

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

PT. Multi Harapan Utama (PT. MHU) merupakan perusahaan pertambangan yang melakukan kegiatan penyelidikan umum, eksplorasi, penambangan (operasi produksi), serta pemasaran Batubara. PT MHU ditunjuk oleh Pemerintah Republik Indonesia untuk melakukan kegiatan pertambangan batubara, berdasarkan perjanjian kerjasama No. 086/Ji/292/U1986 tanggal 31 Desember 1986. PT MHU memulai eksplorasi pertama pada tahun 1987, diikuti oleh operasi produksi pada tahun 1992. PT. MHU telah menandatangani beberapa kali amandemen PKP2B, dimana yang terakhir ditandatangani pada bulan April 2017. kegiatan pengupasan *overburden* di Pit A2 LGG NORTH dilakukan dengan kegiatan pengeboran dan peledakan (Buku Manual MHU,2014).

Kegiatan peledakan pada PT MHU dilakukan oleh PT Dahana. PT Dahana merupakan kontraktor yang dikontrak untuk melakukan kegiatan khususnya terkait peledakan di seluruh pit yang ada di PT Multi Harapan Utama. PT Dahana adalah perusahaan BUMN yang bergerak dalam industri bahan peledak atau *energetic material* yang telah berdiri sejak 1966 di Tasikmalaya, Jawa Barat. Seluruh kegiatan peledakan mulai dari aksesoris peledakan, bahan peledak dan gudang handak ditangani oleh PT Dahana.

Keterbatasan cadangan batubara merupakan salah satu tantangan industri pertambangan untuk melakukan optimalisasi dalam penambangan batubara. Inovasi selalu dilakukan untuk meningkatkan produktivitas yang efisien dan tetap memperhatikan kelestarian lingkungan. *Waste oil* merupakan limbah B3 yang banyak ditemukan dalam industri termasuk salah satunya industri pertambangan. *Waste oil* perlu dikelola secara benar. karena sebagai limbah B3, *waste oil* tidak bisa dibuang ke lingkungan bebas secara langsung. Salah satu pengelolaan yang sudah dilakukan adalah dengan menggunakan kembali *waste oil* sebagai pengganti fuel pada produksi *Ammonium nitrat* (Pradhana, 2023).

Kegiatan peledakan bertujuan untuk membongkar batuan penutup dengan menggunakan bahan peledak sehingga dapat diambil batubaranya. Bahan

peledak untuk kegiatan pembongkaran batuan penutup yang umum digunakan adalah *Ammonium nitrate Fuel oil* (ANFO). *Ammonium nitrate Fuel oil* (ANFO) adalah salah satu dari sekian banyak jenis bahan baku peledakan dimana komponen terbesarnya terdiri atas *Ammonium nitrate* (AN) yang dicampur dengan bahan bakar atau *fuel oil* (FO) dengan komposisi pada umumnya AN 94% dan *fuel oil* 6% (Moorthy, 2012).

Ketersediaan *waste oil* yang sangat tinggi mendukung kesempatan penggunaan 100% dari total kebutuhan *fuel* pada proses produksi *Ammonium nitrat* dimana banyak sebelumnya penggunaan *waste oil* ini hanya berkisar 20-70% saja pada industri peledakan saat ini yang diteliti oleh iwan purba pada tahun 2022 dan santhika pradana pada tahun 2023. Inovasi penggunaan *waste oil* sampai dengan 100% sebagai pengganti kebutuhan *fuel* dalam proses produksi *Ammonium nitrat* diharapkan dapat meningkatkan kualitas dari segi lingkungan tanpa menurunkan kualitas peledakan. Oleh karena itu, pemanfaatan *waste oil* sangat penting untuk dilakukan karena memberikan banyak dampak positif bagi Perusahaan baik dari segi biaya, produktivitas, dan lingkungan.

1.2 Rumusan Masalah

Bahan peledak yang digunakan di PT Multi Harapan Utama adalah bahan peledak yang baru digunakan, maka dari itu penelitian ini disusun berdasarkan rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana kualitas *arsenic, cadmium, chromium, lead, polychlorinated biphenyls, total organic halogen, flash point, water content by distillation, sulphur* dan *mercury* dari *waste oil* yang digunakan?
2. Berapa nilai *Velocity of detonation* (VOD) dan tekanan detonasi yang dihasilkan oleh bahan peledak dengan menggunakan 100% *waste oil*?
3. Bagaimana fragmentasi hasil peledakan dan rata-rata waktu *digging time* dari penggunaan 100% *Waste oil*?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah, tujuan dilakukannya penelitian ini sebagai berikut:

1. Mengetahui kualitas *arsenic, cadmium, chromium, lead, polychlorinated biphenyls, total organic halogen, flash point, water content by distillation, sulphur* dan *mercury* dari *waste oil* yang digunakan sebagai bahan peledak.
2. Mengetahui nilai dari pengukuran *velocity of detonation* (VOD) dan tekanan detonasi dari 100% *waste oil*.
3. Menganalisis fragmentasi batuan hasil peledakan dan rata-rata waktu *digging time* setelah peledakan.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah memberikan informasi mengenai penggunaan dari *Ammonium nitrate* dan *waste oil* sebagai campuran bahan peledak karena belum ada yang melakukan penelitian mengenai hal tersebut. Penelitian dilakukan di Pit A2 LGG NORTH. Penelitian ini diharapkan menjadi acuan bagi PT Multi Harapan Utama bahwa bahan peledak yang mereka gunakan apakah sudah layak untuk digunakan berdasarkan hasil kinerja bahan peledak yaitu menggunakan 100% *waste oil* dan apakah sudah sesuai dengan Kementrian Lingkungan Hidup No 6 thn 2021 dan Standar Nasional Indonesia (7642:2020).

1.5 Ruang Lingkup

Penelitian ini dilakukan di Kecamatan Loa Gagak Kabupaten Kutai Kartanegara Provinsi Kalimantan Timur. Lama waktu penelitian dilakukan selama 2 bulan terhitung sejak bulan Maret sampai bulan April 2024 dengan mengumpulkan data seperti hasil uji lab *waste oil*, nilai *velocity of detonation* (VOD), geometri aktual peledakan, klasifikasi batuan dan spesifikasi bahan peledak, foto fragmentasi peledakan dan *digging time* selama 2 bulan. Fokus utama penelitian ini yaitu pada penggunaan bahan peledak yang digunakan di Pit A2 LGG North. Dimana hasil akhirnya akan diketahui apakah bahan peledak yang digunakan yaitu *Ammonium nitrate waste oil* (ANWO) efektif untuk digunakan. Data yang dikumpulkan diolah dan dianalisis menggunakan *software wipfrag* untuk mengetahui hasil fragmentasi batuan yang telah di *blasting*, menghitung kecepatan detonasi

menggunakan *software data Acquisition Suite* untuk mengetahui nilai VOD dan menghitung *digging time* menggunakan *stopwatch*.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Metode Pengeboran dan Peledakan

Metode pengeboran dan peledakan (*drill and blast*) merupakan salah satu metode yang sering dilakukan untuk memberai atau membongkar material batuan yang keras. Tujuan dilakukannya kegiatan pengeboran dan peledakan adalah untuk membongkar bahan galian dari batuan induknya sehingga dapat mudah digali menggunakan alat gali. Metode peledakan yang diterapkan pada tambang emas yaitu metode peledakan jenjang. Suatu peledakan dapat dinyatakan berhasil dengan baik pada kegiatan penambangan apabila (Koesnaryo, 2001):

1. Target produksi terpenuhi atau tercapai (dinyatakan dalam ton/hari atau ton/bulan).
2. Penggunaan bahan peledak efisien yang dinyatakan dalam jumlah batuan yang berhasil dibongkar per kilogram bahan peledak disebut *powder factor*.
3. Perolehan fragmentasi batuan berukuran merata dengan sedikit bongkah (kurang dari 15 % dari jumlah batuan yang terbongkar per peledakan).
4. Diperoleh dinding batuan yang stabil dan rata (tidak ada *overbreak*, maupun retakan - retakan).
5. Tidak menimbulkan dampak lingkungan seperti *flyrock*, getaran, kebisingan, gas beracun, dan debu.

