

RESEARCH ARTICLE

Analisis Pengaruh Kedalaman Dan Diameter Lubang Bor Terhadap Hasil Peledakan Di Tambang Terbuka

Tesi¹, Rafiuddin², Syamsuddin³

Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Perjuangan Republik Indonesia, Indonesia

Email : tesi.priska@gmail.com

Kata Kunci:

Peledakan, Fragmentasi,
Kedalaman Lubang Bor,
Diameter Lubang Bor, Split
Desktop

Abstrak

Peledakan merupakan tahapan penting dalam penambangan terbuka untuk memberai material agar proses pengerukan dan pemuatan lebih mudah. Kualitas fragmentasi dipengaruhi oleh parameter desain peledakan, terutama kedalaman dan diameter lubang bor. Penelitian ini menggunakan data geometri pemboran, geometri peledakan, konsumsi bahan peledak, dan hasil fragmentasi yang dianalisis dengan perangkat lunak Split Desktop untuk mengetahui pengaruh variasi kedalaman dan diameter lubang bor terhadap distribusi fragmentasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kedalaman lubang bor yang lebih besar menghasilkan fragmentasi lebih halus karena energi peledakan meningkat. Diameter lubang bor yang lebih besar juga meningkatkan kapasitas bahan peledak sehingga energi peledakan lebih merata. Kombinasi kedalaman dan diameter lubang bor yang tepat menghasilkan fragmentasi optimal sesuai standar operasional perusahaan.

Abstract

Key Word:

Blasting, Fragmentation,
Blast Hole Depth, Blast Hole
Diameter, Split Desktop.

Blasting is an important stage in open-pit mining aimed at breaking rock material to facilitate excavation and loading processes. Fragmentation quality is influenced by blasting design parameters, particularly the depth and diameter of blast holes. This study used drilling geometry data, blasting geometry, explosive consumption, and fragmentation results analyzed using Split Desktop software to determine the effect of variations in blast hole depth and diameter on fragmentation distribution. The results showed that greater blast hole depth produces finer fragmentation due to increased blasting energy. Larger blast hole diameters also increase explosive loading capacity, resulting in more evenly distributed blasting energy. The proper combination of blast hole depth and diameter produces optimal fragmentation in accordance with company operational standards.

Copyright © xxxx

This work is licensed under an **Attribution-ShareAlike 4.0 International (CC BY-SA 4.0)**

PENDAHULUAN

Kegiatan peledakan merupakan salah satu tahapan penting dalam operasional penambangan terbuka, khususnya pada proses pembongkaran massa batuan yang memiliki tingkat kekerasan tinggi. Efektivitas proses peledakan dipengaruhi oleh berbagai faktor teknis, seperti jenis bahan peledak, pola pengeboran, serta parameter geometri lubang bor yang meliputi kedalaman dan diameter lubang bor.

Kedalaman dan diameter lubang bor memiliki peranan yang signifikan dalam menentukan volume batuan yang dapat dibongkar dalam satu kali peledakan, kestabilan dinding tambang, serta distribusi ukuran fragmentasi batuan hasil peledakan. Ketidakesesuaian dalam perencanaan maupun pelaksanaan pengeboran dapat menyebabkan hasil peledakan menjadi kurang optimal, seperti ukuran fragmentasi yang tidak sesuai, terjadinya overbreak dan underbreak, serta timbulnya getaran tanah yang melebihi batas yang ditentukan.

PT Pama Persada Nusantara sebagai salah satu kontraktor pertambangan yang beroperasi di berbagai wilayah Indonesia memiliki tanggung jawab untuk memastikan bahwa kegiatan peledakan dilaksanakan secara efisien, aman, dan ramah lingkungan. Oleh karena itu, pemahaman mengenai pengaruh parameter pengeboran, khususnya kedalaman dan diameter lubang bor terhadap hasil peledakan, menjadi aspek yang sangat penting dalam mendukung pencapaian target produksi serta efisiensi biaya operasional.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis hubungan antara kedalaman dan diameter lubang bor terhadap kualitas hasil peledakan pada salah satu tambang terbuka yang dikelola oleh PT Pama Persada Nusantara. Melalui pemahaman terhadap hubungan tersebut, diharapkan dapat diperoleh rekomendasi teknis yang dapat mendukung optimalisasi kegiatan pengeboran dan peledakan di lapangan. Berdasarkan latar belakang tersebut, penulis mengangkat judul penelitian “Analisis Pengaruh Kedalaman dan Diameter Lubang Bor terhadap Hasil Peledakan pada Tambang Terbuka di Site Baya, Kabupaten Kutai Kartanegara, Provinsi Kalimantan Timur oleh PT Pama Persada Nusantara.”

Pada kegiatan penambangan dengan sistem tambang terbuka (*surface mining*), tahapan penambangan pada umumnya dimulai dari kegiatan *land clearing*, pengupasan lapisan tanah penutup (*overburden*), hingga proses pengambilan batubara. Pengupasan lapisan penutup dapat dilakukan dengan dua metode, yaitu menggunakan alat mekanis maupun metode peledakan. Penggunaan alat mekanis umumnya diterapkan pada material lunak, sedangkan pada material keras yang tidak dapat dibongkar secara efektif menggunakan alat mekanis diperlukan proses peledakan.

Peledakan merupakan proses pemberaian massa batuan dalam volume tertentu dengan menggunakan bahan peledak agar material batuan menjadi lebih mudah digali dan diangkut. Salah satu faktor yang memengaruhi keberhasilan peledakan adalah geometri peledakan. Geometri peledakan berpengaruh terhadap tingkat keberhasilan peledakan serta ukuran fragmentasi batuan yang dihasilkan. Fragmentasi merupakan ukuran bongkah batuan hasil peledakan yang terbentuk setelah proses peledakan berlangsung. Ukuran fragmentasi hasil peledakan harus disesuaikan dengan kapasitas *bucket* alat gali yang digunakan perusahaan agar *digging time* material dapat memenuhi standar operasional yang telah ditetapkan (Murad, 2022).

