

## **BAB 2**

### **JENIS DAN DAYA LEDAK BAHAN PELEDAK**

#### **2.1 Bahan Peledak**

Bahan peledak yang dimaksudkan adalah bahan peledak kimia yang didefinisikan sebagai 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.

Panas dari gas yang dihasilkan reaksi peledakan tersebut sekitar 4000° C. Adapun tekanannya, menurut Langerfors dan Kihlstrom (1978), bisa mencapai lebih dari 100.000 atm setara dengan 101.500 kg/cm<sup>2</sup> atau 9.850 MPa ( $\approx$  10.000 MPa). Sedangkan energi per satuan waktu yang ditimbulkan sekitar 25.000 MW atau 5.950.000 kcal/s. Perlu difahami bahwa energi yang sedemikian besar itu bukan merefleksikan jumlah energi yang memang tersimpan di dalam bahan peledak begitu besar, namun kondisi ini terjadi akibat reaksi peledakan yang sangat cepat, yaitu berkisar antara 2500 - 7500 meter per second (m/s). Oleh sebab itu kekuatan energi tersebut hanya terjadi beberapa detik saja yang lambat laun berkurang seiring dengan perkembangan keruntuhan medan atau material yang diledakan.

#### **2.2 Jenis dan Tipe Bahan Peledak**

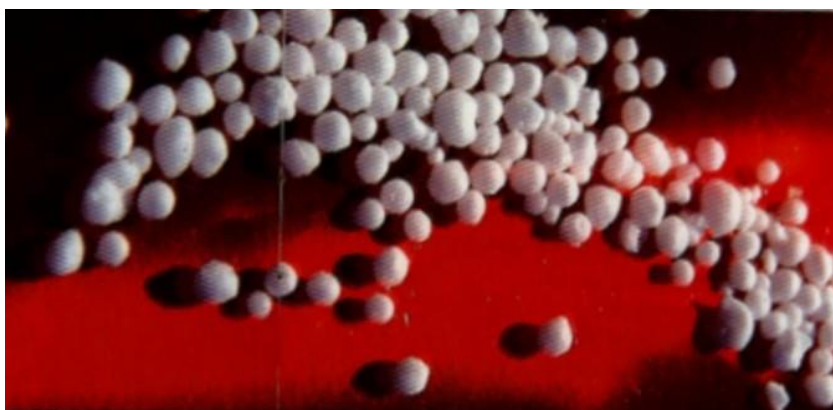
##### **2.2.1 Ammonium nitrat (AN)**

Ammonium nitrat (NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>) merupakan bahan dasar yang berperan sebagai penyuplai oksida pada bahan peledak. Berwarna putih seperti garam dengan titik lebur sekitar 169,6°C. Ammonium nitrat adalah zat penyokong proses pembakaran yang sangat kuat, namun ia sendiri bukan zat yang mudah terbakar dan bukan pula zat yang berperan sebagai bahan bakar sehingga pada kondisi biasa tidak dapat dibakar. Sebagai penyuplai oksigen, maka apabila suatu zat yang mudah terbakar dicampur dengan AN akan memperkuat intensitas proses pembakaran dibanding dengan bila zat yang mudah terbakar tadi dibakar pada kondisi udara normal. Udara normal atau atmosfer hanya mengandung oksigen 21%, sedangkan AN mencapai 60%. Bahan lain yang

serupa dengan AN dan sering dipakai oleh tambang kecil adalah potassium nitrat ( $\text{KNO}_3$ ).

Ammonium nitrat tidak digolongkan ke dalam bahan peledak. Namun bila dicampur atau diselubungi oleh hanya beberapa persen saja zat-zat yang mudah terbakar, misalnya bahan bakar minyak (solar, dsb), serbuk batubara, atau serbuk gergaji, maka akan memiliki sifat-sifat bahan peledak dengan sensitifitas rendah. Walaupun banyak tipe-tipe AN yang dapat digunakan sebagai agen peledakan, misalnya pupuk urea, namun AN yang sangat baik adalah yang berbentuk butiran dengan porositas tinggi, sehingga dapat membentuk komposisi tipe ANFO. Sifat-sifat ammonium nitrat penting untuk agen peledakan sebagai berikut:

- Densitas : butiran berpori 0,74 – 0,78 gr/cc  
(untuk agen peledakan) butiran tak berpori 0,93 gr/cc (untuk pupuk urea)
- Porositas : mikroporositas 15%  
makro plus mikroporositas 54%  
butiran tak berpori mempunyai porositas 0 – 2%
- Ukuran partikel : ukuran yang baik untuk agen peledakan antara 1 – 2 mm
- Tingkat kelarutan terhadap air : bervariasi tergantung temperatur, yaitu:  
5° C tingkat kelarutan 57,5% (berat); 30° C tingkat kelarutan 70% (berat)  
10° C tingkat kelarutan 60% (berat); 40° C tingkat kelarutan 74% (berat)  
20° C tingkat kelarutan 65,4% (berat)



Gb. 2.1. Butiran ammonium nitrat berukuran sebenarnya 2 – 3 mm

### 2.2.2 ANFO

ANFO adalah singkatan dari ammonium nitrat (AN) sebagai zat pengoksidasi dan *fuel oil* (FO) sebagai bahan bakar. Setiap bahan bakar berunsur karbon, baik berbentuk serbuk maupun cair, dapat digunakan sebagai pencampur dengan segala keuntungan dan kerugiannya. Pada tahun 1950-an di Amerika masih menggunakan serbuk batubara sebagai bahan bakar dan sekarang sudah diganti dengan bahan bakar minyak, khususnya solar.

Bila menggunakan serbuk batubara sebagai bahan bakar, maka diperlukan preparasi terlebih dahulu agar diperoleh serbuk batubara dengan ukuran seragam. Beberapa kelemahan menggunakan serbuk batubara sebagai bahan bakar, yaitu:

- preparasi membuat bahan peledak ANFO menjadi mahal,
- tingkat homogenitas campuran antara serbuk batubara dengan AN sulit dicapai,
- sensitifitas kurang, dan
- debu serbuk batubara berbahaya terhadap pernafasan pada saat dilakukan pencampuran.

Menggunakan bahan bakar minyak selain solar atau minyak disel, misalnya minyak tanah atau bensin dapat juga dilakukan, namun beberapa kelemahan harus dipertimbangkan, yaitu:

- Akan menambah derajat sensitifitas, tapi tidak memberikan penambahan kekuatan (*strength*) yang berarti,
- Mempunyai titik bakar rendah, sehingga akan menimbulkan resiko yang sangat berbahaya ketika dilakukan pencampuran dengan AN atau pada saat operasi pengisian ke dalam lubang ledak. Bila akan digunakan bahan bakar minyak sebagai FO pada ANFO harus mempunyai titik bakar lebih besar dari 61° C.

Penggunaan solar sebagai bahan bakar lebih menguntungkan dibanding jenis FO yang karena beberapa alasan, yaitu:

- Harganya relatif murah,
- Pencampuran dengan AN lebih mudah untuk mencapai derajat homogenitas,

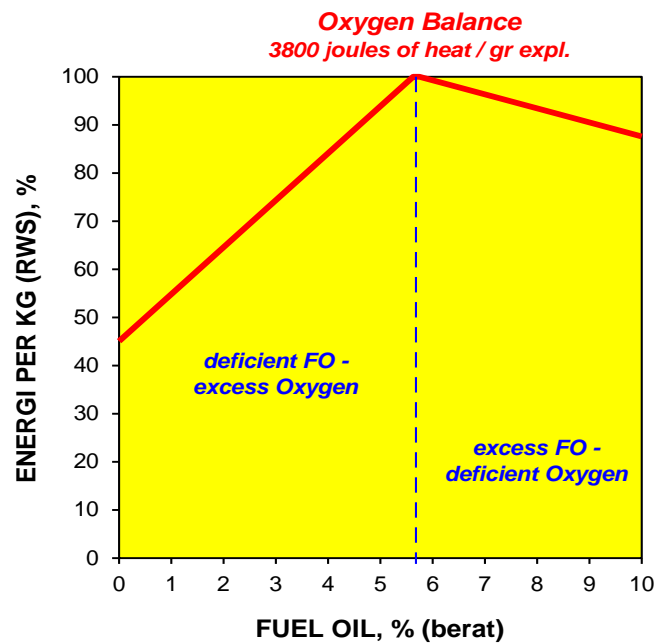
- Karena solar mempunyai viskositas relatif lebih besar dibanding FO cair lainnya, maka solar tidak menyerap ke dalam butiran AN tetapi hanya menyelimuti bagian permukaan butiran AN saja.
- Karena viskositas itu pula menjadikan ANFO bertambah densitasnya.