Untuk dapat mencapai keberhasilan tersebut, maka dalam kegiatan peledakan terdapat beberapa hal yang dapat diperhatikan, yaitu keadaan batuan, pengaruh air, cuaca, pola pengeboran, geometri peledakan, pola peledakan dan *powder factor*. Terdapat beberapa tipe peledakan pada peledakan tambang terbuka yaitu (Rustan, 1998). :

1. Peledakan Jenjang (*bench blasting*)

Peledakan jenjang (*bench blasting*) merupakan teknik peledakan yang paling umum digunakan pada tambang *open pit*. Peledakan jenjang merupakan teknik peledakan yang melakukan pengeboran secara vertikal atau subvertikal yang diatur dalam suatu barisan lubang ledak terhadap bidang bebas di permukaan (Rustan, 1998). Peledakan jenjang atau dapat dikatakan

sebagai peledakan produksi bertujuan untuk memecahkan batuan dalam jumlah besar untuk mendapatkan nilai fragmentasi yang tepat sehingga dapat mudah di muat menggunakan excavator. Parameter yang terdapat pada peledakan jenjang antara lain diameter lubang ledak (D), *Burden* (B), Spasi lubang ledak (S), Tinggi Jenjang (L), *Subdrill* lubang bor (J), panjang *stemming* lubang ledak (T), panjang kolom isian (PC) dan panjang lubang ledak (H). parameter – parameter lain yang diperhitungkan dalam perhitungan peledakan jenjang yaitu jumlah bahan peledak yang digunakan, *powder factor* dan *loading density* atau jumlah isian bahan peledak dalam satu kolom isian. Pola peledakan, waktu *delay* dan inisiasi *sequence* juga penting dalam parameter operasional peledakan jenjang. Pada penelitian ini dilakukan dengan tipe peledakan jenjang.

2. *Cast Blasting*

Cast blasting merupakan teknik peledakan yang di terapkan pada peledakan tambang terbuka untuk meledakan *overburden* dimana arah lemparan ledakan diarahkan langsung ke area yang tidak ada batubara dan minim material untuk ditangani dengan menggunakan alat – alat mekanis. Biasanya pola *cast blasting* digunakan untuk menutup *void*. *Cast blasting* memiliki banyak keuntungan seperti produktivitas yang lebih tinggi dan mengurangi biaya oprasional dan biaya alat. Teknik peledakan *cast blasting* tidak selalu cocok untuk diterapkan pada setiap tambang dan di setiap tambang berbeda dapat menghasilkan hasil yang berbeda. *Cast blasting* dapat menghasilkan hasil yang baik bergantung pada keadaan strata batuan dan kondisi batuan yang tepat, parameter peledakan, karakteristik bahan peledak yang digunakan. Biasanya pada teknik *cast blasting* ini diterapkan sistem *dragline striping* sistem untuk penanganan *overburden* yang tersisa dan *discontinuous* sistem *shovel and truck*. Terdapat beberapa kondisi untuk menerapkan teknik *cast blast* untuk menghasilkan hasil yang optimal yaitu :

- a) Tinggi jenjang (*bench height*) dengan tinggi minimum 12m sangat direkomendasikan, walaupun tinggi yang lebih rendah dapat di terapkan *cast blast*.

- b) Lebar pit (*Pit Width*), lebar pit hasil peledakan sebelumnya harus diantara 1 atau 1.25 kali dari tinggi muka jenjang.
- c) Sudut dinding (*Wall angle*), untuk mendapatkan hasil yang optimal, muka dinding dapat di gali secara vertikal dengan peledakan *pre-splitting* sebelumnya.
- d) Tipe formasi batuan (*Type of rock formation*). Tipe formasi batuan yang akan dipindahkan dapat mempengaruhi peledakan dan struktur batuan harus sangat diperhatikan.

3. *Presplitting*

Presplitting merupakan salah satu teknik pengontrol hasil peledakan yang diaplikasikan pada tambang *open pit* yaitu dengan membuat rekahan diantara area yang akan diledakan dengan area yang tidak diledakan untuk mengurangi efek peledakan. Tujuan utama dilakukannya *Pre-splitting* dilakukan untuk mengendalikan getaran berlebihan, menjaga kestabilan lereng dan membantu membuat dinding menjadi lebih halus. Pada tambang *open pit pre-splitting* dilakukan dengan membuat barisan lubang -lubang ledak di bagian paling akhir pola peledakan atau lubang – lubang produksi yang kemudian diledakan sebelum atau bersamaan dengan lubang-lubang produksi. *Pre-splitting* membutuhkan barisan lubang bor yang memiliki spasi antar lubang yang dekat terhadap daerah batas penggalian dan diameter lubang yang cukup kecil, Diameter lubang ledak untuk *pre splitting* berkisar antara 100 hingga 125 mm. Karena membutuhkan lubang ledak yang banyak, peledakan *pre-splitting* cenderung membutuhkan biaya yang lebih besar dibandingkan dengan peledakan produksi sehingga membutuhkan pengawasan yang lebih tinggi agar memastikan jika lubang ledak di bor secara tepat.

4. Peledakan Bongkah (*Secondary Blasting*)

Dikarenakan banyaknya faktor yang tidak dapat dikontrol dalam peledakan sehingga sering menyebabkan terjadinya bongkahan – bongkahan yang tertinggal. Bongkahan – bongkahan yang cukup besar sulit untuk dimuat oleh alat dan dapat mengganggu jalannya produksi sehingga dibutuhkan peledakan kembali yang dapat dikatakan sebagai *secondary blasting* untuk

memperkecil ukuran, namun kegiatan ini menambah biaya peledakan. Peledakan bongkah biasanya dilakukan apabila terdapat fragmentasi yang tidak sempurna, adanya bongkahan besar yang tidak dapat diangkut sehingga dapat mengganggu produksi, terganggunya proses penggerusan pada *crushing*. Terdapat dua metode yang digunakan dalam peledakan bongkah

- a) *Plaster shooting*, yaitu metode peledakan bongkah dimana bahan peledak diletakkan diatas bongkah batuan dan ditutupi oleh lapisan clay. Metode ini dapat digunakan apabila jauh dari bangunan – bangunan.
- b) *Pop shooting*, metode ini biasanya digunakan untuk memecahkan bongkah batu yang cukup besar dengan membuat lubang bor kearah pusat bongkah batuan. Batuan dibor antara setengah hingga seperempat tinggi bongkah batu yang dibor.

2.1.1 Teknik Pengeboran

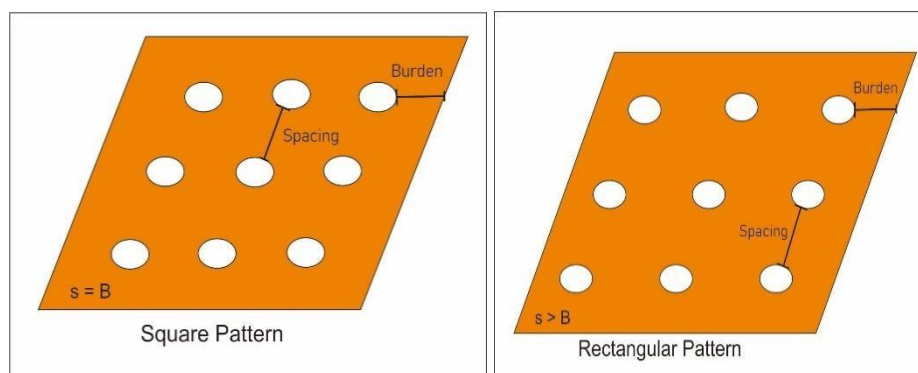
Pengeboran merupakan kegiatan yang krusial untuk dilakukan dengan tujuan pembuatan lubang untuk diisi bahan peledak pada proses kegiatan pengeboran dan peledakan. Kegiatan sebelum dilakukannya peledakan adalah dengan melakukan pengeboran untuk lubang tembak terlebih dahulu. Lubang tembak adalah lubang yang dibuat untuk diisi bahan peledak dan selanjutnya diledakkan dalam kegiatan peledakan. Pembuatan lubang tembak dilakukan pada lapisan tanah atau batuan yang akan diledakkan dengan dilakukannya pengeboran (Hustrulid, 2013).

