

Analisis Orientasi Kekar terhadap Fragmentasi Batuan Hasil Peledakan di PT. Semen Padang

Muhammad Aditya Faisal^{1,*}, Dedi Yulhendra^{1**}

¹Jurusan Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang

*aditya.aa979@gmail.com

**dediyulhendra@ft.unp.ac.id

Abstract. In mining activities with the characteristics of hard rocks, it is necessary to do blasting (blasting) that aims to destroy the rocks, so as to facilitate in digging activities. Blasting geometry applied PT. Semen Padang produces fragmentation measuring 55.955 cm with an excavation time of 17 seconds. In this study used Blasting Geometry with ICI theory- Explosive and RL. Ash. Where fragmentation is produced with ICI-Explosive Theory is 38.26 cm with an excavation time of 9.32 seconds. As for the RL Theory. The fragmentation ash obtained measured 34.49 cm with an excavation time of 7.31 seconds. Of these two theories, the RL theory. Ash is better because it produces better fragmentation.

Keywords: Blasting Geometry, Fragmentation, Digging Time, Kuzram And Regression Analysis.

1 Pendahuluan

Pertambangan adalah suatu kegiatan yang dimulai dari kegiatan penyelidikan umum terhadap bahan galian. Secara umum tahapan kegiatan pertambangan terdiri dari Penyelidikan Umum (Prospeksi), Eksplorasi, Perencanaan tambang, Persiapan/konstruksi, Penambangan, Pengolahan, Pemasaran, dan Reklamasi.

Industri Pertambangan merupakan salah satu industri yang berkontribusi dalam pembangunan infrastruktur seperti pembangunan kantor, jembatan, jalan dan tempat-tempat wisata yang menjadi salah satu hal yang mempengaruhi perkembangan perekonomian di Indonesia. Dalam mewujudkan pembangunan tersebut dibutuhkan kontribusi dari sektor pertambangan dalam pembuatan industri semen. PT. Semen Padang yang terletak di Kelurahan Indarung, Kecamatan Lubuk Kilangan yang jaraknya + 14 KM dari Pusat Kota Padang dengan ketinggian + 200 M dari permukaan laut merupakan salah satu perusahaan yang bergerak di industri semen. Dalam pembuatan semen tersebut batukapur (limestone) menjadi bahan utamanya, maka perlu dilakukan perhitungan cadangan terhadap batukapur ini untuk mengetahui sisa umur tambang.

Batu kapur (limestone) dapat diperoleh dari proses penambangan di lokasi tambang quarry Bukit Karang Putih di PT. Semen Padang. Penambangan dilakukan dengan cara tambang terbuka dengan sistem side hill type yaitu sistem penambangan terbuka yang diterapkan

untuk menambang batuan yang terletak di lereng bukit atau berbentuk bukit.

Dalam suatu perencanaan kegiatan peledakan ada beberapa faktor yang perlu diperhatikan, diantaranya tipe material, ketepatan pemboran, pola geometri, dan bahan peledak yang digunakan (Bhandari, 1997: 5). Pola geometri disesuaikan dengan tipe material dari blok peledakan agar hasil fragmentasi dapat memenuhi target yang ditetapkan.

Kondisi geologi di area eksisting PT. Semen Padang banyak ditemukan kekar-kekar geologi yang dapat menjadi salah satu pengaruh ketika adanya kegiatan peledakan dan juga nantinya akan dipakai untuk menghitung factor batuan dan blastability index, JPS, JPO dan rock mass description . PT. Semen Padang menggunakan crusher untuk mereduksi ukuran batu kapur hasil peledakan. Namun, sering kali terjadi hambatan pada jam kerja crusher seperti adanya batu oversized yang ikut kedalam crusher, sehingga menyebabkan waktu tunggu yang cukup lama pada crusher dan kendala teknis pada crusher serta beberapa hambatan adanya material berukuran boulder (> 80 cm) sebesar 38,17% . itu juga dikarenakan pada area penambangan batu kapur PT. Semen Padang banyak ditemukannya struktur kekar dan bidang lemah dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Kondisi Kekar *Front 1* di PT. Semen Padang

maka perlu penulis ingin mengetahui pengaruh atas struktur kekar dan bidang lemah tersebut terhadap fragmentasi batuan yang dihasilkan.

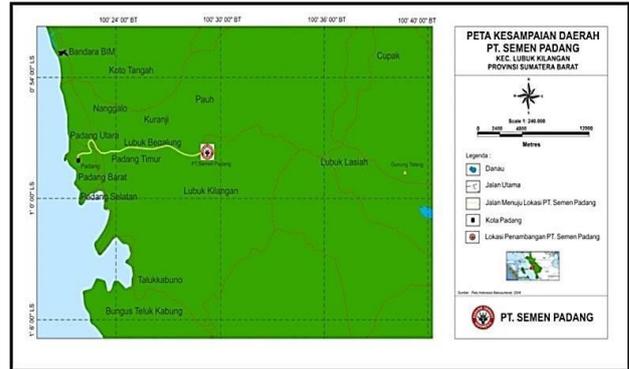
2. Lokasi Penelitian

Lokasi tambang PT. Semen Padang berada di Bukit Karang Putih, Indarung, Kecamatan Lubuk Kilangan, Kota Padang, Provinsi Sumatera Barat ± 15 KM di sebelah Timur Kota Padang secara administrasi termasuk dalam Kecamatan Lubuk Kilangan, Kota Padang, Provinsi Sumatera Barat dengan ketinggian lebih kurang 200 mdpl. Secara geografis terletak pada 10 04' 30" LS sampai 10 06' 30" LS dan 1000 15' 30" BT sampai 1000 10' 30" BT. Lokasi penambangan ini secara geografis berbatasan dengan :

- Sebelah Barat berbatasan dengan kota Padang.
- Sebelah Timur berbatasan dengan Kabupaten Solok.
- Sebelah Utara berbatasan dengan Kabupaten Agam.
- Sebelah Selatan berbatasan dengan Kabupaten Pesisir Selatan.

Secara Geografis wilayah Indarung mulai naik sampai kaki pegunungan Bukit Barisan membujur dari Utara ke Selatan pulau Sumatera dengan ketinggian ± 200 m dari permukaan laut dengan puncak ketinggian mencapai 500 m dari permukaan laut. Bukit Karang Putih dan daerah sekitarnya merupakan daerah perbukitan bergelombang yang memiliki lereng curam. Lokasi penelitian dapat dicapai dari kota Padang lewat jalan darat beraspal dengan kendaraan roda empat sampai di lokasi kantor operasi tambang.

PT. Semen Padang dilalui oleh jalan utama yang menghubungkan Kota Padang dan Kota Solok. Lokasi penambangan batu kapur dan silika ini dihubungkan dengan jalan yang telah dibeton. Lokasi PT. Semen Padang.



Gambar 2. Peta Kesempaan Daerah PT. Semen Padang

PT. Semen Padang memiliki 3 Area penambangan yang terdiri dari Area 242 (Tajarang), Area Pit Limit, dan Area Eksisting. Pengambilan data dilakukan pada Area 242 (Tajarang) yang terletak pada ketinggian lebih kurang 700 – 600 Mdpl. Penambangan dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 3. Area Penambangan Batu Karang Putih PT. Semen Padang

3 Kajian Teori

3.1 Kekar

Salah satu struktur geologi yang dijumpai pada batuan sebagai hasil dari gaya-gaya yang bekerja pada batuan adalah kekar. Kekar adalah struktur yang dihasilkan dari batuan yang brittle^[1], dimana batuan relatif belum mengalami dislokasi/pergeseran, hanya peregangan (extension). Kekar terbentuk akibat deformasi yang bersifat rapuh (brittle) dan banyak ditemui di berbagai jenis batuan^[2]. Sistem kekar terbentuk dari kumpulan beberapa set kekar yang memiliki orientasi berbeda^[3]. Kekar ialah berupa bidang retak tanpa pergeseran pada tubuh batuan dan dapat hadir secara sistematis karena terbentuk oleh gaya tektonik dan dapat dianalisis sebagai interpretasi gaya tektonik pembentuknya dari data sistematisnya.^[4]

Kekar terbentuk akibat dari gagalnya sebuah batuan untuk menahan elastisitasnya dari stress yang mengenai suatu batuan. Karakteristik umum yang ditemui pada kekar, ialah:

- Pemotongan bidang perlapisan batuan
- Biasanya terisi mineral lain/mineralisasi seperti kalsit, kuarsa, dan sebagainya. Oleh karena sifatnya sebagai bidang retak, ia seringkali menjadi jalur perpindahan fluida. Kekar yang diisi mineral disebut

urat (vein), sedangkan yang tidak terisi mineral disebut joint.