Untuk menyakinkan bahwa campuran antara An dan FO sudah benar-benar homogen dapat ditambah zat pewarna, biasanya oker. Gambar 3.3 memperlihatkan butiran AN yang tercampur dengan FO secara merata (homogen) dan tidak merata.



Gb. 2.2. Penampakan campuran butiran AN dan FO

Komposisi bahan bakar yang tepat, yaitu 5,7% atau 6%, dapat memaksimalkan kekuatan bahan peledak dan meminimumkan *fumes*. Artinya pada komposisi ANFO yang tepat dengan AN = 94,3% dan FO = 5,7% akan diperoleh *zero oxygen balance*. Kelebihan FO disebut dengan *overfuelled* akan menghasilkan reaksi peledakan dengan konsentrasi CO berlebih, sedangkan bila kekurangan FO atau *underfuelled* akan menambah jumlah  $\text{NO}_2$ . Gambar 3.4 grafik yang memperlihatkan hubungan antara persentase FO dan RWS dari ANFO.



Gb. 2.3. Hubungan % FO dan %RWS bahan peledak ANFO

Perbandingan ANFO sebesar 94,3% : 5,7% adalah perbandingan berdasarkan berat. Agar diperoleh perbandingan berat komposisi yang tepat antara FO dengan AN, dapat digunakan Tabel 3.1 yang menggunakan solar berdensitas 0,80 gr/cc sebagai bahan bakar. Dengan memvariasikan kebutuhan akan ANFO, akan diperoleh berapa liter solar yang diperlukan untuk dicampur dengan sejumlah AN.

Tabel 2.3. Jumlah kebutuhan FO untuk memperoleh ANFO

ANFO,kg	BAHAN BAKAR (FO)		AN, kg
	kg	liter	
10	0.57	0.71	9.43
20	1.14	1.43	18.86
30	1.71	2.14	28.29
40	2.28	2.85	37.72
50	2.85	3.56	47.15
70	3.99	4.99	66.01
80	4.56	5.70	75.44
100	5.70	7.13	94.30
200	11.40	14.25	188.60
300	17.10	21.38	282.90
400	22.80	28.50	377.20
500	28.50	35.63	471.50
1000	57.00	71.25	943.00

ANFO yang diproduksi oleh beberapa produsen bahan peledak pada umumnya mempunyai sifat yang sama seperti terlihat pada Tabel 3.2.

Tabel 2.4. Karakteristik ANFO dari beberapa produsen

PROPERTIES	NITRO NOBEL	PT. DAHANA	ICI Australia (ORICA)
Density, gr/cc			
- Poured	: 0,80 - 0,85	--	--
- Blow loaded	: 0,85 - 0,95	--	--
- Bulk	: --	0,80 - 0,84	0,80 - 1,10
Energy, MJ/kg	: 3,7	--	--
RWS, %	: 100	100 <sup>1)</sup>	100 - 113
RBS, %	:		100 - 156
- Poured	: 100	--	--
- Blow loaded	: 116	--	--
		3000 -	
VoD, m/s	: --	3300 <sup>2)</sup>	4100 <sup>3)</sup>
Min.hole diameter, mm	:	38.1	25
- Poured	: 75	--	--
- Blow loaded	: 25	--	--
Water resistance	: nil	poor	poor
Storage life, month	: 6	6	6
Trade mark	: ANFO prilled	Danfo	Nitropril

<sup>1)</sup> RWS to Blasting Gelatin = 55%

<sup>2)</sup> In 25" diameter confined borehole

<sup>3)</sup> In 200mm diameter confined borehole

### 2.2.3 Slurries (watergels)

Istilah *slurries* dan *watergel* adalah sama artinya, yaitu campuran oksidator, bahan bakar, dan pemeka (*sensitizer*) di dalam media air yang dikentalkan memakai *gums*, semacam perekat, sehingga campuran tersebut berbentuk jeli atau *slurries* yang mempunyai ketahanan terhadap air sempurna. Sebagai oksidator bisa dipakai sodium nitrat atau ammonium nitrat, bahan bakarnya adalah solar atau minyak diesel, dan pemekanya bisa berupa bahan peledak atau bukan bahan peledak yang diaduk dalam 15% media air.

Agen peledakan *slurry* yang mengandung bahan pemeka yang **bukan** jenis bahan peledak, misalnya solar, sulfur, atau alumunium, tidak peka terhadap detonator (*non-cap sensitive*). Sedangkan *slurry* yang mengandung bahan pemeka dari **jenis** bahan peledak, seperti TNT, maka akan peka terhadap terhadap detonator (*cap sensitive*). Oleh sebab itu jenis *slurry* yang disebutkan terakhir bukanlah merupakan agen peledakan, tetapi benar-benar sebagai bahan peledak *slurry* (*slurry explosive*) dan peka terhadap detonator. *Slurry* pada umumnya dikenal karena bahan bakar pemekanya, seperti *aluminized slurry*, TNT *slurry*, atau *smokeless powder slurry*.

Tabel 2.5. Contoh jenis bahan peledak watergel

Du Pont Watergels					
Jenis produk	Diameter, mm	Densitas, gr/cc	VoD, m/s	Peka detonator	Ketahanan thd air
TOVEX 90	25 - 38	0,90	4300	YA	Baik
TOVEX 100	25 - 45	1,10	4500	YA	Sangat baik
TOVEX 300	25 - 38	1,02	3400	YA	Baik
TOVEX 500	45 - 100	1,23	4300	TIDAK	Sangat baik
TOVEX 650	45 - 100	1,35	4500	TIDAK	Sangat baik
TOVEX 700	45 - 100	1,20	4800	YA	Sangat baik
TOVEX P	25 - 100	1,10	4800	YA	Sangat baik
TOVEX S	57 - 64	1,38	4800	YA	Sangat baik
POURVEX EXTRA	89 dicurah	1,33	4900	TIDAK	Sangat baik
DRIVEX	38 dipompa	1,25	5300	TIDAK	Sangat baik
ICI Explosive					
POWERGEL 1531	90	1,20	4500	YA	Sangat baik
AQUAPOUR 1083	90	1,26	4500	YA	Sangat baik
MOLANITE 95BP	90	1,17	3600	YA	Sangat baik

#### 2.2.4 Bahan peledak berbasis emulsi (*emulsion based explosives*)

Bahan peledak emulsi terbuat dari campuran antara fase larutan oksidator berbutir sangat halus sekitar 0,001 mm (disebut *droplets*) dengan lapisan tipis matrik minyak hidrokarbonat. Perbedaan ukuran butir oksidator bahan peledak dapat dilihat pada Tabel 3.4. Emulsi ini disebut tipe “air-dalam-minyak” (*water-in-oil emulsion*). *Emulsifier* ditambahkan untuk mempertahankan fase emulsi. Dengan memperhatikan butiran oksidator yang sangat halus dapat difahami bahwa untuk membuat emulsi ini cukup sulit, karena untuk mencapai *oxygen balance* diperlukan 6% berat minyak di dalam emulsi harus menyelimuti 94%

berat butiran *droplets*. Gambar 3.5 memperlihatkan bentuk struktur emulsi dengan pembesaran 1250 x, 10.000 x dan 50.000 x.