Dalam pemilihan alat bor untuk tambang terbuka yang memakai metode peledakan jenjang faktor ukuran dan kedalaman lubang ledak, jenis batuan dan kondisi lingkungan serta harus selalu diperhatikan. Terdapat tiga pola pengeboran yang ada pada area tambang terbuka, yaitu:

- a) Pola bujur sangkar (*Square pattern*), yaitu pola peledakan dengan jarak *burden* dan spasinya yang sama. Kelebihan pola pengeboran bujur sangkar adalah kesederhanaannya dalam perencanaan dan kemudahan untuk memastikan distribusi yang seragam. Selain itu, pola ini memungkinkan hasil data yang representatif dari keseluruhan area karena setiap titik bor memiliki jarak yang sama antara satu sama lain, meminimalkan kesenjangan dalam data. Namun, dalam beberapa kondisi, pola ini bisa kurang optimal jika terdapat variasi geologi yang

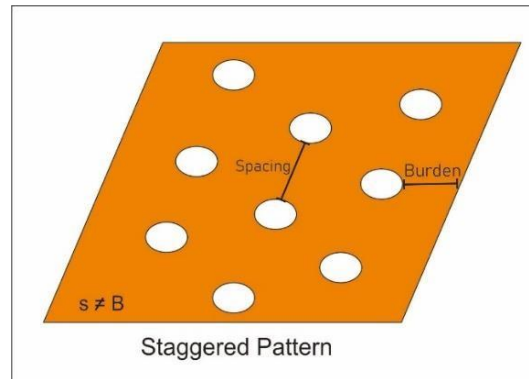
signifikan karena keterbatasan pola yang linier, sehingga diperlukan penyesuaian atau kombinasi dengan metode pengeboran lain agar hasilnya lebih akurat.

- b) Pola persegi pasang (*Rectangular system*), yaitu pola peledakan dengan jarak dan spasi dalam satu baris lebih besar dibandingkan dengan *burden*-nya yang berarti bahwa lubang-lubang bor diatur sedemikian rupa sehingga terdapat lebih banyak ruang di antara lubang-lubang dalam satu baris dibandingkan dengan jarak ke baris berikutnya. Hal ini memungkinkan pengendalian yang lebih baik terhadap arah dan kekuatan ledakan, serta dapat meminimalkan dampak getaran tanah yang dihasilkan oleh peledakan. Gambar 1 memperlihatkan pola pengeboran *square pattern* dan *rectangular pattern*.



Gambar 1 Pola Pengeboran *square pattern* dan *rectangular pattern* (Oktaviani, 2019)

- c) Pola *zig-zag* (*Staggered pattern*), yaitu pola peledakan yang dimana antara lubang bornya dibuat *zig-zag* yang berasal dari pola bujur sangkar maupun persegi panjang. Pengeboran pada tambang dengan komoditas tertentu khususnya pada *overburden* biasanya menggunakan pola ini. Penyebaran atau distribusi energi akan lebih maksimal dan merata jika menggunakan pola peledakan *zig-zag* ini. Penerapan pola *zig-zag* sering digunakan di area tambang terbuka, terutama ketika terdapat batasan ruang atau kebutuhan untuk menghindari kerusakan pada area sekitarnya. Gambar 2 memperlihatkan pola pengeboran *staggered pattern*.



Gambar 2 Pola pengeboran *staggered pattern* (Oktaviani, 2019)

Proses pengeboran dilakukan dengan menggunakan alat yang bernama *rotary drill*, gerakan *rotary* pada ujung bor dihasilkan dari hidrolik atau motor Listrik. Ujung bor atau sering disebut sebagai *drill bit* atau mata bor, didorong melalui mekanisme putar untuk mendapatkan tenaga yang diperlukan. Bor yang digunakan pada sistem pengeboran *rotary blasthole* ini cukup besar dan berat, yang dibutuhkan untuk menghasilkan tenaga dan torsi yang besar pula pada mata bor melalui rangkaian bor (Gokhale, 2011).

2.1.2 Teknik Peledakan

Peledakan merupakan proses yang menghasilkan adanya gelombang kejut dan proses tekanan gas dari bahan peledak untuk menghancurkan batuan (Rustan, 1998). Peralatan peledakan adalah segala alat-alat dan bahan yang akan digunakan lebih dari satu kali pada saat proses kegiatan peledakan. Alat-alat tersebut dapat diuraikan sebagai berikut, yaitu:

a) *Base Station*

Base station merupakan alat yang digunakan untuk melakukan proses *arming* dan *firing* pada peledakan. Digunakan oleh seorang *blaster* dan proses penembakan peledakan.

b) *Bench Box*

Bench box adalah alat perantara antara *base station* dan detonator pada lubang tembak. *Bench box* menerima sinyal *arming and firing* dari *base station* dan diteruskan ke rangkaian peledakan. *Delay* pada *bench box* dapat juga diatur untuk pengiriman sinyal ke rangkaian peledakan. Jarak maksimal antara *base station* dan *bench box* mencapai 3,5 kilometer.

c) *Harness Wire*

Harness wire adalah kawat yang digunakan sebagai penghubung dari *bench box* ke rangkaian peledakan. Pada proses peledakan, pengiriman sinyal atau inisiasi dapat menggunakan *harness wire* atau dapat juga mengirimkan sinyal langsung ke detonator elektronik.

d) *Alat Pengaman Peledakan*

Alat pengaman peledakan yang umumnya digunakan dalam kegiatan peledakan adalah:

- 1) *Handy Talky* (HT).
- 2) Bendera merah, bendera batas jarak aman manusia (500 meter) dan alat (350 meter). Biasanya disesuaikan dengan standar operasi yang ada pada tiap Perusahaan.
- 3) *Safety line*, tali pembatas lokasi peledakan.
- 4) *Road blocker flag and map*, digunakan sebagai tanda pemblokiran akses jalan menuju lokasi peledakan.
- 5) Rambu tanda lokasi dan selebaran catatan *sign in* dan *sign out* (SISO) pada lokasi peledakan sebagai penanda lokasi peledakan dan absensi pekerja yang masuk dan bekerja di lokasi peledakan.

Peralatan pendukung peledakan adalah segenap peralatan yang membantu, memudahkan serta melancarkan kegiatan peledakan yang akan dijalankan. Peralatan pendukung peledakan pada umumnya dapat diuraikan sebagai alat-alat berikut ini, antara lain:

a) *Mobile Manufacturing Unit* (MMU)

Merupakan alat yang digunakan untuk mencampur dan membawa bahan peledak yang akan digunakan. Campuran bahan peledak yang biasa disebut sebagai emulsi. Emulsi merupakan fase cairan yang di dalamnya mengandung tetesan mikroskopik nitrat dan garam (*Chiefly AN*) tersebar dalam *fuel oil*, *wax*, atau *paraffin* yang menggunakan emulsi agen (Hartman, 1992). Dengan komposisi campuran antara gel dan ANFO tertentu. Proses pengangkutan dari gudang handak menuju lokasi peledakan menggunakan MMU ini.

b) *Mobil Box*

Mobil box yang digunakan biasanya membawa aksesoris peledakan seperti *booster*, *delay (Inhole and surface)*, detonator dan lainnya.

