

BAB III

DASAR TEORI

3.1 Kegiatan Pembongkaran Dengan Peledakan

3.1.1 Pengertian Peledakan

Peledakan adalah proses pembongkaran dan pemindahan massa batuan dalam volume besar akibat reaksi kimia bahan peledak yang melibatkan pengembangan gas yang sangat cepat agar material mudah untuk digali dan diangkut menuju proses selanjutnya serta memenuhi nilai ambang batas lingkungan dan syarat K3 yang telah ditetapkan oleh pemerintah. Hasil-hasil peledakan ialah sebagai berikut :

-) Fragmentasi Batuan
-) Perpindahan *Muckpile* dan Bentuknya
-) *Ground vibration* dan *Air blast*
-) *Fly Rock*
-) *Fumes*

Ada dua jenis energi yang dilepaskan saat terjadi ledakan yakni *work* energi dan *waste* energi. *Work* energi merupakan energi peledakan yang menyebabkan terpecahnya batuan. *Work* energi terbagi menjadi dua yaitu *shock* energi dan gas energi.

Pada saat peledakan terjadi, tidak semua energi yang dihasilkan akan digunakan untuk menghasilkan fragmen batuan. Energi sisa dari peledakan tersebut disebut *waste* energi yang dapat membahayakan manusia dan lingkungan sekitarnya. Dari berbagai jenis *waste* energi tersebut, yang dapat membawa imbas

yang jauh dari luar area peledakan adalah rambatan berupa gelombang seismik yang secara fisik dapat dirasakan akibat pelepasan energi kimia seketika.

Peledakan merupakan tahapan awal proses pembongkaran *over burden* yang dilakukan oleh PT Dahana. Tahapan proses prosesnya meliputi desain geometri, desain spesifikasi *charging*, desain *tie up*, penyiapan area *drilling*, *charging*, *tie up* dan *blasting*.

3.1.2 Bahan Peledak

Bahan peledak adalah suatu campuran dari bahan-bahan berbentuk padat atau cair ataupun campuran dari keduanya yang apabila terkena suatu aksi misalnya panas, benturan, atau gesekan akan berubah secara kimiawi menjadi zat-zat lain yang sebagian besar atau seluruhnya berbentuk gas, dan perubahan tersebut berlangsung dalam waktu yang singkat, disertai efek panas dan tekanan yang sangat tinggi. Bahan peledak merupakan suatu bahan yang terbuat dari bahan-bahan kimia. Dalam hal ini detonator, sumbu ledak, dan sumbu api harus diperlakukan untuk mendukung bahan peledak. Bahan peledak yang digunakan oleh PT Dahana (**Persero**) yaitu ANFO (**Gambar 3.1**). ANFO (*Ammonium Nitrat Fuel Oil*), sebagai zat pengoksida sebanyak 94% dan *fuel oil* (FO) sebagai bahan bakar sebanyak 6%. Setiap bahan bakar berunsur karbon, baik berbentuk serbuk maupun cair, dapat digunakan sebagai pencampur. Keuntungan ANFO diantaranya yaitu :

-) Mudah untuk dibuat
-) *Cost effective*
-) Sederhana dan banyak digunakan
-) Densiti rendah (<berat)

Kerugian ANFO, yaitu :

-) Tidak tahan air

) Densiti rendah (<tekanan lubang tembak)

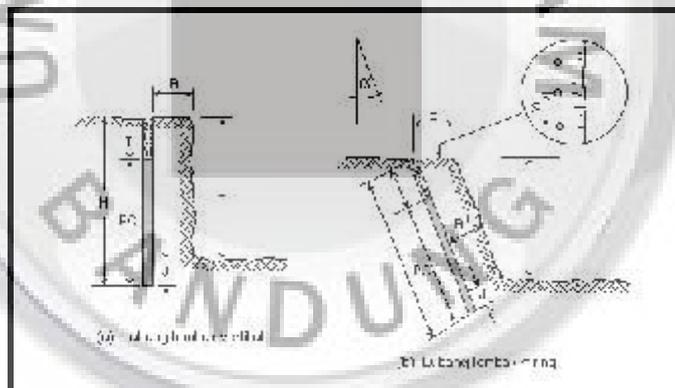


Sumber : Dokumentasi Lapangan

Gambar 3.1
Bahan Peledak (ANFO)

3.1.3 Geometri Peledakan

Geometri peledakan adalah jarak lubang tembak yang dibuat pada saat sebuah area pertambangan akan di ledakan.



Sumber: Modul Praktikum Teknik Peledakan" Lab.Tambang UNISBA

Gambar 3.2
Geometri Peledakan

Keterangan (**Gambar 3.2**) :

) Burden (B), merupakan jarak dari *freeface* ke arah titik bor, burden merupakan hal penting dalam proses peledakan. Dalam menentukan burden harus diperhatikan jarak terdekat ke *freeface* dan arah dari hasil ledakannya, selain itu perlu diperhatikan pula besarnya burden karena besarnya burden dipengaruhi oleh beberapa hal yaitu dari karakteristik batuan yang akan

diledakan dan karakteristik material. Pada dasarnya jarak burden erat hubungannya dengan diameter lubang bor yang digunakan.

-) Diameter lubang tembak, lubang ledak pada proses peledakan harus seimbang tidak boleh terlalu besar dan juga tidak boleh terlalu kecil. Karena lubang tembak yang kecil akan mengakibatkan kurangnya tekanan sehingga peledakan pun tidak berjalan sempurna karena tidak memberai banyak batuan, sedangkan lubang tembak yang besar dapat berakibat tidak menghasilkan fragmentasi yang baik terutama pada batuan yang terdapat kekar.
-) Tinggi jenjang (L), tinggi disini yaitu tinggi dari permukaan sampai dengan titik yang akan di bor (*tinggi bench*).
-) Kedalaman lubang tembak (H), biasanya disesuaikan dengan tinggi jenjang yang diterapkan sedangkan untuk mendapatkan lantai jenjang yang rata maka kedalaman lubang tembak harus lebih besar dari tinggi jenjang, hal ini disebut *subdrilling*.
-) *Subdrilling* (J), merupakan jarak tambahan kedalaman dibawah dari lubang bor yang telah direncanakan lantai jenjang (*bench*), hal ini berfungsi untuk menghindari tonjolan pada lantai (*toe*), selain itu berfungsi juga untuk merapikan dasar lantai untuk pemboran berikutnya.
-) *Stemming* (T), lubang ledak bagian atas yang tidak diisi bahan peledak, tapi biasanya diisi oleh abu hasil pemboran atau kerikil dan dipadatkan.
-) *Spacing* (S), merupakan jarak diantara setiap titik bor. Spasing digunakan agar jarak tiap titik bor tidak terlalu dekat dan tidak terlalu jauh disesuaikan dengan keadaan dilapangan dan kebutuhan.
-) *Powder Coloum* (PC), panjang PC yaitu dari titik terbawah *stemming* sampai dengan ujung *subdrilling*.

