



**KAJIAN TEKNIS PEMBORAN DAN PELEDAKAN UNTUK  
MENINGKATKAN PRODUKSI GRANIT DI  
PT. TRIMEGAH PERKASA UTAMA**

**DRILLING AND BLASTING TECHNICAL STUDY TO INCREASE GRANIT  
PRODUCTION IN PT. TRIMEGAH PERKASA UTAMA**

Juventa<sup>1</sup>, Toha, M.T.<sup>2</sup>, Bochori<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Teknik Geofisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Jambi

<sup>2-3</sup> Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya

<sup>1</sup> Jl. Jambi – Muara Bulian KM. 15, Mendalo Darat, Kec. Jambi Luar Kota, Kabupaten Muaro Jambi, Jambi

<sup>2-3</sup> Jl. Raya Palembang – Prabumulih KM. 32, Inderalaya, Sumatera Selatan

e-mail: \*<sup>1</sup>[juventa@unja.ac.id](mailto:juventa@unja.ac.id), <sup>2</sup>[taufiktoha@yahoo.com](mailto:taufiktoha@yahoo.com), <sup>3</sup>[bochori@ft.unsri.ac.id](mailto:bochori@ft.unsri.ac.id)

**ABSTRAK**

PT Trimegah Perkasa Utama merupakan kontraktor penambangan batu granit dengan sistem tambang terbuka metode *quarry*, yang menggunakan peledakan untuk memberaikan batuan. Produksi sampai dengan November tahun X, hanya mencapai 83,44 % dari target, sedangkan untuk tahun berikutnya target produksi adalah 3.640.000 ton, yang mengalami peningkatan dari target produksi tahun X sebesar 3.340.000 ton. Penelitian ini bertujuan untuk merancang rencana peledakan dan jumlah lubang bor produksi agar target dapat dipenuhi. Kajian produktivitas alat bor, pola pemboran, kecepatan pemboran dan volume ekuivalen akan dikombinasikan dengan geometri peledakan untuk analisis hasil peledakan menggunakan persamaan Kuznetsov dan Roslin-Ramler. Berdasarkan hasil penelitian, untuk mencapai target produksi tersebut, diperlukan 750 lubang ledak per bulan dan modifikasi geometri peledakan dari *burden* awal 3 m menjadi 3,5 m, spasi awal 3,9 m menjadi 5,25 m, tinggi jenjang awal 14,032 m menjadi 15 m, dan kedalaman lubang ledak awal 15,034 m menjadi 16 m serta peningkatan jumlah bahan peledak menjadi 250 kg (naik 46% dari bahan peledak yang dipakai sebelumnya).

**Kata kunci:** produksi, geometri, pemboran, peledakan

**ABSTRACT**

*PT. Trimegah Perkasa Utama is a granite mining contractor with an open pit mining system and use blasting to scatter rocks. The problem was that up to November of year X, production only reached 83.44% while for the following year the production target was 3.64 million tons which increased from the production target of year X which was 3.340.000 tons. The purpose of this research is to design an explosion plan and the number of production holes so that targets can be met. The study of drill tool productivity, drilling pattern, drilling speed and equivalent volume will be combined with blasting geometry for blasting results analysis using the Kuznetsov and Roslin-Ramler equations. This study discusses the efficiency of drilling tools and the geometric design of drilling and blasting. To achieve the production target, it is necessary to modify the explosion geometry from an initial burden of 3 m to 3.5 m, initial spacing of 3.9 m to 5.25 m, initial level height of 14,032 m to 15 m, and initial blast hole depth of 15,034. m to 16 m and an increase in the amount of explosives to 250 kg (up 46% from the explosives used previously)*

**Keywords:** Production, Geometry, Drilling, Blasting.

**PENDAHULUAN**

Granit adalah batuan beku intrusif yang mempunyai tekstur granular dan fanerik, berwarna putih, pink atau abu-abu, tergantung pada kondisi mineraloginya. Granit

umumnya ditambang dengan menggunakan proses pembersihan batuan atau peledakan [1].

