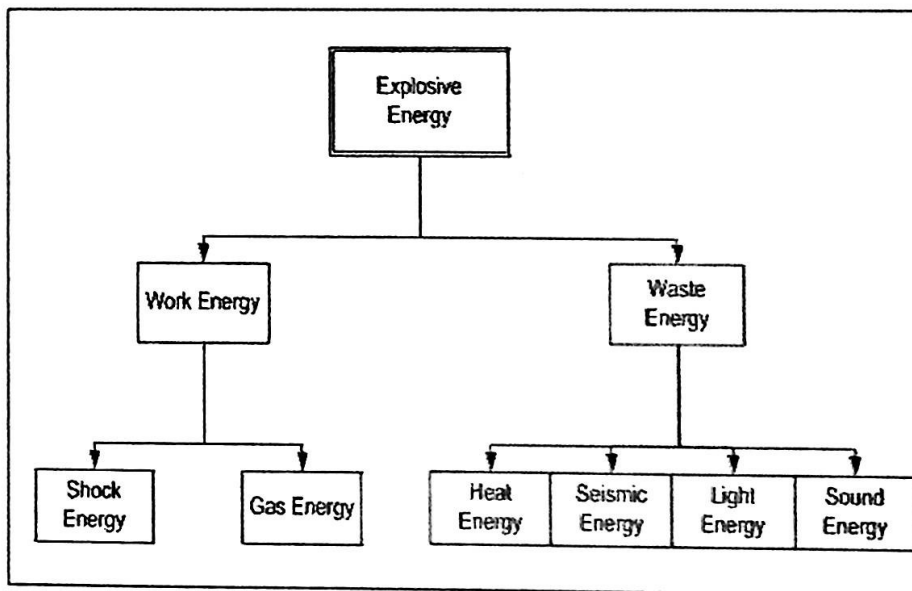


BAB III

DASAR TEORI

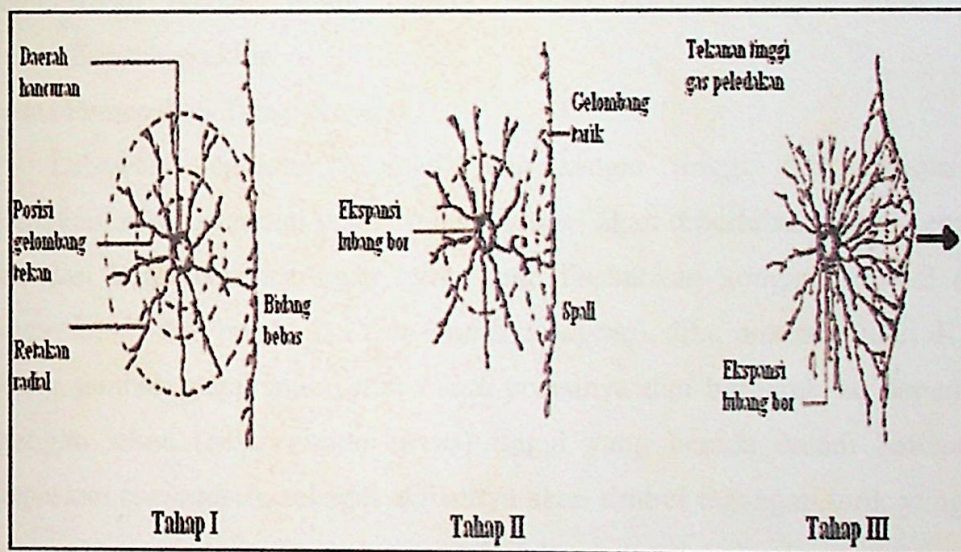
Salah satu metode pembersihan batuan adalah metode pemboran dan peledakan. Metode pemboran dan peledakan bertujuan untuk menghancurkan, melepas ataupun membongkar suatu batuan dari batuan induknya. Ada dua jenis energi yang dilepaskan saat terjadi ledakan (Konya, 1990), yaitu *work energy* dan *waste energy* (Gambar 3.1). *Work energy* merupakan energi peledakan yang menyebabkan terpecahnya batuan. Energi ini terbagi menjadi dua, yaitu *shock energy* dan *gas energy*. Energi sisa (*waste energy*) adalah energi yang dihasilkan oleh peledakan namun tidak berguna untuk menghasilkan fragmentasi batuan. Energi sisa (*waste energy*) terdiri dari *light*, *heat*, *sound* dan *seismic energy*.



GAMBAR 3.1
DISTRIBUSI ENERGI BAHAN PELEDAK
(Konya, 1990)

Pada dasarnya proses pecahnya batuan saat peledakan mengalami beberapa tahap dan tahapan proses pecahnya batuan saling tumpang tindih dan tergantung dari tipe serta geometri peledakan yang diterapkan. Konsep yang dipakai disini adalah proses pemecahan dan reaksi-reaksi mekanik dalam batuan homogen yang berbeda dari sifat mekanis batuan yang mempunyai rekahan dan heterogen seperti yang sering dijumpai dalam pekerjaan peledakan.

Menurut Konya, (1990) proses pemecahan batuan dibagi berdasarkan tiga tahap (Gambar 3.2), yaitu :



GAMBAR. 3.2

PROSES PECAHNYA BATUAN AKIBAT PELEDAKAN
(Konya, 1990)

tekanan tinggi yang dihasilkan bahan peledak akan menghancurkan batuan didaerah sekitar lubang tembak. Gelombang kejut yang merambat meninggalkan lubang tembak (tekanan positif) akan mengakibatkan tekanan tangensial (*tangensial stress*) yang menimbulkan rekahan radial (*radial crack*) yang menjalar dari daerah lubang tembak.