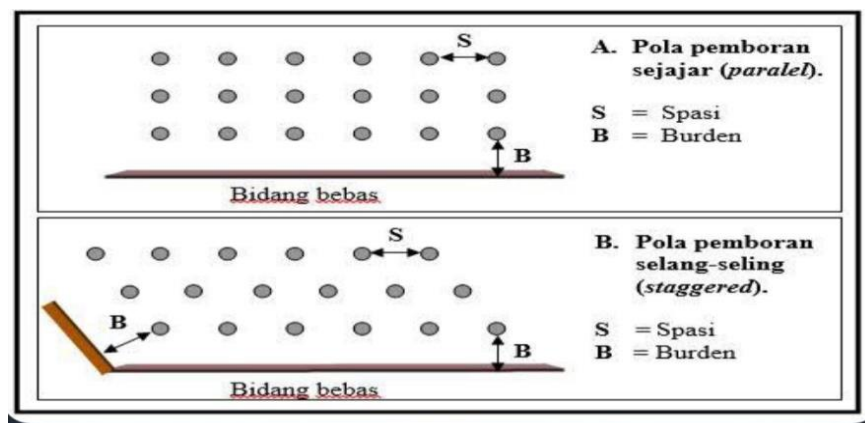
Pemboran merupakan kegiatan pengaturan jarak antar lubang bor dalam satu baris (*spacing*) maupun jarak antara lubang ledak dengan bidang bebas (*burden*). Pada Pit 2 Banko Barat, pola pemboran yang digunakan yaitu pola zig-zag atau pola bujur sangkar. Pola pemboran yang dirancang sesuai dengan geometri peledakan dapat menghasilkan kualitas peledakan yang optimal sesuai dengan target yang diharapkan.

Arah pemboran lubang ledak secara umum dibedakan menjadi pemboran vertikal dan pemboran miring. Pemboran vertikal dilakukan dengan membuat lubang ledak tegak lurus terhadap permukaan tanah atau batuan sehingga energi ledakan dapat bekerja secara optimal ke arah atas permukaan batuan. Sementara itu, pemboran miring dilakukan dengan sudut kemiringan tertentu terhadap garis vertikal sehingga memberikan fleksibilitas dalam menyesuaikan kondisi geologi di lapangan. (Xu et al., 2022)

Prinsip utama kegiatan pemboran adalah memperoleh kualitas lubang ledak yang baik melalui proses pemboran yang cepat, tepat, dan sesuai dengan posisi yang direncanakan. Secara umum, kegiatan pemboran dibedakan menjadi pemboran untuk kegiatan peledakan dan pemboran untuk kegiatan eksplorasi. Pemboran peledakan merupakan kegiatan pemboran yang dilakukan sebelum proses peledakan dengan membuat lubang ledak berdasarkan geometri dan pola pemboran tertentu yang selanjutnya akan diisi bahan peledak dan diledakkan. Sementara itu, pemboran eksplorasi merupakan kegiatan pemboran yang bertujuan untuk mengetahui bentuk, penyebaran, letak, posisi, kadar, jumlah endapan, serta kondisi geologi suatu daerah. (Limbong et al., 2022)

Pola pemboran merupakan pengaturan jarak antar lubang bor yang sejajar dengan bidang bebas (*spacing*) maupun jarak antara lubang bor dengan bidang bebas (*burden*). Tujuan utama dari pola pemboran adalah menghasilkan distribusi energi peledakan yang merata sehingga dapat menghasilkan fragmentasi batuan yang optimal, meminimalkan getaran tanah dan risiko *flyrock*, serta mendukung produktivitas dan

efisiensi kegiatan penambangan. Penentuan pola pemboran dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti jenis batuan, ukuran fragmentasi yang diinginkan, geometri area kerja, serta jenis bahan peledak yang digunakan. Pola peledakan yang diterapkan adalah pola sejajar dan pola zig-zag atau selang-seling.



Gambar 1 Pola pemboran sejajar zig-zag

Dalam suatu operasi peledakan batuan, kegiatan pemboran merupakan tahap awal yang dilakukan dengan tujuan membentuk sejumlah lubang ledak sesuai geometri dan pola yang telah direncanakan pada massa batuan. Lubang-lubang tersebut selanjutnya akan diisi dengan bahan peledak untuk mendukung proses pembezaian batuan secara optimal.

Keberhasilan suatu rancangan peledakan sangat dipengaruhi oleh tingkat akurasi pemboran lubang ledak. Ketidakakuratan dalam proses pemboran dapat mengubah distribusi energi peledakan sehingga menimbulkan berbagai permasalahan, seperti terbentuknya *boulder*, terjadinya *flyrock*, *ground vibration*, serta dampak lain yang dapat mengurangi efektivitas peledakan. Terdapat beberapa faktor yang dapat menyebabkan kesalahan dalam pemboran, antara lain perbedaan kualitas batuan, keberadaan rongga, serta variasi struktur geologi yang dapat menyebabkan batang bor melengkung saat proses pemboran berlangsung. (Guo-hui et al., 2024) Selain itu, kesalahan juga dapat terjadi akibat penempatan lubang ledak yang tidak sesuai dengan desain yang telah direncanakan sebelumnya serta kesalahan dalam penentuan sudut pemboran yang merupakan kondisi yang paling sering ditemukan di lapangan.

Peledakan merupakan suatu kegiatan yang dilakukan untuk melepaskan batuan dari batuan induknya dengan menggunakan bahan peledak. Berdasarkan kamus pertambangan umum, bahan peledak didefinisikan sebagai senyawa kimia yang dapat bereaksi dengan cepat apabila diberikan perlakuan tertentu sehingga menghasilkan gas bersuhu dan bertekanan tinggi dalam waktu yang sangat singkat. Bahan peledak juga dapat diartikan sebagai suatu rangkaian bahan berbentuk padat, cair, maupun campuran keduanya yang dapat bereaksi dengan kecepatan tinggi apabila dipicu oleh suatu aksi tertentu. (Fatma & Kumari, 2023)

Daya rusak yang dihasilkan dari kegiatan peledakan bervariasi tergantung pada jenis bahan peledak yang digunakan serta tujuan penggunaannya. Peledakan dapat dimanfaatkan untuk berbagai kepentingan, baik dalam bidang politik, ideologi, teknik, maupun industri. Dalam industri pertambangan, kegiatan peledakan umum digunakan untuk membongkar batuan keras, seperti bijih logam, batubara, dan batu gamping, apabila metode tersebut dianggap lebih ekonomis dan efisien dibandingkan metode penggalian bebas (*free digging*) maupun penggaruan (*ripping*). (Qian, 2022)