PT Trimegah Perkasa Utama (PTTM) merupakan kontraktor penambangan batu granit yang menggunakan sistem tambang terbuka dengan metode *quarry* dan

menggunakan pemboran serta peledakan untuk memberaikan batuan. Ukuran fragmentasi yang diharapkan <126 cm dengan *looses* dari hasil peledakan dan pengangkutan akhir diasumsikan sebesar 9,031%. Pada tahun X, PTTM mempunyai target produksi sebesar 3.340.000 ton dan akan ditingkatkan pada tahun X+1 menjadi 3.640.000 ton. Namun realisasi sampai pada bulan November tahun X target produksi yang dicapai baru sebesar 83,44% [2].

Pemboran batuan adalah salah satu kegiatan awal dalam rangkaian proses peledakan batuan yang bertujuan untuk membuat sejumlah lubang ledang yang kemudian diisi oleh bahan peledak [3] yang akan diledakkan. Geometri peledakan terdiri pada umumnya terdiri dari spasi, *burden*, tinggi jenjang, *stemming*, panjang kolom isian dan *subdrilling* [4].

Pemboran dan peledakan pada tambang terbuka adalah unit operasi yang penting karena akan memiliki efek pada fragmentasi material, faktor keamanan dan biaya produksi total. Desain geometri pemboran dan peledakan menjadi sangat penting karena akan menentukan biaya operasional, oleh karena itu suatu operasi peledakan dan pemboran harus didesain dengan sangat baik [5].

Modifikasi geometri pemboran dan peledakan menjadi sangat penting dalam pemenuhan target produksi dalam penambangan batu granit [6] karena proses peledakan inilah yang akan menyediakan batuan untuk diproses lebih lanjut.

Modifikasi geometri dilakukan dengan menggunakan teori RL. Ash [7] dan kemudian dilakukan prediksi hasil fragmentasi batuan dengan metode Kuz-Ram [8] sehingga diharapkan akan didapatkan geometri pemboran dan peledakan yang bisa memenuhi target produksi pada tahun X+1. Penelitian ini bertujuan untuk merancang rencana peledakan dan jumlah lubang bor produksi agar target dapat dipenuhi.

## METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan di PTTM Desa Pangke, Karimun, Kepulauan Riau dari bulan Oktober sampai bulan November pada tahun X. Adapun garis besar dari tahapan penelitian ini adalah:

### a. Kemampuan Produksi Alat Bor

Pada tahap ini akan diketahui jenis alat bor dan bagaimana kinerja alat bor dalam menyediakan lubang ledak proses pembeaian batuan granit. Beberapa data yang didapat adalah:

#### 1) Efisiensi kerja

Waktu kerja efektif atau efisiensi kerja adalah waktu yang sepenuhnya digunakan oleh tiap orang baik bersama alat mekanis ataupun tidak dalam melakukan kegiatan produksi. Untuk mendapatkan nilai efisiensi kerja ini maka harus mengamati

waktu kerja efektif pada jam kerja yang telah dijadwalkan [9].

$$We = \frac{Wk}{Wop} \times 100\% \quad (1)$$

#### 2) Penggunaan efektif alat bor

Penggunaan efektif alat bor menggunakan rumusan alat mekanis [9], dituliskan dengan persamaan:

$$EU = \frac{W}{(W+R+S)} \times 100\% \quad (2)$$

#### 3) Pola pemboran

#### 4) Kecepatan pemboran

Kecepatan pemboran menunjukkan berapa waktu yang dibutuhkan oleh alat bor untuk dapat menyelesaikan pengeboran 1 lubang ledak.

