

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Pengeboran

Pengeboran merupakan suatu kegiatan untuk membuat lubang terbuka dengan menggunakan alat bor. Dalam berbagai kegiatan umumnya pengeboran dilakukan untuk kegiatan eksplorasi dan produksi. Pengeboran eksplorasi biasanya dilakukan untuk mencari cebakan minyak, sumber air dan sebaran bahan galian sedangkan untuk produksi bisa pula untuk pembuatan sumur bor, sumur minyak dan pembuatan lubang ledak untuk kegiatan peledak.



Gambar 3.1
Alat Bor Junjin

3.1.1 Sistem Pengeboran Mekanik

Dalam proses pembuatan lubang ledak umumnya pengeboran dilakukan dengan menggunakan alat mekanis dengan kata lain sistem yang digunakan yaitu

sistem pengeboran mekanik. Dalam sistem ini terdapat berbagai metode pengeboran yang digunakan yaitu metode tumbuk (*percussion*), putar (*rotary*) atau tumbuk putar (*rotary percussion*) hal tersebut bergantung dari kekerasan batuan dan alat bor yang digunakan.

1. *Rotary Percussion Drill*

Metode tumbuk putar dapat digunakan untuk berbagai jenis batuan dimana terjadi proses tumbukan dan proses putaran pada saat penetrasi bor. Terhadap massa batuan yang dilaluinya terjadi proses peremukan dan penggerusan sekaligus. Dibandingkan dengan metode *rotary* atau *percussion* saja beberapa penelitian menunjukkan metode ini lebih efektif untuk batuan dengan formasi yang sangat keras. Metode ini dibagi menjadi dua yaitu:

a. *Top Hammer*

Pada metode ini terdapat dua gerakan dasar yaitu putaran dan tumbukan dari gerakan gigi dan piston yang ditransformasikan melalui *shank adaptor* dan batang bor menuju mata bor. Berdasarkan jenis penggeraknya metode ini dibagi menjadi *Hydrolic Top Hammer* dan *Pneumatic Top Hammer*.

b. *Down the Hole Hammer (DTH Hammer)*

Pada metode pengeboran ini, sumber energi dibantu oleh udara bertekanan. DTH dipasang dibelakang mata bor yaitu didalam lubang sehingga hanya sedikit energi tumbukan yang hilang akibat melewati batang bor dan sambungan-sambungannya. Contoh *DTH Hammer* yaitu *jack hammer*.

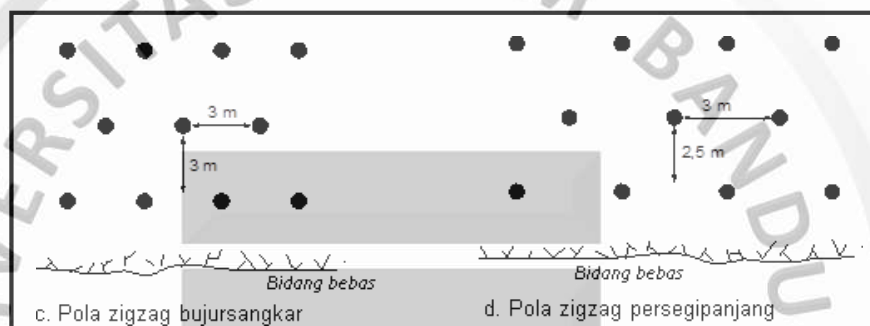
3.1.2 Pola Pengeboran pada Tambang Terbuka

Menurut Saptono 2006, pola pengeboran merupakan suatu pola yang dibentuk secara sistematis untuk menempatkan lubang-lubang ledak agar

mempermudah kegiatan peledakan itu sendiri meliputi mempermudah pengisian dan perangkaian peledakan. Adanya pola pengeboran memberikan ruang bebas untuk batuan dimana adanya ruang bebas memberikan tempat untuk menampung fragmentasi dan memberikan arah lemparan.

1. Zig Zag

Pada pola ini lubang ledak dibuat zig zag, ada yang jarak burden dan spasinya sama dan ada pula yang jarak burden dan spasinya berbeda.

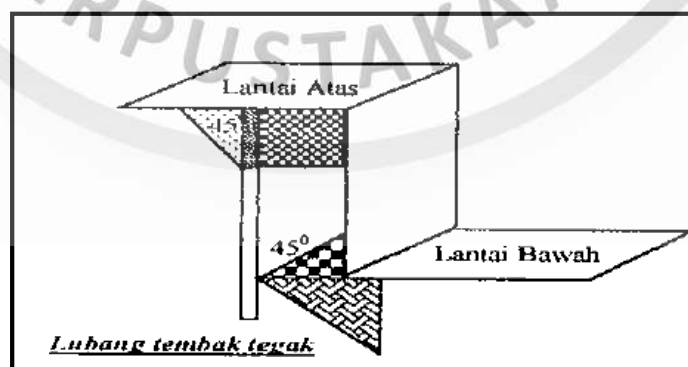


Sumber: R.L. Ash, 1968.