Perlengkapan Peledakan yaitu (Bhandari, 1997):

a) Detonator

Detonator adalah alat pemicu awal yang menimbulkan inisiasi dalam bentuk letupan (Ledakan kecil) sebagai bentuk aksi yang memberikan efek kejut terhadap bahan peledak peka detonator. Detonator yang biasa digunakan dibagi menjadi dua, yaitu nonel dan *electronic detonator*. Detonator nonel dapat juga disebut detonator biasa karena lebih cenderung diinisiasi dengan sumbu api dibandingkan dengan listrik. Nonel di desain dengan menggunakan detonator biasa yang dipasang dengan *signal tube* sebagai penghantar energi untuk meledak. *Signal tube* ini berisi bahan peledak kuat yang komposisinya sudah disesuaikan, maka masing-masing dari jenis *signal tube* ini memiliki kecepatan *delay* tertentu yang berbeda-beda. Gelombang kejut yang merambat pada nonel ini dapat mencapai 200 m/s. Detonator elektronik memiliki sumber energi yang berbeda dengan nonel detonator. Elektronik menggunakan detonator dan kabel listrik. Detonator elektrik mempunyai keakursian *delay* yang tinggi karena proses inisiasinya menggunakan sinyal yang berasal dari permukaan. Dengan ini detonator elektronik merupakan detonator dengan sistem keamanan tertinggi dibanding dengan detonator lainnya.

c) Bahan Peledak

Bahan peledak yang digunakan untuk mengisi lubang tembak yaitu ANFO (*Ammonium Nitrate Fuel Oil*). ANFO terdiri dari campuran *amonium nitrat* dan bahan bakar minyak, biasanya dengan komposisi sekitar 95% amonium nitrat dan 5% bahan bakar. Namun, saat ini sudah banyak yang menggunakan emulsi yaitu campuran antara ANFO dan *emulsion gel*.

d) *Booster*

Booster adalah bahan peledak berdaya ledak tinggi yang digunakan pada proses peledakan. *Booster* merupakan pencampuran proses pelelehan

Trinitrotoluena (TNT) dengan *Pentaerythritol Tetranitrate* (PETN) yang bekerja sebagai pemicu peledakan untuk meledakkan ANFO pada lubang tembak.

e) *Primer*

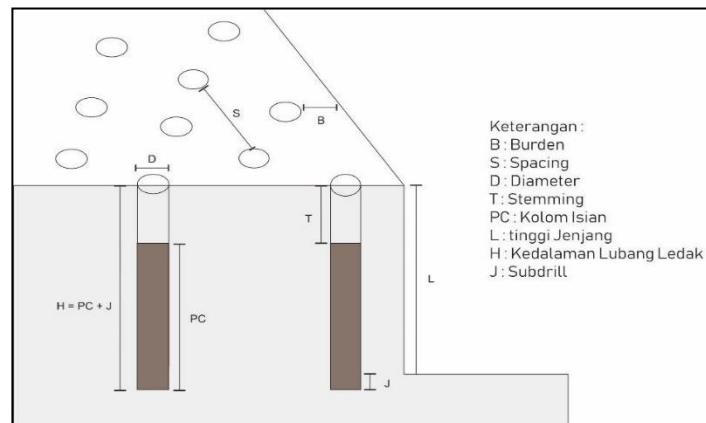
Primer adalah istilah yang digunakan pada bahan peledak peka detonator, yaitu bahan peledak yang berbentuk tabung yang sudah dipasang detonator.

Pola peledakan merupakan urutan waktu peledakan antara lubang-lubang bor dalam satu baris dengan lubang bor pada baris berikutnya, ataupun antara lubang bor yang satu dengan lubang bor yang lainnya. Pola peledakan ini ditentukan berdasarkan urutan waktu peledakan serta arah runtuh material yang diharapkan. Berdasarkan arah runtuh batuan, pola peledakan diklasifikasikan sebagai berikut:

- a) *Corner cut (eschelon)*, yaitu pola peledakan yang arah runtuh batuan ke salah satu sudut dari bidang bebasnya.
- b) *V cut*, yaitu pola peledakan yang arah runtuh batunnya ke depan dan membentuk huruf V.
- c) *Box cut*, yaitu pola peledakan yang arah runtuh batuan ke depan dan membentuk kotak. Yang menghasilkan tumbukan batuan pada tengah bagian.

2.2 Geometri Peledakan

Geometri peledakan adalah parameter yang digunakan untuk menentukan pola peledakan pada suatu kegiatan peledakan/blasting. Dalam operasi peledakan ada tujuh standar dasar geometri peledakan yaitu *burden*, *spacing*, *stemming*, *subdrilling*, kedalaman lubang ledak, kolom isian dan tinggi jenjang. Pengaturan geometri yang tepat sangat penting untuk menghasilkan ukuran fragmentasi yang sesuai dengan kebutuhan operasional. Misalnya, semakin besar *burden* dan *spacing*, semakin besar pula fragmentasi yang dihasilkan, tetapi ini juga dapat memperlambat waktu penggalan material. Gambar 3 memperlihatkan geometri peledakan RL Ash.



Gambar 3 Geometri Peledakan RL.Ash (Ash, 1990).

Geometri peledakan sangat berpengaruh dalam mengontrol hasil peledakan, karena jika geometri peledakannya baik akan menghasilkan fragmentasi batuan yang sesuai dengan ukuran alat peremuk, tanpa terdapat adanya bongkah, kondisi jenjang yang lebih stabil, serta keamanan alat-alat mekanis dan keselamatan para pekerja yang bekerja lebih terjamin. Rumusan untuk menentukan geometri peledakan menurut *ICI Explosive* (1990), tiap parameter geometri peledakan ditentukan oleh nilai diameter lubang ledak (d) yaitu sebagai berikut.

1. Diameter lubang ledak

Diameter lubang yang seimbang dapat memberikan hasil fragmentasi yang baik untuk kegiatan penggalian dan pengangkutan dan dimasukan ke *crusher*. Faktor yang menentukan pemilihan diameter lubang antara lain target produksi, fragmentasi yang ingin dicapai, tinggi jenjang, tipe bahan peledak yang digunakan dan juga karakteristik batuan. Apabila lubang ledak terlalu kecil, maka tekanan yang dihasilkam akan berkurang dan akan mempengaruhi hasil peledakan.

2. *Burden*

Burden merupakan jarak minimum dari lubang ledak terhadap bidang bebas atau terhadap arah lemparan batuan yang ditentukan. Besarnya *burden* dipengaruhi oleh beberapa hal seperti, karakteristik batuan dan densitas bahan peledak yang akan digunakan dan juga diameter lubang. Rumus *ici-explosives* (1990) sebagai berikut:

$$B = (25d - 40d) \quad (1)$$

3. Spasi

Spasi adalah jarak antara lubang ledak yang satu dengan yang lain dalam satu baris. *Spacing* merupakan parameter yang dapat mengontrol efek ledakan antar setiap lubang. Harga *spacing* sangat tergantung dari harga *burden*. Persamaan yang digunakan untuk mencari besarnya spacing adalah sebagai berikut :

$$S=1B-1,5B \quad (2)$$

4. Subdrilling

Subdrilling merupakan bagian dari panjang lubang tembak yang terletak lebih rendah dari lantai jenjang. *Subdrilling* diperlukan agar batuan dapat meledak secara keseluruhan dan terbongkar tepat pada batas lantai jenjang, Persamaan yang dapat digunakan untuk menghitung *subdrilling* adalah :

