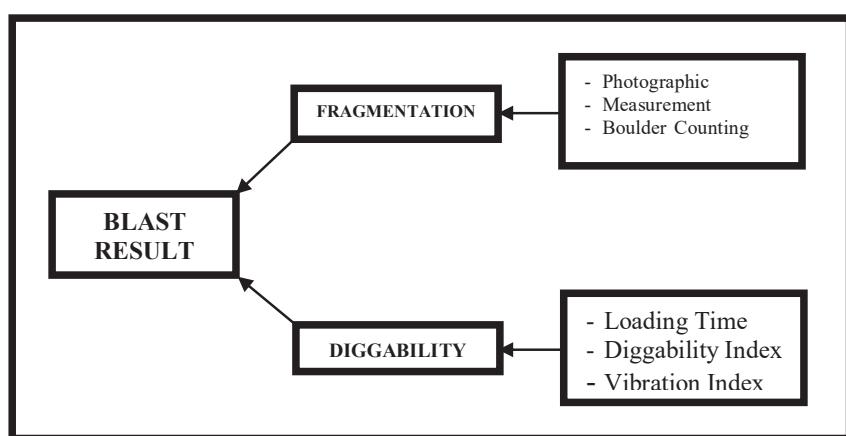


Bab III

Tinjauan Pustaka

3.1. Pengukuran Fragmen Batuan Hasil Peledakan

Parameter penting dalam menilai hasil peledakan tambang adalah ukuran fragmen hasil peledakan dan *diggability* (kemampugalian). Ukuran fragmen batuan hasil peledakan dapat diukur menggunakan metode fotografi, pengukuran visual dan perhitungan boulder langsung di *muckpile*. Kemampugalian berkaitan erat dengan waktu pemuatan, indeks kemampugalian dan indeks getaran. Waktu pemuatan pada *muckpile* erat kaitannya dengan ukuran fragmen batuan hasil peledakan, sementara ukuran fragmen bergantung pada kondisi batuan, rancangan peledakan, dan bahan peledak yang digunakan Williamson dkk. (1983) dalam Hustrullid 1999), lihat Gambar III.1.



Gambar III.1
Kemampugalian dan Fragmentasi Sebagai Parameter Evaluasi Hasil Peledakan
(Williamson dkk. (1983) dalam Hustrullid 1999)

Hal yang perlu diperhatikan dalam menilai fragmentasi peledakan adalah bagaimana memilih metode yang tepat yang akan digunakan untuk mengukur fragmen batuan hasil peledakan. Ukuran fragmen batuan bisa dinyatakan dalam ukuran rata-rata fragmen batuan dan distribusi ukuran fragmen di sekitar ukuran rata-rata. Menentukan distribusi ukuran fragmen batuan dapat dilakukan dengan metode langsung dan tidak langsung. Metode langsung dapat berupa analisa ayakan dan

menghitung jumlah *boulder* secara langsung di lapangan. Metode tidak langsung dapat dilakukan misalnya dengan metode fotografi (Hustrullid; 1999 : 38).

3.2. Fragmentasi Peledakan

Ukuran fragmen batuan hasil peledakan merupakan tolak ukur penting untuk menilai keberhasilan aktifitas peledakan tambang. Kemudahan melakukan proses pemuatan dan pengangkutan pada *muckpile* serta kepentingan memenuhi kebutuhan *crusher* dengan ukuran fragmen tertentu merupakan bagian dari pertimbangan dalam melakukan rancangan peledakan, karena rancangan peledakan akan mempengaruhi ukuran fragmen batuan hasil peledakan. Rancangan peledakan yang berkaitan erat dengan ukuran fragmen yang akan dihasilkan adalah geometri peledakan, *powder faktor* serta kondisi masa batuan di lokasi peledakan yang bersangkutan dilaksanakan.

Fragmentasi digunakan untuk menggambarkan distribusi ukuran batuan yang dihasilkan dari kegiatan peledakan. Pada banyak kasus; istilah “ukuran fragmen yang baik” digunakan untuk menggambarkan ukuran rata-rata fragmen yang lebih kecil (lebih kecil dari ukuran *boulder*) dalam kondisi yang seragam. “Ukuran Fragmen yang buruk” digunakan untuk menggambarkan banyaknya terdapat bongkahan fragmen berukuran besar yang membutuhkan “*secondary blasting*”. Dalam pekerjaan konstruksi, “ukuran fragmen yang baik” merupakan kondisi dimana ukuran bongkahan diproduksi sesuai kebutuhan yang ada. Dalam banyak situasi, ukuran fragmen optimum tergantung dari kebutuhan operasi alat muat dan ukuran *crusher*. Pada kegiatan peledakan produksi, jumlah *boulder* per unit masa batuan sering dipertimbangkan sebagai indeks fragmentasi. Kemampuan kerja shovel dan performance kerja *crusher* juga digunakan sebagai indikator ukuran fragmen batuan. (Bhandari (1997); 185).

3.3. Proses Terjadinya Fragmentasi

Ukuran fragmen batuan yang terjadi merupakan hasil dari proses yang terjadi berupa interaksi antara bahan peledak dan batuan di sekitar lubang ledak. Terbongkarnya massa batuan menjadi fragmen batuan di antaranya dapat jelaskan karena adanya proses detonasi bahan peledak, proses yang terjadi sekitar lubang ledak,

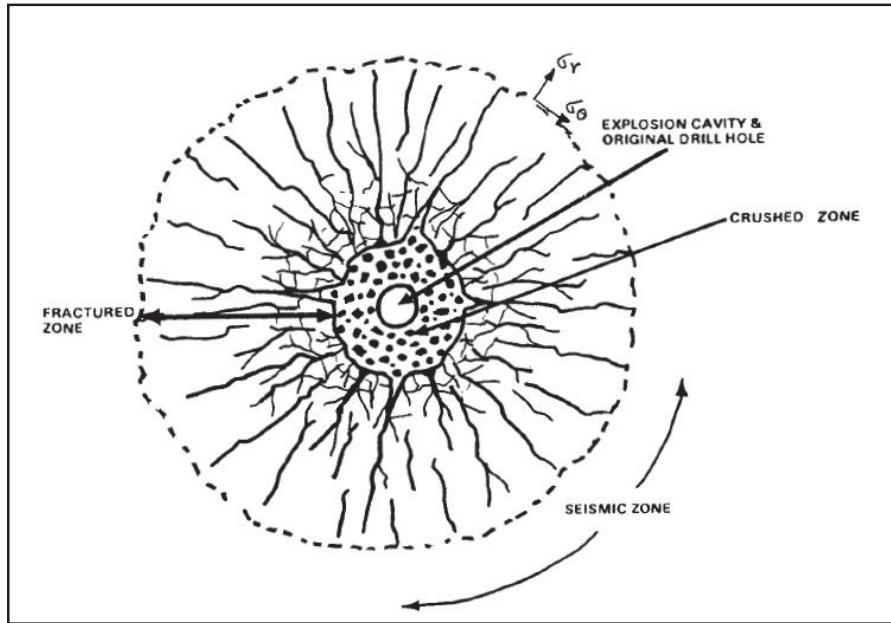
terbentuknya fragmen batuan yang terjadi di luar zona transisi serta terbentuknya fragmen batuan yang terjadi pada media terkekarkan.

3.3.1. Proses Detonasi Bahan Peledak

Untuk mencapai hasil terbongkarnya batuan, proses di lubang ledak dimulai dengan reaksi detonasi *high explosive* yang menghasilkan reaksi kimia yang sangat cepat sekitar 2000 – 7000 m/s sampai 4000 – 6000 m/s, menghasilkan gas dengan suhu dan tekanan tinggi dan berlangsung dalam waktu singkat. Tekanan awal pada zona detonasi bisa mencapai 0,5 – 50 Gpa atau lebih dengan suhu bisa mencapai $3000 - 4000^0$ K. Tekanan sesungguhnya pada dinding lubang bor dipengaruhi oleh banyak faktor di antaranya adalah *loading density* bahan peledak, spasi antar lubang dan jenis material, serta karakteristik dari batuan dan bahan peledak. (Bhandari (1997): 112).

3.3.2. Proses Pada Batuan Di Sekitar Lubang Ledak

Tekanan dari ledakan dalam lubang melampui kuat tekan dinamik batuan, sehingga segera menyebabkan *crushing* dan *fracturing* pada lubang ledak. Karena laju pelemahan tekanan besar, penambahan *crushed zone* di sekitar lubang bor terbatas adanya, dan mungkin tidak melebihi 2 – 4 kali diameter lubang, sementara *fracture zone* rata-rata 20 kali diameter lubang dan melebar menjadi 50 kali diameter lubang (Siskin & Fumanti 1974 dalam Bhandari (1997): 112), lihat Gambar III.2.



Gambar III.2

Zona Fragmentasi Di Sekitar Lubang Ledak (Bhandari (1997): 111)

3.3.3. Fragmentasi di Luar Zona Transisi

Banyak teori yang telah menjelaskan bagaimana energi peledakan bekerja untuk terbentuknya fragmen batuan di luar zona transisi. Prinsip penting dari keadaan di atas dapat dibedakan menjadi 2, adalah sebagai berikut:

- Gelombang tekan yang sampai pada batuan karena adanya pelepasan energi selama terjadinya detonasi bahan peledak pada lubang ledak
- Pelepasan gas pada peristiwa detonasi yang menyebabkan adanya area tegangan quasi-statik di sekitar lubang ledak yang menyebabkan pemanjangan *radial crack* dan pemindahan batuan terfragmentasi.