3.1.4 Perhitungan Geometri Peledakan Menurut RL.Ash Dan CJ.Konya

Perhitungan geometri peledakan dapat menggunakan rumus-rumus dari **CJ**

Konya dan **RL Ash**. Berdasarkan **RL Ash** :

- Burden :

$$B = K_b \times (de/12) \text{ (Nilai } K_b \text{ antara } 14 - 49) \dots\dots\dots (3.1)$$

- Spacing :

$$S = K_s \times B \text{ (Nilai } K_s \text{ antara } 1 - 3) \dots\dots\dots (3.2)$$

- Stemming :

$$T = K_t \times B \text{ (Nilai } K_t \text{ antara } 0,5 - 1,0) \dots\dots\dots (3.3)$$

- Subdrilling :

$$J = K_j \times B \text{ (Nilai } K_j \text{ antara } 0,2 - 0,4) \dots\dots\dots (3.4)$$

- Panjang Lubang Ledak

$$H = L + J \dots\dots\dots (3.5)$$

- Powder Coloum

$$PC = H - T \dots\dots\dots (3.6)$$

Berdasarkan **CJ Konya** :

- Burden :

$$B = 3,15 \times de \times \sqrt{\frac{S_{ge}}{S_{gr}}} \dots\dots\dots (3.7)$$

- Spacing :
 Jika $L/B < 4$:

$$S = (L + 7B)/8 \dots\dots\dots (3.8)$$

- Spacing :
 Jika $L/B > 4$:

$$S = 2B \dots\dots\dots (3.9)$$

- Stemming :

$$T = (0,7 - 1) \times B \dots\dots\dots (3.10)$$

- *Subdrilling* :

$$J = (0,3 - 0,5) \times B \dots\dots\dots (3.11)$$

- Panjang Lubang Ledak

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

- *Powder Coloum*

$$PC = H - T \dots\dots\dots (3.13)$$

Dimana :

B = Burden (m)	Kt = Stemming Ratio
Kb = Burden Ratio	J = Subdrilling (m)
de = Diameter Lubang Tembak (inchi)	Kj = Subdrilling Ratio
S = Spacing (m)	L = Tinggi Jenjang (m)
Ks = Spacing Ratio	Kl = Tinggi Jenjang Ratio
T = Stemming (m)	H = Panjang Lubang Tembak (m)
	PC = Powder Coloum (m)

3.1.5 Hasil Peledakan

3.1.5.1 Produksi

Persamaan yang digunakan untuk menentukan perhitungan produksi peledakan yaitu :

$$\text{Produksi} = (B \times S \times H) \times n \dots\dots\dots (3.14)$$

Dimana :

B = Burden (m)	H = Kedalaman lubang ledak (m)
S = Spasi (m)	n = Jumlah lubang ledak

3.1.5.2 Tingkat Fragmentasi Batuan

Tingkat fragmentasi batuan merupakan tingkat pecahan material dalam ukuran tertentu sebagai hasil dari proses peledakan. Untuk memperkirakan

fragmentasi batuan hasil peledakan secara teori dapat menggunakan persamaan **Kuznetsov (1973)**, sebagai berikut :

$$X_m = A \times (V_o / Q)^{0,8} \times Q^{0,167} \times (115 / E)^{0,63} \dots\dots\dots (3.15)$$

Dimana :

X_m = Ukuran rata – rata fragmentasi batuan (cm)

A = Faktor batuan

- 7 untuk batuan Medium Strength
- 10 Untuk batuan keras yang berjoint intensif
- 13 Untuk batuan keras dengan sedikit joint

V_o = Volume batuan yang terbongkar (m^3)

Q = Berat bahan peledak tiap lubang ledak (Kg)

E = RWS bahan peledak : ANFO = 100, TNT = 115

3.1.6 Peralatan Dan Perlengkapan

Peralatan peledakan yaitu alat – alat yang diperlukan untuk menguji dan menyalakan rangkaian peledakan sehingga alat tersebut dapat dipakai berulang-ulang. Peralatan yang biasa digunakan dalam peledakan, yaitu : *Blasting Machine*, *Multimeter*, *Crimper*, *Leading wire*, dan Korek api / penyulut.

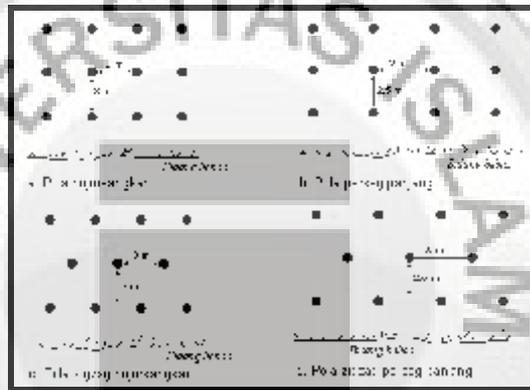
Perlengkapan peledakan yaitu bahan – bahan yang membantu peledakan dan hanya bisa dipakai satu kali saat peledakan pertama. Beberapa perlengkapan peledakan yaitu : Detonator, Bahan peledak, dan sumbu api.



