

STUDI PERBANDINGAN HASIL PELEDAKAN MENGGUNAKAN ANFO DAN EMULSION PADA KUARI BATU GAMPING

COMPARATIVE STUDY OF BLASTING PERFORMANCE USING ANFO AND EMULSION AT THE LIMESTONE QUARRY

B. Cahyaningsih^{*1}, A. P. Putra², J. L. Manalu³

^{*1}Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya ²PT Semen Indonesia (Persero) Tbk, ³PT Dahana

^{*1}Jalan Raya Palembang-Indralaya KM 32, Indralaya, Kabupaten Ogan Ilir, Telp (0711) 580739

²Kantor Pusat Semen Indonesia, Kota Jakarta Selatan 12430

³Jl. Raya Subang - Cikamurang Km. 12 Cibogo, Kabupaten Subang 41285

e-mail: ^{*1}bimbicahyaningsih@ft.unsri.ac.id, ²arahman.panji@sig.id, ³josua.sarmagsipil@gmail.com

ABSTRAK

Kegiatan peledakan memiliki peran penting dalam proses penambangan batu gamping untuk kebutuhan suplai bahan baku pembuatan semen. Dalam implementasinya, aktivitas peledakan batu gamping di Indonesia paling umum menggunakan bahan peledak curah generasi pertama (1955) yaitu ANFO (*ammonium nitrat & fuel oil*) atau generasi kelima (1990) yaitu *Bulk Emulsion*. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi pengaruh jenis bahan peledak tersebut terhadap hasil peledakan dari aspek fragmentasi batuan, tingkat getaran dan intensitas kebisingan serta implementasi geometri peledakan di area operasional PT Dahana kuari batu gamping PT Semen Indonesia (Persero) Tbk, Site Tuban. Akusisi data penelitian dilakukan secara langsung (*primer*) dan juga tidak langsung (*sekunder*) yang selanjutnya diolah dengan *software* analisis distribusi fragmentasi (Kuz-Ram, 1983), pengukuran dengan alat *Micromate InstanTel*, dan *software* desain geometri peledakan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kedua jenis bahan peledak mampu menghasilkan kualitas fragmentasi sesuai spesifikasi *feeding crusher* (≤ 800 mm) dengan nilai rata-rata ANFO yaitu 97,79% (*top size* 694,75 mm) dan Emulsion yaitu 98,47% (*top size* 644,95 mm). Peledakan dengan ANFO menghasilkan nilai PPV rata-rata 1,00 mm/s dan kebisingan 57,2 dB, sedangkan untuk Emulsion nilai PPV rata-rata 1,24 mm/s dan kebisingan 110,98 dB. Jumlah lubang ledak menggunakan Emulsion dapat dikurangi dari 6.322 menjadi 4.093 lubang untuk volume batuan 929.087 ton yang dihasilkan. Secara keseluruhan, bahan peledak Emulsion terbukti lebih efisien dan efektif dari sisi geometri peledakan sederhana jika dibandingkan ANFO, namun tetap ramah lingkungan dalam kondisi geologi batu gamping di lokasi penelitian.

Kata kunci: ANFO, Emulsion, Fragmentasi, Getaran, Kebisingan

ABSTRACT

Blasting operations play a vital role in the limestone mining process to supply raw materials for cement production. In practice, limestone blasting activities in Indonesia commonly employ bulk explosives from either the first-generation (1955) ANFO or the fifth-generation (1990) Bulk Emulsion. This study aims to evaluate the effect of these explosive types on blasting outcomes in terms of rock fragmentation, ground vibration, noise intensity, and blasting geometry implementation in PT Dahana's operational area at limestone quarry of PT Semen Indonesia (Persero) Tbk, Tuban Site. Data were collected through both primary (field measurements) and secondary sources, and subsequently analyzed using fragmentation distribution software (Kuz-Ram, 1983), Micromate InstanTel vibration monitoring, and blasting geometry design software. The study results indicate that both explosive types produced fragmentation quality meeting the crusher feed specification (≤ 800 mm), with mean passing rates of 97.79% for ANFO (*top size* 694.75 mm) and 98.47% for Emulsion (*top size* 644.95 mm). Blasting with ANFO yielded an average peak particle velocity (PPV) of 1.00 mm/s and an average noise level of 57.2 dB, whereas Emulsion produced an average PPV of 1.24 mm/s and noise of 110.98 dB. The number of blast holes required when using Emulsion could be reduced from 6,322 to 4,093 for a produced rock volume of 929,087 tonnes. Overall, Emulsion explosives proved more efficient and effective in terms of simple blast geometry compared with ANFO, while remaining environmentally acceptable under the limestone geological conditions at the study site.

Keywords: ANFO, Emulsion, Fragmentation, Ground Vibration, Air Blast

PENDAHULUAN

Kegiatan pengeboran (*drilling*) dan peledakan (*blasting*) merupakan salah satu tahapan penting dalam proses penambangan untuk mengekstraksi material yang insitu menjadi material pecah agar bisa dilakukan pemuatan (*loading*) material ke dalam alat angkut. Batu gamping merupakan batuan sedimen non-klastik yang tergolong ke dalam batuan keras sehingga dalam proses pemecahan batuan dibutuhkan proses atau kegiatan peledakan. Kegiatan peledakan masih menjadi mayoritas aktivitas yang dilakukan pada tambang kuari batu gamping dalam melakukan pemberaian batuan agar dapat diproses lebih lanjut menjadi bahan baku industri semen di Indonesia.