3.3.4. Fragmentasi Pada Media Terkekarkan

Pengaruh diskontinuiti pada peledakan batuan telah banyak diteliti baik pada kasus peledakan skala besar maupun peledakan skala kecil di tambang *quarry*. Penelitian yang terkait dengan hal tersebut menghasilkan bahwa struktur diskontinuiti berpengaruh lebih besar daripada karakteristik bahan peledak dan geometri peledakan (Ash 1973; Bhandari 1974; Hagan 1973, dalam Bhandari). Beberapa

kasus ditemukan bahwa bidang kekar meningkatkan kemampuan bahan peledak mempengaruhi mekanisme fragmentasi.

Material pengisi pada kekar juga memberikan pengaruh terhadap ukuran fragmen batuan yang dihasilkan. Bhandari; 1975a dalam Bhandari; 1997 menyatakan bahwa fragmen batuan ukuran fine meningkat pada kasus *cemented joint* dibandingkan dengan *joint* yang terisi material lemah, untuk kasus kekar terbuka juga terjadi hal yang sama. Pada kasus sebagaimana yang disebutkan di atas mingindikasikan bahwa kerja gelombang tegangan lebih bagus pada material yang terdapat *cemented joint*.

3.4. Faktor Yang Mempengaruhi Terbentuknya Fragmen

Ada beberapa hal yang dapat mempengaruhi ukuran fragmen batuan hasil peledakan, uraiannya adalah sebagai berikut :

3.4.1. Kondisi Masa Batuan

Pada umumnya, mudah atau sulitnya pemecahan batuan ditentukan/dipengaruhi oleh densitas batuan. Densitas mempengaruhi sifat rambat energi batuan. Pada umumnya, batuan dengan densitas yang rendah mudah mengalami deformasi dan untuk memperoleh ukuran fragmen yang baik, batuan dengan densitas rendah relatif membutuhkan energi bahan peledak yang rendah, (Bhandari (1997): 139)

3.4.2. Rancangan Peledakan

Rancangan peledakan menentukan ukuran fragmen batuan hasil peledakan. Rancangan geometri peledakan terutama burden menjadi titik acuan dalam menghasilkan ukuran fragmen yang baik. Bhandari 1975b dalam Bhandari: 1997 memberikan perbedaan antara burden fragmentasi optimum /Optimum Fragmentation Burden (OFB) dan burden hancuran optimum /Optimum Breakage Burden (OBB).

Pada burden hancuran optimum massa batuan terbongkar tercapai maksimum tetapi ukuran fragmen batuan yang dihasilkan tidak terlalu dapat diterima (tidak bagus) seperti banyaknya fine dan bongkahan besar. Pada burden ukuran fragmen batuan optimum, kuantitas material terbongkar lebih sedikit tetapi menghasilkan ukuran

fragmen batuan yang seragam dan tidak dihasilkannya bongkahan (*boulder*). Pada OFB spasi lebih besar dapat digunakan sebagai pembanding dengan OBB agar tidak terjadi pengurangan total kuantitas batuan yang dihancurkan. Jika burden terlalu kecil, gas hasil detonasi akan keluar ke atmosfer dalam bentuk suara ledakan (*noise*) dan gas hasil ledakan (*airblast*) sehingga energi untuk menghasilkan ukuran fragmen batuan berkurang (Bhandari, 1997; 194-195).

Banyak teori dan persamaan empirik yang telah dikeluarkan oleh para peneliti untuk menghitung geometri peledakan, berikut ini akan dijelaskan rancangan peledakan menurut Calvin J. Conya dan R.L. Ash

a. Burden

Burden merupakan jarak tegak lurus lubang ledak pertama dengan *free face* pada saat terjadi peledakan. Pemilihan burden yang tepat merupakan salah satu hal terpenting dalam setiap rancangan peledakan. Di antara semua dimensi dalam rancangan peledakan, burden merupakan yang paling krusial. Jika Burden terlalu kecil, batuan akan terlempar cukup jauh, level gas peledakan yang dihasilkan tinggi dan ukuran fragmen batuan bisa banyak mengandung fine. Jika burden terlalu besar, akan terjadi *backbreak* yang besar pada lubang ledak baris terakhir dan merusak dinding yang terbentuk. Burden yang terlalu besar juga dapat menyebabkan terjadinya *flyrock*, serta gas peledakan level tinggi (Konya & Walter 1990; hal 115).

Ash (1963) memberikan persamaan burden yang digunakan pada tambang terbuka. Berikut persamaan Ash yang melibatkan nisbah burden dalam menentukan burden:

$$B = (Kb \times De) / 12 \quad (1)$$

Di mana :

B = Burden (m)

Kb = Konstanta Burden

De = Diameter explosive (m)

Ash memberikan persamaan untuk batuan standard dengan bobot isi 160 lb/ft³, untuk bahan peledak standar – Berat jenis (SG) = 1,2 dan VOD standard = 12.000 fps serta KB_{std} = 30. Nilai-nilai di atas berlaku apabila peledakan dilakukan pada batuan standard, sebaliknya jika peledakan dilakukan pada batuan yang bukan

standard sebagaimana disebutkan di atas, maka perlu dilakukan koreksi terhadap nisbah burden. R. L. Ash memberikan persamaan nisbah burden sebagai berikut :

$$Kb = Kb_{std} \times AF_1 \times AF_2 \quad (2)$$

Keterangan :

$$AF_1 = \left[\frac{SGe \times VOD^2 (\text{Bahan peledak})}{SGe \times VOD^2 (\text{Bahan peledak standar})} \right]^{1/3} = \left[\frac{\rho_{BP} \times [VOD_{BP}]^2}{1,2 \times [12000]^2} \right]^{1/3} \quad (3)$$

$$AF_2 = \left[\frac{\text{Densiti batuan standar}}{\text{Densiti batuan}} \right]^{1/3} = \left[\frac{160 \text{pcf}}{\rho_{Batuhan}} \right]^{1/3} \quad (4)$$

Kb	: Nisbah Burden setelah dikoreksi
Kb _{std}	: Nisbah Burden standar
AF ₁	: Faktor koreksi untuk batuan yang dibedakan
AF ₂	: Faktor koreksi untuk bahan peledak

Konya (1983) (Konya & Walter 1990 : 118) memberikan persamaan empirik untuk estimasi Burden yang relatif mudah digunakan di lapangan, sebagai berikut :

$$B = [(2SGe / SGr + 1,5)] \times De \quad (5)$$

Di mana:

B	= Burden (ft)
De	= Diameter eksplosive (inchi)
SGe	= Spesific Gravity bahan peledak
SGr	= Spesific Gravity batuan

b. Stemming

Stemming merupakan bagian paling atas dari lubang ledak yang tidak diisi bahan peledak tetapi diisi material pemampat untuk mengurung gas peledakan. Supaya bahan peledak berfungsi dengan baik dan menyalurkan energi maksimum, maka bahan peledak akan dimampatkan. Pengungkungan yang cukup juga diperlukan untuk mengontrol gas peledakan dan *flyrock*. Persamaan matematis untuk stemming adalah sebagai berikut :

$$T = 0,45 De (St_v/SGr)^{0,33} \quad (6)$$

Di mana:

- T = Stemming (ft)
De = Diameter eksplosive (inchi)
St_v = Relative Bulk Strength bahan peledak
SGr = Spesific Gravity batuan

Persamaan di atas juga secara prinsip digunakan untuk menentukan burden, perbedaannya hanya pada konstanta yaitu 0,67 pada persamaan burden dan 0,45 pada persamaan *stemming*. Berdasarkan kemiripan secara prinsip pada dua persamaan di atas, maka persamaan untuk *stemming* dapat disederhanakan, yang bisa kaitkan langsung dengan nilai burden, sebagai berikut :

$$T = 0,7 B \quad (7)$$

Di mana :

- T = Stemming (ft)
B = Burden (ft)

Pada banyak kasus, stemming = 0,7 B cukup untuk mencegah agar material hasil ledakan tidak terhambur keluar terlalu cepat dari lubang ledak. Stemming berkaitan erat dengan burden, karena diameter eksplosive, specific gravity bahan peledak dan batuan diperlukan untuk mengestimasi burden juga diperlukan untuk mengestimasi stemming (Konya & Walter 1990 : 122).

c. Subdrilling

Subdrilling merupakan istilah yang digunakan untuk kedalaman lubang ledak yang dibor melebihi lantai jenjang yang akan terbentuk, ini untuk memastikan agar *breakage* dapat terjadi sampai pada batas lantai jenjang yang direncanakan. Pada banyak kasus, *subdrilling* dapat ditentukan dengan persamaan berikut :

$$J = 0,3 B \quad (8)$$

Di mana :

- J = Subdrilling (ft)
B = Burden (ft)

d. Ukuran Lubang Ledak Dan Tinggi Jenjang

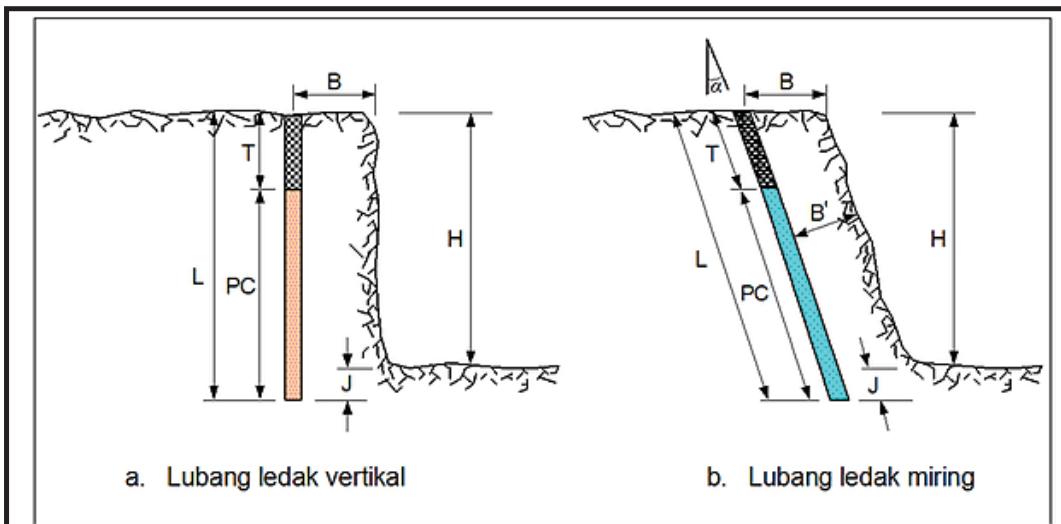
Diameter lubang ledak ditentukan berdasarkan dua pertimbangan mendasar, pertama, adalah efek dari diameter lubang ledak terhadap fragmentasi, gas peledakan, *flyrock* dan getaran peledakan. Kedua faktor ekonomis. Efek rancangan lubang ledak terhadap fragmentasi, gas peledakan, *flyrock* dan getaran dapat dievaluasi. Pada umumnya, semakin besar diameter lubang ledak, semakin banyak masalah yang akan timbul terkait fragmentasi, gas peledakan, *flyrock* dan getaran peledakan.

