

**KAJIAN TEKNIS GEOMETRI PELEDAKAN BERDASARKAN ANALISIS
BLASTABILITY DAN DIGGING RATE ALAT GALI MUAT DI PIT MT-4
TAMBANG AIR LAYA PT BUKIT ASAM (PERSERO) TBK
TANJUNG ENIM, SUMATERA SELATAN**

**TECHNICAL STUDY OF BLASTING GEOMETRY BASED ON ANALYZES
OF BLASTABILITY AND DIGGING RATE OF EXCAVATOR AT
PIT MT-4 AIR LAYA MINE PT BUKIT ASAM (PERSERO) TBK
TANJUNG ENIM, SOUTH SUMATERA**

Moamar Aprilian Ghadafi¹, Syamsul Komar², Djuki Sudarmono³

^{1,2,3}Jurusan Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya, Jl. Raya Palembang-Prabumulih Km.32 Inderalaya-Sumatera Selatan, 30662, Indonesia

*PT Bukit Asam (Persero) Tbk, Jl. Parigi No. 01, Tanjung Enim-Sumatera Selatan, 31716, Indonesia
E-mail : moamar.aprilian@yahoo.co.id*

ABSTRAK

Penentuan geometri peledakan dan powder factor harus memperhatikan karakteristik massa batuan dan kondisi geologi setempat agar dapat memperoleh fragmentasi produktif dimana persentase boulder kurang dari 15 % sehingga digging rate dan produktivitas alat gali muat dapat ditingkatkan. Percobaan geometri alternatif dilakukan untuk mengatasi masalah boulder yang dihasilkan. Rancangan geometri alternatif ditentukan dengan melakukan penelitian terhadap karakteristik massa batuan berdasarkan Lilly's blastability index berupa rockmass description, joint plane spacing, joint plane orientation, specific gravity influence, dan hardness. Berdasarkan hasil pembobotan massa batuan yang akan diledakkan maka didapatkan nilai blastability index di lokasi penelitian sebesar 33,13 sehingga geometri peledakan yang baik untuk diterapkan untuk lubang bor 6,75 inci adalah burden sebesar 5,5 m, spasi 8,0 m, kedalaman lubang ledak 8,2 meter, subdrilling 0,3 m, tinggi jenjang 7,9 m, stemming 4,4 m, dan panjang kolom isian 3,8 m serta powder factor 0,20 kg/m³ sedangkan untuk lubang bor 7,875 inci adalah burden sebesar 6,5 m, spasi 9,0 m, kedalaman lubang ledak 8,3 m, subdrilling 0,3 m, tinggi jenjang 8,0 meter, stemming 4,6 m, dan panjang kolom isian 3,7 m serta powder factor 0,20 kg/m³, dimana dari kedua geometri usulan tersebut menghasilkan persentase boulder yang lebih kecil dibandingkan dengan geometri yang diterapkan saat ini.

Kata kunci: geometri, peledakan, massa batuan, fragmentasi, digging rate

ABSTRACT

Determination of blasting geometry and powder factor must consider characteristics of the rock mass and geological conditions in order to obtain productive fragmentation in which the percentage of boulder is less than 15% so that digging rate and productivity of excavator can be improved. The design of alternative blasting geometry is determined by doing research on the characteristics of the rock mass index based on Lilly's blastability such as rockmass description, joint plane spacing, joint plane orientation, specific gravity influence, and hardness. Based on analysis of the rock mass weighting that will be blasted, blastability index value of 33,13 at research site so it can be concluded that best geometry blasting to apply for 6,75 inch drill hole diameter is 5,5 meters of burden, 8,0 meters of spacing, 8,2 meters of hole depth, 0,3 meters of subdrilling, 7,9 meters of bench height, 4,4 meters of stemming, 3,8 meters of coloumn charge and 0,20 kg/m³ of powder factor and for 7,875 inch drill hole diameter is 6,5 meters of burden, 9 meters of spacing, 8,3 meters of hole depth, 0,3 meters of subdrilling, 8,0 meters of bench height, 4,6 meters of stemming, 3,7 meters of coloumn charge, and 0,20 kg/m³ of powder factor in which from that two geometries obtain less percentage of boulder than the actual geometry.

Key words: geometry, blasting, rock mass, fragmentation, digging rate

1. PENDAHULUAN

Kegiatan pengupasan tanah penutup (baik *overburden* maupun *interburden*) merupakan kegiatan yang selalu dilakukan. Termasuk pada salah satu tambang yang ada di PT Bukit Asam (Persero) Tbk yaitu Tambang Air Laya khususnya di *pit* MT-4 dengan jenis *interburden* B2-C berupa *clay siltstone*. Pengupasan lapisan *interburden* B2-C pada *pit* tersebut dilakukan dengan menggunakan metode pengeboran dan peledakan agar mempermudah alat gali muat saat melakukan proses penggalian dan pemuatan *broken material* sehingga *digging rate* dan produktivitas alat tersebut tinggi.