#### 5) Volume Ekuivalen

Volume Ekuivalen adalah suatu nilai yang digunakan untuk mengetahui volume batuan yang berhasil diledakkan untuk setiap m kedalaman lubang bor, dinyatakan dalam satuan m<sup>3</sup>/m [10].

$$Veq = \frac{V}{\Sigma H} \quad (3)$$

#### 6) Produksi mesin bor

Produksi mesin bor menunjukkan berapa hasil peledakan batuan per lubang ledak, [11] dituliskan dengan persamaan:

$$P = Drr \times Veq \times Ek \times 60 \quad (4)$$

### b. Data Geometri Peledakan

Pada tahapan ini akan didapatkan geometri aktual dari proses peledakan berupa *burden*, spasi, *stemming*, *subdrilling*, panjang kolom isian, tinggi jenjang serta *powder factor*.

### c. Analisis Hasil Peledakan

Pada tahapan ini akan dilakukan perbandingan antara keadaan aktual serta hasil teoritis yang didapat serta distribusi hasil fragmentasi.

Secara teoritis, hasil peledakan dapat diperkirakan distribusi fragmentasi batumannya dengan menggunakan persamaan Kuznetsov yakni sebagai berikut [12]:

$$X = Ao \times \left[ \frac{V}{Q} \right]^{0.8} \times Q^{0.17} \times \left( \frac{E}{115} \right)^{-0.63} \quad (5)$$

Sedangkan untuk mengetahui diam rata-rata batuan hasil peledakan dapat menggunakan persamaan yang diajukan oleh Roslin – Ramler [13] yaitu :

$$Rx = e^{-\left(\frac{X}{xc}\right)^n} \quad (6)$$

$$Xc = \frac{x}{0.693^{1/n}} \quad (7)$$

Besarnya nilai ‘n’ didapatkan dari persamaan berikut:

$$n = \left[ 2.2 - 14 \frac{B}{De} \right] \left[ 1 - \frac{W}{B} \right] \left[ 1 + \frac{(A-1)PC}{2L} \right] \quad (8)$$

Nilai ‘n’ disini dipakai untuk mengetahui tingkat keseragaman distribusi fragmentasi batuan hasil peledakan pada umumnya bernilai antara 0.8-2.2 dimana semakin kecil nilai ‘n’ mengindikasikan fragmentasi yang semakin beragam.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**Kemampuan Produksi Alat Bor**

Alat bor yang digunakan pada pembuatan lubang ledak adalah sebagai berikut:

- a. Furukawa PCR-100D dengan bantuan kompresor Ingersoll Rand XHP 900BWCAT
- b. Furukawa PCR-200CD dengan bantuan kompresor Ingersoll Rand BW900CAT
- c. Atlas Copco ROL 460 PC/HF dengan bantuan kompresor Atlas XRHS 800CD06
- d. Atlas Copco CM348/VL140 dengan bantuan kompresor Ingersoll Rand HP750 WCU

Alat bor yang digunakan untuk produksi adalah kombinasi a, b, dan c, sedangkan d digunakan untuk proses pengembangan.

**1. Efisiensi Waktu Kerja**

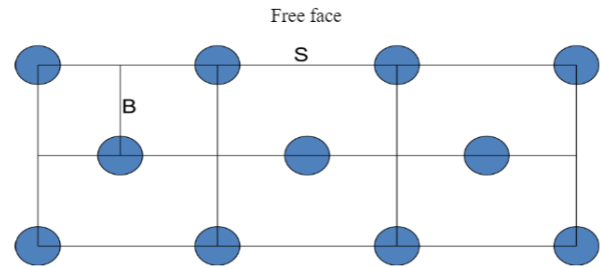
Waktu kerja yang diberikan oleh PTTM untuk menyediakan lubang ledak dalam 1 hari adalah 20 jam dengan 2 *shift*, pagi dan malam. *Shift* pagi dibagi lagi menjadi dua, yaitu dari pukul 7 pagi sampai 4 sore dan 4 sore sampai 7 malam dengan perbedaan jumlah penggunaan alat bor. Sedangkan *shift* malam dari pukul 7 malam sampai 3 dini hari. Efisiensi waktu kerja hasil penelitian sebesar 65,73%. Efisiensi waktu kerja ini bisa ditingkatkan hingga mencapai 81,94%.