Gambar 3.3
(A).Peralatan Peledakan Dan (B).Perlengkapan Peledakan

3.2 Pola Pemboran Lubang Ledak

Pola pemboran merupakan suatu pola dalam pemboran untuk menempatkan lubang-lubang ledak secara sistematis. Pola pemboran pada tambang terbuka terdapat tiga pola pemboran yang mungkin dibuat secara teratur, yaitu : Pola bujur sangkar (*square pattern*), Pola persegi panjang (*rectangular pattern*), dan Pola zigzag (*staggered pattern*). Pada penelitian ini menggunakan pola pemboran “zigzag”. Pola pemboran zigzag adalah antara lubang bor dibuat zigzag yang berasal dari pola bujur sangkar maupun persegi panjang.



Gambar 3.4
Pola Pemboran

3.3 Pola Peledakan

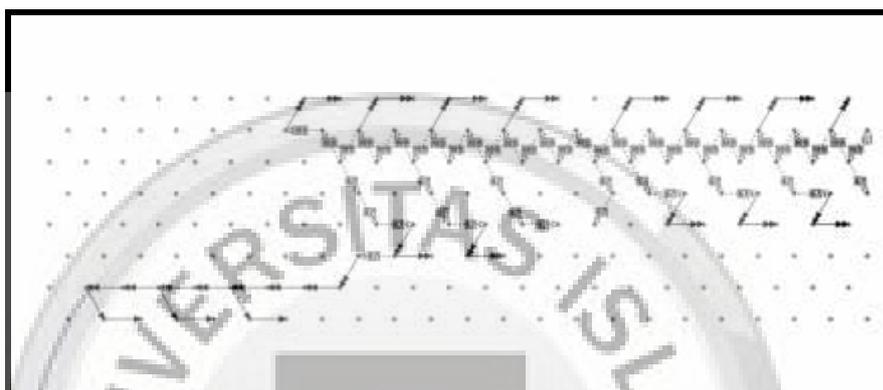
Pola peledakan merupakan urutan waktu peledakan antara lubang-lubang ledak dalam satu baris dengan lubang ledak pada garis berikutnya ataupun antar lubang ledak satu dengan lainnya. Pola peledakan ditentukan berdasarkan urutan waktu peledakan serta arah runtuh material yang diharapkan.

Beberapa keuntungan yang diperoleh dengan menerapkan waktu tunda pada sistem peledakan antara lain adalah :

-) Mengurangi getaran.
-) Mengurangi overbreak dan batu terbang (*fly rock*).
-) Mengurangi getaran akibat airblast dan suara (*noise*).
-) Dapat mengarahkan lemparan fragmentasi batuan.

-) Dapat memperbaiki ukuran fragmentasi batuan hasil peledakan.

Berdasarkan arah runtuh batuan pola peledakan diklasifikasikan menjadi 3 bagian, yaitu : *Box Cut*, *V-Cut*, dan *Corner Cut*. Pada penelitian ini menggunakan pola peledakan "*Box Cut*". *Box Cut* adalah pola peledakan yang arah runtuh batunya ke depan dan membentuk kotak.



Gambar 3.5
Pola Peledakan "*Box Cut*"

3.4 Mekanisme Pecahnya Batuan

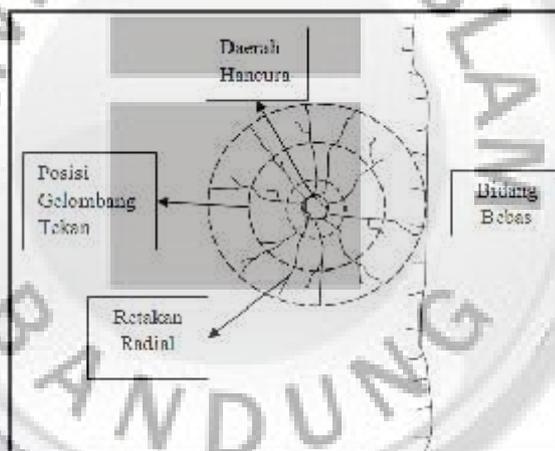
Konsep yang digunakan adalah proses pemecahan reaksi – reaksi mekanik dalam batuan homogen. Perlu ditegaskan bahwa sifat mekanis dalam batuan yang homogen akan berbeda seperti yang sering dijumpai dalam pekerjaan peledakan. Proses pemecahan batuan dibagi menjadi tiga tahap, yaitu :

-) Proses Pemecahan Tahap I

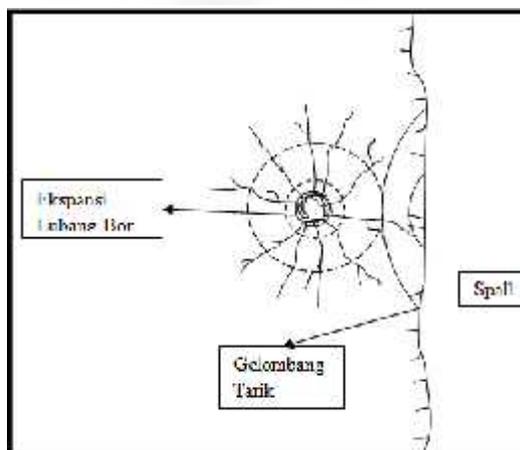
Pada saat bahan peledak meledak, tekanan tinggi yang ditimbulkan akan menghancurkan batuan di sekitar lubang tembak. Gelombang kejut (*shock wave*) yang meninggalkan lubang tembak merambat dengan kecepatan 3000-5000 m/det akan mengakibatkan tegangan pertama terjadi dalam waktu 1 - 2 ms.

J) Proses Pemecahan Tahap II

Tekanan akibat gelombang kejut yang meninggalkan lubang tembak pada proses pemecahan tahap I adalah positif. Apabila gelombang kejut mencapai bidang bebas (*free face*), gelombang tersebut akan dipantulkan. Bersamaan dengan itu tekanannya akan turun dengan cepat dan kemudian berubah menjadi negatif serta menimbulkan gelombang tarik (*tension wave*). Gelombang tarik ini merambat kembali di dalam batuan. Oleh karena kuat tarik batuan lebih kecil dari kuat tekan, maka terjadi rekahan-rekahan primer karena adanya tegangan tarik (*tensile stress*) sehingga menyebabkan terjadinya *slabbing* atau *spalling* pada bidang bebas.