3. Dapat dikelompokkan berdasarkan sifat dan karakter retakan/rekahan, serta arah gaya yang bekerja pada batuan tersebut.

Kekar memiliki berbagai ukuran, mulai dari ukuran milimeter (kekar mikro) hingga ratusan kilometer (kekar mayor). Kekar dapat dijumpai pada semua batuan beku dalam, sebagian besar batuan lelehan, sedimen yang tidak mengalami gangguan tektonik dan masih lepas, lapisan batubara yang sedikit terangkat, serta pegunungan lipatan dan batuan kristalin berumur pratersier (pola kekar rumit).

3.1.1 Orientasi Kekar (Joint Plane Orientation)

Orientasi kekar yaitu kedudukan dari kekar yang meliputi arah dan kemiringan bidang. Orientasi dari kekar dapat dilihat pada Gambar 4.

- a. Strike (jurus)

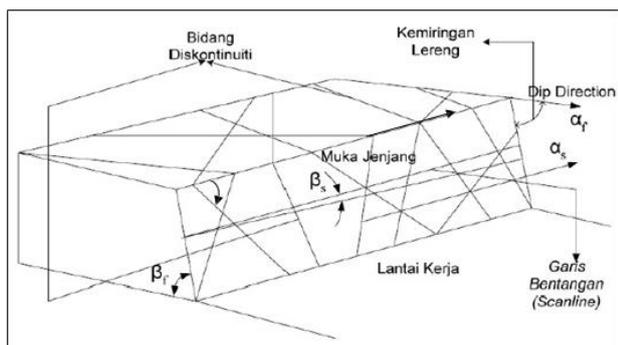
Merupakan garis yang terbentuk dari perpotongan kekar dengan bidang horizontal yang arahnya diukur dari utara searah jarum jam.

- b. Dip direction (arah penunjaman)

Dip direction merupakan arah penunjaman dari kekar. Dip direction diukur dari utara searah jarum jam kearah penunjaman tersebut atau sama dengan 90o dari strike searah jarum jam kearah penunjaman.

- c. Dip (kemiringan bidang)

Dip adalah sudut yang diukur dari bidang horizontal kearah kemiringan kekar.



Gambar 4. Orientasi Kekar dan Scanline

3.1.2 Spasi Kekar (Joint Spacing)

Adanya kekar pada massa batuan cenderung akan memperburuk kekuatan massa batuan. Karakteristik mekanik massa batuan bergantung pada frekuensi atau jarak serta orientasinya. Spasi kekar adalah jarak tegak lurus antara kekar yang mempunyai kesamaan arah (satu keluarga) yang berurutan sepanjang garis pengukuran yang dibuat sembarang. Pengukuran tersebut dapat dilakukan dengan metode scanline. Metode ini dapat digunakan untuk mengetahui orientasi kekar pada permukaan yang dianggap mewakili orientasi kekar batuan secara keseluruhan. Peralatan yang dipakai berupa tali, kompas, papan klip (clipboard), dan penggaris. Cara pengambilan data dengan metode scanline sampling adalah dengan mencatat semua karakteristik kekar yang memotong tali yang dibentangkan di sepanjang permukaan. Secara

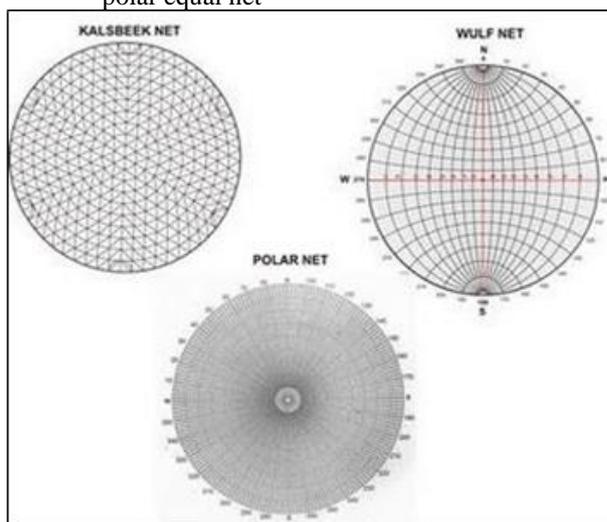
sistematik, teknik pengambilan data kekar dalam penelitian ini meliputi :

- a. Pengukuran dip direction dan dip scanline
- b. Pengukuran dip direction dan dip lereng (face)
- c. Pengukuran kekar, yang terdiri dari dip direction dan dip kekar dan jarak/spasi antara dua kekar

3.1.3 Set Kekar (Joint Set)

Set kekar adalah sejumlah kekar yang memiliki orientasi yang relatif sama, atau sekelompok joint yang paralel. Dalam satu set kekar dapat memperoleh arah umum kekar dengan metode statistik dengan diagram kontur proyeksi stereografis. Proyeksi stereografis adalah proyeksi yang didasarkan pada perpotongan bidang dengan suatu permukaan bola. Proyeksi stereografis ini dapat dilakukan dengan bantuan beberapa diagram stereografis seperti polar net, kalsbeek net, dan wulf net yang dapat dilihat pada Gambar 5. Setelah dilakukan pengambilan data orientasi kekar, maka cara memperoleh arah umum kekar dengan tahapan sebagai berikut :

- a. Plot data dip dan dip direction dengan polar net.
- b. Perhitungan kerapatan data pada segi 6 dengan menggunakan kalsbeek net.
- c. Pembuatan kontur sesuai dengan kerapatan data yang sama.
- d. Membuat garis hingga titik puncak kontur dan membaca kedudukan arah umum kekar pada polar equal net



Gambar 5. Contoh Stereogram

3.2 Pengertian Peledakan

Peledakan merupakan kegiatan pemecahan suatu material (batuan) dengan menggunakan bahan peledak untuk memberai tanah penutup, membongkar batuan padat atau material berharga atau endapan bijih yang bersifat kompak dari batuan induknya menjadi material yang cocok untuk dikerjakan dalam proses produksi berikutnya^[5]. Peledakan merupakan salah satu metode yang dapat digunakan untuk pembongkaran material. Teknik peledakan merupakan tindak lanjut dari kegiatan pemboran, dimana tujuannya adalah untuk melepaskan batuan dari batuan induknya agar menjadi fragmen-fragmen yang berukuran lebih kecil sehingga

memudahkan dalam proses penanganan material selanjutnya.

Bahan peledak adalah suatu bahan kimia senyawa tunggal atau campuran berbentuk padat, cair, atau campurannya yang apabila diberi aksi panas, benturan, gesekan, atau ledakan awal akan mengalami suatu reaksi kimia eksotermis sangat cepat dan hasil reaksinya sebagian atau seluruhnya berbentuk gas disertai panas dan tekanan sangat tinggi yang secara kimia lebih stabil^[6]. Peledakan memiliki daya rusak yang bervariasi tergantung jenis bahan peledak yang digunakan dan tujuan digunakannya bahan peledak tersebut.

Suatu operasi peledakan dinyatakan berhasil dengan baik pada kegiatan penambangan apabila target produksi terpenuhi, penggunaan bahan peledak efisien yang dinyatakan dalam jumlah batuan yang berhasil dibongkar per kilogram bahan peledak (yang disebut Powder Factor), diperoleh fragmentasi ukuran merata dengan sedikit bongkah (kurang dari 15% dari jumlah batuan yang terbongkar perpeledakan), diperoleh dinding batuan yang stabil dan rata (tidak ada overbreak, overhang, dan retakan-retakan), dan dampak terhadap lingkungan terminimalisir^[7].