Saat ini, aktivitas peledakan batu gamping di Indonesia paling umum menggunakan bahan peledak curah generasi pertama (1955) yaitu ANFO (*ammonium nitrat & fuel oil*) atau generasi kelima (1990) yaitu Bulk Emulsion [1], [2]. ANFO lebih dulu dikenal dan diaplikasikan pada kebanyakan tambang terbuka karena lebih mudah diaplikasikan dan memiliki harga yang relatif murah, namun juga memiliki kelemahan dan keterbatasan pengaplikasian pada karakteristik batuan jenis tertentu seperti kondisi batuan dengan kadar air tinggi atau permeabilitas rongga yang juga tinggi. Sedangkan Emulsion memiliki keunggulan untuk menjawab permasalahan air dan juga rongga tersebut serta kemampuan menghasilkan energi peledakan yang lebih besar dan konsisten. Meskipun demikian terkadang biaya produksi dan operasional penggunaan Emulsion dianggap lebih tinggi dibandingkan dengan menggunakan ANFO.

PT Dahana sebagai salah satu perusahaan penyedia bahan peledak nasional atau penyedia jasa pertambangan telah menerapkan kedua jenis bahan peledak tersebut pada berbagai area operasionalnya, termasuk pada kuari batu gamping [2]. Perbandingan kinerja antara ANFO dan Emulsion pada kondisi karakteristik geologi batuan dan operasi yang serupa menjadi penting untuk dikaji guna memperoleh pemahaman yang lebih mendalam mengenai efisiensi dan efektivitas masing-masing bahan peledak. Analisis tersebut diharapkan dapat memberikan dasar ilmiah dalam pengambilan keputusan teknis di lapangan, khususnya dalam menentukan jenis bahan peledak yang paling sesuai dengan kondisi batuan dan tujuan produksi.

Berdasarkan hal tersebut, perlu dilakukan analisis perbandingan hasil peledakan menggunakan ANFO dan Emulsion pada kuari batugamping di area operasional PT Dahana. Analisis dilakukan dengan meninjau parameter rencana dan hasil peledakan seperti geometri peledakan, ukuran fragmentasi batuan, tingkat getaran (*ground vibration*), dan efisiensi penggunaan bahan peledak [3], [4]. Hasil penelitian ini diharapkan dapat

memberikan kontribusi bagi peningkatan efektivitas kegiatan peledakan di industri pertambangan, serta menjadi referensi bagi penelitian dan pengembangan teknologi bahan peledak di Indonesia.

Pada penelitian sebelumnya yang telah dilakukan, Rahman et al. (2015) meneliti perbandingan kinerja ANFO dan Emulsion pada tambang granit di Bangladesh yang menunjukkan bahwa Emulsion memberikan hasil fragmentasi batuan yang lebih halus [5]; Kumar et al. (2022) menganalisis perbandingan produktivitas dan konsumsi bahan peledak antara ANFO dan Emulsion di tambang terbuka batubara yang menunjukkan bahwa Emulsion meningkatkan efisiensi pengeboran dan pengisian lubang ledak serta mengurangi kehilangan bahan peledak akibat kelembapan [6]. Pangestuti, Meitri Indar. (2024) melakukan analisis perbandingan kinerja ANFO dan Emulsion terhadap fragmentasi dan *digging time* pada tambang batubara [7]; serta Fatih et al (2025) melakukan analisis perbandingan kinerja ANFO dan Emulsion terhadap fragmentasi *overburden* yang juga pada area tambang batubara [8].

Dari berbagai penelitian tersebut, dapat disimpulkan bahwa perbandingan performa atau kinerja antara bahan peledak ANFO dan Emulsion telah banyak dikaji pada berbagai jenis batuan dan kondisi operasi, namun sebagian besar penelitian dilakukan pada tambang batubara atau granit, bukan secara spesifik pada kuari batu gamping di Indonesia [5]-[10]. Selain itu, sebagian besar studi hanya berfokus pada satu atau dua parameter, seperti fragmentasi atau getaran tanah, tanpa mengaitkannya secara komprehensif dengan geometri peledakan, efisiensi bahan peledak, serta hasil operasional lapangan secara menyeluruh.

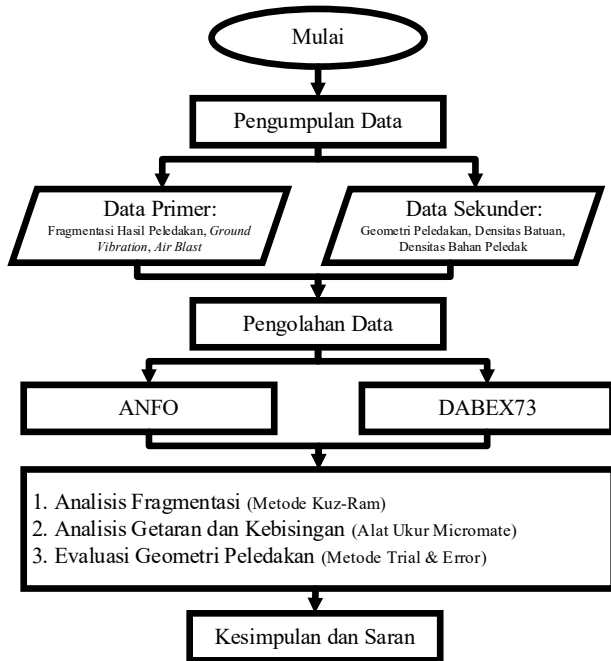
Oleh karena itu, penelitian ini memiliki kebaruan dalam konteks analisis komparatif performa bahan peledak ANFO dan Emulsion pada batuan gamping dengan mempertimbangkan parameter teknis peledakan yang lengkap (geometri, fragmentasi, getaran, dan efisiensi penggunaan bahan peledak) di lingkungan operasional PT Dahana. Kajian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi ilmiah dan praktis dalam menentukan jenis bahan peledak yang paling sesuai untuk kondisi geologi dan target produksi pada tambang kuari batu gamping di Indonesia.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan pada salah satu area operasional PT Dahana, tepatnya pada tambang kuari area IUP Operasi Produksi Batu Gamping Temandang (752,8 Ha) milik PT Semen Indonesia (Persero) Tbk site Tuban, Provinsi Jawa Timur.

Penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi tingkat efektivitas hasil kegiatan peledakan tambang kuari batu

gamping baik dengan menggunakan ANFO ataupun Emulsion. Produk ANFO yang digunakan dalam penelitian ini adalah “AN Prilled + Fuel Oil” sedangkan Emulsion yang digunakan adalah brand “DABEX73” [2]. Periode waktu penelitian yaitu berlangsung selama kurang lebih enam bulan mulai dari bulan Februari hingga Juli 2025. Alur penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Pengumpulan Data

Dalam mendukung analisis perbandingan yang akan dilakukan, perlu dilakukan pengumpulan data baik secara primer (dilakukan pengamatan langsung di lapangan) maupun secara sekunder (dikutip dari literatur yang telah tersedia atau laporan perusahaan). Berikut penjelasan mengenai data primer dan sekunder yang diolah pada penelitian ini.

Data Primer

Data primer yang diakusisi dalam penelitian ini, yaitu:

1. Fragmentasi Hasil Peledakan

Dalam melakukan pengumpulan data fragmentasi hasil peledakan, dilakukan pengamatan langsung terhadap distribusi fragmentasi setelah kegiatan peledakan selesai dilakukan. Pengamatan ini dilakukan pada sepuluh (10) lokasi peledakan dengan cara mendokumentasikan menggunakan perangkat kamera. Kemudian foto yang dihasilkan diolah dengan menggunakan *software* dan mengadopsi sistem perhitungan distribusi fragmentasi dengan metode Kuz-Ram.



Gambar 2. Fragmentasi Hasil Peledakan

2. Getaran dan Kebisingan

Data yang diambil dalam kegiatan pengukuran getaran dan kebisingan akibat proses peledakan yaitu menggunakan alat Micromate InstanTel (*serial number*: UM23467). Alat *seismograf* tersebut akan merekam gelombang *transversal*, *longitudinal* dan *vertical* dengan 3 (tiga) unit *Geophone Sensor* [11]. Sedangkan untuk merekam suara kebisingan yang digunakan adalah 1 (satu) buah *microphone* [12].



Gambar 3. Pengambilan Data Getaran dan Kebisingan

Data Sekunder

Data sekunder yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

1. Geometri Peledakan

Geometri peledakan terdiri atas *burden*, *spacing*, *bench height*, *blast hole*, *sub drilling*, *priming charge*, *air decking*, dan *stemming* [13]. Selain itu juga data jumlah lubang ledak yang terdapat pada satu lokasi peledakan. Data tersebut diambil dari rencana geometri peledakan yang telah ditetapkan sebelum proses pengeboran dilakukan.

2. Densitas Batuan

Batu gamping pada lokasi penelitian merupakan batuan sedimen non-klastik yang berasal dari sisa-sisa organisme dengan karakteristik yang cukup unik. Secara kimiawi batu gamping pada lokasi mengandung komposisi dominan *kalsium karbonat* (CaCO_3) namun juga pada beberapa lokasi terdapat kandungan *magnesium karbonat* (MgCO_3) yang bervariasi. Batu gamping tersebut juga memiliki porositas dan permeabilitas yang relatif tinggi, ditunjukkan dengan kemampuan untuk mengalirkan air ke bawah permukaan. Nilai besaran densitas rata-rata diambil dari data pada laporan studi kelayakan perusahaan. Densitas rata-rata batu gamping yang digunakan sebagai data sekunder yaitu $1,6 \text{ ton/m}^3$.

3. Densitas Bahan Peledak

Densitas bahan peledak yang digunakan mereferensi dari propertis teknis produk milik PT Dahana. ANFO memiliki densitas yaitu $0,8 \text{ gr/cc}$ (di bawah densitas air) sedangkan DABEX73 memiliki densitas yaitu $1,2 \text{ gr/cc}$ (di atas densitas air) [2].



SPEKIFIKASI TEKNIS
TECHNICAL SPECIFICATIONS

PROPERTIES	ANFO	EMULSION
Bulk Density (gr/cc)	0,80 - 0,84	1,15 - 1,20
Water Resistance	Poor	Excellent
VOD (m/s)	3000 - 4000	4000 - 5500
Critical Diameter Borehole (inch)	1,5	3
Color	Rose	White

Gambar 4. Propertis Teknis ANFO dan DABEX73

HASIL DAN PEMBAHASAN

Geometri Peledakan

Dalam menentukan desain rancangan geometri peledakan, menggunakan metode *rule of thumb* dan analisis menggunakan *software* desain peledakan. Penentuan besaran *burden*, *spacing* dan *depth* didasarkan pada kondisi lapangan, atas dimensi lereng yang telah terbentuk sebelumnya setelah kegiatan *loading* batu gamping dilakukan. Perbedaan tinggi lereng tambang

terbuka di setiap lokasi menyebabkan variasi dalam penerapan *burden* dan *spacing*.