2) Proses Pemecahan Tahap Kedua

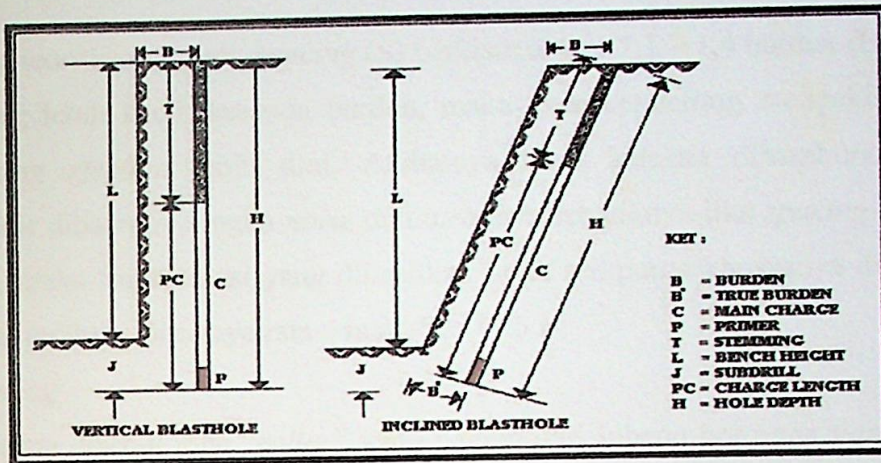
Gelombang kejut yang mencapai bidang bebas akan dipantulkan. Bersamaan dengan itu tekanannya akan turun dengan cepat dan akan berubah menjadi negatif serta menimbulkan gelombang tarik (*tension wave*) yang merambat kembali di dalam batuan. Efek gelombang kejut (*shock wave*) pada tahap pertama dan kedua adalah membuat sejumlah rekahan-rekahan kecil pada batuan. Kurang dari 15% dari energi total bahan peledak yang dihasilkan oleh energi gelombang kejut. Jadi gelombang kejut tidak secara langsung memecahkan batuan, tetapi mempersiapkan kondisi batuan untuk proses pemecahan tahap akhir.

3) Proses Pemecahan Tahap Ketiga

Dibawah Pengaruh tekanan yang sangat tinggi dari gas-gas hasil peledakan, rekahan radial utama (tahap kedua) akan diperlebar secara cepat oleh efek dari kombinasi tegangan tarik yang disebabkan kompresi radial (*radial compression*) dan pembajian (*pneumatic wedging*). Jika massa batuan di depan lubang tembak gagal mempertahankan posisinya dan bergerak ke depan maka tegangan tekan (*compression stress*) tinggi yang berada dalam batuan akan dilepaskan (*unloaded*), sebagai akibatnya akan timbul tegangan tarik yang besar didalam massa batuan. Tegangan tarik inilah yang melengkapi proses pemecahan batuan yang telah pada tahap kedua.

A. Geometri Peledakan

Dalam penentuan parameter peledakan yang sesuai dengan kondisi dan sifat fisik batuan, maka bahan peledak yang digunakan disesuaikan dengan kedalaman dan diameter lubang bor. Geometri peledakan menurut Konya (1990) terdiri dari beberapa unsur sebagai berikut (Gambar 3.3) :



GAMBAR 3.3

GEOMETRI PELEDAKAN

(Konya, 1990)

1) *Burden*

Burden merupakan dimensi yang terpenting dalam peledakan. *Burden* adalah jarak dari muatan (*charge*) tegak lurus terhadap bidang bebas terdekat dengan arah dimana pemindahan akan terjadi. Harga *burden* tergantung pada *specific gravity* bahan peledak, *specific gravity* batuan dan diameter lubang bor. *Burden* dapat dihitung dengan memakai persamaan sebagai berikut:

$$B = 3,15 D_e (SG_e/SG_r)^{1/3}$$

Keterangan:

- B = *Burden*
 SG_e = SG bahan peledak
 SG_r = SG batuan
 D_e = Diameter lubang tembak

2) *Spacing*

Spacing adalah jarak antara lubang tembak dalam suatu *row*. Dimana *spacing* merupakan fungsi daripada *burden* dan dihitung setelah *burden* ditetapkan.

Secara teoritis optimum, *spacing* (S) berkisar antara 1,1 – 1,4 *burden* (B). Jika *spacing* lebih kecil daripada *burden*, maka akan cenderung mengakibatkan *steaming ejection* lebih dini. Akibatnya hasil ledakan dihamburkan ke atmosfer dibarengi dengan *noise* dan *airblast*. Sebaliknya jika *spacing* terlalu besar, maka fragmentasi yang dihasilkan tidak sempurna khususnya diantara lubang tembak. Biasanya rata – rata , $S = 1,25 B$.

3) *Stemming*

Stemming disebut juga “*collar*” yaitu bagian dari lubang bor yang tidak diisi dengan bahan peledak, tetapi diisi dengan material serbuk bor. *Stemming* berfungsi untuk menjaga keseimbangan tekanan energi akibat peledakan dan mengurung gas yang timbul. Ukuran *stemming* (T) yang diperlukan tergantung jarak *burden* (B) dan biasanya dihitung dengan rumus :

$$T = 0.7 B$$

4) Kedalaman lubang bor

Kedalaman lubang bor adalah perbandingan antara *hole depth ratio* dengan *burden*. Kedalaman lubang bor tidak boleh lebih kecil dari harga *burden*, hal ini bertujuan untuk menghindari terjadinya *over break* atau *cratering*. Rumus yang dipakai adalah :

$$H = Kh \times B$$

Keterangan :

H = Kedalaman lubang bor (m)

Kh = *hole depth ratio* (m)

B = *Burden* (m)

Lubang bor umumnya mempunyai kedalaman antara 1,5 – 4 kali *burden* atau $Kh = 1,5 - 4$, jika $Kh > 4$ kali *burden* akan terjadi *toe*, jika $Kh < 1,5$ kali *burden* akan terjadi *over break*.

5) *Subdrilling*

Subdrilling adalah bagian panjang dari lubang tembak yang letaknya lebih rendah dari lantai jenjang. Pemakaian *subdrilling* dimaksudkan untuk membentuk lantai jenjang yang *relative* rata setelah peledakan. Persamaan yang digunakan untuk memperoleh ukuran *subdrilling* adalah :

$$J = (0,2 - 0,4) \times B$$

Keterangan :

J = *Subdrilling*

B = *Burden*

6) Tinggi jenjang

Tinggi jenjang diambil berdasarkan pada kedalaman lubang bor dan *subdrilling*. Tinggi jenjang dapat dihitung dengan rumus :

$$L = H - J$$

Keterangan :

L = tinggi jenjang

H = Kedalaman lubang bor

J = *subdrilling*

7) Panjang isian bahan peledak

Panjang bahan peledak yang digunakan dapat ditentukan dengan rumus :

$$PC = H - T$$

Keterangan :

PC = panjang isian bahan peledak

H = kedalaman lubang bor

T = *stemming*

B. Getaran dan Gelombang

Getaran adalah gerak bolak-balik secara periodik yang selalu melewati kedudukan setimbang. Titik kedudukan setimbang adalah kedudukan benda pada saat tidak mengalami getaran (diam). Kedudukan ini terletak diantara dua titik

terjauh bila benda tersebut bergetar. Gelombang adalah gejala dari perambatan usikan (gangguan) di dalam suatu medium. Pada peristiwa perambatan tersebut tidak disertai dengan perpindahan tempat yang permanen dari materi-materi medium tetapi membentuk suatu osilasi sehingga gelombang dapat bergerak dari satu tempat ke tempat lain. Rambatan usikan tersebut tidak lain merupakan rambatan energi.