Gambar 3.2
Pola Pengeboran Zig-zag

3.1.3 Arah Pengeboran

Terdapat dua arah pengeboran untuk membuat lubang-lubang ledak yaitu arah tegak dan arah miring. Di lokasi penelitian arah pengeborannya menerapkan arah pengeboran tegak.



Sumber: Saptono, 2006.

Gambar 3.3
Arah Pengeboran Tegak

Arah penegboran ini memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing yaitu:

1. Kelebihan
 - a. Pengeborannya lebih cepat karena lubangnya relatif lebih pendek dibandingkan dengan lubang miring,
 - b. Pengeborannya relatif lebih mudah karena tidak membutuhkan ketelitian tinggi untuk menyeragamkan kemiringan seperti pada lubang miring,
 - c. Penggunaan bahan peledak cenderung lebih sedikit dibandingkan dengan lubang miring.
2. Kekurangan
 - a. Seringkali terdapat tonjolan batuan yang mengakibatkan terdapat bongkah yang menutupi lubang ledak
 - b. Fragmentasi hasil peledakan pada lubang tegak cenderung menghasilkan bongkah di dekat *stemming*.

3.2 Peledakan

Peledakan dalam kegiatan penambangan mampu mempermudah proses pemberaian massa batuan yang sangat sukar digali atau digaru dengan menggunakan peralatan mekanis. Dalam pelaksanaannya peledakan menggunakan berbagai jenis bahan peledak bergantung dengan kondisi lapangan dan karakteristik batuanya. Untuk batuan yang sangat keras maka diperlukan bahan peledak dengan kekuatan yang tinggi pula agar batuanya mampu terberai dengan baik.

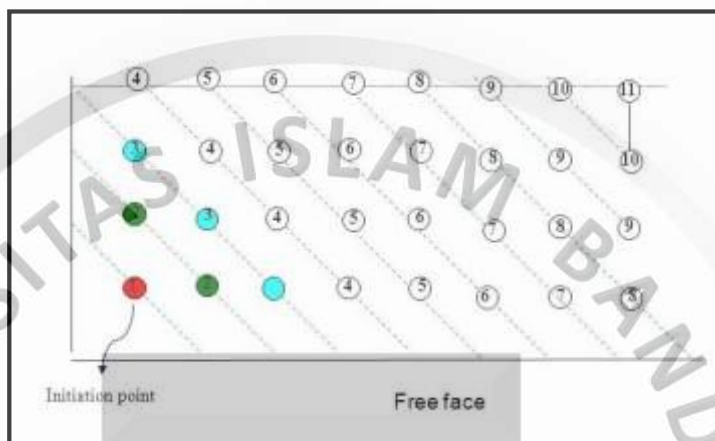
3.2.1 Pola Peledakan

Pola peledakan menunjukkan pengaturan urutan dalam arah runtunan material hasil peledakan terhadap bidang bebas yang ada. Adanya pola peledakan memberikan keuntungan dalam pengaturan waktu tunda seperti:

1. Mengarahkan lemparan fragmentasi batuan

2. Mengurangi getaran
3. Mengurangi *overbreak* dan *flying rock*

Lokasi penelitian menerapkan pola peledakan *corner cut (echelon)* dimana pola peledakannya dimulai dari ujung (*corner*) dari jenjang.



Sumber: Fachrul Dian, 2015.

Gambar 3.4
Pola Peledakan *Corner Cut*

3.2.2 Perlengkapan dan Peralatan Peledakan

Pelengkapan peledakan merupakan bahan atau alat peledakan yang hanya digunakan satu kali pakai sedangkan peralatan lebih dari satu kali pemakaian.