Tabel 2.6. Perbedaan ukuran butir oksidator bahan peledak  
(Bamfield and Morrey, 1984)

Bahan peledak	Ukuran, mm	Bentuk	VoD, m/s
ANFO	2,000	Semua padat	3200
Dinamit	0,200	Semua padat	4000
Slurry	0,200	Padat / liquid	3300
Emulsi	0,001	Liquid	5000 – 6000

Karena butiran oksidator terlalu halus, maka diperlukan peningkatan kepekaan bahan peledak emulsi dengan menambahkan zat pemeka (*sensitizer*), misalnya agen *gassing* kimia agar terbentuk gelembung udara untuk menimbulkan fenomena *hot spot*. Zat pemeka lainnya adalah *glass microballons* dan kadang-kadang ditambah pula dengan aluminium untuk meningkatkan kekuatan. Gambar 3.6 memperlihatkan pola urutan produksi emulsi, baik diproduksi dalam bentuk kemasan maupun dicurah langsung ke lubang ledak. Bahan peledak emulsi banyak diproduksi dengan nama yang berbeda beda. Konsistensi sifat bahan peledak tergantung pada karakteristik ketahanan fase emulsi dan efek emulsi tersebut terhadap adanya perubahan viskositas yang merupakan fungsi daripada waktu penimbunan.

Saat ini pemakaian bahan peledak emulsi cukup luas diberbagai penambangan bahan galian, baik pemakaian dalam bentuk kemasan *cartridge* maupun langsung menggunakan truck *Mobile Mixer Unit* (MMU) ke lubang ledak. Tabel 3.5 adalah contoh bahan peledak berbasis emulsi dari beberapa produsen bahan peledak termasuk merk dagang dan sifat-sifatnya, sedang Gambar 3.7 contoh bahan peledak berbasis emulsi berbentuk cartridge dari Dyno Nobel dan Dahana.

Tabel 2.7. Jenis bahan peledak berbasis emulsi

Sifat-sifat	Produsen			
	PT.Dahana	Dyno Nobel	ICI Explosives	Sasol Smx
Merk dagang	<i>Dayagel Magnum</i>	<i>Emulite</i>	<i>Seri Powergel</i>	<i>Seri Emex</i>
Densitas, gr/cc	1,25	1,18 - 1,25	1,16 -1,32	1,12 -1,24
Berat/karton, kg	20	25	20	--
RWS, %	119	111	98 - 118	74 - 186



RBS, %	183	162	140 - 179	97 - 183
VoD, m/s	4600 - 5600	5000 - 5800	4600 - 5600	4600 - 5600
Diameter, mm	25 - 65	25 -80	25 - 65	25 - 65
Ketahanan thd air	Sangat baik	Sangat baik	Sangat baik	Sangat baik
Waktu penyimpanan, thn	1	1	1	1



Gb. 2.4. Bahan peledak emulsi berbentuk *cartridge* buatan Dyno Nobel

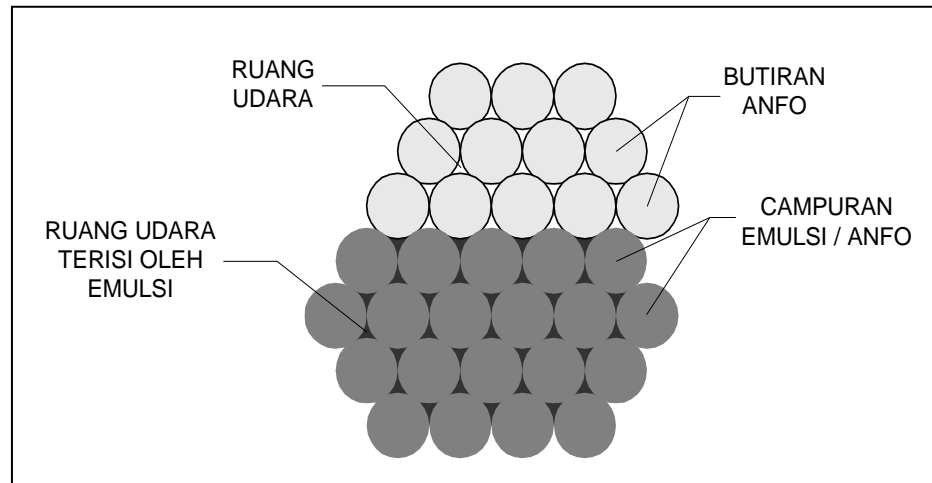
### 2.2.5 Bahan Peledak *Heavy ANFO*

Bahan peledak *heavy ANFO* adalah campuran daripada emulsi dengan ANFO dengan perbandingan yang bervariasi (lihat Gambar 3.8 dan 3.9). Keuntungan dari campuran ini sangat tergantung pada perbandingannya, walaupun sifat atau karakter bawaan dari emulsi dan ANFO tetap mempengaruhinya. Keuntungan penting dari pencampuran ini adalah:

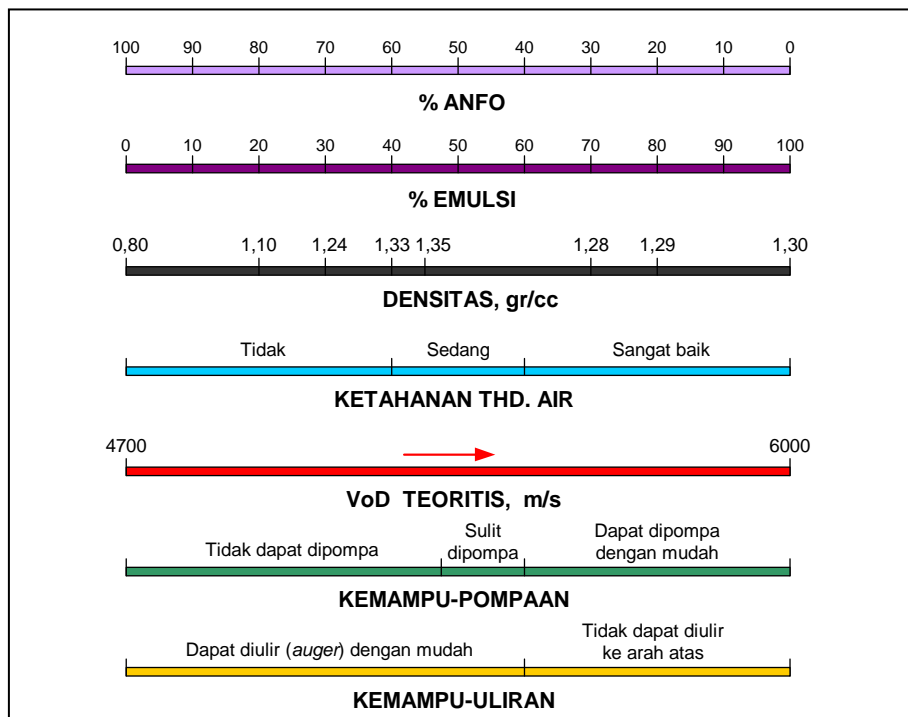
- ⇒ Energi bertambah,
- ⇒ Sensitifitas lebih baik,
- ⇒ Sangat tahan terhadap air,
- ⇒ Memberikan kemungkinan variasi energi disepanjang lubang ledak.

Cara pembuatan *heavy ANFO* cukup sederhana karena matriks emulsi dapat dibuat di pabrik emulsi kemudian disimpan di dalam tangki penimbunan emulsi. Dari tangki tersebut emulsi dipompakan ke bak truck *Mobile Mixer/Manufacturing Unit (MMU)* yang biasanya memiliki tiga kompartemen. Emulsi dipompakan ke salah satu kompartemen bak, sementara pada dua kompartemen bak yang lainnya disimpan ammonium nitrat dan solar. kemudian

MMU meluncur ke lokasi yang akan diledakkan. Tabel 3.6 beberapa merk dagang dan karakteristik *heavy ANFO*.