Tabel 3.1 berikut ini, memuat potensi masalah yang diperoleh berkaitan dengan stiffness rasio (hubungan Tinggi jenjang (L) berbanding Burden (B)).

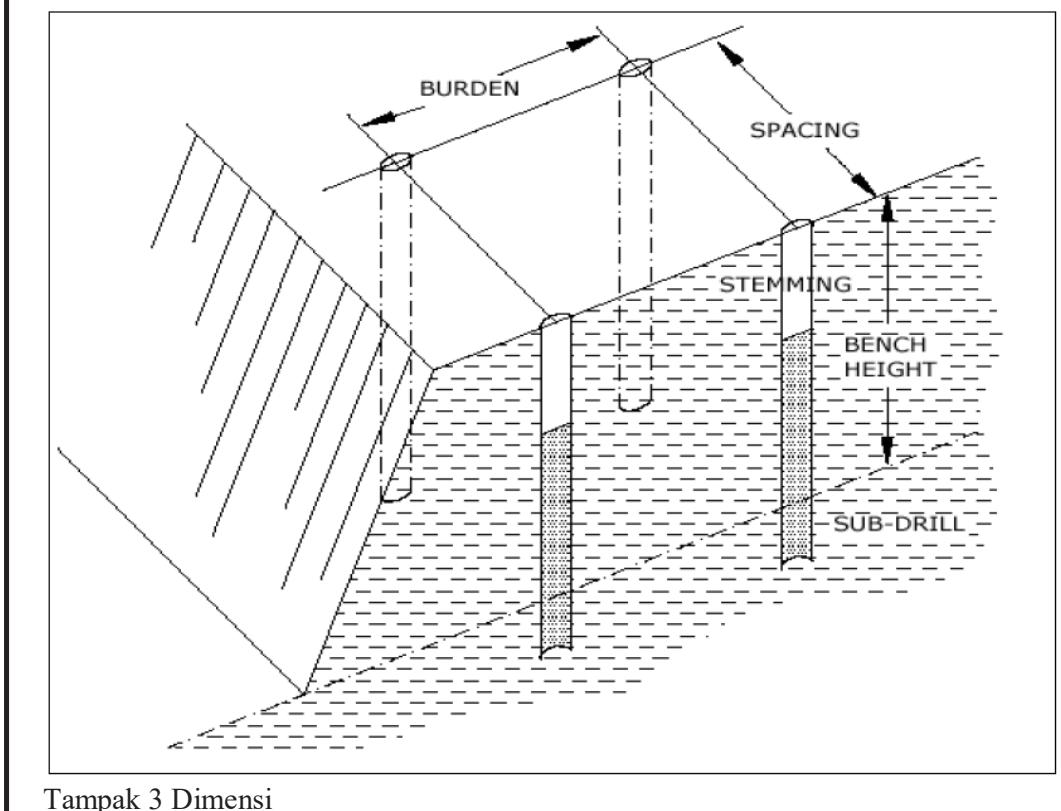
Tabel 3.1
Potensi Masalah Berkaitan Dengan Stiffness Rasio

L/B	Fragmentation	Gas Peledakan	Flyrock	Getaran Peledakan	Keterangan
1	Poor	Banyak	Banyak	Banyak	Banyak Backbreak Masalah pada toe lereng Rancangan ulang
2	Fair	Fair	Fair	Fair	Jika memungkinkan lakukan re-rancangan
3	Good	Baik	Baik	Baik	Terkontrol dan Frgamnetasi yang baik
4	Excellent	Sangat Baik	Sangat Baik	Sangat Baik	Tidak meningkatkan keuntungan dengan L/B > 4

(Konya & Walter (1990): 127)



Tampak 2 Dimensi



Tampak 3 Dimensi

Gambar III.3
Sketsa Geometri Peledakan

e. Waktu Tunda (Delay times)

Operasi peledakan sering dilaksanakan dengan banyak lubang baik dengan lubang berbaris tunggal atau berbaris banyak. Salah satu hal penting dalam rancangan peledakan adalah kebutuhan adanya bidang bebas di depan lubang ledak ketika diledakkan. Batuan yang terledakkan dapat menyediakan bidang bebas untuk lubang yang akan meledak berikutnya. Bidang bebas bagi setiap lubang dapat diatasi dengan adanya *delay time* pada inisiasi setiap lubang. Pola delay yang digunakan menentukan urutan peledakan, dan juga dapat mengontrol arah lemparan/gerakan masa batuan terledakkan dan mengontrol hasil ukuran fragmen batuan (Sushil Bhandari: 172).

Pada peledakan *multirow* penting untuk memperhatikan waktu delay yang cukup di antara baris. Delay dipersiapkan agar setiap lubang memecah burden batuan di depannya dan batuan yang terledakkan tersebut dapat bergerak (karena ledakan) sebelum lubang di belakangnya meledak. Jika delay pada *inter-row* terlalu pendek, pergerakan *burden row* terbatas yang menyebabkan kelebihan burden pada baris berikutnya dan batuan cenderung bergerak ke arah vertikal karena tidak ada cukup ruang, kasus seperti ini dapat menyebabkan ukuran fragmen batuan yang buruk (Bhandari (1997); 181).

3.4.3. Jenis Bahan Peledak

Pemilihan jenis bahan peledak yang digunakan akan mempengaruhi hasil ukuran fragmen batuan, tentunya biaya peledakan harus dipertimbangkan juga. Menurut Bhandari terbukti bahwa pemilihan velocity bahan peledak (BP) yang tepat dapat meningkatkan ukuran fragmen batuan pada batuan keras, batuan massive. Pada BP yang berbahan dasar nitro-glycerin, kecepatan detonasi meningkat seiring dengan semakin bertambahnya nitro-glycerin. 90 % kandungan *gelatine* lebih cocok untuk batuan granitre massive jika dibandingkan kandungan 60% gelatine, dan akan menghasilkan ukuran fragmen batuan yang cukup memadai (Bhandari (1997); 73).

3.5. Analisa Fragmentasi

Analisa ukuran fragmen batuan peledakan telah banyak dilakukan terutama menggunakan metode prediksi maupun menggunakan metode *image processing* atau

disebut juga metode standar photografi. Metode prediksi yang sering digunakan adalah metode Kuz-Ram dan SveDeVo. *Software* yang telah dikembangkan untuk membantu analisa *image processing* terhadap ukuran fragmen batuan di lapangan di antaranya adalah Split Dekstop, Wipfrag, FrgaScan, dan GoldSize. Di sisi lain, pengembangan analisa 3D masih belum banyak dilakukan untuk mengukur ukuran fragmen batuan di lapangan. Berikut ini akan dijabarkan metode analisa ukuran fragmen batuan menggunakan model prediksi (metode Kuz-Ram) dan metode *image processing*.

3.5.1. Model Prediksi Kuz-Ram

Model prediksi ukuran fragmen batuan merupakan model yang melibatkan beberapa parameter seperti kondisi batuan yang diledakkan, rancangan peledakan serta bahan peledak yang digunakan untuk memprediksi distribusi ukuran fragmen batuan yang dihasilkan dari suatu operasi peledakan. Model Kuz-Ram yang dipublikasikan oleh Cunningham tahun 1983, merupakan metode empirik menentukan ukuran fragmen batuan hasil peledakan yang paling mudah digunakan. Model ini dibangun berdasarkan persamaan Kuznetsov dan Rosin-Rammler. Persamaan Rosin-Ramler digunakan untuk mengkarakterisasi distribusi ukuran fragmen batuan pada *muckpile*. Persamaan Kuznetsove adalah persamaan yang digunakan untuk mengetahui ukuran fragmen rata-rata yang akan diperoleh dari suatu kegiatan peledakan, sebagaimana dapat dikutip dalam Gheibie dkk. (2009), persamaan Kuznetsove tersebut adalah sebagai berikut:

$$X_m = A \left(\frac{V_0}{Q_e} \right)^{0,8} Q_e^{0,167} \quad (10a)$$

X_m merupakan ukuran fragmen rata-rata (cm), A merupakan faktor batuan, V_0 merupakan volume batuan yang diledakkan per lubang ledak (m^3). Q_e merupakan masa TNT tiap lubang ledak (kg).

Cunningham (1983) dalam Gheibie dkk. (2009) melakukan modifikasi terhadap persamaan di atas agar bisa digunakan untuk menghitung X_m apabila peledakan di

lapangan menggunakan bahan peledak ANFO, sehingga nilai X_m dapat diperoleh melalui persamaan sebagai berikut :

$$X_m = AK^{-0,8} Q_e^{0,167} \left(\frac{115}{RWS_{ANFO}} \right)^{0,633} \quad (10b)$$

K adalah powder factor (kg/m^3), RWS_{ANFO} adalah *Relatife Weight Strength* ANFO, Q_e adalah masa bahan peledak tiap lubang ledak (kg).