Berdasarkan mediumnya gelombang dapat dibagi menjadi dua, yaitu gelombang mekanik dan gelombang elektromagnetik. Gelombang mekanik adalah gelombang yang merambat melalui suatu medium elastis (medium yang dapat berubah bentuk), sedangkan gelombang elektromagnetik adalah gelombang yang di dalam perambatannya tidak memerlukan medium. Gelombang mekanik terjadi ketika sebagian dari medium diganggu dari posisi keseimbangannya. Akibat sifat elastis medium, gangguan dapat diteruskan dan merambat sebagai gelombang, contohnya gelombang pada tali, gelombang pada pegas, gelombang bunyi, dan gelombang permukaan air.

1) Getaran Tanah (*ground vibration*)

Getaran tanah (*ground vibration*) adalah gelombang yang bergerak di dalam tanah disebabkan oleh adanya sumber energi. Sumber energi tersebut dapat berasal dari alam, seperti gempa bumi atau adanya aktivitas peledakan. Getaran tanah (*ground vibration*) terjadi pada daerah elastis (*elastic zone*). Di daerah ini tegangan yang diterima material lebih kecil dari kuat material sehingga hanya menyebabkan perubahan bentuk dan volume. Sesuai dengan sifat elastis material maka bentuk dan volume akan kembali ke keadaan semula setelah tak ada tegangan yang bekerja. Perambatan tegangan pada daerah elastis akan menimbulkan gelombang elastis. Getaran tanah ini pada tingkat tertentu bisa menyebabkan terjadinya kerusakan struktur disekitar lokasi peledakan. Karena itu keadaan bahaya yang mungkin ditimbulkan oleh operasi peledakan tidak bisa diabaikan.

a. Faktor yang mempengaruhi getaran tanah (*ground vibration*)

Beberapa penelitian telah dilakukan dalam usaha menentukan hubungan antara faktor-faktor tersebut dengan tingkat getaran. *Ground vibration* peledakan dipengaruhi oleh dua faktor utama, yaitu faktor yang dapat dikontrol dan yang tidak dapat dikontrol. Yang dimaksud faktor yang tak dapat dikontrol adalah faktor geologi dan geomekanik batuan. Dan berikut ini adalah faktor yang dapat dikontrol yang mempengaruhi *ground vibration* :

- 1) Jumlah muatan bahan peledak perwaktu tunda
- 2) Jarak dari lokasi peledakan
- 3) Jenis bahan peledak
- 4) Faktor geometri peledakan

Dan variabel - variabel yang tidak dapat dikontrol adalah faktor-faktor yang tidak dapat dikendalikan oleh kemampuan manusia, hal ini disebabkan karena prosesnya terjadi secara alamiah. Contoh variabel yang tidak dapat dikontrol, antara lain :

- 1) Karakteristik massa batuan
- 2) Struktur geologi
- 3) Pengaruh air

b. Prinsip pengukuran getaran peledakan

Getaran tanah adalah gerakan bumi (*ground motion*) yang terjadi akibat perambatan gelombang seismik. Kegiatan peledakan akan selalu menghasilkan getaran atau gelombang seismik. Tujuan peledakan umumnya adalah 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 pecah. Proses pemecahan batuan berjalan terus sampai energi yang dihasilkan oleh bahan peledak semakin lama semakin berkurang dan menjadi lebih kecil dari kekuatan batuan, sehingga proses

pemecahan batuan berhenti. Energi yang tersisa akan menjalar melalui batuan karena masih di dalam elastisnya.

Tingkat getaran dari hasil peledakan dipengaruhi oleh dua faktor utama yaitu jumlah bahan peledak/waktu tunda (*loading density per delay*) dan jarak pengukuran. Semakin banyak bahan peledak yang digunakan maka semakin tinggi nilai kecepatan partikel puncak, dan semakin jauh jarak pengukuran peledakan maka semakin rendah nilai partikel puncak.

Untuk menentukan hubungan antara faktor-faktor itu dengan tingkat getaran yang dihasilkan maka digunakan konsep *scaled distance* (*US Bureau of Mines bulletin 656, 1971*), dimana *scaled distance* dapat dinyatakan sebagai $R/W^{1/2}$ (*Square Root Scaling*) dan dapat juga dinyatakan sebagai $R/W^{1/3}$ (*Cube Root Scaling*).

Hubungan antara jarak (D) dari jumlah bahan peledak ($W^{0.5}$) dinamakan *Scaled Distance (SD)* yang merupakan inti dari *the Propagation Law*. Harga SD yang besar akan lebih aman dibanding yang kecil. Hal ini serupa dengan jarak, makin jauh akan lebih aman dibanding yang dekat. Tolok ukur yang dipakai adalah $SD = 50$. Bila $SD > 50$ menandakan kondisi vibrasi yang kecil, sebaliknya bila $SD < 50$ kemungkinan terjadi kerusakan cukup besar. Di beberapa negara ada yang menerapkan tolok ukur aman apabila $SD > 60$. Hal ini tergantung pada peraturan yang berlaku pada negara tersebut.

Dengan menggunakan uji peledakan pada berbagai nilai *scaled distance* disuatu daerah maka akan diperoleh persamaan kecepatan partikel secara umum. Persamaan ini akan digunakan untuk memperkirakan tingkat getaran yang mungkin terjadi.

Secara teori, *ground vibration* dapat dihitung dengan menggunakan rumus (Langefors Ulf and Kihlstrom, B, 1958) :

$$V_{maks} = K \left(\frac{D}{W^n} \right)^m$$

Dimana : V = kecepatan partikel terprediksi (mm/s)

W = Isian bahan peledak perdelay (kg)

D = Jarak peledakan ke lokasi pengukuran (m)

K = Konstanta yang diperoleh saat *Scaled Distance* = 1

m dan n adalah Konstanta yang tergantung pada kondisi batuan di lokasi peledakan.