$$J = 8d - 12d \quad (3)$$

5. Stemming

Stemming adalah kolom material penutup di dalam lubang bor, yang letaknya di atas kolom isian bahan peledak yang berfungsi menahan gas - gas ledakan sehingga terjadi keseimbangan tekanan dalam lubang tembak dan mengurung gas - gas hasil ledakan sehingga dapat menekan batuan dengan energi yang maksimal. *Stemming* yang cukup dalam atau panjang dapat menyebabkan timbulnya bongkah karena daya ledak yang dihasilkan tidak kuat untuk menghancurkan batuan. Sementara *stemming* yang pendek dapat menyebabkan pecahan batuan yang kecil dan timbulnya *fly rock*. Untuk penentuan tinggi *stemming* digunakan persamaan sebagai berikut :

$$T = 20d - 30d \quad (4)$$

6. Tinggi Jenjang

Tinggi Jenjang maksimum ditentukan oleh peralatan lubang bor dan alat muat yang tersedia. Tinggi jenjang berpengaruh terhadap hasil peledakan seperti fragmentasi batuan, *air blast*, *fly rock*, dan *ground vibration*. Untuk alasan keselamatan maksimum tinggi jenjang yang direkomendasikan di tambang adalah 15 m.

$$H = 60d - 140 d \quad (5)$$

2.3 Sifat Fisik Batuan

Penentuan sifat fisik batuan sangat penting untuk diketahui, karena dengan mengetahui sifat fisik batuan dapat ditentukan kualitas batu kapur tersebut. Mengenal dan menafsirkan tentang asal-usul dan mekanisme pembentukan suatu struktur geologi akan menjadi lebih mudah apabila kita memahami prinsip-prinsip dasar mekanika batuan, yaitu tentang konsep gaya, tegasan (*stress/compressive*), tarikan (*strength*) dan faktor-faktor lainnya yang mempengaruhi karakter suatu materi/bahan. Sifat fisik batuan mencakup berbagai karakteristik yang penting untuk memahami perilaku dan aplikasi batuan dalam berbagai bidang, seperti geologi, teknik sipil, dan eksplorasi sumber daya alam. (Noor, 2009).

Sifat fisik batuan yaitu berupa bobot isi, porositas dan kandungan air. Selain itu nilai *Uniaxial Compressive Strength* (UCS) dibutuhkan dalam hal penentuan kekerasan batuan. UCS merupakan nilai yang paling banyak digunakan dalam hal pengukuran kekuatan batuan, deformasi dan karakteristik batuan karena keakurasiannya. UCS lebih membutuhkan biaya, waktu dan peralatan yang digunakan harus sesuai dengan standar yang berlaku, tetapi hasil yang didapat lebih dapat dipercaya daripada pengukuran dengan metode lain, dan dibutuhkan untuk membuat desain yang lebih detail. Pengujian sifat fisik ini sangat penting dalam perencanaan tambang terbuka maupun bawah tanah, karena membantu menentukan metode penambangan yang tepat serta memprediksi perilaku batuan di bawah tekanan dan kondisi lingkungan tertentu. Beberapa sifat fisik utama yang sering dianalisis adalah *density* (kepadatan), *porosity* (porositas), *water content* (kadar air), dan *void ratio* (rasio ruang kosong).

Density atau massa jenis batuan juga merupakan hal yang perlu dipertimbangkan, semakin besar *density* batuan tersebut maka tentu akan semakin keras juga batuan tersebut untuk dapat diledakkan. Hal ini masuk ke dalam faktor *blastibility indeks* yang menjadi salah satu faktor dalam fragmentasi batuan. Pada data *blastibility indeks* terdapat parameter-parameter seperti *Rock Mass Description* (RMD), *Joint Plane Spacing* (JPS), *Joint Plane Orientation* (JPO), *Specific Gravity Influence* (SGI), dan *Hardness*. Parameter lain yang perlu

ditambahkan yaitu UCS dan *density* batuan dari jenis tertentu (Saliu, 2013). Tabel 1 memperlihatkan nilai *blastibility index*.

Tabel 1 <i>Blastibility Index</i> (Lily, 1986)	
Parameter	Bobot
<i>Rock Mass Description</i> (RMD)	
<i>Powder/Friable</i>	10
<i>Blocky</i>	20
<i>Totally Massive</i>	50
<i>Joint Plane Spacing</i> (JPS)	
<i>Close (spasi < 0.1)</i>	10
<i>Intermediate (0.1-1m)</i>	20
<i>Wide (spasi ≥ 1 m)</i>	50
<i>Joint Plane Orientation</i> (JPO)	
<i>Horizontal</i>	10
<i>Dip Out of Face</i>	20
<i>Strike Normal to Face</i>	30
<i>Dip into Face</i>	40
<i>Specific Gravity Influence</i> (SGI)	
<i>SGI</i>	$25 \times SG - 50$
<i>Hardness</i> (H)	$H = 1,36 \times LN(UCS) - 0,84$

Berdasarkan data *blastibility index* tersebut digunakan untuk perhitungan *rock factor* (A) dengan rumus:

$$BI = 0,5 \times (RMD + JPS + JPO + SGI + H) \quad (6)$$

$$A = 0,12 \times BI \quad (7)$$

Keterangan:

BI : *Blatibility index*

RMD : *Rock mass description*

JPS : *Joint plane spacing*

JPO : *Joint plane orientation*

SGI : *Specific gravity influence*

H : *Hardness*

A : *Rock factor*

2.4 Fragmentasi Peledakan

Fragmentasi adalah istilah umum untuk menunjukkan ukuran setiap bongkah batuan hasil peledakan. Ukuran yang diinginkan umumnya adalah ukuran rata-rata permintaan konsumen ataupun ukuran rata-rata yang memungkinkan peningkatan efisiensi untuk proses selanjutnya. Ukuran optimal untuk masing-masing konsumen berbeda-beda berdasarkan kriteria atau target yang ditetapkan konsumen.

Hasil fragmentasi batuan hasil peledakan bergantung pada beberapa faktor antara lain bergantung pada desain peledakan seperti tipe bahan peledak, *blasting pattern*, waktu *delay* dan parameter lainnya. Selain itu hasil fragmentasi juga bergantung pada karakteristik masa batuan yang termasuk *uniaxial compressive strength* (UCS), *elastisitas modulus* (E), *deskripsi massa batuan* (RMD) dan *densitas batuan* (Oktaviani, 2019).

Fragmentasi merupakan suatu ukuran batuan yang dihasilkan dari proses peledakan yang dilakukan. Fragmentasi dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti yang diketahui dalam teori fragmentasi Kuz-Ram. Terdapat dua prinsip penting yang harus dilihat untuk mengontrol ukuran fragmentasi. Jumlah energi yang sesuai diterapkan pada lokasi yang strategis dalam massa batuan. Energi yang dikeluarkan harus tepat pada waktunya untuk menghasilkan interaksi yang sesuai terjadi (Konya, 1990).

Prediksi fragmentasi batuan dilakukan menggunakan perhitungan Kuz-Ram. Hasil dari perhitungan tersebut dapat dikaitkan hubungannya dengan perhitungan *digging time* aktual di lapangan. Cunningham melakukan penyempurnaan pada persamaan Kuznetsov untuk dapat digunakan pada semua jenis bahan peledak menjadi:

$$X_{mean} = A \left(\frac{V_o}{Q} \right)^{0,8} Q^{\frac{1}{6}} \left(\frac{E}{115} \right)^{\left(\frac{19}{30} \right)} \quad (8)$$

Keterangan:

X_{mean} : Ukuran rata-rata fragmen batuan (cm)

A : *Rock factor*

Vo : Volume batuan per lubang ledak ($B \times S \times H$) (bcm)

Q : Berat bahan peledak TNT yang energinya ekuivalen dengan energi muatan bahan peledak dalam setiap lubang ledak.

