

Analisis Perbandingan Hasil Peledakan Menggunakan Detonator Non Elektrik dan Elektronik Pada Kuari Batu Gamping PT Semen Baturaja (Persero) Tbk

Bimbi Cahyaningsih^{1,2*}, Bochori², Arie Putra Usman³, dan A. P. Putra⁴

¹Mahasiswa Program Profesi Insinyur, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya, Palembang

²Teknik Pertambangan, Universitas Sriwijaya, Palembang

³Teknik Sipil, Universitas Sriwijaya, Palembang

⁴PT Semen Indonesia (Persero) Tbk

*Email: bimbicahyaningsih@ftunsri.ac.id

SARI

Kegiatan peledakan pada kuari batu gamping perlu menghasilkan fragmentasi yang sesuai dengan kapasitas alat muat dan *crusher*, serta tetap mengendalikan getaran tanah dan kebisingan. Penelitian ini bertujuan membandingkan hasil peledakan menggunakan detonator nonel dan detonator elektronik dari aspek fragmentasi, getaran tanah, dan *airblast*. Penelitian dilakukan pada kuari batu gamping di wilayah Baturaja, Sumatera Selatan, menggunakan data trial peledakan selama kurang lebih 30 hari. Kedua sistem inisiasi diterapkan pada area peledakan yang berdekatan dengan geometri dominan burden 3 m, spacing 3,5 m, dan kedalaman lubang 5,8 m. Data primer berupa foto muckpile, nilai *Peak Particle Velocity* (PPV), dan *airblast*, sedangkan data sekunder mencakup geometri, jumlah lubang, jumlah isian, serta pola waktu tunda. Fragmentasi dianalisis melalui pengolahan citra dengan helm berdiameter 500 mm sebagai acuan ukuran, sementara getaran dan *airblast* diukur menggunakan seismograf. Hasil kedua sistem dibandingkan pada titik ukur 300–500 m, sedangkan data pada jarak 100–150 m digunakan sebagai *signature hole*. Hasil analisis menunjukkan nilai P80 pada sampel elektronik sebesar 390 mm, lebih kecil daripada nonel sebesar 580 mm. Persentase material berukuran lebih dari 800 mm pada elektronik sebesar 4%, sedangkan pada nonel sebesar 11%. Pada jarak 300–500 m, PPV rata-rata elektronik sebesar 1,29 mm/s dan nonel sebesar 1,54 mm/s. Nilai PPV nonel tersebut 19,3% lebih tinggi daripada elektronik, namun keduanya masih berada di bawah nilai acuan 3 mm/s. Rata-rata *airblast* elektronik sebesar 64,24 dB dan nonel sebesar 66,00 dB, yang keduanya berada di bawah acuan 110 dB(A). Pada titik *signature hole* 100 m, *airblast* nonel lebih tinggi akibat penggunaan *surface delay* yang meledak di permukaan. Penggunaan detonator elektronik menghasilkan fragmentasi lebih seragam serta respons getaran dan kebisingan yang relatif lebih terkendali dibandingkan detonator nonel.

Kata kunci: detonator nonel; detonator elektronik; fragmentasi; getaran; kebisingan.

How to Cite: Cahyaningsih, B., Bochori, B., Usman, A. P., dan Putra, A.P. 2026. Analisis Perbandingan Hasil Peledakan Menggunakan Detonator Non Elektrik dan Elektronik Pada Kuari Batu Gamping PT Semen Baturaja (Persero) Tbk. Jurnal Geomine, 14 (2): 88-101.

Published By:

Fakultas Teknologi Industri
Universitas Muslim Indonesia

Address:

Jl. Urip Sumoharjo Km. 05
Makassar, Sulawesi Selatan

Email:

geomine@umi.ac.id

Article History:

Submit May 16, 2026

Received in from June 28, 2026

Accepted August 12, 2026

Lisensec By:

[Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License.](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)



ABSTRACT

Blasting activities in limestone quarries must produce fragmentation compatible with loading equipment and crusher capacity while maintaining ground vibration and airblast within acceptable levels. This study aimed to compare blasting results using nonel and electronic detonators in terms of fragmentation, ground vibration, and airblast. The study was conducted at a limestone quarry in the Baturaja area, South Sumatra, using blasting trial data collected over approximately 30 days. Both initiation systems were applied in adjacent blasting areas with a dominant geometry of 3 m burden, 3.5 m spacing, and 5.8 m hole depth. Primary data consisted of muckpile photographs, Peak Particle Velocity (PPV), and airblast measurements, while secondary data included blast geometry, hole number, charge quantity, and delay pattern. Fragmentation was analyzed through image processing using a 500 mm-diameter helmet as a scale reference, whereas vibration and airblast were measured using a seismograph. Results from both systems were compared at monitoring points located 300–500 m from the blast, while measurements at 100–150 m were used as signature-hole data. The results showed that the electronic detonator sample produced a P80 of 390 mm, lower than the nonel sample at 580 mm. The proportion of material larger than 800 mm was 4% for electronic detonators and 11% for nonel detonators. At monitoring distances of 300–500 m, the average PPV was 1.29 mm/s for electronic detonators and 1.54 mm/s for nonel detonators. The average airblast was 64.24 dB for electronic detonators and 66.00 dB for nonel detonators, both below the 110 dB(A) reference value. Electronic detonators produced more uniform fragmentation and relatively lower vibration and airblast responses than nonel detonators.