Faktor batuan (A), yang dibutuhkan untuk menentukan nilai X_m sebagaimana persamaan 10b di atas, dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut:

$$A = 0,06 \times (RMD + JF + RDI + HF) \quad (11)$$

Dimana: RMD adalah *rock mass description*, JF adalah *joint facktor*, RDI adalah *rock density index*, dan HF adalah *hardness factor*. Bagaimana menghitung nilai parameter-parameter untuk menentukan nilai A akan dibicarakan pada bagian selanjutnya.

Persamaan Rosin-Ramler oleh Cunningham (1983) dalam Gheibie dkk. (2009) selanjutnya digunakan untuk mengkarekterisasi ukuran framen, persamaannya adalah sebagai berikut :

$$R = e^{-\left(\frac{X}{X_c}\right)^n} \quad (12)$$

R merupakan fragmen batuan yang tertahan pada ayakan X (X merupakan ukuran ayakan), n merupakan indeks keseragaman, X_c merupakan ukuran karakteristik dan x adalah ukuran fragmen.

Persamaan Kuznetsov untuk memperoleh nilai rata-rata fragmen (persamaan 10b), dan persamaan Rosin-Ramler untuk mengkarakterisasi distribusi frgamen (persamaan 12) oleh Cunningham (1983) disubstitusikan, karena X_m pada persamaan

10 b adalah 50 % material tertahan, sehingga $X = Xm$ dan $R = 50\% = 0,5$ maka nilai Xc yang diperoleh dari substitusi persamaan 10b dan 12 adalah sebagai berikut:

$$Xc = \frac{X_m}{(0,693)^{1/n}} \quad (13)$$

Keterangan :

Xc = ukuran karakteristik

n = indeks keseragaman

Nilai indeks keseragaman (n), sangat tergantung pada rancangan peledakan yang diterapkan, Sebagaimana bisa dikutip dari Gheibie dkk. (2009), nilai n dapat diperoleh melalui persamaan berikut ini:

$$\left[2,2 - 14 \frac{B}{D} \right] \left[\frac{1}{2} + \frac{S}{2B} \right]^{0,5} \left[1 - \frac{W}{B} \right] \left[\frac{L}{H} \right] - \quad (14)$$

B = Burden (m)

D = Diameter lubang bor (mm)

W = Standard deviasi pengeboran (m)

L = Panjang muatan bahan peledak perlubang tembak (m)

H = Tinggi jenjang (m)

Nilai n , menurut Cunningham (2005), biasanya antara 0,7 sampai 2.

Prediksi Kuzram juga erat kaitannya dengan *blastability index* (indeks kemampuan peledakan) merupakan parameter untuk melakukan perhitungan metode prediksi Kuzram. Faktor batuan berkaitan erat dengan *rock mass description*, *joint faktor*, *rock density index*, serta *hardness factor*. Setiap parameter tersebut berkaitan erat dengan kondisi batuan di lapangan tempat peledakan tersebut dilakukan.

Rock mass description (deskripsi massa batuan) merupakan penilaian terhadap kondisi masa batuan. Deere (1970) merekomendasikan klasifikasi pembebanan batuan yang merupakan modifikasi terhadap klasifikasi Terzaghi, yang memuat

kondisi batuan berpedoman pada nilai *Rock Quality Rancanganation/RQD* (Z.T. Bieniawski 1989; 36). Sebagai contoh; Deere (1970) memberikan klasifikasi *Moderately Blcoky dan Seemy* untuk nilai RQD 75 – 85 % selebihnya dikategorikan massive serta hard, lihat Tabel 3.2.

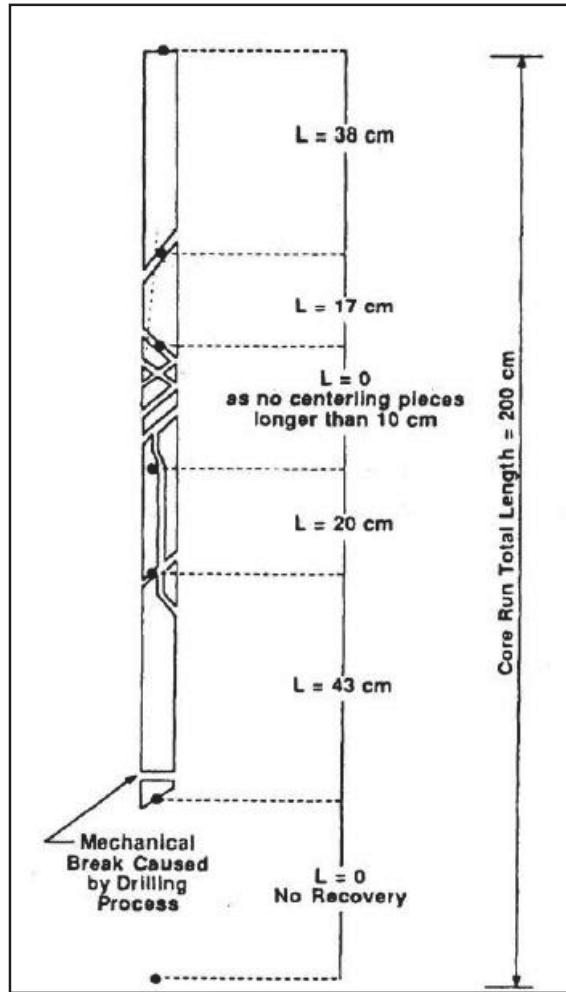
Tabel 3.2
Klasifikasi Pembebanan Batuan

Kondisi Batuan	RQD (%)
Hard and Intact	95-100
Hard Stratified or Schistore	90-99
Masssive Moderately Jointed	85-95
Moderately Bloky and Seamy	75-85
Very Bloky And Seamy	30-75
Crushed But Chemically Intact	3-30
Sand and Gravel	0-3

(Tamrock (1988) dalam Rai dkk. (2014))

RQD merupakan parameter yang dapat menunjukkan kualitas masa batuan yang dikembangkan oleh Deere (1964) yang mana datanya diperoleh dari pengeboran eksplorasi dalam bentuk inti bor yang merupakan wakil dari massa batuan berbentuk silinder. RQD dihitung dari persentase inti bor yang diperoleh dengan perbandingan antara total panjang inti bor berukuran minimum 10 cm dengan total panjang inti bor tersebut, biasanya diukur pada inti bor sepanjang 2 m, potongan akibat penanganan pemboran harus diabaikan dari perhitungan, dan inti bor yang lembek dan tidak baik berbobot RQD = 0 (Bieniawski, 1989; dalam Rai dkk (2014)). Perhitungan dan gambar penentuan RQD dapat dilihat pada persamaan 15 dan Gambar III.4.

$$RQD = \frac{\sum(\text{Panjang total bor inti} \geq 0,10 \text{ m})}{\text{panjang total bor (m)}} \times 100 \% \quad (15)$$



Gambar III.4
Prosedur Untuk Pengukuran dan Perhitungan RQD (Deere (1989) dalam Bieniawski (1989): 38)

Pada kondisi tertentu di lapangan, misalnya untuk keperluan perhitungan prediksi ukuran fragmen batuan yang memerlukan data RQD pada jenjang bersangkutan, maka data inti bor tidak selamanya tersedia, karena tidak selamanya memungkinkan dilakukan pemboran inti pada jenjang tersebut bisa disebabkan, salah satunya karena alasan ekonomis. Prediksi ukuran fragmen batuan metode Kuz-ram melibatkan deskripsi masa batuan (yang berpedoman pada nilai RQD) sebagai salah satu parameter dalam perhitungannya. Oleh karena itu, nilai RQD pada jenjang dimana peledakan tersebut dilakukan harus ditentukan meskipun data bor inti tidak tersedia.

Bila bor inti tidak tersedia, RQD dapat dihitung secara tidak langsung dengan melakukan pengukuran orientasi dan jarak antara diskontinuitas pada singkapan batuan. Priest & Hudson (1976) dalam Rai dkk (2014): 407, mengajukan sebuah persamaan untuk menentukan RQD dari data garis bentangan, persamaanya seperti dapat dilihat di bawah ini.

$$RQD = 100 e^{-0,1\lambda} (0,1\lambda + 1) \quad (16)$$

Keterangan :

λ = frekuensi diskontinuitas per meter

Jika $\lambda = 6 - 16 /m$, Maka persamaan yang digunakan adalah

$$RQD = 110,4 - 368 \lambda \quad (17)$$

Spasi antar kekar merupakan parameter selanjutnya dalam menghitung faktor batuan dan indeks kemampuledakan. Jarak antar kekar di lapangan diukur langsung pada muka jenjang dimana peledakan dilakukan. Spasi bidang diskontinuitas atau kekar adalah jarak tegak lurus antara kekar. Beberapa massa batuan dapat memiliki spasi kekar yang sangat rapat hingga sangat jarang. Attewel (1993) memberikan klasifikasi spasi bidang diskontinuitas (Rai dkk. (2014) : 405), sebagaimana dapat dilihat pada Tabel 3.3.

