

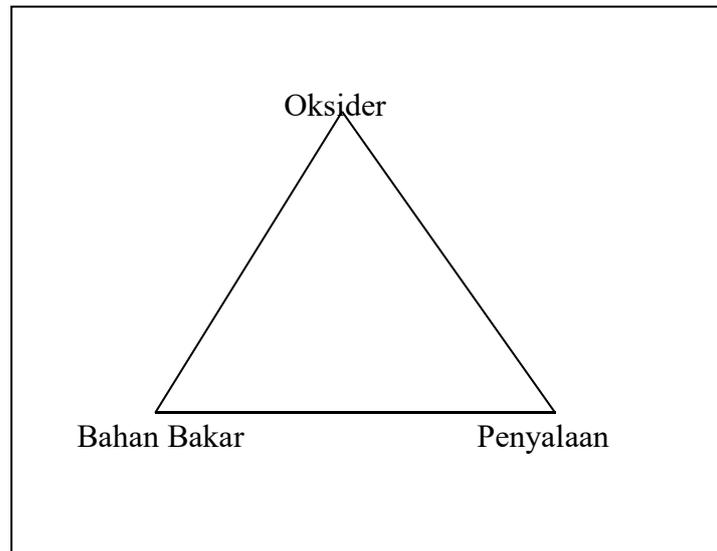
# BAB I

## BAHAN PELEDAK

### 1.1 Pendahuluan

Secara praktis, bahan peledak adalah kumpulan bahan kimia yang mampu mengurai dengan cepat dan menghasilkan ledakan. Penguraian ini menghasilkan gas bertemperatur dan bertekanan tinggi sehingga dapat melakukan kerja mekanis ke sekelilingnya. Agar dapat dipakai dengan aman, BP harus mempunyai stabilitas kimia yang baik pada berbagai kondisi seperti, gesekan, impak, atau panas.

Secara umum BP dapat didefinisikan sebagai kumpulan dari unsur padat, cair, atau gas yang berkondisi menstabil dan dapat melakukan reaksi kimia dengan cepat tanpa ada unsur lainnya seperti oksigen atmosfer. Reaksinya dapat dipicu secara mekanis kejut atau panas. Ketahanan untuk melakukan reaksi mencerminkan sensitivitas bahan peledak.



**Gambar 1.1.1. Segitiga detonasi bahan peledak**

Berdasarkan kategori dasar pembentukan proses ledakan maka BP dapat dibagi sebagai berikut :

1. Nuklir, contoh : bom atom, uranium, plutonium
2. Mekanis, contoh : pemanasan air dalam wadah tertutup, kawah.
3. Kimia, contoh : kejut, dekomposisi hebat campuran kimia

Pada kecepatan reaksi kimia semua BP bergantung kepada kekuatan gelombang kejut. BP yang terdiri dari molekul-molekul berenergi tinggi akan menghasilkan reaksi dekomposisi kimia atau detonasi dengan sangat cepat. Laju perubahan kekuatan gelombang kejut akan menurun sesuai dengan menurunnya amplitude gelombang kejutnya.

Reaksi detonasi bahan peledak pada suatu kegiatan peledakan bergantung pada ukuran pemuatan bahan peledak dan derajat pengukuan. BP komersil umumnya memiliki energi dalam rendah dan sering berupa gabungan dari komponen bahan bakar dan oksider yang disatukan dalam butiran yang berbeda. Reaksi kimia BP jenis ini hanya terjadi saat peledakan. Sebagai contoh, BP yang banyak dipakai untuk peledakan batuan adalah ANFO. BP ini merupakan campuran butir ammonium nitrat (AN) dengan bahan bakar solar sebanyak 5,5% ANFO. Dalam bentuk ini mempunyai bobot isi sekitar 0,8 s/d 1 g/cc, dan umumnya tidak mampu untuk melakukan detonasi di dalam bentuk dodol tak terkurung dengan diameter <50 mm.

## **1.2 Latar Belakang**

### **Klasifikasi dan Sifat-Sifat Bahan Peledak**

#### **1. Klasifikasi Bahan Peledak**

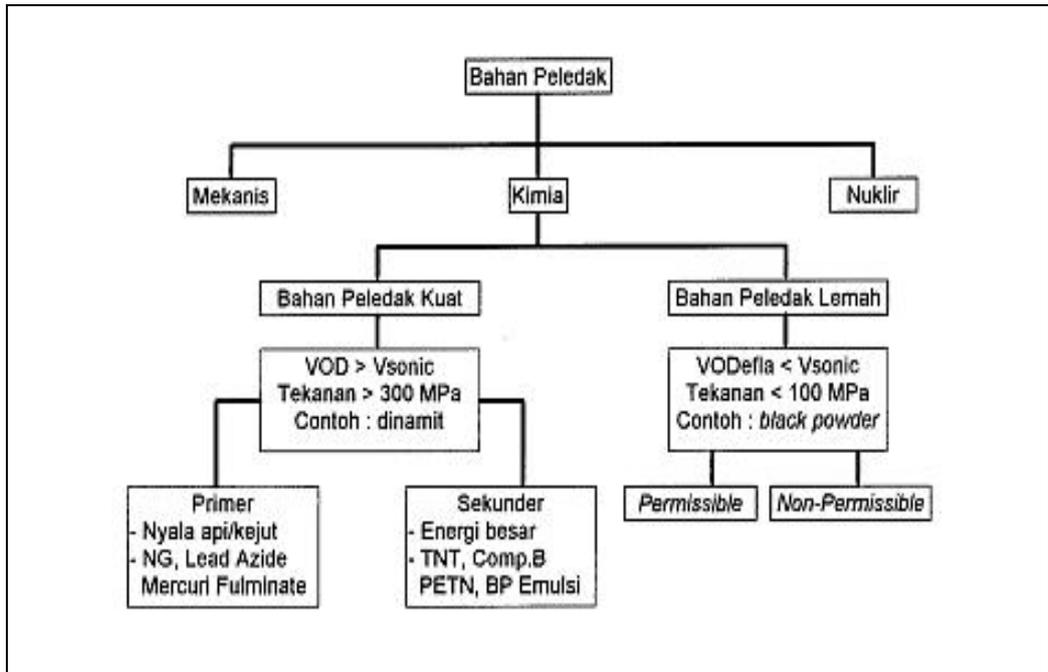
Pada tabel dibawah ini terlihat klasifikasi metode pemecahan batuan berdasarkan energi yang digunakan. Dari metode yang disebutkan di atas hanya energi kimia yang dipergunakan secara luas untuk pemberaian batuan yang kuat, kecuali bahan peledak kimia, masih ada jenis bahan peledak lain, yaitu bahan peledak mekanis dan nuklir seperti yang tercantum dalam spesifikasi bahan peledak menurut Manon, 1976.