**2. Penggunaan Efektif Alat Bor**

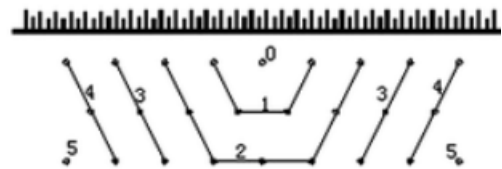
Menurut pengamatan selama Oktober-November, didapatkan penggunaan efektif rata-rata ketiga alat bor produksi adalah sebesar 55,44%. Untuk memperbaiki penggunaan efektif alat bor, waktu tunggu perlu dikurangi sehingga nilainya meningkat menjadi 61,1%.

**3. Pola Pemboran**

Pola pemboran yang diterapkan pada PTTM adalah pola pemboran selang-seling (*staggered pattern*) (gambar 1) dengan arah pengeboran tegak lurus untuk mengupayakan deviasi yang sekecil-kecilnya dan metode peledakannya adalah “V-cut” (gambar 2).



**Gambar 1.** Pola Pemboran



**Gambar 2.** Pola Inisiasi Peledakan “V-Cut”

**4. Kecepatan Pemboran**

Hasil pengamatan di lapangan, diperoleh data waktu pemboran untuk satu lubang ledak adalah 44,011 menit dan kecepatan pemboran rata-rata 0.342 m/menit.

**5. Volume Ekuivalen**

Volume ekuivalen yang didapatkan adalah 11.066 m<sup>3</sup>/m.

**6. Produksi Alat Bor**

Target produksi yang ditetapkan pada tahun X+1 adalah sebesar 3.640.000 ton, yang mengalami kenaikan 300.000 ton dari tahun X (tabel 1).

**Tabel 1.** Perencanaan Target Produksi PTTM Tahun X+1

Bulan	Target Produksi (Ton)
Januari	280.000
Februari	300.000
Maret	300.000
April	300.000
Mei	300.000
Juni	320.000
Juli	320.000
Agustus	320.000
September	300.000
Oktober	300.000
November	300.000
Desember	300.000
Total	3.640.000
Rata-rata	303.333,3

Berdasarkan pengamatan dari bulan Oktober sampai November tahun X untuk kedalaman rata-rata lubang ledak 15,0431 m dan rata-rata banyaknya lubang bor adalah 50 lubang per sekali kegiatan peledakan, maka produksi 1 lubang ledak adalah 447.645 ton/lubang.

Untuk mendapatkan target produksi 3.640.000 ton maka lubang ledak yang harus dipersiapkan dalam 1 tahun adalah 8.132 lubang ledak per tahun. Dengan asumsi *looses* sebesar 9,031% maka produksi batu granit yang diperlukan adalah sebesar 3.978.884 ton atau setara dengan 8.889 lubang ledak per tahun atau 741 lubang ledak tiap bulan.

Karena target produksi tidak tercapai (tabel 2) dimana dalam 1 hari kerja hanya mendapatkan 18 lubang ledak, maka diusulkan perbaikan produksi alat bor dengan memperbaiki efisiensi waktu kerja (tabel 3).

**Tabel 2.** Produksi Lubang Bor Aktual

Shift	Jam Kerja	We (%)	EU (%)	Jumlah Alat (Unit)	CT (menit)	Jumlah Lubang
1	9	65,73	55,44	2	44,2	8,94
1b	3	65,73	55,44	1	44,2	1,49
2	8	65,73	55,44	2	44,2	7,94
Total	20			5		18,37

Keterangan :

We : efisiensi kerja (%)

Eu : penggunaan efektif (%)

CT : cycle time (menit)

Dengan perbaikan efisiensi kerja dan ketersediaan alat maka dalam 1 hari akan didapat sekitar 26 lubang ledak, atau sebanyak 780 lubang ledak per bulan, lebih dari cukup untuk memenuhi target produksi.