Keywords: *non-electric detonator; electronic detonator; fragmentation; vibration; airblast*

PENDAHULUAN

Batu gamping merupakan salah satu bahan baku utama dalam industri semen selain tanah liat, sehingga ketersediaannya harus didukung oleh kegiatan penambangan yang efektif. Pada kuari, batuan perlu dibongkar dari kondisi masif dan insitu agar dapat dimuat, diangkut, dan direduksi ukurannya pada unit peremukan. Mengingat batu gamping umumnya memiliki tingkat kekompakan dan kekerasan tertentu, kegiatan pengeboran dan peledakan diperlukan untuk menghasilkan material dengan ukuran yang sesuai dengan standar minimum umpan dalam proses produksi berikutnya.

Keberhasilan peledakan tidak hanya ditentukan oleh bahan peledak utama, tetapi juga oleh aksesoris peledakan, salah satunya detonator (Adinugraha, 2019). Detonator merupakan perlengkapan peledakan habis pakai yang berfungsi menginisiasi bahan peledak dan mengatur urutan detonasi antar-lubang. Pengaturan waktu detonasi dapat memengaruhi distribusi energi peledakan, fragmentasi batuan, bentuk *muckpile*, serta tingkat getaran tanah (Hustrulid dan Lu, 2006). Dengan demikian, detonator berfungsi sebagai perangkat penginisiasi, bukan sebagai bahan peledak utama.

Detonator non elektrik (nonel) banyak digunakan karena praktis dan tidak bergantung pada arus listrik, tetapi waktu tundanya memiliki toleransi sesuai spesifikasi manufaktur sehingga dapat berbeda dari waktu tunda rencana (Jimeno dkk., 1995). Sementara itu, detonator elektronik menawarkan ketelitian waktu tunda yang lebih tinggi dan dapat diprogram sesuai rancangan peledakan. Sejumlah penelitian terdahulu menunjukkan bahwa detonator elektronik berpotensi meningkatkan pengendalian fragmentasi, getaran tanah, dan produktivitas peledakan (Khandelwal dan Singh, 2006). Namun, hasilnya tidak selalu seragam karena turut dipengaruhi kondisi massa batuan, geometri peledakan, muatan bahan peledak, dan pola waktu tunda. Studi di Indonesia juga masih banyak berfokus pada biaya atau

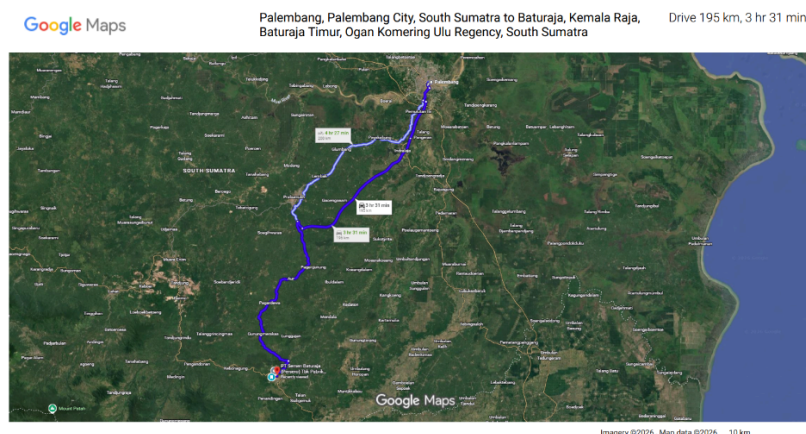
fragmentasi, sehingga perbandingan terpadu antara detonator nonel dan elektronik pada kondisi kuari batu gamping masih terbatas (Panjaitan, 2015; Trisetyo dkk., 2025).

Berdasarkan hal tersebut, perlu dilakukan analisis perbandingan hasil peledakan menggunakan detonator nonel dan detonator elektronik dengan jenis bahan peledak utama yang sama pada kuari batu gamping PT Semen Baturaja (Persero) Tbk. Penelitian ini berfokus pada pengaruh sistem inisiasi, dengan bahan peledak utama berupa campuran *bulk emulsion* 70% dan *ammonium nitrate prilled* 30%. Parameter yang dianalisis meliputi fragmentasi batuan, persentase bongkah, kondisi *muckpile*, getaran tanah, dan efisiensi penggunaan detonator. Kebaruan penelitian terletak pada evaluasi perbandingan teknis yang terintegrasi pada kondisi operasional kuari PT Semen Baturaja dengan variabel bahan peledak utama dikendalikan.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan pada area Izin Usaha Pertambangan (IUP) Operasi Produksi Batu Gamping milik PT Semen Baturaja (Persero) Tbk. Lokasi penelitian berada pada area kuari yang menjadi sumber bahan baku utama dalam proses produksi semen (Gambar 1). Dalam proses ekstraksi material bahan baku batu gamping dalam kondisi insitu menjadi material yang terberai, salah satu metode yang digunakan yaitu dengan kegiatan peledakan. Kegiatan pengambilan data dilakukan secara langsung pada peledakan yang menggunakan sistem inisiasi detonator nonel dan detonator elektronik.

Penelitian ini menggunakan metode komparatif dengan membandingkan hasil peledakan dari kedua sistem detonator tersebut. Objek kajian bukan berupa perbandingan bahan peledak utama, melainkan perbedaan kinerja aksesoris inisiasi dalam rangkaian kegiatan peledakan. Data yang dikumpulkan meliputi rancangan geometri peledakan, pola dan waktu tunda, jumlah lubang ledak, jenis detonator, serta hasil aktual peledakan di lapangan.