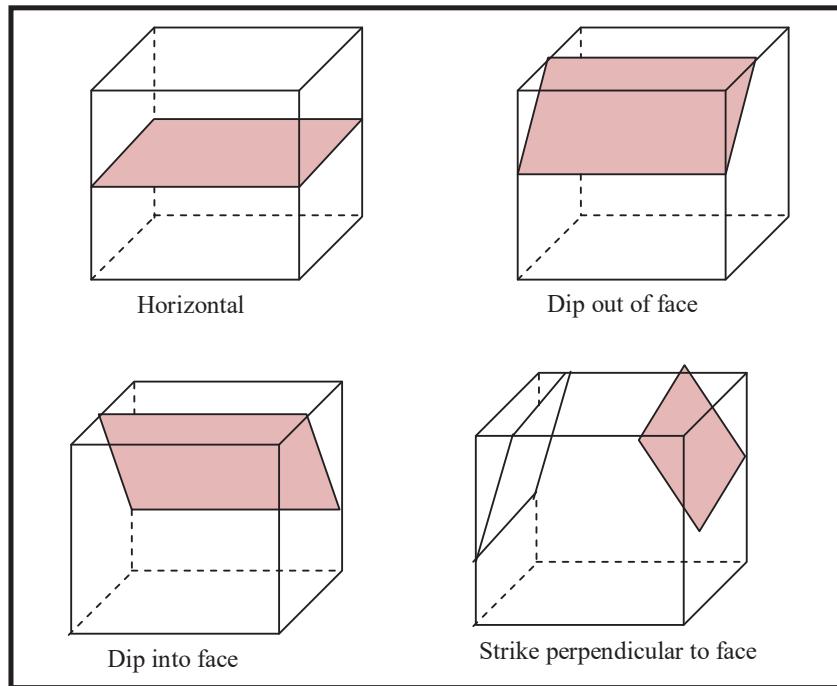
Tabel 3.3
Klasifikasi Spasi Bidang Diskontinuitas

DESKRIPSI	STRUKTUR BIDANG DISKONTINUITAS	Jarak pisah (mm)
Very Wide Spaced	Very thickly bedded	> 2000
Widely Spaced	Thickly bedded	600 – 2000
Moderately widely Spaced	Medium bedded	200 – 600
Closely Spaced	Thinly bedded	60 – 200
Very closely spaced	Very thinly bedded	20 – 60
	Thickly laminated (sedimentary)	6 – 20
	Narrow (metamorphic and igneous)	6 – 20
	Foliated, cleaved, flow-banded, etc. Metamorphic	6 – 20
Extremely closely spaced	Thinly laminated (sedimentary)	< 20
	Very closely foliated, cleaved flow-banded, etc (metamorphic and igneous)	< 6

(Attewel (1993) dalam Rai dkk. (2014): 405)

Jarak antar kekar dijadikan parameter pembobotan dalam penentuan faktor batuan. Lily membagi jarak antar kekar dalam 3 kategori dengan nilai pembobotan yang berbeda pula. 3 Pembagian lily yaitu close ($< 0,1$ m), intermediate ($0,1 – 1$ m) dan wide (> 1 m) dengan nilai pembobotan secara berturut-turut 10, 20 dan 50 (lihat Tabel 3.5). Spasi antar kekar pada jenjang yang bersangkutan diukur di lapangan menggunakan metode *scanline*.

Selain spasi antar kekar, orientasi kekar juga merupakan parameter pembobotan dalam penentuan blastability index. Orientasi kekar yang dimaksudkan adalah dalam bentuk kemiringan (*dip*) dan arah kemiringan (*dip direction*). Pemetaan orientasi kekar pada jenjang bersangkutan dilakukan bersamaan dengan pengukuran spasi antar kekar. Pembobotan untuk orientasi kekar menjadi 4 kriteria pembobotan yaitu horizontal, *dip out of face*, *strike normal to face* dan *dip into face* dengan nilai pembobotan masing-masing 10, 20, 30, dan 40 (Lihat Gambar III.5 dan Tabel 3.5).



Gambar III.5
Orientasi Bidang Kekar (Rai dkk. (2014) : 401)

Prosedur pengukuran arah kemiringan bidang kekar diukur dalam derajat yang dihitung dari arah Utara searah jarum jam dan dituliskan sebagai tiga angka desimal, contoh 010^0 atau 105^0 (nilai arah kemiringan/*dip direction* berkisar dari 0^0 sampai 360^0). Sedangkan prosedur pengukuran kemiringan bidang kekar diukur dengan klinometer yang merupakan bagian kompas geologi dan dituliskan sebagai angka dua desimal 05^0 atau 55^0 (nilai kemiringan/*dip* berkisar dari 0^0 sampai 90^0) (Rai dkk. (2014): 402).

Selain jarak antar kekar, berat jenis dan kekerasan dalam skala Mohs adalah parameter yang digunakan dalam pembobotan Lily yang datanya diperoleh melalui uji sifat fisik dan mekanik *sample* batuan di laboratorium. Dari nilai berat jenis (*specific gravity*) yang kita peroleh maka kita dapat menentukan nilai *Specific Gravity Influence* (SGI) yang merupakan nilai pembobotan dari indeks Lily. Kekerasan batuan dalam skala mohs diperoleh dengan mempedomani relasi nilai

UCS (Unconfined Compressive Strength) dengan skala mohs sesuai klasifikasi Tamrock 1988, lihat Tabel 3.4.

Tabel 3.4
Klasifikasi Kuat Tekan dan Skala Mohs

Klasifikasi	UCS (Mpa)	Mohs Hardness
Sangat keras	200	7
Keras	120 – 200	6 – 7
Keras sedang	60 – 120	4,5 – 6
Cukup lunak	30 – 60	3 – 4,5
Lunak	10 – 30	2 – 3
Sangat lunak	< 10	-

(Tamrock; Surface Drilling and Blasting, 1988, dalam Rai dkk. (2014) : 194)

Tabel 3.5
Pembobotan Parameter *Blastability Index*, After Lily 1986, dalam Hustrullid 1999 : 107)

PARAMETER		RATING
Rock Mass Description (RMD)		
	1.1 Powder / Feriable	10
	1.2 Bloky	20
	1.3 Totally Massive	50
2. Joint Plane Spacing (JPS)		
	2.1 Close (< 0,1 m)	10
	2.2 Intermediate (0,1 – 1 m)	20
	1.3 Wide (> 1m)	50
2. Joint Plane Orientation (JPO)		
	3.1 Horizontal	10
	3.2 Dip out of Face	20
	3.3 Strike norma to Face	30
	3.4 Dip into Face	40
3. Specific Gravity Influene (SGI)		
	SGI = (25 x SG) – 50 SG = Specivic Gravity of Rock	
4. Hardnes		
	Moh's Hardness Scale	

3.5.2. Standard Fotografi Untuk Analisa Fragmen

Analisa distribusi ukuran fragmen batuan dengan teknik photografi dilakukan dengan bantuan *software* komputer, *software* akan menentukan distribusi ukuran fragmen batuan berdasarkan pada input data photo yang diambil pada *muckpile*. Output dari *image processing* ini merupakan kurva ukuran fragmen batuan pada *muckpile*. Distribusi ukuran fragmen batuan yang dihasilkan dari *image processing* secara aktual dapat dijadikan acuan untuk menilai hasil peledakan tambang.

Akurasi dari metode photografi tergantung dari pengontrolan terhadap sumber *error* data dan bagaimana meminimalisir sumber eror tersebut (Rhol dkk. (1993b), dalam Hustrullid (1999): 38). Sumber *error* estimasi dari metode Photografi adalah sebagai berikut :

1. Photografi mempunyai keterbatasan resolusi dan ukuran fragmen batuan yang ukurannya lebih kecil dari ukuran minimum tertentu bisa tidak dapat terobservasi
2. Photografi menyisakan ruang tiga dimensi yang tidak tereksposes
3. Photografi hanya meliputi ukuran fragmen batuan pada permukaan
4. Ukuran fragmen batuan pada *muckpile* hasil photografi cenderung bertindihan sehingga blok batuan kemungkinan tereduksi
5. Photografi dapat dengan mudah mengalami distorsi
6. *Software* dapat menghasilkan berbagai *error*, khususnya pada ukuran fragmen batuan dengan texture besar

Teknik photografi dapat diaplikasikan untuk pengukuran fragmen batuan pada permukaan *muckpile*, permukaan batuan pada *haul truck* atau pada *belt conveyor*. Just (1979) dalam Hustrullid 1999 memperoleh hasil bahwa gambar fragmen pada permukaan *muckpile* atau pada permukaan bak *haul truck* tidak merepresentasikan keseluruhan fragmen yang ada. Hunter dkk. (1990) dalam Hustrullid 1999 juga telah melakukan penelitian yang hampir sama, yaitu *sample* gambar diperoleh dari setiap *haul truck* yang beroperasi pada siang hari, gambar fragmen diperoleh dari video yang direkam.

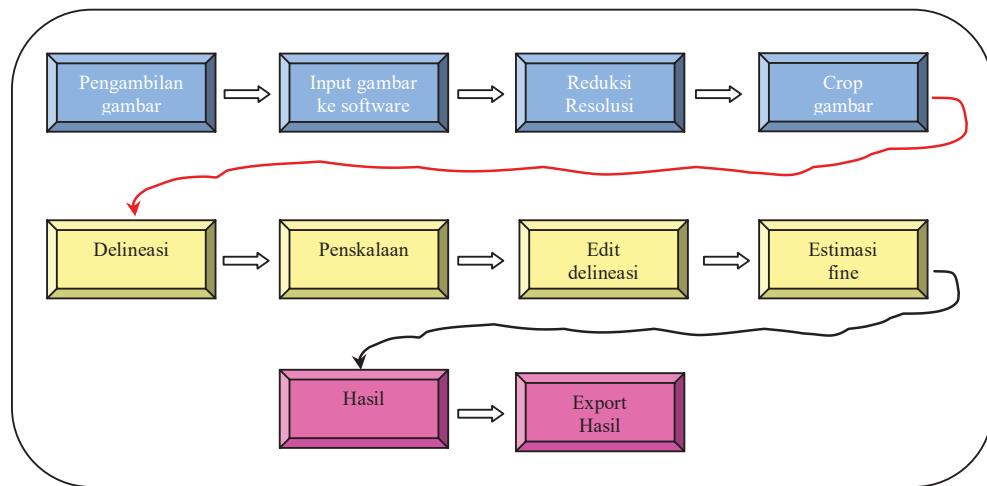
Keterbatasan metode *image analysis* pada prinsipnya disebabkan karena kondisi fragmen batuan pada *muckpile* yang berhimpitan, bagian yang terhimpit inilah yang

menjadi sumber *eror* hasil pengukuran. Penelitian efektifitas kerja *software* yang melibatkan gambar 2D sebagai data input juga telah dilakukan oleh Tran (1996) dalam Han and Song (2014) yang memperoleh hasil bahwa *image processing* 2D mengalami *overestimate* terhadap rata-rata ukuran fragmen sekitar 50-100% dari nilai yang diperoleh melalui analisis ayakan. Gheibie dkk. (2009) mengeliminasi *error estimate* terhadap ukuran fragmen batuan dengan cara mengambil gambar *muckpile* pada saat yang berbeda yaitu pada saat segera setelah peledakan dilakukan, saat operasi pemuatan telah dilakukan separuhnya dan pada tahap akhir operasi pemuatan pada *muckpile*.