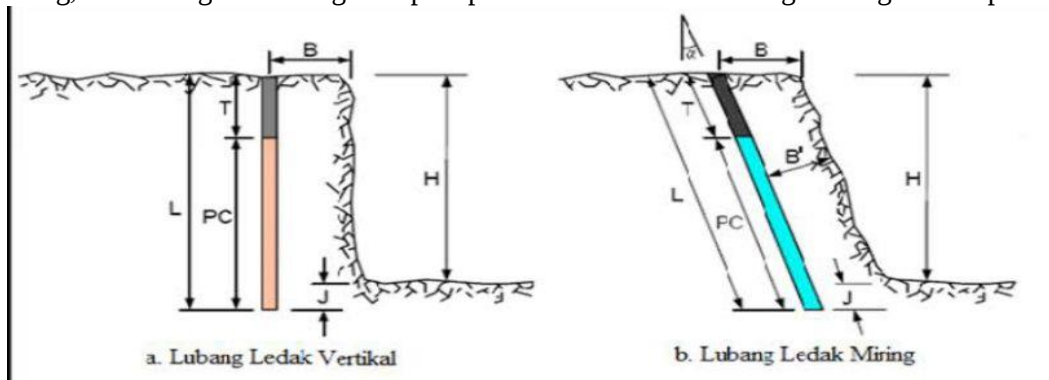
Suatu kegiatan peledakan pada operasi penambangan dinyatakan berhasil apabila mampu memenuhi target produksi yang telah ditetapkan, baik dalam satuan ton per hari maupun ton per bulan. Selain itu, keberhasilan peledakan juga ditunjukkan oleh penggunaan bahan peledak yang efisien yang dinyatakan melalui nilai *powder factor*, tercapainya ukuran fragmentasi batuan yang seragam dengan jumlah bongkah yang minimal, diperolehnya kondisi dinding batuan yang stabil tanpa *overbreak*, *overhang*, maupun retakan, terjaminnya aspek keselamatan kerja, serta minimnya dampak terhadap lingkungan sekitar kegiatan penambangan. (Nikkhah et al., 2022)

Pola peledakan merupakan urutan waktu peledakan antar lubang ledak dalam satu baris maupun antarbaris lubang ledak. Pola peledakan digunakan untuk menentukan arah runtuh material hasil peledakan sehingga proses pemindahan material dapat dilakukan secara lebih efektif. (Chouhan et al., 2022) Setiap baris lubang ledak harus memiliki ruang bebas yang cukup untuk membantu proses pembebasan batuan ketika tegangan tarik terjadi.

Secara umum, pola peledakan dibedakan menjadi pola peledakan serentak dan pola peledakan berurutan. Pola peledakan serentak merupakan pola peledakan yang dilakukan dengan meledakkan seluruh lubang ledak pada waktu yang bersamaan. Sementara itu, pola peledakan berurutan merupakan pola peledakan yang menggunakan waktu tunda (*delay time*) antarbaris lubang ledak sehingga proses runtuh batuan dapat berlangsung secara bertahap. (Sharma et al., 2021)

Berdasarkan arah runtuh batuan, bentuk *cut* pada kegiatan peledakan dapat diklasifikasikan menjadi beberapa jenis, yaitu *box cut*, *corner cut*, dan *V-cut (chevron)*. *Box cut* merupakan bentuk potongan hasil peledakan dengan arah runtuh batuan ke depan sehingga membentuk pola menyerupai kotak. *Corner cut* merupakan bentuk potongan hasil peledakan dengan arah runtuh menuju salah satu sudut bidang bebas. Adapun *V-cut* atau *chevron* merupakan bentuk potongan hasil peledakan dengan arah runtuh batuan ke depan sehingga membentuk pola menyerupai huruf V. Selain berdasarkan arah runtuh, pola peledakan juga dapat dibedakan berdasarkan sistem inisiasi yang digunakan dalam kegiatan peledakan.

Geometri peledakan merupakan aspek penting dalam perencanaan kegiatan peledakan yang berfungsi untuk mengatur letak dan ukuran lubang ledak agar fragmentasi batuan optimal, aman, dan efisien. Geometri ini mencakup sejumlah parameter utama yang saling berkaitan, seperti beban, jarak, kedalaman lubang, stemming, subdrilling dan konfigurasi pola peledakan. Berikut adalah gambar geometri peledakan yaitu:



Gambar 2 Arah lubang pengeboran

R.L. Ash (1967) menyusun pedoman perhitungan geometri peledakan jenjang berdasarkan pengamatan empiris yang diperoleh dari berbagai kondisi pekerjaan dan jenis batuan yang berbeda. Berdasarkan hasil pengamatan tersebut, R.L. Ash mengembangkan beberapa rumusan empiris yang dapat digunakan sebagai acuan dalam perancangan awal kegiatan peledakan batuan:

Burden merupakan jarak tegak lurus antara lubang ledak dengan bidang bebas terdekat. Penentuan nilai *burden* menjadi langkah awal yang sangat penting untuk memperoleh hasil peledakan yang sesuai dengan target yang diinginkan. Dalam menentukan nilai *burden*, R.L. Ash menggunakan acuan bahan peledak standar dengan densitas batuan sebesar 160 lb/cuft, *specific gravity* bahan peledak sebesar 1,20, dan kecepatan detonasi bahan peledak standar sebesar 12.000 fps.

Apabila kondisi batuan dan bahan peledak yang digunakan sama dengan kondisi standar, maka digunakan nilai *burden ratio (Kb)* sebesar 30. Namun, apabila kondisi batuan dan bahan peledak berbeda dari standar, maka nilai *Kb* harus dikoreksi menggunakan faktor penyesuaian batuan dan bahan peledak. (Dwi et al., 2024).

Spacing merupakan jarak antar lubang ledak yang sejajar dengan bidang bebas dan tegak lurus terhadap *burden*. Penentuan nilai *spacing* sangat memengaruhi kualitas fragmentasi hasil peledakan. Apabila jarak *spacing* terlalu besar, maka akan menghasilkan fragmentasi yang kurang baik berupa bongkah (*boulder*) serta kondisi dinding yang tidak rata. Sebaliknya, apabila *spacing* terlalu kecil, tekanan di sekitar *stemming* akan

meningkat sehingga gas hasil ledakan mudah keluar ke atmosfer dan menimbulkan kebisingan (*noise*). Persamaan yang digunakan untuk menentukan nilai *spacing* adalah sebagai berikut:

$$S = B \times K_s$$

Stemming merupakan material penutup pada bagian atas kolom bahan peledak di dalam lubang bor. Fungsi utama *stemming* adalah mengurung gas hasil ledakan agar energi ledakan dapat dimanfaatkan secara optimal untuk memecahkan batuan. Panjang dan ukuran material *stemming* sangat memengaruhi hasil peledakan. Penggunaan material *stemming* yang terlalu halus dapat menyebabkan gas hasil ledakan mudah keluar sehingga daya dorong peledakan berkurang. Selain itu, panjang *stemming* yang terlalu pendek dapat menyebabkan pecahan batuan pada bagian atas menjadi berlebihan dan mengurangi kualitas fragmentasi secara keseluruhan. Panjang *stemming* dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$T = K_t \times B$$

Kedalaman lubang ledak umumnya ditentukan berdasarkan target produksi dan kapasitas alat muat yang digunakan. Kedalaman lubang ledak harus lebih besar dari tinggi jenjang dan tidak boleh lebih kecil dari nilai *burden* untuk menghindari terjadinya *overbreak*.