Gb. 2.5. Prinsip campuran emulsi dan ANFO untuk membuat *heavy ANFO*



Gb. 2.6. Karakteristik tipe *heavy ANFO* dengan variasi emulsi dan ANFO (Du Pont, 1986)

Tabel 2.8. Jenis bahan peledak berbasis emulsi

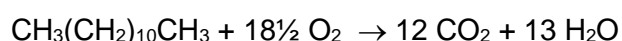
Sifat-sifat	Produsen		
	Dyno Nobel	ICI Explosives	
Merk dagang	<i>Seri Emulan</i>	<i>Seri Titan</i>	<i>Seri Energan</i>
Densitas, gr/cc	1,20 – 1,26	0,85 – 1,30	0,80 – 1,35
Kandungan emulsi, %	40 – 80	10 – 40	40
RWS, %	78 – 91	78 – 91	100 – 108
RBS, %	123 – 137	123 – 137	100 – 183
VoD, m/s	4800 – 5800	4800 - 5800	4000 – 5600
Diameter, mm	75 – 125	127 – 152	50 – 180
Ketahanan thd air	Sangat baik	Buruk - Sangat baik	Sangat baik

Agan peledakan tidak seluruhnya peka primer, tetapi sebagian besar bahan peledak kemasan berbasis emulsi peka detonator. Demikian pula dengan *watergel* yang bahan pemekanya dari **jenis** bahan peledak, yaitu TNT (lihat Tabel 3.3)

### 2.3 Terjadinya Ledakan

Peledakan akan memberikan hasil yang berbeda dari yang diharapkan karena tergantung pada kondisi eksternal saat pekerjaan tersebut dilakukan yang mempengaruhi kualitas bahan kimia pembentuk bahan peledak tersebut. Panas merupakan awal terjadinya proses dekomposisi bahan kimia pembentuk bahan peledak yang menimbulkan pembakaran, dilanjutkan dengan deflagrasi dan terakhir detonasi. Proses dekomposisi bahan peledak diuraikan sebagai berikut:

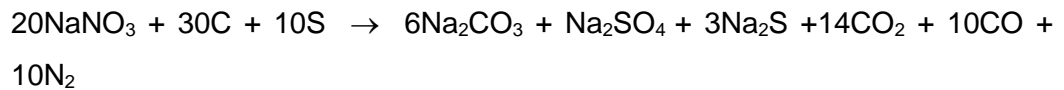
- a) **Pembakaran** adalah reaksi permukaan yang eksotermis dan dijaga keberlangsungannya oleh panas yang dihasilkan dari reaksi itu sendiri dan produknya berupa pelepasan gas-gas. Reaksi pembakaran memerlukan unsur oksigen (O<sub>2</sub>) baik yang terdapat di alam bebas maupun dari ikatan molekuler bahan atau material yang terbakar. Untuk menghentikan kebakaran cukup dengan mengisolasi material yang terbakar dari oksigen. Contoh reaksi minyak diesel (*diesel oil*) yang terbakar sebagai berikut:



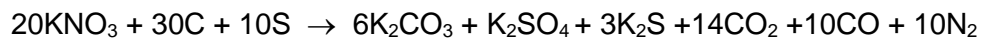
- b) **Deflagrasi** adalah proses kimia eksotermis di mana transmisi dari reaksi dekomposisi didasarkan pada konduktivitas termal (panas). Deflagrasi merupakan fenomena reaksi permukaan yang reaksinya meningkat menjadi **ledakan** dan menimbulkan gelombang kejut (*shock wave*) dengan kecepatan rambat rendah,

yaitu antara 300 – 1000 m/s atau lebih rendah dari kecep suara (*subsonic*). Contohnya pada reaksi peledakan *low explosive (black powder)* sebagai berikut:

❖ Potassium nitrat + charcoal + sulfur

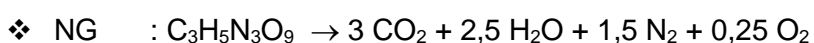


❖ Sodium nitrat + charcoal + sulfur



c) **Ledakan**, menurut Berthelot, adalah ekspansi seketika yang cepat dari gas menjadi bervolume lebih besar dari sebelumnya diiringi suara keras dan efek mekanis yang merusak. Dari definisi tersebut dapat tersirat bahwa ledakan tidak melibatkan reaksi kimia, tapi kemunculannya disebabkan oleh transfer energi ke gerakan massa yang menimbulkan efek mekanis merusak disertai panas dan bunyi yang keras. Contoh ledakan antara lain balon karet ditiup terus akhirnya meledak, tangki BBM terkena panas terus menerus bisa meledak, dan lain-lain.

d) **Detonasi** adalah proses kimia-fisika yang mempunyai kecepatan reaksi sangat tinggi, sehingga menghasilkan gas dan temperature sangat besar yang semuanya membangun ekspansi gaya yang sangat besar pula. Kecepatan reaksi yang sangat tinggi tersebut menyebarkan tekanan panas ke seluruh zona peledakan dalam bentuk gelombang tekan kejut (*shock compression wave*) dan proses ini berlangsung terus menerus untuk membebaskan energi hingga berakhir dengan ekspansi hasil reaksinya. Kecepatan rambat reaksi pada proses detonasi ini berkisar antara 3000 – 7500 m/s. Contoh kecepatan reaksi ANFO sekitar 4500 m/s. Sementara itu *shock compression wave* mempunyai daya dorong sangat tinggi dan mampu merobek retakan yang sudah ada sebelumnya menjadi retakan yang lebih besar. Disamping itu *shock wave* dapat menimbulkan *sympathetic detonation*, oleh sebab itu peranannya sangat penting di dalam menentukan jarak aman (*safety distance*) antar lubang. Contoh proses detonasi terjadi pada jenis bahan peledakan antara lain:

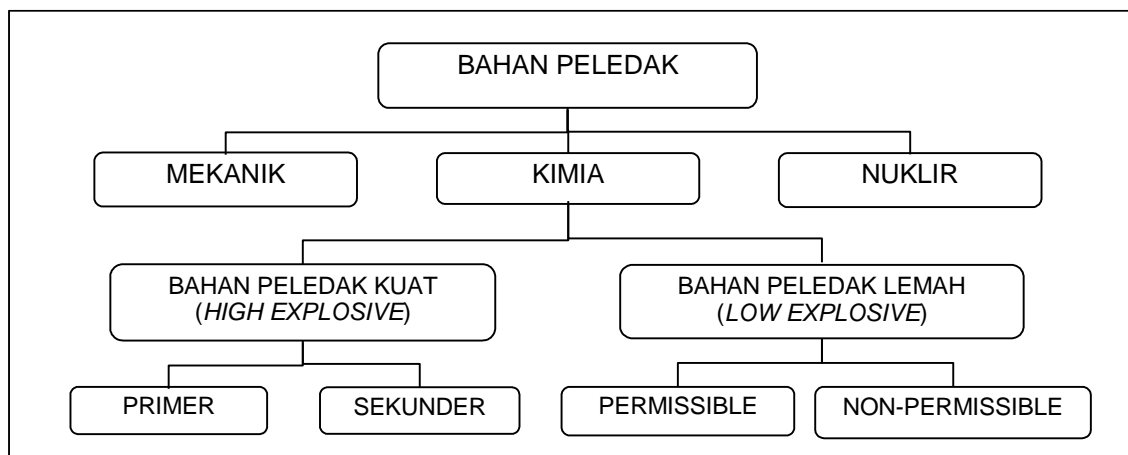


Dengan mengenal reaksi kimia pada peledakan diharapkan peserta akan lebih hati-hati dalam menangani bahan peledak kimia dan mengetahui nama-nama gas hasil peledakan dan bahayanya.

## 2.4 Klasifikasi Bahan Peledak

### 2.4.1 Umum

Bahan peledak diklasifikasikan berdasarkan sumber energinya menjadi bahan peledak mekanik, kimia dan nuklir seperti terlihat pada Gambar 1.1 (J.J. Manon, 1978). Karena pemakaian bahan peledak dari sumber kimia lebih luas dibanding dari sumber energi lainnya, maka pengklasifikasian bahan peledak kimia lebih intensif diperkenalkan. Pertimbangan pemakaiannya antara lain, harga relatif murah, penanganan teknis lebih mudah, lebih banyak variasi waktu tunda (*delay time*) dan dibanding nuklir tingkat bahayanya lebih rendah. Oleh sebab itu modul ini hanya akan memaparkan bahan peledak kimia.



