Teknik Pertambangan*, 163–170. <https://doi.org/10.29313/jrtp.v4i2.5278>
- Risa Oktariyani, Sriyanti, & Sri Widayati. (2024). Analisis Desain terhadap Manajemen Stockpile Batubara di PT. Era Perkasa Mining. *Jurnal Riset Teknik Pertambangan*, 125–132. <https://doi.org/10.29313/jrtp.v4i2.5214>
- Rosdiana, H., Ashari, Y., & Fauzi Isniarno, N. (2025). *Pengaruh Intensitas Curah Hujan terhadap Kegiatan Pemompaan pada Sump Berdasarkan Water Balance di PT XYZ A B S T R A K*. <https://journal.sbpublisher.com/index.php/minetech>
- Anonim (2019). Recommendations on Transport of Dangerous Goods
- Anonim (2021). Blasters' Handbook: 20th Edition. International Society of Explosives Enginee
- Amin, I., & Salman, S. (2022). Fragmentation Analysis of Blasted Rock using WipFrag Image Analysis Software. *Journal of Mines, Metals and Fuels*.
- Ash, R. L. (1963). Design of blasting rounds. In *Surface Mining*.
- Bieniawski, Z. T. 1989. Engineering Rock Mass Classifications. New York
- Boggs, S. (2009). Petrology of Sedimentary Rocks (2nd ed.). Cambridge University Press.
- Bhandari, S. (1997). Engineering Rock Blasting Operations. A.A. Balkema.
- Collinson, J., Mountney, N., & Thompson, D. (2006). Sedimentary Structures (3rd ed.). Terra Publishing.
- Jimeno, C.L., Jimeno, E.L., & Carcedo, F.J.A. (1995). Drilling and Blasting of Rocks. CRC Press.
- Konya, C. J., & Walter, E. J. (1991). Rock blasting and overbreak control (No. FHWA-HI-92-001; NHI-13211). Security, 132, 430.
- Lily, 1986. An empirical method of assessing rock muss blastability. Julius KnittschnittMineral Research Center.
- Lukmana, A. (2020). Teknik Peledakan Modern. Penerbit ITB
- Meyer, R. (2022). Explosives 8th Edition. Wiley

- Nichols, G. (2009). *Sedimentology and Stratigraphy* (2nd ed.). Wiley-Blackwell.
- Persson, P.A., Holmberg, R., & Lee, J. (1994). *Rock Blasting and Explosives Engineering*. CRC Press.
- Sujiman, D. (2014). Kajian Geometri Peledakan Terhadap Fragmentasi Batuan Hasil Peledakan di Pit 4 Tuc PT Mega Prima Persada Kecamatan Loa Kulu, Kutai Kartanegara, Kalimantan Timur. *Jurnal Geologi*. 2(September), 1–13.
- Safarudin, S., Purwanto, P., & Djamaluddin, D. (2016). Analisis Pengaruh Geometri Peledakan Terhadap Fragmentasi dan Digging Time Material Blasting. *Jurnal Penelitian Enjiniring*, 20(2).
- Singh, P.K., & Roy, M.P. (2010). "Damage Control Blasting in Jointed Rocks". *Journal of Mines, Metals & Fuels*, 58(6), 169–174.
- Siskind, D.E., et al. (2000). *Structure Response and Damage Produced by Ground Vibration from Surface Mine Blasting*. US Bureau of Mines.
- Suryajyoti Nanda (2020) Analysis of Blast Fragmentation Using WipFrag. *International Journal of Innovative Science and Research Technology*
- Suseno, H. (2021). *Manajemen Bahan Peledak Industri*. Penerbit UGM Press
- Tucker, M. E. (2011). *Sedimentary Rocks in the Field* (4th ed.). Wiley.