Parameter yang menentukan *digging rate* dan produktivitas alat gali muat adalah fragmentasi batuan hasil peledakan. Semakin besar ukuran fragmentasi batuan hasil peledakan akan mengakibatkan semakin sulitnya alat gali muat untuk menggali batuan tersebut sehingga menyebabkan turunnya produktivitas alat gali muat sedangkan semakin kecil ukuran fragmentasi batuan hasil peledakan akan berdampak pada semakin mudahnya alat gali muat untuk menggali batuan tersebut namun untuk memperoleh fragmentasi yang sesuai dengan ukuran *bucket* alat gali muat dibutuhkan biaya peledakan cukup besar [1].

Untuk mendapatkan distribusi ukuran fragmentasi hasil peledakan yang sesuai dengan ukuran *bucket* alat gali muat maka salah satu parameter penting yang harus diperhatikan adalah geometri peledakan. Penentuan geometri peledakan mulai dari *burden*, spasi, panjang kolom isian, *stemming*, tinggi jenjang, *subdrilling*, dan kedalaman lubang ledak serta *powder factor* harus memperhatikan karakteristik massa batuan dan kondisi geologi yang ada di lokasi peledakan.

Berdasarkan latar belakang tersebut dapat dirumuskan masalah sebagai berikut : bagaimana desain geometri peledakan dan *powder factor* yang diterapkan untuk peledakan *interburden* B2-C di lokasi *pit* MT-4 Tambang Air Laya, bagaimana distribusi ukuran fragmentasi hasil peledakan *interburden* B2-C di lokasi *pit* MT-4 Tambang Air Laya dan korelasinya terhadap *digging rate* dan produktivitas alat gali muat, dan bagaimana rancangan geometri dan *powder factor* yang dapat menghasilkan ukuran fragmentasi yang sesuai ukuran *bucket* alat gali muat sehingga proses penggalian dan pemuatannya menggunakan alat tersebut dapat dioptimalkan.

Dari rumusan masalah yang diteliti maka didapatkan tujuan penelitian yaitu mengevaluasi desain geometri peledakan dan *powder factor* aktual yang digunakan, mengetahui distribusi ukuran fragmentasi hasil peledakan *interburden* B2-C dan ketercapaian *digging rate* dan produktivitas alat gali muat di *pit* MT-4 Tambang Air Laya serta mengetahui rancangan geometri peledakan dan *powder factor* optimal berdasarkan analisis *blastability* yang menghasilkan ukuran fragmentasi hasil peledakan yang sesuai dengan ukuran *bucket* alat gali muat sehingga *digging rate* alat gali muat dapat dioptimalkan.

Perhitungan geometri peledakan yang digunakan untuk merancang geometri usulan adalah rumusan geometri menurut R.L. Ash, mulai dari nilai *burden* (B), spasi (S), kedalaman lubang ledak (L), *subdrilling* (J), tinggi jenjang (H), *stemming* (T), dan jumlah isian bahan peledak (PC) [2].

$$B = \frac{K_b_{\text{terkoreksi}} \times D_e}{12} \quad (1)$$

$$S = K_S \times B \quad (2)$$

$$L = K_L \times B \quad (3)$$

$$J = K_J \times B \quad (4)$$

$$H = L - J \quad (5)$$

$$T = K_T \times B \quad (6)$$

$$PC = L - T \quad (7)$$

Loading density adalah besaran yang menyatakan jumlah bahan peledak per satuan panjang kolom isian bahan peledak [3]. *Loading density* dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$de = 0,508 \times D^2 \times SG \quad (8)$$

Powder factor adalah suatu bilangan yang menyatakan jumlah bahan peledak (E) yang digunakan untuk membongkar sejumlah volume batuan (V). Nilai *powder factor* ini biasanya dinyatakan dalam satuan kg/m³ [3].

$$PF = \frac{E}{V} \quad (9)$$

Rock blastability adalah daya tahan batuan terhadap peledakan, dipengaruhi oleh keadaan batuan dan tingkat sedimentasi. Pada batuan kompak dan keras, peledakan dapat dikontrol dengan baik sedangkan pada batuan yang banyak rekahannya, sebagian energi peledakan akan diteruskan ke dalam rekahan dan energi peledakan menjadi berkurang untuk membongkar massa batuan. Pembobotan massa batuan yang berhubungan dengan peledakan adalah pembobotan massa batuan berdasarkan nilai indeks peledakan, salah satunya adalah *blastability index* menurut Lilly, 1986. Parameter - parameter untuk pembobotan tersebut meliputi *Rock Mass Description* (RMD), *Joint Plane Spacing* (JPS), *Joint Plane Orientation* (JPO), *Specific Gravity Influence* (SGI), dan *Hardness* (H). Bobot nilai tiap parameter *blastability index* dapat dilihat pada Tabel 1 [4]. Berikut ini adalah persamaan untuk mencari *blastability index* (BI) :