**Tabel 3.** Produksi lubang Bor dengan Perbaikan Waktu Kerja

Shift	Jam Kerja	We (%)	EU (%)	Jumlah Alat (Unit)	CT (menit)	Jumlah Lubang
1	9	84,28	61	2	44,2	12,92
1b	3	84,28	61	1	44,2	2,12
2	8	84,28	61	2	44,2	11,22
Total	20			5		26,26

Keterangan :

We : efisiensi kerja (%)

Eu : penggunaan efektif (%)

CT : cycle time (menit)

## Geometri Peledakan

### 1. Geometri Peledakan di Lapangan

Geometri peledakan yang diterapkan pada kuari PTTM adalah sebagai berikut :

- Burden (B) = 3 m
- Spasi (S) = 3,9545 m
- Stemming (T) = 2,9159 m
- Subdrilling (J) = 1 m
- Tinggi jenjang (L) = 14,032 m
- Kedalaman lubang ledak (H) = 15,043 m
- Panjang kolom isian (PC) = 11,13 m

### 2. Pemakaian Bahan Peledak

Dalam melakukan pengisian bahan peledak, PTTM menggunakan PT. Dahana sebagai subkontraktor. Jenis ANFO yang digunakan adalah DANFO (*Dahana Ammonium Nitrat and Fuel Oil*) dengan perbandingan berat 94% *Ammonium Nitrat* dan 6% *Fuel Oil* serta ditambahkan emulsi yang telah disiapkan oleh PT. Dahana. Untuk penguat peledakan digunakan *Pantolite Booster* dan *DayaGel*. Penggunaan bahan peledak pada kuari PTTM rata-rata adalah sebesar 170,60 kg (51,17 kg ANFO) untuk setiap lubangnyanya.

### 3. Geometri Peledakan secara Teoritis.

Menurut hasil pengamatan di lapangan, geometri peledakan yang digunakan ternyata tidak bisa diimbangi oleh kemampuan alat bor untuk menghasilkan jumlah lubang ledak yang dibutuhkan dalam mencapai target produksi. Dengan asumsi bila efisiensi waktu kerja dan penggunaan alat bor tidak bisa ditingkatkan, maka harus dilakukan modifikasi terhadap geometri peledakan.

Alternatif modifikasi geometri peledakan berdasarkan rumusan RL.Ash dengan perubahan jumlah bahan peledak yang digunakan terlihat pada tabel 4.

**Tabel 4.** Geometri Peledakan Teoritis dengan Perubahan Total Bahan Peledak

Geometri	
Burden	3,5 m
Spasi	5,25 m
Stemming	3 m
Subdrilling	1 m
Tinggi Jenjang	15 m
Kedalaman Lubang	16 m
Panjang Kolom Isian	12 m
Bahan Peledak	250 kg
Volume Batuan	275,625 m <sup>3</sup>
Powder Factor	0,907 kg/m <sup>3</sup>
Rasio Peningkatan	46%
Fragmentasi >126cm	8,2%

Dari tabel 4 di atas dapat dilihat bahwa, dengan meningkatkan jumlah bahan peledak sebanyak 46% dari bahan peledak awal, maka fragmentasi yang dihasilkan pada geometri usulan menjadi lebih baik. Jumlah lubang ledak yang diperlukan untuk memenuhi target produksi dengan hasil modifikasi geometri usulan adalah:

$$\begin{aligned} \text{Lubang bor} &= \frac{\text{Target Produksi}}{\text{Volume batuan} \times \text{densitas}} \\ &= \frac{3.978.884 \text{ ton}}{275,625 \text{ m}^3 \times 2,6 \text{ ton/m}^3} \\ &= 5.553 \text{ lubang ledak per tahun atau setara} \\ &\text{dengan 463 lubang ledak per bulan.} \end{aligned}$$