Persamaan untuk menentukan kedalaman lubang ledak adalah sebagai berikut:

$$H = K_h \times B$$

Subdrilling merupakan bagian lubang ledak yang berada di bawah lantai jenjang dan berfungsi untuk menghasilkan kondisi lantai jenjang yang lebih rata setelah peledakan. Nilai *subdrilling* yang terlalu besar dapat meningkatkan getaran tanah, sedangkan nilai yang terlalu kecil dapat menyebabkan terbentuknya *toe* pada lantai jenjang. Persamaan untuk menentukan panjang *subdrilling* adalah sebagai berikut:

$$J = K_j \times B$$

Panjang kolom isian merupakan bagian kedalaman lubang ledak yang diisi bahan peledak. Parameter ini sangat penting karena berpengaruh langsung terhadap energi ledakan yang disalurkan ke massa batuan. Panjang kolom isian dipengaruhi oleh jenis dan kekerasan batuan, diameter lubang bor, jenis bahan peledak, serta tujuan peledakan yang ingin dicapai. (Nubatonis *et al.*, 2020). Persamaan untuk menghitung panjang kolom isian adalah sebagai berikut:

$$PC = H - T$$

Penentuan diameter lubang ledak dan tinggi jenjang mempertimbangkan aspek fragmentasi, *airblast*, *flyrock*, getaran tanah, serta biaya pengeboran. Hubungan antara tinggi jenjang (*H*) dan *burden* (*B*) dikenal sebagai *stiffness ratio* yang memengaruhi kualitas fragmentasi dan stabilitas hasil peledakan. Diameter lubang ledak umumnya ditentukan menggunakan “*Rule of Five*”, yaitu tinggi jenjang dalam satuan *feet* sama dengan lima kali diameter lubang ledak dalam satuan *inch*. (Himanshu *et al.*, 2021a). Fragmentasi merupakan istilah yang digunakan untuk menunjukkan ukuran bongkah batuan hasil peledakan. Ukuran fragmentasi sangat bergantung pada proses lanjutan yang akan dilakukan. Pada umumnya, ukuran fragmentasi yang lebih kecil lebih diinginkan karena memudahkan proses pemuatan, pengangkutan, dan penghancuran batuan. Ukuran fragmentasi maksimum biasanya dibatasi oleh kapasitas *bucket* alat gali maupun ukuran bukaan *crusher*. (Nanda & Pal, 2020)

Efisiensi penggunaan bahan peledak dalam suatu operasi peledakan sangat berkaitan dengan perancangan lubang bor, khususnya pada parameter kedalaman dan diameter lubang bor. Kedalaman dan diameter lubang bor memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kebutuhan bahan peledak pada kegiatan peledakan di tambang terbuka. Semakin besar kedalaman lubang bor, maka volume batuan yang akan diledakkan juga semakin besar. (Dotto *et al.*, 2022) Kondisi tersebut menyebabkan kebutuhan bahan peledak meningkat karena energi yang diperlukan untuk memecahkan batuan dalam volume yang lebih besar juga semakin tinggi. Selain itu, lubang bor dengan kedalaman yang lebih besar umumnya diterapkan pada jenjang (*bench*) yang tinggi sehingga desain peledakan harus dirancang secara tepat agar distribusi energi bahan peledak dapat tersebar merata hingga ke bagian dasar batuan dan menghasilkan fragmentasi yang optimal. (Gao *et al.*, 2023)

Diameter lubang bor juga berpengaruh terhadap jumlah bahan peledak yang dapat dimasukkan ke dalam setiap lubang ledak. Lubang bor dengan diameter yang lebih besar memungkinkan penggunaan bahan peledak dalam jumlah yang lebih banyak per meter lubang sehingga mampu menghasilkan energi ledakan yang lebih tinggi. Kondisi ini dapat meningkatkan kualitas fragmentasi batuan serta mengurangi jumlah lubang bor yang diperlukan sehingga pada beberapa kondisi dapat meningkatkan efisiensi operasional. Namun demikian, penggunaan diameter lubang bor yang lebih besar juga dapat meningkatkan biaya pengeboran per meter.

Apabila tidak disesuaikan dengan parameter peledakan lainnya, seperti *burden* dan *spacing*, kondisi tersebut dapat menimbulkan dampak negatif berupa *overbreak*, *flyrock*, maupun getaran tanah yang tinggi. (Himanshu et al., 2021b)

Powder Factor (PF) merupakan perbandingan antara jumlah bahan peledak yang digunakan dengan volume atau berat batuan yang berhasil dibongkar. Nilai *Powder Factor* digunakan untuk mengevaluasi tingkat efisiensi penggunaan bahan peledak dalam suatu kegiatan peledakan. Semakin kecil nilai *Powder Factor*, maka penggunaan bahan peledak dianggap semakin efisien karena jumlah bahan peledak yang digunakan lebih sedikit untuk membongkar volume batuan yang lebih besar. Persamaan untuk menghitung *Powder Factor* adalah sebagai berikut:

$$PF = \frac{An}{Wn}$$

Untuk menghitung volume batuan yang terbongkar digunakan persamaan berikut:

$$V = B \times S \times H \times n$$

Menurut (Putra et al., 2015) untuk mencapai hasil fragmentasi yang optimal dalam peledakan, diperlukan kombisa parameter pengeboran yang tepat antara kedalaman dan diameter lubang bor. Kombinasi ini harus mempertimbangkan karakteristik batuan, kondisi lapangan, jenis bahan peledak dan target hasil peledakan. Tidak ada kombinasi yang bersifat universal untuk semua kondisi penambangan, namn prinsip dasarnya adalah mencari keseimbangan antara distribusi energi ledak dan volume batuan yang akan dihancurkan.