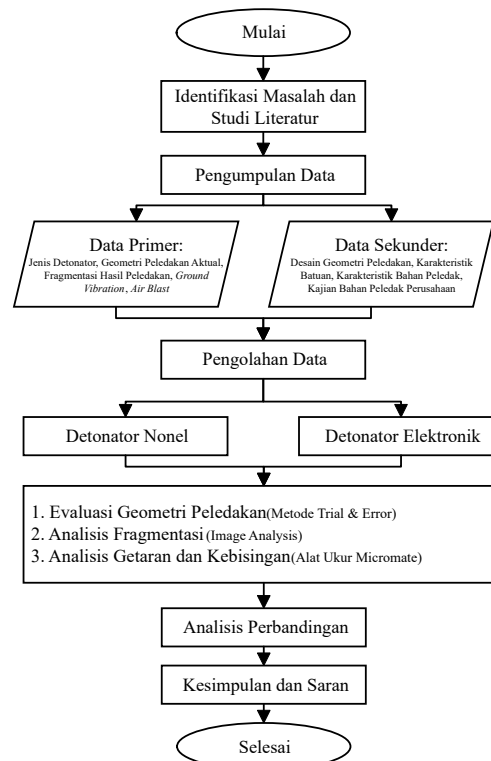


Gambar 1. Lokasi Penelitian

Evaluasi hasil peledakan dilakukan melalui pengamatan dan pengukuran terhadap fragmentasi batuan, persentase bongkah, kondisi *muckpile*, serta tingkat getaran tanah apabila data pengukuran tersedia. Data hasil peledakan dengan detonator nonel kemudian dibandingkan dengan data peledakan yang menggunakan detonator elektronik pada kondisi geometri dan karakteristik batuan yang relatif setara. Perbandingan tersebut digunakan untuk mengetahui pengaruh ketelitian waktu tunda masing-masing jenis detonator terhadap kualitas hasil peledakan.

Penelitian dilaksanakan selama periode akhir triwulan 2025 hingga awal triwulan 2026 pada beberapa kegiatan peledakan di kuari batu gamping PT Semen Baturaja (Persero) Tbk. Tahapan penelitian mencakup studi literatur, pengumpulan data primer dan sekunder,

pengolahan data hasil peledakan, analisis perbandingan, serta penarikan kesimpulan. Alur pelaksanaan penelitian disajikan pada (Gambar 2).



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

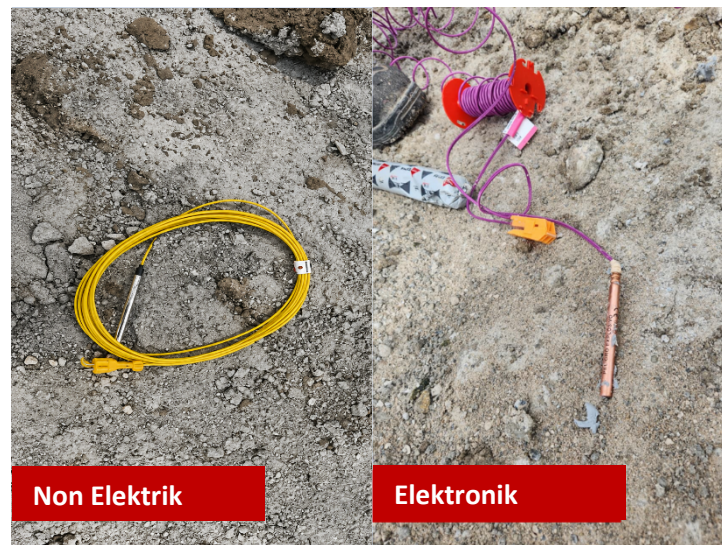
Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan untuk membandingkan hasil peledakan yang menggunakan detonator nonel dan elektronik pada kuari batu gamping PT Semen Baturaja (Persero) Tbk. Penelitian menggunakan data peledakan selama kurang lebih 26 hari kegiatan peledakan. Pada setiap lokasi peledakan, kedua jenis detonator diterapkan secara berdampingan dan bersampingan dalam satu rancangan peledakan. Sebagai contoh, dari total lubang ledak yang diledakkan setiap harinya, sebanyak sekitar 50% lubang menggunakan detonator nonel dan sekitar 50% lubang lainnya menggunakan detonator elektronik. Penerapan tersebut bertujuan agar kedua sistem inisiasi diuji pada kondisi jenis batuan, geometri peledakan, jenis dan jumlah bahan peledak utama, dan kondisi cuaca yang relatif sama. Berikut pengambilan data *primer* ataupun sekunder yang dilaksanakan:

A. Data *Primer*

1. Penggunaan Detonator

Data penggunaan detonator diperoleh melalui pengamatan langsung dan dokumen pelaksanaan peledakan di lapangan. Data yang dicatat meliputi jumlah lubang ledak, posisi lubang, jenis detonator yang digunakan, nomor atau urutan waktu tunda, pola rangkaian, serta pembagian area peledakan antara detonator nonel dan elektronik. Data tersebut digunakan untuk memastikan bahwa setiap hasil peledakan dapat diidentifikasi berdasarkan sistem inisiasi yang digunakan.



Gambar 3. Detonator Nonel dan Detonator Elektronik

2. Fragmentasi Hasil Peledakan

Data fragmentasi diperoleh melalui dokumentasi kondisi material hasil peledakan setelah area dinyatakan aman dan kegiatan peledakan selesai. Pengambilan gambar dilakukan pada area *muckpile* yang mewakili fragmentasi peledakan dengan detonator nonel dan fragmentasi peledakan dengan detonator elektronik. Foto hasil dokumentasi kemudian diolah menggunakan perangkat lunak analisis fragmentasi untuk memperoleh distribusi ukuran material, termasuk ukuran karakteristik seperti P_{80} atau ukuran fragmen yang lolos 80%.