**Tabel 1.2.1 Klasifikasi metode pemecahan batuan**

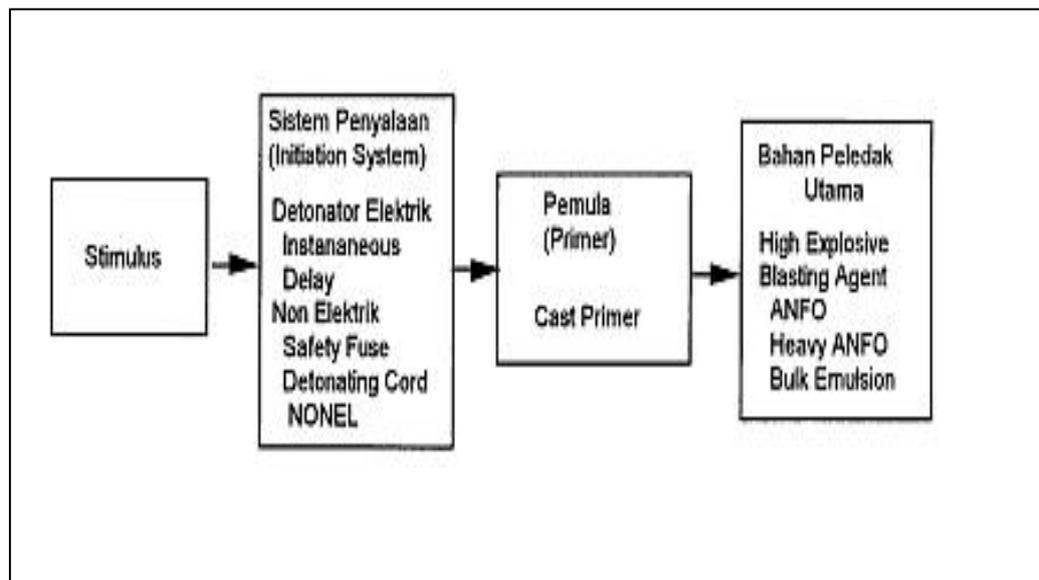
Bentuk Energi yang dipergunakan	Metode	Alat atau mesin yang dipergunakan
Kimia	Peledakan	High explosive, blasting agent, liquid oxygen (LOX), black powder
Mekanis	Pneumatic  Ripping  Impact	Udara bertekanan tinggi, silinder carbondioxide  Ripper teeth, dozer blade  Hydraulic impact hammer, drop ball
Fluida	Menyemprot tanah (soil)  Menyembur batuan	Hydraulicking (monitor)  Hydraulic Jet
listrik	Electric arc atau lompatan listrik	Electrofrac machine

Menurut Manon, *permissible explosives* digolongkan dalam bahan peledak lemah, hal tersebut kurang tepat karena tidak semua *permissible explosive* merupakan bahan peledak lemah. Sebenarnya masih ada beberapa cara dalam menyusun klasifikasi bahan peledak, antara lain :

- Menurut Manon (1976), bahan peledak dibagi menjadi :
  - a. Bahan peledak kimia
  - b. Bahan peledak mekanis
  - c. Bahan peledak nuklir
- Menurut Mike Smith (Mining Magazine, Feb.1998) bahan peledak dibagi menjadi :
  - a. Bahan peledak kuat (*high explosives*)
  - b. Blasting agents
  - c. Speciality explosives
  - d. Explosive substitutes



**Gambar 1.2.1** Klasifikasi Bahan peledak menurut JJ Manon, 1976



**Gambar 1.2.2.** Klasifikasi Bahan peledak menurut Mike Smith, 1998

2. Bahan Peledak Kimia

Bahan peledak kimia yang banyak digunakan di dunia industri pertambangan, oleh beberapa penulis diklasifikasikan sebagai berikut :

- Menurut R.L Ash Bahan peledak kimia dibagi menjadi :
  - a. Bahan peledak kuat (*high explosive*), yang memiliki sifat *detonation* dengan kecepatan detonasi 5.000-24.000 feet per second (fps)
  - b. Bahan peledak lemah (*low explosive*), yang memiliki sifat *deflagration* dengan kecepatan reaksi <5.000 fps
- Menurut Anon (1977) bahan peledak kimia diklasifikasikan menjadi:
  - a. Bahan peledak lemah (*low explosive*)
  - b. Bahan peledak kuat (*high explosive*)
  - c. Blasting agents

Bahan peledak kimia adalah senyawa kimia atau campuran senyawa kimia yang apabila dikenakan panas, benturan atau kejutan (*shock*) secara cepat dengan sendirinya akan bereaksi dan terurai (*exothermic decomposition*). Penguraian ini menghasilkan produk yang lebih stabil, umumnya berupa gas-gas bertekanan tinggi, karena gas-gas tersebut mengembang pada suhu tinggi akibat panas yang dihasilkan dari reaksi eksotermis.

Besarnya tenaga yang dihasilkan suatu bahan peledak terutama tergantung pada jumlah panas yang dihasilkan selama peledakan. Ada dua macam istilah untuk reaksi yang terjadi pada bahan peledak kimia, yaitu *detonation* dan *deflagration*. *Detonation* menunjukkan reaksi kimia yang terjadi pada bahan peledak dengan kecepatan yang lebih cepat dari pada kecepatan suara dan menyebabkan *shattering effects* sedangkan *deflagration* menunjukkan reaksi kimia yang lebih lambat dari pada kecepatan suara dan menyebabkan *heaving effects*.

**Tabel 1.2.2. Klasifikasi bahan peledak menurut Anon**

MACAM	REAKSI	CONTOH
Low Explosives	Deflagration (Terbakar)	Black Powder
High Explosives	Detonate (Meledak)	Nitro Glycerin (NG) Dynamit
Blasting Agents	Detonate (Meledak)	AN-FO, Slurry

### 3. Bahan Peledak Lemah (*Low Explosive*)

Bahan peledak lemah adalah campuran dari potassium nitrat atau sodium nitrat, sulphur, dan charcoal yang biasa disebut *black powder*. *Black powder* diproduksi dalam dua bentuk yaitu :

- a. Granular atau *black blasting powder* yang berbentuk butiran kecil, biasanya dikemas dalam tong seberat 25 pound.
- b. Pelleted atau pellet powder yang berbentuk silinder. Ada dua macam *black blasting powder* yaitu :
  - ( i ) Grade A adalah *black blating powder* yang mengandung *saltpeter* atau potassium nitrat. Bahan peledak ini lebih cepat reaksinya, sedikit lebih berat dan kurang higroskopis dibandingkan dengan grade B.
  - ( ii ) Grade B adalah *black blasting powder* yang mengandung sodium nitrat.

Kecepatan pembakaran (*burning speed*) dari *black blasting powder* dikontrol oleh ukuran butir. Semakin kecil ukuran butirnya akan semakin cepat pembakaran atau reaksi kimianya.

### 4. Bahan Peledak Kuat (*High Explosive*)

Berdasarkan fungsinya bahan-bahan (*ingredients*) yang dipergunakan untuk membuat bahan peledak kuat diklasifikasikan sebagai berikut:

- a. Bahan peledak dasar (*Explosive bases*)
- b. Bahan Bakar (*Combustibles*)
- c. Pembawa oksigen (*oxygen carriers*)
- d. Antacids
- e. Penyerap (*absorbents*)

Beberapa bahan dapat mempunyai fungsi lebih dari satu. Bahan peledak dasar adalah bahan yang berbentuk padat atau cair yang apabila dikenakan panas yang tinggi atau kejutan akan terurai menjadi produk yang berupa gas-gas disertai pelepasan atau pembebasan energi panas yang besar.