Dalam praktik lapangan, kombinasi yang optimal dapat dilihat dari hubungan antara Powder Factor, hasil fragmentasi, serta efektivitas alat muat dan angkut. Fragmentasi yang terlalu kasar akan menyulitkan proses pemuatan dan bahkan dapat merusak alat berat. Sebaliknya, fragmentasi yang terlalu halus juga tidak diinginkan karena menunjukkan *overbreak* yang berarti energi ledak berlebihan. Kombinasi optimal biasanya diperoleh melalui uji coba (*trial blasting*) di lapangan. Tim teknis akan mencoba beberapa variasi kedalaman dan diameter lubang, kemudian menganalisis hasil fragmentasinya menggunakan metode visual atau teknologi seperti pemetaan digital dan analisis citra. Data Powder Factor juga dihitung untuk melihat apakah konsumsi bahan peledak berada dalam batas efisiensi. Berdasarkan data ini, kemudian ditentukan parameter pengeboran yang menghasilkan fragmentasi terbaik dengan konsumsi bahan peledak yang paling hemat.

METODE

Penelitian ini dilaksanakan pada area tambang terbuka milik PT Pama Persada Nusantara Site Baya yang terletak di Kabupaten Kutai Kartanegara, Provinsi Kalimantan Timur. Kegiatan penelitian dilakukan pada bulan Agustus 2025 dan berlangsung sesuai dengan kebutuhan pengumpulan data di lapangan hingga tahap analisis data selesai dilaksanakan. Jenis penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah penelitian kuantitatif. Penelitian kuantitatif merupakan metode penelitian yang menggunakan data berupa angka atau informasi yang dapat diukur dan dihitung secara sistematis. Penelitian ini berfokus pada pengujian hubungan antarvariabel yang dianalisis secara statistik. Variabel yang dianalisis dalam penelitian ini meliputi kedalaman lubang bor, diameter lubang bor, serta hasil fragmentasi batuan akibat peledakan. Seluruh variabel tersebut memiliki data numerik yang selanjutnya diolah untuk memperoleh kesimpulan mengenai pengaruh parameter pengeboran terhadap hasil peledakan. Sumber data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas data primer dan data sekunder. Data primer merupakan data yang diperoleh secara langsung oleh peneliti melalui kegiatan lapangan maupun wawancara dengan pembimbing dari pihak perusahaan. Data primer yang digunakan meliputi data kedalaman lubang bor, data fragmentasi hasil peledakan, serta hasil observasi lapangan. Sementara itu, data sekunder merupakan data pendukung yang diperoleh dari perusahaan dan dokumen yang telah tersedia sebelumnya. Data sekunder dalam penelitian ini meliputi profil perusahaan, peta lokasi dan kesampaian daerah, serta data curah hujan. Teknik pengambilan data dilakukan melalui observasi lapangan dan pengumpulan data secara langsung. Observasi lapangan dilakukan dengan cara melakukan pengamatan langsung terhadap kondisi area penelitian serta melakukan pengukuran kedalaman dan diameter lubang bor pada lokasi peledakan. Selain itu, dokumentasi hasil peledakan juga dilakukan untuk mendukung analisis fragmentasi batuan. Setelah kegiatan observasi selesai dilakukan, peneliti melanjutkan dengan pengambilan data lapangan yang kemudian diolah dan dianalisis sesuai dengan tujuan penelitian. Pelaksanaan penelitian dilakukan secara bertahap yang meliputi kegiatan pengenalan perusahaan, observasi lapangan, pengambilan data lapangan, pengolahan data, hingga penyusunan hasil penelitian. Kegiatan pengenalan perusahaan dilakukan pada tahap awal penelitian untuk memahami kondisi umum perusahaan dan lokasi penelitian.

Selanjutnya dilakukan observasi lapangan dan pengambilan data yang berlangsung selama beberapa minggu sesuai jadwal yang telah kemudian diolah sehingga laporan disusun secara dengan tujuan

HASIL DAN

No	Parameter	Simbol	Satuan	ID peledakan 110
1	Burden	B	m	6,8
2	spacing	S	m	8
3	Tinggi jenjang	H	m	7
4	Stemming	T	m	3
5	Subdrilling	J	m	7
6	Panjang kolom isian	PC	m	0,5
7	Diameter lubang ledak	D	mm	200
8	Jumlah lubang bor			132

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan pada pit 110 dan pit 302, diperoleh data mengenai geometri peledakan, fragmentasi batuan hasil peledakan, pengaruh kedalaman dan diameter lubang bor terhadap efisiensi peledak, serta kombinasi yang optimal untuk batuan yang baik. Data pengamatan lapangan pada disajikan pada Tabel 1 dan

No	Size	Presentasi Distribusi Fragmentasi Aktual	
		ID Peledakan 302 (2)	
		Lolos (%)	Distribusi sebaran (%)
1	4	0,06	0,06
2	5	0,16	0,1
3	7	0,50	0,34
4	11	1,64	1,14
5	16	5,73	4,09
6	22	13,63	7,9
7	31	27,05	13,42
8	44	42,24	15,19
9	63	60,09	21,09
10	88	60,18	5,91
11	125	66,77	6,59
12	250	100	33,23
13	500	100	0
14	750	100	0
15	1000	100	0
16	2000	100	0
17	4000	100	0

Tabel 1 Geometri Peledakan untuk site 302

penelitian. Data diperoleh dan dianalisis menghasilkan penelitian yang sistematis sesuai penelitian.

