

ANALISIS JARAK PELEDAKAN KUARI ANDESIT TERHADAP REL KERETA API CEPAT DI CV PANGHEGAR PLERED PURWAKARTA JAWA BARAT

Wanda Adinugraha¹, Awang Suwandhi², Dwihandoyo Marmer³, Pantjanita Novi Hartami⁴,
Meda Rosdiana Ipmawati¹

¹Pusat Pengembangan Sumber Daya Manusia Geologi, Mineral dan Batubara - KESDM,

²Sekolah Tinggi Teknologi Mineral Indonesia,

³PT. Fasade

⁴Program Studi Teknik Pertambangan - Universitas Trisakti

Naskah Diterima: 3 Juni 2024 /Revisi: 24 Juni 2024 /Disetujui: 29 Juni 2024

ABSTRAK

Perusahaan tambang kuari umumnya menerapkan kegiatan peledakan untuk memberai batu andesit dalam proses penambangannya. Sehubungan dengan jalur rel kereta api cepat yang mendekati lokasi penambangan, maka perlu melakukan kajian teknis dampak peledakan. Jarak antara jalur rel kereta api cepat dan lokasi tambang yang kurang dari radius 300 m, merupakan masalah yang kritis karena getaran peledakan atau lemparan batu terbang dapat merusak konstruksi bangunan jalur rel kereta api cepat maupun membahayakan keselamatan kereta api cepat ketika melintasi kegiatan peledakan. Tujuan dari kajian ini antara lain untuk mengetahui tingkat getaran tanah akibat peledakan yang aman; jarak batu terbang hasil peledakan yang aman; serta metode dan acuan teknis kegiatan peledakan yang aman terhadap rel kereta cepat pada jarak kurang dari 300 m. Pendekatan pengkajian adalah dengan metode observasi lapangan, pengukuran-pengukuran dan diskusi dengan pihak perusahaan dan pihak lainnya. Berdasarkan uraian dari hasil pengkajian dapat disimpulkan bahwa tingkat getaran maksimum masih berada di bawah nilai baku tingkat getaran, dimana ke arah trase pada jarak 58 m dan 60 m masing-masing mencapai 13,61 mm/s dan 15,86 mm/s. Sementara tingkat getaran maksimum sejajar trase pada jarak 56 m dan 62 m masing-masing mencapai 15,2 mm/s dan 17,69 mm/s. Jarak lemparan terjauh batu terbang adalah 20-30 m (< 300 m). Pekerjaan peledakan dengan geometri yang diterapkan saat ini dan pada jarak 100 m (< 300 m) dari trase rel kereta dapat menggunakan berat bahan peledak ANFO maksimum 22,5 kg/delay (= 3 lubang meledak simultan), 37,5 kg/delay (= 5 lubang meledak simultan) atau 52,5 kg/delay (= 7 lubang meledak simultan) yang diprediksi menghasilkan getaran masing-masing 8,15 mm/s, 12,90 mm/s dan 17,47 mm/s.

Kata kunci: batu terbang, getaran tanah, kecepatan partikel puncak, jarak skala.

ABSTRACT

A quarry mining company usually employs blasting activities to break andesite rock in its mining processes. Given the proximity of the high-speed railway tracks to the mining site, a technical assessment of the impact of blasting is necessary. The distance between the high-speed railway tracks and the mining site, being less than 300 meters, presents a critical issue as blasting vibrations or flyrock can damage the railway structure or pose a safety hazard to passing trains during blasting operations. The objectives of this study are to determine the safe ground vibration levels caused by blasting, the safe distance for flyrock, and the methods and technical references for safe blasting activities near high-speed railway tracks within 300 meters. The study approach includes field observations, measurements, and discussions with the company and other relevant parties. Based on the study results, it is concluded that the maximum vibration levels are below the standard vibration limits, with vibrations towards the tracks at distances of 58 meters and 60 meters reaching 13.61 mm/s and 15.86 mm/s, respectively. Meanwhile, the maximum vibration levels parallel to the tracks at distances of 56 meters and 62 meters reach 15.2 mm/s and 17.69 mm/s, respectively. The farthest flyrock distance is 20-30 meters (< 300 meters). Blasting operations with the current geometry and at a distance of 100 meters (< 300 meters) from the railway tracks can use a maximum ANFO explosive weight of 22.5 kg/delay (equivalent to 3 holes detonating simultaneously), 37.5 kg/delay (equivalent to 5 holes detonating simultaneously), or 52.5 kg/delay (equivalent to 7 holes detonating simultaneously), which are predicted to generate vibrations of 8.15 mm/s, 12.90 mm/s, and 17.47 mm/s, respectively.

Keywords: fly rock, ground vibration, peak particle velocity, scale distance.

PENDAHULUAN

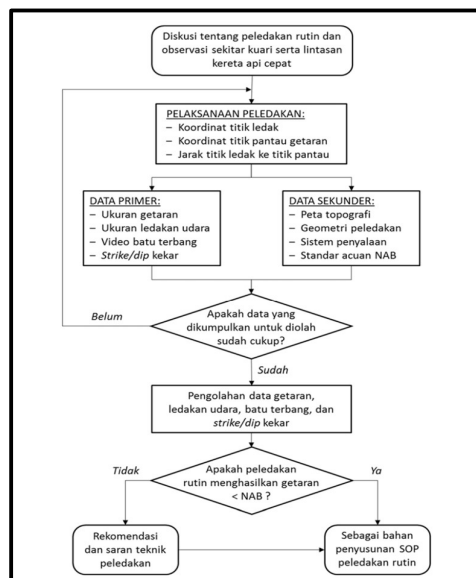
CV Panghegar adalah perusahaan pemegang IUP Operasi Produksi Kuari Andesit dengan nomor SK: 1258/1/IUP/PMDN/202, Tanggal berlaku SK: 10/26/2021, tanggal berakhir SK: 4/6/2027, luas 12,04 Ha. Secara administratif wilayah perjanjiannya terletak di Blok Gunung Patapaan, Desa Cilalawi dan Liunggunung, Kecamatan Sukatani dan Plered, Kabupaten Purwakarta Provinsi Jawa Barat. Sehubungan dengan jalur rel kereta api cepat yang mendekati lokasi penambangan, maka perlu melakukan kajian teknis dampak peledakan. Jarak antara jalur rel kereta api cepat dan lokasi tambang yang kurang dari radius 300 m, merupakan masalah yang kritikal karena getaran peledakan atau lemparan batu terbang dapat merusak konstruksi bangunan jalur rel kereta api cepat maupun membahayakan keselamatan kereta api cepat ketika melintasi kegiatan peledakan.

Berdasarkan masalah tersebut di atas, maka tujuan dari kajian ini antara lain untuk mengetahui tingkat getaran tanah akibat peledakan yang aman; jarak batu terbang hasil peledakan yang aman; serta metode dan acuan teknis kegiatan peledakan yang aman terhadap rel kereta cepat pada jarak kurang dari 300 m.

METODOLOGI

a. Rancangan Pengkajian

Pemikiran tentang metode pengkajian diawali dengan perancangan tahapan kegiatan pengkajian. Tahapan awal pengkajian adalah melakukan diskusi dengan pihak perusahaan untuk mendapatkan gambaran utuh tentang pelaksanaan peledakan rutin. Observasi lapangan merupakan tahapan untuk mengamati orientasi lokasi peledakan terhadap lintasan rel kereta cepat dan penduduk sekitarnya, persiapan peledakan, akurasi ukuran parameter geometri peledakan, proses pencampuran dan pengisian bahan peledakan serta sistem penyalan atau inisiasinya.

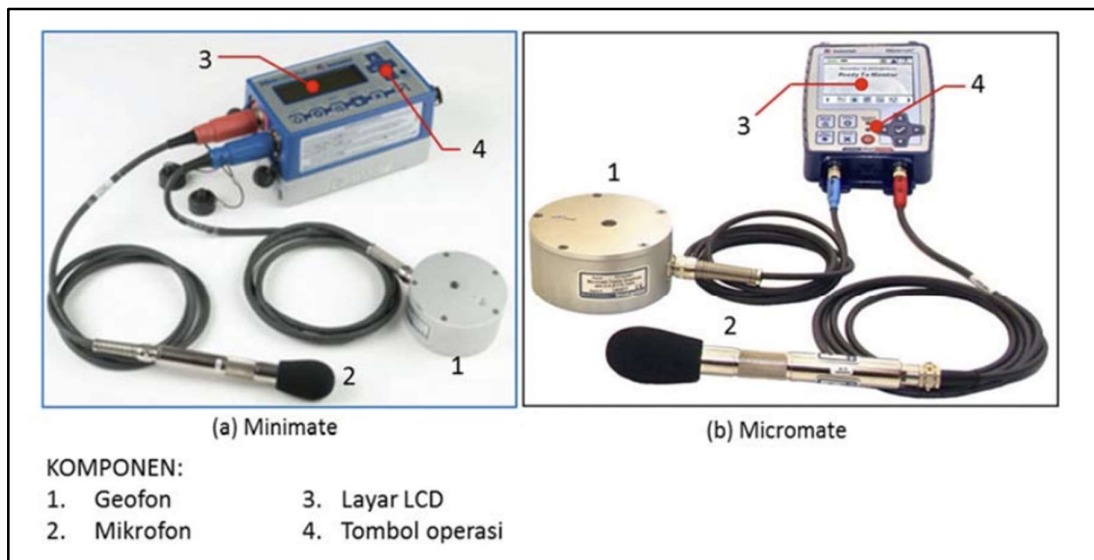


Gambar 1 Diagram alir penelitian

Pengumpulan data sekunder diperlukan untuk mendapatkan gambaran teknis tentang kuari secara umum dan yang berhubungan langsung dengan kegiatan peledakan. Informasinya diperoleh dari pihak perusahaan dan dari standar yang terkait dengan peledakan untuk memperoleh NAB getaran peledakan yang diijinkan, termasuk NAB yang digulirkan oleh KCIC. Sedangkan data primer didapatkan dengan melakukan pengukuran langsung di lapangan, yaitu data getaran peledakan, batu terbang menggunakan drone dan kamera serta pengukuran jurus dan kemiringan kekar (strike and dip) di sekitar kuari. Seluruh data dihimpun sebagai bahan untuk diolah, dianalisis dan disimpulkan hasilnya.

b. Peralatan

Jenis peralatan yang diperlukan dalam pengkajian terutama adalah alat pengukur getaran dan kebisingan akibat peledakan, yaitu minimate dan micromate (Gambar 2). Beberapa alat penunjang yang diperlukan dalam pengkajian ini adalah: (a) GPS; untuk mengetahui koordinat lokasi titik peledakan dan lokasi titik pantau getaran peledakan. (b) Kompas geologi; untuk mengukur jurus dan kemiringan kekar disekitar kuari. (c) Drone; untuk menangkap dan merekam proses peledakan dari arah atas, sehingga lintasan pergerakan fragmentasinya terlihat. (d) Kamera; untuk memotret peledakan atau membuat video proses peledakan dari arah samping, sehingga lintasan pergerakan fragmentasinya terlihat. Lintasan pergerakan fragmentasi batuan yang direkam oleh drone atau video kamera dapat memperlihatkan lemparan fragmentasi batuan terjauh yang pergerakannya dapat disajikan dalam bentuk gerak lambat (slow motion). Dengan mencermati gerak lambat lintasan fragmentasi dapat ditentukan adanya lintasan fragmen batuan yang digolongkan batu terbang (flyrock), yaitu fragmen batuan yang terbang melesat sampai rel kereta cepat atau mencapai 300 m.