3.3 Geometri Peledakan

3.3.1 Geometri Peledakan RL.Ash

Berdasarkan pengalaman empirik yang diperoleh diberbagai tempat dengan jenis pekerjaan dan batuan yang berbeda-beda, rumusan-rumusan empiric yang dapat digunakan sebagai pedoman dalam rancangan awal suatu peledakan batuan.^[8]

3.3.1.1 Burden

Burden adalah jarak tegak lurus antara lubang tembak dengan bidang bebas yang panjangnya tergantung pada karakteristik batuan.. Untuk menentukan burden, R.L. Ash (1967) mendasarkan pada acuan yang dibuat secara empirik, yaitu adanya batuan standar dan bahan peledak standar.

$$Af1 = \frac{(Dstd)^{\frac{1}{3}}}{D}$$

$$Af2 = \left(\frac{SG \times (Ve)^2}{SGstd \times (Vestd)^2} \right)^{1/3}$$

$$Kbterkoreksi = Kbstandar \times Af1 \times Af2$$

$$B = \frac{Kb \times De}{12} \text{ ft}$$

Keterangan :

Af 1 = Adjustment Factor untuk batuan yang diledakkan

Af 2 = Adjustment Factor untuk handak yang dipakai

De = Diameter lubang ledak (inch).

Kbstd = Burden ratio standar (30).

SG = Spesific gravity bahan peledak yang dipakai.

Ve = Kecepatan ledak bahan peledak yang dipakai (ft/s).

SGstd= Spesific Gravity bahan peledak standar (1,20).

Vestd = Kecepatan ledak bahan peledak standar (12000 Ft/s).

3.3.1.2 Spasi

Spasi adalah jarak antar lubang tembak dirangkai dalam satu baris dan diukur sejajar terhadap bidang bebas.

$$S = Ks \times B$$

Keterangan:

$$Ks = \text{Spacing ratio (1,0 - 2,0)}$$

$$= \text{Burden (m)}$$

3.3.1.3 Stemming

Stemming merupakan panjang isian lubang ledak yang tidak diisi bahan peledak, Untuk menghitung panjang stemming perlu ditentukan dulu stemming ratio (Kt), yaitu perbandingan panjang stemming dengan burden. Biasanya Kt standar yang dipakai 0,70 dan ini cukup untuk mengontrol airblast, flyrock dan stress balance. Apabila $Kt < 1$ maka akan terjadi cratering atau backbreaks terutama pada collar priming. Untuk menghitung stemming dipakai persamaan:

$$T = Kt \times B$$

Keterangan :

$$T = \text{Stemming (m)}$$

$$Kt = \text{Stemming ratio (0,7 - 1,0)}$$

$$B = \text{Burden (m)}$$

3.3.1.4 Subdrilling

Subdrilling merupakan kelebihan panjang lubang ledak pada bagian bawah lantai jenjang. Panjang subdrilling diperoleh dengan menentukan harga subdrilling ratio (Kj) yang besarnya tidak lebih kecil dari 0,20. Untuk batuan massive biasanya dipakai Kj sebesar 0,3.

Hubungan Kj dengan burden diekspresikan dengan persamaan sebagai berikut:

$$J = Kj \times B$$

Keterangan :

$$J = \text{Subdilling (m)}$$

$$Kj = \text{Subdilling ratio (0,2 - 0,4)}$$

$$B = \text{Burden (m)}$$

3.3.1.5 Kedalaman Lubang bor

Kedalaman lubang ledak merupakan penjumlahan dari panjang stemming dengan panjang kolom isian (PC) bahan peledak. Kedalaman lubang ledak biasanya disesuaikan dengan tingkat produksi (kapasitas alat muat) dan pertimbangan geoteknik. Menurut R.L. Ash, kedalaman lubang ledak berdasarkan pada hole depth ratio (Kh) yang harganya berkisar antara 1,5 - 4,0.

Hubungan kedalaman lubang ledak dengan burden adalah sebagai berikut:

$$H = Kh \times B$$

Keterangan:

$$H = \text{Kedalaman lubang bor (m)}$$

$$Kh = \text{Hoe depth ratio (1,5 - 4)}$$

$$B = \text{Burden (m)}$$

3.3.1.6 Panjang Kolom Isian

Panjang kolom isian merupakan hasil pengurangan dari kedalaman lubang ledak dengan panjang stemming.

$$PC = H - T$$

Keterangan:

$$PC = \text{Panjang kolom isian (m)}$$

H = Kedalaman lubang ledak (m)

T = Stemming (m)

3.3.2 Geometri Peledakan Modern Technique of Rock Blasting (Ulf Långfors)

3.3.2.1 Diameter Lubang Ledak

Pada umumnya pemilihan diameter lubang ledak tergantung pada : Sifat batuan (Rock Properties) : sifat fisik, sifat mekanik, Tingkat fragmentasi yang diinginkan. Dengan diameter lubang tembak yang terlalu kecil, jumlah bahan peledak yang dapat ditempatkan di dalam lubang sedikit, mengakibatkan energi peledakan yang dihasilkan akan kecil, sehingga tidak cukup untuk membongkar batuan yang akan diledakkan. Diameter lubang tembak yang terlalu besar juga akan mengakibatkan energi peledakan yang terlalu besar, yang nantinya berakibat material hasil peledakan terlalu hancur. Ini semua tergantung dari jenis bahan peledak yang digunakan.

3.3.2.2 Burden

Burden adalah jarak dari lubang ledak dengan bidang bebas yang terdekat ke arah mana perpindahan batuan akan terjadi. Pada daerah ini energi ledakan adalah yang terkuat dan yang pertama kali bereaksi pada bidang bebas. Jarak burden yang baik adalah jarak yang memungkinkan energi secara maksimal dapat bergerak keluar dari kolom isian menuju bidang bebas dan dipantulkan kembali dengan kekuatan yang cukup untuk melampaui kuat tarik batuan sehingga akan terjadi penghancuran. Nilai burden yang optimum akan menghasilkan fragmentasi batuan yang sesuai dan perpindahan dari pecahan batuan sesuai dengan yang diinginkan. Jarak burden yang terlalu kecil akan menyebabkan batu terbang (fly rock) dan suara yang keras (noise). Sedangkan jarak burden yang terlalu besar akan menghasilkan bongkah dan akan menyebabkan batuan disekitar burden tidak akan hancur.^[9] Persamaan dalam menentukan burden maximum adalah sebagai berikut:

$$B_{max} = 1,36 \sqrt{lb}$$

dimana :

B_{max} = Burden maximum (m)

lb = charge concentration, kg/m lb
= 7,85 d² x P

dimana: d = diameter lubang tembak

P = packing degree (kg/liter)

B = B_{max} - E

dimana : B = Partical Burden (m)

E = Kesalahan Pemboran (m)

Kesalahan pemboran ada dua macam, yaitu:

collar error = diameter (mm)

alignment error = 0,03 m/m dari kedalaman lubang tembak

$$E = d/100 + 0,03 \times H(m)$$

3.3.2.3 Subdrilling

Subdrilling adalah bagian dari lubang bor yang terletak di bawah dasar jenjang. Pada peledakan jenjang, bagian dasar merupakan bagian yang paling sukar hancur, disebabkan tegangan tarik pada bagian tersebut kecil dan

material tertahan bagian lain di bawahnya. Hal ini menyebabkan terjadinya tonjolan (toe) di bagian bawah jenjang. Adapun persamaan yang digunakan dalam menentukan subdrilling sebagai berikut : Subdrilling = 0,3 x burden maximum, paling sedikit 10 x d
U = 0,3 x B_{max} (m).