1. Perlengkapan Peledakan

Terdiri dari ANFO, *dynamite*, detonator nonel *down to hole*, detonator nonel *trunk line*, dan detonator listrik.

a. ANFO

Bahan peledak yang digunakan di lokasi penelitian yaitu DANFO yang dikeluarkan oleh PT Dahana dengan berat 25 kg dan *bulk density* spesifikasi pabrik yaitu 0,8 – 0,84 gr/cc.

b. *Dynamite*

Dynamite yang digunakan di lokasi penelitian merupakan produk keluaran PT Dahana dengan diameter 32 mm dan panjang 200 mm, berat untuk tiap *dynamite* sebesar 200 gr.

c. Detonator Nonel *Down to Hole*

Merupakan detonator nonel untuk menginisiasi *dynamit* dengan nomor detonator 8, nomor waktu tunda 500 dan panjang detonator 18 m, produk ini merupakan produk keluaran PT Dahana.

d. Detonator Nonel *Trunk Line*

Merupakan detonator *surface* untuk memberikan waktu tunda tiap rangkaian dengan nomor detonator 8 dan panjang tiap detonator 4 m dengan nomor waktu tunda 17 ms, 42 ms, dan 67 ms produk keluaran PT Dahana.

e. Detonator Listrik

Detonator listrik ini memiliki nomor detonator 8 dengan panjang 3 m dan terdiri dari nomor waktu tunda 1 – 10 dengan waktu tunda 25 – 250 ms, detonator ini merupakan produk keluaran CDET *Vectra Explosive*.

Gambar 3.5
Perlengkapan Peledakan



2. Peralatan Peledakan

Peralatan peledakan yang digunakan terdiri dari *blasting machine*, *blast ohm meter* dan *lead wire*.

a. *Blasting Machine*

Blasting machine yang digunakan di lokasi penelitian yaitu KOBLA BM200D, alat ini digunakan untuk pengisi arus pada detonator sebelum dilakukan inisiasi.

b. *Blast Ohm Meter*

Digunakan untuk mengecek arus yang mengalir pada rangkaian untuk mengecek adanya sambungan yang terputus pada rangkaian. PT Mandiri Sejahtera Sentra menggunakan *blast ohm meter* jenis REO BO1999-1.

c. *Lead Wire*

Digunakan untuk menghubungkan masing-masing rangkaian menjadi satu rangkaian peledakan kemudian menghubungkannya dengan *blasting machine*.

Gambar 3.6
Peralatan Peledakan



3.2.3 Geometri Peledakan menurut R.L. Ash

Terdapat beberapa teori yang mengatur tentang kontrol terhadap geometri peledakan, salah satunya menurut R.L.Ash. Geometri peledakan diharapkan dapat memberi kontrol terhadap hasil peledakan sesuai dengan standar keinginan.

1. Burden

Burden merupakan jarak terdekat tegak lurus antara lubang ledak dengan bidang bebas (*free face*). Panjang *burden* tergantung pada karakteristik batuan, bahan peledak serta pola peledakan yang diinginkan.

$$AF_1 = 3\sqrt{\frac{SG_e \times VoD^2}{SG_{eSTD} \times VoD_{STD}^2}} \dots\dots\dots(3.1)$$

$$AF_2 = 3\sqrt{\frac{SG_{rSTD}}{SG_r}} \dots\dots\dots(3.2)$$

$$K_B = K_{BSTD} \times AF_1 \times AF_2 \dots\dots\dots(3.3)$$

$$B = K_B \times D_e \dots\dots\dots(3.4)$$

Dimana:

AF_1 = Faktor penyesuaian 1

AF_2 = Faktor penyesuaian 2

K_B = Konstanta *burden*

K_{BSTD} = Konstanta *burden* standar

SG_e = *Specific gravity* bahan peledak (gr/cc)

SG_{eSTD} = *Specific gravity* bahan peledak standar (gr/cc)

SG_r = *Specific gravity* batuan (gr/cc)

SG_{rSTD} = *Specific gravity* batuan standar (gr/cc)

VoD = *Velocity of detonation* (m/s)

VoD_{STD} = *Velocity of detonation* standar (m/s)

2. Spacing

Spacing merupakan jarak antar dua lubang ledak dalam satu baris dan diukur sejajar terhadap bidang bebas. Spasi yang lebih kecil daripada *burden*, biasanya akan menyebabkan fragmentasi hasil peledakan terlalu hancur

sedangkan jika jarak spasi terlalu besar seringkali menghasilkan bongkahan yang besar.

$$K_s = K_{sSTD} \times AF_1 \times AF_2 \dots \dots \dots (3.5)$$

$$S = K_{sSTD} \times B \dots \dots \dots (3.6)$$

Dimana:

K_s = Spasi *ratio*

K_{sSTD} = Koefisien standar spasi (1,1 – 1,8)

S = Spasi (m)

B = *Burden* (m)

3. *Stemming*

Stemming merupakan tempat material penutup lubang ledak bagian atas yang tidak diisi bahan peledak untuk mengurung dan meredam gas hasil ledakan, mengontrol getaran tanah dan *flying rock*. *Stemming* ini biasanya diisi oleh material hasil pengeboran (*cuttings*) seperti kerikil, pasir kasar ataupun abu batu.

$$K_t = K_{tSTD} \times AF_1 \times AF_2 \dots \dots \dots (3.7)$$

$$T = K_{tSTD} \times B \dots \dots \dots (3.8)$$

Dimana:

T = *Stemming* (m)

K_t = *Stemming ratio*

K_{tSTD} = Koefisien *stemming* standar (0,7 – 1,0)

B = *Burden* (m).