3.5.2.1. Split Desktop

Software Split desktop dapat melakukan *image processing analysis* dari gambar yang diperoleh di *muckpile*. Gambar *muckpile* diambil berdasarkan teknik standar sesuai kebutuhan agar bisa dianalisis oleh *software*. *Output* dari split desktop merupakan distribusi ukuran fragmen batuan hasil peledakan. Distribusi ukuran fragmen batuan diperoleh berdasarkan estimasi setiap fragmen individu di *muckpile*, fragmen individu ini dapat di estimasi setelah dilakukan penggambaran batas-batas (split) fragmen batuan pada *muckpile* secara otomatis.

Batas-batas (split) individu yang ditentukan pada di *runing* otomatis masih perlu di edit secara manual untuk memperoleh hasil batas-batas (split) yang maksimal sesuai kondisi fragmen. Hasil penggambaran batas-batas (split) inilah yang kemudian dianalisis ukurannya. Kurva distribusi akan diperoleh sebagai hasil akhir dari kerja split desktop. Grafik yang dihasilkan dapat diatur sesuai kebutuhan misalnya sumbu X berupa ukuran fragmen dalam cm atau inch, dan sumbu Y berupa *persen passing* 20%, 40%, 60% 80% serta top size, lihat Gambar III.6.



Gambar III.6.
Urutan Kerja Split-Desktop

Urutan kerja split desktop sebagaimana gambar di atas dapat dijabarkan sebagai berikut :

- Pengambilan gambar, hal pertama yang harus diperhatikan pada saat pengambilan gambar di *muckpile* adalah harus menyertakan *scale image* berupa benda (bola atau penggaris) yang diketahui ukurannya. Jarak pengambilan gambar harus diperhatikan untuk memastikan bahwa representasi setiap ukuran dalam *muckpile* dapat terlihat/tertangkap dengan jelas dalam gambar.
- Input gambar dilakukan pada *software* yang akan digunakan
- Crop gambar dilakukan untuk memilih atau membatasi objek *muckpile* yang akan dianalisa oleh *software* nantinya.
- Delineasi merupakan hal paling penting dalam kalkulasi distribusi ukuran pada Split-Desktop. Delineasi adalah proses semi-otomatis untuk menggambar batas-batas partikel atau blok batuan pada gambar yang dianalisis.
- Penskalaan dan edit delineasi adalah langkah berikutnya. Penskalaan dilakukan untuk memberikan acuan ukuran pada *software* agar bisa melakukan analisa ukuran, penskalaan dilakukan dengan bantuan objek yang telah diketahui ukurannya yang ditempatkan pada *muckpile* saat pengambilan gambar. Edit delineasi manual dibutuhkan agar batas-batas blok batuan sudah tepat dilakukan.

- Estimasi fine dialakukan dengan menandai area yang ditandai sebagai fine sehingga *software* mengestimasinya sebagai ukuran fine.
- Hasil dan eksport hasil dapat dilakukan jika urutan-urutan sebagaimana disebut di atas telah dilakukan dengan benar.

3.5.2.2. Aplikasi Photogrammetry Pada Pengukuran Fragmentasi

Photogrammetry dapat diartikan sebagai ilmu pengukuran pada photo (wilfried Linder; 2003). *Photogrammetry* pada aplikasinya memungkinkan kita dapat mengetahui informasi pada *objek* seperti panjang, lebar dan volume melalui data photo. *Objek* bisa diestimasi ukuran dan volumenya melalui gambar-gambar yang diambil dari berbagai arah. *American Society for Photogrammetry and Remote Sensing* mendefinisikan *photogrammetry* adalah seni, ilmu, dan teknologi memperoleh informasi yang dapat dipercaya terhadap objek fisik dan lingkungan melalui proses perekaman, pengukuran dan interpretasi *image* fotografi (Slama (1980) dalam Moser dkk. (2005)). 3D *image* dapat difahami sebagai kombinasi gambar digital yang memuat semua informasi geometri objek yang bersangkutan. *Photogrammetry* merupakan seni dan ilmu pengetahuan untuk melakukan pengukuran dari data *image*, Slama & Dewit (2000) dalam Moser & Gaich (2007). *Streoscopic photogrammetry* berkaitan dengan pengukuran untuk memperoleh informasi Tiga Dimensi (3D) dari 2 (dua) gambar yang diambil dari sudut yang berbeda yang menunjukkan objek atau permukaan yang sama, Moser & Gaich, (2007).

Teknik digital *photogrammetry* memiliki keunggulan ketika digunakan untuk pengukuran fragmen hasil peledakan, karena metode ini dapat secara langsung menentukan volume yang dapat digunakan secara langsung untuk menentukan distribusi ukuran fragmen yang diukur, Noy (2013). Noy (2006) dalam Noy (2013) menerapkan teknik *photogrammetry* untuk pengukuran distribusi fragmen pada *conveyor*. Anderson dkk. (2007) dalam Noy (2013) menggunakan teknik model 3D untuk mengukur fragmen *pellet* yang terbuat dari bijih besi yang disusun secara tidak bertindihan satu sama lain (*non-overlap*), distribusi fragmen hasil model 3D tidak jauh beda dengan hasil ayakan. Thurley pada tahun 2009 dan 2011 mempublikasikan hasil penelitiannya yang menerapkan teknik 3D *laser scanning*

untuk pengukuran fragmen pada *bucket* alat mekanis *load-haul-dump* dan pada *conveyor*, Noy (2013). Metode yang dilakukan Anderson dkk (2007) yang melakukan pengukuran fragmen *pellets* diterapkan oleh Thurley (2009) dalam Noy (2013), untuk pengukuran fragmen pada *bucket* alat mekanis *load-haul-dump* dengan teknik memisahkan fragmen yang tidak bertindihan (*non-overlap*) dengan yang bertindihan (*overlap*) pada model 3D nya. Menurut Noy (2013) teknik memisahkan fragmen yang *overlap* dan *non-overlap* tidak selamanya akan efektif jika diterapkan pada semua jenis *muckpile* di lapangan yang pada umumnya memiliki bentuk geometri fragmen dan ukuran fragmen yang beragam (tidak seperti bentuk dan ukuran *pellet* yang seragam).

Menurut Noy (2013) ada beberapa permasalahan pengukuran fragmentasi metode fotografi jika diterapkan di lapangan diantaranya adalah kesulitan pada saat melakukan *image segmentation/segmentasi gambar* (pemisahan atau penggambaran batas fragmen pada model). Kesulitan dalam melakukan segmentasi diantaranya bisa disebabkan oleh kondisi pencahayaan pada gambar, kondisi permukaan *muckpile*, serta tekstur dan ketidakseragaman ukuran fragmen pada *muckpile*. Beberapa persamaahan pada pelaksanaan segementasi dapat dilihat pada Gambar III.7.

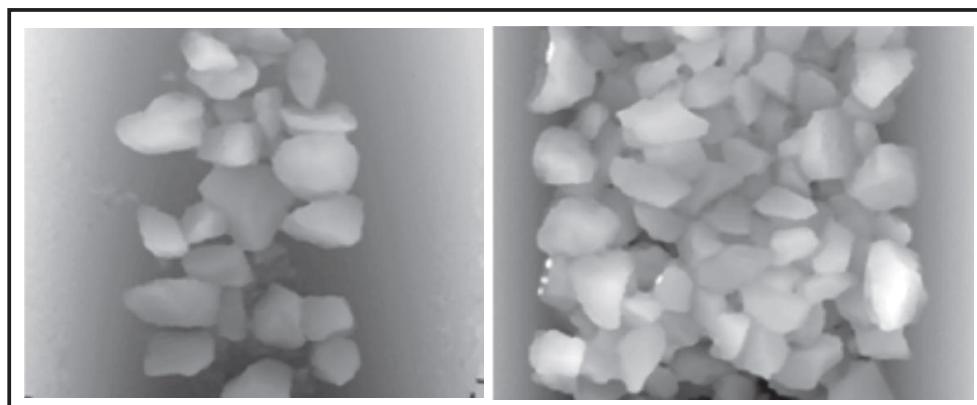


Gambar III.7.
Kondisi *Muckpile* Yang Dapat Menyebabkan Kesulitan Saat Segmentasi

Gambar 3.7. memperlihatkan beberapa permasalahan mendasar yang dapat menyebabkan kesulitan pada saat melakukan proses segmentasi gambar. Gambar kiri atas merupakan *muckpile* pada *conveyor*, banyaknya material ukuran fine yang sampai menutupi fragmen batuan dengan ukuran lebih besar akan menyebabkan kesulitan dalam melakukan segmentasi antara fine dan bukan fine. Gambar kanan atas merupakan gambar *muckpile* dimana *belt conveyor* ikut terrekam dalam gambar, kondisi seperti ini juga akan mempengaruhi proses segmentasi. Gambar kiri bawah merupakan gambar *muckpile* pada *bucket shovel* yang menampakkan kondisi pencahayaan pada saat gambar diambil, pencahayaan akan mempengaruhi segmentasi karena 2 atau lebih fragmen yang berbeda bisa dianggap satu fragmen oleh *software* karena memiliki tingkat pencahayaan yang sama, demikian sebaliknya. Gambar kanan bawah diperoleh dari proses pengambilan gambar pada *bucket shovel*, tetapi karena pengambilan gambar dilakukan pada objek bergerak, pada keadaan tertentu ada gambar selain fragmen pada *muckpile* yang ikut terrekam yang akan mengganggu proses segmentasi.