Gambar 2 Pengukur getaran tanah dan kebisingan

c. Metode pengumpulan data

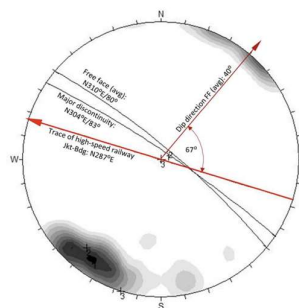
Dalam pengumpulan data getaran peledakan dibuat suatu kondisi yang memungkinkan nilai getaran pada lintasan rel kereta cepat dapat terekam dengan baik. Adapun pengondisian pengumpulan data tersebut adalah sebagai berikut:

- (1) Titik pantau getaran peledakan diatur sedemikian rupa agar terdapat titik-titik pantau yang relatif sejajar dengan dan tegak lurus terhadap arah lintasan rel kereta cepat,
- (2) Pada pengambilan data getaran peledakan ke-1 dan ke-2 sistem delay time detonator mengikuti kebiasaan rutin dari Juru Ledak perusahaan yang jeda waktu setiap delay time hanya 25 ms. Kondisi tersebut diyakini menghasilkan delay spectrum yang terlalu rapat, sehingga berpotensi menghasilkan getaran tinggi. Untuk mengatasi kondisi tersebut, pada pengambilan data getaran peledakan ke-3 dan ke-4 sistem delay detonator diperpanjang menjadi 50 ms (disesuaikan dengan stok detonator) agar delay spectrum menjauh dan getaran yang terekam menjadi lebih kecil dari sebelumnya.
- (3) Bahan peledak ANFO yang dipakai mengikuti kebiasaan pencampuran rutin di lapangan.
- (4) Ukuran burden, spasi, kedalaman lubang dan tinggi jenjang dikontrol sesuai desain yang direncanakan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Jurus dan Kemiringan Kekar

Endapan batu andesit di kuari CV Panghegar merupakan massa batuan yang terkekarkan sebagaimana halnya dengan kuari-kuari lainnya di sekitar Purwakarta. Kehadiran kekar yang cukup intensif dapat memperlemah kondisi massa batuan, sehingga dapat mempengaruhi distribusi ukuran fragmentasi dan nilai getaran peledakan. Oleh sebab itu asesmen terhadap keadaan kekar perlu dilakukan agar diperoleh korelasi antara getaran peledakan terhadap rel kereta cepat. Apabila dinding lereng bukit diamati dengan cermat nampak sebaran kekar yang memiliki pola tertentu. Untuk mengetahui polanya dapat dilakukan pengukuran jurus dan kemiringan (strike dan dip) setiap kekar menggunakan kompas geologi Brunton. Proses pengukuran strike dan dip dilakukan dengan menyiapkan bentangan tali atau scanline sebagai pemandu pengukuran strike dan dip yang dilintasi garis scanline tersebut. Apabila scanline tidak dapat disiapkan karena dinding terlalu terjal dan berbahaya, maka pengukuran strike dan dip dilakukan secara acak. Terdapat 50 data strike dan dip hasil pengukuran yang cukup mewakili dan dapat dianalisis memakai stereonet agar diperoleh arah umum bidang kekar atau bidang diskontinyu (major discontinuity). Hasil analisis stereografis seluruh kutub (poles) dari strike dan dip membentuk kontur dan menghasilkan konsentrasi kutub yang menggambarkan kedudukan bidang diskontinyu major pada strike dan dip menuju arah $N304^{\circ}E/83^{\circ}$.

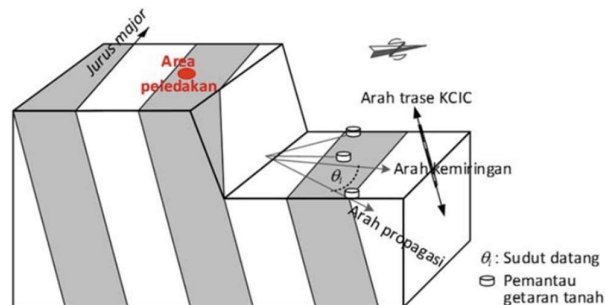


Gambar 3 Orientasi stereografis bidang diskontinu terhadap bidang bebas peledakan dan trase rel kereta cepat

Untuk menginterpretasikan orientasi arah bidang diskontinyu dengan bidang bebas peledakan dan arah trase rel kereta, maka bidang bebas peledakan dan arah trase rel kereta cepat juga harus diukur yang masing-masing hasilnya adalah $N310^{\circ}E/80^{\circ}$ untuk bidang bebas dan untuk arah trase rel kereta cepat $N287^{\circ}E$. Berdasarkan jurus dan kemiringan bidang diskontinyu umum dan bidang bebas peledakan terhadap arah trase rel kereta cepat, maka orientasi relatif kedua bidang tersebut terhadap arah rel kereta adalah sebagai berikut:

- Sudut antara arah bidang diskontinyu dengan bidang bebas peledakan = 6°
- Sudut antara arah bidang diskontinyu dengan arah trase rel kereta cepat = 17°
- Sudut antara bidang bebas peledakan dengan trase rel kereta cepat = 23°
- Arah kemiringan (*dip direction*) bidang bebas peledakan = 40°
- Sudut antara dip direction bidang bebas dengan arah trase rel kereta cepat = 67°
- Sudut kemiringan bidang diskontinyu dan bidang bebas peledakan cukup curam yang masing-masing besarnya 83° dan 80° dengan arah relatif ke utara atau mengarah ke trase rel kereta cepat.

Bentuk stereografis orientasi bidang diskontinyu terhadap bidang bebas peledakan dan trase rel kereta cepat dan dapat diekspresikan ke dalam bentuk isometris yang hasilnya terlihat pada gambar 4. Bentuk isometris memberikan gambaran tiga dimensi dari orientasi dua bidang terhadap arah trase rel kereta cepat, sehingga posisi ketiganya dapat dengan mudah diinterpretasikan.



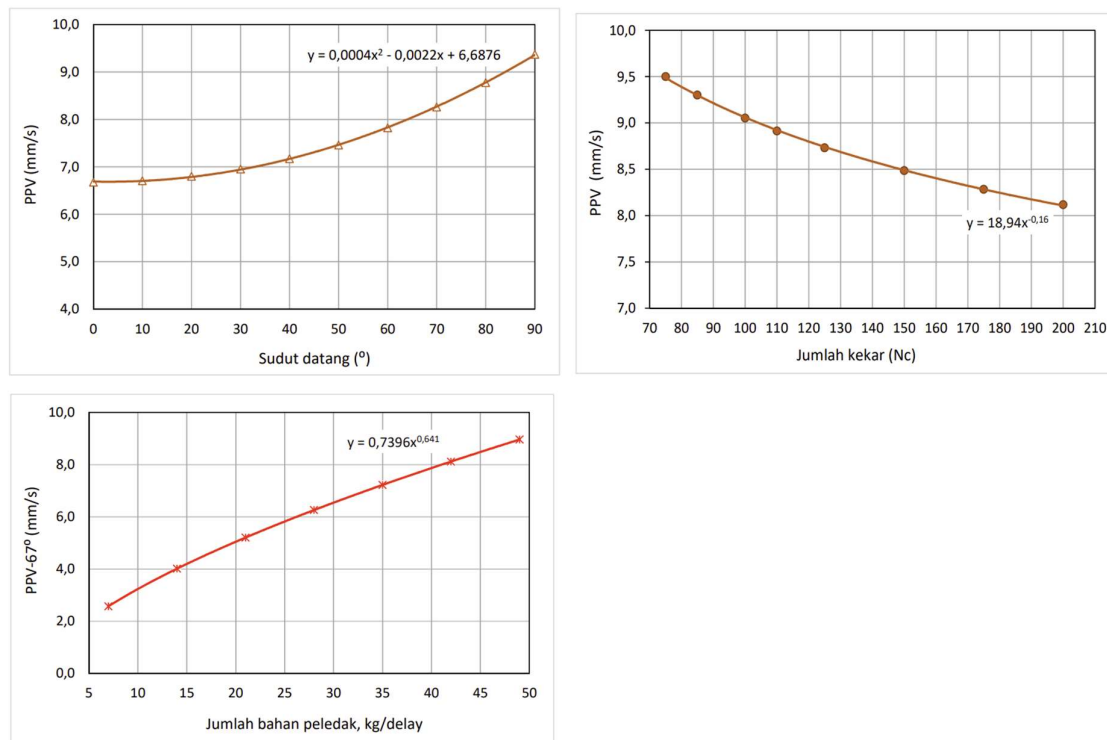
Gambar 4 Bentuk Isometris Orientasi Bidang Diskontinyu Terhadap Bidang Bebas Peledakan Dan Trase Rel Kereta Cepat

Pada kondisi batuan terkekarkan PPV lebih cepat melemah ke arah massa batuan yang berlapis-lapis dan berkemiringan curam dibandingkan ke arah sepanjang jurus. Dari Gambar 3.3 dapat dilihat bahwa arah umum bidang diskontinyu memiliki kemiringan yang curam (83°) dengan jurus $N304^{\circ}E$. Berdasarkan orientasi bidang diskontinyu dan bidang bebas peledakan tersebut di atas dapat disimpulkan bahwa getaran peledakan lebih cepat melemah ke arah trase rel kereta karena kemiringannya mengarah ke trase rel kereta cepat. Hal tersebut dapat dibuktikan dengan simulasi menggunakan Persamaan-2 untuk melihat hubungan antara variasi sudut datang (θ) terhadap getaran (PPV) yang hasilnya terlihat pada Gambar 3.5. Variabel tetap yang digunakan dalam simulasi tersebut adalah $K = 1000$, jarak (D) = 75 m dari bidang bebas (titik ledak) ke rel kereta (titik pantau), bahan peledak maksimum per delay (We) = 42 kg, $n = 1,28$ dan jumlah kekar dari bidang bebas ke rel kereta 200 kekar atau spasi kekar antara 0,37 – 0,38 m.

Dari kurva pada Gambar 5 terlihat bahwa makin lebar sudut datang semakin tinggi getarannya. Apabila arah propagasi getaran searah dengan dip direction bidang bebas, maka getaran yang

dihasilkan kecil, dalam kasus di atas adalah 6,7 mm/s; namun sebaliknya, apabila arah propagasi peledakan membentuk sudut 90° terhadap dip direction bidang bebas, maka getaran peledakannya tinggi, dalam kasus di atas sekitar 9,3 mm/s. Kegiatan peledakan di kuari Panghegar arah propagasi getaran membentuk sudut 67° terhadap trase rel kerta api cepat dan pada tinggi getaran pada sudut tersebut diprediksi mencapai 8,1 mm/s. Dengan demikian, pada jarak 75 m antara titik ledak dengan rel kereta cepat diprediksi getaran berkisar antara 6,7 – 8,1 mm/s.

Parameter lainnya yang sulit ditetapkan adalah jumlah kekar atau spasi kekar (N_c) dari bidang bebas peledakan (titik ledak) sampai ke rel kereta (titik pantau). Telah diketahui bahwa arah dip (dip direction) bidang bebas peledakan menghadap ke trase rel kereta cepat (Gambar 5). Tetapi yang tidak bisa ditetapkan adalah jumlah kekar (spasi kekar) antara bidang bebas atau area peledakan dengan trase rel kereta cepat. Menurut Simangunsong dan Wahyudi, 2015, getaran lebih cepat melemah ke arah massa batuan yang berlapis-lapis dan berkemiringan curam. Kondisi tersebut dapat dibuktikan dengan simulasi menggunakan Persamaan-2 yang meragamkan jumlah kekar (N_c). Variabel tetap dalam simulasi tersebut adalah $K = 1000$, jarak (D) = 75 m, $n = 1,28$, $\theta_i = 67^\circ$ dan berat bahan peledak maksimum per delay (W_e) = 42 kg.



Gambar 5 Hubungan antara sudut datang (θ_i) dengan getaran (PPV), hubungan antara jumlah kekar (N_c) dengan getaran (PPV) dan hubungan antara jumlah bahan peledak per delay (W_e) dengan getaran (PPV)

Hasil simulasi membentuk kurva (gambar 5), di mana kurva tersebut memperlihatkan makin rapat spasi kekar (N_c) antara bidang bebas dengan rel kereta akan menghasilkan getaran yang

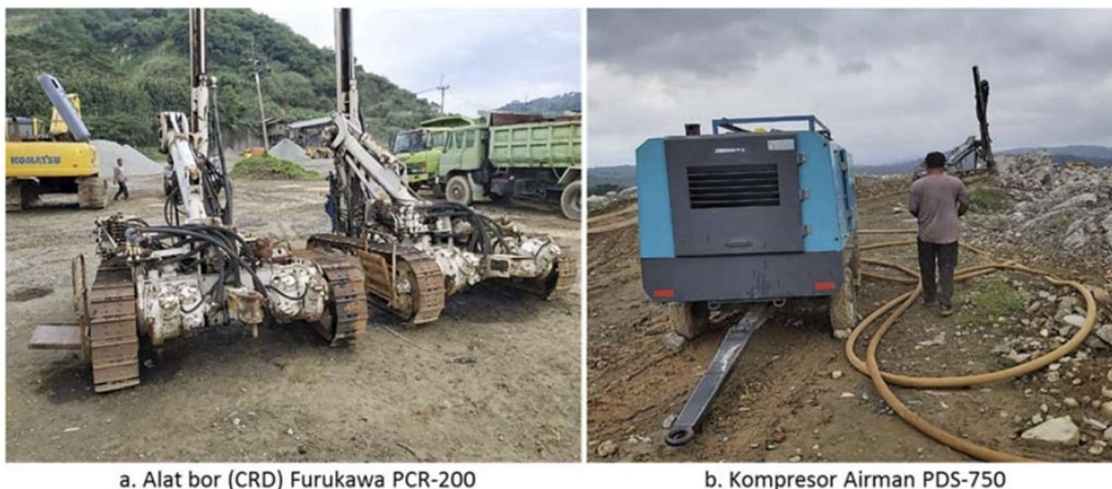
makin kecil. Sebagai contoh dapat dilihat pada Gambar 3.6 bahwa pada jarak 75 m getaran sebagai berikut:

- Untuk $N_c = 75$ kekar atau spasi kekar 1 m diprediksi tinggi getaran 9,5 mm/s.
- Untuk $N_c = 150$ kekar atau spasi kekar 0,5 m diprediksi tinggi getaran 8,5 mm/s.
- Untuk $N_c = 200$ kekar atau spasi kekar antara 0,3 – 0,4 m diprediksi tinggi getaran semakin mengecil, yaitu sekitar 8,1 mm/s.