4. *Subdrilling*

Subdrilling merupakan lubang ledak yang ditambah kedalamannya melebihi tinggi jenjang yang direncanakan. Tujuannya untuk menghindari masalah

tonjolan pada lantai (*toe*), karena bagian lantai jenjang merupakan bagian yang cukup sulit untuk diledakkan.

$$K_j = K_{jSTD} \times AF_1 \times AF_2 \dots \dots \dots (3.9)$$

$$J = K_{jSTD} \times B \dots \dots \dots (3.10)$$

Dimana:

J = *Subdrilling* (m)

K_j = *Subdrilling ratio*

K_{jSTD} = Koefisien *subdrilling* standar (0,2 – 0,4)

B = *Burden* (m)

5. Kedalaman Lubang Ledak

Kedalaman lubang ledak tergantung pada ketinggian jenjang dan arah pemboran. Kedalaman lubang ledak dapat dihitung dari tinggi *stemming* dan panjang isian bahan peledak.

6. Panjang Kolom Isian

Panjang kolom isian adalah panjang lubang ledak yang diisi bahan peledak dan primer. Panjang kolom isian dapat dihitung dengan persamaan :

$$PC = (H - T) \dots \dots \dots (3.11)$$

Dimana:

PC = Panjang kolom isian (m)

H = Kedalaman lubang ledak (m)

T = *Stemming* (m)

7. Tinggi Jenjang

Tinggi jenjang adalah ketinggian dari jenjang (*bench*) yang akan terjadi setelah peledakan. Tinggi jenjang dapat mempengaruhi kestabilan lereng pada tambang terbuka, karena daya dukungnya lemah ataupun akibat getaran peledakan. Tinggi jenjang dapat dihitung dengan persamaan :

$$L = (H - J) \dots \dots \dots (3.12)$$

Dimana:

L = Tinggi jenjang (m)

H = Kedalaman lubang ledak (m)

J = *Sub drilling* (m)

8. Volume Hasil Peledakan

Setelah perhitungan terhadap geometri peledakan, maka volume batuan dari tiap lubang ledak dapat diketahui dengan persamaan :

$$V = B \times S \times H \dots \dots \dots (3.13)$$

Dimana:

V = Volume batuan (m³)

B = *Burden* (m)

S = *Spacing* (m)

H = Kedalaman Lubang ledak (m)

9. Berat Bahan Peledak dalam Kolom Isian

Berat bahan peledak merupakan fungsi dari pada *density*, diameter dan kolom isian bahan peledak. Berat bahan peledak tersebut (*loading factor*) dapat dihitung dengan cara berikut :

$$LD = 0.508 \times De^2 \times \rho \dots \dots \dots (3.14)$$

$$\text{Loading factor} = \text{Loading Density} \times PC \dots \dots \dots (3.15)$$

Keterangan :

LD = Loading density (kg/m)

De = Diameter bahan peledak (inch)

ρ = *Density* bahan peledak (gr/cc)

PC = Panjang kolom isian (m)

10. Powder Factor (PF)

Powder factor adalah perbandingan antara berat bahan peledak dengan volume batuan hasil peledakan. Untuk menghitung *powder factor* dapat digunakan persamaan :

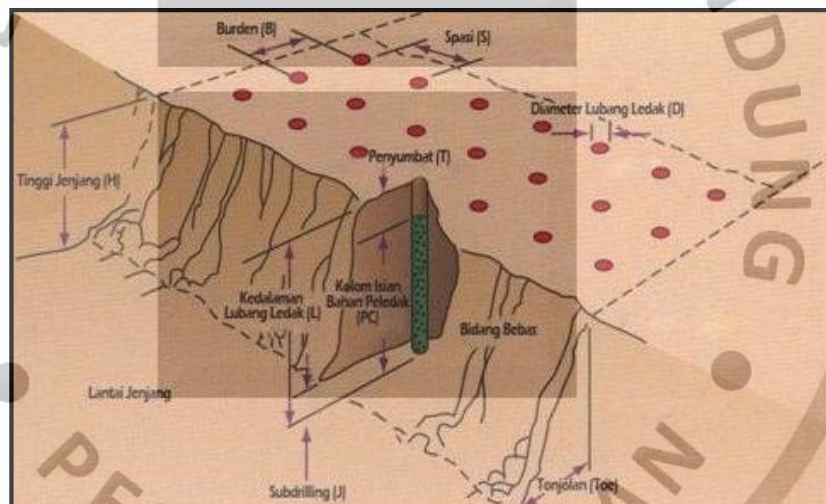
$$PF = \frac{W_{\text{handak}}}{V} \dots\dots\dots (3.16)$$

Dimana:

PF = *Powder Factor* (kg/m³)

W_{handak} = Berat bahan peledak (kg)

V = Volume batuan yang diledakan (m³)



Sumber: R.L. Ash, 1968.