Gambar 4. Fragmentasi Batuan Hasil Peledakan

Hasil analisis aktual tersebut selanjutnya dapat dibandingkan dengan prediksi fragmentasi menggunakan metode Kuz-Ram (Cunningham, 1983). Perbandingan dilakukan untuk mengetahui kecenderungan ukuran fragmentasi yang dihasilkan oleh masing-masing sistem detonator pada kondisi peledakan yang sebanding.

3. Presentase *Boulder*

Pengamatan kondisi muckpile dilakukan untuk melihat bentuk, arah lemparan, ketinggian, serta sebaran material hasil peledakan. Selain itu, dilakukan pencatatan terhadap keberadaan boulder atau bongkah berukuran besar yang berpotensi menghambat proses pemuatan dan peremukan. Data boulder dapat disajikan dalam jumlah, persentase, atau estimasi volume material berukuran di atas batas ukuran yang ditetapkan oleh perusahaan.

4. Getaran dan Kebisingan

Data getaran tanah dan kebisingan diukur pada saat pelaksanaan peledakan menggunakan alat seismograf *Micromate Instantel*. Pengukuran getaran dilakukan dengan *geophone* yang merekam komponen gelombang transversal, longitudinal, dan vertikal. Nilai hasil pengukuran berupa *peak particle velocity* (PPV) digunakan untuk membandingkan respons getaran dari area yang menggunakan detonator nonel dan elektronik. Pengukuran kebisingan dilakukan menggunakan mikrofon yang terintegrasi pada alat untuk memperoleh nilai *air blast*.

Tingkat nilai ambang batas getaran dan kebisingan akibat dari hasil kegiatan peledakan tambang, diatur dalam standar teknis SNI 7571 : 2023 (*ground vibration*) (Badan Standardisasi Nasional, 2023b) dan SNI 7570 : 2023 (*air blast*) (Badan Standardisasi Nasional, 2023a). Mengacu pada standar tersebut 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 1. Baku Tingkat Kebisingan SNI 7570 : 2023

Peruntukan Kawasan/Lingkungan Kegiatan	Tingkat kebisingan dB (A)	Maksimal durasi terpapar (jam/hari)
a Lingkungan Kegiatan Tambang Terbuka		
1 Transportasi kendaraan berat	90	8
2 Pemboran	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 lain	>110	0,5

Tabel 2. Kelas, Jenis Infrastruktur, Frekuensi dan Peak Particle Velocity (PPV) SNI 7571 : 2023

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		0 sampai 5	5

	Bangunan dengan pondasi, pasangan bata dan adukan semen diikat dengan sloof beton, bangunan panggung dari kayu yang diikat dengan ring balok manyatu dari bawah ke atas	5 sampai 20	7
		20 sampai 100	12
	Bangunan dengan pondasi, pasangan bata dan adukan semen sloof beton, kolom dan rangka dikita dengan ring balok	0 sampai 5	7
4		5 sampai 20	12
		20 sampai 100	20
	Bangunan dengan pondasi, pasangan bata dan adukan semen, sloof beton, kolom dan diikat dengan rangka baja, jembatan rangka baja, pipa gas/minyak/air, tangki atau ditimbun, sambungan udara tegangan ekstra tinggi, menara telekomunikasi, jalan umum, rel kereta dan bendungan	0 sampai 5	12
5		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 (Kementerian ESDM RI, 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*".

B. Data Sekunder

1. Geometri Peledakan

Data geometri peledakan diperoleh dari rancangan peledakan dan laporan kegiatan pengeboran. Data tersebut mencakup *burden*, *spacing*, kedalaman lubang, tinggi jenjang, subdrilling, panjang stemming, panjang kolom isian, jumlah lubang, diameter lubang, serta pola pengeboran. Data geometri digunakan sebagai variabel kontrol agar perbandingan nonel dan elektronik dilakukan pada rancangan yang relatif setara.

2. Karakteristik Bahan Peledak

Data bahan peledak utama diperoleh dari laporan pelaksanaan peledakan, meliputi jenis bahan peledak, densitas, jumlah bahan peledak per lubang, *powder factor*, jenis *primer*, dan panjang kolom bahan peledak. Data ini digunakan sebagai informasi pendukung dalam analisis fragmentasi dan getaran. Dalam penelitian ini, bahan peledak utama tidak menjadi objek pembandingan; objek utama penelitian adalah kinerja detonator nonel dan elektronik sebagai aksesoris inisiasi.

3. Karakteristik Batuan

Data karakteristik batu gamping, terutama densitas batuan, diperoleh dari laporan perusahaan, data geologi, atau studi kelayakan yang tersedia. Data ini digunakan dalam perhitungan dan analisis fragmentasi, khususnya apabila metode Kuz-Ram digunakan sebagai metode pendukung. Kondisi massa batuan pada lokasi peledakan juga dicatat untuk memastikan area detonator nonel dan elektronik berada pada karakteristik batuan yang relatif sebanding.

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 namun tidak signifikan. 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 ton/m³.

4. Spesifikasi Detonator

Data spesifikasi detonator diperoleh dari *technical data sheet* produk dan catatan pelaksanaan peledakan. Data yang digunakan meliputi jenis detonator, rentang waktu tunda, ketelitian waktu tunda, sistem rangkaian, serta kebutuhan perlengkapan inisiasi. Data tersebut diperlukan untuk menjelaskan perbedaan karakteristik antara sistem nonel dan elektronik.