Menurut rumus empiris *U. S. Bureau of Mines* di atas harga K, m dan n ditentukan oleh masing-masing gerakan gelombang longitudinal, vertical dari transversal. Harga ketiga parameter tersebut sedikit berbeda yang hasilnya seperti pada persamaan terlihat di bawah ini:

$$V_{Long} = 0,052 (D/W^{0,512})^{1,63}$$

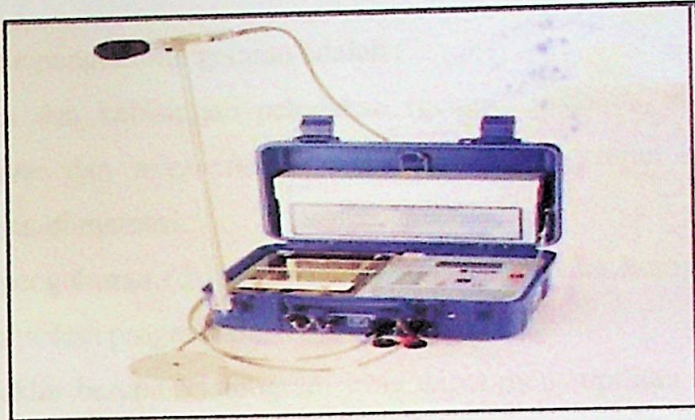
$$V_{vert} = 0,071 (D/W^{0,421})^{-1,74}$$

$$V_{Tran} = 0,035 (D/W^{0,521})^{-1,28}$$

Melihat bahwa harga ketiga gelombang tersebut tidak jauh berbeda, maka pangkat parameter W dan m masing-masing diasumsikan 0,5 dan -1,6.

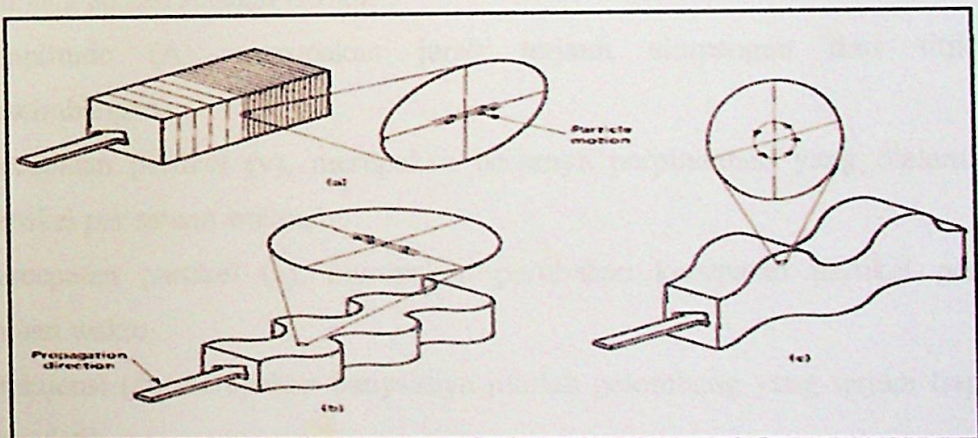
c. Alat pengukur getaran tanah

Pengukuran getaran peledakan dilapangan menggunakan *Blasmate*^{III} (Gambar 3.4). Sebelum pengukuran, *Blastmate*^{III} disetting terlebih dahulu (lampiran B). *Blastmate*^{III} didesain untuk 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 letaknya saling tegak lurus antara satu unit dengan unit lain. Dua unit terletak horisontal dan saling tegak lurus dan unit yang lain dipasang secara vertical.



GAMBAR 3.4
BLASTMATE III

Ketiga *sensor* tersebut mencatat 3 arah komponen getaran peledakan yaitu longitudinal, vertikal, dan transversal. Gerakan longitudinal adalah gerakan partikel ke atau dari depan dan belakang. Gerakan vertikal adalah gerakan partikel ke atau dari atas dan bawah. Gerakan transversal adalah gerakan partikel tanah atau batuan dari satu sisi ke sisi yang lain (Gambar 3.5).

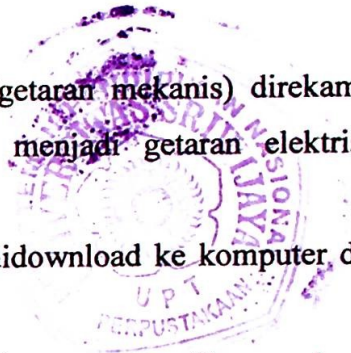


GAMBAR 3.5

VARIASI PERGERAKAN PARTIKEL KARENA BENTUK GELOMBANG GETARAN a). TEKAN – LONGITUDINAL, b). GESER – TRANSVERSAL, c). REYLEIGH – MEWAKILI VERTIKAL (Dowding 1985)

Mekanisme pengukuran getaran adalah :

- 1) Getaran dan kebisingan peledakan (getaran mekanis) direkam oleh *geophone* dan *microphone*, diubah menjadi getaran listrik lalu disimpan di memori.
- 2) Hasil pengukuran (dalam memori) didownload ke komputer dengan menggunakan program *BlastWare*.
- 3) Hasil akhir berupa seismogram yang dapat menampilkan angka-angka besar getaran dan kebisingan serta grafik (Lampiran C).
- 4) Untuk mengetahui besar getaran apakah masih didalam atau melebihi ambang batas, dapat memilih grafik baku tingkat getaran dari 13 negara yang ada di dalam program.



2) Gelombang

Gelombang adalah bentuk dari getaran yang merambat pada suatu medium. Parameter gelombang merupakan sifat-sifat dasar yang menguraikan gerakan gelombang. Parameter-parameter dasar untuk menganalisis gelombang adalah sebagai berikut :

- a. Amplitudo (A), merupakan jarak terjauh simpangan dari titik keseimbangan.
- b. Kecepatan partikel (v), merupakan besarnya perpindahan yang dialami partikel per satuan waktu,
- c. Percepatan partikel (a), merupakan perubahan kecepatan partikel per satuan waktu.
- d. Frekuensi (f), merupakan banyaknya jumlah gelombang yang terjadi tiap satu detik,
- e. Periode (T), merupakan waktu yang diperlukan untuk terjadinya satu gelombang, periode merupakan kebalikan dari frekuensi ($T = 1/f$).

Gelombang dapat dibedakan berdasarkan arah getarnya, cara rambat dan medium yang dilalui, dan berdasarkan amplitudonya.

a. Berdasarkan arah getarnya

Gelombang menurut arah getarnya dibagi menjadi dua bagian, yaitu gelombang transversal dan gelombang longitudinal. Gelombang transversal, yaitu gelombang yang arah getarnya tegak lurus dengan arah rambatannya, misalnya : gelombang pada tali, gelombang permukaan air, dan gelombang elektromagnetik. Gelombang longitudinal, yaitu gelombang yang arah getarnya berimpit (sejajar) arah rambat gelombang, misalnya gelombang pada pegas dan gelombang bunyi.

b. Berdasarkan cara rambat dan medium yang dilalui

Gelombang ini dibagi dua bagian yaitu gelombang mekanik dan gelombang elektromagnetik. Pada gelombang mekanik yang dirambatkan adalah gelombang mekanik dan untuk perambatannya diperlukan medium. Contohnya gelombang seismik. Dan gelombang elektromagnetik yang dirambatkan adalah medan listrik magnet dan tidak diperlukan medium.

c. Berdasarkan amplitudonya

Dibagi menjadi dua bagian yaitu gelombang berjalan dan gelombang stasioner. Gelombang berjalan yaitu gelombang yang amplitudonya tetap pada titik yang dilewatinya. Gelombang stasioner yaitu gelombang yang amplitudonya tidak tetap pada titik yang dilewatinya, yang terbentuk dari interfensi dua buah gelombang datan dan pantul yang masing – masing memiliki frekuensi dan amplitudo sama tetapi fasenya berlawanan.