Menurut Noy (2013), beberapa permasalahan yang dapat menyebabkan kesulitan pada saat melakukan segmentasi gambar umumnya akan menjadi masalah serius pada saat menggunakan metode 2D. Model 2D yang sangat bertumpu pada pencahayaan gambar untuk melakukan segmentasi antara fragmen yang satu dengan lainnya tentu akan sangat terganggu prosesnya jika pencahayaan pada gambar tidak baik sebagaimana pada gambar III.7. Masalah-masalah pada proses segmentasi seperti pencahayaan akan dapat diatasi pada penerapan metode 3D.

Setidaknya ada 2 sistem yang bisa dikembangkan untuk pengukuran fragmen metode 3D yaitu *Conveyor Based System* dan *Shovel Based System*. Penerapan metode 3D *photogrammetry* untuk pengukuran fragmen pada *conveyor* telah dilakukan Noy (2006). Gambar 3.8. dapat dilihat hasil model 3D yang dilakukan pada gambar *muckpile* di atas *belt conveyor* yang melaju dengan kecepatan 3 m/s.

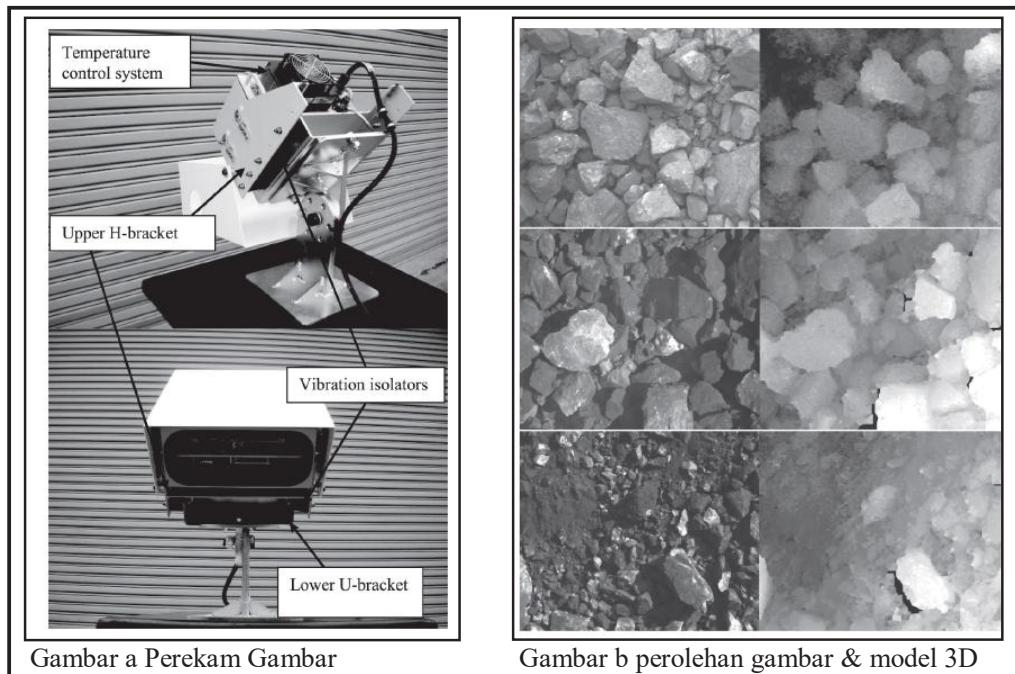


Gambar III.8.
Hasil Model 3D *Muckpile* Pada *Belt Conveyor*

Selain *Conveyor Based System* (CBS) pengukuran fragmen batuan metode 3D bisa juga menggunakan *Shovel Based System* (SBS), Noy (2013). Penerapan *Shovel Based System* melibatkan pemasangan alat perekam gambar fragmen yang dipasang pada shovel, dimana proses perekaman gambar dilakukan pada saat beroperasinya shovel. Alat perekam gambar terdiri dari sistem yang mampu mengambil gambar yang sama secara bersamaan pada dua sisi yang berbeda. Pemasangan alat perekam gambar telah mempertimbangkan getaran yang disebabkan oleh aktifitas shovel. Getaran karena aktifitas shovel bisa merusak peralatan kamera serta bisa

menganggu hasil gambar yang diperoleh. Dalam aplikasinya, alat perekam gambar yang dipasang juga disertakan pengatur suhu, agar alat tidak terganggu karena panas yang terlalu tinggi. Jadi dalam penelitian Noy (2013), aplikasi *Shovel Based System* meliputi 3 aktifitas utama yaitu, instalasi unit perekam gambar pada *bucket*, perolehan *stereo image* pada objek yang sama (*muckpile*), serta penerapan standar keamanan untuk instalasi alat perekam (mengatasi getaran dan panas yang berpotensi menganggu kerja alat). Sebagai ilustrasi dapat dilihat pada Gambar III.9, Gambar III.9a menunjukkan sistem perekam *stereo-image* pada *Shovel Based System*, gambar III.9b merupakan contoh perolehan gambar dan 3D model yang dihasilkan, Noy (2013).

Apa yang telah dilakukan oleh Noy 2013, juga mirip dengan sistem yang diterapkan FragMetrics™, sistem yang dikembangkan oleh Motion Metrics International untuk mengukur fragmen hasil peledakan. Tafazoli & Ziraknejad (2009) menerapkan teknologi FragMetrics™ untuk pengukuran fragmen dengan melakukan pengambilan gambar pada shovel yang sedang beroperasi. Sistem pada FragMetrics™ menggunakan gambar fragmen yang diperoleh pada *bucket* shovel untuk dianalisa, lihat Gambar III.10.



Gambar III.9.
Instalasi Perekam, Perolehan Gambar dan Hasil 3D Model Pada Penerapan SBS



Gambar III.10.
Perolehan Gambar Pada Shovel Yang Diterapkan Pada FragMetrics™

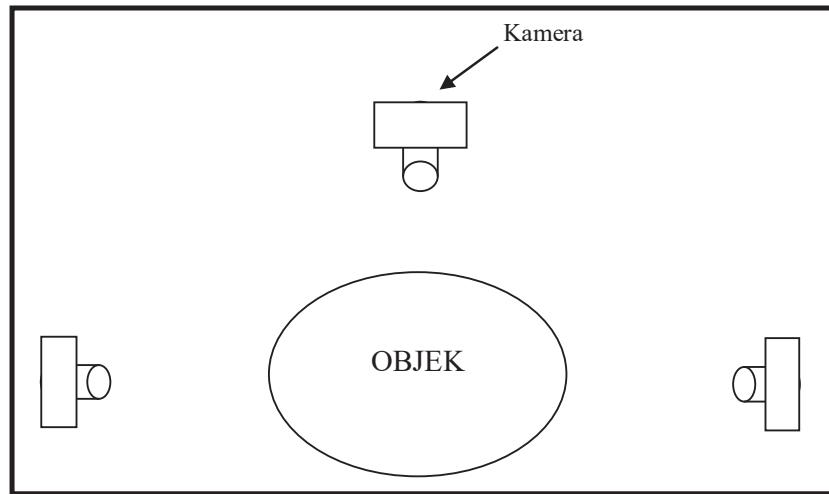
Pengukuran fragmen batuan hasil peledakan juga telah dilakukan menggunakan teknik *3D lasser Scanning*. Onederra dkk. (2015) menerapkan teknik *3D lasser Scanning* untuk pengukuran fragmen hasil peledakan pada tambang open pit Esperanza, Chile, lihat Gambar III.11. Kegiatan perolehan gambar meliputi tahap sebagai berikut :

1. Scanning *muckpile* dilakukan pada interval dan lokasi berbeda yang disesuaikan dengan proses pemuatan dan pengangkutan yang sedang berjalan.
2. Scanning *muckpile* pada jarak dekat (pada jarak sekitar 9 m) untuk keperluan data fragmen ukuran fine pada *muckpile*.
3. Scanning keseluruhan gambar *muckpile* yang akan dianalisis pada jarak sekitar 20 m.



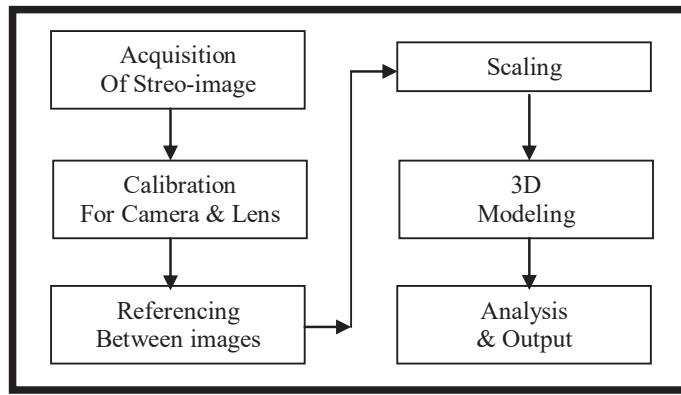
Gambar III.11.
Penempatan Alat *Lasser Scanner* Pada Pengambilan Data *Muckpile*

Han & Song (2014) menggunakan teknik *Stereo photogrammetry* untuk menganalisis distribusi ukuran fragmen batuan di laboratorium dan di lapangan. Sebagaimana dinyatakan Han dan Song (2014) bahwa *Stereo photogrammetry* merupakan teknik untuk memperoleh *spatial information* (informasi ruang/3 dimensi) dari objek dengan merekonstruksi *stereo-image* dari dua atau lebih gambar. Penerapan *Stereo photogrammetry* untuk analisa fragmen batuan pada *muckpile* dapat memberikan informasi tambahan terkait geometri dan model 3D dari fragmen batuan, lihat Gambar III.12.