HASIL PENELITIAN

Geometri Peledakan

Geometri peledakan merupakan salah satu dasar dalam evaluasi hasil peledakan karena menentukan volume batuan yang dibongkar, hasil ukuran fragmentasi batuan, distribusi energi bahan peledak, serta arah pergerakan material setelah peledakan. Dalam penelitian ini, rancangan geometri disusun berdasarkan kondisi muka kerja, tinggi jenjang, dan luasan area yang tersedia pada masing-masing lokasi. Penentuan *burden* (B), *spacing* (S), *depth drilling hole* (DH), dan *primer charging* (PC) dilakukan dengan pendekatan *rule of thumb* dan dikaji kembali melalui perangkat lunak desain peledakan sebelum pelaksanaan di lapangan.

Tabel 3. Geometri Peledakan Aktual

Periode	Blasting Point	B (m)	S (m)	DH (m)	NED		EDD	
					PC (kg)	Hole (n)	PC (kg)	Hole (n)
06-Oct-25	BP 10/11	3	3,5	5,8	20	30	20	30
07-Oct-25	BP 15/52	3	3,5	5,8	20	16	20	14
	BP 10/10A	3	3,5	5,8	20	20	20	20
08-Oct-25	BP 10/17A	3	3,5	5,8	25	25	25	19
09-Oct-25	BP 15/49	3	3,5	5,8	22	20	22	21
11-Oct-25	BP 10/18	3	3,5	5,8	22	31	22	33
12-Oct-25	BP 10/17A	3	3,5	5,8	22	25	22	31
13-Oct-25	RL15/49	3	3,5	5,8	22	30	22	21
14-Oct-25	RL10/18	3	3,5	5,8	22	35	22	30
16-Oct-25	RL15/49	3	3,5	5,8	22	23	22	22
18-Oct-25	RL15/49	3	3,5	5,8	22	25	22	25
19-Oct-25	BP 8/9	3	3,5	5,8	22	19	22	17
20-Oct-25	BP 10/9	3	3,5	5,8	22	14	22	13
13-Nov-25	BP 15/49	3	3,5	5,8	22	24	22	26
18-Nov-25	BP 109/18	3	3,5	5,8	-	-	22	33
20-Nov-25	BP 10/10	3	3,5	5,8	-	-	22	30
24-Nov-25	BP 15/53	3	3,5	5,8	22	29	22	23
09-Feb-26	BP 35/11C	3,5	4	5,8	18,5	15	18,5	24
11-Feb-26	BP 15/65	3	3,75	5,8	-	-	22,5	42
12-Feb-26	BP 35/11C	3,5	4	5,8	16,5	17	16,5	18
18-Feb-26	BP 15/53	3	3,75	5,8	-	-	22,5	34
19-Feb-26	BP 35/11C	3,5	4	5,8	-	-	16,5	30
26-Feb-26	BP 15/62	3	3,75	5,8	22,5	22	22,5	22
02-Mar-26	BP 10/10	3	3,5	5,8	-	-	22,5	30
04-Mar-26	BP 10/18A_26	3	3,5	5,8	-	-	22,5	40
05-Mar-26	BP 40/80	3,25	3,75	5,8	-	-	18,5	40

Berdasarkan hasil pengamatan dan pengukuran yang dilakukan dari akhir triwulan 2025 hingga triwulan satu 2026, geometri yang digunakan pada kegiatan uji coba tidak hanya terdiri dari satu ukuran. Geometri yang diterapkan selama kegiatan penelitian adalah *burden* 3 - 3,5 m dan *spacing* 3,5 - 4 m, dengan kedalaman lubang rata-rata 5,8 m. Sedangkan untuk jumlah lubang ledak untuk jenis detonator nonel berkisar 14 – 35 lubang setiap peledakan dan untuk jenis detonator elektronik berkisar 14 – 45 setiap peledakan. Jumlah bahan peledak setiap lubang dalam satu lokasi peledakan cenderung dibuat sama dengan rentang berkisar 18,5 – 22,5 kg per lubang ledak.

Pada setiap kegiatan uji coba, detonator elektronik dan detonator nonel digunakan dalam satu lokasi peledakan yang sama atau pada area yang saling bersebelahan. Jumlah lubang dan jumlah isian pada masing-masing sistem tidak selalu sama karena mengikuti bentuk area, jumlah lubang yang tersedia, serta rancangan peledakan aktual. Namun, pembagian tersebut tetap memungkinkan perbandingan dilakukan pada kondisi batuan dan rancangan yang relatif setara. Contohnya, pada beberapa peledakan dengan geometri 3 m × 3,5 m × 5,8 m, penggunaan elektronik dan nonel diterapkan secara bersamaan dengan jumlah lubang yang disesuaikan terhadap blok peledakan.

Dalam penelitian ini, geometri peledakan tidak digunakan untuk menyatakan bahwa salah satu detonator lebih unggul. Geometri berfungsi sebagai variabel kontrol agar perbedaan hasil peledakan dapat dikaitkan dengan sistem inisiasi yang digunakan. Oleh karena itu, data peledakan yang dibandingkan dipilih dari kegiatan dengan geometri, kedalaman lubang, bahan peledak utama, dan kondisi area yang relatif sebanding. Selanjutnya, pengaruh penggunaan nonel dan elektronik dievaluasi melalui hasil fragmentasi, kondisi *muckpile*, persentase *boulder*, serta getaran tanah.