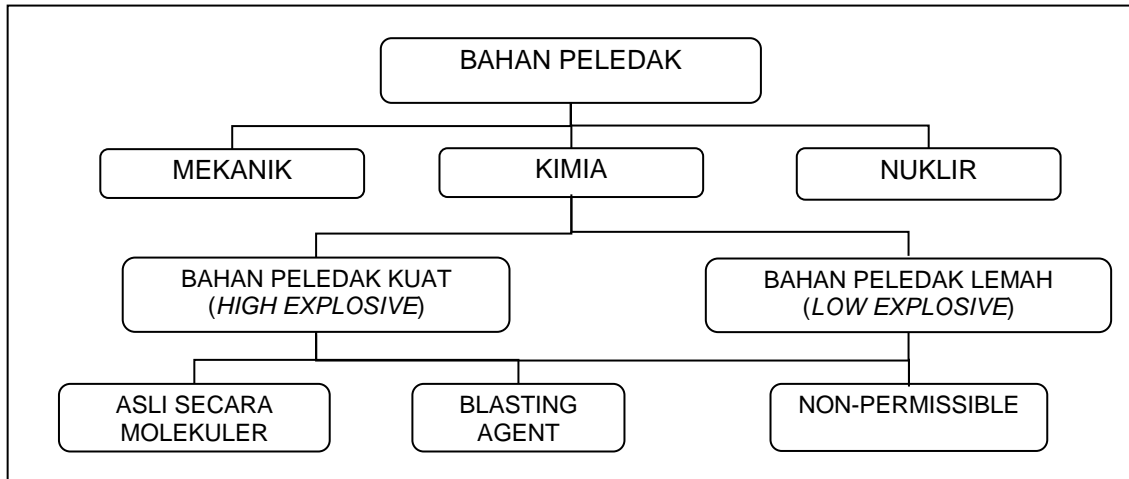
Grafik 2.7. Klasifikasi bahan peledak menurut J.J. Manon (1978)

Bahan peledak *permissible* dalam klasifikasi di atas perlu dikoreksi karena tidak semua merupakan bahan peledak lemah. Bahan peledak *permissible* digunakan khusus untuk membeaikan batubara ditambang batubara bawah tanah dan jenisnya adalah *blasting agent* yang tergolong bahan peledak kuat, sehingga pengkasifikasian akan menjadi seperti dalam Gambar 1.2.

Sampai saat ini terdapat berbagai cara pengklasifikasian bahan peledak kimia, namun pada umumnya kecepatan reaksi merupakan dasar pengklasifikasian tersebut. Contohnya antara lain sebagai berikut:

1. Menurut R.L. Ash (1962), bahan peledak kimia dibagi menjadi:

- a. Bahan peledak kuat (*high explosive*) bila memiliki sifat detonasi atau meledak dengan kecepatan reaksi antara 5.000 – 24.000 fps (1.650 – 8.000 m/s)
- b. Bahan peledak lemah (*low explosive*) bila memiliki sifat deflagrasi atau terbakar kecepatan reaksi kurang dari 5.000 fps (1.650 m/s).



Grafik. 2.2. Klasifikasi bahan peledak

2. Menurut Anon (1977), bahan peledak kimia dibagi menjadi 3 jenis seperti terlihat pada Tabel 1.1.

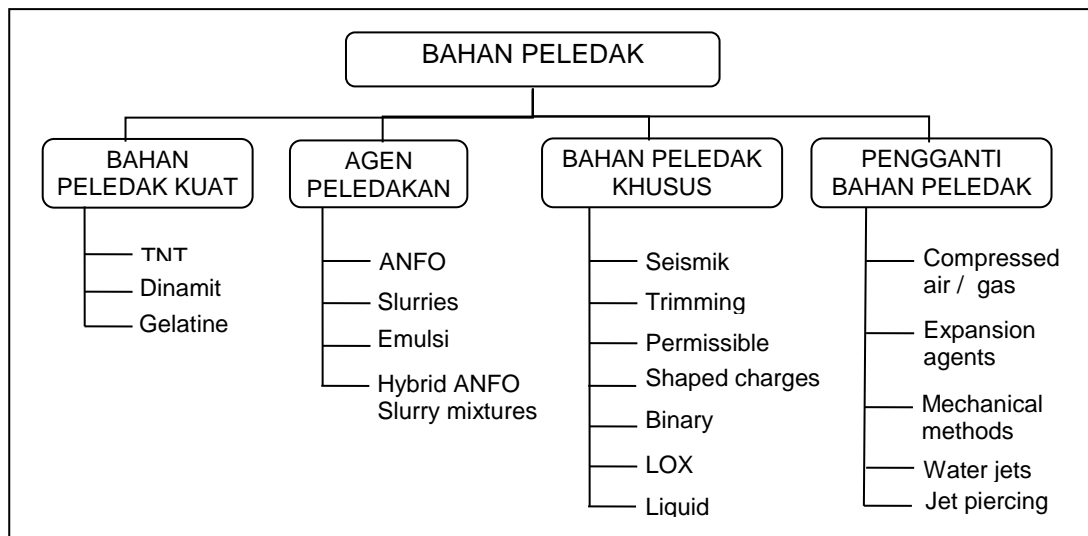
Tabel 2.1. Klasifikasi bahan peledak menurut Anon (1977)

JENIS	REAKSI	CONTOH
Bahan peledak lemah ( <i>low explosive</i> )	<i>Deflagrate</i> (terbakar)	black powder
Bahan peledak kuat ( <i>high explosive</i> )	<i>Detonate</i> (meledak)	NG, TNT, PETN
<i>Blasting agent</i>	<i>Detonate</i> (meledak)	ANFO, slurry, emulsi

#### 2.4.2 Klasifikasi Bahan Peledak Industri

Bahan peledak industri adalah bahan peledak yang dirancang dan dibuat khusus untuk keperluan industri, misalnya industri konstruksi pertambangan, sipil, dan industri lainnya, di luar keperluan militer. Sifat dan karakteristik bahan peledak (yang akan diuraikan pada pembelajaran 2) tetap melekat pada jenis bahan peledak industri. Dengan perkataan sifat dan karakter bahan peledak industri tidak jauh berbeda dengan bahan peledak militer, bahkan saat ini bahan peledak industri lebih banyak terbuat dari bahan peledak yang tergolong ke dalam bahan peledak berkekuatan tinggi (*high explosives*).

Klasifikasi bahan peledak menurut Mike Smith (1988) seperti terlihat pada Gambar 1.3 dapat dijadikan contoh pengklasifikasian bahan peledak untuk industri.



Grafik 2.3. Klasifikasi bahan peledak menurut Mike Smith (1988)

## 2.5 Sifat Fisik Bahan Peledak

Sifat fisik bahan peledak merupakan suatu kenampakan nyata dari sifat bahan peledak ketika menghadapi perubahan kondisi lingkungan sekitarnya. Kenampakan nyata inilah yang harus diamati dan diketahui tanda-tandanya oleh seorang juru ledak untuk menjustifikasi suatu bahan peledak yang rusak, rusak tapi masih bisa dipakai, dan tidak rusak. Kualitas bahan peledak umumnya akan menurun seiring dengan derajat kerusakannya, artinya pada suatu bahan peledak yang rusak energi yang dihasilkan akan berkurang.

### 2.5.1 Densitas

Densitas secara umum adalah angka yang menyatakan perbandingan berat per volume. Pernyataan densitas pada bahan peledak dapat mengekspresikan beberapa pengertian yaitu:

- (1) Densitas bahan peledak adalah berat bahan peledak per unit volume dinyatakan dalam satuan gr/cc.
- (2) Densitas pengisian (*loading density*) adalah berat bahan peledak per meter kolom lubang tembak (kg/m)
- (3) *Cartridge count* atau *stick count* adalah jumlah *cartridge* (bahan peledak berbentuk pasta yang sudah dikemas) dengan ukuran 1¼" x 8" di dalam kotak seberat 50 lb atau 140 dibagi berat jenis bahan peledak.