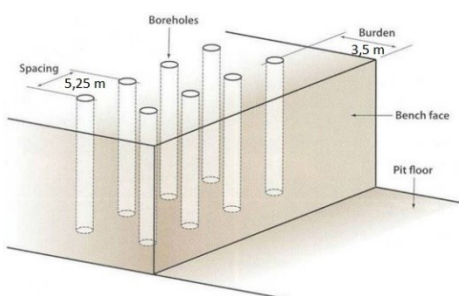
**Analisa Hasil Fragmentasi**

Tingkat fragmentasi batuan hasil peledakan diharapkan sesuai dengan ukuran mulut alat peremuk batuan, yaitu  $\leq 126$  cm. Berdasarkan pengamatan di lapangan persentase batuan hasil peledakan berukuran  $\geq 126$  cm adalah sebesar 10,41%. Hasil bongkah di bawah 15% pada suatu operasi peledakan sudah dikatakan optimal karena akan mengurangi waktu dan biaya untuk penanganan bongkah. [14]

Kenyataan di lapangan menunjukkan bahwa alat bor yang beroperasi tidak mampu menyediakan lubang ledak untuk memenuhi target produksi sehingga diperlukan modifikasi dari geometri peledakan. Geometri peledakan yang diubah mencakup spasi, *burden*, tinggi jenjang, kedalaman lubang ledak, dan *powder factor*.

Ukuran rata-rata fragmentasi hasil peledakan dapat diperkirakan menggunakan persamaan 5 dengan bantuan rumusan nilai indeks peledakan Carlos L. Jimeno maka usulan modifikasi geometri dengan penambahan 46% dari bahan peledak yang semula dipakai, secara teoritis menunjukkan tingkat fragmentasi sebesar 3,02-21,44%, yang secara teknis sudah mendukung kemampuan alat bor yang ada, meski secara ekonomis akan membutuhkan biaya yang lebih besar karena adanya peningkatan jumlah bahan peledak.

Pola geometri peledakan usulan ini mempunyai pola lubang ledak yang lebih jarang dibandingkan yang digunakan di lapangan (Gambar 3).



**Gambar 3.** Ukuran Spasi dan *Burden* Geometri Peledakan Usulan Modifikasi [15]

Hal ini secara langsung menyebabkan berkurangnya jumlah lubang ledak yang diperlukan untuk mencapai target produksi. Penyediaan lubang ledak inilah yang menjadi pokok permasalahan yang menyebabkan target produksi selama pengamatan pada bulan Oktober dan November X pada PTTM tidak tercapai. Selain itu pola geometri usulan ini juga menghasilkan nilai fragmentasi yang juga masuk dalam kategori ekonomis dengan jumlah fragmentasi yang diharapkan adalah 8,2% dengan *powder factor* tidak jauh berbeda dengan yang sebelumnya digunakan di lapangan.

**KESIMPULAN**

Untuk mencapai target produksi yakni 3.640.000 ton pada tahun X+1, perlu disediakan 3.978.884 ton batu granit dengan jumlah lubang ledak sebanyak 741 lubang/bulan (geometri di lapangan). Oleh karena itu diperlukan peningkatan efisiensi kerja yang awalnya hanya 65,73 % menjadi 81,28% dan peningkatan efisiensi pemakaian alat bor dari rata-rata 55,44% menjadi 61,1% agar dapat memenuhi target produksi. Sehingga lubang ledak yang dapat dihasilkan menjadi 750 lubang ledak per bulan dan dibuat suatu geometri peledakan baru dengan *burden* 3,5 m, spasi 5,25 m, *stemming* 3 m, *subdrilling* 1 meter, tinggi jenjang 15 meter, kedalaman lubang ledak 16 m dan panjang kolom isian 12 m. Dari hasil analisis teoritis didapat besarnya persentase bongkah untuk geometri peledakan usulan dan penambahan bahan peledak adalah sebesar 8,2% jauh lebih baik dibanding geometri yang dipakai di lapangan yaitu sebesar 10,42%.