Jumlah lubang yang meledak bersama menggunakan detonator listrik di kuari Panghegar terdiri dari 3 – 6 lubang. Apabila jumlah bahan peledak 7 kg/ lubang m, maka jumlah bahan peledak yang meledak per waktu tunda (delay) antara 21 – 42 kg. Dengan menggunakan Persamaan-2 dapat diprediksi tinggi getaran pada jarak pantau 75 m dengan 3 lubang meledak bersama (21 kg) sebesar 2,6 mm/s, sedangkan bila 6 lubang meledak bersama (42 kg) diprediksi tinggi getaran 8,1 mm/s.

b. Pengeboran Lubang Ledak

Alat bor yang digunakan untuk membuat lubang ledak adalah alat bor top hammer merk Furukawa PCR-200 dengan mata bor berdiameter 63,5 mm dan Energi pneumatiknya diperoleh dari kompresor Airman PDS-750. Untuk kedalaman lubang antara 5 – 10 m dan diameter antara 64 – 89 mm alat bor Furukawa cukup andal digunakan dalam pengeboran batu andesit.



Gambar 6 Alat bor CRD Furukawa PCR-200 dan Kompresor Airman PDS-750S

Hampir semua kuari batu andesit di sekitar Purwakarta menggunakan alat bor Furukawa tersebut di atas dengan spesifikasi teknis yang sama. Sejumlah pengkajian mengenai alat bor Furukawa telah dilakukan di beberapa kuari di sekitar Purwakarta yang menghasilkan informasi teknis penting sebagai berikut:

- Kekuatan batu andesit segar di sekitar kuari-kuari di Purwakarta antara 68,50 – 71,25 MPa setara dengan kekerasan $4\frac{1}{2}$ – 6 skala Mohs yang diklasifikasikan sebagai batuan agak keras atau medium hard (Protodyakonov, 1963).

- Laju penetrasi pengeboran batu andesit menggunakan alat bor Furukawa PCR-200 berkisar antara 0,49 – 0,54 m/men. Siklus waktu pengeboran alat bor Furukawa PCR-200 berkisar antara 11,75 – 12,60 men atau rata-rata 12,17 men.
- Kapasitas pengeboran (D_c) dinyatakan dalam persamaan $\frac{L \times 60}{C_t}$, di mana L dan C_t masing-masing adalah kedalaman lubang dan siklus waktu pengeboran. Jadi, untuk kedalaman lubang bor 5 m dan siklus waktu rata-rata 12,17 men diperoleh $D_c = \frac{5 \times 60}{12,17} = 24,65$ drm/jam (drillmeter per jam).
- Selanjutnya perlu menghitung volume setara (V_{eq}) dengan persamaan $\frac{B \times S \times H}{L}$. Untuk burden (B), spasi (S), tinggi jenjang (H) dan kedalaman lubang (L) yang rutin dikerjakan masing-masing adalah 2 m, 2,5 m, dan $L = H = 5$ m, maka $V_{eq} = \frac{2 \times 2,5 \times 5}{5} \text{ m}^3/\text{m}$.
- Apabila diketahui efisiensi kerja (E) = 80%, maka produksi alat bor Furukawa (Q) dihitung dengan persamaan $Q = D_c \times V_{eq} \times E = 24,65 \times 5 \times 0,8 = 98,60 \text{ m}^3/\text{jam}$.

Dengan menerapkan perhitungan di atas perusahaan dapat mengestimasi kinerja alat bor Furukawa yang dimilikinya. Kinerja tersebut cenderung menurun seiring dengan umur pakainya yang secara langsung menurunkan produksi, terutama bila digunakan rutin pada batuan yang bersifat abrasif seperti halnya batu andesit.

c. Kegiatan Peledakan

Peledakan untuk pengambilan data getaran dilakukan lima kali, yaitu pada tanggal 10 Juni 2023, 11 Juli 2023, 5 Agustus 2023, 12 Agustus 2023 dan 30 Agustus 2023. Terdapat dua aspek teknis dalam kegiatan peledakan yang berperan sebagai pengontrol getaran peledakan, yakni jumlah bahan peledak dan pola peledakan.

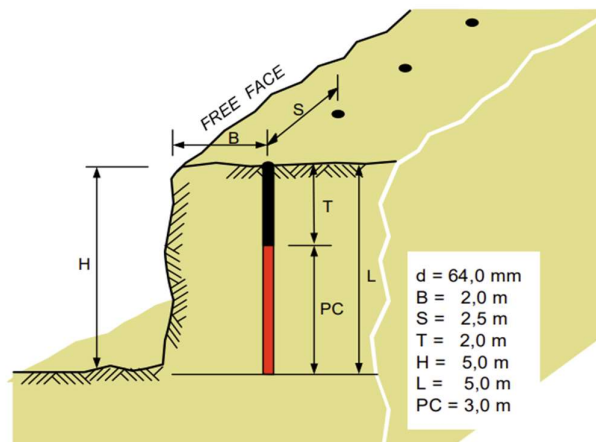
1. Jumlah bahan peledak

Parameter yang pertama ditentukan dalam penentuan dimensi geometri peledakan adalah diameter lubang ledak (d) yang berfungsi sebagai penampung bahan peledak. Pada kedalaman lubang ledak yang sama, makin besar diameter lubang ledak semakin banyak bahan peledak yang bisa ditampung didalamnya dan semakin besar pula getaran yang ditimbulkan pada jarak tertentu. Dari sudut pandang produksi, konsumsi bahan peledak yang banyak dapat menghasilkan distribusi fragmentasi yang berukuran kecil sampai sedang, sehingga waktu gali (digging time) alat gali-muat lebih cepat. Sebaliknya bila jumlah bahan peledaknya sedikit cenderung menghasilkan ukuran fragmen yang besar. Dengan demikian keseimbangan antara jumlah bahan peledak dengan ukuran geometri peledakan perlu mendapat perhatian agar dihasilkan powder factor yang memuaskan.

Telah disinggung sebelumnya bahwa mata bor yang digunakan untuk membuat lubang ledak (d) adalah 2,5 inci ≈ 64 mm. Selanjutnya kuari batu andesit CV Panghegar menerapkan geometri peledakan yang rutin, yaitu $B = 2$ m, $S = 3,5$ m, $H = L = 5$ m, $T = 2$ m dan kolom isian lubang ledak (PC) = 3 m seperti tertera pada Tabel 3.4 dan Gambar 7. Jenis bahan peledak utama yang digunakan adalah ANFO hasil peramuan antara ammonium nitrat 94,5% dan solar 5,5% dan menghasilkan densitas (ρ_e) 0,8 g/cc. Proses peramuan tersebut dilakukan di lokasi peledakan dan langsung dituangkan ke dalam lubang ledak yang sudah disiapkan.

Tabel 1 Geometri peledakan dan Powder Factor

Parameter	Ukuran
Diameter lubang ledak (d): 2,5 inci	: 63,50 mm
Burden (B)	: 2,00 m
Spasi (S)	: 2,50 m
Tinggi Jenjang (H)	: 5,00 m
Kedalaman lubang (L) rata-rata	: 5,00 m
Subdrilling (J)	: 0,00 m
Kolom stemming (T)	: 2,00 m
Kolom isian bahan peledak (PC)	: 3,00 m
Produksi peledakan (BxSxH)	: 25,00 bcm/lub
Loading density (Ld)	: 2,57 kg/m
Jumlah bahan peledak (We)	: 7,70 kg/lub
Powder Factor (PF): We/(BxSxH)	: 0,30 kg/bcm



Gambar 7 Isometris Geometri Peledakan

Berdasarkan geometri yang rutin diterapkan seperti dijelaskan di atas, dapat hitung jumlah bahan peledak, volume peledakan dan powder factor (PF) sebagai berikut:

- Jumlah bahan peledak (We) teoritis = $\frac{\rho_e \times d^2}{1273} \times PC = \frac{0,8 \times 64^2}{1273} \times 3 = 7,7 \text{ kg/lub}$, sedangkan jumlah bahan peledak aktual di lapangan antara 7,0 – 7,5 kg/lub.
- Volume hasil peledakan (Vp) dihitung $B \times S \times H = 2 \times 2,5 \times 5 = 25 \text{ m}^3 \text{ (bank)/lub}$.
- Berdasarkan We teoritis dan aktual di lapangan diperoleh *powder factor* (PF) teoritis dan aktual sebagai berikut:
 - PF-teoritis = $\frac{We\text{-teoritis}}{Vp} = \frac{7,5}{25} = 0,30 \text{ kg/m}^3$
 - PF-aktual = $\frac{We\text{-aktua}}{Vp} = \frac{7,0}{25} = 0,28 \text{ kg/m}^3$

Dengan sedikit mengurangi bahan peledak atau PF turun dari 0,30 kg/m³ menjadi 0,28 kg/m³ masih diperoleh distribusi fragmentasi yang memuaskan.

2. Pola Peledakan

Sistem penyalan menggunakan detonator listrik (electric delay detonator) yang terbatas waktu tundanya, sehingga rancangan pola peledakan lubang per lubang (hole by hole) sulit diterapkan. Sebelumnya telah disinggung di atas bahwa jumlah lubang yang meledak bersamaan (simultan) antara 3 – 6 lubang bahkan ada yang 7 lubang. Dengan jumlah lubang tersebut dan bahan peledak 7,5 kg/lubang, maka bahan peledak per delay antara 22,5 – 37,5 kg dan untuk 7 lubang meledak simultan adalah 52,5 kg.

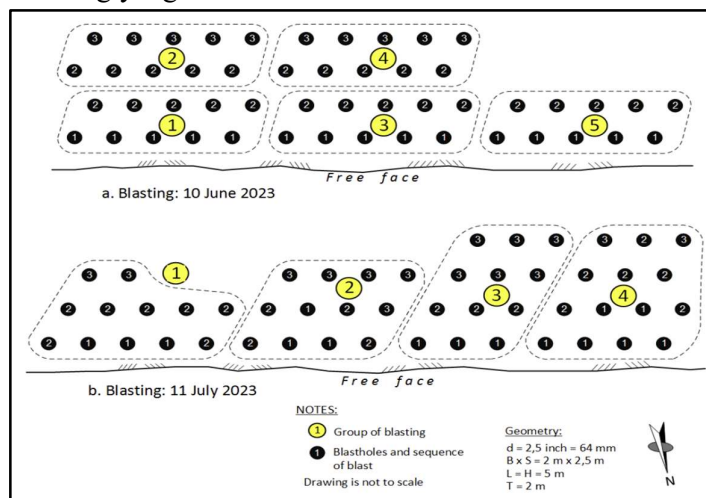
Dari lima kali peledakan, untuk peledakan ke-1 dan ke-2 menggunakan pola peledakan rutin, yaitu jeda waktu tunda hanya 25 ms. Pada peledakan ke-3 dan ke-4 waktu tunda peledakan diubah menjadi 50 ms agar jeda waktu ledakannya lebih lama dengan jumlah lubang yang meledak bersamaan 6 lubang. Pada peledakan ke-5 waktu tunda peledakan tetap 50 ms, namun sekelompok peledakan dengan jumlah lubang yang meledak bersamaan hanya 3 lubang. Rincian lima kali peledakan sebagai berikut:

(a) Peledakan tanggal 10 Juni 2023

Terdapat 50 lubang dirancang 5 kali peledakan dengan 10 lubang per peledakan terdiri dari dengan jeda waktu tunda (delay) 25 ms dan nomor delay tersusun. Pada gambar tersebut terlihat ada 5 lubang meledak bersama.