Gambar 3.6
Proses Pemecahan Tahap I

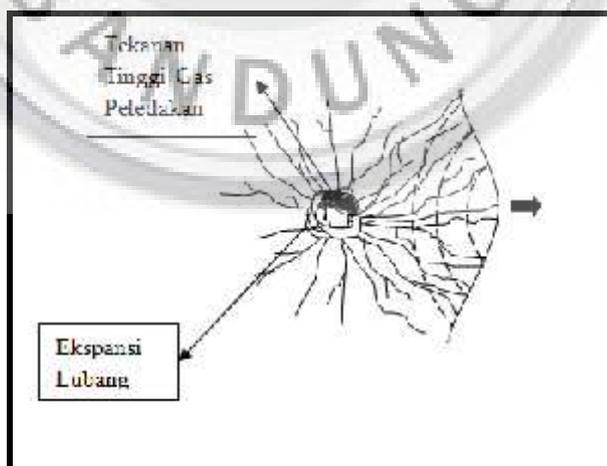


Gambar 3.7
Proses Pemecahan Tahap II

Dalam proses pemecahan tahap I dan II fungsi dari energi yang ditimbulkan oleh gelombang kejut membuat sejumlah rekahan-rekahan kecil pada batuan. Secara teoritis jumlah energi gelombang kejut hanya berkisar antara 5 – 15 % dari energi total bahan peledak. Jadi gelombang kejut tidak secara langsung memecahkan batuan, tetapi mempersiapkan kondisi batuan untuk proses pemecahan tahap akhir.

) Proses Pemecahan Tahap III

Dibawah pengaruh tekanan yang sangat tinggi dari gas-gas hasil peledakan maka rekahan radial utama (tahap II) akan diperlebar secara cepat oleh efek kombinasi dari tegangan tarik yang disebabkan kompresi radial (*radial compression*) dan pembajian (*pneumatic wedging*). Apabila massa di depan lubang tembak gagal mempertahankan posisinya dan bergerak ke depan maka tegangan tekan (*compressive stress*) tinggi yang berada dalam batuan akan dilepaskan (*unloaded*), seperti spiral kawat yang ditekan kemudian dilepaskan.



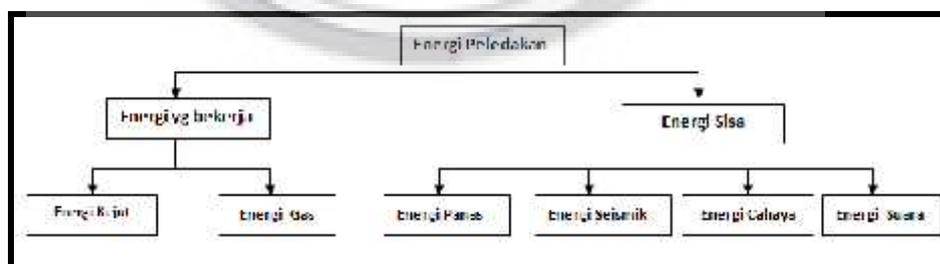
Gambar 3.8
Proses Pemecahan Tahap III

Akibat pelepasan tegangan tekan ini akan menimbulkan tegangan tarik yang besar di dalam massa batuan. Tegangan tarik inilah yang melengkapi proses pemecahan batuan yang sudah dimulai pada tahap II. Rekahan yang terjadi pada

proses pemecahan tahap II merupakan bidang-bidang lemah yang membantu fragmentasi utama pada proses peledakan.

3.5 *Ground Vibration*

Getaran tanah (*ground vibration*) merupakan gelombang yang bergerak di dalam tanah disebabkan oleh adanya sumber energi. Sumber energi tersebut dapat berasal dari alam, seperti gempa bumi atau adanya aktivitas manusia, salah satu diantaranya adalah kegiatan peledakan. Getaran tanah (*ground vibration*) terjadi pada daerah elastis (*elastic zone*). Kegiatan peledakan selalu menghasilkan gelombang sismik. Tujuan peledakan umumnya untuk memecahkan batuan. Kegiatan ini membutuhkan sejumlah energi yang cukup sehingga melebihi atau melampaui kekuatan batuan atau melampaui batas elastis batuan. Apabila hal tersebut terjadi maka batuan akan menjadi pecah. Proses pemecahan batuan akan terus berlangsung ,sampai energi yang di hasilkan bahan peledak makin lama makin berkurang, dan menjadi lebih kecil dari kekuatan batuan. Sehingga proses pemecahan batuan terhenti,dan energi yang tersisa akan menjalar melalui batuan,karena masih dalam batas elastisitasnya (Dwi Handoyo, 2012).



Sumber: Charles H. Dowding, *Blast Vibration Monitoring and Control*. Yuliadi.

Gambar 3.9
Energi Hasil Peledakan

3.5.1 Parameter Getaran

Untuk mempelajari getaran, perlu dipahami parameter-parameter getaran. Parameter getaran adalah sifat-sifat dasar dari gerakan yang digunakan untuk

menguraikan karakter dari gerakan tanah. Apabila gelombang seismik melalui batuan, maka partikel batuan bergetar atau berpindah dari posisi semula. Apabila partikel berpindah, maka partikel tersebut akan mempunyai kecepatan dan percepatan. Parameter dasar didefinisikan sebagai berikut :

-) *Displacement* : Jarak dimana partikel batuan bergerak dari posisi semula, satuannya dalam mm. Jarak maksimum yang ditempuh pergerakan partikel disebut *peak particle displacement*.
-) *Velocity* : Pergerakan partikel batuan ketika meninggalkan posisi semula dalam waktu tertentu, satuannya dalam mm per detik. Kecepatan maksimum suatu partikel disebut *peak particle velocity*.
-) *Acceleration* : Perubahan kecepatan partikel, satuannya dalam mm per detik kuadrat. Percepatan maksimum suatu partikel disebut *peak particle acceleration*.

3.5.2 Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Getaran Peledakan

Tingkat hasil getaran dari suatu peledakan dipengaruhi oleh tiga faktor utama yaitu muatan bahan peledak perwaktu tunda, waktu tunda (*length of delay*) dan detonator *accuracy* (faktor dominan terkontrol). Selain itu tingkat getaran tanah juga dipengaruhi oleh jenis batuan/kondisi geologi (faktor dominan tidak terkontrol). Menurut Rosenthal & Marlock, (1987) seperti yang terlihat pada (**Tabel 3.1**) faktor yang mempengaruhi getaran peledakan dibagi menjadi 2 variabel, yaitu:

-) Variabel terkontrol.
-) Variabel tidak terkontrol.