$$BI = 0,5 (RMD + JPS + JPO + SGI + H) \quad (10)$$

Dari hasil pembobotan nilai tiap parameter *blastability index*, dapat diketahui faktor batuan (A_o) dengan persamaan :

$$A_o = BI \times 0,12 \quad (11)$$

Penentuan distribusi ukuran fragmentasi hasil peledakan metode Kuz-Ram terdiri dari dua persamaan, yaitu persamaan Kuznetsov untuk menentukan ukuran fragmentasi rata - rata (\bar{X}) dan persamaan Rossin-Rammler untuk menentukan persentase fragmentasi pada ukuran tertentu [5]. Persamaan Kuznetsov adalah sebagai berikut :

$$\bar{X} = A_o \times \left(\frac{V}{Q}\right)^{0,8} \times Q^{\frac{1}{6}} \times \left(\frac{E}{115}\right)^{-\frac{19}{30}} \quad (12)$$

Persamaan Rossin-Rammler adalah :

$$R_x = e^{-\left(\frac{X}{X_c}\right)} \times 100\% \quad (13)$$

Tabel 1. Bobot Nilai Tiap Parameter Dalam Penentuan *Blastability Index* Menurut Lilly, 1986

ROCK MASS DESCRIPTION (RMD)	RATING
<i>Powder/friable</i>	10
<i>Blocky</i>	20
<i>Tottally massive</i>	50
JOINT PLANE SPACING (JPS)	RATING
<i>Close (< 0,1 m)</i>	10
<i>Intermediate (0,1 - 1,0 m)</i>	20
<i>Wide (> 1,0 m)</i>	50
JOINT PLANE ORIENTATION (JPO)	RATING
<i>Horizontal</i>	10
<i>Dip out of face</i>	20
<i>Strike normal to face</i>	30
<i>Dip into face</i>	40
SPECIFIC GRAVITY INFLUENCE (SGI)	SGI = 25 x Bobot isi – 50
HARDNESS	RATING OF 1 TO 10 (MOHS SCALE)

Produktivitas alat gali muat adalah kemampuan alat gali muat untuk memindahkan material yang digali per jam kerja. Satuan produktivitas yang sering dipakai adalah ton/jam atau Bcm/jam [6]. Adapun rumusan untuk menghitung produktivitas alat gali muat yaitu :

$$\text{Produktivitas alat gali muat} = \text{digging rate} \times \text{PA} \times \text{U} \quad (14)$$

dan untuk menentukan *digging rate* dapat menggunakan persamaan :

$$\text{Digging rate} = \text{BC} \times \text{BFF} \times \frac{3600}{\text{CT}} \quad (15)$$

2. METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan adalah mengumpulkan bahan - bahan pustaka / studi literatur berupa teori - teori dan rumusan - rumusan yang berkaitan dengan rancangan peledakan dan data - data peledakan aktual seperti geometri peledakan, penggunaan bahan peledak (*powder factor*) serta peralatan dan perlengkapan peledakan. Kemudian dilakukan pengambilan data, baik data primer maupun data sekunder. Data primer diperoleh secara langsung dari lapangan, meliputi geometri peledakan aktual dan waktu edar alat gali muat di lokasi *pit* MT-4 Tambang Air Laya sedangkan data sekunder diperoleh dari perusahaan berdasarkan literatur dan referensi yang telah ada sampai tahun 2013 yang berhubungan dengan penelitian, meliputi karakteristik lapisan *interburden* B2-C, rencana peledakan, spesifikasi bahan peledak, perlengkapan beserta peralatan yang digunakan, dan spesifikasi alat mekanis. Data yang diperoleh baik secara langsung di lapangan maupun data dari studi literatur akan dilakukan pengolahan data untuk mengetahui nilai *powder factor*, distribusi ukuran fragmentasi hasil peledakan, dan produktivitas alat gali - muat *excavator* Komatsu PC 2000. Setelah diketahui nilai *powder factor*, persentase *boulder* hasil peledakan, dan produktivitas *excavator* PC 2000 maka dilakukan tinjauan terhadap sifat fisik dan mekanik batuan serta parameter massa batuan agar dapat menentukan rancangan geometri usulan yang dapat mengoptimalkan hasil peledakan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Karakteristik Massa Batuan

Batuan adalah material yang sifatnya sangat bervariasi dimana kuat tarik, tekan, dan tariknya berbeda - beda. Batuan akan hancur apabila kekuatan yang bekerja pada batuan tersebut melampaui batas kekuatan yang dapat diterimanya. Karakteristik penting yang mempengaruhi kemampuboran dan kemampugalian suatu massa batuan dikelompokkan atas dua kategori, yaitu sifat fisik dan mekanik serta sifat massa batuan [7].