(b) Peledakan tanggal 11 Juli 2023

Terdapat 50 lubang dirancang 4 kali peledakan dengan jumlah lubang setiap kali peledakan dan jeda waktu tunda. Rancangan jeda waktu tunda yang diterapkan masih 25 ms dan ada 3 – 7 lubang yang meledak bersamaan.

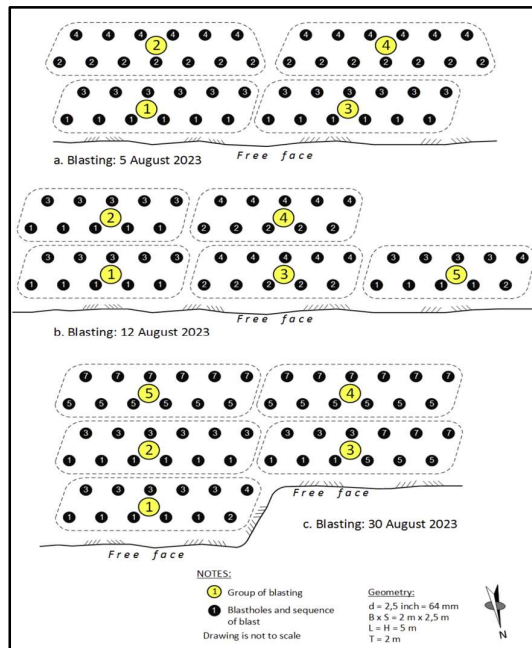


Gambar 8 Pola Peledakan Pada Tanggal 10 Juni Dan 11 Juli 2023

(c) Peledakan tanggal 5, 12 dan 30 Agustus 2023

Terdapat 50 lubang dirancang 4 kali peledakan pada tanggal 5 Agustus, 5 kali peledakan pada tanggal 12 dan 30 Agustus 2023. Waktu tunda mulai dikontrol lebih lambat dari sebelumnya dengan jeda waktu tunda 50 ms. Pada peledakan tanggal 5 dan 10 Agustus ada 5 – 6 lubang yang meledak bersamaan, sedangkan pada tanggal 30 Agustus antara

3 – 6 lubang meledak bersamaan. Untuk 3 lubang meledak bersamaan jumlah bahan peledaknya 22,5 kg yang diyakini akan menghasilkan getaran yang rendah.



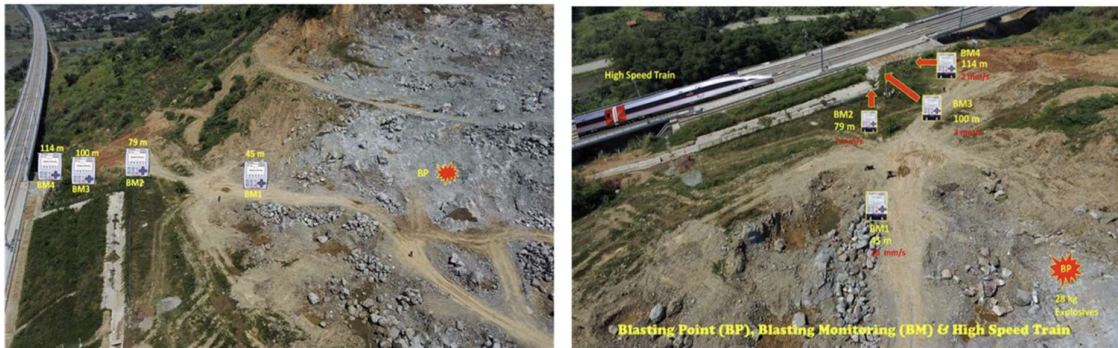
Gambar 9 Pola Peledakan Pada Tanggal 5, 12 Dan 30 Agustus 2023

3. Pengukuran Getaran dan Ledakan Udara

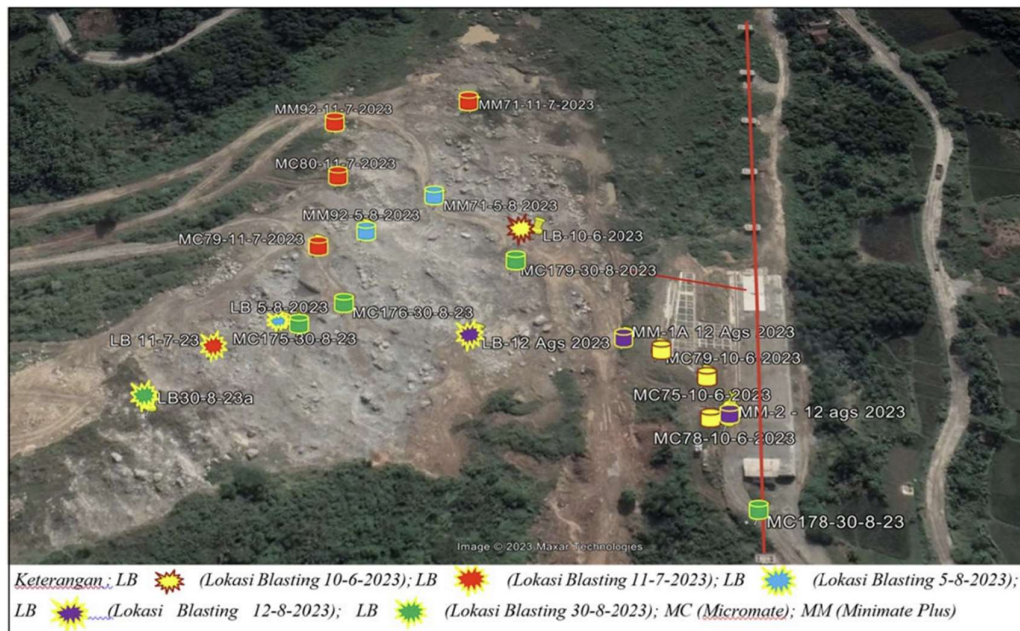
Pengukuran getaran peledakan dan ledakan udara yang dikerjakan mulai dari 10 Juni sampai dengan 30 Agustus 2023 dan menghasilkan 66 data yang rekapitulasinya tertera pada Tabel 3.5. Percobaan tersebut menggunakan diameter lubang 64 mm, bahan peledak ANFO dengan densitas 0,8 g/cc dan jumlah isian bahan peledak yang meledak bersama antara 28 – 49 kg. Getaran peledakan yang dihasilkan yang mengarah ke trase rel kereta cepat antara 1,28 – 13,61 mm/s dengan jarak pantau antara 58 – 228 m. Getaran peledakan yang dihasilkan yang mengarah ke strike atau sejajar dengan trase rel kereta cepat antara 3,4 – 19,69 mm/s dengan jarak pantau antara 62 – 168 m.

Merujuk pada pola peledakan tanggal 30 Agustus 2023 pada peledakan ke-3 yang memakai nomor delay 1 ada 3 lubang, nomor 3 ada 3 lubang, nomor 5 ada 3 lubang dan nomor 7 ada 3 lubang dengan isian bahan peledak 21 kg/delay menimbulkan getaran kecil, yaitu 9 mm/s pada jarak 60 m. Getaran peledakan tersebut berada di bawah NAB yang ditetapkan oleh KCIC, yaitu 2,5 cm/s atau 25 mm/s, terhadap bangunan tunnel kereta cepat. Pola peledakan ini hendaknya dijadikan acuan untuk peledakan pada jarak kurang dari 75 m dari trase rel kereta cepat. Sedangkan pola peledakan dengan nomor delay 1 sebanyak 6 lubang dan nomor 3 ada 6 lubang memuat bahan peledak 42 kg menghasilkan getaran antara 11,6 ~ 17,7 mm/s pada jarak 60 m. Pengukuran dilakukan di 4 titik mulai dari yang terdekat pada jarak 60 m dan jarak terjauh 288 m berada disekitar pilar rel kereta cepat dengan getaran terbesar hanya 1,1 mm/s. Berdasarkan SNI 7570 2010 untuk bangunan tunnel maupun penyangga beton (pilar) dikategorikan kelas 5, pada frekuensi 20 – 100 Hz getaran maksimum bisa 40 mm/s.

Pola peledakan tanggal 10 Juni 2023 terdapat di Gambar 3.10a dengan titik pemantauan (monitoring) getaran peledakan terdapat pada Gambar 3.12 dan 3.13 (dengan ilustrasi kereta cepat). Seluruh titik peledakan dan titik-titik pemantauan getaran peledakan dari Juni, Juli dan Agustus 2023 terdapat di Gambar 3.14. Dengan memperhatikan sebaran titik peledakan dan titik pemantauan tersebut dapat dilihat sebaran titik pemantauan ke arah trase rel kereta dan yang relatif sejajar dengan trase yang semuanya terangkum pada Tabel 3.5 kolom “Arah Peledakan”.



Gambar 10 Titik Ledak Dan Titik-Titik Pantau 10 Juni 2023 dan Titik Ledak Dan Titik-Titik Pantau Dengan Ilustrasi Kereta Cepat Tanggal 10 Juni 2023



Gambar 11 Titik Ledak dan Titik Pantau pada Peledakan Bulan Juni, Juli dan Agustus 2023