PEMBHASAN

penggunaan bahan parameter pengeboran menghasilkan fragmentasi geometri peledakan hasil site 302 dan site 110 Tabel 2:

Tabel 1 Distribusi fragmentasi aktual menggunakan software split desktop 2.0

Parameter geometri peledakan yang diamati meliputi burden, spacing, stemming, subdrilling, tinggi jenjang, kedalaman lubang ledak, serta diameter lubang bor yang digunakan pada kegiatan peledakan. Fragmentasi

batuan hasil peledakan pada site 302 dianalisis berdasarkan dokumentasi hasil. Analisis distribusi ukuran fragmentasi aktual dilakukan menggunakan software Split Desktop 2.0. Hasil distribusi fragmentasi aktual dari analisis tersebut disajikan pada Tabel 3 dan Tabel 4:

Tabel 2 Distribusi fragmentasi aktual menggunakan software split desktop 2.0

Tabel 3 Geometri peledakan site 110

Berdasarkan hasil analisis diketahui bahwa penggunaan geometri peledakan yang berbeda memberikan pengaruh terhadap distribusi ukuran fragmentasi batuan hasil peledakan. Variasi ukuran burden, spacing, dan kedalaman lubang pecahan batuan yang peledakan berlangsung. batuan hasil peledakan pada menggunakan metode yang aktual hasil peledakan pada site dan Tabel 6:

Tabel 4 Distribusi menggunakan software split

NO	Size	Presentasi Distribusi Fragmentasi Aktual	
		ID Peledakan 302 (1)	
		Lolos (%)	Distribusi sebaran (%)
1	10	28,27	28,27
2	20	53,31	18,42
3	30	71,73	13,14
4	40	84,87	8,5
5	50	93,37	4,77
6	60	98,14	1,8
7	70	99,94	0,06
8	80	100	0
9	90	100	0
10	100	100	0
11	150	100	0
12	200	100	0

ledak memengaruhi tingkat dihasilkan setelah proses Selanjutnya, fragmentasi site 110 juga dianalisis sama. Distribusi fragmentasi 110 disajikan pada Tabel 5

fragmentasi aktual desktop 2.0

No	Parameter	Simbol	Satuan	ID peledakan 302
1	Burden	B	m	6
2	spacing	S	m	8
3	Tinggi jenjang	H	m	7
4	Stemming	T	m	3,5
5	Subdrilling	J	m	7
6	Panjang kolom isian	PC	m	3,5
7	Diameter lubang ledak	D	mm	167
8	Jumlah lubang bor			75

NO	Size	Presentasi Distribusi Fragmentasi Aktual	
		ID Peledakan 110 (1)	
		Lolos (%)	Distribusi sebaran (%)
1	10	18,92	18,92
2	20	32,09	13,17
3	30	44,14	12,05
4	40	53,22	9,08
5	50	58,59	5,37
6	60	62,55	3,96
7	70	66,25	3,7
8	80	70,14	3,89
9	90	74,01	3,87
10	100	78,3	4,29
11	150	98,72	20,42
12	200	100	0

Tabel 5 Distribusi fragmentasi aktual menggunakan software split

No	Size	Presentasi Distribusi Fragmentasi Aktual	
		ID Peledakan 110 (2)	
		Lolos (%)	Distribusi sebaran (%)
1	4	0,01	0,01
2	5	0,02	0,06
3	7	0,08	0,18
4	11	0,26	0,76
5	16	1,02	2,32
6	22	3,34	6,94
7	31	10,28	14,11
8	44	24,39	17,85
9	63	42,24	12,2
10	88	54,44	8,5
11	125	62,94	22,82
12	250	85,76	14,24
13	500	100	0
14	750	100	0
15	1000	100	0
16	2000	100	0
17	4000	100	0

Dari hasil analisis tersebut diperoleh bahwa ukuran fragmentasi batuan yang dihasilkan dipengaruhi oleh parameter geometri peledakan yang diterapkan di lapangan. Semakin sesuai kombinasi geometri peledakan yang digunakan, maka ukuran fragmentasi batuan yang dihasilkan akan semakin baik dan lebih seragam. Kedalaman dan diameter lubang bor juga memiliki pengaruh yang sangat penting terhadap efisiensi penggunaan bahan peledak. Lubang bor dengan kedalaman yang lebih besar mampu menghasilkan volume batuan terbongkar yang lebih besar dalam satu kali peledakan. Selain itu, diameter lubang bor turut memengaruhi jumlah bahan peledak yang dapat dimasukkan ke dalam lubang ledak. Efisiensi penggunaan bahan peledak pada penelitian ini disajikan pada Tabel 7:

Tabel 6 Efisiensi penggunaan bahan peledak

No	Geometri	ID Peledakan		Satuan
		110	302	
1	Burden	6,8	6	m
2	Specing	8	8	m
3	Kedalam lubang bor	9	7	m
4	Diameter	200	167	mm
5	Jumlah lubang ledak	132	129	lbg
6	Jumlah ANFO perlubang	88	75	kg
7	Powder Faktor	11.616	9.675	kg

Berdasarkan hasil pengamatan, penggunaan kedalaman dan diameter lubang bor yang sesuai dapat meningkatkan efektivitas energi peledakan sehingga proses pemberaian batuan menjadi lebih optimal.

Penentuan kombinasi parameter pengeboran yang paling optimal untuk mencapai fragmentasi batuan yang baik dilakukan melalui perhitungan geometri peledakan menggunakan teori R.L. Ash dan metode Kuz-Ram. Dalam perhitungan geometri peledakan teori R.L. Ash, parameter awal yang dihitung adalah burden (B), kemudian dilanjutkan dengan perhitungan spacing (S), stemming (T), subdrilling (J), kedalaman lubang ledak (L), dan volume batuan terbongkar (V). Perhitungan tersebut mempertimbangkan faktor koreksi bahan peledak (AF1), faktor koreksi batuan (AF2), serta konstanta burden (Kb). Data pendukung yang digunakan dalam perhitungan teori R.L. Ash disajikan pada Tabel 8, sedangkan hasil rancangan geometri peledakan menurut teori R.L. Ash ditampilkan pada Tabel 9:

Tabel 7 Data teori R.L.S Ah

No	Geometri	Nilai	Satuan
1	Specific gravity ANFO (SG)	0,8	gr/cc
2	Specific gravity handak standar (SGstd)	1,2	gr/cc
3	Density batuan yang akan diledakkan (D)	147	lb/cuft
4	Density batuan standar (Dstd)	160	lb/cuft
5	Kecepatan detonasi (VOD)	13.730	fps
6	Kecepatan detonasi standar (VODstd)	12.000	fps
7	Diameter lubang bor (D)	7,87	inci
8	konstanta burden standar (Kbstd)	30	—
9	Loading density (de)	25	kg/m
10	Volume peledakan (V)	47.040	bcm

Tabel 8 Hasil rancangan geometri peledakan menurut R.L.S Ah

No	Parameter	Nilai	Satuan
1	Burden (B)	6	m
2	Spasi (S)	7,2	m
3	Stemming (T)	4,2	m
4	Subdrilling (J)	1,2	m
5	Kedalaman lubang ledak (L)	9	m
6	Panjang kolom isian (PC)	4,8	m
7	Tinggi jenjang (H)	7,8	m
8	Total lubang ledak (n)	140	hole
9	Jumlah bahan peledak (Qe)	120	kg/hole
10	Volume batuan terbongkar (Vo)	336,96	m ³
11	Powder factor (PF)	0,35	kg/m ³