Gambar 3.7
Geometri Peledakan

3.2.4 Dampak Negatif Kegiatan Peledakan

Menurut Dowding 1985, kegiatan peledakan selain mampu memecahkan massa batuan pada kenyataannya dapat memberikan efek lain seperti *ground vibration*, *flying rock*, *fumes*, *air blast* dan *noise*. Pada saat peledakan terjadi, semua energi yang dihasilkan oleh bahan peledak tidak seluruhnya terpakai untuk memecahkan massa batuan. Terdapat dua energi yang dihasilkan dari proses peledakan yaitu *work energy* dan *waste energy*.

Work energy merupakan energi yang digunakan untuk memecah massa batuan, energi ini terdiri dari *shock energy* yaitu energi kejut yang membuat batuan terpecahkan dan *gas energy* yaitu ekspansi gas bertekanan tinggi yang dihasilkan untuk memecah massa batuan. Sedangkan *waste energy* merupakan energi sisa yang dihasilkan dari proses peledakan dimana energi ini merupakan energi yang tidak terpakai untuk memecah massa batuan, energi ini bisa berupa *light, head, sound* dan *seismic energy*.

3.3 Getaran Tanah (*Ground Vibration*)

Getaran tanah (*Ground Vibration*) merupakan bentuk dari *seismic energy* yaitu energi sisa yang dihasilkan dari proses peledakan. Energi ini merambat melalui massa batuan dan menyebabkan terjadinya getaran tanah di sekitar area peledakan. Keberadaan *seismic energy* ini seringkali tidak menguntungkan terlebih ketika tingkat getaran tanah yang dihasilkan terlalu tinggi sebab keberadaannya mampu merusak struktur bangunan ataupun mengganggu kestabilan lereng tambang.

Getaran tanah (*ground vibration*) terjadi pada daerah elastis (*elastic zone*) diakibatkan oleh adanya *stress wave (body wave)* yang merambat melalui massa batuan. *Stress wave* ini dapat terbentuk karena adanya *elastic deformation* akibat pelepasan energy peledakan. Menurut Rosenthal & Marlock 1987, getaran yang dihasilkan dari proses peledakan terbagi menjadi tiga yaitu *Peak Particle Velocity (PPV)*, *Peak Particle Acceleration (PPA)* dan *Peak Particle Displacement (PPD)*. Berdasarkan arah gerakan partikel, komponen getaran tanah digolongkan menjadi tiga jenis yaitu:

1. Gerakan Longitudinal (Radial)
Gerakan partikel searah dengan perambatan getaran.
2. Gerakan Transversal (Tangensial)
Gerakan partikel tegak lurus horizontal dengan perambatan getaran
3. Gerakan Vertikal
Gerakan partikel tegak lurus vertikal dengan perambatan getaran.

3.3.1 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Tingkat Getaran Tanah

Tingkat getaran tanah yang dihasilkan akibat kegiatan peledakan dapat dipengaruhi oleh berapa faktor. Faktor tersebut dapat digolongkan menjadi 2 (dua) yaitu faktor yang dapat dikendalikan dan faktor yang tidak dapat dikendalikan.

Tabel 3.1
Faktor-faktor yang Mempengaruhi Tingkat Getaran Tanah

No	Dapat Dikendalikan	Dampak Pengaruh		
		Signifikan	Sedang	Tidak Signifikan
1	Berat isian per waktu tunda	x		
2	Interval waktu tunda	x		
3	Burden dan Spasi		x	
4	<i>Stemming</i> (jumlah)			x
5	<i>Stemming</i> (tipe)			x
6	Panjang isian dan diameter			x
7	Sudut lubang bor			x
8	Arah inisiasi		x	
9	Berat isian per peledakan			x
10	Kedalaman isian			x
11	<i>Bare vs Covered Primacord</i>			x
12	Kecocokan isian	x		
No	Tidak Dapat Dikendalikan	Dampak Pengaruh		
		Signifikan	Sedang	Tidak Signifikan
1	Keadaan umum daerah penelitian			x
2	Tipe dan kedalaman <i>overburden</i>	x		
3	Kondisi angin dan hujan			x

Sumber: Rosenthal & Marlock, 1987.