1) Gelombang seismik

Gelombang seismik merupakan salah satu gelombang yang menggambarkan penjaralan energi melalui bumi yang padat. Gelombang yang merambat adalah gangguan medium yang dapat berlanjut dengan sendirinya dari satu titik ke titik yang lainya dengan membawa energi dan momentum. Perambatan tegangan pada daerah elastis akan menimbulkan gelombang elastis yang disebut gelombang

seismik. Salah satu penghasil gelombang seismik selain gempa bumi adalah getaran tanah akibat kegiatan peledakan. Gelombang ini termasuk dalam gelombang mekanik karena dalam perambatan getarannya memerlukan medium. Medium disini dapat berupa batuan atau udara. Gelombang seismik dibagi menjadi dua, yaitu gelombang badan (*body wave*) dan gelombang permukaan (*surface wave*). Kedua gelombang ini akan terlihat jelas pada seismogram.

a. Gelombang badan (*body wave*)

Gelombang badan merambat melalui massa batuan, menembus ke bagian dalam batuan. Untuk jarak dekat getaran lebih didominasi oleh gelombang badan. Gelombang badan ini akan merambat keluar membentuk bola sampai mereka bertemu dengan suatu bidang kontak. Bidang kontak ini dapat berupa perlapisan batuan, bidang bebas, rekahan, kekar, permukaan, atau tanah. Ketika gelombang badan ini bertemu dengan bidang kontak tersebut maka gelombang permukaan dan gelombang geser akan terbentuk. Gelombang badan dapat dibagi menjadi dua yaitu gelombang tekan (P), dan gelombang geser (S).

1) Gelombang tekan (*Compressive Wave/P-Waves*)

Gelombang tekan adalah jenis gelombang tekan-tarik, yang akan menghasilkan pemadatan (*compressi*) dan pemuaian (*dilatasi*) pada arah yang sama dengan arah perambatan gelombang. Gelombang ini dapat merambat melalui medium padat, cair maupun gas. Gelombang ini juga dapat menyebabkan perubahan volume medium yang dilaluinya.

2) Gelombang geser (*Shear Wave/S-Waves*)

Gelombang geser adalah gelombang melintang (transversal) yang bergerak tegak lurus pada arah perambatan gelombang. *S-waves*

hanya dapat merambat melalui medium padat. Gelombang ini dapat menyebabkan perubahan bentuk pada medium yang dilaluinya.

b. Gelombang permukaan (*surface wave*)

Gelombang permukaan adalah gelombang yang merambat di atas permukaan batuan tetapi tidak menembus batuan. Gerakan gelombang ini menurun terhadap kedalaman. Gelombang permukaan lebih besar dari gelombang badan tetapi penjarannya lambat. Gelombang inilah yang sering menjadi masalah. Gelombang ini membawa energi yang besar dan menghasilkan gerakan yang besar. Kedalaman batuan yang dipengaruhi oleh gerak gelombang ini kira-kira satu panjang gelombang. Ada dua jenis utama dari gelombang permukaan, yaitu:

a. *Love wave*

Gelombang ini bergerak transversal dan merambat pada perlapisan batuan. Gerakan partikel pada gelombang love mempunyai gerakan seperti pada gelombang transversal yang terpolarisasi secara horizontal.

b. *Rayleigh wave*

Gelombang jenis ini berjalan pada permukaan bebas dan gerakan partikelnya berbentuk elips. Gerakan partikel pada gelombang *reyleigh* adalah berputar mundur dan vertical terhadap arah perambatan gelombang.

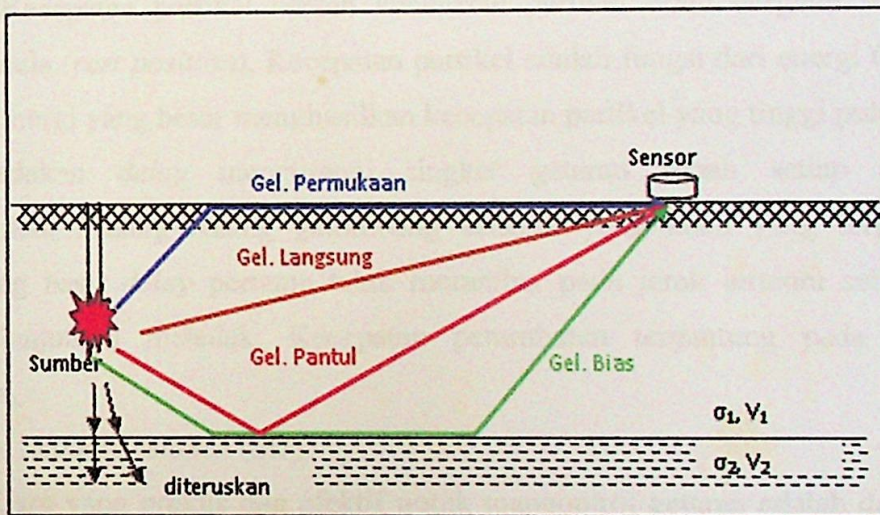
2) Lintasan gelombang seismik

Sebuah bentuk gelombang datang menggambarkan gerakan tanah di lokasi penerima (sensor) (Gambar 3.6). Gerakan tanah merupakan akibat dari gelombang badan dan gelombang permukaan yang mengikuti lintasan yang berbeda-beda di dalam kulit bumi. Walaupun

gelombang seismik memperlihatkan waktu tiba yang berbeda-beda tapi waktu tiba yang paling mudah dan terbaik untuk dimonitor adalah waktu gelombang yang tiba paling awal.

Lintasan tempuh gelombang di dalam kulit bumi umumnya dibagi menjadi 3, yaitu :

1. Lintasan gelombang langsung
2. Lintasan gelombang pantul (*reflected*)
3. Lintasan gelombang bias (*refraction*)



GAMBAR 3.6

LINTASAN GELOMBANG SEISMIK
(Scott, 1996)

Kontrol vibrasi

Peledakan tunda (*delay blasting*) adalah suatu teknik peledakan dengan cara meledakkan sejumlah besar muatan bahan peledakan tidak sebagai satu muatan (*single charge*) tetapi sebagai suatu seri dari muatan-muatan yang lebih kecil. Maka getaran yang dihasilkan terdiri seri kumpulan getaran kecil, bukan getaran besar. Dengan mempergunakan *delay*, pengurangan tingkat getaran dapat

dicapai. Untuk mengetahui mengapa peledakan *delay* efektif dalam pengurangan tingkat getaran perlu mengerti perbedaan antara kecepatan partikel (*particle velocity*) dan kecepatan perambatan (*propagation velocity* atau *transmission velocity*).