Selain itu, perhitungan fragmentasi batuan dilakukan menggunakan metode Kuz-Ram untuk memperoleh prediksi ukuran fragmentasi rata-rata hasil peledakan. Dalam metode ini diperlukan beberapa parameter, yaitu blastibility index (BI), volume batuan per lubang ledak (Vo), jumlah bahan peledak per lubang (Qe), dan kekuatan relatif bahan peledak (E). Nilai blastibility index diperoleh dengan menjumlahkan seluruh parameter karakteristik massa batuan yang disajikan pada Tabel 10. Setelah nilai blastibility index diketahui, selanjutnya dihitung faktor batuan yang hasilnya disajikan pada Tabel 11:

Tabel 9 Parameter karasteristik massa batuan (site baya)

No	Parameter	Pembobotan	Keterangan
1	<i>Rock mass description (RMD)</i>	20	<i>Block</i>
2	<i>Joint Plane spacing (JPS)</i>	20	<i>intermediate</i>
3	<i>Joint Plane orientation (JPO)</i>	10	<i>horizontal</i>
4	<i>Specifics gravity influence (SGI)</i>	18,75	$SGI = 25 \times 2.70 - 50$
5	<i>hardness</i>	3	<i>Skala mohs</i>

Tabel 10 Hasil peledakan blastibility index dan faktor batuan

No	Parameter	Keterangan
1	<i>Blastibility index</i>	35,25
2	Faktor batuan (<i>rock faktor</i>)	4,23
3	<i>Relatif weight Strenght (E) emultion ANFO</i>	100

Berdasarkan hasil perhitungan menggunakan metode Kuz-Ram yang ditampilkan pada Tabel 12, diperoleh prediksi fragmentasi rata-rata hasil peledakan sebesar 24,71 cm dengan indeks keseragaman fragmentasi sebesar 1,19. Nilai karakteristik ukuran fragmentasi diperoleh sebesar 33,32 dengan persentase distribusi fragmentasi sebesar 4%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa kombinasi parameter geometri peledakan yang diterapkan mampu menghasilkan fragmentasi batuan yang relatif baik dan seragam sesuai dengan target kegiatan pembongkaran batuan di lapangan.

Tabel 11 Hasil perhitungan Kuz-Ram

No	Keterangan	Simbol	Nilai
1	Fragmentasi rata-rata peledakan	X	23,33
2	Indeks keseragaman	n	1,19
3	Distribusi fragmentasi (%)	R	4

Berdasarkan hasil analisis distribusi fragmentasi batuan hasil peledakan menggunakan software Split Desktop 2.0, diketahui bahwa distribusi fragmentasi berukuran besar atau boulder ≥ 80 cm terdapat pada lokasi peledakan ID 110 dengan persentase material tertahan pada ukuran ≥ 80 cm sebesar 3,86%. Sementara itu, pada lokasi peledakan ID 302 tidak ditemukan material yang tertahan pada ukuran ≥ 80 cm atau sebesar 0%. Tingginya persentase distribusi fragmentasi berukuran ≥ 80 cm pada lokasi ID 110 dipengaruhi oleh ukuran geometri peledakan yang digunakan, khususnya burden dan spacing yang memiliki ukuran lebih besar dibandingkan dengan geometri peledakan pada lokasi ID 302. Kondisi tersebut menyebabkan energi peledakan tidak terdistribusi secara optimal sehingga masih menghasilkan fragmentasi batuan berukuran besar. Selain itu, hasil penelitian menunjukkan bahwa kedalaman dan diameter lubang bor memberikan pengaruh terhadap efisiensi penggunaan bahan peledak. Pada lokasi ID 110 digunakan kedalaman lubang ledak yang lebih dangkal yaitu 7 m dengan diameter lubang bor sebesar 167 mm, sehingga jumlah bahan peledak yang digunakan relatif lebih sedikit. Kondisi tersebut menghasilkan nilai powder factor sebesar 6,675 kg yang menunjukkan penggunaan bahan peledak lebih hemat terhadap volume batuan yang dibongkar. Sebaliknya, pada lokasi ID 302 digunakan kedalaman lubang ledak sebesar 9 m dengan diameter lubang bor 200 mm sehingga jumlah bahan peledak yang digunakan menjadi lebih besar. Hal ini menyebabkan nilai powder factor meningkat menjadi 11,616 kg, yang menunjukkan penggunaan bahan peledak lebih besar untuk volume batuan yang relatif hampir sama. Penggunaan bahan peledak yang lebih besar tersebut mampu menghasilkan fragmentasi batuan yang lebih baik bahkan cenderung mengalami overfragmentasi, namun dari sisi efisiensi dinilai kurang optimal karena biaya penggunaan bahan peledak menjadi lebih tinggi. Berdasarkan hasil analisis dan perhitungan, diperoleh rancangan geometri peledakan yang diusulkan untuk menghasilkan fragmentasi batuan yang optimal, yaitu burden sebesar 6 m, spacing 7,2 m, stemming 4,2 m, subdrilling 1,2 m, kedalaman lubang ledak 9 m, panjang kolom isian 4,8 m, dan tinggi jenjang 7,8 m. Jumlah lubang ledak yang digunakan sebanyak 140 lubang dengan volume peledakan sebesar 47.040 m³. Jumlah bahan peledak yang digunakan sebesar 120 kg/hole dengan volume batuan terbongkar sebesar 336,96 m³/hole serta nilai powder factor sebesar 0,35 kg/m³. Rancangan geometri peledakan tersebut menghasilkan ukuran rata-rata fragmentasi batuan sebesar 23,33 cm dengan persentase distribusi fragmentasi berukuran ≥ 80 cm sebesar 2,3%. Nilai persentase distribusi fragmentasi tersebut telah memenuhi target perusahaan yaitu $\leq 20\%$, sehingga rancangan geometri peledakan

yang diusulkan dinilai efektif dalam menghasilkan fragmentasi batuan yang baik dan sesuai dengan kebutuhan operasi penambangan.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, kedalaman lubang bor terbukti memengaruhi kualitas fragmentasi batuan hasil peledakan. Pada kedalaman lubang bor 7 m diperoleh fragmentasi batuan yang lebih seragam dengan tidak ditemukannya material bongkah atau oversize berukuran ≥ 80 cm. Sementara itu, pada kedalaman lubang bor 9 m diperoleh fragmentasi yang cenderung lebih kasar dengan persentase oversize mencapai 3,86%. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa semakin dalam lubang bor yang digunakan, maka volume batuan yang diledakkan akan semakin besar. Namun, apabila peningkatan kedalaman lubang bor tidak diimbangi dengan pengaturan parameter geometri peledakan seperti burden, spacing, dan stemming yang sesuai, maka distribusi energi peledakan menjadi kurang optimal sehingga menghasilkan fragmentasi batuan yang lebih kasar.