Tabel 3.1
Variabel yang Mempengaruhi Getaran Peledakan

No	Variabel Yang Dapat Dikontrol Operator Tambang	Pengaruh Terhadap Tingkat Getaran Tanah		
		Signifikan	Sedang	Tidak Signifikan
1	Berat Isian Per Delay	x		
2	Delay Interval	x		
3	Akurasi Detonator	x		
4	Burden Dan Spasi		x	
5	<i>Stemming</i> (Jumlah)			x
6	<i>Stemming</i> (Tipe)			x
7	Panjang Isian Dan Diameter			x
8	Sudut Lubang Bor			x
9	Arah Inisiasi		x	
10	Berat Isian Per Peledakan			x
11	Kedalaman Isian			x
12	<i>Bare Vs Covered Primacord</i>			x
13	Kecocokan Isian	x		
No	Variabel Yang Tak Dapat Dikontrol Operator Tambang	Pengaruh Terhadap Tingkat Getaran Tanah		
		Signifikan	Sedang	Tidak Signifikan
1	Keadaan Umum Daerah Permukaan			x
2	Tipe Dan Kedalaman Overburden	x		
3	Kondisi Angin Dan Hujan			x

Sumber : Rosenthal & Marlock, 1987

Pada dasarnya faktor-faktor yang tidak dapat dikontrol yaitu yang berhubungan dengan kondisi alam, geologi, dan geomekanik. Sedangkan faktor-faktor yang dapat dikontrol diantaranya yaitu :

a. Berat Isian per Delay

Besar getaran yang dihasilkan peledakan akan dipengaruhi oleh jumlah isian bahan peledak per waktu tunda. Jumlah muatan total bahan peledak yang dianggap meledak bersamaan merupakan muatan bahan peledak per waktu tunda.

b. Jarak Dari Lokasi Peledakan

Pengaruh jarak terhadap tingkat getaran yaitu apabila jarak pengukuran lokasi peledakan semakin jauh maka getaran yang dihasilkan juga semakin

kecil. Biasanya untuk melihat kerusakan struktur bangunan acuan yang dipakai adalah 200 meter.

c. Waktu Tunda (*Delay Period*)

Interval waktu tunda antar lubang ledak sangat mempengaruhi tingkat vibrasi yang dihasilkan. Jika interval waktu tunda tersebut makin besar, maka kemungkinan jumlah bahan peledak yang dianggap meledak bersamaan (selisih waktu meledak kurang dari sama dengan 8 ms) akan makin kecil, sehingga tingkat vibrasi yang dihasilkan akan makin kecil.

Tabel 3.2
Pengaruh Waktu Tunda pada PPV

Mode of Detonation	PPV (mm/s)
Instantaneous	75
Two delays with equal chart	43
Four delay with equal chart	25

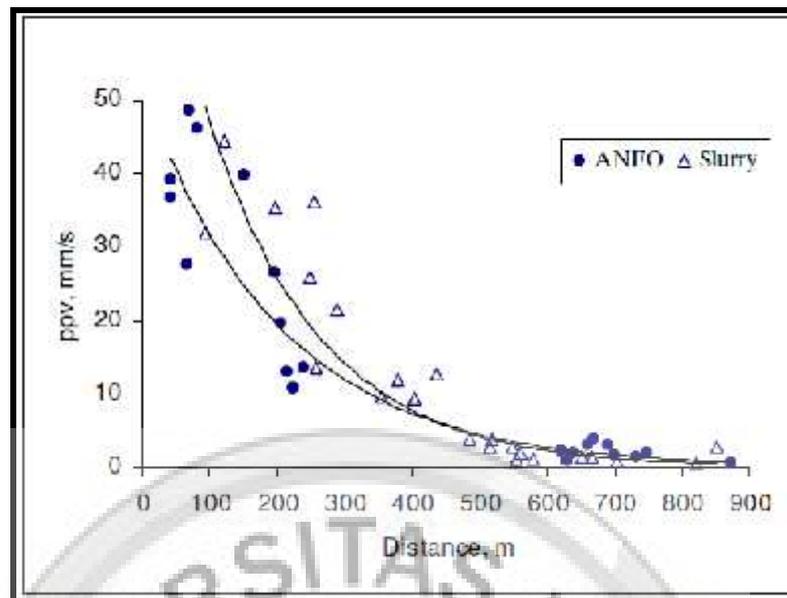
Sumber : Yuliadi, *Kajian PPV Akibat Kegiatan Peledakan*. Sen, 1995

d. Geometri Peledakan

Geometri peledakan sangat menentukan dalam adanya getaran tanah, karena getaran tanah yang paling tinggi dihasilkan dari burden yang paling besar.

e. Jenis Bahan Peledak

Pengaruh bahan peledak terhadap getaran tanah yaitu apabila tekanan bahan peledak kecil terhadap lubang tembak maka tingkat getaran tanah akan kecil. Tekanan bahan peledak tergantung pada densitas dan detonasi bahan peledak. Misalnya untuk jenis bahan peledak dengan densitas dan detonasi kecil yaitu ANFO (*Ammonium Nitrat Fuel Oil*), sedangkan yang lebih besar yaitu bahan peledak dengan jenis *slurry*.