Kecepatan perambatan adalah kecepatan gelombang seismik merambat melalui batuan, berkisar antara 2000 – 20.000 feet per detik, tergantung pada jenis batuan. Untuk suatu daerah dengan batuan tertentu, kecepatan relatif konstan. Kecepatan perambatan tidak dipengaruhi oleh besarnya energi (*input energy*). Kecepatan partikel adalah kecepatan partikel bumi bergetar sekitar posisi semula (*rest position*). Kecepatan partikel adalah fungsi dari energi (*input energy*). Energi yang besar menghasilkan kecepatan partikel yang tinggi pula.

Peledakan *delay* mengurangi tingkat getaran sebab setiap *delay* menghasilkan masing-masing gelombang seismik yang kecil yang terpisah. Gelombang hasil *delay* pertama telah merambat pada jarak tertentu sebelum *delay* selanjutnya meledak. Kecepatan perambatan tergantung pada jenis batumannya.

1) Hukum *Scaled Distance* (SD)

Cara yang praktis dan efektif untuk mengontrol getaran adalah dengan menggunakan *Scaled Distance*. Sehingga memungkinkan pelaksana lapangan menentukan jumlah bahan peledak yang diperlukan atau jarak aman untuk muatan bahan peledak yang jumlahnya telah ditentukan. *Scaled Distance* dapat di rumuskan sebagai berikut (Dowding, 1985) :

$$\text{Scaled Distance (SD)} = \frac{D}{\sqrt{W}}$$

Dimana :

D = jarak muatan maksimum terhadap lokasi pengamatan, (m).

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

2) Persamaan *Peak Particle Velocity* (PPV)

Berdasarkan penelitian yang dilakukan dalam usaha menentukan besarnya kecepatan partikel puncak (PPV) yang dihasilkan dalam sebuah peledakan maka dapat ditentukan persamaan sebagai berikut (Dowding, 1985):

$$PPV = K \left(\frac{D}{\sqrt{W}} \right)^{-1.6}$$

Dimana :

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

K = Konstanta yang diperoleh saat *Scaled Distance* = 1.

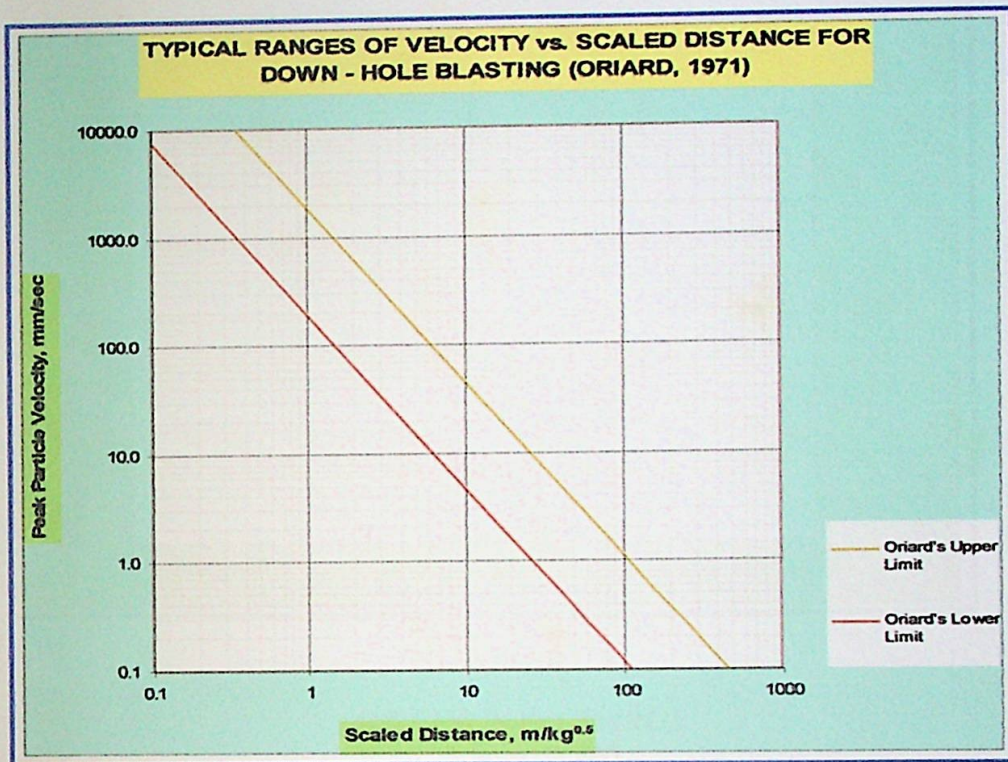
D = Jarak muatan maksimum terhadap lokasi pengamatan, (m).

W = Muatan bahan peledak maksimum per periode tunda 8 ms, (kg).

3) *Scaled Distance* Yang Disesuaikan

Peraturan *Scaled Distance* menunjukkan kondisi-kondisi dimana pekerjaan peledakan tidak boleh dilakukan. Pengaturan kembali hukum *Scaled Distance* diperlukan seandainya harga *SD* tidak lagi sesuai dengan kebutuhan-kebutuhan operasi. Pengaturan ini didasarkan pada alasan bahwa tingkat getaran akibat getaran selalu berada dalam batas aman. Pernyataan tersebut di atas dapat dan harus dibuktikan oleh pengukuran seismik.

Cara pengaturan *Scaled Distance value*, yang dipergunakan yaitu: *Particle Velocity vs Scaled Distance*. Metode ini meliputi pengukuran seismik dan perhitungan *Scaled Distance value* dari data. Data harus tersebar dari harga yang rendah sampai harga yang tinggi, dapat diperoleh dengan cara peledakan berturut-turut dan setiap kali peledakan letak Seismograf dirubah sehingga jarak menjadi semakin bervariasi. Data yang diperoleh kemudian dimasukkan dalam tabel. Data tersebut kemudian digambarkan pada kertas grafik log-log yang diberikan oleh *Oriard* dengan sumbu tegak sebagai *Peak Particle Velocity* dan *Scaled Distance* pada sumbu mendatar (Gambar 3.7).