3.3.2.3 Kedalaman lubang tembak

Kedalaman lubang tembak merupakan penjumlahan dari besarnya tinggi jenjang dengan subdrilling. Kedalaman lubang ledak biasanya disesuaikan dengan tingkat produksi (kapasitas alat muat) dan pertimbangan geoteknik. Persamaannya sebagai berikut : Kedalaman lubang tembak = tinggi jenjang + subdrilling + 5 cm/m dari kedalaman lubang tembak apabila kemiringan 3 : 1.

$$H = K + U \cdot 0,05 (K + U)$$

$$H = 1,05 (K + U)$$

Kemiringan lubang tembak akan menghasilkan sudut peledakan yang menguntungkan, sehingga panjang subdrilling dapat dikurangi.

3.3.2.4 Spacing

Spacing merupakan jarak antara lubang-lubang tembak yang dirangkai dalam satu baris dan diukur sejajar terhadap dinding jenjang. Spacing yang lebih kecil dari ketentuan akan menyebabkan ukuran batuan hasil peledakan terlalu hancur. Tetapi jika spacing lebih besar dari ketentuan akan menyebabkan banyak terjadi bongkah (boulder) dan tonjolan (stump) diantara dua lubang ledak setelah peledakan. Adapun persamaan yang digunakan dalam menentukan spacing sebagai berikut :
S = 1,25 x B (m).

Apabila nisbah S/B dirubah sedangkan specific drilling atau specific charge tidak dirubah maka:

S/B > 1,25 fragmentasi kecil

S/B < 1,25 fragmentasi besar

Specific drilling adalah pemboran yang diperlukan untuk meledakkan 1 meter kubik batuan (kebalikan 'equivalent volume')

3.3.2.5 Stemming

Stemming adalah lubang ledak bagian atas yang tidak diisi bahan peledak, biasanya diisi oleh abu hasil pemboran atau material berukuran kerikil dan dipadatkan diatas bahan peledak. Ukuran stemming yang terlalu pendek menyebabkan energi terbuang sia-sia dan menghasilkan fly rock. Stemming terlalu besar menyebabkan tidak kuatnya energi untuk membongkar batuan bagian atas. Ukuran stemming yang optimum dapat menghasilkan kegiatan peledakan yang optimum. Persamaan yang digunakan adalah :

$$T = h_o = B$$

dimana : h_o = Tinggi stemming

h_o > B, resiko terjadi 'fly rock' bertambah

h_o < B, menghasilkan lebih banyak bongkah-bongkah (boulders)

3.3.2.6 Tinggi Jenjang

Secara spesifik tinggi jenjang maksimum ditentukan oleh peralatan lubang bor dan alat muat yang tersedia. Tinggi jenjang berpengaruh terhadap hasil

peledakan seperti fragmentasi batuan, ledakan udara, batu terbang dan getaran tanah. Hal ini dipengaruhi oleh jarak burden. Berdasarkan perbandingan tinggi jenjang dan jarak burden yang diterapkan (*stiffness ratio*), yaitu tinggi jenjang dibagi dengan burden atau L/B dan pengaruhnya dapat dilihat pada Tabel 1.1. Rumus tinggi jenjang untuk Lubang ledak miring:

$$L = (H-U) \cos \alpha$$

Rumus tinggi jenjang untuk Lubang ledak tegak :

$$L = H-U$$

$$SF = L/B$$

Dimana :

SF : *Stiffness ratio*

L : Tinggi jenjang (m)

B : Burden (m)

Tabel 1. *Stiffness ratio* dan pengaruhnya

Stiffness ratio	Fragmentasi	Airblast	Flyrock	Vibrasi	Keterangan
1	Jelek	Berpotensi	Berpotensi	Berpotensi	Potensi terjadinya backbreak dan toe harus dihindari dan dirancang ulang
2	Sedang	Sedang	Sedang	Sedang	Sebaiknya dirancang ulang
3	Baik	Baik	Baik	Baik	Terkontrol dan fragmentasi memuaskan
4	Sempurna	Sempurna	Sempurna	Sempurna	Tidak menguntungkan lagi bila stiffness ratio lebih dari 4

3.3 Fragmentasi Hasil Peledakan

Fragmentasi hasil peledakan adalah istilah umum untuk menunjukkan ukuran setiap bongkah batuan hasil peledakan. Ukuran fragmentasi tergantung pada proses selanjutnya. Untuk tujuan tertentu ukuran fragmentasi yang besar atau bongkah diperlukan, misalnya disusun sebagai penghalang ditepi jalan tambang. Namun kebanyakan diinginkan ukuran fragmentasi yang kecil karena penanganan selanjutnya akan lebih mudah.

Fragmentasi hasil peledakan adalah salah satu faktor untuk menentukan keberhasilan suatu produk. Dimana tingkat fragmentasi diharapkan dapat sesuai dengan kapasitas bucket excavator dalam pekerjaan loading material serta berpengaruh terhadap pengoptimalan kinerja crusher dalam meremukkan material.

Dalam Peledakan, ukuran partikel fragmentasi hasil peledakan dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

3.3.1 Over Size Boulder

Size (ukuran batuan) yang membutuhkan *secondary blasting*.

3.3.2 Fines

Ukuran batuan yang sangat kecil dan halus, dan produk menjadi susah dalam *transport*, dikarenakan *loose material*.

3.3.3 Mid – Range

Ukuran rata-rata partikel yang ekonomis dan dapat dilakukan transportasi yang sesuai dengan kriteria perusahaan.

3.4 Fragmentasi Hasil Peledakan dengan Metode Kuz-ram

Semakin besar ukuran fragmentasi yang dihasilkan maka akan semakin lama waktu yang dibutuhkan oleh alat gali muat untuk menggali material hasil peledakan, begitu sebaliknya jika fragmentasi yang dihasilkan semakin kecil maka semakin cepat waktu yang dibutuhkan oleh alat gali muat untuk menggali material hasil peledakan.

Tingkat fragmentasi batuan merupakan tingkat pecahan material sebagai hasil dari proses peledakan. Untuk memperkirakan ukuran rata-rata fragmentasi batuan hasil peledakan secara teori dapat digunakan persamaan *Kuznetsov (1973)*^[10]:

$$X = A_0 \times \left[\frac{v}{Q} \right]^{0,8} \times Q^{0,17} \times \left[\frac{E}{115} \right]^{-0,63}$$

Keterangan:

X = Rata-rata ukuran fragmentasi

A₀ = Faktor batuan (*Rock Factor*),

V = Volume batuan per lubang

Q = Jumlah bahan peledak tiap lubang

E = *Relative Weight Strength* bahan Peledak

Untuk menentukan distribusi bongkahan fragmentasi

hasil peledakan dapat digunakan persamaan *Roslin-Ramler* yaitu:

$$Rx = e^{-\left(\frac{x}{Xc}\right)^n}$$

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

$$n = \left(2,2 - 14 \frac{B}{De} \right) \times \left[\frac{1+S/B}{2} \right]^{0,5} \times X \left(1 - \frac{W}{B} \right) \times \left(\frac{Pc}{H} \right)$$

Keterangan:

n = Indeks Keseragaman

B = *Burden* (m)

De = Diameter Lubang Ledak (mm)

S = Spasi (m)

W = Standar Deviasi Lubang Bor (m)

PC = Panjang Kolom Isian (m)

L = Tinggi Jenjang (m)

Xc = Karakteristik Ukuran X = Fragmentasi rata-rata

Rx = Persentase material yang tertahan (%)

x = Ukuran ayakan (cm)

Sedangkan untuk perhitungan faktor batuan dilakukan dengan pembobotan batuan *Lily (1986)*. Persamaan faktor batuan adalah sebagai berikut^[11]:

$$BI = 0,5 \times (RMD+JPS+JPO+SIGI+H)$$

$$A = BI \times 0,12$$

Keterangan:

- BI = Blastibility index
- RMD = Rock mass description
- JPS = Joint plane spacing
- JPO = Joint plane orientation
- SIGI = Spesific gravity index
- H = Hardness
- A = Faktor batuan

4 Metode Penelitian

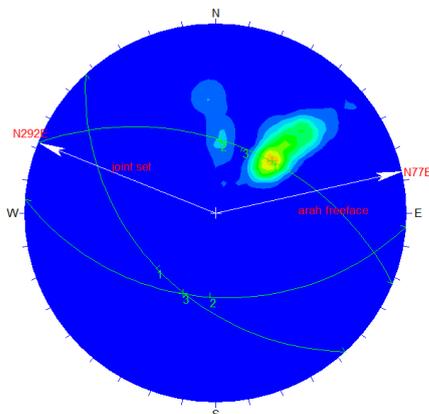
Jenis penelitian yang dilakukan adalah penelitian terapan. Penelitian terapan dilakukan berkenaan dengan kenyataan-kenyataan praktis, penerapan, dan pengembangan ilmu pengetahuan yang dihasilkan oleh penelitian dasar. Tujuan utama penelitian terapan adalah mencari solusi tentang masalah-masalah tertentu sehingga dapat secara langsung diterapkan untuk memecahkan permasalahan yang dihadapi.