Selama periode penelitian, didapatkan nilai geometri peledakan dengan menggunakan bahan peledak jenis DABEX73 (Tabel 1). Total jumlah lubang ledak yaitu sebanyak 4.093 lubang dengan *burden* rata-rata 3,8 meter, *spacing* rata-rata 4,9 meter, dan *depth hole* rata-rata 7,8 meter. Pada periode penelitian telah dikonsumsi bahan peledak DABEX73 sebanyak 300.600 kg dengan volume batu gamping yang dihasilkan sebanyak 929.087 ton. Artinya nilai PF (*powder factor*) yang dihasilkan yaitu $0,32 \text{ kg/ton}$.

Tabel 1. Geometri Peledakan DABEX73

Periode	Total Hole	B (m)	S (m)	DH (m)	Vol (ton)	DABEX73 (kg)	PF (kg/ton)
Feb-25	292	3,8	5	7,8	69.688	22.997	0,33
Mar-25	1050	3,5	4,7	7,1	192.491	71.222	0,37
Apr-25	508	3,8	4,9	8,2	127.206	52.154	0,41
May-25	766	3,9	5	7,4	173.527	55.529	0,32
Jun-25	834	3,6	5	8,2	198.805	57.653	0,29
Jul-25	643	4	5	8,2	167.370	46.864	0,28
Total	4.093	3,77	4,93	7,8	929.087	300.600	0,32

Jika dilakukan analisis perbandingan dengan data empiris penggunaan bahan peledak jenis ANFO, maka akan didapat perbedaan nilai sebagaimana yang terdapat pada Tabel 2. Dimensi geometri peledakan *existing* dengan menggunakan ANFO yaitu *burden* rata-rata 3 meter, *spacing* rata-rata 4 meter, dan *depth hole* rata-rata 7,8 meter. Untuk mencapai volume batu gamping terledakan sebanyak 929.087 ton dengan asumsi densitas rata-rata batu gamping sebesar $1,6 \text{ kg/ton}$, maka jumlah lubang ledak harus ditambah sebanyak 2.230 lubang.

Berdasarkan data pada periode yang sama, nilai PF dengan menggunakan bahan peledak ANFO adalah sebesar $0,316 \text{ kg/ton}$. Nilai tersebut didapat dari penggunaan ANFO sebanyak 883.372 kg dengan material terledakan yang dihasilkan adalah sebanyak 2.795.672 ton batu gamping.

Tabel 2. Perbandingan Geometri ANFO dan DABEX73

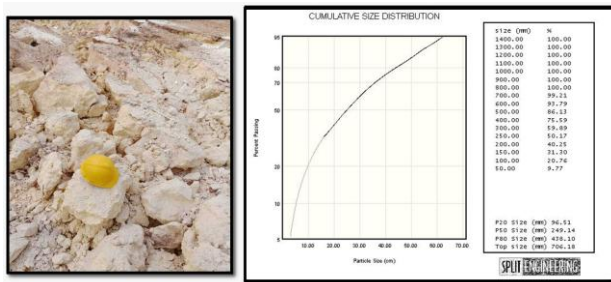
Explosive	Vol (ton)	B (m)	S (m)	DH (m)	Density (ton/m ³)	Total Hole
ANFO	929.087	3	4	7,8	1,6	6.322
DABEX73	929.087	3,8	4,9	7,8	1,6	4.093
Selisih						2.230

Dengan adanya selisih lubang ledak untuk mencapai volume/tonnage ledak tertentu antara penggunaan ANFO dan DABEX73, maka tingkat efisiensi dan efektivitas

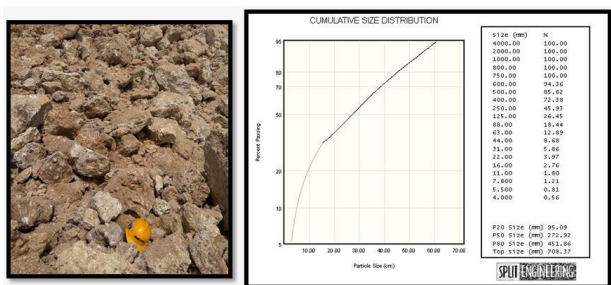
DABEX73 lebih baik dari sisi geometri peledakan (*burden, spacing, depth*) dibandingkan ANFO, termasuk dalam hal pengurangan jumlah pemakaian *dynamite* dan *detonator*.

Analisis Fragmentasi

Fragmentasi batuan hasil peledakan menggunakan ANFO dan DABEX73 dilakukan analisis perbandingan dengan menggunakan *software engineering* untuk mengukur distribusi batuan yang telah pecah (*splited*). Pendekatan yang digunakan adalah dengan metode Kuz-Ram (Cunningham, 1983), yaitu penggabungan antara persamaan fragmentasi Kuznetsov (1973) dan persamaan distribusi Rosin-Ramler (1933) [14]. Tujuan akhirnya adalah produk batu gamping pecah untuk kebutuhan proses *loading material* menggunakan *excavator* setara *operating weight* 30 ton (*bucket capacity* 2,3 m³) menuju *feed crusher*, maka diameter fragmentasi maksimal yang diharapkan tidak lebih dari 800 mm (80 cm).