Tabel 2 Rekapitulasi Hasil Pengukuran Getaran Dan Ledakan Udara

Tanggal	Lokasi Ledak	Lokasi Pantau	Arah Peledakan	Jarak (m)	We/delay (kg)	PPV-T (mm/s)	PPV-V (mm/s)	PPV-L (mm/s)	PVS (mm/s)	SPL (dB-A)	SPL (dB-L)
10 Juni 2023	LB 10-6-2023 ke 1	MC-79	Kearah trase	79	28	3,110	2,388	3,129	3,540	70,3	
	LB 10-6-2023 ke 2	MC-79	Kearah trase	79	28	4,264	4,690	6,975	7,175	79,2	
	LB 10-6-2023 ke 3	MC-79	Kearah trase	79	28	5,226	3,090	4,516	5,242	74,1	
	LB 10-6-2023 ke 4	MC-79	Kearah trase	79	28	2,357	2,097	3,334	3,947	75,5	
	LB 10-6-2023 ke 5	MC-79	Kearah trase	79	28	2,183	1,884	3,854	4,031	71,8	
	LB 10-6-2023 ke 1	MC-75	Kearah trase	100	28	1,947	1,892	1,986	2,294	69,3	
	LB 10-6-2023 ke 2	MC-75	Kearah trase	100	28	2,317	1,955	3,247	3,364	70,4	
	LB 10-6-2023 ke 3	MC-75	Kearah trase	100	28	2,428	1,821	1,679	2,831	70,3	
	LB 10-6-2023 ke 4	MC-75	Kearah trase	100	28	1,773	1,513	1,671	2,220	70,0	
	LB 10-6-2023 ke 5	MC-75	Kearah trase	100	28	1,182	1,332	1,868	1,924	67,3	
	LB 10-6-2023 ke 1	MC-78	Kearah trase	114	28	1,474	1,261	1,442	1,789	64,6	
	LB 10-6-2023 ke 2	MC-78	Kearah trase	114	28	1,829	2,491	2,010	2,922	66,9	
	LB 10-6-2023 ke 3	MC-78	Kearah trase	114	28	1,434	1,892	1,395	2,025	66,2	
	LB 10-6-2023 ke 4	MC-78	Kearah trase	114	28	0,977	1,167	1,040	1,280	67,3	
	LB 10-6-2023 ke 5	MC-78	Kearah trase	114	28	1,332	1,529	1,466	1,290	66,6	
11 Juli 2023	LB 11-7-2023 ke 1	MC-79	Sejajar trase	62	49	3,673	8,922	7,653	11,62		134,2
	LB 11-7-2023 ke 2	MC-79	Sejajar trase	62	49	4,832	15,87	11,38	17,42		128,1
	LB 11-7-2023 ke 3	MC-79	Sejajar trase	62	49	2,569	11,48	7,007	12,41		129,5
	LB 11-7-2023 ke 4	MC-79	Sejajar trase	62	49	6,606	14,77	12,68	16,53		134,8
	LB 11-7-2023 ke 1	MC-80	Sejajar trase	99	49	3,578	6,282	11,16	11,62		131,1
	LB 11-7-2023 ke 2	MC-80	Sejajar trase	99	49	4,059	8,962	17,37	17,69		127,8
	LB 11-7-2023 ke 3	MC-80	Sejajar trase	99	49	2,569	5,785	8,221	9,371		125,7
	LB 11-7-2023 ke 1	BE-92	Sejajar trase	132	49	2,572	3,477	4,064	4,353	70,5	
	LB 11-7-2023 ke 2	BE-92	Sejajar trase	132	49	3,540	5,001	5,874	7,675	65,5	
	LB 11-7-2023 ke 3	BE-92	Sejajar trase	132	49	2,032	2,588	2,746	3,460	61,1	
	LB 11-7-2023 ke 4	BE-92	Sejajar trase	132	49	8,557	6,413	6,413	9,457	61,9	
	LB 11-7-2023 ke 1	BE-71	Sejajar trase	168	49	3,667	1,953	4,778	5,392		137,8
	LB 11-7-2023 ke 2	BE-71	Sejajar trase	168	49	7,207	3,731	6,890	7,801		137,3
	LB 11-7-2023 ke 3	BE-71	Sejajar trase	168	49	3,667	2,556	4,731	5,519		137,3
	LB 11-7-2023 ke 4	BE-71	Sejajar trase	168	49	5,397	3,556	10,41	11,37		137,5
5 Agustus 2023	LB 5-8-2023 ke 2	BE-92	Sejajar trase	56	49	6,144	14,21	14,54	15,02	83,7	
	LB 5-8-2023 ke 3	BE-92	Sejajar trase	56	49	4,842	10,51	11,32	13,50	86,1	
	LB 5-8-2023 ke 4	BE-92	Sejajar trase	56	49	2,556	4,858	7,763	8,133	86,1	
	LB 5-8-2023 ke 1	BE-71	Sejajar trase	88	49	6,763	8,509	11,22	12,89		138,1
	LB 5-8-2023 ke 2	BE-71	Sejajar trase	88	49	3,762	4,858	6,747	7,927		137,5
	LB 5-8-2023 ke 3	BE-71	Sejajar trase	88	49	2,826	5,334	4,905	7,368		138,0
12 Agustus 2023	LB 12-8-2023 ke 4	BE-71	Sejajar trase	88	49	2,746	3,032	4,651	5,178		138,2
	LB 12-8-2023 ke 1	BE-71	Kearah trase	58	35	13,06	9,779	4,794	13,14		137,9
	LB 12-8-2023 ke 2	BE-71	Kearah trase	58	35	10,21	8,096	5,826	10,81		137,8
	LB 12-8-2023 ke 3	BE-71	Kearah trase	58	35	12,54	8,207	6,316	12,65		137,9
	LB 12-8-2023 ke 4	BE-71	Kearah trase	58	35	13,18	5,159	8,763	13,61		138,0
	LB 12-8-2023 ke 1	BE-92	Kearah trase	103	35	1,302	2,635	1,984	2,676	63,6	
	LB 12-8-2023 ke 2	BE-92	Kearah trase	103	35	1,143	1,270	1,254	1,595	67,1	
	LB 12-8-2023 ke 3	BE-92	Kearah trase	103	35	1,841	2,556	1,857	2,813	65,6	
30 Agustus 2023	LB 12-8-2023 ke 4	BE-92	Kearah trase	103	35	0,841	1,603	1,476	1,704	67,0	
	LB 30-8-2023 ke 1	MC-75	Kearah trase	60	42	8,213	13,67	11,83	15,86	84,1	
	LB 30-8-2023 ke 3	MC-75	Kearah trase	60	21	5,431	6,006	8,757	9,479	72,8	
	LB 30-8-2023 ke 4	MC-75	Kearah trase	60	42	3,531	5,494	11,63	12,70	71,3	
	LB 30-8-2023 ke 1	MC-76	Kearah trase	83	42	7,070	6,455	11,98	13,93	70,7	
	LB 30-8-2023 ke 2	MC-76	Kearah trase	83	42	10,05	17,85	12,37	13,71	70,9	
	LB 30-8-2023 ke 3	MC-76	Kearah trase	83	21	3,744	4,437	4,709	5,627	66,9	
	LB 30-8-2023 ke 4	MC-76	Kearah trase	83	42	4,406	5,375	7,401	8,136	67,6	
	LB 30-8-2023 ke 5	MC-76	Kearah trase	83	42	7,275	14,43	7,054	9,686	71,4	
	LB 30-8-2023 ke 1	MC-79	Kearah trase	154	42	4,146	3,405	5,754	5,885	62,5	
	LB 30-8-2023 ke 2	MC-79	Kearah trase	154	42	3,500	4,445	6,621	6,928	61,6	
	LB 30-8-2023 ke 3	MC-79	Kearah trase	154	21	1,759	1,513	1,931	2,316	61,7	
	LB 30-8-2023 ke 4	MC-79	Kearah trase	154	42	2,743	2,309	3,752	3,784	59,2	
	LB 30-8-2023 ke 5	MC-79	Kearah trase	154	42	2,491	3,673	4,753	5,229	67,9	
	LB 30-8-2023 ke 1	MC-78	Kearah trase	288	42	0,536	0,394	0,859	1,075	58,2	
	LB 30-8-2023 ke 2	MC-78	Kearah trase	288	42	0,804	0,709	0,867	1,170	51,4	
	LB 30-8-2023 ke 3	MC-78	Kearah trase	288	21	0,780	0,701	0,883	1,100	58,8	
	LB 30-8-2023 ke 4	MC-78	Kearah trase	288	42	0,812	0,757	0,662	0,973	83,8	
	LB 30-8-2023 ke 5	MC-78	Kearah trase	288	42	0,081	0,118	0,300	0,323	65,3	

Catatan: We/delay diperoleh dari laporan Juru Ledak

4. Pengukuran Batu Terbang (fly rock)

Untuk mengetahui jarak terjauh dari batu terbang karena peledakan (fly rock) digunakan drone dan kamera yang mana data jarak diambil sebelum peledakan, saat peledakan dan pascapeledakan untuk memastikan jarak aktual terjauhnya. Jarak terjauh dari batu terbang selama kegiatan peledakan pada bulan Juni, Juli dan Agustus maksimum 25 m yang merupakan hasil dari pantauan dengan menggunakan drone maupun kamera yang dilakukan sebelum, saat dan pasca peledakan. Bila ditetapkan acuan maksimum jarak batu terbang 50 m, maka dapat dipastikan jarak batu terbang tersebut masih aman. Pada Gambar 12 terlihat lemparan fragmentasi batu hasil peledakan yang maksimum mencapai 25 m.



Gambar 12 Lemparan Fragmentasi Batu Hasil Peledakan

5. Analisis Dampak Peledakan

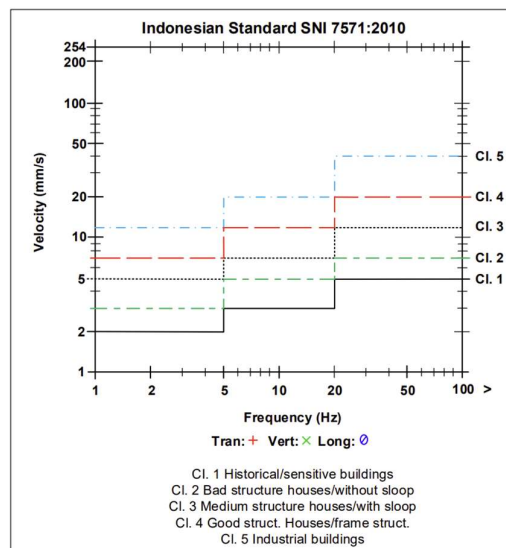
Berdasarkan pengamatan di lapangan, kegiatan peledakan di kuari CV Panghegar yang menimbulkan dampak terhadap kereta cepat terutama akibat getaran dan batu terbang (fly rock). Tingkat getaran dan jarak batu terbang diketahui dengan melakukan pengukuran (perekaman) langsung di area terdekat dengan objek terkena dampak, baik perekaman ke arah trase maupun yang relatif sejajar dengan trase rel kereta.

1. Standar getaran peledakan

Standar kecepatan getaran peledakan yang diijinkan untuk struktur terowongan kereta kecepatan tinggi sebesar 2,3 cm/s (= 25 mm/s) sesuai dengan pernyataan tim dari KCIC (Lampiran C). Standar untuk pillar penyangga rel kereta dianggap ekuivalen dengan standar tersebut yang sesungguhnya setara dengan bangunan kelas 5 pada SNI 7571:2010 tentang baku tingkat getaran peledakan pada kegiatan tambang terbuka terhadap bangunan (lihat Tabel 4.1 dan Gambar 4.1). Bangunan kelas 5 dikategorikan sebagai bangunan industri (industrial building) yang tetap kokoh bila terpropagasi getaran yang besarnya maksimum 12 mm/s. Bahkan bangunan industri yang digunakan untuk jangka panjang, seperti halnya pilar-pilar penyangga rel kereta atau terowongan yang dirancang memiliki umur operasi puluhan sampai ratusan tahun, harus tetap stabil ketika menerima tingkat getaran antara 12 – 40 mm/s. Dengan demikian dapat diterima bahwa standar kecepatan getaran untuk struktur pilar atau terowongan adalah 25 mm/s. Menilik standar tingkat getaran untuk konstruksi bangunan industri tersebut, maka rancangan peledakan batuan di kuari tidak boleh menghasilkan getaran lebih besar dari 25 mm/s pada struktur pilar penyangga rel kereta berkecepatan tinggi.

Tabel 3 Kelas Dan Jenis Bangunan Serta Getaran (Peak Vector Sum)

Kelas	Jenis bangunan	Peak Vektor Sum (mm/detik)
1	Bangunan kuno yang dilindungi undang-undang benda cagar budaya (Undang-undang No. 6 tahun 1992).	2
2	Bangunan dengan pondasi, pasangan bata dan adukan semen saja, termasuk bangunan dengan pondasi dari kayu dan lantainya diberi adukan semen.	3
3	Bangunan dengan pondasi, pasangan bata dan adukan semen diikat dengan sloop beton.	5
4	Bangunan dengan pondasi, pasangan bata dan adukan semen sloop beton, kolom dan rangka diikat dengan ring baik.	7 - 20
5	Bangunan dengan pondasi, pasangan bata dan adukan semen, sloop beton, kolom dan diikat dengan rangka baja.	12 - 40



Gambar 13 Grafik Baku Tingkat Getaran Peledakan

2. Getaran Peledakan Ke Arah Trase Rel Kereta Cepat

Pengukuran getaran ke arah trase dilakukan pada peledakan tanggal 10 Juni 2023, 12 Agustus 2023 dan 30 Agustus 2023. Data getaran peledakan dari tiga tanggal tersebut terdapat pada Tabel 3.5 dan dijadikan input pada perangkat lunak Blastware untuk mendapatkan Kurva Scale Distance (Kurva SD), yaitu kurva yang dibangun dari pasangan data SD pada absis dengan data getaran (PPV) pada ordinat (lihat Gambar 4.2). Dari Persamaan-1 diketahui bahwa $SD = D \sqrt{We}$, di mana tingkat getaran (PPV) dan jarak (D) merupakan dua parameter yang dapat dimanipulatif. Kurva SD pada Gambar 4.2 membentuk persamaan regresi power, yaitu $PPV = 1973,9(SD)^{-1,801}$, yang digunakan sebagai pendekatan untuk mengestimasi jumlah bahan peledak (We) pada peledakan dengan jarak tertentu sesuai dengan tingkat PPV yang diijinkan. Pada Gambar 14 terlihat jarak horizontal antara batas IUP kuari CV Panghegar dengan trase sejauh 53 m yang tidak mungkin dioperasikan peledakan disepanjang batas tersebut. Pekerjaan peledakan terdekat dari trase yang rutin dilakukan berada pada posisi 75 m. Dengan berpatokan pada jarak tersebut dan PPV kritis 20 mm/s, maka dengan pendekatan persamaan regresi power di atas dapat dihitung jumlah bahan peledak maksimum yang diijinkan sebagai berikut:

$$PPV = 1973,9 \left(\frac{D}{\sqrt{W}} \right)^{-1,801}$$

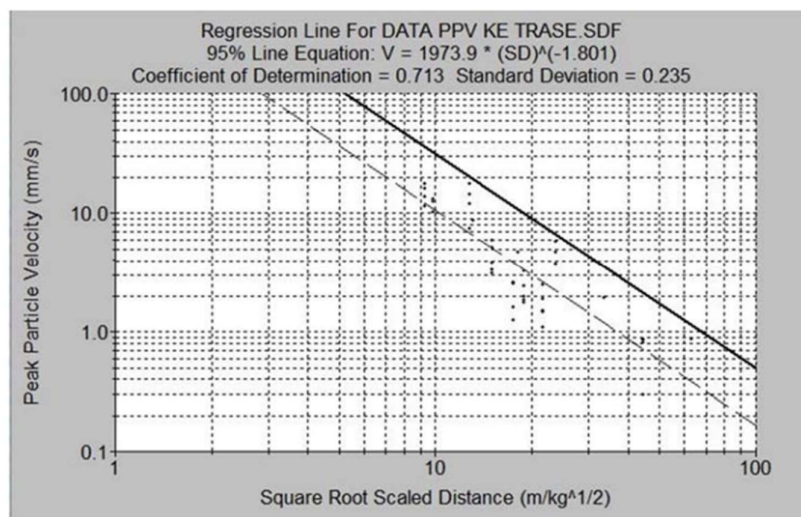
$$W = \left[\frac{1973,9(D^{-1,801})}{PPV} \right]^{-1/0,9005}$$