3.1.1. Sifat Fisik dan Sifat Mekanik Batuan

Jenis batuan yang menyusun lapisan *interburden* B2-C di lokasi *pit* MT-4 adalah *clay siltstone*. Salah satu sifat fisik batuan yang paling berpengaruh terhadap hasil peledakan adalah bobot isi batuan. Semakin besar bobot isi batuan maka energi yang dibutuhkan untuk membongkar massa batuan tersebut akan semakin besar pula [8]. Berdasarkan informasi yang diperoleh dari Satuan Kerja Eksplorasi Rinci PTBA diketahui bahwa bobot isi rata - rata batuan *clay siltstone* di lokasi penelitian adalah 2,17 ton/m³. Sedangkan sifat mekanik yang mempengaruhi hasil peledakan adalah *uniaxial compressive strength* (UCS). Adapun nilai UCS rata - rata dari lapisan *interburden* B2-C ini adalah 2,58 Mpa.

3.1.2. Sifat - sifat Massa Batuan

Nilai *Rock Quality Designation* (RQD) di lokasi penelitian diperoleh dari hasil pengukuran log bor yang dilakukan oleh Satuan Kerja Eksplorasi Rinci PTBA. Nilai RQD di lokasi penelitian berkisar antara 42 - 62 %. Berdasarkan klasifikasi massa batuan menurut Terzaghi, 1946 dapat disimpulkan bahwa massa batuan dilokasi penelitian termasuk kategori kondisi batuan *very blocky and seamy* [9].

Jarak antar bidang lemah adalah jarak tegak lurus antar dua bidang lemah yang berurutan. Jarak antar bidang lemah dapat ditentukan dengan cara menghitung frekuensi bidang lemah per meter dari nilai RQD [10]. Berdasarkan hasil pengukuran, jarak rata - rata antar bidang lemah di lokasi penelitian berkisar antara 0,05 sampai dengan 0,36 meter dengan orientasi bidang lemah yang ada di lokasi penelitian yaitu mengarah ke dalam massa batuan atau berlawanan arah dengan *pit*

Tabel 2. Geometri Peledakan Aktual

Geometri Peledakan	Diameter 7,875 Inchi
	Nilai (m)
<i>Burden</i>	8,0
<i>Spasi</i>	9,0
<i>Stemming</i>	4,0
Kolom Isian Bahan Peledak	4,0
<i>Subdrilling</i>	0,0
Tinggi Jenjang	8,0
Kedalaman Lubang Ledak	8,0

3.2. Pengamatan Kegiatan Peledakan di *Pit* MT-4 Tambang Air Laya

Peledakan adalah suatu kegiatan yang dilakukan untuk membongkar dan memisahkan bahan galian dari batuan induknya dengan menggunakan bahan peledak. Hal ini dilakukan karena alat gali muat dianggap tidak efisien lagi untuk menggali dan membongkar batuan tersebut. Tujuan kegiatan peledakan yaitu untuk menghancurkan, melepas, ataupun membongkar batuan dari batuan induknya dengan ukuran fragmentasi tertentu, untuk memenuhi target produksi dan memindahkan batuan yang telah hancur menjadi tumpukan material yang siap untuk dimuat ke dalam alat angkut [1].

3.2.1. Geometri Peledakan Aktual

Perhitungan geometri peledakan aktual yang meliputi nilai *burden*, *spasi*, *stemming*, kolom isian bahan peledak, tinggi jenjang, *subdrilling*, dan kedalaman lubang ledak menggunakan metode ICI *Explosives trial and error*. Berikut geometri peledakan yang diterapkan di lokasi *pit* MT-4 tanggal 04 - 22 Maret 2014 pada Tabel 2.

3.2.2. Powder Factor Aktual

Berdasarkan perhitungan yang dilakukan didapatkan rata - rata penggunaan bahan peledak pada kegiatan peledakan di *pit* MT-4 adalah sebesar 3.488 kg dengan rata - rata volume batuan terbongkar sebesar 21.391 Bcm sehingga nilai *powder factor* rata - rata pada peledakan tersebut sebesar 0,16 kg/m³.

3.2.3. Distribusi Ukuran Fragmentasi Hasil Peledakan Aktual Berdasarkan Metode Kuz-Ram

Perkiraan distribusi ukuran fragmentasi hasil peledakan berdasarkan metode Kuz-Ram membutuhkan beberapa masukan data, diantaranya adalah faktor batuan, geometri peledakan, dan jumlah pemakaian bahan peledak [4]. Untuk mengetahui faktor batuan dilokasi peledakan maka tabel pembobotan massa batuan dari Lilly dijadikan dasar perhitungan.