*Combustibles* dan *oxygen carriers* ditambahkan dalam suatu bahan peledak untuk mendapatkan *oxygen balance* yang baik atau menghindari terbentuknya NO<sub>2</sub> (*nitrogen oxide*) atau CO (*carbon monoxide*). *Antacid* ditambahkan dalam campuran

suatu bahan peledak untuk menambah stabilitas pada waktu penyimpanan dan *absorbent* digunakan apabila diperlukan untuk menyerap bahan peledak dasar yang berbentuk cairan.

## 5. Sifat-Sifat Bahan Peledak

Bahan peledak mempunyai bermacam-macam sifat. Untuk jenis bahan peledak tertentu sifat-sifatnya bervariasi tergantung dari pabrik yang membuatnya. Sifat-sifat BP yang akan dibahas disini adalah sifat-sifat yang berguna sebagai petunjuk untuk memilih BP. Sifat-sifat tersebut adalah sifat fisik BP dan sifat detonasi.

Sifat fisik terdiri dari :

- a. Bobot isi
- b. Sensitivitas
- c. Ketahanan terhadap air
- d. Stabilitas kimia
- e. Karakteristik gas peledakan
- f. Karakteristik keselamatan

Sedangkan sifat detonasi terdiri dari :

- a. Kecepatan Detonasi (*Velocity of Detonation*)
- b. Tekanan Detonasi
- c. Tekanan Lubang Tembak
- d. Energi / Kekuatan

### 5.1. Sifat-Sifat Fisik

- a. Bobot Isi (*density*)

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. Bobot isi suatu BP menjadi amat penting jika bekerja di tempat yang kondisinya berair, karena BI nya harus lebih besar dari 1 gr/cc agar tidak mengapung di atas bantalan air. BI air di dalam lubang tembak biasanya lebih besar dari 1 gr/cc, karena adanya partikel padatan atau garam-garam yang terlarutkan dan sangat dianjurkan untuk menggunakan BP yang BI nya lebih besar dari 1,1 gr/cc. Sensitivitas, VOD dan energi peledakan dipengaruhi oleh BI. Sensitivitas hampir semua bahan peledak curah menurun dengan meningkatnya VOD dan BI. Selang BI untuk BP komersial dapat dilihat pada tabel 1.2.3.

**Tabel 1.2.3. Kisaran bobot isi bahan peledak**

<b>Bahan Peledak</b>	<b>Bobot isi (gr/cc)</b>	<b>Bahan Peledak</b>	<b>Bobot isi (gr/cc)</b>
ANFO lepas	0,75-0,85	Emulsi	1,1-1,3
ANFO pneumatik	0,80-1,10	Campuran Emulsi	1,0-1,35
ANFO BI rendah	0,20-0,75	Water gels - Slurries	1,0-1,3

b. Sensitivitas

Sensitivitas 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, temperatur, dan tekanan *ambient*. Untuk menguji sensitivitas 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
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.

Bahan peledak ANFO tidak sensitif terhadap detonator No. 8 dan untuk meledakkannya 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".

Uji sensitivitas *blasting cap* No.8 adalah uji standar yang sering dipakai oleh industri BP. *Blasting cap* no 8 ini termasuk kategori yang lemah dan mempunyai kandungan 2 gram campuran yang terdiri 80% mercury *fulminate* dan 20% *potassium chlorate*. Sedangkan *blasting cap* yang lebih kuat adalah yang berisi PETN.

c. Ketahanan Terhadap Air

Ketahanan bahan peledak terhadap air adalah ukuran kemampuan suatu bahan peledak untuk melawan air disekitarnya tanpa kehilangan sensitivitas 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.

Secara kimia BP tidak berubah bila dijaga pada kondisi penyimpanan tertentu namun demikian dapat dikatakan bahwa stabilitas kimia akan berubah akibat beberapa hal. Berikut ini adalah beberapa faktor yang mempengaruhi umur BP :

- Formula
- Kelembaban dan temperature ekstrim
- Kualitas bahan mentah
- Kontaminasi
- Fasilitas pergudangan

Untuk memudahkan identifikasi kerusakan BP secara visual adalah sebagai berikut :

- Kristalisasi
- Perubahan warna
- Kinerja lapangan buruk

#### d. Karakteristik Gas Peledakan

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 ( $H_2O$ ) 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.

e. Karakteristik Keselamatan

BP komersial dalam penggunaannya harus memiliki sifat-sifat yang dapat menjamin keselamatan kerja. Oleh karena itu sebelum BP dapat dipakai secara komersial beberapa uji perlu dilakukan seperti : jatuh impak, batang luncur, proyektil, analisa panas differensial, bakar, dan elektrik statik.

## 5.2. Sifat - Sifat Detonasi

### a. Kecepatan Detonasi

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 kejut (*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).

b. Tekanan Lubang Tembak

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 ter-bebaskan, yaitu ketika telah mencapai udara luar. Biasa tekanan gas pada dinding lubang ledak sekitar 50% dari tekanan detonasi. Tekanan lubang tembak menunjukkan bahwa energi gas dari BP dan nilainya bergantung kepada :

- Pengukungan
- Jumlah gas yang dibangkitkan
- Temperatur produk reaksi kimia BP

Tekanan lubang tembak diakibatkan dari ekspansi gas-gas reaksi kimia BP, oleh karenanya tidak mungkin diukur karena tekanan kejutnya sangat besar di muka detonasi yang dapat merusakkan semua peralatan ukur.

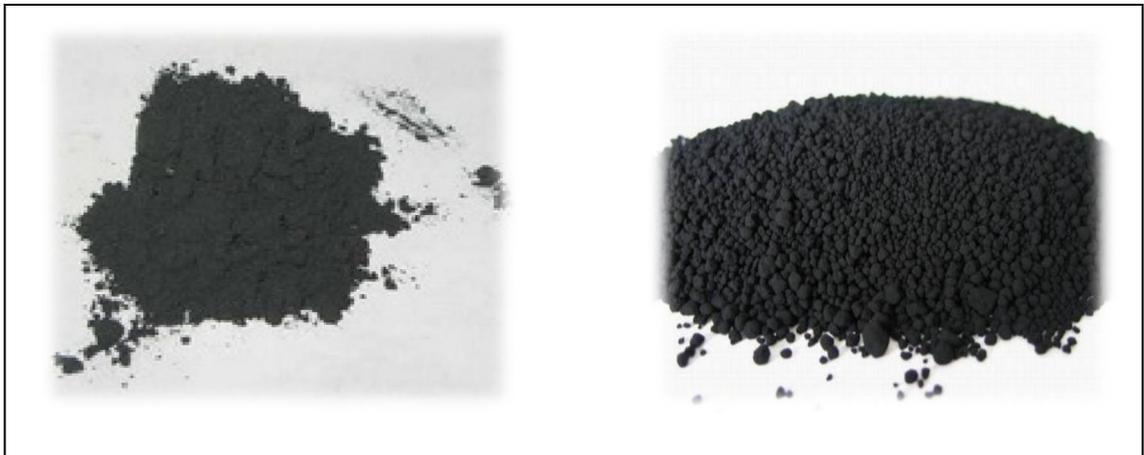
c. Kekuatan Energi (Strength)

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.