Gambar 5. Sampling Analisis Distribusi Fragmentasi Menggunakan ANFO



Gambar 6. Sampling Analisis Distribusi Fragmentasi Menggunakan DABEX73

Dalam melakukan analisis perbandingan distribusi fragmentasi hasil peledakan, titik pengamatan lokasi peledakan dengan menggunakan ANFO dilakukan pada 7 (tujuh) lokasi dengan masing-masing terdiri dari 3-4 foto (sisi dan sudut pandang). Sedangkan titik pengamatan peledakan dengan menggunakan Emulsion dilakukan pada 10 (sepuluh) lokasi dengan masing-masing terdiri dari 2-3 foto (sisi dan sudut pandang).

Selanjutnya masing-masing foto tersebut diolah dengan menggunakan *software engineering*. Dapat dilihat pada Gambar 5 dan 6 salah satu *sampling* analisis distribusi fragmentasi batuan hasil peledakan dengan menggunakan ANFO dan Emulsion.

Tabel 3. Distribusi Fragmentasi Menggunakan ANFO

No	Lokasi	Sampel	Ukuran Sieve (mm)			Size (mm)	Top Size
			400	600	800	P80	
1	Lokasi YZ17	Foto 1	57,56%	89,72%	100%	523,43	752,52
		Foto 2	63,40%	90,87%	100%	507,50	750,19
		Foto 3	56,89%	86,48%	100%	545,86	760,69
2	Lokasi GG5	Foto 1	45,08%	72,71%	96,08%	675,00	836,40
		Foto 2	33,72%	59,15%	87,88%	741,05	900,17
		Foto 3	50,16%	95,32%	100%	514,57	630,34
3	Lokasi Y5	Foto 1	49,20%	88,49%	96,47%	543,00	726,52
		Foto 2	70,61%	95,39%	100%	454,13	654,91
		Foto 3	75,59%	93,79%	96,39%	438,10	706,18
4	Lokasi Y4	Foto 1	60,44%	95,87%	100%	503,22	638,5
		Foto 2	89,95%	100%	100%	322,16	523,96
		Foto 3	72,24%	93,98%	100%	446,81	864,32
5	Lokasi PQ15	Foto 1	100%	100%	100%	179,94	295,75
		Foto 2	55,63%	87,39%	100%	537,49	761,12
		Foto 3	38,82%	67,35%	85,97%	732,32	980,55
6	Lokasi U18	Foto 1	70,94%	100%	100%	439,87	584,56
		Foto 2	100%	100%	100%	234,63	373,36
		Foto 3	71,89%	92,70%	100%	452,93	751,27
7	Lokasi X4	Foto 1	90,03%	100%	100%	337,21	529,76
		Foto 2	57,56%	89,72%	100%	523,43	752,52
		Foto 3	63,40%	90,87%	100%	507,50	750,19
		Foto 1	56,89%	86,48%	88,67%	545,86	760,69

Tabel 4. Distribusi Fragmentasi Menggunakan DABEX73

No	Lokasi	Sampel	Ukuran Sieve (mm)			Size (mm)	Top Size
			400	600	800	P80	
1	Lokasi N11	Foto 1	87,63%	100%	100%	348,71	523,80
		Foto 2	72,38%	94,36%	100%	451,86	718,37
		Foto 3	70,66%	93,66%	100%	468,21	690,12
2	Lokasi U12	Foto 1	92,77%	100%	100%	312,22	515,89
		Foto 2	93,11%	100%	100%	305,61	484,37
		Foto 3	74,71%	86,94%	96,47%	462,29	878,22
3	Lokasi M12	Foto 1	77,26%	99,50%	100%	413,32	599,99
		Foto 2	64,10%	85,28%	96,39%	532,30	873,51
		Foto 3	87,22%	99,75%	100%	354,88	590,17
4	Lokasi Y4	Foto 1	89,95%	100%	100%	322,16	523,96
		Foto 2	72,24%	93,98%	100%	446,81	864,32
		Foto 3	100%	100%	100%	179,94	295,75
5	Lokasi N13	Foto 1	85,91%	100%	100%	365,45	555,97
		Foto 2	95,20%	100%	100%	297,67	482,07
		Foto 3	72,24%	93,98%	100%	446,81	684,32
6	Lokasi L13	Foto 1	82,61%	100%	100%	382,43	581,52
		Foto 2	72,24%	93,98%	100%	446,81	684,32
		Foto 3	96,63%	100%	100%	299,73	438,19
7	Lokasi H5	Foto 1	55,59%	84,39%	98,03%	563,43	859,79
		Foto 2	83,39%	97,14%	100%	369,90	647,51
		Foto 3	46,12%	71,28%	88,67%	675,56	1037,13
8	Lokasi FF2	Foto 1	100%	100%	100%	210,97	332,41
		Foto 2	99,61%	100%	100%	184,85	398,25
		Foto 3	91,51%	100%	100%	289,35	508,69
9	Lokasi GG11	Foto 1	60,47%	82,90%	95,27%	573,55	950,46
		Foto 2	41,20%	63,35%	80,75%	789,81	1235,41
		Foto 3	63,06%	89,94%	100%	511,74	738,08
10	Lokasi DD11	Foto 1	85,78%	100%	100%	349,05	561,95
		Foto 2	97,67%	100%	100%	274,06	449,00