Deskripsi massa batuan yang ada di lokasi penelitian termasuk dalam kategori *blocky*. Apabila mengacu pada sistem pembobotan massa batuan dari Lilly (Tabel 1) diketahui bahwa bobot nilai untuk parameter RMD adalah 20. Jarak antar bidang lemah yang ada di lokasi penelitian termasuk kategori *intermediate* dengan jarak antar bidang lemah berkisar antar 0,05 sampai dengan 0,36 meter. Apabila mengacu pada sistem pembobotan massa batuan dari Lilly (Tabel 1) diketahui bahwa bobot nilai untuk parameter JPS adalah 20. Orientasi bidang lemah yang ada di lokasi penelitian termasuk kategori *dip out face*. Apabila mengacu pada sistem pembobotan *blastability index* dari Lilly (Tabel 1) diketahui bahwa bobot nilai untuk parameter JPO adalah 20. Nilai SGI dapat dihitung dengan menggunakan rumusan pembobotan untuk parameter SGI dari Lilly (Tabel 1). Untuk bobot isi batuan sebesar 2,17 maka nilai SGI-nya adalah 4,25. Kekerasan batuan merupakan nilai yang menyatakan batas kekuatan suatu batuan untuk menahan beban yang diterimanya. Dengan menggunakan klasifikasi yang ditetapkan oleh Protodyakonov, 1989 didapatkan bahwa kekerasan batuan di lokasi penelitian sebesar 2.

Berdasarkan hasil pembobotan nilai tiap parameter *blastability index* untuk *clay siltstone* di lokasi peledakan maka didapatkan nilai *blastability index* sebesar 33,13 dan faktor batuan sebesar 3,98. Dengan menggunakan metode Kuz-Ram, penggunaan bahan peledak ANFO dan geometri peledakan berupa *burden* berukuran 8 m, *spasi* berukuran 9 m, dan tinggi jenjang berukuran 8 m serta total isian per lubang 100,5 kg menghasilkan distribusi ukuran fragmentasi batuan < 1 m sebanyak 80,12 % dan jumlah *boulder* yang dihasilkan sebesar 19,88 %.

Tabel 3. Digging Rate dan Produktivitas Excavator Komatsu PC 2000

No.	Lokasi	Digging Time (Detik)	Cycle Time (Detik)	Digging Rate (Bcm/Jam)	Produktivitas (Bcm/Jam)
1	MT4-11A	11,08	29,06	1.337,92	738,53
2	MT4-11B	11,63	29,60	1.313,51	725,06
3	MT4-11C	11,20	29,11	1.335,62	737,26
4	MT4-10A	11,62	29,74	1.307,33	721,65
5	MT4-10B	11,55	29,70	1.309,09	722,62
6	MT4-10C	12,12	30,29	1.283,59	708,54
7	MT4-12A	12,05	30,23	1.286,14	709,95
8	MT4-12B	11,65	29,68	1.309,97	723,10
9	MT4-13	11,18	29,22	1.330,60	734,49

3.3. Digging Rate dan Produktivitas Komatsu PC 2000

Besar atau kecilnya nilai *digging rate excavator* Komatsu PC 2000 di lokasi penelitian sangat tergantung pada kondisi material hasil peledakan. Kondisi material hasil peledakan ini akan mempengaruhi tahanan gali (*digging resistance*) yang dialami oleh gigi - gigi *bucket* saat menggali material yang digalinya. Besarnya tahanan gali ini dipengaruhi oleh jenis material yang digali, apakah keras atau lunak dan ukuran fragmentasinya. Fragmentasi berukuran besar (*boulder*) memiliki tahanan gali yang besar sebaliknya fragmentasi yang berukuran lebih kecil memiliki tahanan gali yang lebih kecil pula. Oleh karena itu, dengan semakin banyaknya ukuran *boulder* yang memiliki tahanan gali yang besar maka waktu yang dibutuhkan untuk memenuhi *bucket excavator* menjadi semakin lama sehingga hal ini menyebabkan *digging rate* dan produktivitas *excavator* semakin kecil.

Dari sembilan kali proses peledakan diketahui bahwa rata - rata produktivitas yang dihasilkan sebesar 724,58 Bcm/jam dengan *digging rate* 1.312,64 Bcm/jam dimana produktivitas maksimum dihasilkan pada peledakan pertama di lokasi MT4-11A sebesar 738,53 Bcm/jam dengan *digging rate* 1.337,92 Bcm/jam sedangkan produktivitas minimum dihasilkan pada peledakan keenam di lokasi MT4-10C dimana produktivitasnya mencapai 708,54 Bcm/jam dengan *digging rate* 1.283,59 Bcm/jam. Tercapainya produktivitas maksimum di lokasi peledakan pertama diakibatkan karena distribusi fragmentasi berukuran *boulder* hasil peledakan lebih kecil dibandingkan dengan distribusi fragmentasi hasil peledakan di lokasi peledakan lainnya yaitu 19,88 % sehingga menyebabkan waktu *digging* dan *loading* yang cukup cepat untuk memenuhi *vessel* HD 785 yaitu sebesar 11,08 detik dan 29,06 detik (rata - rata 5 kali muat) sedangkan produktivitas minimum tersebut memiliki persentase yang besar yaitu 24,45 % sehingga membuat waktu *digging* dan *loading* menjadi lama yaitu sebesar 12,12 detik dan 30,29 detik (rata - rata 6 kali muat). Adapun data - data tersebut dapat dilihat pada Tabel 3.