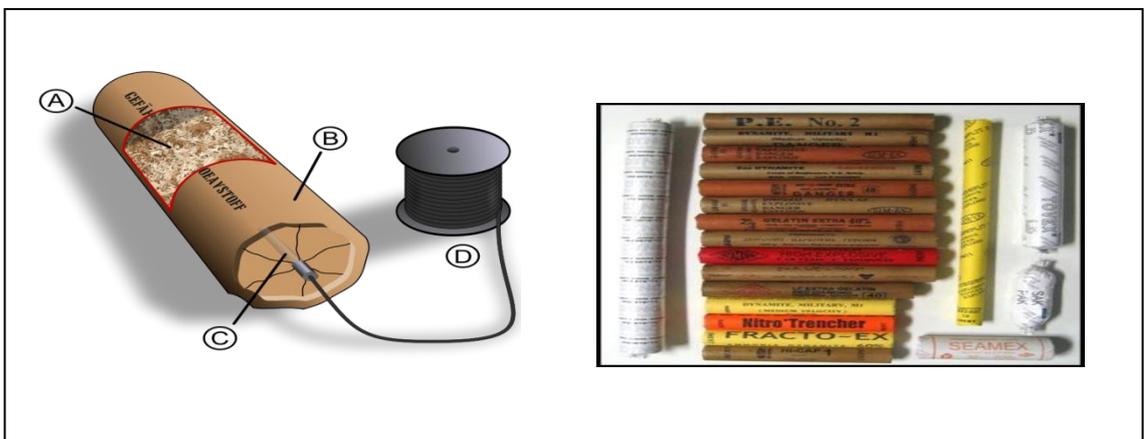
### 1.3 Deskripsi

Bahan peledak yang digunakan pada kegiatan pertambangan adalah termasuk bahan peledak industry, yang mana bahan peledak industri berdasarkan komposisinya dibedakan menjadi 4 jenis yaitu :

- a. Black Powder
- b. Dinamit
- c. Permissible explosives
- d. Blasting agent



**Gambar 1.3.1 Black Powder**



**Gambar 1.3.2. Dynamit**



**Gambar 1.3.3 Permissible explosive**



**Gambar 1.3.4. Blasting Agent**

## 1.4 Pembahasan

Bahan peledak yang digunakan pada kegiatan pertambangan adalah termasuk bahan peledak industri, yang mana bahan peledak industri berdasarkan komposisinya dibedakan menjadi 4 jenis yaitu :

### 1. Black powder

*Black powder* atau *gunpowder* pertama kali dibuat pada abad ke 13 dan digunakan baik untuk keperluan militer maupun penambangan. Komposisi black powder adalah serbuk batubara, garam, dan belerang. Bahan peledak ini terbakar cepat sekali, bisa mencapai kecepatan rambat  $100 \pm 10$  detik per meter atau 60 meter per detik pada kondisi terselubung, tetapi tidak bisa meledak. Oleh sebab itu *black powder* diklasifikasikan sebagai bahan peledak lemah (*low explosive*).

Kapabilitas *black powder* sangat dipengaruhi oleh cuaca yang memperburuk kemampuan bakarnya. Karena kelemahan inilah *black powder* tersingkir penggunaannya sebagai bahan peledak utama dalam industri pertambangan setelah ditemukan nitrogleserin dan bahkan sekarang bahan peledak berbasis emulsi yang mempunyai kekuatan detonasi sangat tinggi dan aman. Walaupun demikian *black powder* saat ini masih tetap dimanfaatkan untuk mengisi sumbu api atau sumbu bakar atau *safety fuse* untuk peledakan dengan menggunakan detonator biasa.

Untuk keperluan militer, *black powder* digunakan sampai sekarang sebagai mesiu di dalam selongsong peluru yang berfungsi sebagai pelontar proyektil peluru (*propellant*) dan juga digunakan pada berbagai keperluan piroteknik.

### 2. Dynamit

Dynamit adalah jenis bahan peledak kuat, dengan nitrogleserin (NG) sebagai bahan dasarnya (*explosive base*). Jenis dynamit :

1. *Straight dynamite*, yaitu dynamit dengan komposisi NG (20-57%) dan  $\text{NaNO}_3$  sebagai pembawa oksigen (59-23%). Ini jenis dynamit paling peka.

2. *Gelatine dynamite* , yaitu dinamit dengan komposisi *blasting gelatine* (NG dan nitrocellulose) ditambah NaNO<sub>3</sub> atau KNO<sub>3</sub>.  
Jenis ini lebih tahan terhadap air.
3. *Ammonium gelatine dynamite*, yaitu dinamit dengan komposisi *blasting gelatine* ditambah NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>. Jenis ini memberikan energi yang lebih besar, tetapi kurang tahan terhadap air.

### 3. Permissible explosive

Bahan peledak permissible adalah bahan peledak yang khusus digunakan pada tambang batubara bawah tanah. Bahan peledak ini harus lulus beberapa tahapan uji keselamatan yang ketat sebelum dipasarkan. Pengujian terutama diarahkan pada keamanan peledakan dalam tambang batubara bawah tanah yang umumnya berdebu agar bahan peledak tersebut tidak menimbulkan kebakaran tambang. Bahan peledak yang lulus uji akan diklasifikasikan kedalam “*permitted explosive*” dengan *rating* P1 atau P5, di mana kode *rating* menunjukkan tingkat kekuatan bahan peledak tersebut. Bahan peledak *permissible* P1 dapat digunakan untuk meledakkan batubara yang keras, pembuatan *vertical shaft*, dan lubang bukaan bahwa tanah lainnya; sedangkan P5 lebih cocok digunakan pada tambang batubara bawah tanah yang berdebu.

Bahan peledak *permissible* bisa berbasis NG maupun emulsi adalah bahan peledak *permissible* berbasis NG. Komposisi bahan peledak *permissible* ditambah dengan garam yang dapat menekan temperatur saat peledakan berlangsung disebut *fire suppressant salts*. Derajat penekanan tersebut tergantung pada distribusi dan persentase garam yang dapat memberikan jaminan keamanan agar tidak terjadi kebakaran debu batubara pada udara ketika proses peledakan. Disamping garam terdapat pula cara lain untuk menekan temperatur tersebut, yaitu dengan memanfaatkan system pertukaran ion atau yang disebut *reinforced safety*. Bahan peledak ini biasanya dibuat dengan persentase NG kecil ditambah bahan bakar dan sodium nitrat serta ammonium chloride, reaksinya adalah:



Hasilnya adalah ammonium nitrat sebagai oksidator dan sodium chloride yang mempunyai daya pendinginan yang besar, bahkan lebih besar dibanding dengan pencampuran yang pertama. *ICI- Explosive* membuat bahan peledak *permissible* berbasis emulsi yang dinamakan seri *Permitted Powergel*

#### 4. Blasting Agent

Agent peledakan adalah campuran bahan-bahan kimia yang tidak diklasifikasikan sebagai bahan peledak, di mana campuran tersebut terdiri dari bahan bakar (*fuel*) dan oksida. Pada udara terbuka, agent peledakan tersebut tidak dapat diledakkan oleh detonator (*blasting capsule*) nomor 8. Agent peledakan disebut juga dengan nama *nitrocarbonitrate*, karena kandungan utamanya nitrat sebagai oksidator yang diambil dari ammonium nitrat ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ) dan karbon sebagai bahan bakar. Kadang-kadang ditambah bahan kimia lain, baik yang bukan bahan peledak, misalnya alumunium atau *ferrosilicon*, maupun sebagai bahan peledak, yaitu TNT, dan membentuk bahan peledak baru.