Sumber: Yuliadi, *Kajian PPV Akibat Peledakan*

Gambar 3.10

Perbandingan Getaran tanah untuk ANFO dan *Slurry* (Hossiani,2006)

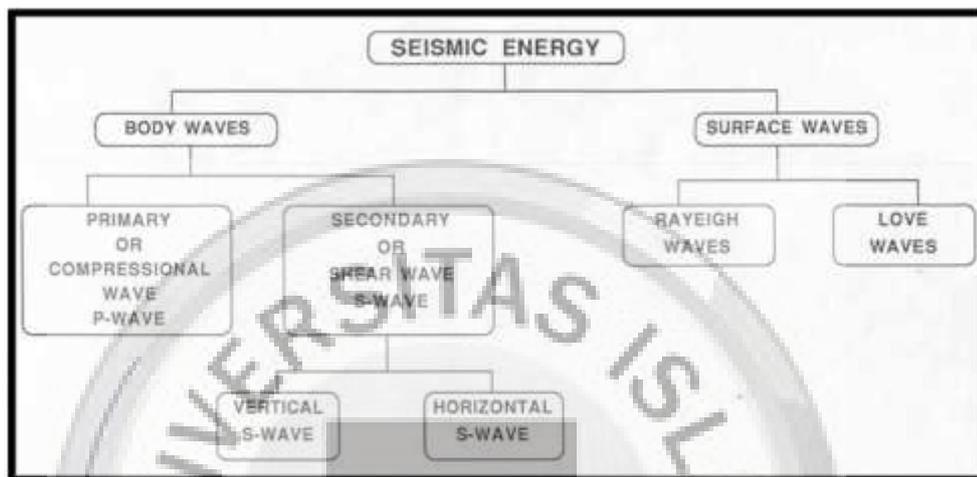
f. **Arah Peledakan**

Arah peledakan terbagi menjadi dua, yaitu memotong/berlawanan dengan arah penyebaran batuan (*strike*) dan searah dengan penyebaran batuan. Pada arah peledakan memotong *strike*, penyebaran energi seismik akan terhambat lapisan batuan, sedangkan apabila searah dengan *strike* penyebaran energi seismik hasil peledakan akan melalui satu arah penyebaran batuan. Hal tersebut menyebabkan tingkat getaran akan lebih besar pada arah peledakan searah *strike*, daripada arah peledakan memotong *strike*.

3.5.3 Klasifikasi Gelombang Seismik

Gelombang adalah gejala terjadinya perjalanan suatu bentuk gangguan melalui medium dengan mekanisme perambatan getaran yang mempunyai kecepatan tertentu. Setelah gangguan ini melewati medium akan kembali ke keadaan semula, seperti sebelum gangguan itu datang. Untuk kasus sumber seismik '*spherical*' dalam ruang elastik homogen, satu-satunya gerakan yang

dihasilkan adalah *compressive* searah dengan perambatan. Namun, peledakan tidak selalu '*spherical*' sempurna dan media perambatan tidak selalu kontinyu dan homogen. Pembentukan beberapa jenis gelombang seismik disebabkan oleh kondisi-kondisi non-ideal tersebut (Grover, 1973).



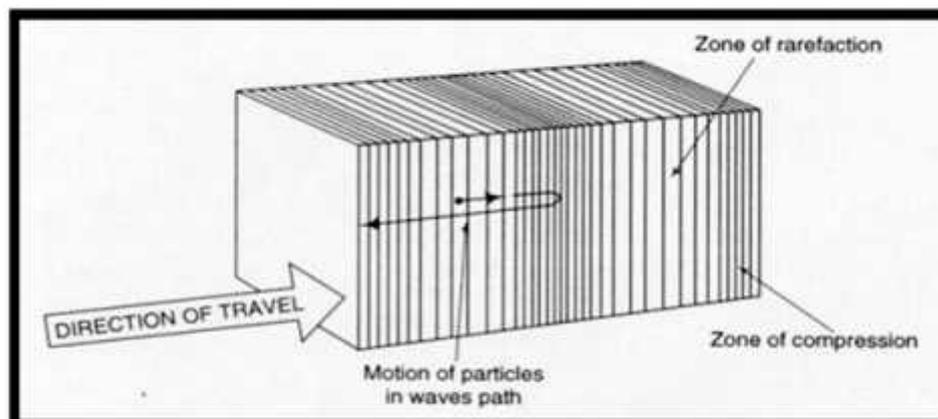
Gambar 3.11
Klasifikasi Gelombang Seismik

Gelombang seismik dibagi menjadi dua bagian yaitu:

- a. Gelombang Badan (*body wave*) adalah gelombang yang merambat melalui massa batuan, menembus ke bagian dalam dari massa batuan. Gelombang badan dibedakan menjadi 2 jenis, yaitu:

) Gelombang Longitudinal (tekan/*compression wave/P-wave*)

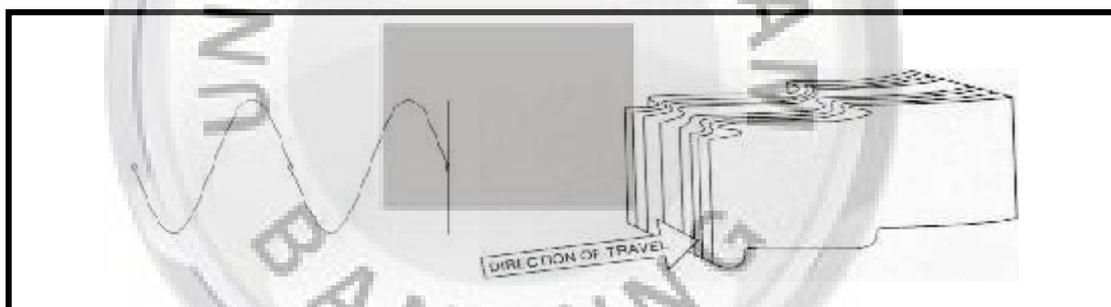
Gelombang Longitudinal adalah jenis gelombang yang menghasilkan pemadatan (kompresi) dan pemuaian (dilatasi) pada arah yang sama dengan arah perambatan gelombang.



Gambar 3.12
Gelombang Longitudinal (JKMRC, 1996)

) Gelombang Transversal (*Shear wave/ S-wave*)

Gelombang Transversal adalah gelombang melintang (transversal) yang bergetar tegak lurus pada arah perambatan gelombang.