Analisis Fragmentasi

Analisis fragmentasi dilakukan untuk mengetahui distribusi ukuran batuan hasil peledakan yang menggunakan detonator nonel dan elektronik. Evaluasi ini diperlukan karena ukuran material hasil peledakan berpengaruh langsung terhadap kelancaran kegiatan pemuatan dan proses peremukan pada *crusher*. Material dengan ukuran terlalu besar berpotensi menurunkan produktivitas alat gali-muat serta meningkatkan kebutuhan *secondary breaking* (Ash, 1963). Contoh hasil analisis fragmentasi dapat dilihat pada Gambar 5.

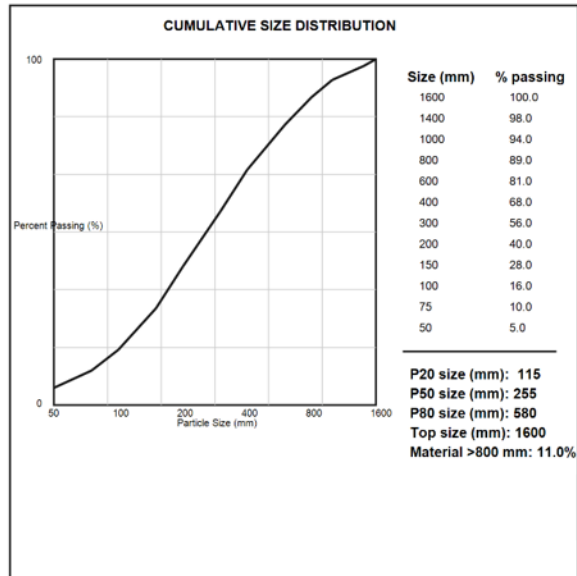
Analisis fragmentasi dilakukan untuk membandingkan ukuran batuan hasil peledakan dengan detonator nonel dan elektronik. Ukuran fragmen menjadi salah satu parameter penting karena menentukan kelancaran pemuatan oleh *excavator* dan penerimaan material pada *feed crusher*. Apabila material hasil peledakan masih banyak mengandung bongkah berukuran besar, proses pemuatan dapat melambat dan berpotensi memerlukan kegiatan pemecahan sekunder. Berikut sampel hasil distribusi fragmentasi menggunakan nonel dan elektronik.

Evaluasi dilakukan melalui analisis citra pada *muckpile* setelah peledakan. Foto masing-masing hasil peledakan menggunakan helm berdiameter 500 mm sebagai acuan skala. Dari hasil pengolahan, diperoleh kurva distribusi ukuran kumulatif serta parameter P20, P50, P80, ukuran fragmen maksimum, dan persentase material yang melebihi ukuran 800 mm. Nilai P80 menunjukkan ukuran ayakan yang dapat meloloskan 80% material hasil peledakan (Cunningham, 1983).



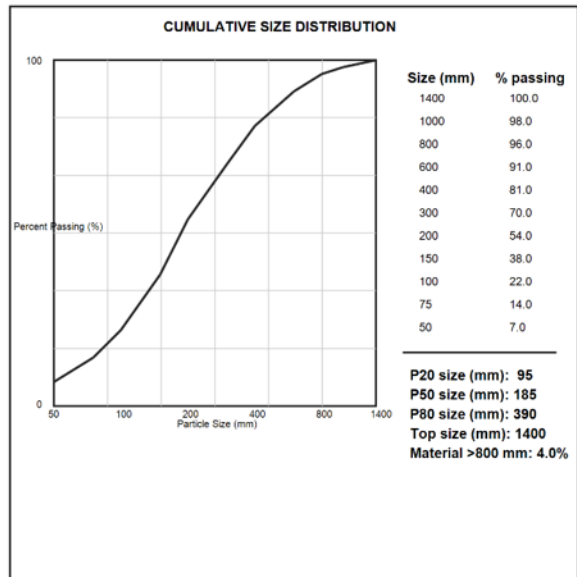
ESTIMASI DISTRIBUSI FRAGMENTASI - NONEL

Kalibrasi visual menggunakan diameter helm = 500 mm



ESTIMASI DISTRIBUSI FRAGMENTASI - EDD

Kalibrasi visual menggunakan diameter helm = 500 mm



Gambar 5. Sampel Analisis Distribusi Fragmentasi Menggunakan Nonel dan Elektronik

Pada sampel peledakan menggunakan detonator Nonel, nilai P20, P50, dan P80 masing-masing sebesar 115 mm, 255 mm, dan 580 mm. Ukuran fragmen maksimum yang teramati mencapai sekitar 1.600 mm, sedangkan persentase material berukuran lebih dari 800 mm diperkirakan sebesar 11%. Keberadaan bongkah berukuran besar pada foto menunjukkan bahwa sebagian material masih berpotensi menimbulkan hambatan pada tahap pemuatan maupun saat memasuki *crusher*.

Sementara itu, sampel peledakan menggunakan elektronik menghasilkan ukuran fragmentasi yang lebih halus. Nilai P20 sebesar 95 mm, P50 sebesar 185 mm, dan P80 sebesar 390 mm. Ukuran fragmen maksimum diperkirakan mencapai 1.400 mm, dengan persentase material berukuran lebih dari 800 mm sekitar 4%. Nilai P80 yang lebih kecil serta proporsi

boulder yang lebih rendah menunjukkan bahwa sebaran fragmentasi pada sampel EDD lebih mendekati kebutuhan ukuran material untuk *feed crusher*.