Untuk $D = 75$ m dan $PPV = 20$ mm/s, maka:

$$W = \left[\frac{1973,9(75^{-1,801})}{20} \right]^{-1/0,9005} = 34,31 \text{ kg/delay}$$

Jumlah bahan peledak (We) = 7,5 kg/lub (lihat Tabel 3.4, dibulatkan ke bawah), jadi:

$$\text{Jumlah lubang ledak (holes) per delay} = \frac{34,31}{7,5} = 5 \text{ holes/delay}$$



Gambar 14 Kurva Scaled Distance Peledakan Ke Arah Trase Rel Kereta

Dari perhitungan di atas diperoleh, jika jarak peledakan ke trase rel kereta 75 m dan PPV = 20 mm/s, maka berat bahan peledak per delay 34,31 kg atau dengan meledakkan 5 lubang secara simultan. Makin jauh jarak peledakan ke trase rel kereta, semakin banyak bahan peledak yang dipakai dan semakin banyak pula jumlah lubang per delay yang dapat diledakkan.

Tabel 4 Jumlah Lubang Per Delay Ke Arah Trase Rel Kereta

Distance

Increment

75.0

25.00

m

Peak

Table Size

20

mm/s

30

Calculate

Print

Distance (m)	Weight (kg)	Holes/ delay
75,00	34,31	5
100,0	61,00	8
125,0	95,32	13
150,0	137,26	18
175,0	186,82	25
200,0	244,01	33
225,0	308,82	41
250,0	381,26	51
275,0	461,33	62
300,0	549,02	73
325,0	644,34	86
350,0	747,28	100
375,0	857,85	114
400,0	976,04	130
425,0	1101,86	147
450,0	1235,30	165
475,0	1376,37	184
500,0	1525,06	203

3. Getaran Peledakan Relatif Sejajar Trase Rel Kereta Cepat

Merujuk pada Tabel 3.5 dan Gambar 3.14 diketahui bahwa perekaman getaran peledakan yang relatif sejajar dengan trase rel kereta cepat dilakukan pada tanggal 22 Juli 2023 dan 5 Agustus 2023. Terdapat 22 data yang terekam dan jumlah itu lebih sedikit dibanding dengan data yang ke arah trase sebanyak 43 data. Pada Gambar 3.3 terlihat bahwa arah umum jurus bidang diskontinuitas N304°E, sedangkan arah trase rel kereta N287°E, sehingga kedua arah tersebut sesungguhnya tidak tepat sejajar tetapi “relatif sejajar” dengan selisih sudut 17°. Adanya perbedaan sudut dan kondisi kekar di dalam batuan mempengaruhi kecepatan propagasi getaran antara titik ledak dan titik pantau. Dari hasil pengolahan data menggunakan Blastware diperoleh persamaan regresi power $PPV = 108,4(SD)-0,688$ (lihat Gambar 4.3). Merujuk jarak 75 m sebagai jarak peledakan rutin terdekat dengan trase dan PPV kritis 20 mm/s, maka dengan pendekatan persamaan regresi power di atas dapat dihitung jumlah bahan peledak maksimum yang diijinkan sebagai berikut:

$$PPV = 108,4 \left(\frac{D}{\sqrt{W}} \right)^{-0,688}$$

$$W = \left[\frac{108,4(D^{-0,688})}{PPV} \right]^{-1/0,344}$$

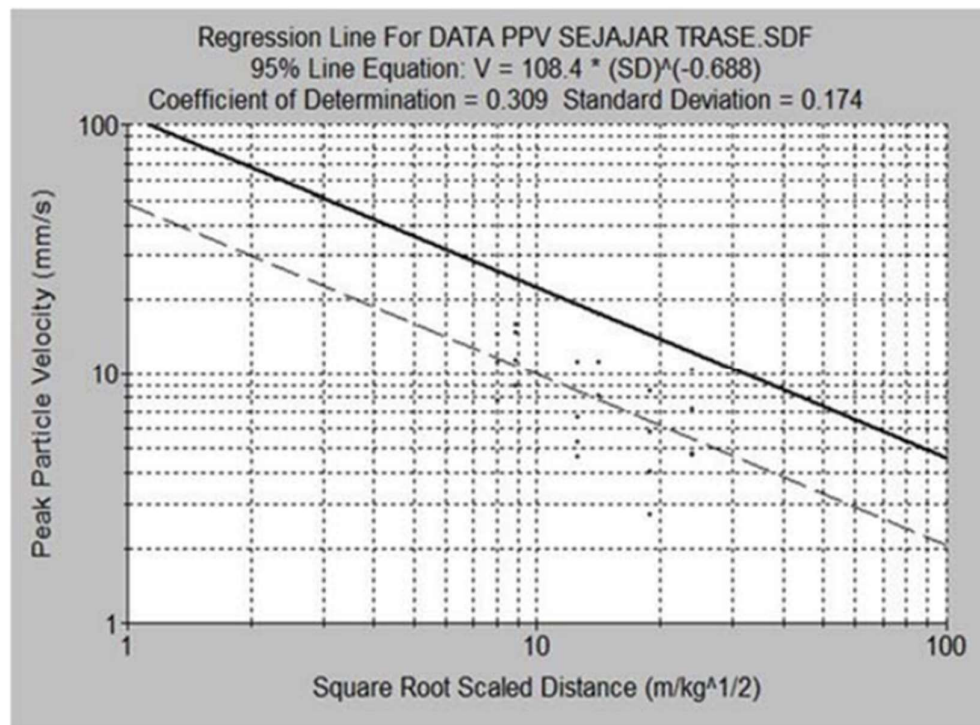
Untuk $D = 75$ m dan $PPV = 20$ mm/s, maka:

$$W = \left[\frac{108,4(75^{-0,688})}{20} \right]^{-1/0,344} = 41,34 \text{ kg/delay}$$

Jumlah bahan peledak (W_e) = 7,5 kg/lub (lihat Tabel 4.3, dibulatkan ke bawah), jadi:

Jumlah lubang ledak (holes) per delay = $41,34 / 7,5 = 6$ holes/delay.

Dengan demikian diketahui bahwa pada jarak peledakan 75 m kearah relatif sejajar dengan trase rel kereta dan $PPV = 20$ mm/s, maka berat bahan peledak per delay 34,31 kg atau setara dengan meledakkan 6 lubang secara simultan. Telah dilakukan simulasi untuk mengetahui jumlah bahan peledak dan jumlah lubang ledak per delay untuk jarak yang lebih jauh dan relatif sejajar dengan trase rel kereta menggunakan perangkat lunak Blastware.



Gambar 15 Kurva Scaled Distance Peledakan Relatif Sejajar Trase Rel Kereta

Tabel 5 Jumlah lubang per delay arah relatif sejajar dengan trase rel kereta

Distance	Increment	
75.00	25.00	m
Peak	Table Size	
20.00 mm/s	30	
Calculate	Print	
Distance (m)	Weight (kg)	Holes/ delay
75,00	41,34	6
100,0	73,50	10
125,0	114,84	15
150,0	165,37	22
175,0	225,09	30
200,0	294,00	39
225,0	372,09	50
250,0	459,37	61
275,0	555,84	74
300,0	661,49	88
325,0	776,33	104
350,0	900,36	120
375,0	1033,58	138
400,0	1175,98	157
425,0	1327,57	177
450,0	1488,35	198
475,0	1658,32	221
500,0	1837,47	245

4. Lemparan Batu Terbang (Fly Rock)

Peledakan batuan menghasilkan energi yang mampu mendorong fragmentasi batu hasil peledakan hingga terpencar ke segala arah. Diantara fragmentasi batu yang terpencar itu terdapat batu yang lintasannya cukup jauh melebihi lintasan fragmentasi normal atau batas jarak aman yang disebut batu terbang (fly rock). Jarak batu terbang dapat diprediksi melalui pendekatan intrinsik (teoritik) dengan menggunakan persamaan atau rumus-rumus empirik. Diantara rumus yang dikenal hingga saat ini antara lain dari Lundborg, dkk. (1975), Scaled Depth of Burial (SDoB) dari Chiappetta, dkk. (1983), Workman dan Calder (1994), serta Richards dan Moore (2004). Prediksi jarak batu terbang dengan rumus empirik didasarkan atas ukuran parameter geometri peledakan, terutama ukuran burden (B) dan stemming (T) serta jumlah bahan peledak.

Dalam pengkajian jarak batu terbang ini dilakukan pendekatan dengan menerapkan persamaan dari Richards dan Moore (R&M). Prediksi batu terbang pada persamaan R&M dibagi berdasarkan batas bidang bebas, yaitu (1) lemparan batu terbang ke depan bidang bebas (face burst), dan (2) lemparan batu terbang ke bagian belakang bidang bebas yang terdiri dari dua kemungkinan, yaitu peledakan kawah (crater blasting) atau cratering dan semburan dari stemming ke atas atau rifling. Pada sistem bench blasting, termasuk yang diterapkan di kuari CV Panghegar, besar kemungkinan batu terbang terjadi akibat face burst dan rifling. Persamaan untuk memprediksi batu terbang akibat face burst dan rifling adalah sebagai berikut:

$$(1) \text{ Batu terbang maksimum akibat face burst } (L_{fb \text{ maks}}) L_{fb \text{ maks}} = \frac{k^2}{9,8} \left(\frac{\sqrt{Ld}}{B} \right)^{2,6} :$$

$$(2) \text{ Batu terbang maksimum akibat rifling } (L_{rf \text{ maks}}): L_{rf \text{ maks}} = \frac{k^2}{g} \left(\frac{\sqrt{Ld}}{T} \right)^{2,6} \sin(2\theta)$$

Di mana L_d , B dan T masing-masing adalah loading density, burden dan stemming, sedangkan k adalah konstanta berkisar antara 13,5 untuk batuan kompak yang agak lunak, misalnya overburden batu-bara, sampai 27 untuk batuan kompak yang keras, contohnya basalt atau granit (Workman, 1994, dalam Richards dan Moore, 2004). Adapun g adalah konstanta gravitasi 9,8 m/s² dan θ adalah sudut awal lemparan batu terbang maksimum akibat stemming yang besar besarnya 45° dan $2\theta = 90^\circ$.

Dengan menetapkan konstanta k untuk batu andesit sebesar 25 dan spesifikasi geometri peledakan pada Tabel 3.4, maka diperoleh jarak maksimum batu terbang prediktif sebagai berikut:

$$(1) L_{fb \text{ maks}} = \frac{25^2}{9,8} \left(\frac{\sqrt{2,57}}{2} \right)^{2,6} = 36 \text{ m}$$

$$(2) L_{rf \text{ maks}} = \frac{25^2}{9,8} \left(\frac{\sqrt{2,57}}{2} \right)^{2,6} \sin(2 \times 45^\circ) = 36 \text{ m}$$

Seperti telah disinggung sebelumnya bahwa pengukuran langsung lemparan fragmentasi batuan hasil peledakan terjauh pada bulan Juni, Juli dan Agustus mencapai 25 m. Prediksi jarak maksimum batu terbang hasil perhitungan di atas, baik face burst maupun rifling, adalah 36 m, maka apabila ditetapkan acuan maksimum jarak batu terbang 50 m dapat dipastikan jarak lemparan batu terbang tersebut masih aman. Secara lengkap foto-foto dari drone yang menggambarkan batu terbang selama kajian terdapat di lampiran F.