5 Hasil dan Pembahasan

5.1 Analisis Orientasi Arah Kekar

Untuk pengambilan data plotting dilakukan pada front 1 area eksisting tambang PT. Semen Padang. Pengambilan data kekar dilakukan dengan metode scanline yaitu dengan mengambil data berupa strike, dip, persistence, kekasaran, pengisi, pelapukan, kondisi air tanah. Data scanline dilakukan sepanjang 20 meter pada bench yang nantinya akan dilakukan kegiatan peledakan

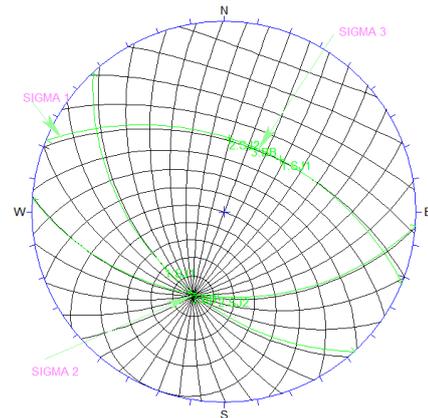
Hasil analisis orientasi kekar pada front 1 PT. Semen Padang didapatkan proyeksi kekar seperti pada gambar 1. Dari hasil proyeksi stereonet terdapat adanya 2 family kekar yaitu dengan nilai strike dan dip 137/44 dan 94/42 dengan arah umum kekar yang di dapat adalah sebesar N292E dengan arah freeface peledakan N77E:



Gambar 12. Proyeksi Arah Umum Kekar

Bahwa pada kekar yang dianalisis terdapat proyeksi sigma pada kekar tersebut memiliki nilai trend dan plunge sebesar 294/04 pada sigma 1, 04/48 pada sigma 2, dan 27/49 pada sigma 3. Sehingga dari proyeksi kekar

tersebut plunge pada sigma 3 > sigma 2 > sigma 1 maka berdasarkan skema Anderson,1951 kekar yang terbentuk adalah kekar naik



Gambar 13. Steronet Analisis Kekar

5.2 Geometri Peledakan Aktual

NO	LOKASI	GEOMETRI AKTUAL							
		B	S	PC	J	T	d	H	L
1	Front I	4,5	4,9	6,2	-	4,5	5	10,7	10
2	Front I	5	5,3	5,3	-	5	5	10,3	10
3	Front I	4	5,2	6	-	4	5	11	10
4	Front I	4,4	5,8	6	-	4,4	5	10,4	10
5	Front I	4,2	5,1	5,5	-	4,2	5	9,7	10
6	Front I	4,6	5,3	5,5	-	4,6	5	10,1	10
7	Front I	4	5,2	5,8	-	4	5	9,8	10

5.3 Hasil Fragmentasi Peledakan Aktual

Pada proses peledakan, pengangkutan dan peremukan pada Front I di Pit Eksisting PT. Semen Padang diperlukan adanya keselarasan antara ketiga tersebut agar kegiatan penambangan menjadi efektif, untuk material yang bisa ditampung oleh feeding crusher agar dapat diremukkan merupakann material yang lolos pada saringan 80 cm, sehingga diharapkan hasil fragmentasi dari peledakan tidak ada yang ukurannya lebih dari 80 cm. Adapun hasil analisis fragmentasi peledakan dengan data peledakan aktual dengan menggunakan software split desktop

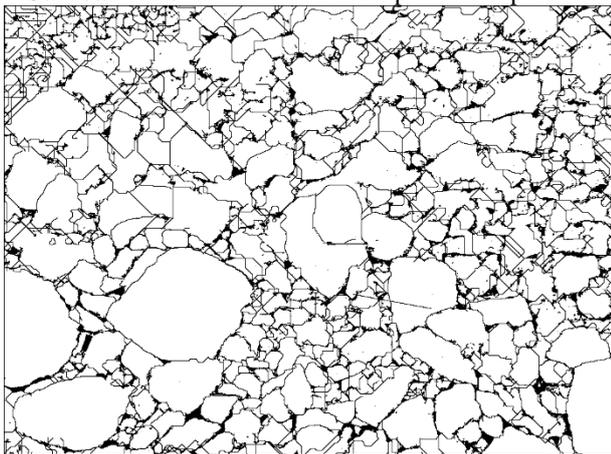
5.3.1 Peledakan Aktual Front I Pertama

Berdasarkan gambar dibawah dijelaskan bahwa ukuran fragmentasi hasil peledakan pada front I di pit eksisting PT. Semen Padang mempunyai persentase lolos sebesar 90% untuk ukuran saringan 80 cm, artinya masih terdapat 10 % ukuran fragmentasi yang tidak lolos pada saringan 80 cm yang dimana masih ada batuan oversize pada kegiatan peledakan. Dimana kemampuan crusher yang terdapat pada front 1 hanya mampu menyaring ukuran fragmentasi batuan maksimal sebesar 80 cm, sehingga mengakibatkan batuan dengan persentase lolos diatas 80 cm tidak bisa direduksi oleh crusher, batuan tersebut akan tersangkut pada saringan,

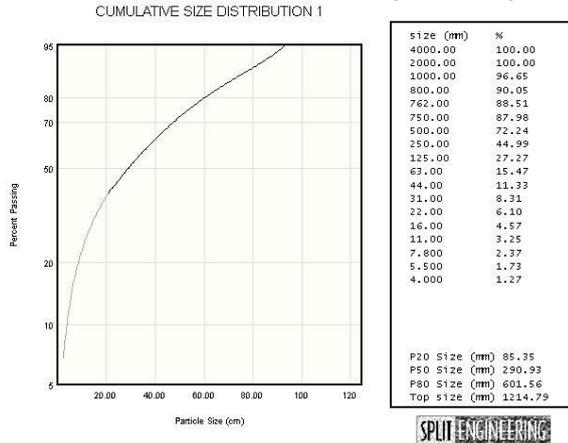
hal ini akan berpengaruh pada kinerja crusher yaitu akan memperlama waktu kerja crusher tersebut.