3.4. Evaluasi Geometri Peledakan Aktual

Ukuran geometri peledakan mempunyai pengaruh besar dalam proses pemecahan dan pembentukan fragmentasi batuan. Penentuan geometri peledakan mulai dari *burden*, spasi, panjang kolom isian, *stemming*, tinggi jenjang, *subdrilling*, dan kedalaman lubang ledak harus memperhatikan karakteristik massa batuan dan kondisi geologi setempat agar dapat memperoleh fragmentasi yang diharapkan.

Perubahan ukuran *burden* dan spasi akan mempengaruhi ukuran fragmentasi hasil peledakan. Apabila ukuran *burden* diperbesar maka gelombang tekan akan menempuh jarak yang lebih jauh dan waktu yang lebih lama untuk mencapai bidang bebas (*free face*). Setelah mencapai *free face*, gelombang tersebut dipantulkan sebagai gelombang tarik kemudian gelombang tarik ini akan berasosiasi dengan gelombang tekan berikutnya dalam waktu yang lama sehingga rekahan radial yang ditimbulkan terlalu kecil. Hal ini akan menyebabkan gas - gas bertekanan tinggi hasil peledakan sulit untuk membongkar rekahan radial tersebut ke arah bidang bebas sehingga fragmentasi yang dihasilkan berukuran besar. Sebaliknya, apabila jarak *burden* diperkecil maka gelombang tekan akan menempuh jarak yang lebih dekat dan waktu yang lebih cepat untuk mencapai *free face* sehingga ukuran fragmentasi yang dihasilkan relatif kecil. Dengan demikian, penerapan ukuran *burden* dan spasi saat ini yaitu 8 m dan 9 m di lokasi penelitian belum dikatakan baik karena perambatan gelombang detonasi yang dihasilkan dari lubang ledak sampai ke *free face* menjadi lama dan membuat asosiasi antar gelombang menjadi tidak maksimal. Ukuran *burden* dan spasi di lokasi penelitian sebaiknya diperkecil sehingga fragmentasi yang dihasilkan berukuran lebih kecil tetapi akan meningkatkan penggunaan bahan peledak per lubang.

Ukuran *stemming* juga memiliki peranan penting dalam menjaga distribusi energi peledakan tetap seimbang antara daerah yang terisi bahan peledak dan daerah yang tidak terisi bahan peledak. Jika *stemming* terbongkar terlalu cepat karena tidak termampatkan dengan baik maka gas yang dihasilkan oleh bahan peledak yang meledak di dalam lubang ledak akan keluar dan tekanannya akan berkurang (*loose energy*) sehingga tidak cukup kuat untuk membuat rekahan dan memecah batuan. Akibat terjadinya *loose energy* ini adalah fragmentasi yang dihasilkan berukuran besar. Pada daerah penelitian digunakan material *drill cutting* sebagai *stemming* untuk mengunci gas peledakan di dalam lubang ledak. Material *drill cutting* ini cukup baik untuk digunakan sebagai *stemming* di lokasi peledakan karena tekanan yang dihasilkan oleh proses peledakan tertahan baik sehingga terjadi keseimbangan energi di dalam lubang ledak dan membuat perambatan energi yang dihasilkan sampai ke *free face* menjadi optimal.

3.5. Rancangan Geometri Usulan Berdasarkan *Blastability*

Perhitungan geometri peledakan perlu dilakukan untuk mengoptimalkan penggunaan bahan peledak untuk setiap peledakan dan mampu menghasilkan fragmentasi yang diharapkan sehingga nilai *digging rate* produktivitas alat gali muat dapat ditingkatkan. Sebagai perbandingan terhadap geometri yang diterapkan saat, dilakukan perhitungan geometri usulan berdasarkan rumusan R.L. Ash dan pertimbangan karakteristik massa batuan yang akan diledakkan. Secara umum, perbandingan antara geometri aktual dan usulan dapat dilihat pada Tabel 4.

1. *Burden*

Berdasarkan perhitungan teoritis rumusan R.L. Ash, didapatkan ukuran *burden* perbaikan untuk lubang bor 6,75 inci sebesar 5,5 m dan untuk lubang bor 7,875 inci sebesar 6,5 m. Ukuran *burden* dan spasi tersebut diharapkan dapat menghasilkan fragmentasi yang sesuai dengan ukuran *bucket excavator* Komatsu PC 2000.

2. Spasi

Penerapan nilai spasi dipengaruhi oleh nilai *spacing ratio* (K_s) dimana nilainya berkisar antara 1 sampai dengan 2. Nilai K_s yang dipergunakan untuk geometri perbaikan sebesar 1,6 untuk lubang bor 6,75 inci dan 1,5 untuk lubang bor 7,875 inci. Pemilihan nilai - nilai tersebut didasarkan bahwa frekuensi struktur bidang lemah yang bervariasi mulai dari sedikit sampai dengan banyak sehingga nilai spasi usulan sebesar 8 dan 9 meter.