Dari kedua jenis bahan peledak masih terdapat masing-masing empat lokasi peledakan dari salah satu atau semua sisi yang terdapat material dengan ukuran diameter lebih dari 800 mm (Tabel 3 dan 4), dengan nilai rata-rata menggunakan ANFO yaitu 97,79% (*top size* 694,75 mm) dan Emulsion yaitu 98,47% (*top size* 644,95 mm). Ketidaktercapaian ukuran fragmentasi sesuai target

bisa disebabkan beberapa hal antara lain karakteristik batuan, struktur geologi batuan, teknis pengisian bahan peledak, teknis pengeboran dan lain sebagainya. Namun secara keseluruhan peledakan menggunakan ANFO maupun DABEX73 memiliki tingkat keberhasilan yang cukup tinggi untuk memenuhi persyaratan sebagai *feeder crusher*. Material yang belum memenuhi persyaratan akan dilakukan *rehandling* dengan menggunakan *hydraulic breaker* atau *excavator* sebagai alat *loading*.

Getaran dan Kebisingan

Tingkat nilai ambang batas getaran dan kebisingan akibat dari hasil kegiatan peledakan tambang, diatur dalam standar teknis SNI 7571: 2023 (*ground vibration*) dan SNI 7570: 2023 (*air blast*) dapat dilihat pada Tabel 5 dan Tabel 6. Kegiatan pengukuran getaran dan kebisingan dilakukan di 19 (sembilan belas) titik lokasi pada masing-masing hari yang berbeda. Mengacu pada standar tersebut dan prosedur yang telah ditetapkan oleh perusahaan berlandaskan observasi terhadap bangunan yang berada di sekitar area tambang, maka diharapkan hasil pengukuran tingkat getaran yang didapat bernilai di bawah 3 mm/s (PPV) dan tingkat kebisingan di bawah 110 dB(A) untuk paparan maksimal 0,5 jam/hari.

Tabel 5. Baku Tingkat Kebisingan SNI 7570: 2023 [11]

Peruntukan Kawasan/ Lingkungan Kegiatan	Tingkat kebisingan dB (A)	Maksimal durasi terpapar (jam/ hari)
a. Lingkungan Kegiatan Tambang Terbuka		
1. Transportasi kendaraan darat	90	8
2. Pengeboran	100	2
3. Peledakan	110	0,5
4. Mesin peremuk batu (<i>crushing plant</i>)	100	2
5. Genset	100	2
6. Pompa	90	8
7. Alat-alat yang lain	>110	0,5

Tabel 6. Kelas, Jenis Infrastruktur, Frekuensi dan *Peak Particle Velocity* (PPV) SNI 7571: 2023 [12]

Kelas	Jenis Infrastruktur	Frekuensi (Hz)	PPV (mm/s)
1	Bangunan kuno dan cagar budaya yang dilindungi sesuai peraturan perundangan terkait cagar budaya yang berlaku	0 sampai 5	2
		5 sampai 20	3
		20 sampai 100	5
2	Bangunan dengan pondasi, pasangan bata dan adukan semen saja, termasuk bangunan dengan pondasi dari kayu dan lantainya diberi adukan semen	0 sampai 5	3
		5 sampai 20	5
		20 sampai 100	7
3	Bangunan dengan pondasi, pasangan bata dan adukan semen diikat dengan <i>sloof</i> beton, bangunan panggung dari kayu yang diikat dengan ring balok menyatu dari bawah ke atas	0 sampai 5	5
		5 sampai 20	7
		20 sampai 100	12
4	Bangunan dengan pondasi, pasangan bata dan adukan semen <i>sloof</i> beton, kolom dan rangka diikat dengan ring balok	0 sampai 5	7
		5 sampai 20	12
		20 sampai 100	20
5	Bangunan dengan pondasi, pasangan bata dan adukan semen, <i>sloof</i> beton, kolom dan diikat dengan rangka baja, jembatan rangka baja, pipa gas/ minyak/ air, tangki bahan bakar cair dipermukaan tanah atau ditimbun, sambungan udara tegangan ekstra tinggi, menara telekomunikasi, jalan umum, rel kereta dan bendungan	0 sampai 5	12
		5 sampai 20	24
		20 sampai 100	40

Jarak pengukuran dengan titik lokasi peledakan berkisar antara 300–500 meter, untuk mengetahui dampak peledakan mengacu kepada aturan yang telah ditetapkan pada Kepmen ESDM No. 1827 Tahun 2018 Lampiran II Pedoman Pengelolaan Teknis Pertambangan, Huruf E. Kegiatan, Pasal 6. Ayat b. 2) a) iii (ix) "*jarak aman peledakan bagi alat dan fasilitas pertambangan 300 (tiga ratus) meter serta bagi manusia 500 (lima ratus) meter dari batas terluar peledakan diukur pada jarak horizontal dan/atau berdasarkan kajian teknis;*" [15].