Untuk antisipasi agar pelaksanaan peledakan aman dari kemungkinan terjadinya batu terbang, sebaiknya area yang akan diledakkan yang dekat dengan rel kereta cepat (berjarak 70 m) ditutup dengan jaring penutup (cover mats). Bahan jaring penutup bisa terbuat dari potongan ban bekas yang disambung-sambung atau menggunakan potongan belt conveyor bekas.



Gambar 16. Area Peledakan Yang Ditutupi Belt Conveyor Bekas

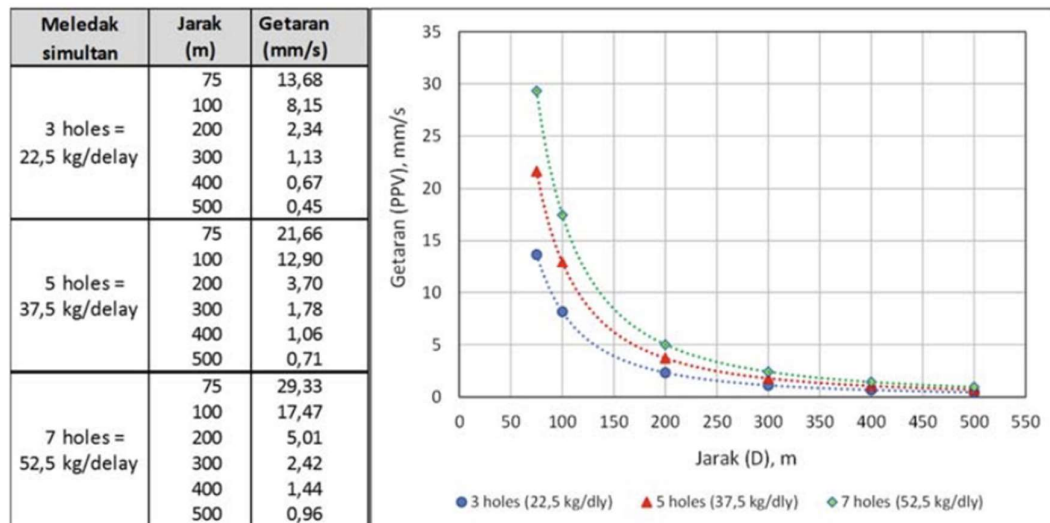
5. Tingkat Getaran Maksimum Dan Jarak Lemparan Batu Terbang Terjauh

Hasil pengkajian memperlihatkan hubungan antara batasan jarak aman akibat getaran peledakan dan batu terbang dengan jumlah bahan peledak per delay bagi setiap kegiatan peledakan batuan. Pada setiap peledakan rutin di kuari andesit CV Panghegar disiapkan 50 lubang ledak yang terbagi dalam 5 kelompok peledakan yang berisikan 10 lubang dalam setiap kelompok. Setiap kelompok memakai 2 nomor delay mengingat keterbatasan nomor waktu tunda pada detonator listrik. Pada gambar 17 diterapkan jeda waktu tunda 25 ms yang mengakibatkan seluruh lubang pada setiap kelompok peledakan seperti meledak simultan dan dampaknya getaran terasa besar. Pada Gambar 17 jeda waktu tunda dikontrol menjadi 50 ms atau lebih lambat dari sebelumnya yang menghasilkan getaran lebih rendah. Ditinjau dari jumlah bahan peledak per delay di dalam setiap kelompok peledakan ada 3 sampai 7 lubang meledak simultan, di mana jumlah bahan peledak yang dimuatkan ke dalam 3 lubang ledak lebih sedikit dibandingkan dengan yang dimuatkan ke dalam 7 lubang. Dapat dilihat pada gambar 17 tentang pengaruh jumlah lubang meledak simultan terhadap getaran pada peledakan ke arah trase kereta cepat. Pada tabel tersebut didapat pula grafiknya untuk mendapatkan gambaran yang lebih jelas tentang prediksi pengaruh jumlah bahan peledak, jarak dan getaran yang diterima pada titik pantau menggunakan persamaan empirik dari kurva scaled distance ke arah trase rel kereta.

Beberapa hal yang dapat disimpulkan berkaitan dengan prediksi tingkat getaran dan lemparan fragmentasi (batu terbang) terjauh adalah:

- a) Makin banyak jumlah lubang yang meledak simultan semakin besar getaran yang diterima dibandingkan dengan yang lebih sedikit jumlah lubang meledak simultan pada jarak pantau yang sama. Contohnya pada Tabel 5.1 jarak 75 m dengan 3 lubang (= 22,5 kg/delay) meledak simultan menghasilkan getaran 13,68 mm/s dan 5 lubang (= 37,5 kg/delay) meledak bersama menghasilkan getaran 21,66 mm/s.
- b) Untuk peledakan pada jarak 75 m dari trase rel kereta diperbolehkan maksimum 3 lubang (= 22,5 kg/delay) meledak simultan karena diprediksi menghasilkan getaran 13,68 mm/s.

- c) Untuk peledakan pada jarak 100 m dari trase rel kereta dapat menerapkan maksimum 3 lubang, 5 lubang atau 7 lubang meledak simultan yang diprediksi menghasilkan tingkat getaran masing-masing 8,15 mm/s, 12,90 mm/s dan 17,47 mm/s.
- d) Apabila NAB getaran ditetapkan kurang dari 10 mm/s, maka peledakan dengan 3 lubang, 5 lubang atau 7 lubang yang meledak simultan dapat dilakukan pada jarak maksimum masing-masing 90 m, 115 m dan 136 m.



Gambar 17 Pengaruh Jumlah Lubang Meledak Simultan Terhadap Getaran

- e) Dari Tabel 5.2 dapat dilihat bahwa tingkat getaran aktual (PVS) maksimum adalah 17,42 mm/s dan 17,69 mm/s pada jarak pengukuran 62 m dan 99 m yang sejajar trase rel kereta terjadi pada pemantauan tanggal 11 Juli 2023. Sedangkan pada jarak pengukuran 60 m ke arah trase rel kereta PVS maksimum lebih kecil, yaitu 15,86 mm/s terjadi pada pemantauan tanggal 30 Agustus 2023. Tingkat getaran maksimum tersebut masih di bawah NAB yang dari SNI 7571:2010 dan standar KCIC.
- f) Hasil pengamatan batu terbang (fly rock) menunjukkan bahwa untuk setiap kali peledakan tidak pernah terjadi fragmentasi hasil peledakan yang terlempar melebihi 50 m. Hal tersebut diperkuat oleh hasil analisis prediktif dengan pendekatan persamaan Richards dan Moore (R&M), baik ke arah depan bidang bebas (face burst) maupun akibat semburan material stemming ke atas (rifling), yang hasilnya sama-sama 36 m. Sementara itu pengamatan menggunakan drone dan kamera serta pengukuran langsung di lapangan sepanjang bulan Juni, Juli dan Agustus menghasilkan jarak lemparan fragmentasi rata-rata 25 m.

Tabel 6 Resume Hasil Kajian Jarak Aman Peledakan

Tanggal	Lokasi Ledak	Lokasi Pantau	Arah Peledakan	Jarak (m)	W _{exp} ¹⁾ (kg)	Jumlah Lubang	PVS ²⁾ (mm/s)	NAB (mm/s) ³⁾		Kondisi	Flyrock (m)		Kondisi
								SNI	KCIC		Aktual	Target	
10 Juni 2023	LB 10-6-2023 ke 1	MC-79	Ke arah trase	79	28	50	3,540	12 - 40	25	Aman	20 - 30	50	Aman
	LB 10-6-2023 ke 2	MC-79	Ke arah trase	79	28	50	7,175	12 - 40	25	Aman	20 - 30	50	Aman
	LB 10-6-2023 ke 3	MC-79	Ke arah trase	79	28	50	5,242	12 - 40	25	Aman	20 - 30	50	Aman
	LB 10-6-2023 ke 4	MC-79	Ke arah trase	79	28	50	3,947	12 - 40	25	Aman	20 - 30	50	Aman
	LB 10-6-2023 ke 5	MC-79	Ke arah trase	79	28	50	4,031	12 - 40	25	Aman	20 - 30	50	Aman
	LB 10-6-2023 ke 1	MC-75	Ke arah trase	100	28	50	2,294	12 - 40	25	Aman	20 - 30	50	Aman
	LB 10-6-2023 ke 2	MC-75	Ke arah trase	100	28	50	3,364	12 - 40	25	Aman	20 - 30	50	Aman
	LB 10-6-2023 ke 3	MC-75	Ke arah trase	100	28	50	2,831	12 - 40	25	Aman	20 - 30	50	Aman
	LB 10-6-2023 ke 4	MC-75	Ke arah trase	100	28	50	2,220	12 - 40	25	Aman	20 - 30	50	Aman
	LB 10-6-2023 ke 5	MC-75	Ke arah trase	100	28	50	1,924	12 - 40	25	Aman	20 - 30	50	Aman
	LB 10-6-2023 ke 1	MC-78	Ke arah trase	114	28	50	1,789	12 - 40	25	Aman	20 - 30	50	Aman
	LB 10-6-2023 ke 2	MC-78	Ke arah trase	114	28	50	2,922	12 - 40	25	Aman	20 - 30	50	Aman
	LB 10-6-2023 ke 3	MC-78	Ke arah trase	114	28	50	2,025	12 - 40	25	Aman	20 - 30	50	Aman
	LB 10-6-2023 ke 4	MC-78	Ke arah trase	114	28	50	1,280	12 - 40	25	Aman	20 - 30	50	Aman
	LB 10-6-2023 ke 5	MC-78	Ke arah trase	114	28	50	1,290	12 - 40	25	Aman	20 - 30	50	Aman
11 Juli 2023	LB 11-7-2023 ke 1	MC-79	Sejajar trase	62	49	50	11,62	12 - 40	25	Aman	20 - 30	50	Aman
	LB 11-7-2023 ke 2	MC-79	Sejajar trase	62	49	50	17,42	12 - 40	25	Aman	20 - 30	50	Aman
	LB 11-7-2023 ke 3	MC-79	Sejajar trase	62	49	50	12,41	12 - 40	25	Aman	20 - 30	50	Aman
	LB 11-7-2023 ke 4	MC-79	Sejajar trase	62	49	50	16,53	12 - 40	25	Aman	20 - 30	50	Aman
	LB 11-7-2023 ke 1	MC-80	Sejajar trase	99	49	50	11,62	12 - 40	25	Aman	20 - 30	50	Aman
	LB 11-7-2023 ke 2	MC-80	Sejajar trase	99	49	50	17,69	12 - 40	25	Aman	20 - 30	50	Aman
	LB 11-7-2023 ke 3	MC-80	Sejajar trase	99	49	50	9,371	12 - 40	25	Aman	20 - 30	50	Aman
	LB 11-7-2023 ke 1	BE-92	Sejajar trase	132	49	50	4,353	12 - 40	25	Aman	20 - 30	50	Aman
	LB 11-7-2023 ke 2	BE-92	Sejajar trase	132	49	50	7,675	12 - 40	25	Aman	20 - 30	50	Aman
	LB 11-7-2023 ke 3	BE-92	Sejajar trase	132	49	50	3,460	12 - 40	25	Aman	20 - 30	50	Aman
	LB 11-7-2023 ke 4	BE-92	Sejajar trase	132	49	50	9,457	12 - 40	25	Aman	20 - 30	50	Aman
	LB 11-7-2023 ke 1	BE-71	Sejajar trase	168	49	50	5,392	12 - 40	25	Aman	20 - 30	50	Aman
	LB 11-7-2023 ke 2	BE-71	Sejajar trase	168	49	50	7,801	12 - 40	25	Aman	20 - 30	50	Aman
	LB 11-7-2023 ke 3	BE-71	Sejajar trase	168	49	50	5,519	12 - 40	25	Aman	20 - 30	50	Aman
	LB 11-7-2023 ke 4	BE-71	Sejajar trase	168	49	50	11,37	12 - 40	25	Aman	20 - 30	50	Aman
5 Agustus 2023	LB 5-8-2023 ke 2	BE-92	Sejajar trase	56	49	50	15,02	12 - 40	25	Aman	20 - 30	50	Aman
	LB 5-8-2023 ke 3	BE-92	Sejajar trase	56	49	50	13,50	12 - 40	25	Aman	20 - 30	50	Aman
	LB 5-8-2023 ke 4	BE-92	Sejajar trase	56	49	50	8,133	12 - 40	25	Aman	20 - 30	50	Aman
	LB 5-8-2023 ke 1	BE-71	Sejajar trase	88	49	50	12,89	12 - 40	25	Aman	20 - 30	50	Aman
	LB 5-8-2023 ke 2	BE-71	Sejajar trase	88	49	50	7,927	12 - 40	25	Aman	20 - 30	50	Aman
	LB 5-8-2023 ke 3	BE-71	Sejajar trase	88	49	50	7,368	12 - 40	25	Aman	20 - 30	50	Aman
12 Agustus 2023	LB 5-8-2023 ke 4	BE-71	Sejajar trase	88	49	50	5,178	12 - 40	25	Aman	20 - 30	50	Aman
	LB 12-8-2023 ke 1	BE-71	Ke arah trase	58	35	50	13,14	12 - 40	25	Aman	20 - 30	50	Aman
	LB 12-8-2023 ke 2	BE-71	Ke arah trase	58	35	50	10,81	12 - 40	25	Aman	20 - 30	50	Aman
	LB 12-8-2023 ke 3	BE-71	Ke arah trase	58	35	50	12,65	12 - 40	25	Aman	20 - 30	50	Aman
	LB 12-8-2023 ke 4	BE-71	Ke arah trase	58	35	50	13,61	12 - 40	25	Aman	20 - 30	50	Aman
	LB 12-8-2023 ke 1	BE-92	Ke arah trase	103	35	50	2,676	12 - 40	25	Aman	20 - 30	50	Aman
	LB 12-8-2023 ke 2	BE-92	Ke arah trase	103	35	50	1,595	12 - 40	25	Aman	20 - 30	50	Aman
	LB 12-8-2023 ke 3	BE-92	Ke arah trase	103	35	50	2,813	12 - 40	25	Aman	20 - 30	50	Aman
30 Agustus 2023	LB 12-8-2023 ke 4	BE-92	Ke arah trase	103	35	50	1,704	12 - 40	25	Aman	20 - 30	50	Aman
	LB 30-8-2023 ke 1	MC-75	Ke arah trase	60	42	50	15,86	12 - 40	25	Aman	20 - 30	50	Aman
	LB 30-8-2023 ke 3	MC-75	Ke arah trase	60	21	50	9,479	12 - 40	25	Aman	20 - 30	50	Aman
	LB 30-8-2023 ke 4	MC-75	Ke arah trase	60	42	50	12,70	12 - 40	25	Aman	20 - 30	50	Aman
	LB 30-8-2023 ke 1	MC-76	Ke arah trase	83	42	50	13,93	12 - 40	25	Aman	20 - 30	50	Aman
	LB 30-8-2023 ke 2	MC-76	Ke arah trase	83	42	50	13,71	12 - 40	25	Aman	20 - 30	50	Aman
	LB 30-8-2023 ke 3	MC-76	Ke arah trase	83	21	50	5,627	12 - 40	25	Aman	20 - 30	50	Aman
	LB 30-8-2023 ke 4	MC-76	Ke arah trase	83	42	50	8,136	12 - 40	25	Aman	20 - 30	50	Aman
	LB 30-8-2023 ke 5	MC-76	Ke arah trase	83	42	50	9,686	12 - 40	25	Aman	20 - 30	50	Aman
	LB 30-8-2023 ke 1	MC-79	Ke arah trase	154	42	50	5,885	12 - 40	25	Aman	20 - 30	50	Aman
	LB 30-8-2023 ke 2	MC-79	Ke arah trase	154	42	50	6,928	12 - 40	25	Aman	20 - 30	50	Aman
	LB 30-8-2023 ke 3	MC-79	Ke arah trase	154	21	50	2,316	12 - 40	25	Aman	20 - 30	50	Aman
	LB 30-8-2023 ke 4	MC-79	Ke arah trase	154	42	50	3,784	12 - 40	25	Aman	20 - 30	50	Aman
	LB 30-8-2023 ke 5	MC-79	Ke arah trase	154	42	50	5,229	12 - 40	25	Aman	20 - 30	50	Aman
	LB 30-8-2023 ke 1	MC-78	Ke arah trase	288	42	50	1,075	12 - 40	25	Aman	20 - 30	50	Aman
	LB 30-8-2023 ke 2	MC-78	Ke arah trase	288	42	50	1,170	12 - 40	25	Aman	20 - 30	50	Aman
	LB 30-8-2023 ke 3	MC-78	Ke arah trase	288	21	50	1,100	12 - 40	25	Aman	20 - 30	50	Aman
	LB 30-8-2023 ke 4	MC-78	Ke arah trase	288	42	50	0,973	12 - 40	25	Aman	20 - 30	50	Aman
	LB 30-8-2023 ke 5	MC-78	Ke arah trase	288	42	50	0,323	12 - 40	25	Aman	20 - 30	50	Aman