Gambar 15. Sebaran batuan hasil peledakan pertama



Gambar 16. Proses analisis batuan peledakan pertama



Gambar 17. Hasil analisis peledakan batuan pertama

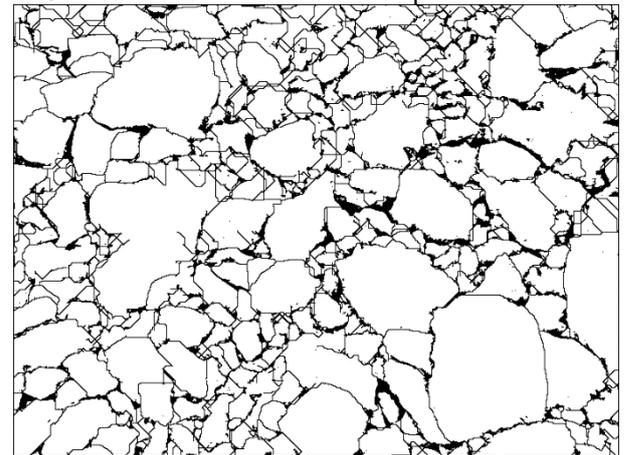
5.3.2 Peledakan Front I Kedua

Berdasarkan gambar dibawah dijelaskan bahwa ukuran fragmentasi hasil peledakan pada front I di pit eksisting PT. Semen Padang mempunyai persentase lolos sebesar 82,590% untuk ukuran saringan 80 cm, artinya masih terdapat 17,41 % ukuran fragmentasi yang tidak lolos pada saringan 80 cm yang dimana masih ada batuan oversize pada kegiatan peledakan. Dimana kemampuan crusher yang terdapat pada *front 1* hanya mampu menyaring ukuran fragmentasi batuan maksimal sebesar 80 cm, sehingga mengakibatkan batuan dengan persentase lolos diatas 80 cm tidak bisa direduksi oleh

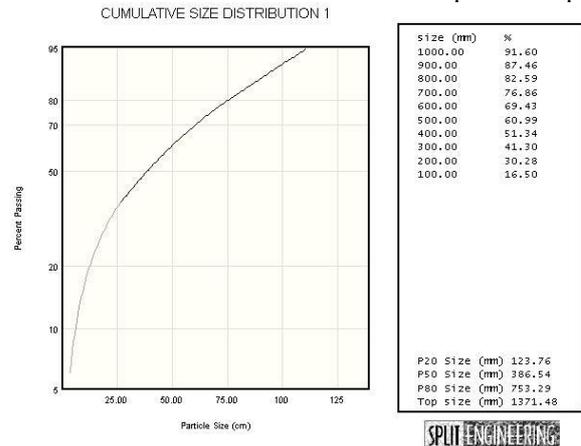
crusher, batuan tersebut akan tersangkut pada saringan, hal ini akan berpengaruh pada kinerja crusher yaitu akan memperlama waktu kerja crusher tersebut.



Gambar 18. Sebaran batuan hasil peledakan kedua



Gambar 19. Proses analisis batuan 2 split desktop



Gambar 20. Hasil analisis batuan 2 split desktop

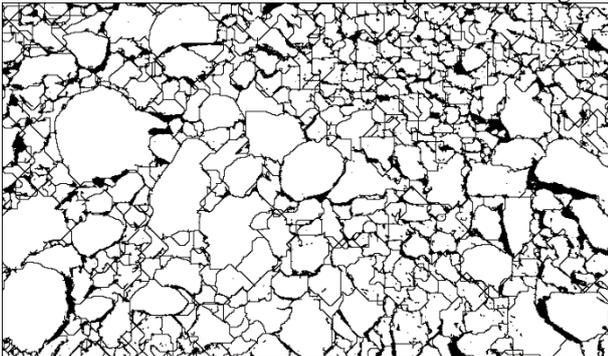
5.3.3 Peledakan Front I Ketiga

Berdasarkan gambar dibawah dijelaskan bahwa ukuran fragmentasi hasil peledakan pada front I di pit eksisting PT. Semen Padang mempunyai persentase lolos sebesar 78,19% untuk ukuran saringan 80 cm, artinya masih terdapat 21,81 % ukuran fragmentasi yang tidak lolos pada saringan 80 cm yang dimana masih ada batuan oversize pada kegiatan peledakan. Dimana kemampuan crusher yang terdapat pada *front 1* hanya mampu menyaring ukuran fragmentasi batuan maksimal sebesar 80 cm, sehingga mengakibatkan batuan dengan

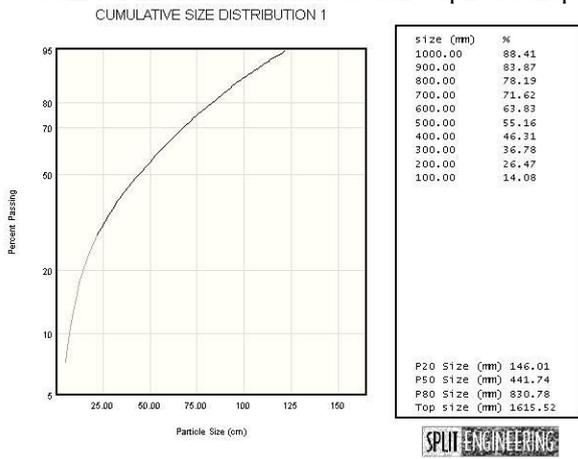
persentase lolos diatas 80 cm tidak bisa direduksi oleh crusher, batuan tersebut akan tersangkut pada saringan, hal ini akan berpengaruh pada kinerja crusher yaitu akan memperlama waktu kerja crusher tersebut.



Gambar 21. Sebaran batuan hasil peledakan ketiga



Gambar 22. Proses analisis batuan 3 split desktop



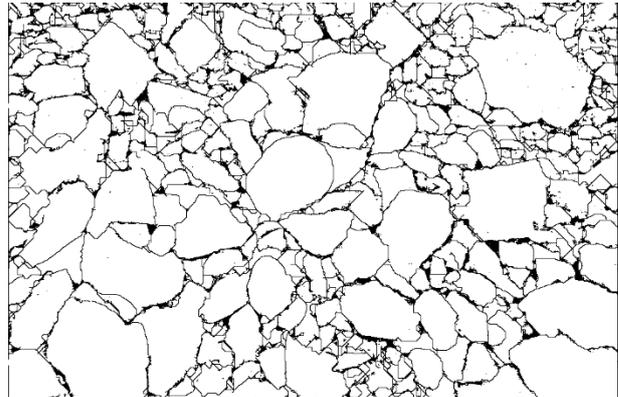
Gambar 23. Hasil analisis batuan 3 split desktop

5.3.4 Peledakan Front I Keempat

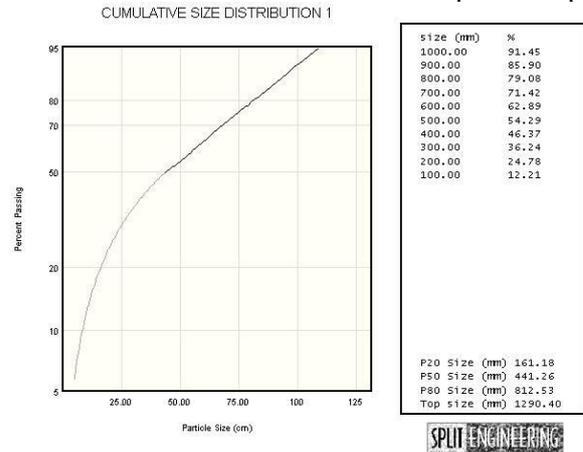
Berdasarkan gambar dibawah dijelaskan bahwa ukuran fragmentasi hasil peledakan pada front I di pit eksisting PT. Semen Padang mempunyai persentase lolos sebesar 79,08% untuk ukuran saringan 80 cm, artinya masih terdapat 20,82 % ukuran fragmentasi yang tidak lolos pada saringan 80 cm yang dimana masih ada batuan oversize pada kegiatan peledakan. Dimana kemampuan crusher yang terdapat pada front 1 hanya mampu menyaring ukuran fragmentasi batuan maksimal sebesar 80 cm, sehingga mengakibatkan batuan dengan persentase lolos diatas 80 cm tidak bisa direduksi oleh crusher, batuan tersebut akan tersangkut pada saringan, hal ini akan berpengaruh pada kinerja crusher yaitu akan memperlama waktu kerja crusher tersebut.