Keuntungan agen peledakan adalah aman dalam pengangkutan, penyimpanan, dan penanganannya murah. Agen peledakan mempunyai ketahanan terhadap air buruk atau mudah larut dalam air, kecuali sudah diubah kebentuk bahan peledak *slurry* atau *watergel*. Sangat sukar menentukan secara tepat sifat agen peledakan karena sifat tersebut akan berubah tergantung dari ukuran butir bahan, densitas, derajat pengurungan (*confined degree*), diameter muatan, kondisi air, *coupling ratio*, dan jumlah primer. Pada umumnya produsen agen peledakan akan mencantumkan spesifikasinya sesuai dengan kondisi normal, termasuk batas waktu kadaluarsanya. Contoh blastin agent adalah ANFO, Watergel/Slurry, heavy ANFO.

## 1.5 Kesimpulan

Bahan peledak adalah kumpulan dari unsur padat, cair, atau gas yang berkondisi menstabil dan dapat melakukan reaksi kimia dengan cepat tanpa ada unsur lainya seperti oksigen atmosfer. Reaksinya dapat dipicu secara mekanis kejutan atau panas. BP dapat dibagi sebagai berikut :

1. Nuklir, contoh : bom atom, uranium, plutonium
2. Mekanis, contoh : pemanasan air dalam wadah tertutup, kawah.
3. Kimia, contoh : kejutan, dekomposisi hebat campuran kimia

Bahan peledak yang digunakan pada kegiatan pertambangan merupakan bahan peledak kimia. Bahan peledak kimia yang banyak digunakan di dunia industri pertambangan, oleh beberapa penulis diklasifikasikan sebagai berikut :

- Menurut R.L Ash Bahan peledak kimia dibagi menjadi :
  - a. Bahan peledak kuat (*high explosive*), yang memiliki sifat *detonation* dengan kecepatan detonasi 5.000-24.000 feet per second (fps)
  - b. Bahan peledak lemah (*low explosive*), yang memiliki sifat *deflagaration* dengan kecepatan reaksi <5.000 fps
- Menurut Anon (1977) bahan peledak kimia diklasifikasikan menjadi:
  - a. Bahan peledak lemah (*low explosive*)
  - b. Bahan peledak kuat (*high explosive*)
  - c. Blasting agents

Sifat-sifat yang dimiliki oleh bahan peledak ada 2 yaitu, sifat fisik BP dan sifat detonasi.

Sifat fisik terdiri dari :

- a. Bobot isi
- b. Sensitivitas
- c. Ketahanan terhadap air
- d. Stabilitas kimia
- e. Karakteristik gas peledakan
- f. Karakteristik keselamatan

Sedangkan sifat detonasi terdiri dari :

- a. Kecepatan Detonasi (*Velocity of Detonation*)
- b. Tekanan Detonasi

c. Tekanan Lubang Tembak

d. Energi / Kekuatan

Berdasarkan komposisinya bahan peledak dibedakan menjadi 4 jenis yaitu :

a. Black Powder

b. Dinamit

c. Permissible explosives

d. Blasting agent

## **BAB II**

### **KESETIMBANGAN OKSIGEN**

#### **2.1 Pendahuluan**

Dalam suatu reaksi peledakan, ada beberapa hal yang perlu diperhatikan agar bahan peledak yang digunakan efektif dan dampak lingkungan yang ditimbulkan minimum. Salah satunya adalah keseimbangan oksigen dalam reaksi.

Keseimbangan oksigen dalam reaksi peledakan perlu diperhitungkan agar gas beracun yang ditimbulkan oleh reaksi peledakan tersebut sangat kecil dan agar bahan peledak yang digunakan itu efisien. Maksudnya, energi yang dihasilkan maksimum dan dampak lingkungan atau gas beracun minimum.

Dalam praktikum Teknik Peledakan yang membahas hal mengenai Keseimbangan Oksigen ini, praktikan diajak untuk membahas masalah kesetimbangan oksigen dalam suatu rangkaian peledakan. Adapun tujuan yang ingin dicapai dalam acara Keseimbangan Oksigen :

- 1 Agar praktikan dapat memahami dasar-dasar rancangan komposisi bahan peledak.
- 2 Agar praktikan memahami pada saat bagaimana bahan peledak bisa menghasilkan gas beracun (fumes), sehingga tidak sembarangan dalam membuat rakitan bahan peledak.
- 3 Agar praktikan dapat menyusun komposisi (persentase) campuran bahan peledak yang akan digunakan dalam suatu operasi peledakan dengan benar agar dapat memperoleh energi maksimal dan tidak menghasilkan gas beracun.
- 4 Agar praktikan dapat memahami perhitungan dalam suatu persamaan kimia dalam kaitannya dengan keseimbangan oksigen

#### **2.2 Latar Belakang Teori**

Bahan peledak komersil merupakan suatu rakitan yang terdiri dari bahan-bahan berbentuk padat atau cair atau campuran dari keduanya, yang apabila terkena suatu aksi misalnya panas, berbenturan, gesekan dan sebagainya, dapat bereaksi dengan kecepatan tinggi, membentuk gas dan menimbulkan efek panas serta tekanan yang sangat tinggi.

Secara umum bahan peledak merupakan campuran dari senyawa-senyawa yang mengandung 4 unsur dasar/utama yaitu : C, H, N, dan O.

Untuk menghasilkan pengaruh kekuatan tertentu kadang-kadang ditambahkan unsur-unsur yaitu : Al, Ca, Na, Mg, dsb.

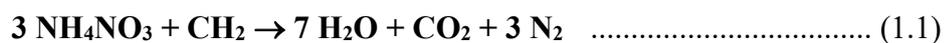
Bahan peledak komersial dibuat berdasarkan pada prinsip Zero Oxygen Balance (ZOB). Artinya jumlah oksigen yang terdapat dalam bahan peledak apabila bereaksi hanya cukup untuk membentuk smoke, seperti  $N_2O_2$ ,  $CO_2$ ,  $N_2$  bebas.

Kekurangan oksigen dalam bahan peledak akan mengakibatkan Negativ Oxygen Balance (NOB) yaitu terjadi gas CO yang beracun. Apabila kelebihan oksigen akan mengakibatkan Positiv Oxygen Balance (POB) yaitu terjadi NO,  $NO_2$  yang beracun.

Namun, kita sebagai manusia tidak dapat memastikan bahwa dalam suatu reaksi peledakan tidak akan menghasilkan fumes. Ketelitian manusia sangat terbatas sehingga walaupun secara teori, reaksi peledakan akan menghasilkan Zero Oxygen Balance namun bisa saja terbentuk fumes karena nilai dari persamaan perhitungan oksigen balance ini hanya merupakan pendekatan.

Bahan peledak yang sering digunakan dalam dunia pertambangan antara lain ANFO, TNT atau trinitrotoluene, Nitroglycerine. Tapi dalam laporan ini, hanya akan membahas keseimbangan oksigen dari reaksi peledakan dengan bahan peledak ANFO ( $NH_4NO_3 + CH_2$ ).