3. *Subdrilling*

Nilai *subdrilling* yang dipilih adalah sebesar 0,3 m untuk lubang bor 6,75 inci dan lubang bor 7,875 inci. Ukuran tersebut dipilih karena batuan sudah dapat meledak secara *full face* dan mampu menghindari timbulnya *toe* pada permukaan lapisan batuan.

4. Kedalaman lubang ledak

Harga nisbah kedalaman lubang ledak (K_L) berkisar antara 1,5 - 4,0. Dalam hal ini dipakai nilai K_L sebesar 1,5 untuk lubang bor 6,75 inci dan 1,3 untuk lubang bor 7,875 inci. Maka kedalaman lubang ledak yang diusulkan untuk perbaikan berdasarkan teori R.L. Ash adalah sebesar 8,2 dan 8,3 meter.

5. Tinggi jenjang

Tinggi jenjang merupakan selisih antara kedalaman lubang ledak dan *subdrilling*. Untuk mendapatkan hasil yang optimal pada pemuatan material hasil peledakan oleh *excavator* Komatsu PC 2000 maka tinggi jenjang dibuat 7,9 sampai dengan 8,1 meter. Dengan penambahan tinggi jenjang tersebut maka harga *stiffness ratio* perbaikan sebesar 1,5 meter. Dengan peningkatan harga *stiffness ratio* tersebut diharapkan hasil fragmentasi menjadi lebih seragam sedangkan *overbreak* ataupun *overhang* dan permasalahan pada lantai jenjang dapat dikurangi.

6. *Stemming*

Penerapan nilai *stemming* dipengaruhi oleh nilai *stemming ratio* (K_T) dimana nilainya berkisar antara 0,7 sampai dengan 1 dari nilai *burden*. Agar fungsi *stemming* dapat dioptimalkan, yaitu untuk mengontrol *flyrock*, *airblast*, dan mengurangi gas hasil reaksi bahan peledak maka digunakan tinggi *stemming* maksimal sebesar 4,4 m untuk lubang bor 6,75 inci dan 4,6 meter untuk lubang bor 7,875 inci.

7. Panjang Kolom Isian

Panjang kolom isian bahan peledak merupakan selisih antara tinggi jenjang dan panjang *stemming*. Berdasarkan hasil perhitungan didapatkan bahwa panjang kolom isian perbaikan sebesar 3,8 m untuk diameter lubang bor 6,75 inci dan 3,7 m untuk lubang bor 7,875 inci.

Tabel 4. Perbandingan Geometri Aktual Dan Usulan

Peledakan	B (m)	S (m)	L (m)	J (m)	H (m)	T (m)	PC (m)
Aktual (7,875 inci)	8,0	9,0	8,0	0,0	8,0	4,0	4,0
Usulan I (6,75 inci)	5,5	8,0	8,2	0,3	7,9	4,4	3,8
Usulan II (7,875 inci)	6,5	9,0	8,3	0,3	8,0	4,6	3,7

Tabel 5. Perbandingan Fragmentasi Geometri Aktual dengan Geometri Usulan

Geometri Peledakan	Fragmentasi (%)				
	> 20 cm	> 40 cm	> 60 cm	> 80 cm	> 100 cm
Aktual	67,06	49,32	37,27	28,64	22,27
Usulan I	65,05	41,46	26,22	16,49	10,33
Usulan II	65,72	44,14	29,88	20,33	13,88

3.6. Powder Factor Usulan

Geometri yang diterapkan pada peledakan aktual memiliki nilai *powder factor* sebesar $0,16 \text{ kg/m}^3$ dimana penggunaan bahan rata - rata sebesar 3.488 kg dan rata - rata volume batuan ter bongkar sebesar 21.391 Bcm. Untuk geometri usulan I, nilai *powder factor* yang digunakan sebesar $0,20 \text{ kg/m}^3$ dimana penggunaan bahan rata - rata sebesar 4.349 kg dan rata - rata volume batuan ter bongkar sebesar 21.551 Bcm. Sedangkan untuk geometri usulan II, nilai *powder factor* yang digunakan sebesar $0,20 \text{ kg/m}^3$ dimana penggunaan bahan rata - rata sebesar 4.277 kg dan rata - rata volume batuan ter bongkar sebesar 21.528 Bcm.

Dalam hal ini, terjadi peningkatan nilai *powder factor* yang digunakan sebesar $0,04 \text{ kg/m}^3$ akan tetapi nilai *powder factor* masih dalam batas yang diperbolehkan oleh perusahaan. Semakin tinggi nilai *powder factor* maka fragmentasi berukuran *boulder* yang dihasilkan semakin sedikit.