**UCAPAN TERIMA KASIH**

Penulis mengucapkan terima kasih kepada seluruh Direksi, karyawan, staff, dan divisi *quarry* PTTM yang telah memberikan izin untuk melakukan penelitian ini.

**DAFTAR PUSTAKA**

[1] Naidu, PT., Kumar, P., Ravi, V., Kumar, SRKSSG., Krishna, DV., Ravi, B., (2020). Case Study of Control Blasting in Granite Mines, *International Research Journal of Engineering and Technology*, 7 (5) , 1-5.

[2] PT. Riau Alam Anugerah. (1990), *Buku Kerangka Acuan Analisis Dampak Lingkungan Penambangan Batu Granit*, PT. Riau Alam Anugerah.

[3] Supratman, Anshariah, dan Bakrie, H., (2017). Produktivitas Kinerja Mesin Bor Dalam Pembuatan Lubang Ledak di Quarry Batu Gamping B6 Kabupaten Pangkep Propinsi Sulawesi Selatan, *Jurnal Geomine*, 5(2), 59-62.



- [4] Sujiman. (2014). Kajian teknis Alat Bor dalam Pembuatan Lubang Ledak pada Aktivitas Peledakan PT. HPU Kabupaten Kutai Kartanegara Provinsi Kalimantan Timur, *Jurnal Geologi Pertambangan*, 1(14), 1-13.
- [5] Mohamed, M.T., T, M., Mohamed, Y.S., (2020). Determination Of Bench Blast Design Parameters For Limestone Quarry at Gable Okheider, Al Ain El Sukhna - West of gulf of Suez, Egypt, *Journal of Engineering Science*, 48(2), 54-64.
- [6] Ash, RL., (1968), *The Design of Blasting Rounds*. The American Institute of Mining, Metallurgical, and Petroleum Engineers.
- [7] Konya, CJ., and Walter, EJ., (1991), *Rock Blasting and Overbreak Control*. United States: Federal Highway Administration.
- [8] Hekmat, A., Munoz, S., and Gomez, R., (2018). Prediction of Rock Fragmentation Based on a Modified Kuz-Ram Model. *Proceedings of the 27th International Symposium on Mine Planning and Equipment Selection-MPES 2018*.
- [9] Partanto, P., (2000), *Pemindahan Tanah Mekanis*. Bandung: FTTM-ITB.
- [10] Ash, RL., (1985). Flexural Rupture as a Rock Breakage Mechanism in Blasting, *Fragm. by blasting*, Ed. W. Forney, R. Boade L. Costin, *Soc. Exp. Mech.*, pp. 24–29.
- [11] Sasaoka, T., Takahashi, Y., Sugeng, W., and Hamanaka, A., (2015). Effects of Rock Mass Conditions and Blasting Standard on Fragmentation Size at Limestone Quarries, *Open Journal of Geology*, 5, 331–339.
- [12] Morin, MA., and Ficarazzo, F., (2006). Monte Carlo Simulation as a Tool to Predict Blasting Fragmentation Based on the Kuz–Ram Model, *Computer & Geoscience.*, 32(3), 352–359.
- [13] Jethro, M., David, O., and Peter, A., (2016). Rock Fragmentation Prediction Using Kuz-Ram Model, *Journal of Environment and Earth Science*, 6 (5), 110-115.
- [14] Haghghi, RH., Konya, CJ., and Lundquist, RG. (1985). Finite Element Modeling of Rock Breakage Mechanism. *The 26th US Symposium on Rock Mechanics (USRMS)*.
- [15] Cardu, M., Saltarin, S., Todaro, C., Deangeli, C., (2021). Beyond Controlled Blasting and Line Drilling, *Mining*, 192-210.