Faktor-faktor yang tidak dapat dikendalikan adalah faktor-faktor berupa kondisi geologi, geomekanika batuan dan kondisi alam faktor-faktor ini bersifat alami karena terbentuk secara alamiah di alam. Adapun faktor-faktor yang dapat dikendalikan dan mempengaruhi tingkat getaran tanah antara lain:

a. Jenis dan Muatan Bahan Peledak per Waktu Tunda

Bahan peledak memiliki kekuatan tersendiri tergantung dari jenis dan spesifiikasinya. Semakin banyak muatan bahan peledak per waktu tunda, maka semakin besar pula energi yang dihasilkan sehingga tingkat getaran yang dihasilkan akan semakin besar.

b. Rancangan *Tie Up* dan Waktu Tunda

Rancangan *tie up* memberikan pengaturan rencana peledakan sesuai dengan arah lemparan batuan dan diatur oleh adanya waktu tunda untuk mengatur jeda waktu ledakan antar lubang. Waktu tunda ini diatur agar total muatan bahan peledak per waktu tunda lebih sedikit. Menurut Lucca 2003, bahan peledak dianggap meledak bersamaan apabila waktu tunda nya kurang dari 8 ms.

c. Jarak Area Peledakan

Jarak dari lokasi peledakan ke lokasi pengamatan merupakan salah satu faktor yang penting. Getaran yang merambat sejatinya merambat dalam waktu yang sangat singkat, sehingga semakin dekat jarak dari lokasi peledakan maka tingkat getaran yang dirasakan akan semakin tinggi.

Adapun faktor-faktor yang tidak dapat dikendalikan dan mempengaruhi tingkat getaran tanah antara lain:

a. Karakteristik Batuan

Setiap batuan memiliki karakteristik tersendiri baik itu sifat fisik dan mekaniknya antara batuan yang satu dengan lainnya akan berbeda satu sama lain.

b. Struktur Geologi

Adanya struktur dapat mempengaruhi tingkat getaran yang dihasilkan, ketika arah struktur searah dengan arah getaran maka getaran langsung

diteruskan sehingga getaran yang dirasakan akan tinggi tetapi jika berlawanan dengan struktur terdapat bidang rambat penerima getaran tanah tersebut.

3.3.3 Prediksi Getaran Tanah

Tingkat getaran tanah yang dihasilkan dari kegiatan peledakan dipengaruhi oleh energi yang dihasilkan dari proses peledakan itu sendiri. Energi yang dihasilkan berbanding lurus dengan jumlah muatan bahan peledak per waktu tunda artinya semakin banyak muatan bahan peledak yang meledak secara bersamaan maka energi yang dihasilkan akan semakin besar dan tingkat getaran tanahnya pun akan semakin besar. Menurut Duval dan Fogelson 1962 berikut persamaan yang dapat digunakan untuk menentukan tingkat getaran tanah.

1. *Scaled Distance (SD)*

Merupakan perbandingan antara jarak dan muatan bahan peledak, dimana jarak diambil dari lokasi peledakan ke titik pengukuran sedangkan muatan bahan peledak merupakan muatan bahan peledak maksimum per waktu tunda yang digunakan.

$$SD = \frac{D}{\sqrt{Q}} \dots\dots\dots (3.17)$$

Dimana:

SD = *Scaled Distance*

D = Jarak dari lokasi peledakan ke titik pengukuran (m)

Q = Total muatan bahan peledak maksimum per waktu tunda (kg)

2. *Peak Particle Velocity (PPV)*

Merupakan kecepatan gerakan partikel tanah atau batuan dari posisi nol sampai mencapai ke level maksimum dan kembali lagi ke nol. Pada persamaan ini nilai konstanta k dan -e didapatkan dari hubungan antara nilai PPV dan SD. Nilai kedua konstanta tersebut selalu berbanding lurus dimana

konstanta e menunjukkan faktor batuan dan konstanta K menunjukkan besarnya transfer energi ke batuan.

$$PPV = k (SD)^e \quad (3.18)$$

Dimana:

PPV = *Peak Particle Velocity* (mm/detik)

k = Faktor peluruhan

e = *Site exponent*

3. *Peak Particle Acceleration* (PPA)

Merupakan percepatan gerakan partikel tanah atau batuan dari posisi nol sampai mencapai ke level maksimum dan kembali lagi ke nol yang dinyatakan dengan satuan g . Pada persamaan ini nilai konstanta n dan β didapatkan dari hubungan antara nilai PPA dan SD. Nilai kedua konstanta tersebut selalu berbanding lurus dimana konstanta β menunjukkan faktor batuan dan konstanta n menunjukkan besarnya transfer energi ke batuan.

$$PPA = n (SD)^\beta \quad (3.19)$$

Dimana:

PPA = *Peak Particle Acceleration* (g)

n = Faktor peluruhan

β = *Site exponent*

3.3.4 Seismograf

Digunakan untuk mengukur tingkat getaran tanah yang dihasilkan dari kegiatan peledakan digunakan suatu alat yang berfungsi untuk mendeteksi dan merekam adanya gelombang seismik atau biasa disebut sebagai seismograf. Alat yang digunakan pada penelitian ini yaitu *Minimate series III*.