Densitas bahan peledak berkisar antara 0,6 – 1,7 gr/cc, sebagai contoh densitas ANFO antara 0,8 – 0,85 gr/cc. Biasanya bahan peledak yang mempunyai densitas tinggi akan menghasilkan kecepatan detonasi dan tekanan yang tinggi. Bila diharapkan fragmentasi hasil peledakan berukuran kecil-kecil diperlukan bahan peledak dengan densitas tinggi; bila sebaliknya digunakan bahan peledak dengan densitas rendah. Demikian pula, bila batuan yang akan diledakkan berbentuk massif atau keras, maka digunakan bahan peledak yang mempunyai densitas tinggi; sebaliknya pada batuan berstruktur atau lunak dapat digunakan bahan peledak dengan densitas rendah.

Densitas pengisian ditentukan dengan cara perhitungan volume silinder, karena lubang ledak berbentuk silinder yang tingginya sesuai dengan kedalaman lubang. Contoh perhitungan sebagai berikut:

➤ Digunakan diameter lubang ledak 4 inci = 102 mm

➤ Diambil tinggi lubang (t) 1 m, maka volumenya =  $\pi r^2 t = \pi \left( \frac{0,102}{2} \right)^2 \times 1$   
 $= 0,00817 \text{ m}^3/\text{m} = 8.170 \text{ cm}^3/\text{m}$

➤ Bila digunakan ANFO dengan densitas 0,80 gr/cc, maka volume ANFO per meter ketinggian lubang =  $\frac{0,80 \text{ gr}}{\text{cc}} \times 8.170 \text{ cc/m} = 6.536 \text{ gr/m} = \mathbf{6,53 \text{ kg/m}}$

Setelah diketahui muatan bahan peledak per meter lubang ledak, maka jumlah muatan bahan peledak di dalam lubang ledak adalah perkalian tinggi total lubang yang terisi bahan peledak dengan densitas pengisian tersebut. Misalnya untuk tinggi lubang yang harus diisi bahan peledak 9 m dan densitas pengisian 6,53 kg/m, maka muatan bahan peledak di dalam lubang tersebut adalah 9 m x 6,53 kg/m = 58,77 kg/lubang.

Perhitungan di atas membutuhkan waktu dan tidak praktis bila diterapkan di lapangan. Untuk itu dibuat tabel yang menunjukkan densitas pengisian dengan variasi diameter lubang ledak dan densitas bahan peledak seperti terlihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2. Densitas pengisian untuk berbagai diameter lubang ledak dan densitas bahan peledak dalam kg/m

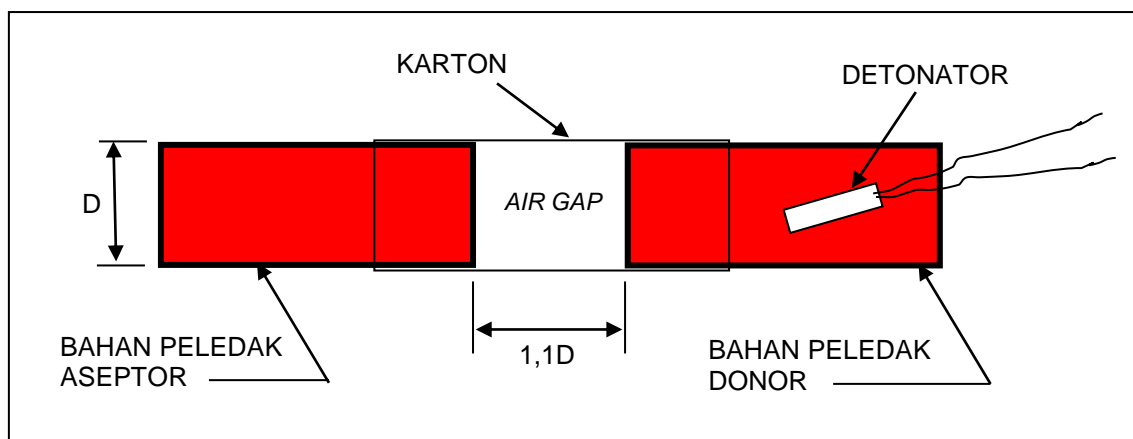


Diameter lubang ledak		Densitas bahan peledak, gr/cc								
mm	inci	0.70	0.80	0.85	0.90	1.00	1.15	1.20	1.25	1.30
76	3.00	3.18	3.63	3.86	4.08	4.54	5.22	5.44	5.67	5.90
89	3.50	4.35	4.98	5.29	5.60	6.22	7.15	7.47	7.78	8.09
102	4.00	5.72	6.54	6.95	7.35	8.17	9.40	9.81	10.21	10.62
108	4.25	6.41	7.33	7.79	8.24	9.16	10.54	10.99	11.45	11.91
114	4.50	7.14	8.17	8.68	9.19	10.21	11.74	12.25	12.76	13.27
121	4.75	8.05	9.20	9.77	10.35	11.50	13.22	13.80	14.37	14.95
127	5.00	8.87	10.13	10.77	11.40	12.67	14.57	15.20	15.83	16.47
130	5.13	9.29	10.62	11.28	11.95	13.27	15.26	15.93	16.59	17.26
140	5.50	10.78	12.32	13.08	13.85	15.39	17.70	18.47	19.24	20.01
152	6.00	12.70	14.52	15.42	16.33	18.15	20.87	21.78	22.68	23.59
159	6.25	13.90	15.88	16.88	17.87	19.86	22.83	23.83	24.82	25.81
165	6.50	14.97	17.11	18.18	19.24	21.38	24.59	25.66	26.73	27.80
178	7.00	17.42	19.91	21.15	22.40	24.88	28.62	29.86	31.11	32.35
187	7.38	19.23	21.97	23.34	24.72	27.46	31.58	32.96	34.33	35.70
203	8.00	22.66	25.89	27.51	29.13	32.37	37.22	38.84	40.46	42.08
210	8.25	24.25	27.71	29.44	31.17	34.64	39.83	41.56	43.30	45.03
229	9.00	28.83	32.95	35.01	37.07	41.19	47.37	49.42	51.48	53.54
251	9.88	34.64	39.58	42.06	44.53	49.48	56.90	59.38	61.85	64.33
270	10.63	40.08	45.80	48.67	51.53	57.26	65.84	68.71	71.57	74.43
279	11.00	42.80	48.91	51.97	55.02	61.14	70.31	73.36	76.42	79.48
286	11.25	44.97	51.39	54.61	57.82	64.24	73.88	77.09	80.30	83.52
311	12.25	53.18	60.77	64.57	68.37	75.96	87.36	91.16	94.96	98.75
349	13.75	66.96	76.53	81.31	86.10	95.66	110.01	114.79	119.58	124.36
381	15.00	79.81	91.21	96.91	102.61	114.01	131.11	136.81	142.51	148.21
432	17.00	102.60	117.26	124.59	131.92	146.57	168.56	175.89	183.22	190.55

### 2.5.2 Sensitifitas

Sensitifitas adalah sifat yang menunjukkan tingkat kemudahan inisiasi bahan peledak atau ukuran minimal *booster* yang diperlukan. Sifat sensitif bahan peledak bervariasi tergantung pada komposisi kimia bahan peledak, diameter, temperature, dan tekanan *ambient*. Untuk menguji sensitifitas bahan peledak dapat digunakan cara yang sederhana yang disebut *air gap test*, sebagai berikut:

- (1) Siapkan 2 buah bahan peledak berbentuk cartridge berdiameter sama, misalnya "D"
- (2) Dekatkan kedua bahan peledak tersebut hingga berjarak 1,1 D, kemudian gabungkan keduanya menggunakan selongsong terbuat dari karton (lihat Gambar 2.1).
- (3) Pasang detonator No. 8 atau *detonating cord* 10 gr/m pada salah satu bahan peledak (disebut donor), kemudian ledakkan.
- (4) Apabila bahan peledak yang satunya lagi (disebut aseptor) turut meledak, maka dikatakan bahwa bahan peledak tersebut sensitif; sebaliknya, bila tidak meledak berarti bahan peledak tersebut tidak sensitif.



Gb. 2.8. Pengujian sensitifitas bahan peledak dengan cara *air gap*

Bahan peledak ANFO tidak sensitif terhadap detonator No. 8 dan untuk meledak-kannya diperlukan primer (yaitu *booster* yang sudah dilengkapi detonator No. 8 atau *detonating cord* 10 gr/m) di dalam lubang ledak. Oleh sebab itu ANFO disebut bahan peledak peka (sensitif) terhadap primer atau "peka primer".