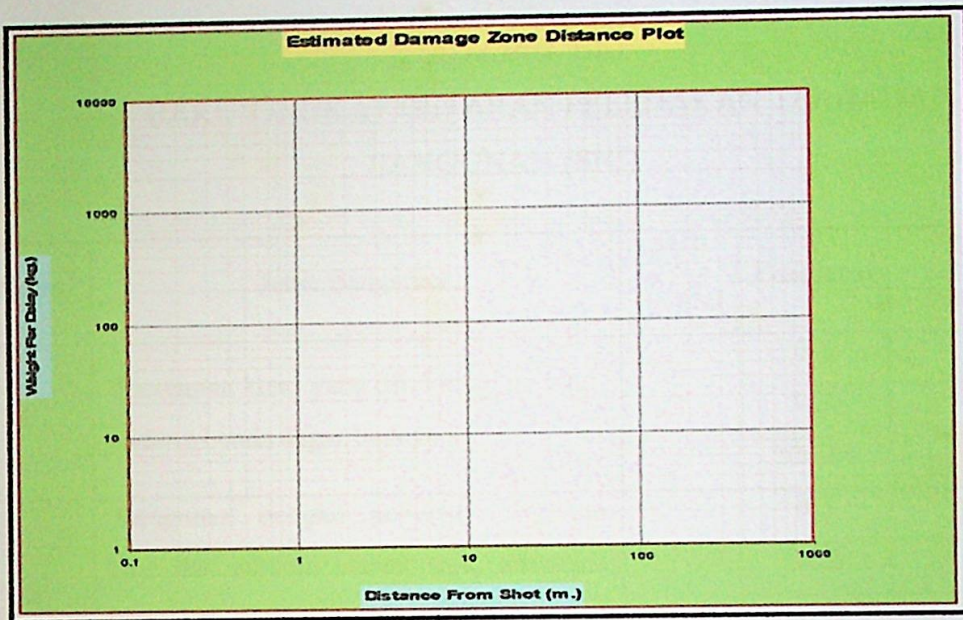


GAMBAR 3.7

PEAK PARTICLE VELOCITY V_s SCALED DISTANCE
(Lucca, 2003)

4) Scaled Distance Chart

Grafik *Scaled Distance* dapat dibuat pada grafik log-log untuk bermacam-macam harga dari *Scaled Distance*. Dengan diketahuinya harga *Scaled Distance*, dapat ditentukan jumlah muatan bahan peledak untuk bermacam-macam jarak di belakang lokasi peledakan di mana Shovel dapat menggali. Penggambaran pada kertas grafik log-log dengan sumbu tegak jumlah muatan bahan peledak dan jarak pada sumbu mendatar. Pada grafik *Scaled Distance* dapat dipakai untuk menentukan *charge* untuk sebarang jarak dengan *Scaled Distance* (SD) yang telah ditentukan (Gambar 3.8).



GAMBAR 3.8

DISTANCE Vs CHARGE
(Lucca, 2003)

D. Standart vibrasi

Standart vibrasi adalah besar/kuat getaran yang diijinkan akibat dari kegiatan peledakan dimana tidak melewati batas aman. Ada beberapa pihak/negara telah melakukan standarisasi vibrasi peledakan yaitu acuan kriteria kerusakan, seperti :

1. Badan Standardisasi Nasional (SNI)
2. US Bereau of Mines (USBM)
3. Langefors, Kihlstrom Westerberg (1957)

Badan Standardisasi Nasional menetapkan batas – batas baku tingkat getaran peledakan terhadap bangunan (Tabel III.1) dan grafik baku tingkat getaran peledakan pada tambang terbuka terhadap bangunan (Gambar 3.8). Beberapa ahli juga menetapkan acuan kriteria kerusakan yang diakibatkan oleh getaran peledakan (Tabel III.2).

TABEL III.1
BAKU TINGKAT GETARAN PELEDAKAN TERHADAP
BANGUNAN (SNI)

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 diikat 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 balk.	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

Airblast adalah istilah yang dipakai untuk peristiwa bergetarnya udara sebagai akibat dari adanya proses ledakan. Setiap ledakan mula-mula akan menimbulkan suatu *front* gelombang kejut (*shock wave*) yang segera menurun intensitasnya ke tingkat bunyi yang merambat melalui udara sebagai gelombang bunyi dengan kecepatan 345 m/s. Sebab utama terjadinya *airblast* pada peledakan adalah dengan terlepasnya gas-gas ke atmosfer dan adanya pergerakan massa batuan.

Bunyi dapat dinyatakan dengan dua macam besaran (unit) yaitu tekanan dan decibel (dB). Bila dinyatakan dengan unit tekanan maka disebut "*over pressure*" atau tekanan diatas tekanan normal atmosfer. Bila dinyatakan dengan unit decibel, maka disebut "*Sound pressure level (SPL)*".

Rumus mencari SPL (Perkins, B.jr and Jackson, W.F. 1964):

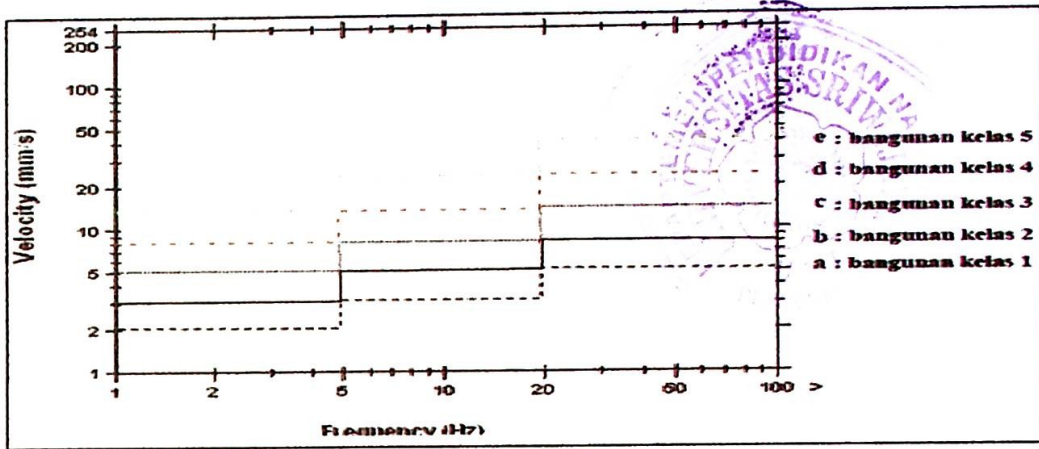
$$\text{SPL (dB)} = 20 \log \left(\frac{P}{P_0} \right)$$

Dimana : P = Overpressure yang diukur, psi

P₀ = Tekanan referensi yang ditetapkan yaitu : 3 x 10⁻⁹ psi.