Gambar 24. Sebaran batuan hasil peledakan ke-empat



Gambar 25. Proses analisis batuan 4 split desktop



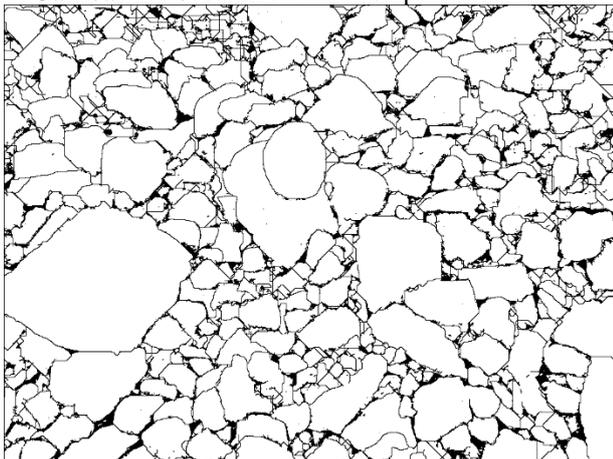
Gambar 26. Hasil analisis batuan 4 split desktop

5.3.5 Peledakan Front I Kelima

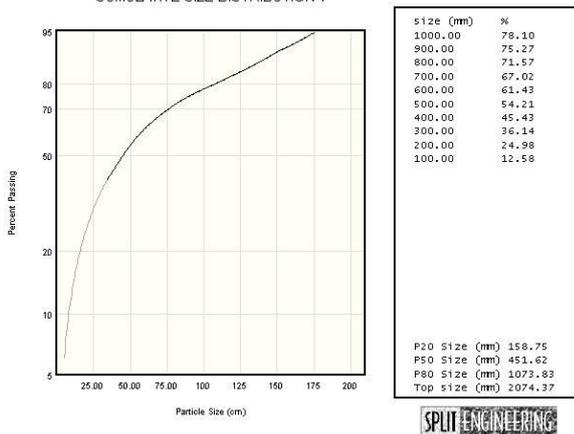
Berdasarkan gambar dibawah dijelaskan bahwa ukuran fragmentasi hasil peledakan pada front I di pit eksisting PT. Semen Padang mempunyai persentase lolos sebesar 71,57% untuk ukuran saringan 80 cm, artinya masih terdapat 28,43 % ukuran fragmentasi yang tidak lolos pada saringan 80 cm yang dimana masih ada batuan oversize pada kegiatan peledakan. Dimana kemampuan crusher yang terdapat pada front 1 hanya mampu menyaring ukuran fragmentasi batuan maksimal sebesar 80 cm, sehingga mengakibatkan batuan dengan persentase lolos diatas 80 cm tidak bisa direduksi oleh crusher, batuan tersebut akan tersangkut pada saringan, hal ini akan berpengaruh pada kinerja crusher yaitu akan memperlama waktu kerja crusher tersebut.



Gambar 27. Sebaran batuan hasil peledakan kelima



Gambar 28. Proses analisis batuan 5 split desktop



Gambar 29. Hasil analisis batuan 5 split desktop

Tabel 3. Hasil persentase lolos dan tertahan batuan

No	Lokasi Peledakan	Lolos(%)	Tertahan(%)
1	Front I	90,05	9,95
2	Front I	82,59	17,41
3	Front I	78,19	21,81
4	Front I	79,08	20,82
5	Front I	71,57	28,43
RATA-RATA		80,296	19,704

5.4 Rancangan Usulan Geometri Peledakan

5.4.1 Geometri Peledakan Berdasarkan Teori RL Ash

Tabel 4. Rancangan Geometri Peledakan Usulan dengan Teori RL Ash

NO	PARAMETER	REKOMENDASI		
		1	2	3
1	Burden (B)	5 m	5 m	4,7 m
2	Spasi (S)	6,5 m	6,25 m	5,9 m
3	Stemming (T)	4 m	3,5 m	3,3 m
4	Subdrilling (J)	1,5 m	1,5 m	1,4 m
5	Tinggi Jenjang (L)	10 m	10 m	10 m
6	Kedalaman Lubang Ledak (H)	11,5	11,5 m	11,4 m
7	Powder Colomn (PC)	7,5 m	8 m	8,1 m
8	Densitas Pengisian Bahan Peledak (de)	15,2 kg/m	15,2 kg/m	15,2 kg/m
9	Berat Total Isian Handak	114 kg	121,6 kg	123,12 kg
10	Volume Batuan yang diledakan (V)	373,75 m ³	359,375 m ³	316,122 m ³
11	Powder Factor (PF)	0,30	0,33	0,38

Tabel 5. Rancangan Geometri Peledakan Usulan dengan Teori Ulf Langefors

NO	PARAMETER	NILAI
1	Burden (B)	5 m
2	Spasi (S)	6,25 m
3	Stemming (T)	5 m
4	Subdrilling (J)	1,6 m
5	Tinggi Jenjang (K)	10 m
6	Kedalaman Lubang Ledak (H)	12,2 m
7	Powder Colomn (PC)	7,7 m
8	Densitas Pengisian Bahan Peledak (de)	15,3 kg/m
9	Berat Total Isian Handak	109,376 kg
10	Volume Batuan yang diledakan (V)	381,25 m ³
11	Spesific Charge	0,35kg/m ³

5.5 Prediksi Fragmentasi Rancangan Geometri Usulan

5.5.1 Fragmentasi rancangan geometri usulan RL Ash rekomendasi ke-1

Tabel 6. Hasil fragmentasi usulan RL Ash ke-1

Ukuran fragmentasi	Persentase tertahan	Persentase lolos
100	92,76	7,24
200	81,09	18,91

300	68,26	31,74
400	55,73	44,27
500	44,34	55,66
600	34,64	65,54
700	26,23	73,77
800	19,58	80,42
900	14,35	85,65
1000	10,34	89,66

5.5.2 Fragmentasi rancangan geometri usulan RL Ash rekomendasi ke-2

Tabel 7. Hasil fragmentasi usulan RL Ash ke-2

Ukuran fragmentasi	Persentase tertahan	Persentase lolos
100	92,41	7,59
200	79,73	20,27
300	65,74	34,26
400	52,23	47,77
500	40,18	59,82
600	30,03	69,97
700	21,86	78,14
800	15,52	84,48
900	10,77	89,23
1000	7,32	92,68

5.5.3 Fragmentasi rancangan geometri usulan RL Ash rekomendasi ke-3

Tabel 7. Hasil fragmentasi usulan RL Ash ke-3

Ukuran fragmentasi	Persentase tertahan	Persentase lolos
100	91,3	8,7
200	76,75	23,25
300	61,01	38,99
400	46,33	53,67
500	33,79	66,21
600	23,77	76,23
700	16,18	83,82
800	10,67	89,33
900	6,84	93,16
1000	4,26	95,74

5.5.2 Fragmentasi rancangan geometri usulan Ulf Langefors

Tabel 7. Hasil fragmentasi usulan Ulf Langefors

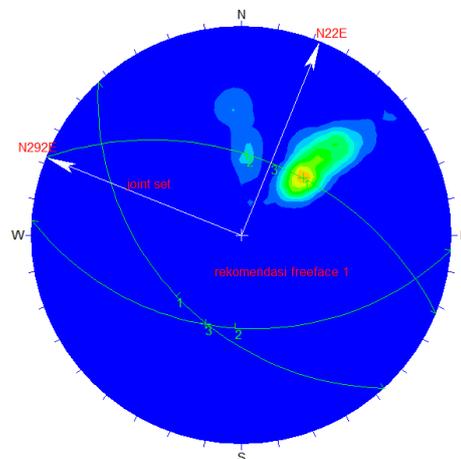
Ukuran fragmentasi	Persentase tertahan	Persentase lolos
100	88,75	11,25
200	72,99	27,01
300	57,38	42,62
400	43,57	56,43

500	32,12	67,88
600	23,09	76,91
700	16,22	83,78
800	11,16	88,84
900	7,53	92,47
1000	4,99	95,01

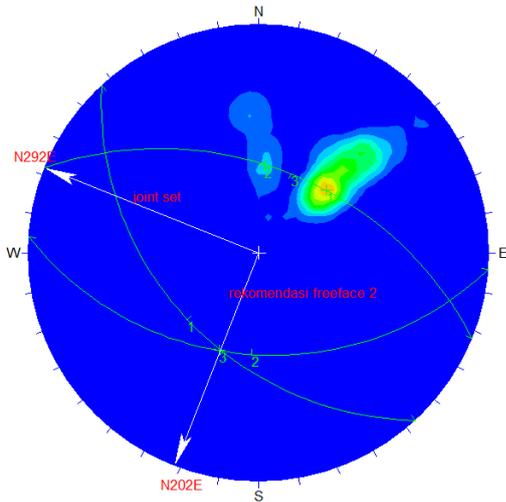
5.6 Pengaruh Orientasi Kekar terhadap Fragmentasi Peledakan

Arah freeface adalah salah satu faktor yang dapat dikendalikan pada Joint Plane Orientation pada Blastibility Index Parameters. Arah freeface menentukan kondisi pada Joint Plane Orientation ditinjau dengan arah umum kekar yang ada pada lapangan. Pada penjelasan Blastibility Index Parameters dijelaskan ada 4 kondisi yang diklasifikasikan. Kondisi tersebut memiliki pembobotan yang berbeda-beda, sehingga arah freeface ini menentukan jumlah pembobotan pada Blastibility Index Parameters.