Tabel 4. Perbandingan Distribusi Fragmentasi Pada Sampel Nonel dan Elektronik

Parameter	Detonator Nonel	Detonator Elektronik
P20	115 mm	95 mm
P50	255 mm	185 mm
P80	580 mm	390 mm
Ukuran fragmen maksimum	1.600 mm	1.400 mm
Material >800 mm	11%	4%

Berdasarkan dua sampel foto yang dianalisis, penggunaan EDD menunjukkan hasil fragmentasi yang lebih seragam dibandingkan Nonel. Hal tersebut ditunjukkan oleh nilai P80 yang lebih rendah dan persentase material di atas 800 mm yang lebih kecil. Kondisi ini diduga berkaitan dengan ketelitian waktu tunda EDD dalam mengatur urutan pelepasan energi antar-lubang. Meskipun demikian, hasil ini merupakan analisis pada sampel foto dan perlu diperkuat dengan pengolahan seluruh data peledakan pada kondisi geometri serta karakteristik batuan yang sebanding.

Getaran dan Kebisingan

Evaluasi getaran tanah dan kebisingan dilakukan menggunakan data Peak Particle Velocity (PPV) dan airblast dari kegiatan peledakan dengan sistem inisiasi nonel dan elektronik. Pembahasan dibagi menjadi dua kelompok jarak pengukuran. Data pada jarak 300–500 m digunakan sebagai dasar evaluasi terhadap kondisi paparan di sekitar area operasi dan dibandingkan dengan acuan SNI 7571:2023 (Badan Standardisasi Nasional, 2023b) serta SNI 7570:2023 (Badan Standardisasi Nasional, 2023a). Sementara itu, data pada jarak 100–150 m diperlakukan sebagai data signature hole, yaitu data jarak dekat yang digunakan untuk melihat respons awal peledakan dan menyusun hubungan antara jarak, isian bahan peledak, serta getaran yang dihasilkan.

Pada titik ukur 300–500 m, data pasangan peledakan menunjukkan bahwa nilai PPV elektronik rata-rata sebesar 1,29 mm/s, sedangkan nonel sebesar 1,54 mm/s. Dengan demikian, PPV nonel sekitar 19,3% lebih tinggi dibandingkan elektronik. Sebagian besar nilai PPV pada kelompok jarak ini berada di bawah 2 mm/s. Nilai rata-rata elektronik dan nonel masih lebih rendah daripada nilai acuan 3 mm/s, masing-masing sekitar 56,9% dan 48,5% di bawah nilai acuan tersebut.

Nilai airblast pada kelompok jarak 300–500 m juga menunjukkan pola yang relatif serupa. Rata-rata airblast elektronik tercatat sebesar 64,24 dB, sedangkan nonel sebesar 66,00 dB. Nilai airblast nonel sekitar 2,7% lebih tinggi daripada elektronik. Apabila dibandingkan dengan nilai acuan 110 dB(A), rata-rata elektronik berada sekitar 41,6% di bawah ambang, sedangkan nonel sekitar 40,0% di bawah ambang. Hasil ini menunjukkan bahwa pada jarak pantau yang mewakili area sekitar operasi, kedua sistem masih menghasilkan tingkat getaran dan kebisingan yang terkendali.

Tabel 5. Rata-Rata PPV dan *Airblast* pada jarak 300–500 m

Parameter	Elektronik	Nonel	Selisih
PPV rata-rata	1,29 mm/s	1,54 mm/s	+19,3%
Airblast rata-rata	64,24 dB	66,00 dB	+2,7%
Selisih terhadap acuan PPV 3 mm/s	-56,9%	-48,5%	—
Selisih terhadap acuan airblast 110 dB(A)	-41,6%	-40,0%	—

Data pada jarak 100 m dan 150 m tidak digunakan sebagai dasar utama penilaian kondisi lingkungan, melainkan sebagai signature hole. Pada jarak 100 m, PPV rata-rata elektronik sebesar 4,20 mm/s, sedangkan nonel sebesar 6,12 mm/s. Nilai nonel pada jarak ini sekitar 45,6% lebih tinggi. Pada jarak 150 m, PPV elektronik rata-rata sebesar 1,95 mm/s dan nonel sebesar 3,09 mm/s, atau sekitar 58,7% lebih tinggi. Pola tersebut memperlihatkan bahwa perbedaan respons getaran antara kedua sistem lebih mudah terlihat pada jarak dekat (Kahriman, 2004).

Untuk airblast, perbedaan paling jelas juga terlihat pada pengukuran 100 m. Elektronik menghasilkan airblast rata-rata 64,42 dB, sedangkan nonel mencapai 120,98 dB atau sekitar 87,8% lebih tinggi. Kondisi ini berkaitan dengan penggunaan surface delay pada sistem nonel. Komponen surface delay berada dan berfungsi di permukaan, sehingga pelepasan energi serta suara ledak di udara dapat memberikan tambahan kontribusi terhadap nilai airblast (Konya dan Walter, 1990). Pada sistem elektronik, pengaturan waktu tunda dilakukan melalui detonator di dalam lubang ledak sehingga sumber kebisingan di permukaan relatif lebih kecil.

Pada jarak 150 m, rata-rata airblast elektronik sebesar 65,73 dB dan nonel sebesar 64,77 dB. Nilai tersebut relatif berdekatan. Perbedaan respons pada kedua jarak tersebut menunjukkan bahwa airblast dipengaruhi bukan hanya oleh jenis detonator, tetapi juga oleh posisi titik ukur, arah muka bebas, kondisi cuaca, konfigurasi rangkaian, dan keberadaan surface delay.