Rumus kimia ZOB :



Persamaan untuk perhitungan keseimbangan oksigen adalah :

a. Jika dalam bahan peledak hanya terdapat unsur C, H, O dan N, persamaannya :

$$OB = O_o - 2C_o - 1/2H_o \dots\dots\dots(1.2)$$

b. Jika dalam campuran bahan peledak terdapat unsur tambahan (Na, Ca, Al, dsb) yang memiliki afinitas terhadap oksigen, persamaannya :

$$OB = (O_o - 1/2Na_o - Ca_o - \dots) - 2C_o - 1/2H_o \dots\dots\dots (1.3)$$

Bahan peledak komersial pada umumnya adalah dari klas bahan peledak kimia (Chemical Explosive). Dalam hal ini, detonator, sumbu ledak dan sumbu api harus diperlakukan sebagai bahan peledak.

Beberapa sifat bahan peledak yang harus diperhatikan yaitu :

1. Kekuatan (Strength)
2. Kerapatan (Density), Berat jenis (Specific Gravity)
3. Kecepatan detonasi (Detonation Velocity)
4. Kepekaan (Sensitivity)
5. Ketahanan terhadap air (Water resistance)
6. Gas beracun (fumes)
7. Kemasan (Package)

Selain itu, perlu diperhatikan energi total yang dihasilkan dari suatu reaksi peledakan agar kita dapat mengetahui perbandingan bahan bakar yang digunakan dengan total energi yang dihasilkan.

Rumusannya adalah :

$$Q = Q_p - Q_r \dots\dots\dots (1.4)$$

Keterangan :

Q = Energi total

Q<sub>p</sub> = Energi produkatan

Q<sub>r</sub> = Energi reaktan

### 2.3 Deskripsi

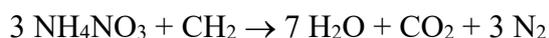
Hasil praktikum :

Persamaan reaksi peledakan :

1.  $3 \text{ NH}_4\text{NO}_3 + \text{CH}_2 \rightarrow 7 \text{ H}_2\text{O} + \text{CO}_2 + 3 \text{ N}_2 \rightarrow \text{Smoke (ZOB)}$
2.  $2 \text{ NH}_4\text{NO}_3 + \text{CH}_2 \rightarrow 5 \text{ H}_2\text{O} + \text{N}_2 + \text{CO} \rightarrow \text{Fumes (NOB)}$
3.  $5 \text{ NH}_4\text{NO}_3 + \text{CH}_2 \rightarrow 11 \text{ H}_2\text{O} + \text{CO}_2 + 4 \text{ N}_2 + 2\text{NO} \rightarrow \text{Fumes (POB)}$

Perhitungan kadar  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  dan  $\text{CH}_2$

1. Diketahui persamaannya



( Hitung berat molekul dari masing – masing senyawa )

$$3 ( 80 ) + 14 \rightarrow 7( 18 ) + 44 + 3 ( 24 )$$

$$254 = 254$$

$$\begin{aligned} \text{NH}_4\text{NO}_3 &= \frac{BM_{\text{NH}_4\text{NO}_3}}{BM_{\text{reaktan}}} * 100\% \\ &= \frac{240}{254} * 100\% \\ &= \mathbf{94,49\%} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{CH}_2 &= \frac{BM_{\text{CH}_2}}{BM_{\text{reaktan}}} * 100\% \\ &= \frac{14}{254} * 100\% \\ &= \mathbf{5,51\%} \end{aligned}$$

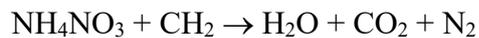
Apabila suatu ANFO diketahui beratnya 100 gram, maka kita dapat menghitung berat dari  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  dan  $\text{CH}_2$  dengan cara mengalikan kadar dengan berat.

$$\text{Berat } \text{NH}_4\text{NO}_3 = 94,49\% * 100 = 94,49 \text{ gram}$$

$$\text{Berat } \text{CH}_2 = 5,51\% * 100 = 5,51 \text{ gram ( berat } \text{CH}_2 \text{ dari gram diubah ke liter )}$$

$$5,51 \text{ gram} / 0,82 = 6,72 \text{ liter. ( 1 Liter = 0,82 gram )}$$

## 2. Tidak diketahui persamaan reaksinya



Jenis bahan	% berat	H <sub>0</sub>	C <sub>0</sub>	N <sub>0</sub>	O <sub>0</sub>
NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	x	4/80 x	-	2/80 x	3/80 x
CH <sub>2</sub>	y	2/14 y	1/14 y	-	-
<b>Total</b>	<b>x + y = 100</b>	<b>2/80x + 2/14</b>	<b>1/14 y</b>	<b>2/80 x</b>	<b>3/80 x</b>

Persamaan I :  $x + y = 100$

Persamaan II:  $ZOB = O_0 - 2C_0 - \frac{1}{2} H_0$

$$0 = 3/80 x - 2(1/14y) - \frac{1}{2}(4/80x + 2/14y)$$

$$0 = 3/80x - 2/14y - 2/80x - 1/14y$$

$$0 = 1/80x - 3/14y$$

$$0 = 0,0125x - 0,2142y$$

$$y = 0,058333x \text{ ( substitusi ke persamaan I )}$$

Nilai x :  $x + y = 100$

$$x + 0,05833 x = 100$$

$$x = \mathbf{94,49 \%}$$

$$y = 0,05833 * 94,49 = \mathbf{5,51 \%}$$

Nilai dari  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  dan  $\text{CH}_2$  :

$\text{NH}_4\text{NO}_3$  :

$$\text{N} = 2/80 * 94,49 = 2,36225 \text{ mol} * 14 = \mathbf{33,1 \text{ gram}}$$

$$\text{H} = 4/80 * 94,49 = 4,7245 \text{ mol} * 1 = \mathbf{4,7245 \text{ gram}}$$

$$\text{O} = 3/80 * 94,49 = 3,543375 \text{ mol} * 16 = \mathbf{56,694 \text{ gram}}$$

$\text{CH}_2$  :

$$\text{C} = 1/14 * 5,51 = 0,3936 \text{ mol} * 12 = \mathbf{4,7229 \text{ gram}}$$

$$\text{H} = 2/14 * 5,51 = 0,7871 \text{ mol} * 1 = \mathbf{0,7871 \text{ gram}}$$

### Perhitungan energi

$$\mathbf{Q = Q_p - Q_r}$$

$Q_p = Q$  produk

$Q_r = Q$  reaktan

Nilai Q diketahui :

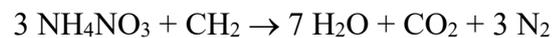
$$\text{NH}_4\text{NO}_3 = 87,93 \text{ kkal / mol}$$

$$\text{CH}_2 = 7,02 \text{ kkal / mol}$$

$$\text{H}_2\text{O} = 57,8 \text{ kkal / mol}$$

$$\text{CO}_2 = 94,1 \text{ kkal / mol}$$

Persamaan reaksinya :



$$Q_p = 7 (57,8) + 94,1 = 498,7$$

$$Q_r = 3 (87,93) + 7,02 = 270,81$$

$$Q_{\text{ZOB}} = 498,7 - 270,81$$

$$= 227,89 \text{ kkal / mol}$$

$$= 227,89 \text{ kkal / mol} * \frac{1000 \text{ mol / kg}}{\text{BMANFC}(254)}$$

$$= 897,2 \text{ kkal / kg} = 897200 \text{ kkal / ton.}$$

## 2.4 Pembahasan

Suatu bahan peledak umumnya mengandung elemen – elemen karbon, oksigen, hidrogen dan nitrogen. Hubungan yang dipakai untuk menghitung neraca oksigen dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$OB = O_0 - 2C_0 - \frac{1}{2} H_0$$

$O_0, C_0, H_0$ , adalah menyatakan jumlah gram dari masing – masing elemen dalam bahan peledak. Dari persamaan di atas dapat dilihat angka 2 dan  $\frac{1}{2}$  didapat masing – masing dari 2 atom oksigen yang dibutuhkan untuk setiap atom karbon dan  $\frac{1}{2}$  atom oksigen yang dibutuhkan untuk setiap atom hidrogen.