Tabel 7. Getaran dan Kebisingan Peledakan Menggunakan ANFO

NO.	TANGGAL	LOKASI	PPV (mm/s)	AIR BLAST (dB)	DIS. (m)
1	06 Mar 25	FF2	0,89 (T)	52,9	170
2	17 Jun 25	M18	0,51 (L)	53,1	450
3	16 Jul 25	O16	0,52 (T)	60,8	470
4	17 Jul 25	O14	0,43 (T)	67,6	720
5	22 Jul 25	FF03	0,28 (L)	61,6	360
6	29 Jul 25	N11	0,45 (L)	40,0	840
7	29 Jul 25	OP16	1,20 (T)	67,9	500
8	30 Jul 25	X4	3,28 (L)	55,1	240
9	30 Jul 25	Y4	1,44 (T)	55,8	260
RATA -RATA			1,00	57,20	446

Tabel 8. Getaran dan Kebisingan Peledakan Menggunakan DABEX73

NO.	TANGGAL	LOKASI	PPV (mm/s)	AIR BLAST (dB)	DIS. (m)
1	16 Mei 25	N11	1,9 (L)	119,5	500
2	19 Mei 25	U12	1,0 (L)	112,2	450
3	21 Mei 25	M12	1,5 (L)	105,9	400
4	23 Mei 25	Y4	2,3 (T)	111,8	300
5	27 Mei 25	N13	0,4 (L)	114,8	500
6	28 Mei 25	L13	1,5 (L)	116,4	500
7	02 Jun 25	II5	1,0 (T)	112,3	500
8	03 Jun 25	FF2	0,5 (L)	82,5	500
9	04 Jun 25	GG11	1,8 (V)	114,6	450
10	05 Jun 25	DD11	0,5 (L)	119,8	500
RATA -RATA			1,24	110,98	460

Hasil pengamatan tingkat getaran dan kebisingan dapat dilihat pada Tabel 7 dan 8. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan alat *Micromate InstanTel* (Gambar 7).

Berdasarkan hasil pengukuran tingkat getaran kegiatan peledakan, didapatkan nilai rata-rata maksimal PPV yaitu 1,00 mm/s untuk penggunaan ANFO dan 1,24 mm/s untuk penggunaan Emulsion. Kedua hasil tersebut masih berada di bawah ambang batas SNI 7571: 2023 serta standar maksimum yang telah ditetapkan sesuai prosedur perusahaan. Jika dibandingkan dari hasil tersebut maka getaran menggunakan ANFO relatif sedikit lebih kecil jika dibandingkan dengan Emulsion.

Hal tersebut bisa disebabkan oleh beberapa faktor, namun pengaruh terbesar diasumsikan karena bahan peledak jenis Emulsion memiliki nilai VOD (*velocity of detonation*) yang lebih besar dibandingkan dengan bahan peledak jenis ANFO.

Sedangkan hasil pengukuran tingkat kebisingan kegiatan peledakan, didapat nilai rata-rata *air blast* yaitu 57,20 dB (di bawah ambang batas) untuk penggunaan ANFO dan 110,98 dB untuk penggunaan Emulsion. Jika merujuk pada SNI 7570: 2023, maka tingkat kebisingan dengan menggunakan Emulsion berada sedikit di atas nilai ambang batas. Disarankan untuk dilakukan evaluasi penggunaan *stemming* dan para pekerja diharapkan tidak terpapar lebih dari 0,5 jam/hari.

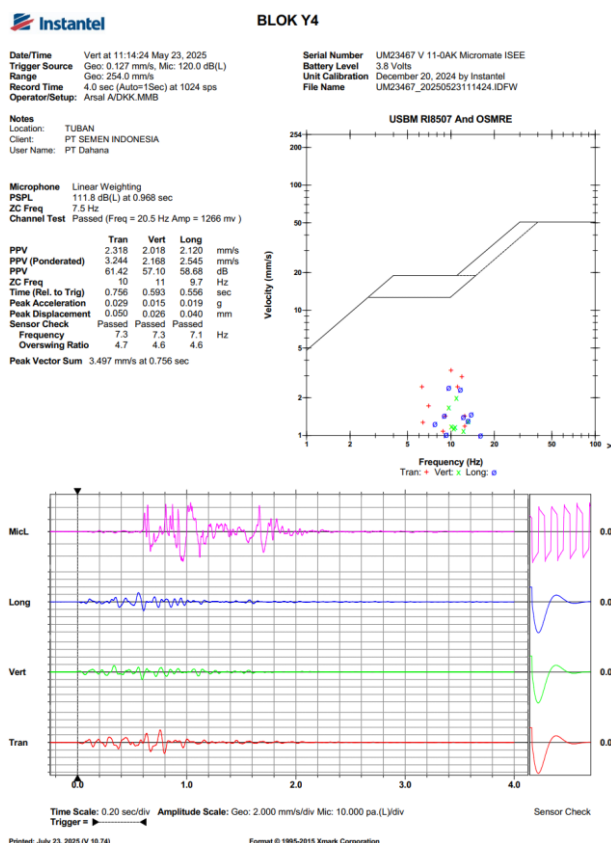
1,6 kg/m³) sebanyak 929.087 ton dengan kedalaman lubang ledak 7,8 meter, jika peledakan menggunakan Emulsion dibutuhkan lubang ledak sebanyak 4.093 lubang sedangkan jika menggunakan ANFO dibutuhkan lubang ledak sebanyak 6.322 lubang.