E : Kekuatan berat relatif bahan peledak yang digunakan (ANFO:100)

Rossin Ramler membuat suatu rumus sebagai berikut:

$$R = e^{-\left(\frac{x}{xc}\right)^n} \quad (9)$$

Keterangan:

R : Banyaknya batuan yang tertahan pada ayakan

X : Ukuran ayakan (mm)

$$X_c = \frac{x}{(0.698)^{1/n}} \quad (10)$$

e : ephsilon= 2.71

n : Indeks keseragaman

Dengan pertimbangan faktor-faktor tersebut, maka dikembangkan dengan persamaan Kuznetsov yang saat ini menjadi rumusan atau Kuz-Ram model:

$$n = (2.2 - 14 \frac{B}{d} \times (\frac{1+A}{2})^{0.5} \times (1 - \frac{W}{B}) \times (\frac{PC}{L}) \quad (11)$$

Keterangan:

d : Diameter lubang ledak (mm)

A : *Ratio* spasi terhadap *burden*

W : Standar deviasi lubang bor (m)

L : Panjang kolom isian (m)

B : *Burden* (m)

H : Tinggi jenjang (m)

2.5 Mekanisme Pecahnya Batuan

Mekanisme pecahnya batuan pada kegiatan peledakan melibatkan beberapa proses fisik yang kompleks yang dipicu oleh energi yang dihasilkan dari bahan peledak. Penyebab utama terjadinya ledakan disebabkan oleh energi yang terdapat pada gas setelah gelombang kejut (*shock waves*) menginisiasi proses pecahnya batuan. Gelombang ini menyebabkan tekanan yang cukup tinggi untuk melampaui

kekuatan elastis batuan, sehingga memicu terjadinya retakan dan pemecahan. Proses ini dimulai dengan pembentukan zona reaksi utama di mana tekanan detonasi paling tinggi terjadi, diikuti oleh perambatan gelombang seismik yang menyebabkan getaran tanah di sekitar lokasi peledakan. Terdapat tiga mekanisme pecahnya batuan yaitu (Atkinson, 1977, :

1. Proses pemecahan tahap 1

Pada saat bahan peledak meledak, tekanan tinggi yang ditimbulkan akan menghancurkan batuan di sekitar lubang tembak. Gelombang kejut (*shock wave*) yang meninggalkan lubang tembak merambat dengan kecepatan 9.000 – 17.000 ft/det akan mengakibatkan tegangan tangensial (*tangensial stresses*) yang menimbulkan rekahan radial (*radial cracks*) yang menjalar dari daerah lubang tembak. Rekahan radial pertama terjadi dalam waktu 1 – 2 ms.

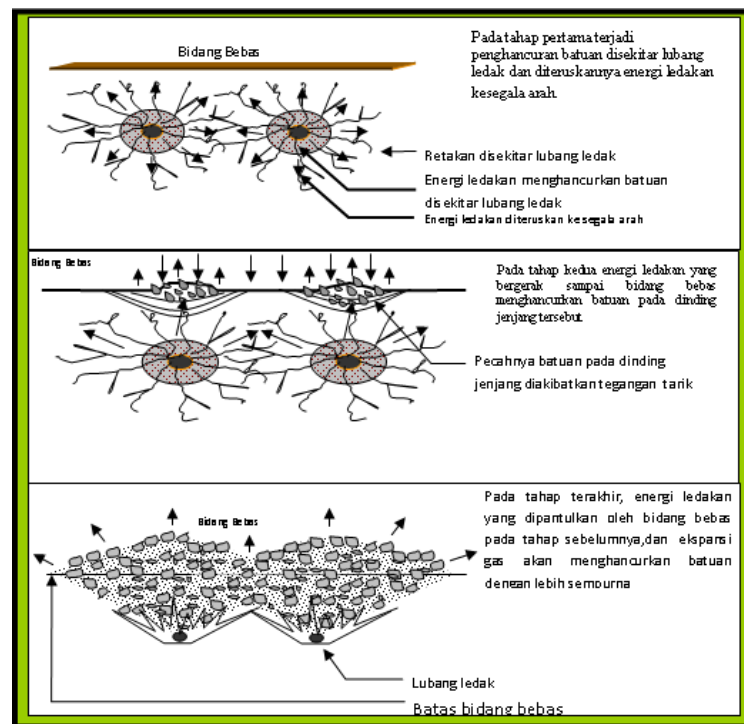
2. Proses pemecahan tahap II

Tekanan akibat gelombang kejut yang meninggalkan lubang tembak pada proses pemecahan tahap I adalah positif. Apabila gelombang kejut mencapai bidang bebas (*free face*), gelombang tersebut akan dipantulkan, dan tekanan turun dengan cepat berubah menjadi negatif dan menimbulkan gelombang tarik (*tension wave*). Gelombang tarik ini merambat kembali di dalam batuan. Karena batuan lebih kecil tahanannya terhadap tarikan (*tension*) dari pada tekanan (*compression*), maka akan terjadi rekahan-rekahan (*primary failure cracks*).

3. Proses Pemecahan tahap III

Akibat pengaruh tekanan yang sangat tinggi dari gas-gas hasil peledakan maka rekahan radial utama akan diperlebar/diperbesar secara cepat oleh efek kombinasi dari tegangan tarik yang disebabkan kompresi radial dan *pneumatic wedging* (pembajian). Apabila massa di depan lubang tembak gagal mempertahankan posisinya dan bergerak ke depan maka tegangan tekan tinggi yang berada dalam batuan akan dilepaskan. Akibat pelepasan tegangan tekan ini akan menimbulkan tegangan tarik yang besar di dalam massa batuan. Rekahan yang terjadi dalam proses pemecahan tahap II

merupakan bidang-bidang lemah yang membantu fragmentasi utama. Gambar 4 memperlihatkan mekanisme pecahnya batuan.



Gambar 4 Mekanisme Pecahnya Batuan (Hustrulid, 1999).

2.6 Sifat Bahan Peledak

Performa dari bahan peledak yaitu berasal dari kemampuan bahan peledak dalam penggunaannya pada kondisi tertentu. Berbeda tipe bahan peledak, maka berbeda pula penanganannya. Kemampuan ketahanan terhadap air, sifat gas beracun, energi yang diperlukan untuk detonasi dan kekuatan untuk memecahkan batuan juga tentu berbeda (Bhandari, 1997)

1. Kekuatan (*Energy Strenght*)

Kekuatan suatu bahan peledak merupakan ukuran yang dipergunakan untuk mengukur energi yang terkandung pada bahan peledak dan kerja yang dapat dilakukan oleh bahan peledak tersebut. Percobaan dalam pengukuran kekuatan peledakan telah banyak dilakukan, untuk memprediksikan performa dari bahan peledak tersebut. Pengukuran energi secara teori (Q) dan kerja ekspansi (EWK), seperti pengukuran *underwater shock* dan *bubble energy*, tekanan gelombang dan tarikan gelombang pada material yang diledakkan sendiri.

2. Kecepatan Detonasi (VOD)

Kecepatan detonasi (*Velocity of Detonation*) adalah kecepatan gelombang detonasi yang melalui sepanjang kolom isian bahan peledak, yang dinyatakan dalam meter/detik. Setiap bahan peledak memiliki kecepatan pasti dan kecepatan ideal yang diketahui sebagai *hydrodynamic velocity*. Kecepatan detonasi suatu bahan peledak tergantung pada beberapa faktor, yaitu bobot isi bahan peledak, diameter bahan peledak, ukuran partikel dari bahan penyusunnya dan bahan-bahan yang terkandung dalam bahan peledak. Untuk peledakan pada batuan keras digunakan bahan peledak yang mempunyai kecepatan detonasi tinggi sedangkan pada batuan lunak digunakan bahan peledak dengan kecepatan detonasi rendah. Kecepatan detonasi bahan peledak komersial adalah antara 1.500-8000 m/s.