Umumnya produk yang diinginkan dari suatu peledakan adalah uap air, carbondioksida, gas nitrogen, dan oksida padat dimana semuanya adalah relatif inert dan tidak beracun.

Persamaan dalam suatu reaksi peledakan :



*Persamaan reaksi 1 merupakan ZOB ( Zero oksigen balance ) dimana yang dihasilkan adalah smoke dan tidak beracun.*

*Persamaan reaksi 2 merupakan NOB ( Negatif oksigen balance ) dimana yang dihasilkan adalah fumes berupa gas CO ( Carbon monoksida )*

*Persamaan reaksi 3 merupakan POB ( Positif oksigen balance ) dimana yang dihasilkan adalah fumes berupa gas NO ( Nitrogen monoksida )*

Untuk mendapatkan ZOB maka perbandingan  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  dan  $\text{CH}_2$  adalah 94,5 %  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  dan 5,5 %  $\text{CH}_2$ . Semakin besar persentase dari  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  maka akan dihasilkan POB dan sebaliknya. Jika,  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  semakin kecil maka dihasilkan NOB.

Dalam perhitungan oxygen balance perlu dihitung berapa besar energi yang akan dihasilkan dari suatu reaksi peledakan. Rumusnya adalah :

$Q = \text{Energi total}$

$Q_p = \text{Energi produk}$

$Q_r = \text{Energi reaktan}$

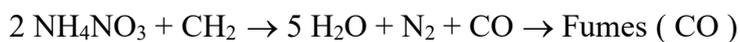
$$Q = Q_p - Q_r$$

Untuk menghasilkan energi (heat of explosion) setinggi mungkin dan untuk mencegah timbulnya gas-gas beracun (fumes: CO, NO, NO<sub>2</sub>), bahan peledak komersial dibuat berdasarkan prinsip “Zero Oxygen Balance”, artinya: Dalam bahan peledak terdapat jumlah oksigen yang tepat sehingga selama reaksi seluruh Hidrogen akan membentuk uap air (H<sub>2</sub>O), Carbon bereaksi membentuk CO<sub>2</sub>, dan Nitrogen menjadi gas N<sub>2</sub> bebas.

Ketiga jenis gas tersebut (H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>) disebut “smoke” dan tidak beracun, contoh



Kekurangan oksigen (deficient oxygen balance) akan menghasilkan gas beracun Carbon Monoxide (CO), contoh :



Kelebihan jumlah Oksigen (excessive oxygen balance) akan menghasilkan gas beracun NO atau NO<sub>2</sub>, contoh :



Cara perhitungan perbandingan jumlah campuran berdasarkan prinsip “Zero Oxygen Balance” ada 2 jalan yaitu :

Sebagai contoh :

a) Ammonium Nitrat (NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>), BM = 80

Jumlah gram tiap unsur per 100 g senyawa adalah :

$$\text{N} : 2 \text{ gram/mole} \quad \longrightarrow \quad 2/80 \times 100 = 2,50 \text{ gram/100 g}$$

$$\text{H} : 4 \text{ gram/mole} \quad \longrightarrow \quad 4/80 \times 100 = 5,00 \text{ gram/100 g}$$

$$\text{O} : 3 \text{ gram/mole} \quad \longrightarrow \quad 3/80 \times 100 = 3,75 \text{ gram/100 g}$$

Jumlah gram setiap unsur per 100 g senyawa atau persentase komposisinya ialah :

$$\text{N} : 2,50 \times 14 = 35 \text{ g (35 \% berat)}$$

$$\text{H} : 5,00 \times 1 = 5 \text{ g (5 \% berat)}$$

$$\text{O} : 3,75 \times 16 = 60 \text{ g (60 \% berat)}$$

b) Bahan peladak dengan komposisi seperti dibawah, akan dianalisa apakah bahan peledak tersebut dalam keadaan Z.O.B. (Zero Oxygen Balance) :

$$\text{NG (18\%)} \quad \quad \quad \text{TNT (3\%)} \quad \quad \quad \text{SG pulp/ wood pulp (12\%)}$$

$$\text{AN (55\%)} \quad \quad \quad \text{SN (10\%)} \quad \quad \quad \text{CaCO}_3 (2\%)$$

Maka pertama-tama ditentukan jumlah gram setiap unsur dalam seluruh bahan per 100 g campuran. Untuk perhitungan ini lihat Tabel : Data kimia untuk senyawa bahan peledak (Chemical Data for certain explosives and ingredients), sehingga diperoleh :

**Tabel 2.4.1**  
**Analisa Grat Per 100 Gram**

Bahan	%	H <sub>0</sub>	N <sub>0</sub>	O <sub>0</sub>	C <sub>0</sub>	Ca <sub>0</sub>	Na <sub>0</sub>
NG	18	0,396 *)	0,238	0,713	0,238	-	-
TNT	3	0,066	0,040	0,079	0,093	-	-
AN	55	2,748	1,374	2,061	-	-	-
SN	10	-	0,118	0,353	-	-	0,118
SG	12	0,756	-	0,257	0,500	-	-
CC	2	-	-	0,060	0,020	0,020	-
Jumlah	100	3,966	1,770	3,523	0,851	0,020	0,118

Keterangan :

Dari tabel : 18 g (atau 18%) NG dalam 100 g campuran terdapat hanya 18 % H juga dalam campuran, atau  $0,18 \times 2,20 = 0,396$  grat.

Kesetimbangan oksigennya dapat dihitung sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 OB &= (O_0 - \frac{1}{2} Na_0 - Ca_0) - 2 C_0 - \frac{1}{2} H_0 \\
 &= 3,523 - \frac{1}{2} (0,118) - 0,020 - 2(0,851) - \frac{1}{2} (3,966) \\
 &= 3,444 - 3,685 \\
 &= - 0,241 \text{ grat/100 g campuran (Negative Oxygen Balance)}
 \end{aligned}$$

Jadi dalam bahan peledak tersebut tidak terdapat jumlah oksigen yang tepat (kekurangan), sehingga apabila diledakkan akan menghasilkan gas beracun CO.

*Catatan* : Untuk merancang suatu campuran bahan peledak berdasarkan prinsip kesetimbangan oksigen, diperlukan pengertian tentang senyawa-senyawa dan hasil reaksi kimianya.

Setiap bahan dalam campuran mempunyai fungsi yang berbeda-beda, seperti terlihat pada tabel berikut ini.