1. Monitor

Getaran tanah dan suara ditangkap dalam bentuk gelombang oleh *geophone* dan *mic* dan diinterpretasikan dalam bentuk angka.

2. *Mic*

Berfungsi sebagai sensor suara dan menangkap gelombang suara yang dihasilkan dari kegiatan peledakan kemudian meneruskan hasil rekaman gelombang suara ke dalam monitor.

3. *Geophone*

Merupakan bagian dari seismograf yang berfungsi untuk merekam getaran yang dihasilkan dari kegiatan peledakan. Dalam *geophone* terdapat tiga sensor tunggal yang berfungsi untuk merekam gelombang *transversal*, *vertical* dan *longitudinal* kemudian meneruskan hasil rekaman gelombang getar ke dalam monitor.

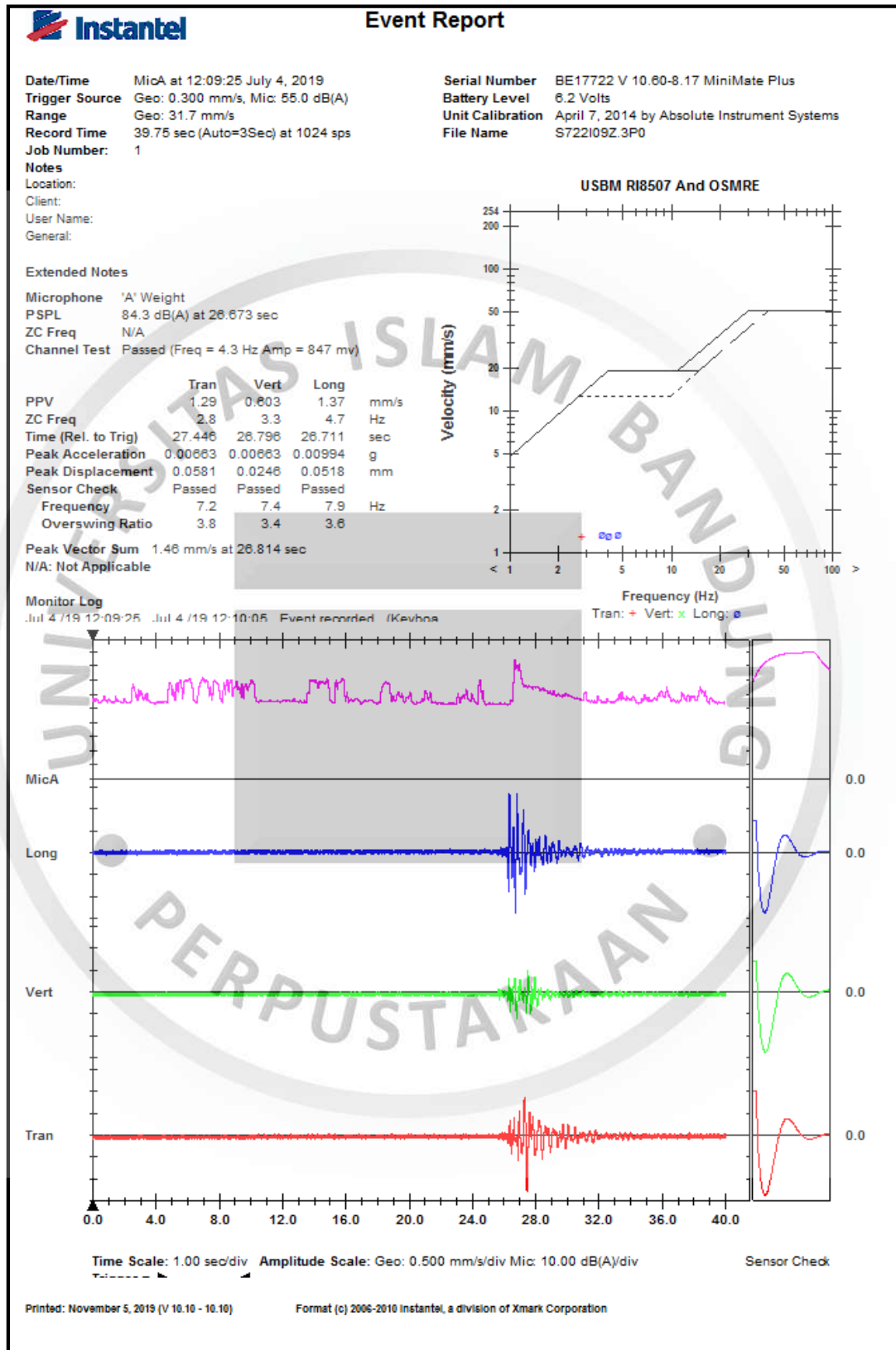


Sumber: Instantel, 2010.