3. Kepekaan (*Sensitivity*)

Kepekaan adalah pengukuran dalam kemudahan inisiasi. Beberapa jenis pengukuran pada kepekaan seperti *cap sensitivity*, *drop tests*, *friction test* dan lainnya. Semua tes ini dilakukan dengan cara demikian dalam kaitannya penanganan keamanan bahan peledak. Kepekaan bahan peledak tergantung pada komposisi kimia, ukuran butir, bobot isi, pengaruh kandungan air dan temperature. Bahan peledak yang sensitif belum tentu bagus, namun bahan peledak yang mudah penyebaran reaksinya dan tidak peka adalah lebih menguntungkan dan lebih aman.

4. Bobot Isi Bahan Peledak (*Density*)

Bahan isi bahan peledak adalah perbandingan antara berat dan volume bahan peledak, dinyatakan dalam gr/cm^3 . Bobot isi biasanya juga dinyatakan dengan istilah *specific gravity* (SG), ataupun *loading density* (de).

5. Tekanan Detonasi (*Detonation Pressure*)

Tekanan detonasi adalah penyebaran tekanan gelombang ledakan dalam kolom isian bahan peledak, dinyatakan dalam *kilopascal* (Kpa). Tekanan akibat ledakan di sekitar dinding lubang ledak intensitasnya tergantung pada jenis bahan peledak (Kekuatan, bobot isi, VOD), derajat pengukurungan, jumlah dan temperature gas hasil peledakan.

6. Sifat Gas Beracun (*Fumes*)

7. Bahan peledak yang meledak menghasilkan dua kemungkinan jenis gas, yaitu *smoke* atau *fumes*. *Smoke* tidak berbahaya karena hanya mengandung uap air (H₂O) dan asap berwarna putih (CO₂). Sedangkan *fumes* berwarna kuning dan berbahaya karena sifatnya beracun, yang terdiri dari karbon monoksida (CO) dan oksida nitrogen (NO_x). *Fumes* terjadi karena tidak terjadi keseimbangan oksigen dalam pembakaran, hal ini dikarenakan bahan peledak tersebut dalam keadaan rusak, atau dapat juga karena komposisi bahan peledak yang tidak sesuai.
8. Ketahanan Terhadap Air (*Water Resistance*)
Merupakan kemampuan dari bahan peledak tersebut dalam menahan rembesan air dalam waktu tertentu, tanpa merusak, mengurangi atau merubah kepekaannya. Sifat ini cukup penting karena dapat mempengaruhi peledakan dengan memperlambat reaksi pemanasan dan ketidakseimbangan reaksi kimia yang terjadi sehingga dapat menyebabkan rusaknya bahan peledak.

2.7 Pengisian Bahan Peledak

Penggunaan besaran jumlah bahan peledak yang digunakan sangat mempengaruhi hasil dari peledakan terutama fragmentasi batuan. *Powder factor* adalah suatu bilangan yang menyatakan berat bahan peledak yang digunakan untuk menghancurkan batuan (kg/m³). Nilai *powder factor* sangat dipengaruhi oleh jumlah bidang bebas, geometri peledakan, pola peledakan dan struktur geologi. Beberapa hal yang mempengaruhi pengisian bahan peledak, yaitu:

1. *Loading Density*

Konsentrasi isian atau *loading density* merupakan jumlah isian yang digunakan dalam kolom isian lubang tembak (PC). Perhitungan *loading density* dapat menggunakan rumus:

$$de = 0,508 De^2(SG) \quad (12)$$

Keterangan:

de : *Loading density* (Kg/m)

De : Diameter lubang tembak (*Inchi*)

SG : *Spesific gravity* bahan peledak yang digunakan

Jadi jumlah bahan peledak yang digunakan dalam satu lubang tembak dapat ditentukan dengan rumus:

$$E = d_e \times PC \quad (13)$$

Keterangan:

E : Jumlah bahan peledak tiap lubang ledak (Kg)

d_e : *Loading density* dari bahan peledak yang digunakan (Kg/m)

PC : Panjang kolom isian (m)

2. Powder Factor (PF)

Powder factor adalah perbandingan antara bahan peledak yang digunakan terhadap jumlah batuan yang diledakkan.

$$Pf = E/W \quad (14)$$

Beberapa parameter yang mempengaruhi nilai *powder factor* yaitu seperti geometri peledakan, struktur geologi dan karakteristik batuan. Bila bahan peledak yang digunakan terlalu banyak maka akan menimbulkan *air blast* dan *fly rock*, tetapi bila bahan peledak yang digunakan kurang maka akan menghasilkan bongkahan pada batuan dan *backbreak* disekitar jenjang. Terdapat dua macam satuan yang dapat digunakan dalam menentukan *powder factor* yaitu:

-Berat bahan peledak per volume batuan yang diledakkan (Kg/m³).

-Berat bahan peledak per berat batuan yang diledakkan (Kg/ton).

2.8 Klasifikasi Bahan Peledak

Bahan Peledak merupakan bahan kimia padat maupun cair yang berupa senyawa tunggal maupun campuran, apabila terkena suatu reaksi panas, tekanan, benturan gesekan atau ledakan awal dapat bereaksi dengan cepat membentuk gas-gas dan menimbulkan efek panas serta tekanan tekanan yang sangat tinggi. Peledakan memiliki daya rusak yang bervariasi tergantung jenis bahan peledak yang digunakan dan tujuan penggunaan bahan peledak. Umumnya baahan peledak rata – rata memiliki kecepatan detonasi sebesar 4500 – 7000 m/s (Oktaviani, 2019).

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. Menurut Keppres No.5/1998 SK tentang pengadaan bahan peledak, membagi bahan peledak menjadi dua golongan yaitu Bahan Peledak industri (komersial) dan bahan peledak militer. Berdasarkan komposisinya bahan peledak industri dapat dibagi menjadi dua yaitu *dynamite* dan *blasting agents*.

1. *Dynamites*

Dynamites menggunakan *nitroglycerin* (NG) sebagai bahan dasarnya. *Dynamite* merupakan bahan peledak komersial pertama yang digunakan dengan *specific gravity* sebesar 1.6 dan dengan kecepatan detonasi ± 25000 ft/s. NG sangat sensitif terhadap getaran, gesekan dan panas, sehingga sangat berbahaya apabila berinteraksi dengan cairan.

2. *Blasting Agent*

Dari keseluruhan bahan peledak *blasting agent* merupakan bahan peledak yang banyak digunakan saat ini. *Blasting Agent* yang umum digunakan saat ini adalah ANFO, Emulsi dan *Heavy ANFO*

a. ANFO

ANFO merupakan campuran dari *Ammonium nitrat* zat pengoksidasi dan *Fuel oil* sebagai bahan bakar yang banyak digunakan sebagai produk komersil *blasting* campuran AN (*Ammonium nitrat*) dan FO (solar) sebesar 94,5% AN dan 5,5% FO. Bergantung pada komposisi campurannya densitas ANFO berkisar antara 0,80 hingga 0,85 g/cm³.