### 2.5.3 Ketahanan terhadap Air (*water resistance*)

Ketahanan bahan peledak terhadap air adalah ukuran kemampuan suatu bahan peledak untuk melawan air disekitarnya tanpa kehilangan sensitifitas atau efisiensi. Apabila suatu bahan peledak larut dalam air dalam waktu yang pendek (mudah larut), berarti bahan peledak tersebut dikategorikan mempunyai ketahanan terhadap air yang "buruk" atau *poor*, sebaliknya bila tidak larut dalam air disebut "sangat baik" atau *excellent*. Contoh bahan peledak yang mempunyai ketahanan terhadap air "buruk" adalah ANFO, sedangkan untuk bahan peledak jenis emulsi, *watergel* atau *slurries* dan bahan peledak berbentuk *cartridge* "sangat baik" daya tahannya terhadap air. Apabila di dalam

lubang ledak terdapat air dan akan digunakan ANFO sebagai bahan peledaknya, umumnya digunakan selubung plastik khusus untuk membungkus ANFO tersebut sebelum dimasukkan ke dalam lubang ledak.

#### 2.5.4 Kestabilan kimia (*chemical stability*)

Kestabilan kimia bahan peledak maksudnya adalah kemampuan untuk tidak berubah secara kimia dan tetap mempertahankan sensitifitas selama dalam penyimpanan di dalam gudang dengan kondisi tertentu. Bahan peledak yang tidak stabil, misalnya bahan peledak berbasis nitrogliserin atau *NG-based explosives*, mempunyai kemampuan stabilitas lebih pendek dan cepat rusak. Faktor-faktor yang mempercepat ketidak-stabilan kimiawi antara lain panas, dingin, kelembaban, kualitas bahan baku, kontaminasi, pengepakan, dan fasilitas gudang bahan peledak. Tanda-tanda kerusakan bahan peledak dapat berupa kenampakan kristalisasi, penambahan viskositas, dan penambahan densitas. Gudang bahan peledak bawah tanah akan mengurangi efek perubahan temperature.

#### 2.5.5 Karakteristik gas (*fumes characteristics*)

Detonasi bahan peledak akan menghasilkan fume, yaitu gas-gas, baik yang tidak beracun (*non-toxic*) maupun yang mengandung racun (*toxic*). Gas-gas hasil peledakan yang tidak beracun seperti uap air ( $H_2O$ ), karbondioksida ( $CO_2$ ), dan nitrogen ( $N_2$ ), sedangkan yang beracun adalah nitrogen monoksida ( $NO$ ), nitrogen oksida ( $NO_2$ ), dan karbon monoksida ( $CO$ ). Pada peledakan di tambang bawah tanah gas-gas tersebut perlu mendapat perhatian khusus, yaitu dengan sistem ventilasi yang memadai; sedangkan di tambang terbuka kewaspadaan ditingkatkan bila gerakan angin yang rendah.

Diharapkan dari detonasi suatu bahan peledak komersial tidak menghasilkan gas-gas beracun, namun kenyataan di lapangan hal tersebut sulit dihindari akibat beberapa faktor berikut ini:

- (1) pencampuran ramuan bahan peledak yang meliputi unsur oksida dan bahan bakar (*fuel*) tidak seimbang, sehingga tidak mencapai *zero oxygen balance*,
- (2) letak primer yang tidak tepat,
- (3) kurang tertutup karena pemasangan *stemming* kurang padat dan kuat,
- (4) adanya air dalam lubang ledak,
- (5) sistem waktu tunda (*delay time system*) tidak tepat, dan

- (6) kemungkinan adanya reaksi antara bahan peledak dengan batuan (sulfida atau karbonat).

*Fumes* hasil peledakan memperlihatkan warna yang berbeda yang dapat dilihat sesaat setelah peledakan terjadi. Gas berwarna coklat-orange adalah fume dari gas NO hasil reaksi bahan peledak basah karena lubang ledak berair. Gas berwarna putih diduga kabut dari uap air (H<sub>2</sub>O) yang juga menandakan terlalu banyak air di dalam lubang ledak, karena panas yang luar biasa merubah seketika fase cair menjadi kabut. Kadang-kadang muncul pula gas berwarna kehitaman yang mungkin hasil pembakaran yang tidak sempurna.

## 2.6 Karakter Detonasi Bahan Peledak

Karakter detonasi menggambarkan perilaku suatu bahan peledak ketika meledak untuk menghancurkan batuan. Beberapa karakter detonasi yang penting diketahui meliputi:

### 2.6.1 Kekuatan (*strength*) bahan peledak

Kekuatan bahan peledak berkaitan dengan energi yang mampu dihasilkan oleh suatu bahan peledak. Pada hakekatnya kekuatan suatu bahan peledak tergantung pada campuran kimiawi yang mampu menghasilkan energi panas ketika terjadi inisiasi. Terdapat dua jenis sebutan kekuatan bahan peledak komersial yang selalu dicantumkan pada spesifikasi bahan peledak oleh pabrik pembuatnya, yaitu kekuatan absolut dan relatif. Berikut ini diuraikan tentang kekuatan bahan peledak dan cara perhitungannya.

- (1) Kekuatan berat absolut (*absolute weight strength* atau **AWS**)

- Energi panas maksimum bahan peledak teoritis didasarkan pada campuran kimawinya
- Energi per unit berat bahan peledak dalam joules/gram
- $AWS_{ANFO}$  adalah 373 kJ/gr dengan campuran 94% ammonium nitrat dan 6% solar

- (2) Kekuatan berat relatif (*relative weight strength* atau **RWS**)

- Adalah kekuatan bahan peledak (dalam berat) dibanding dengan ANFO

- $$RWS_{HANDAK} = \frac{AWS_{HANDAK}}{AWS_{ANFO}} \times 100$$

- (3) Kekuatan volume absolut (*absolute bulk strength* atau **ABS**)

- Energi per unit volume, dinyatakan dalam joules/cc

- $ABS_{\text{HANDAK}} = AWS_{\text{HANDAK}} \times \text{densitas}$
- $ABS_{\text{ANFO}} = 373 \text{ kJ/gr} \times 0,85 \text{ gr/cc} = 317 \text{ kJ/cc}$

(4) Kekuatan volume relatif (*relative bulk strength* atau **RBS**)

- Adalah kekuatan suatu bahan peledak curah (*bulk*) dibanding ANFO

- $$RBS_{\text{HANDAK}} = \frac{ABS_{\text{HANDAK}}}{ABS_{\text{ANFO}}} \times 100$$

### 2.6.2 Kecepatan Detonasi (*detonation velocity*)

Kecepatan detonasi disebut juga dengan *velocity of detonation* atau VoD merupakan sifat bahan peledak yang sangat penting yang secara umum dapat diartikan sebagai laju rambatan gelombang detonasi sepanjang bahan peledak dengan satuan millimeter per sekon (m/s) atau *feet per second* (fps). Kecepatan detonasi diukur dalam kondisi terkurung (*confined detonation velocity*) atau tidak terkurung (*unconfined detonation velocity*).