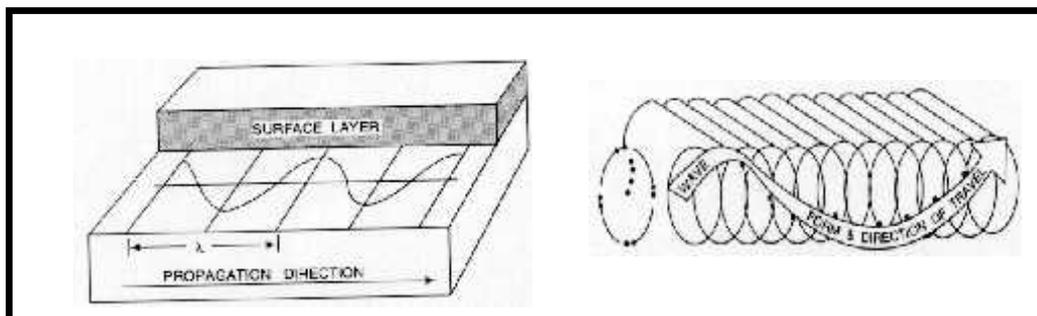


Gambar 3.13
Gelombang Transversal (JKMRC, 1996)

b. Gelombang Permukaan (*surface wave*) adalah gelombang yang merambat diatas permukaan batuan tetapi tidak menembus batuan. Ada dua macam gelombang permukaan yaitu:

) Gelombang "*love*" yaitu gelombang mempunyai gerakan seperti gelombang transversal yang terpolarisasi secara horizontal.

) Gelombang "*Rayleigh*" yaitu gelombang yang gerakan partikel berputar mundur dan vertikal terhadap arah perambatan gelombang. Gelombang ini mempresentasikan perambatan gelombang vertikal.



Gambar 3.14
Gelombang Rayleigh (kanan) dan gelombang Love (kiri) (JKMRC, 1996)

3.5.4 Hukum *Scaled Distance* (SD)

Scaled Distance adalah parameter untuk dimensi jarak. *Scale distance* dinyatakan sebagai perbandingan antara jarak dan isian bahan peledak yang mempengaruhi hasil getaran dan energi ledakan di udara. Jika isian lubang (ratio perbandingan panjang dan diameter lebih dari 6), gelombang akan dirambatkan didepan lubang bor. *Scale distance* memungkinkan pelaksana lapangan menentukan jumlah bahan peledak yang diperlukan atau jarak aman untuk muatan bahan peledak yang jumlahnya telah ditentukan. Rumus diatas dapat dituliskan sebagai berikut:

1. USBM

$$SD = \frac{R}{Q^{0.5}} \dots \dots \dots (3.16)$$

2. Lagefors & Kiehlstrom

$$SD = \frac{R^{0.75}}{Q^{0.5}} \dots \dots \dots (3.17)$$

Keterangan :

-) R = Jarak titik pengukuran ke titik peledakan
-) Q = Muatan bahan peledak yang dianggap meledak bersamaan
-) SD = *Scale Distance*

Pada persamaan *scaled distance*, konstanta k dan n mempengaruhi tingkat getaran tanah hasil peledakan. Kedua konstanta ini saling berhubungan satu sama lain. Menurut penelitian sebelumnya (Indah Pratiwi, 2010) hubungan antara konstanta k dan n berbanding lurus, dimana semakin besar konstanta k maka semakin besar pula konstanta n , begitu pula sebaliknya. Hal ini berdasarkan konstanta n berhubungan dengan geometri peledakan dan karakteristik batuan, sedangkan konstanta k mengindikasikan besarnya energi hasil peledakan yang ditransfer ke batuan sekitarnya.

3.5.5 Persamaan *Peak Particle Velocity* (PPV)

Persamaan *Peak Particle Velocity* (PPV) merupakan kecepatan maksimum yang digunakan untuk menghitung besarnya getaran pada suatu lokasi yang tergantung pada jarak lokasi tersebut dari pusat peledakan dan dari jumlah bahan peledak yang dipakai perperiode (*delay*). Berdasarkan penelitian yang dilakukan dalam usaha menentukan besarnya kecepatan partikel puncak (PPV) yang dihasilkan dalam sebuah peledakan maka dapat ditentukan persamaan sebagai berikut :

a. **USBM**

$$PPV = k \times (R / W^{0,5})^{-e} \dots\dots\dots (3.18)$$

b. **Lagefors & Kiehlstrom**

$$PPV = k \times (R^{0,75} / W^{0,5})^{-e} \dots\dots\dots (3.19)$$

Dimana :

PPV = *Ground Vibration as Peak Particle Velocity*, (mm/s)

D = Jarak muatan maksimum terhadap lokasi pengamatan, (m)

W = Muatan bahan peledak maksimum per periode tunda, (kg)

k, n = Konstanta yang harganya tergantung dari kondisi lokal dan kondisi peledakan.

Nilai constanta, yaitu komponen K sangat bervariasi, antara lain menurut :

- J *U.S. Bureau of Mines*, 1971 menetapkan nilai $K = 100$,
- J *DuPont de Nemours & Co.*, 1977 menetapkan nilai $K = 160$,
- J *Canada Centre for Mineral and Energy (CANMET)*, 1982 menetapkan K antara 160 - 750 atau rata-rata 490,
- J AS2187.2-1993, Appendix J menetapkan nilai konstanta k adalah :
 - *Mines or quarries* : 500
 - *For a free face in average conditions* : 1140
 - *For heavily confined blasting, near field* : 5000

3.5.6 Peak Velocity Sum (PVS)

Alat seismograf yang modern dapat merekam *resultan* (S) dari ketiga gerakan gelombang tersebut yang besarnya dihitung secara *vektoris* menggunakan (Persamaan 3.20). Sebagai berikut :

$$PVS = (V^2 + L^2 + T^2)^{0.5} \dots\dots\dots (3.20)$$

Perhitungan gerakan partikel pada setiap titik dilakukan terus menerus secara elektronik dan menghasilkan ketelitian yang cukup tinggi. Hasilnya adalah resultan (S) yang merupakan sebuah rekompresi vector dari gerakan bumi atau massa batuan dalam waktu yang penuh.