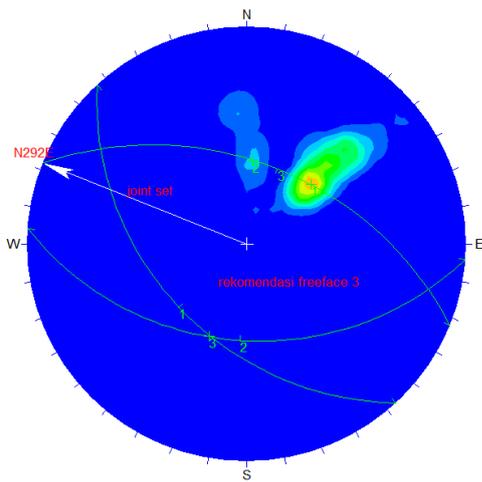
Ada 3 arah freeface yang direkomendasikan, yaitu N202°E, N22°E, dan N292°E yang dapat dilihat pada Tabel 5.1. Meninjau dari arah kekar N292°E, arah freeface N202°E dan N22°E memiliki kondisi dip direction kekar tegak lurus dengan arah freeface sehingga diklasifikasikan pada kondisi strike normal to face. Arah freeface N292°E memiliki keadaan searah dengan arah kekar yaitu N292°E juga, sehingga diklasifikasikan sebagai kondisi dip out of face. Pemilihan arah freeface dipilih berdasarkan keadaan yang lebih menguntungkan daripada arah freeface sebelumnya, karena arah freeface tersebut mengurangi pembobotan pada Joint Plane Orientation. Pengurangan bobot yang awalnya 40 (Dip into Face) menjadi 30 (Strike Normal to Face) dan 20 (Dip Out of Face). Arah freeface rekomendasi dapat dilihat pada Gambar (Strike Normal to Face) dan Gambar (Dip Out of Face).



Gambar 30. Proyeksi arah rekomendasi freeface 1



Gambar 30. Proyeksi arah rekomendasi freeface 2



Gambar 30. Proyeksi arah rekomendasi freeface 3

Tabel 10. Nilai rekomendasi arah freeface

Rekomendasi	Arah freeface	Keadaan	Bobot
Rekomendasi 1	N 202° E	Strike normal to face	30
Rekomendasi 2	N 22° E	Strike normal to face	30
Rekomendasi 3	N292° E	Dip out of face	20

5.7 Analisis Nilai Blastability Index, Rock Factor dan Prediksi Fragmentasi Peledakan Berdasarkan Arah Freeface Rekomendasi

Perhitungan nilai Blastability Index dan Rock Factor pada perhitungan hasil rekomendasi tersebut meng hasilkan perubahan nilai blastability index dan rock factor pula. Hal ini terjadi karena arah freeface peledakan yang berubah sehingga mempengaruhi perubahan nilai Joint Plane Orientation (JPO) yang mengakibatkan blastability index dan rock factor

menjadi berubah pula. Hal ini dapat dilihat pada tabel 11

Tabel 11. Nilai Blastability Index dan Rock Factor

Parameter	Rekomendasi 1	Rekomendasi 2	Rekomendasi 3
Jumlah pembobotan	92	92	82
Blastability Index	46	46	41
Rock Factor	5,52	5,52	4,92

Adanya terjadi penurunan pada indeks peledakan dan faktor batuan, menjadikan hasil distribusi fragmentasi Teori Kuz-Ram juga berubah. Hal ini dikarenakan nilai faktor batuan berbanding lurus pada rumusan ukuran fragmentasi rata-rata. Semakin berkurang faktor batuan, maka semakin berkurang juga ukuran fragmentasi rata-rata serta berkurang pula karakteristik ukuran. Oleh karena itu, nilai persentase tertahan pada ayakan juga berubah.

Penurunan nilai indeks peledakan dan faktor batuan dilakukan kembali karena nilai tersebut mempengaruhi hasil perhitungan prediksi distribusi fragmentasi. Perhitungan pada rekomendasi 1 dan 2 disamakan karena memiliki kondisi Joint Plane Orientation yang diklasifikasikan sama. Hasil perhitungan tersebut dapat dilihat pada Tabel 12

Tabel 12. Persentase lolos ukuran 80 cm

Parameter	Rekomendasi 1	Rekomendasi 2	Rekomendasi 3
Ukuran rata-rata fragmentasi batuan	34,25	34,25	30,05
Indeks keseragaman	1,54	1,54	1,54
Karakteristik ukuran	43,46	43,46	38,13
Persentase lolos ukuran 80 cm	92,26	92,26	95,63

6. Kesimpulan dan Saran

6.1 Kesimpulan

1. Hasil fragmentasi peledakan aktual yang diterapkan pada PT Semen Padang belum optimal karna masih banyak terdapat boulder dan arah freeface peledakan yang belum tepat
2. Perubahan arah freeface awal (dip into face) menjadi freeface rekomendasi (dip out face) menghasilkan perubahan yang signifikan dapat dilihat dari blastability index dan rock factor yang dihasilkan. Penurunan nilai rock factor dapat memperkecil ukuran fragmentasi peledakan sehingga ukuran boulder pada peledakan dapat berkurang

3. Rancangan geometri usulan menggunakan teori dari RL Ash dan the modern technique of rock blasting oleh Ulf Langefors

6.2 Saran

1. Diperlukan perbaikan arah freeface peledakan berdasar hasil rekomendasi yang telah penulis sarankan
2. Diperlukan adanya perbaikan geometri peledakan usulan dari penulis baik menggunakan metode RL Ash atau Ulf Langefors
3. Diperlukan penelitian lebih lanjut untuk validasi hasil pembahasan penelitian ini secara aktual di lapangan.
4. Dilakukan penelitian lebih lanjut menggunakan arah freeface rekomendasi lain yang menghasilkan sudut-sudut yang lebih optimal.

Daftar Pustaka

- [1] Hobbs, Bruce E., Winthrop Dickinson Means, and Paul Frederick Williams. An outline of structural geology. Wiley, (1976).
- [2]Montgomery, Carla W. "Physical Geology, Dubuque: Wm. C." (1987).
- [3] Goldstein, A., and S. Marshak. "Basic Methods of Structural Geology." (1988): 249-268.
- [4]McClay, K. R., and P. G. Ellis. "Geometries of extensional fault systems developed in model experiments." *Geology* 15.4 (1987): 341-344.
- [5]Bhandari, Sushil. Engineering Rock Blasting peration. India : Department of Mine Engineer J.N.V University Jodhpur. (1997).
- [6]Kopa, Raimon. Hand Out Teknik Peledakan. Padang : UNP. (2016).
- [7]Koesnaryo, S. "Teori Peledakan." (2001).
- [8]Ash, R. L. "Mechanics of rock breakage; material properties, powder factor, blasting costs." *Pit and Quarry*,(Nov. 1963) (1963): 109-111.
- [9]Langefors, Ulf, and Björn Kihlström. The modern technique of rock blasting. Wiley, 1978.
- [10]Cunningham, Claude. "The Kuz-Ram Model for production of fragmentation from blasting." *Proc. 1st Symp. on Rock Fragmentation by Blasting*, Lulea. 1983.
- [11] Lilly, PETER A. "An empirical method of assessing rock mass blastability." *The Aus* (1986).