**Tabel 2.4.2**  
**Bahan-Bahan Kimia Pembentukan Bahan Bakar**

No.	Nama	Simbul Kimia	Fungsi
1.	Nitroglycerin	$C_3H_3(NO_3)_3$	E.B.
2.	Trinitrotoluene	$C_6H_2CH_3(NO_2)_3$	E.B.
3.	Dinitrotoluene	$C_7N_2O_4H_6$	E.B.
4.	Ethylele glycol dinitrate	$C_2H_4(NO_3)_2$	E.B., Antifreeze
5.	Nitrocellulose (guncotton)	$C_6H_7(NO_3)_3O_2$	E.B., Gel. agent
6.	Nitrostarch		E.B., Nonheadache expl.
7.	Ammonium Nitrate	$NH_4NO_3$	E.B., O.C.
8.	Potassium Chlorate	$KClO_3$	E.B., O.C.
9.	Potassium Perchlorate	$KClO_4$	E.B., O.C.
10.	PETN	$C_5H_8N_4O_{12}$	E.B., (Caps & det. Fuse)
11.	Lead Azide	$C_5H_8N_4O_{12}$	E.B. Caps.
12.	Mercury Fulminate	$Hg(ONC)_2$	E.B.,Caps.
13.	Sodium Nitrate	$NaNO_3$	O.C., reduce Fr. point
14.	Potassium Nitrate	$KNO_3$	O.C.
15.	Wood Pulp	$(C_6H_{10}O_5)_n$	Absorbent, combustile
16.	Fuel oil	$CH_2$	Fuel
17.	Paraffin	$CH_2$	Fuel
18.	Lampblack	C	Fuel
19.	Chalk	$CaCO_3$	Antiacid
20.	Zinc Oxide	$ZnO$	Antiacid
21.	Aluminium metal	Al	Catalyzer
22.	Magnesium metal	Mg	Catalyzer
23.	Kieselguhr	$SiO_2$	Absorbent, anti caking
24.	Liquid Oxygen	$O_2$	O.C.
25.	Sulphur	S	Fuel
26.	Salt	$NaCl$	Flame depressant

Keterangan :

E.B. = Explosive Base ;

O.C. = Oxygen Carrier

PETN = Pentaerythritol Tetranitrate

Untuk menghitung panas peledakan dapat diukur berdasarkan panas pembentukan produk dan panas pembentukan reaktan. Panas dari masing-masing senyawa tersebut dapat dilihat dari table berikut :

**Tabel 2.4.3**  
**Heat Energi (Q) Yang Dihasilkan Oleh Bahan Peledak**

No.	Bahan Peledak	SG	SC	Q (Cal/gram)
1.	Nitroglycerin (NG)	1,6	88	1420
2.	PETN	1,6	88	1400
3.	RDX	1,6	88	1320
4.	Composition B	1,6	88	1140
5.	Tetryl	1,6	88	1010
6.	NG Gelatin 40%	1,5	94	820
7.	Slurry (TNT-AN-H <sub>2</sub> O, 20/65/15)	1,5	94	770
8.	NG Gelatin 100%	1,4	101	1400
9.	NG Gelatin 75%	1,4	101	1150
10.	AN Gelatin 75%	1,4	101	990
11.	NG Dynamite 60%	1,4	101	930
12.	AN Gelatin 40%	1,4	101	800
13.	NG Dynamite 60%	1,3	109	990
14.	PETN	1,2	118	1200
15.	Semigelatin	1,2	118	940
16.	Extra dynamite 60%	1,2	118	880
17.	Amatol, 50/50	1,1	128	890
18.	RDX	1,0	141	1280
19.	DNT	1,0	141	960

20.	TNT-AN, 50/50	1,0	141	900
21.	TNT	1,0	141	870
22.	AN-FO,94/6	0,9	157	890
23.	ANLow-density dynamite	0,8	176	880
24.	AN	0,8	176	350

## 2.5 Kesimpulan

Bahan peledak adalah suatu rakitan yang terdiri dari bahan – bahan berbentuk padat atau cair atau campuran dari keduanya yang apabila terkena suatu aksi misalnya panas, benturan, gesekan dan sebagainya dapat bereaksi dengan kecepatan tinggi, membentuk gas dan menimbulkan efek panas serta tekanan yang sangat tinggi.

Sifat dari bahan peledak yang harus diperhatikan :

- a. Kekuatan
- b. Kerapatan, Berat jenis
- c. Kecepatan detonasi
- d. Kepekaan
- e. Ketahanan terhadap air
- f. Gas beracun
- g. Kemasan

Unsur-unsur dasar bahan peledak komersial adalah C, H, N, dan O. Persamaan yang digunakan untuk menghitung keseimbangan oksigen adalah :

$$OB = O_o - 2 C_o - \frac{1}{2} H_o \text{ atau}$$

$$OB = (O_o - \frac{1}{2} H_o - Ca_o - \dots) - 2 C_o - \frac{1}{2} H_o$$

Rumusan perhitungan energi :

$$Q = Q_p - Q_r$$

Keterangan :

Q = Energi total

Q<sub>p</sub> = Energi produk

Q<sub>r</sub> = Energi reaktan

Energi yang dihasilkan tergantung dari reaksi yang terjadi apakah ZOB , NOB atau POB.

Hal yang perlu diperhatikan dalam merakit bahan peledak adalah komposisi bahan peledak agar sesuai dengan keseimbangan oksigen sehingga nantinya tidak menimbulkan gas-gas beracun seperti CO apabila komposisi bahan peledak kekurangan oksigen (Negative Oxygen Balance) dan NO apabila komposisi bahan peledak kelebihan oksigen (Positive Oxygen Balance) yang dapat membahayakan para pekerja. Dalam membuat bahan peledak diperlukan komposisi yang tepat sehingga nantinya tidak kelebihan ataupun kekurangan oksigen melainkan komposisi oksigen yang seimbang atau disebut Zero Oxygen Balance (ZOB). Adapun reaksinya adalah sebagai berikut :

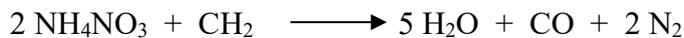
1. Untuk kelebihan oksigen (Positive Oxygen Balance)



2. Untuk oksigen yang seimbang (Zero Oxygen Balance)



3. Untuk kekurangan oksigen (Negative Oxygen Balance)



Jadi yang diinginkan itu adalah komposisi bahan peledak yang kandungan oksigennya seimbang (Zero Oxygen Balance), dimana tidak menghasilkan gas beracun melainkan menghasilkan smoke ( $\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 + \text{N}_2$ ). Komposisi bahan peledak yang mengandung AN dan FO memiliki % berat agar terjadi ZOB yaitu 94,49 % untuk AN dan 5,51 % untuk FO, jika tidak maka akan menghasilkan gas beracun.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Inmarlinianto, Singgih Saptono (2003), *Praktikum Teknik Peledakan*, Buku Petunjuk, Laboratorium Pemboran & Peledakan, Jurusan Teknik Pertambangan, FTM, UPN 'Veteran' Yogyakarta.
2. Koesnaryo S, (2001), *Pemboran Untuk Penyediaan Lubang Ledak*, Jurusan Teknik Pertambangan, FTM, UPN 'Veteran' Yogyakarta.
3. Barlian (2010), *Praktikum Teknik Peledakan*, Buku Petunjuk, Laboratorium Pemboran & Peledakan, Jurusan Teknik Pertambangan, FTM, UPN 'Veteran' Yogyakarta.