Gambar III.12
Penempatan Kamera Pada Pengambilan Gambar *Stereo Photogrammetry*

Pengukuran fragmen batuan menggunakan teknik *photogrammetry* oleh Han & Song (2014) menggunakan software *photomodeler scanner*. Pada dasarnya, *photomodeler scanner* bukanlah *software* yang khusus digunakan untuk pengukuran fragmen batuan. Meskipun demikian, karena kemampuannya menampilkan model 3 dimensi (3D) dari suatu objek termasuk fragmen batuan, maka *software* ini dapat digunakan untuk pengukuran fragmen dengan beberapa penyesuaian pada langkah-langkahnya. Sebagai pembanding hasil analisa 3D, Han & Song (2014) menyertakan analisa 2D split desktop dan analisa uji volume air pada fragmen batuan. Tahap-tahap analisa 3D photogrammetry pada penelitian Han & Song (2014) dapat dilihat pada Gambar III.13.



Gambar III.13
Tahap-tahap analisa 3D Photogrammetry Pada Pengukuran Fragmen
Dalam Penelitian Han & Song (2014)

Ada dua asumsi dasar yang digunakan oleh Han & Song (2014) dalam penggunaan teknik *photogrammetry* untuk pengukuran frgamen yaitu terkait berat jenis dan bangun ruang individual fragmen. Setiap fragmen pada sampel laboratorium dianggap berasal dari batuan yang sama, sehingga dianggap mempunyai berat jenis yang sama. Berdasarkan asumsi berat jenis tersebut, maka persen *passing* (lolos) akan dihitung menggunakan Persamaan 3.17. berikut :

$$\text{Passing}(\%) = \frac{m_x}{m_{total}} = \frac{\gamma V_x}{\gamma V_{total}} = \frac{V_x}{V_{total}} \times 100 \quad (17)$$

Dimana :

m = Cummulative Mass

V_x = Volume Cumulative pada size x

γ = Berat Jenis

Asumsi yang kedua adalah bahwa setiap fragmen batuan dianggap berbentuk bola, sehingga untuk memperoleh diameter fragmen yang bersangkutan akan dihitung menggunakan persamaan 3.18. berikut:

$$D = 2 \times \sqrt[3]{\frac{3V}{4\pi}} \quad (18)$$

Dimana :

D = Diameter

V = Volume

Penelitian ini menggunakan *software* Agisoft PhotoScan 9.0, uraian berikutnya akan dijabarkan beberapa hal yang berkaitan dengan Agisoft PhotoScan. Agisoft PhotoScan adalah *software* yang digunakan untuk melakukan pemodelan 3 dimensi terhadap objek yang dinginkan. Gambar objek diperoleh dari beberapa sisi, sehingga dengan cara seperti ini objek yang dimaksud dapat direkonstruksi secara 3D. Pada dasarnya, Agisoft PhotoScan bukanlah *software* yang digunakan untuk analisa ukuran fragmen batuan hasil peledakan sebagaimana spilt desktop, sehingga perlu dilakukan beberapa penyesuaian langkah kerja agar bisa diaplikasikan untuk mengukur fragmen batuan hasil peledakan. Berikut ini prosedur kerja Agisoft Photoscan :

1. Langkah pertama adalah *camera alignment*. Pada langkah ini Agisoft PhotoScan mencari titik-titik pada gambar dan mencocokkannya, pada langkah ini *software* akan menemukan posisi camera untuk setiap gambar yang diperoleh. Langkah pertama ini akan menghasilkan *sparse point cloud* dan posisi kamera dari masing-masing gambar.
2. Langkah kedua adalah membuat *dense point cloud*. Berpedoman pada posisi kamera dan gambar-gambar yang ada, *dense point cloud* dapat dibuat oleh Agisoft PhotoScan.

Dense point cloud (kumpulan titik-titik seperti awan) adalah sekumpulan titik-titik yang masing-masing mempunyai kordinat x, y dan z. Sebuah titik dalam teknik *multi angle shoot* dapat berada dalam 2 atau lebih gambar yang berbeda. *Sparse point cloud* pada dasarnya sama dengan *dense point cloud*, tetapi titik-titik yang ditampilkan masih jarang, artinya tidak semua titik ditampilkan dalam hasil rekonstruksi.

3. Langkah ketiga adalah membuat *mesh*. Agisoft PhotoScan merekonstruksi mesh 3D berdasarkan permukaan objek yang telah dibuat pada langkah sebelumnya berupa *dense point cloud*.
4. Setelah rekonstruksi mesh dilakukan, maka menghasilkan texture melalui step *build texture* dapat dilakukan. Langkah tambahan (close hole) untuk memudahkan mengukur volume blok batuan dapat dilakukan. Jika *build texture* telah dilakukan maka pengukuran volume dapat dilakukan. Pada langkah ke-4 ini, texture yang dimaksudkan adalah geometri dari objek yang bersangkutan seperti bentuk, ukuran dan model 3D nya.

3.5.3. Uji Laboratorium *Image Processing Analysis*

Image processing untuk analisis ukuran fragmen batuan menjadi metode yang praktis digunakan di lapangan. Metode ini menggunakan informasi gambar foto yang di ambil pada *muckpile* yang selanjutnya akan di analisis sehingga distribusi ukuran fragmen batuan pada *muckpile* yang bersangkutan dapat diperoleh. Tetapi, di antara permasalahan yang harus diperhatikan ketika melakukan *image processing analysis* terhadap ukuran fragmen batuan adalah sebagai berikut (Kemeny dkk. 1993): pertama, bahwa setiap blok individu pada gambar harus di delienasi baik secara otomatis maupun secara manual. Permasalahan ketidakseragaman pencahayaan, *shadows* dan *noise* (pada gambar) dan range ukuran yang besar pada fragmen menyebabkan delienasi tidak mungkin dilakukan dengan standar *edge-detection* (deteksi batas fragmen oleh *software*) secara terus menerus. Kedua, Ukuran fragmen batuan akan saling bertindihan, dan koreksi terhadap kondisi tersebut harus dilakukan.

Penelitian di laboratorium dengan ukuran dan jumlah *sampel* yang bisa disesuaikan (yang dianggap bisa mewakili kondisi di lapangan) memungkinkan untuk dilakukan, sehingga dapat dibandingkan antara distribusi fragmen batuan aktual (hasil *sieving*) dan distribusi hasil *image processing analysis* metode 2D maupun metode 3D. Ukuran fragmen hasil analisa *sieving* dan *image processing analysis* (metode 2D dan 3D) dapat dikarakterisasi menggunakan distribusi tertentu, dalam hal ini, distribusi Rosin-Ramler merupakan distribusi yang telah banyak digunakan dalam penelitian tentang ukuran fragmen batuan hasil peledakan. Distribusi Rosin-Ramler mempunyai

parameter distribusi berupa X_m = ukuran rata-rata, X_c = karakteristik ukuran dan n = indeks keseragaman.

Ketiga parameter sebagaimana disebutkan di atas dapat diperoleh dari penurunan persamaan umum distribusi Rosin-Ramler dengan urutan sebagaimana akan dijabarkan berikut ini.

$$R = e - \left(\frac{x}{X_c}\right)^n \quad (19)$$

$$\ln R = \ln e - \left(\frac{x}{X_c}\right)^n$$

$$-\ln R = \left(\frac{x}{X_c}\right)^n$$

$$\ln(-\ln R) = \ln\left(\frac{x}{X_c}\right)^n$$

$$\ln(-\ln R) = n \ln\left(\frac{x}{X_c}\right)$$

$$\ln(-\ln R) = n (\ln x - \ln X_c)$$

$$\ln(-\ln R) = n \ln x - n \ln X_c$$

Dimana :

R = fraksi tertahan di x

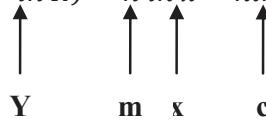
x = ukuran fragmen

X_c = ukuran karakteristik

n = indeks keseragaman

Persamaan di atas dapat di analogikan sebagai persamaan garis lurus $Y = mX - C$

$$\ln(-\ln R) = n \ln x - n \ln X_c$$



Untuk mendapatkan nilai parameter n dan X_c , maka terlebih dahulu ditentukan nilai variabel X dan Y sesuai dengan ketentuan di bawah ini:

$\ln(-\ln R)$ = variable Y

$\ln x$ = variable X

n = m = Slope

$-n \ln X_c$ = C = Intercept

Dimana R = persen tertahan

Nilai nilai Xc dapat diperoleh dengan penurunan persamaan di atas, sebagai berikut:

$$\begin{aligned}-n \ln X_c &= C \\ -\ln X_c &= \frac{C}{-n} \\ \ln X_c &= -\frac{C}{n} \\ \exp \ln X_c &= \exp -\frac{C}{n} \\ X_c &= \exp -\frac{C}{n}\end{aligned}$$

Parameter indeks keseragaman (n), merupakan nilai slope dari regresi linier sederhana antara variable X dan variable Y.

% Retain (R) pada distribusi Rosin-Ramler dapat ditentukan setelah nilai n dan Xc ditentukan, mempedomani persamaan umum distribusi Rosin-Ramler yaitu sebagai berikut :

$$R = e - \left(\frac{x}{X_c} \right)^n$$