Tabel 6. Data *Signature Hole* Pada Jarak 100–150 m

Jarak	Parameter	Elektronik	Nonel	Selisih nonel terhadap elektronik
100 m	PPV	4,20 mm/s	6,12 mm/s	+45,6%
150 m	PPV	1,95 mm/s	3,09 mm/s	+58,7%
100 m	<i>Airblast</i>	64,42 dB	120,98 dB	+87,8%
150 m	<i>Airblast</i>	65,73 dB	64,77 dB	-1,5%

Secara keseluruhan, penggunaan elektronik menunjukkan nilai PPV dan airblast yang lebih rendah pada data pembandingan, terutama untuk PPV pada jarak 300–500 m dan airblast pada titik signature hole 100 m. Data jarak dekat tersebut dapat digunakan sebagai dasar penyusunan formulasi atau prediksi getaran untuk rancangan peledakan berikutnya. Namun, evaluasi terhadap SNI lebih tepat mengacu pada hasil pengukuran di titik pantau yang mewakili jarak paparan di sekitar area operasi.

KESIMPULAN

Berdasarkan analisis perbandingan peledakan menggunakan detonator nonel dan elektronik pada kuari batu gamping PT Semen Baturaja (Persero) Tbk, diperoleh kesimpulan:

1. Geometri peledakan yang digunakan pada kegiatan trial relatif sebanding, dengan geometri yang dominan berupa *burden* 3 m, *spacing* 3,5 m, dan kedalaman lubang 5,8 m. Kondisi tersebut memungkinkan hasil peledakan kedua sistem inisiasi dibandingkan dengan tetap memperhatikan variasi kondisi lapangan.
2. Hasil analisis fragmentasi pada sampel foto menunjukkan bahwa elektronik menghasilkan ukuran fragmentasi yang lebih halus dan lebih seragam dibandingkan nonel. Nilai P80 pada elektronik diperkirakan sebesar 390 mm, sedangkan pada nonel sebesar 580 mm. Persentase material berukuran lebih dari 800 mm pada elektronik sekitar 4%, lebih kecil dibandingkan nonel yang mencapai sekitar 11%. Dengan target ukuran material maksimal 800 mm untuk *feed crusher*, hasil elektronik lebih sesuai dengan kebutuhan proses pemuatan dan peremukan.

3. Pada titik pengukuran berjarak 300–500 m, nilai PPV rata-rata elektronik sebesar 1,29 mm/s dan nonel sebesar 1,54 mm/s. Kedua nilai tersebut berada di bawah nilai acuan 3 mm/s. Nilai PPV nonel sekitar 19,3% lebih tinggi dibandingkan elektronik, sehingga elektronik menunjukkan getaran yang relatif lebih rendah pada jarak pantau tersebut.
4. Rata-rata *airblast* pada jarak 300–500 m untuk elektronik sebesar 64,24 dB, sedangkan nonel sebesar 66,00 dB. Keduanya masih berada di bawah acuan 110 dB(A). Pada pengukuran *signature hole* jarak 100 m, *airblast* nonel lebih tinggi dibandingkan elektronik. Kondisi ini berkaitan dengan penggunaan *surface delay* pada sistem nonel, yang menghasilkan sumber suara tambahan di permukaan.
5. Secara umum, detonator elektronik memberikan hasil yang lebih baik dalam pengendalian ukuran fragmentasi, getaran tanah, dan kebisingan dibandingkan detonator nonel pada kondisi trial yang dianalisis. Keunggulan tersebut terutama terkait ketelitian pengaturan waktu tunda, yang membantu pelepasan energi peledakan berlangsung lebih terkendali. Namun, penerapan elektronik tetap perlu dipertimbangkan bersama aspek biaya, ketersediaan peralatan, dan kebutuhan operasional perusahaan.

PUSTAKA

- Adinugraha, W. 2019. Bahan Peledak dan Aksesoris. Diklat Pemboran dan Peledakan pada Pertambangan Mineral dan Batubara.
- Ash, R.L. 1963. The Mechanics of Rock Breakage: Standards for Blasting Design. Pit and Quarry, 56(3), 118–122.
- Badan Standardisasi Nasional. 2023a. SNI 7570:2023 Baku Tingkat Kebisingan Akibat Peledakan (Air Blast). Jakarta: BSN.
- Badan Standardisasi Nasional. 2023b. SNI 7571:2023 Baku Tingkat Getaran Tanah Akibat Peledakan (Ground Vibration). Jakarta: BSN.
- 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-1), Luleå, Sweden, 439–453.
- Hustrulid, W. dan Lu, W. 2006. Blasting Principles for Open Pit Mining. Rotterdam: A.A. Balkema.
- Jimeno, C.L., Jimeno, E.L., dan Carcedo, F.J.A. 1995. Drilling and Blasting of Rocks. Rotterdam: A.A. Balkema.
- Kahrman, 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.
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia. 2018. Keputusan Menteri ESDM Nomor 1827 K/30/MEM/2018 tentang Pedoman Pelaksanaan Kaidah Teknik Pertambangan yang Baik. Jakarta: Kementerian ESDM.
- Khandelwal, M. dan 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.
- Konya, C.J. dan Walter, E.J. 1990. Surface Blast Design. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice Hall.
- Panjaitan, R. 2015. Kajian Teknis Kegiatan Peledakan di PT Semen Bosowa Maros Sulawesi Selatan. Skripsi. Universitas Papua, Manokwari.
- Trisetyo, F.F., Hartami, P.N., Maulana, Y., Tuheteru, E.J., dan Herdyanti, M.K. 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).