Keterangan: ¹⁾ Berat bahan peledak per delay
²⁾ Peak Vector Sum (getaran aktual)
³⁾ Nilai Ambang Batas (NAB) dari SNI 7371:2010 dan KCIC (China)

6. Capaian Indikator Kinerja Utama Hasil Kajian Getaran Dan Batu Terbang

Pemantauan peledakan di kuari andesit CV Panghegar dititikberatkan dengan tingkat getaran peledakan dan lemparan fragmentasi terjauh hasil peledakan (batu terbang) pada jarak terdekat 75 m ke arah trase rel kereta. Indikator Kinerja Utama (IKU) atau Key Performance Indicator (KPI) pekerjaan peledakan diukur dari tingkat getaran maksimum yang dihasilkannya kemudian dibandingkan dengan SNI 7571:2010 dan standar KCIC, sedangkan batu terbang terjauh yang dihasilkannya dibandingkan dengan jarak aman peledakan bagi alat dan fasilitas pertambangan serta bagi manusia di dalam Kepmen ESDM Nomor 1827K/30/MEM/2018 tentang Pedoman Pelaksanaan Kaidah Pertambangan yang Baik.

Selama pemantau peledakan diperoleh 63 data getaran peledakan dan batu terbang untuk dianalisis. Antara Target IKU yang direncanakan Capaian IKU menggambarkan adanya ketercapaian yang cukup memuaskan (Tabel 7) dan rangkumannya sebagai berikut:

- (1) Hasil pemantauan memperlihatkan tingkat getaran maksimum ke arah trase rel kereta cepat 15,86 mm/s pada jarak titik pantau 60 m atau kurang dari Target IKU 75 m.
- (2) Batu terbang terjauh hasil pengukuran langsung 25 m dan hasil perhitungan prediktif 36 m yang kedua-duanya kurang dari Target IKU 50 m.
- (3) Selama pengukuran getaran peledakan dekat dan pada pilar rel kereta cepat teramati bahwa pilar tidak bergoyang oleh getaran peledakan.

Tabel 7. Capaian KPI Hasil Peledakan CV. Panghegar

[illegible]

KESIMPULAN

Berdasarkan uraian dari hasil pengkajian mengenai getaran tanah akibat peledakan dan batu terbang dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

- (1) Tingkat getaran tanah akibat peledakan dipengaruhi oleh arah umum jurus dan kemiringan (strike and dip) bidang kekar pada massa batu andesit dan arah trase rel kereta cepat relatif sejajar dengan arah umum jurus bidang kekar. Pemantauan getaran dilakukan dengan mengukur getaran ke arah trase rel kereta cepat dan sejajar trase rel kereta cepat dengan hasil sebagai berikut:
 - a. Tingkat getaran maksimum ke arah trase pada jarak 58 m mencapai 13,61 mm/s dan pada jarak 60 m sebesar 15,86 mm/s.
 - b. Tingkat getaran maksimum sejajar trase pada jarak 56 m mencapai 15,2 mm/s dan pada jarak 62 m sebesar 17,69 mm/s.

Kedua tingkat getaran maksimum tersebut berada di bawah nilai baku tingkat getaran dari SNI 7571:2010 dan standar KCIC yang masing-masing 12 – 40 mm/s dan 25 mm/s pada jarak kurang dari 300 m.

- (2) Jarak terjauh lemparan batu terbang akibat peledakan menuju trase rel kereta cepat hasil pengukuran langsung atau dengan menggunakan drone dan kamera adalah antara 20 – 30 m. Hasil pendekatan teoritik dengan persamaan Richards dan Moore, baik lemparan batu terbang ke arah depan bidang bebas (face burst) maupun akibat semburan material stemming ke atas (rifling) menghasilkan jarak sama-sama 36 m. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa lemparan terjauh batu terbang adalah kurang dari 300 m.
- (3) Pekerjaan peledakan pada jarak 100 m (kurang dari 300 m) dari trase rel kereta dapat menggunakan berat bahan peledak ANFO maksimum 22,5 kg/delay (= 3 lubang meledak simultan), 37,5 kg/delay (= 5 lubang meledak simultan) atau 52,5 kg/delay (= 7 lubang meledak simultan) yang diprediksi menghasilkan getaran masing-masing 8,15 mm/s, 12,90 mm/s dan 17,47 mm/s. Dalam peledakan ini digunakan diameter lubang 63,5 mm, kedalaman lubang 5 m, panjang kolom stemming 2 m dan berat bahan peledak ANFO rata-rata 7,5 kg/lubang. Sistem inisiasi dengan detonator listrik menerapkan kontrol waktu tunda 50 ms per delay.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kepala PPSDM Geominerba yang telah mengizinkan penulis untuk menyusun publikasi ilmiah ini dan Kepala Teknik Tambang CV Panghegar atas izin pengambilan data di lokasi yang menjadi tanggungjawabnya. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada reviewer atas terbitnya naskah ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Adinugraha, W., Marmer, D., & Suwandhi, A. (2023). Analisis Getaran Peledakan Untuk Menentukan Radius Jarak Aman Kurang Dari 300 M Terhadap Manusia dan Bangunan di Kuari Batugamping PT. LEN (Lebak Energi Nusantara) Bayah Kabupaten Lebak Propinsi Banten.
- Adinugraha, W., & Fikri, A. (2022). Pengaruh Penerapan Ruang Kosong Pada Lubang Ledak Terhadap Jarak Lemparan Batu Terbang <150 M Guna Memperkecil Jarak Evakuasi Alat Mekanis (Studi Kasus Peledakan Pada PT Alamjaya Bara Pratama) (Vol. 7, Issue 1).
- Dowding C.H., 1985, Blast Vibration Monitoring and Control, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, NJ 07632, 297pp.
- Duvall W.T., C.F. Johnson, A.V.C. Meyer, dan J.F. Devine, 1963, Vibrations from instantaneous and millisecond-delayed quarry blasts, USBM RI 6151.
- Instantel, 2014. Blastware Operator Manual, Instantel Inc, Canada.
- Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Nomor 1827K/30/MEM/2018 tentang Pedoman Pelaksanaan Kaidah Teknik Pertambangan yang Baik.
- McKenzie, C.K. 2009. Flyrock Range & Fragment Size Prediction. International Society of Explosives Engineers 2009G Volume 2.
- Persson P.A., R. Holmberg, dan J. Lee, 1994, Rock Blasting and Explosives Engineering, CRC Press, Inc., 540pp.
- P.K.Singh, W. Vogt, D.P. Singh, 1993, Effect of direction of initiation on ground vibrations, International Journal of Surface Mining, Reclamation and Environment 12, pp: 75-78.
- Raina, A.K., Murthy, V.M.S.R dan Soni, A.K. 2015. Flyrock in surface mine blasting: understanding the basics to develop a predictive regime. Current Science, Vol. 108, No. 4, 25 Feb.
- Richards, A.B. and Moore, A.J. 2004. Flyrock Control-By Chance or Design. International Society of Explosives Engineers 2004G Volume 1.
- Siskind, D.E., M.S. Stagg, J.W. Kopp, dan C.H. Dowding, 1980, Structure response and damage produced by ground vibration from surface mine blasting, US Bureau of Mines, Report of Investigation 8507.
- Standar Nasional Indonesia (SNI) 7571:2010: Tingkat Getaran Peledakan pada Kegiatan Tambang Terbuka Terhadap Bangunan. Badan Standardisasi Nasional.
- Suwandhi, A., Adinugraha, W., dan Marmer, D., Kambuaya, M. 2022. Penentuan jarak batu terbang menggunakan metode lintasan di kuari andesit PT NSM, Purwakarta. Jurnal Ilmiah PPSDM Geominerba, vol. 7 No.2. Pp.154 – 163.