3.7. Fragmentasi Batuan

Diperolehnya fragmentasi batuan yang merata dengan ukuran *boulder* lebih kurang 15 % dari jumlah massa batuan yang diledakkan merupakan salah satu syarat peledakan yang berhasil. Dengan anggapan ukuran batuan yang lebih besar dari satu meter merupakan batuan *boulder*. Dari hasil perhitungan perkiraan distribusi ukuran fragmentasi metode Kuz-Ram maka perkiraan material hasil peledakan yang memiliki ukuran lebih kecil dari satu meter menunjukkan bahwa pada geometri yang diterapkan pada saat ini memiliki persentase rata - rata sebesar 22,27 %. Sedangkan pada geometri usulan hasil perhitungan R.L. Ash memiliki persentase sebesar 10,33 % dan 13,88 %.

Dalam hal ini, penggunaan geometri usulan memiliki persentase distribusi fragmentasi batuan hasil peledakan berukuran *boulder* $\pm 10 \%$ lebih kecil daripada penggunaan geometri aktual. Dengan lebih sedikitnya persentase *boulder* hasil peledakan maka korelasinya *digging rate excavator* Komatsu PC 2000 diperkirakan akan lebih besar juga. Perbandingan antara persentase fragmentasi dari geometri aktual dan fragmentasi dari geometri usulan dapat dilihat pada Tabel 5.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan penjelasan yang telah diuraikan sebelumnya maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Pada peledakan saat ini, rata - rata geometri peledakan yang diterapkan menggunakan *burden* sebesar 8,0 m, spasi 9,0 m, tinggi jenjang 7,8 m, panjang kolom isian 3,7 m, *stemming* 4,1 m, *subdrilling* 0,0 m, dan kedalaman lubang ledak 7,8 m serta *powder factor* $0,16 \text{ kg/m}^3$.
2. Berdasarkan hasil perhitungan distribusi ukuran fragmentasi metode Kuz-Ram diketahui bahwa geometri peledakan yang diterapkan saat ini rata - rata menghasilkan *boulder* (ukuran lebih dari 1 meter) sebesar 22,27 %, *digging rate* rata - rata sebesar 1.312,64 Bcm/jam dan produktivitas sebesar 724,58 Bcm/jam. Dengan jumlah *boulder* yang cukup banyak tersebut maka proses penggalian (*digging*) dengan menggunakan *excavator* PC Komatsu 2000 cukup lama sehingga *digging rate* dan produktivitas dari alat tersebut masih dikatakan belum optimal.
3. Berdasarkan hasil pembobotan massa batuan yang akan diledakkan berupa *rockmass description*, *joint plane spacing*, *joint plane orientation*, *specific gravity influence*, dan *hardness* maka didapatkan nilai *blastability index* di lokasi penelitian sebesar 33,13 sehingga geometri peledakan yang baik untuk diterapkan untuk lubang bor 6,75 inci adalah *burden* sebesar 5,5 m, spasi 8,0 m, kedalaman lubang ledak 8,2 meter, *subdrilling* 0,3 m, tinggi jenjang 7,9 m, *stemming* 4,4 m, dan panjang kolom isian 3,8 m serta *powder factor* $0,20 \text{ kg/m}^3$ sedangkan untuk lubang bor 7,875 inci adalah *burden* sebesar 6,5 m, spasi 9,0 m, kedalaman lubang ledak 8,3 m, *subdrilling* 0,3 m, tinggi jenjang 8,0 meter, *stemming* 4,6 m, dan panjang kolom isian 3,7 m serta *powder factor* $0,20 \text{ kg/m}^3$, dimana dari kedua geometri usulan tersebut menghasilkan persentase *boulder* yang lebih kecil dibandingkan dengan geometri yang diterapkan saat ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Koesnaryo. (2001). *Teori Peledakan*. Bandung : Pusat Pendidikan dan Pelatihan Teknologi Mineral dan Batubara.
- [2] Ash. R.L. (1963). *The Mechanics of Rock Breakage*. Cleveland : Pit and Quarry Magazine.
- [3] C.L. Jimeno. (1995). *Drilling and Blasting of Rocks*. Netherland : Balkema/Rotterdam/Brookfield.
- [4] Konya, C.J. dan Walter, E.J. (1991). *Rock Blasting and Overbreak Control*. Montville : National Highway Institute.
- [5] W. Hustrulid. (1999). *Blasting Principles For Open Pit Mining*. Netherland : Balkema/Rotterdam/Brookfield.
- [6] Komatsu Publication. (2007). *Specification and Application Handbook*, 28th Edition. Japan : Komatsu Ltd.
- [7] Matti Heinio. (1999). *Rock Excavation Handbook*. Canada : Sandvik Tamrock Corporation.
- [8] Brady, B.H.G. dan E.T. Brown. (2004). *Rock Mechanics : For Underground Mining*, Third Edition. Netherland : Spinger.
- [9] Bieniawski. (1989). *Engineering Rock Mass Classification*. New York : John Wiley & Sons.
- [10] Sushil Bhandari. (1997). *Engineering Rock Blasting Operations*. Netherland : Balkema/Rotterdam/Brookfield.