Selain itu, variasi kedalaman dan diameter lubang bor juga memengaruhi tingkat konsumsi bahan peledak yang ditunjukkan melalui nilai powder factor. Pada penggunaan diameter lubang bor 200 mm dengan kedalaman 9 m diperoleh nilai powder factor yang relatif lebih tinggi yaitu sebesar 11,616 kg. Sedangkan pada penggunaan diameter lubang bor 167 mm dengan kedalaman 7 m diperoleh nilai powder factor yang lebih rendah yaitu sebesar 9,675 kg. Hasil tersebut menunjukkan bahwa penggunaan diameter lubang bor yang lebih besar mampu menghasilkan fragmentasi batuan yang lebih halus karena jumlah bahan peledak yang digunakan juga lebih besar. Akan tetapi, kondisi tersebut berdampak pada meningkatnya konsumsi bahan peledak sehingga efisiensi biaya peledakan menjadi lebih rendah.

DAFTAR REFERENSI

- Chouhan, L. S., Raina, A. K., & Murthy, V. M. S. R. (2022). *Effect of Firing Pattern on Rock Fragmentation in Surface Mine Blast-A Case Study* (pp. 481–487). https://doi.org/10.1007/978-981-16-9770-8_31
- Dotto, M. S., Pourrahimian, Y., Joseph, T., & Apel, D. (2022). Assessment of blast energy usage and induced rock damage in hard rock surface mines. *CIM Journal*, 13(4), 166–180. <https://doi.org/10.1080/19236026.2022.2126924>
- Fatma, S., & Kumari, K. (2023). Analysis of different Explosive substance. *Research Journal of Science and Technology*, 215–216. <https://doi.org/10.52711/2349-2988.2023.00036>
- Gao, P., Pan, C., Zong, Q., & Dong, C. (2023). Rock fragmentation size distribution control in blasting: a case study of blasting mining in Changjiu Shenshan limestone mine. *Frontiers in Materials*, 10. <https://doi.org/10.3389/fmats.2023.1330354>
- Guo-hui, X., Hai-sheng, L., & Yuan-hong, M. (2024). Retracted: Analysis of Inclination Mechanism and Trajectory Prediction of Deep-Hole Small-Diameter Scientific Drilling Holes. *2024 International Conference on Optimization Computing and Wireless Communication (ICOCWC)*, 1–4. <https://doi.org/10.1109/ICOCWC60930.2024.10470900>
- Himanshu, V. K., Roy, M. P., Shankar, R., Mishra, A. K., & Singh, P. K. (2021a). Empirical Approach Based Estimation of Charge Factor and Dimensional Parameters in Underground Blasting. *Mining, Metallurgy & Exploration*, 38(2), 1059–1069. <https://doi.org/10.1007/s42461-020-00374-8>
- Himanshu, V. K., Roy, M. P., Shankar, R., Mishra, A. K., & Singh, P. K. (2021b). Empirical Approach Based Estimation of Charge Factor and Dimensional Parameters in Underground Blasting. *Mining, Metallurgy & Exploration*, 38(2), 1059–1069. <https://doi.org/10.1007/s42461-020-00374-8>

- Limbong, C. H., Rafika, M., Indra, A., & Syahputra, R. (2022). Implementation of PSAK No. 64 Concerning Accounting Treatment Cost of Exploration and Evaluation (Case Study at the State Gas Company, Tbk). *Daengku: Journal of Humanities and Social Sciences Innovation*, 2(6), 857–862. <https://doi.org/10.35877/454RI.daengku1344>
- Murad, M. (2022). RANCANGAN GEOMETRI PELEDAKAN BATUAN GRANODIORIT PT. GILGAL BATU ALAM LESTARI MEMPAWAH KALIMANTAN BARAT. *Jurnal Sains Dan Teknologi: Jurnal Keilmuan Dan Aplikasi Teknologi Industri*, 22(2), 388. <https://doi.org/10.36275/stsp.v22i2.547>
- Nanda, S., & Pal, B. K. (2020). Analysis of Blast Fragmentation Using WipFrag. *International Journal of Innovative Science and Research Technology*, 5(6), 1561–1566. <https://doi.org/10.38124/IJISRT20JUN1086>
- Nikkhah, A., Vakylabad, A. B., Hassanzadeh, A., Niedoba, T., & Surowiak, A. (2022). An Evaluation on the Impact of Ore Fragmented by Blasting on Mining Performance. *Minerals*, 12(2), 258. <https://doi.org/10.3390/min12020258>
- Putra, I. G., Toha, M. T., & Sudarmono, D. (2015). Batuan Menggunakan Bahan Peledak Anfo Dan Bulk Emulsion Pada Lapisan Interburden Pit 4500 Blok Selatan Pt . Pamapersada – Dahana (Persero) Jobsite Melak , Kalimantan Timur Blasting Geometry Evaluation Toward Rock Fragmentation Using Blasting Material an. *Jurnal Ilmu Teknik*, 3(2).
- Qian, X. (2022). Classification and safety precautions of blasting technology. In *Advances in Petrochemical Engineering and Green Development* (pp. 39–45). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781003318569-8>
- Sharma, M., Choudhary, B. S., Kumar, H., & Agrawal, H. (2021). Optimization of Delay Sequencing in Multi-Row Blast using Single Hole Blast Concepts. *Journal of The Institution of Engineers (India): Series D*, 102(2), 453–460. <https://doi.org/10.1007/s40033-021-00270-5>
- Xu, Y., Wang, L., Chen, X., & Fan, Y. (2022). Improvement of drilling quality using precision directional drilling technology. *Journal of Petroleum Exploration and Production Technology*, 12(11), 3149–3164. <https://doi.org/10.1007/s13202-022-01510-4>