Kolom *stemming* yang terlalu pendek atau ukuran *burden* terlalu kecil merupakan sumber timbulnya suara. Lobang tembak pada baris depan adalah sumber utama dari *airblast*. Lobang tembak pada baris kedua dan seterusnya tidak merupakan sumber utama kecuali jika *stemming*nya keluar secara premature. Intensitas suara di arah depan selalu lebih tinggi dibanding arah belakang pola peledakan.

Perambatan suara dari daerah peledakan dengan mudah dapat dipengaruhi oleh keadaan cuaca. Keadaan normal bilamana suhu udara dan kecepatan suara menurun dengan ketinggian. Pada kondisi ini gelombang suara akan berbelok ke atas menjauhi permukaan bumi (ke arah daerah dimana kecepatan lebih kecil). Dengan demikian intensitas suara pada permukaan bumi dengan cepat menurun dengan jarak.



GAMBAR 3.9

GRAFIK BAKU TINGKAT GETARAN PELEDAKAN PADA TAMBANGA TERBUKA TERHADAP BANGUNAN (SNI 7571 : 2010)

TABEL III.2

ACUAN KRITERIA KERUSAKAN

Acuan Standar	Jenis Bangunan	PPV (mm/s)	Kerusakan
USBM	Gedung / perumahan	< 2.0	No damage
		2.0 - 4.0	Plaster cracking
		4.0 - 7.0	Minor damage
		> 7.0	Major damage to stucture
Langefors, Kihlstrom Westerberg	Gedung / perumahan	< 2.0	No noticiable damage
		2.0 - 4.0	Fine cracks & fall of plaster
		4.0 - 7.0	Cracking of plaster & masonry walls
		> 7.0	Serious cracking
Edwards & Northwood		< 2.0	Safe, No damage
		2.0 - 4.0	Caution
		> 4.0	Damage
Nicholls, Johnson & Duval		< 2.0	Safe, No damage
		> 2.0	Damage

Inversi suhu terjadi bilamana suhu udara semakin tinggi dengan naiknya ketinggian. Dalam kondisi ini gelombang suara akan dibelokkan kembali ke permukaan bumi dan mengakibatkan intensitas suara menjadi naik, kadang-kadang menjadi dua sampai tiga kali lebih besar (6 dB sampai 10 dB). Inversi suhu sering terjadi pada waktu pagi setelah pada malam harinya keadaan cuaca terang dan kecepatan angin rendah.

Peledakan yang dilakukan pada pagi hari biasanya menghasilkan intensitas *airblast* yang tinggi. Inversi suhu akan hilang bilamana sinar matahari telah memanasi permukaan bumi dan udara sekitarnya. Ini akan terjadi pada menjelang tengah hari dimana peledakan sangat ideal dilakukan. Adanya suatu lapisan awan yang tebal adalah petunjuk adanya inversi suhu yang tidak sampai mencapai permukaan bumi.

Pengaruh angin akan selalu searah dengan arah angin dimana intensitas akan lebih tinggi di sebelah hilir. Keluhan akan berkurang bilamana peledakan dilakukan pada waktu arah angin menjauhi daerah pemukiman. Kondisi yang ideal untuk-melaksanakan peledakan adalah bilamana langit cerah disertai angin berkecepatan sedang dan keadaan suhu menaik sejak dari pagi hari sampai ke waktu peledakan.

Kadang-kadang *airblast* dapat secara langsung mengakibatkan kerusakan pada bangunan, Hal yang umum terjadi adalah timbulnya getaran yang berfrekwensi lebih tinggi yang menghasilkan suara dari jendela, pintu, dan benda-banda yang tergantung di dalam rumah. Hasil-hasil penelitian menunjukkan bahwa kaca jendela adalah bagian dari bangunan yang sangat kritis terhadap *airblast*. Berdasarkan ini dibuatlah kriteria yang mengambil kerusakan kaca jendela sebagai pedoman (Tabel III.3).

Banyak parameter peledakan yang berpengaruh terhadap intensitas *airblast*. Beberapa diantaranya dapat dirubah dalam rangka pengendalian tingkat *airblast*. Badan Standarisasi Nasional mengeluarkan baku tinggkat kebisingan yang

berada pada batas aman (Tabel III.4).

Peramalan intensitas airblast pada umumnya dilakukan secara empiris.

Rumus empiris yang dipakai adalah (Perkins, B.jr and Jackson, W.F. 1964):

$$P = K \left(\frac{D}{W^{\frac{1}{3}}} \right)^{-1.2}$$

Dimana: P = Overpressure, kPa.

D = Jarak dari peledakan, m.

W = Berat maksimum charge per delay, kg.

K = konstanta yang harganya tergantung kepada prosedur peledakan yang dipakai, bervariasi antara : 30 (Confined charge) sampai 185 (Unconfined charge).

$\left(\frac{D}{W^{\frac{1}{3}}} \right) =$ Disebut "cube root scaled distance" atau jarak dalam meter dibagi dengan akar tiga berat charge per delay dalam kg. Jadi satuannya adalah $m/kg^{1/3}$.

TABEL III.3

DESKRIPSI PENGARUH TINGKAT AIR BLAST

dB	Psi	Description
180	3.0	Structural damage
170	0.95	Most windows break
160	0.30	
150	0.095	some windows break
140	0.030	OSHA max for impulsive sound USBM TPR 78 maximum
130	0.0095	
120	0.0030	USBM TPR 78 Safe level Threshold of pain for continuous sound
110	0.00095	Complains likely
100	0.00030	OSHA Max for 15 minutes
90	0.000095	
80	0.000030	OSHA max for 8 minutes

TABEL III.4
BAKU TINGKAT KEBISINGAN

Peruntukan kawasan / lingkungan kegiatan		Tingkat kebisingan dB (A)	Maksimal durasi terpapar (jam/hari)
a	Lingkungan kegiatan tambang terbuka		
	1. Transportasi kendaraan berat	90	8
	2. Pemboran	100	2
	3. Peledakan	110	0.5
	4. Mesin peremuk batu	100	2
	5. Genset	100	2
	6. Pompa	90	8
	7. Alat – alat lain	>110	0.5
b	Lingkungan Kegiatan tambang bawah tanah		
	1. Pemboran	95	4
	2. Peledakan	140	0.25
	3. Belt & chain conveyor	90	8
	4. Kompresor	100	2
	5. Genset	100	2
	6. Roadheader & Tunnel Boring Machine	110	0.5
	7. Mine cars & skip winding	100	2
	8. Exhaust radial fan	120	0.25
	9. Pompa	90	8
10. Alat – alat lain	>115	0.25	