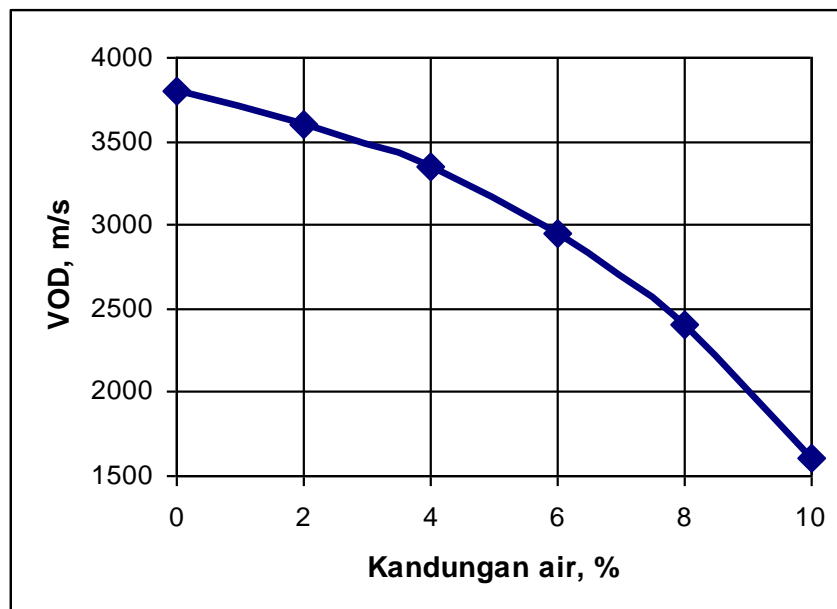
Kecepatan detonasi terkurung adalah ukuran kecepatan gelombang detonasi (*detonation wave*) yang merambat melalui kolom bahan peledak di dalam lubang ledak atau ruang terkurung lainnya. Sedangkan kecepatan detonasi tidak terkurung menunjukkan kecepatan detonasi bahan peledak apabila bahan peledak tersebut diledakkan dalam keadaan terbuka. Karena bahan peledak umumnya digunakan dalam keadaan derajat pengurungan tertentu, maka harga kecepatan detonasi dalam keadaan terbuka menjadi lebih berarti.

Kecepatan detonasi bahan peledak harus melebihi kecepatan suara massa batuan (*impedance matching*), sehingga akan menimbulkan energi kejutan (*shock energy*) yang mampu memecahkan batuan. Untuk peledakan pada batuan keras dipakai bahan peledak yang mempunyai kecepatan detonasi tinggi (sifat *shattering effect*) dan pada batuan lemah dipakai bahan peledak yang kecepatan detonasinya rendah (sifat *heaving effect*).

Nilai kecepatan detonasi bervariasi tergantung diameter, densitas, dan ukuran partikel bahan peledak. Untuk bahan peledak komposit (*non-ideal*) tergantung pula pada derajat pengurungannya (*confinement degree*). Kecepatan detonasi tidak terkurung umumnya 70 – 80% kecepatan detonasi terkurung, sedangkan kecepatan detonasi bahan peledak komersial bervariasi antara 1500 – 8500 m/s atau sekitar 5000 – 25.000 fps. Kecepatan detonasi ANFO antara 2500 –

4500 m/s tergantung pada diameter lubang ledak. Apabila diameter dikurangi sampai batas tertentu akan terjadi gagal ledak (*misfire*) karena perambatan tidak dapat berlangsung; diameter ini disebut “diameter kritis” atau *critical diameter*.

Kecepatan detonasi bahan peledak ANFO (bentuk butiran) akan menurun seiring dengan bertambahnya air karena ANFO dapat larut terhadap air. Suatu penelitian memperlihatkan bahwa ANFO yang mengandung 10% air (dalam satuan berat) dapat menurunkan kecepatan detonasi hingga tinggal 42%, yaitu dari VOD ANFO kering 3800 m/s turun menjadi hanya tinggal 1600 m/s (lihat Gambar 2.2). Akibat penurunan kecepatan detonasi ANFO yang sangat tajam akan mengurangi energi ledak secara drastis atau bahkan tidak akan meledak sama sekali (gagal ledak).



Gb. 2.2. Penurunan kecepatan detonasi ANFO akibat kandungan air

### 2.6.3 Tekanan Detonasi (*detonation pressure*)

Tekanan detonasi adalah tekanan yang terjadi disepanjang zona reaksi peledakan hingga terbentuk reaksi kimia seimbang sampai ujung bahan peledak yang disebut dgn bidang *Chapman-Jouguet (C-J plane)* seperti terlihat pada Gambar 2.3. Umumnya mempunyai satuan MPa. Tekanan ini merupakan fungsi dari kecepatan detonasi dan densitas bahan peledak. Dari penelitian oleh Cook menggunakan foto sinar-x diperoleh formulasi tekanan detonasi sbb:

$$PD = \rho_e \times VoD \times U_p$$

$$U_p = 0,25 \times VoD$$

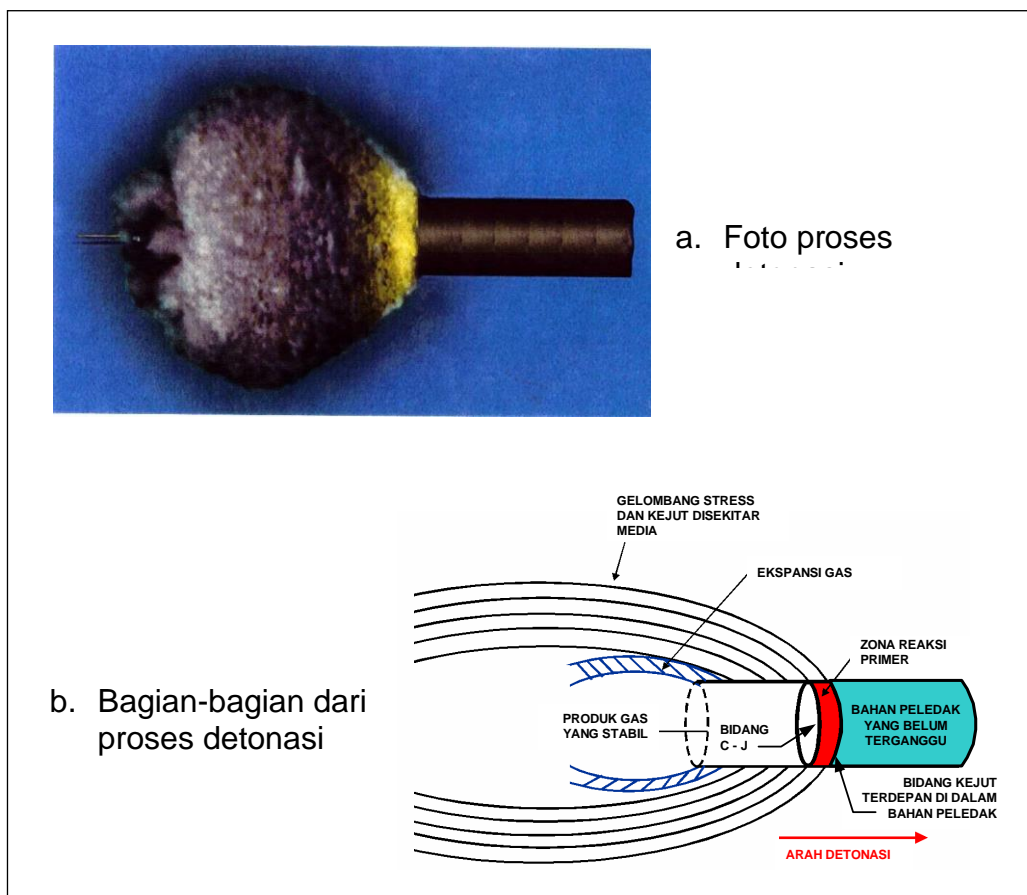
$$PD = \frac{\rho_e \times VoD^2}{4}$$

Dimana: PD = tekanan detonasi, kPa

$\rho_e$  = densitas handak, gr/cc

VoD = kecep detonasi, m/s

ANFO dengan densitas 0,85 gr/cc dan VoD 3700 m/s memiliki PD = 2900 MPa.



Gb. 2.9. Proses terbentuknya tekanan detonasi

#### 2.6.4 Tekanan pada lubang ledak (*borehole pressure*)

Gas hasil detonasi bahan peledak akan memberikan tekanan terhadap dinding lubang ledak dan terus berekspansi menembus media untuk mencapai keseimbangan. Keseimbangan tekanan gas tercapai setelah gas tersebut terbebas, yaitu ketika telah mencapai udara luar. Biasa tekanan gas pada dinding lubang ledak sekitar 50% dari tekanan detonasi.

Volume dan laju kecepatan gas yang dihasilkan peledakan akan mengontrol tumpukan dan lemparan fragmen batuan (lihat Gambar 2.4). Makin besar tekanan pada dinding lubang ledak akan menghasilkan jarak lemparan tumpukan hasil peledakan semakin jauh.