Gambar 3.8
Seismograf *Minimate series III*

3.3.5 *Blastware*

Untuk menghasilkan grafik hasil pengukuran menggunakan seismograf ini digunakan *software* pendukung yaitu *Blastware* yang berfungsi untuk mengunduh data yang direkam kemudian menginterpretasikan gelombangnya dalam bentuk grafik dan angka seperti yang terlihat pada Gambar 3.9.



Gambar 3.9 Grafik Blastware

3.4 Standar Tingkat Getaran Tanah

Terdapat berbagai standar yang mengatur kontrol terhadap tingkat getaran tanah yang dihasilkan akibat kegiatan peledakan. Beberapa standar tentang kontrol tersebut dapat dilihat dari nilai PPV, *Scaled Distance* dan frekuensi yang dihasilkan dari kegiatan peledakan.

Para ahli melalui Standar Nasional Indonesia No 7571 Tahun 2010 tentang Baku Tingkat Getaran Peledakan pada Kegiatan Tambang Terbuka terhadap Bangunan mengklasifikasikan tingkat getaran berdasarkan kelas jenis bangunan dengan tipe kelas dan jenis bangunan 1 sampai 5 dimana PVS minimum berada di angka 2 mm/detik sedangkan PPV maksimum berada di angka 40 mm/detik. Kelas dan jenis bangunan dapat dilihat pada Tabel 3.3.

Tabel 3.2
Kelas dan Jenis Bangunan serta PVS

Kelas	Jenis Bangunan	Peak Vector Sum (mm/detik)
1	Bangunan kuno yang dilindungi undang-undang benda cagar budaya (Undang-undang No 6 Tahun 1992).	2
2	Bangunan dengan pondasi, pasangan bata dan adukan semen saja, termasuk bangunan dengan pondasi dari kayu dan lantainya diberi adukan semen.	3
3	Bangunan dengan pondasi, pasangan bata dan adukan semen diikat dengan <i>slope</i> beton.	5
4	Bangunan dengan pondasi, pasangan bata dan adukan semen <i>slope</i> beton, kolom dan rangka diikat dengan <i>ring balk</i> .	7-20
5	Bangunan dengan pondasi, pasangan bata dan adukan semen, <i>slope</i> beton, kolom dan diikat dengan rangka baja.	12-40

Sumber: SNI 7571 Tahun 2010.

Perbedaan kelas bangunan tersebut tentunya memiliki perbedaan frekuensi dan PVS dalam setiap batas frekuensinya. Mulai dari frekuensi 0 sampai 100 Hz dan juga PVS 2 mm/detik sampai 40 mm/detik.

Tabel 3.3
Kelas dan Frekuensi serta PVS

Kelas	Frekuensi (Hz)	Peak Vector Sum (mm/detik)
1	0 - 5	2
	5 - 20	3
	20 - 100	5
2	0 - 5	3
	5 - 20	5
	20 - 100	7
3	0 - 5	5
	5 - 20	7
	20 - 100	12
4	0 - 5	7
	5 - 20	12
	20 - 100	20
5	0 - 5	12
	5 - 20	24
	20 - 100	40

Sumber: SNI 7571 Tahun 2010.

Menurut USBM (*US Bureau of Mines*) terdapat tiga kategori kerusakan yang mungkin terjadi yaitu tidak adanya kerusakan pada $SD > 50 \text{ m/kg}^{0.5}$, $SD < 25 \text{ m/kg}^{0.5}$ kemungkinan terjadinya kerusakan besar dan $SD = 50 \text{ m/kg}^{0.5}$ kemungkinan terjadinya kerusakan kecil. Menurut Konya dan Walter kontrol terhadap tingkat getaran tanah dapat dilihat dari jarak, maksimum PPV dan SD yang dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

Tabel 3.4
Klasifikasi Kontrol Tingkat Getaran Maksimum

No	Jarak (m)	PPV Maksimum (mm/detik)	SD ($\text{m/kg}^{0.5}$)
1	0 - 91,44	31,75	50
2	91 - 1.524	25,4	55
3	>1.524,3	19,05	65

Sumber: Konya & Walter, 1985.