Hasil pengamatan distribusi ukuran fragmentasi batuan hasil peledakan dengan menggunakan ANFO didapatkan nilai rata-rata distribusi fragmentasi batuan yang lolos *sieve* 400 mm sebanyak 65,0%, *sieve* 600 mm sebanyak 89,83%, dan *sieve* 800 mm sebanyak 97,79% serta nilai rata-rata ukuran fragmentasi maksimal 694,75 mm. Sedangkan hasil distribusi fragmentasi ukuran diameter batuan menggunakan Emulsion didapatkan nilai rata-rata distribusi fragmentasi batuan yang lolos *sieve* 400 mm sebanyak 79,7%, *sieve* 600 mm sebanyak 94,15%, dan *sieve* 800 mm sebanyak 98,47% serta nilai rata-rata ukuran fragmentasi maksimal 644,95 mm (keduanya di bawah standar maksimal *feeding crusher*).

Hasil tingkat getaran dan kebisingan kegiatan peledakan dengan menggunakan ANFO memenuhi nilai standar teknis SNI 7571: 2023 yaitu rata-rata maksimal nilai getaran 1,00 mm/s (PPV) dan rata-rata nilai kebisingan 57,20 dB(A) (di bawah ambang batas). Sedangkan tingkat getaran hasil peledakan menggunakan Emulsion juga masih di bawah ambang batas aman dengan didapatkan nilai getaran rata-rata maksimal nilai getaran 1,24 mm/s (PPV) dan rata-rata nilai kebisingan sedikit di atas nilai ambang batas yaitu 110,98 dB.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Hustrulid, W., & Lu, W. (2006). *Blasting Principles for Open Pit Mining*. Rotterdam: Balkema Publishers.
- [2] PT Dahana. (2024). *Data Teknis Produk DANFO dan DABEX73: Spesifikasi dan Aplikasi di Tambang Kuari*. Laporan Teknis Internal, Subang, Indonesia.
- [3] Kahrirman, A. (2004). Analysis of the Relationship Between Charge Weight, Distance, and Peak Particle Velocity in Blasting Operations. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 24(11), 887–892.
- [4] Khandelwal, M., & Singh, T. N. (2006). Prediction of Blast-Induced Ground Vibration Using Artificial Neural Network. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 43(9), 1507–1520.
- [5] Rahman, M. A., Hossain, M. M., & Hasan, M. S. (2015). Comparative performance analysis of ANFO and Emulsion explosives in granite quarry operations. *Journal of Mining Science and Technology*, 25(3), 145–152.
- [6] Kumar, R., Patel, A., & Mishra, S. (2022). A comparative study of ANFO and Emulsion explosives in open-pit coal mines for productivity



Gambar 7. Sampling Hasil Pengukuran Micromate

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian terhadap perbandingan hasil peledakan menggunakan bahan peledak jenis ANFO dan Emulsion (DABEX73), maka didapat kesimpulan jika peledakan menggunakan Emulsion lebih efisien dan efektif dibandingkan ANFO dalam konteks geometri peledakan sederhana (*burden, spacing, depth*). Untuk mendapatkan volume batu gamping (densitas rata-rata



- optimization. *Mining and Geological Engineering Journal*, 11(4), 201–210.
- [7] Pangestuti, M. I. (2024). *Analisis Perbandingan Penggunaan Bahan Peledak ANFO dan Emulsion terhadap Ukuran Fragmentasi dan Digging Time pada Tambang Batubara PT Sims Jaya Kaltim Kabupaten Paser, Provinsi Kalimantan Timur*. Skripsi, Program Studi Teknik Pertambangan S1, Fakultas Teknik dan Perencanaan, Institut Teknologi Nasional Yogyakarta.
- [8] Trisetyo, Fatih Farhan; Hartami, Pantjanita Novi; Maulana, Yuga; Tuheteru, Edy Jamal; Herdyanti, Mixsindo Korra. (2025). Analisis Perbandingan Penggunaan Bahan Peledak ANFO dan Emulsion terhadap Fragmentasi Overburden di PT Hanwha Mining Services Indonesia Site Kideco Jaya Agung, Kalimantan Timur. *Indonesian Mining and Energy Journal*, 8(1).
- [9] Sari, D., & Nurjaman, A. (2022). Analisis Efisiensi Penggunaan Bahan Peledak ANFO dan Emulsion pada Tambang Batu Gamping di Jawa Barat. *Jurnal Teknologi Pertambangan Indonesia*, 11(2), 45–56.
- [10] Singh, P. K., & Narendrula, R. (2010). Evaluation of the Performance of ANFO and Emulsion Explosives in Limestone Quarries. *Journal of Mines, Metals & Fuels*, 58(4), 97–104.
- [11] SNI 7571:2023. *Standar Nasional Indonesia – Baku Tingkat Getaran Tanah Akibat Peledakan (Ground Vibration)*. Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.
- [12] SNI 7570:2023. *Standar Nasional Indonesia – Baku Tingkat Kebisingan Akibat Peledakan (Air Blast)*. Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.
- [13] Konya, C. J., & Walter, E. J. (1990). *Surface Blast Design*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
- [14] Cunningham, C. V. B. (1983). The Kuz-Ram Model for Prediction of Fragmentation from Blasting. *Proceedings of the First International Symposium on Rock Fragmentation by Blasting (FRAGBLAST-I)*, Luleå, Sweden, 439–453.
- [15] Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM). (2018). *Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Nomor 1827 K/30/MEM/2018 tentang Pedoman Pelaksanaan Kaidah Teknik Pertambangan yang Baik*. Jakarta: Kementerian ESDM.