3.5.7 Kurva Peluruhan Getaran

Karakteristik peluruhan getaran tanah akibat peledakan didefinisikan menurut kurva hubungan antara tingkat vibrasi dan *scale distance*. Dalam hal ini, tingkat vibrasi didefinisikan sebagai nilai puncak kecepatan partikel (*peak particle velocity / PPV*) yaitu kecepatan puncak partikel batuan ketika bergerak meninggalkan posisi semula, dan kembali ke posisi semula. Sedangkan *scale distance* didefinisikan sebagai jarak permuatan bahan

peledak, *scale distance* digunakan untuk memprediksi persamaan perubahan *peak particle velocity* ketika jumlah muatan bahan peledak perdelay (W) dan jarak peledakan berubah-ubah. Secara matematis dapat dituliskan dengan persamaan :

$$SD = \frac{R}{W^{0.5}} \dots\dots\dots (3.21)$$

Dimana :

SD = *Scale Distance*

R = Jarak Dari Lokasi Peledakan (m)

W = Muatan Bahan Peledak Perdelay (kg)

3.5.8 Standar Tingkat Getaran tanah

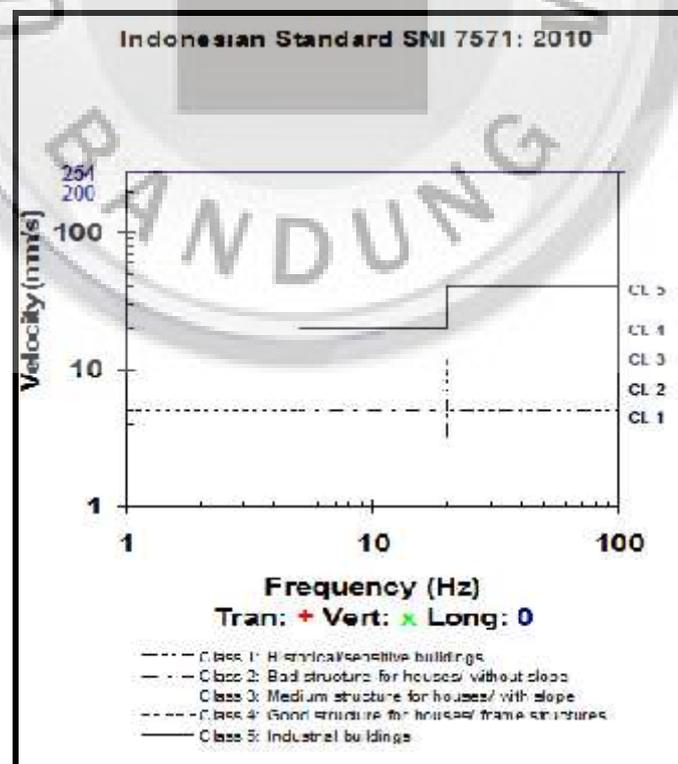
Untuk bisa menentukan potensi yang di akibatkan oleh getaran dapat di dasarkan atas unit kecepatan. Kecepatan partikel (*velocity*) merupakan unit kecepatan dari kriteria getaran yang lebih berhubungan langsung sebagai penyebab potensi kerusakan dari pada percepatan (*acceleration*) atau pun perpindahan (*displacement*).

Standar tingkat getaran tanah yang sering diacu antara lain USBM RI18507, DGMS India (A), Australian 2187.2-1993. Di Indonesia, parameter kontrol tingkat getaran peledakan pada tambang terbuka terhadap bangunan di atur dalam Badan Standarisasi Nasional Indonesia 7571 tahun 2010. Adapun baku tingkat getaran tersebut, antara lain :

Tabel 3.3
Tingkat Getaran Peledakan Terhadap Bangunan (SNI 7571 : 2010)

Kelas	Jenis Bangunan	PVS (mm/s)	Frekuensi	PPV (mm/s)
1	Bangunan kuno yang dilindungi Undang-undang benda cagar budaya	2	0-5	2
			5-20	3
			20-100	5
2	Bangunan dengan pondasi, pasangan bata dan adukan semen saja, termasuk bangunan dengan pondasi dari kayu dan lantainya diberi adukan semen.	3	0-5	3
			5-20	5
			20-100	7
3	Bangunan dengan pondasi, pasangan bata dan adukan semen dengan slope beton	5	0-5	5
			5-20	7
			20-100	12
4	Bangunan dengan pondasi, pasangan bata dan adukan semen slope beton, kolom dan rangka diikat dengan ring balok.	7-20	0-5	7
			5-20	12
			20-100	20
5	Bangunan dengan pondasi, pasangan bata dan adukan semen, slope beton, kolom dan diikat dengan rangka baja.	12-40	0-5	12
			5-20	24
			20-100	40

Sumber : Dwi Handoyo Marmar, 2012



Gambar 3.15
Grafik Indonesia Standard (SNI)

Tabel 3.4
Tingkat Getaran Peledakan Terhadap Bangunan (Kepmen No.49 Tahun 1996)

Kelas	Tipe Bangunan	Kecepatan Getaran (mm/detik)			
		Pada Fondasi			Pada Bidang Datar di Lantai Paling Atas
		Frekuensi			Campuran Frekuensi
		<10 Hz	10 - 50 Hz	50 - 100 Hz	
1	Bangunan untuk keperluan niaga, bangunan industry, dan bangunan sejenisnya	<10	20 - 40	40 - 50	40
2	Perumahan dan bangunan dengan rancangan dan kegunaan sejenis	5	5 - 15	15 - 20	15
3	Struktur yang karena sifatnya peka terhadap getaran, tidak seperti pada no. 1 dan 2, dan mempunyai nilai budaya tinggi, seperti bangunan yang dilestarikan	3	3 - 8	8 - 10	8,5

Sumber : Kepmen No. 49 Tahun 1996

3.6 Alat Ukur Getaran Tanah

Alat pemantau getaran (*vibration monitor*) adalah alat yang digunakan untuk mengukur getaran yang ditimbulkan oleh suatu peledakan. Selama pengukuran dilapangan digunakan alat ukur utama yaitu *Blastmate III*.



Gambar 3.16
Blastmate III

Blasmate III didesain untuk dapat mengukur dan mencatat getaran tanah dengan tepat. Peralatan ini disebut dengan *seismograf* dan terdiri dari 2 bagian penting, yaitu sensor dan *recorder*. Kotak sensor mempunyai 3 unit *independent* sensor yang terletak saling tegak lurus antara satu unit dengan unit yang lain. Dua unit terletak horizontal dan saling tegak lurus dan unit yang lain dipasang secara vertikal. Ketiga sensor tersebut mencatat tiga arah komponen getaran bumi yaitu transversal, longitudinal dan horizontal.