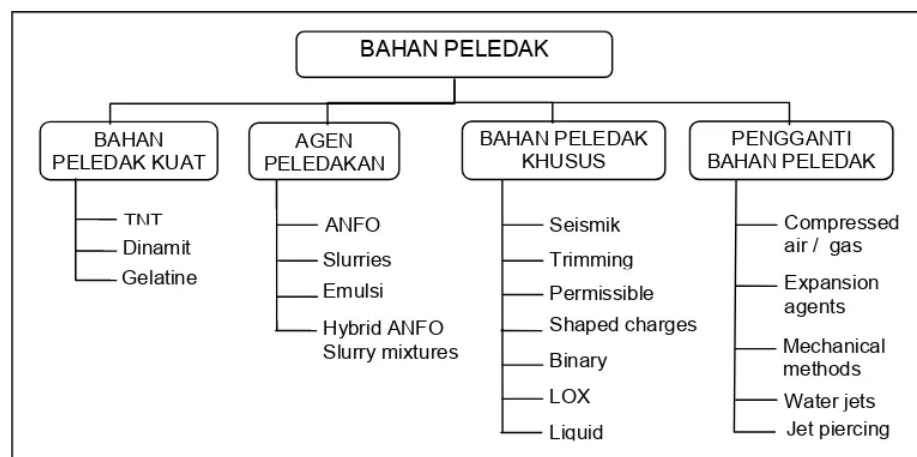
b. Emulsi (*Emulsion*)

Emulsi (*Emulsion*) adalah bahan peledak yang terbuat dari fase oksida liquid dicampur dengan fase minyak (solar atau minyak diesel) ditambah emulsifier untuk mempertahankan fase emulsinya. Emulsi bahan peledak memiliki energi dan kekuatan yang tinggi serta tahan terhadap air yang baik. Emulsi memiliki densitas berkisar 1,0 g/cm³ hingga 1,45 g/cm³. Pada tambang emas banyak digunakan bahan peledak emulsi dengan pertimbangan biaya yang lebih rendah,

ketahanan terhadap air yang baik dibandingkan dengan ANFO, Kecepatan detonasi yang tinggi berkisar 4000 hingga 5000 m/s. Pada penelitian ini bahan peledak yang digunakan adalah Emulsi dengan densitas 1,31 gr/cc

c. *Heavy ANFO*

Heavy ANFO merupakan campuran dari dasar emulsi dan ANFO. *Heavy ANFO* mengandung 45 – 50% *Ammonium nitrate* emulsi yang dicampur dengan ANFO untuk meningkatkan densitas ANFO sehingga sensitivitas lebih baik dan dapat lebih tahan terhadap air. Gambar 5 memperlihatkan klasifikasi bahan peledak industri.



Gambar 5 klasifikasi bahan peledak industri (Sundoyo, 2020).

2.9 Pengukuran Velocity of Detonation

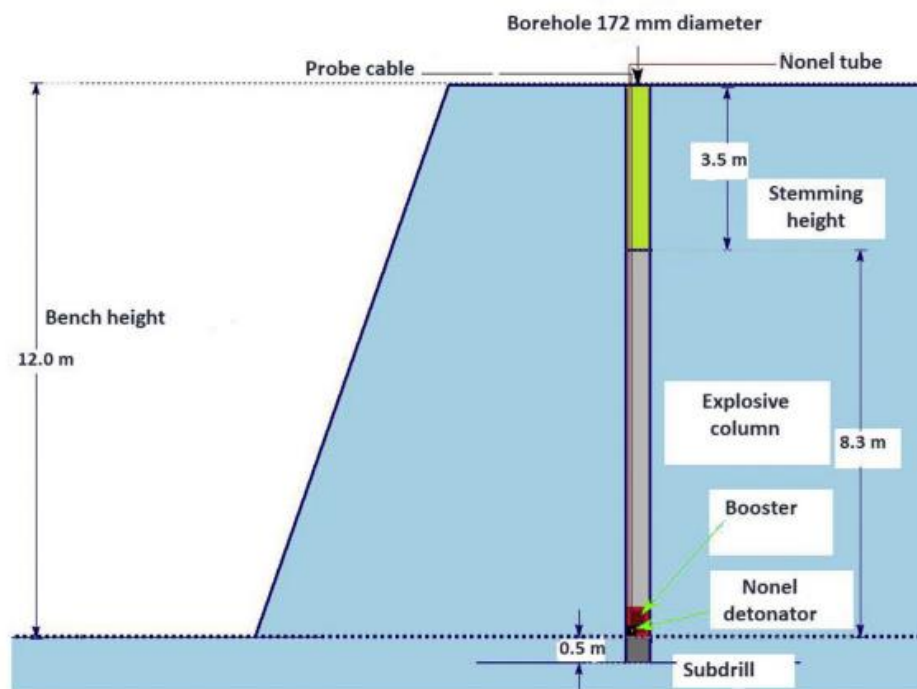
Kecepatan Detonasi (VOD) adalah fitur penting bahan peledak. Kecepatan detonasi selalu menentukan kinerja bahan peledak. Efisiensi ledakan dipengaruhi oleh daya dan kekuatan bahan peledak untuk memecah struktur padat. Sudah lama diketahui bahwa pengukuran kecepatan detonasi sangat menunjukkan kekuatan dan kinerja bahan peledak baik itu di pertambangan dan penggunaan sipil lainnya, seperti pembongkaran bangunan, terowongan, dan sumur, menggunakan bahan peledak. 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. Akibat penurunan kecepatan detonasi ANFO yang sangat tajam akan mengurangi energi ledak secara drastis atau bahkan tidak akan meledak sama sekali (gagal ledak). (Tete, 2017). Berikut adalah gambar ilustrasi dari pengukuran VOD pada Gambar 6.



Gambar 6 Ilustrasi Pengukuran VOD (Kabwe, 2018)

2.10 Waste oil

Waste oil merupakan salah satu senyawa yang mengandung unsur karbon, dimana dapat digunakan sebagai campuran untuk membuat emulsi. Berdasarkan Peraturan Pemerintah (PP) Nomor 18 Tahun 1999 tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3), *Waste oil* termasuk B3 dan dikelola tak sembarangan. Dikarenakan sifat *Waste oil* yang berbahaya dan mengandung logam berat, *Waste oil* memerlukan penanganan khusus untuk menghindari dampak buruk oleh karena itu perlu dilakukan penelitian untuk melihat apakah *Waste oil* tersebut dapat dimanfaatkan kembali sebagai campuran bahan peledak atau tidak. Tabel 2 memperlihatkan parameter standar oli bekas dalam campuran bahan handak.

Tabel 2 Parameter Standar Oli Bekas dalam Campuran Handak (KLHK NO 6 THN 2021)

No	Constituent	Allowable Level
1	Arsenic (As)	5 ppm maximum
2	Cadmium (Cd)	2 ppm maximum
3	Chromium (Cr)	10 ppm maximum
4	Timbal (Pb)	100 ppm maximum

No	Constituent	Allowable Level
5	Merkuri (Hg)	1,2 ppm maximum
6	PCBs	2 ppm maksimum
7	Kadar total organic halide (TOX) sebagai Fluorida (F) dan klorida (Cl)	2% maksimum
8	Kadar sulfur (S)	3% maximum
9	Nilai Kalori	2.500 kkal/kg minimum

Pengelola limbah ini biasanya ditunjuk oleh pemerintah kepada mereka yang memenuhi standar untuk mengelolanya. Jika hal ini diterapkan, maka limbah *Waste oil* yang dihasilkan kegiatan pertambangan dapat dimanfaatkan sebagai bahan pencampur dari *Ammonium nitrate*. Tabel 3 memperlihatkan standar nasional Indonesia.

Tabel 3 Standar Nasional Indonesia (SNI 7642:2020)

NO	Constituent/Preoperti	Allowable Level
1	Total logam arsen, As	5 ppm maximum
2	Total logam <i>Cadmium</i> (Cd)	2 ppm maximum
3	Total logam <i>Chromium</i> (Cr)	10 ppm maximum
4	Total logam Timbal (Pb)	100 ppm maximum
5	Total halogen	100 ppm maximum
6	Poly chlorinated bipenyls PCBs	2 ppm maksimum
7	Kadar air	37,78 °C maksimum
8	Nilai Kalori	2.500 kkal/kg minimum

Fokus utama pada permasalahan ini adalah apakah unsur *fuel oil* ini bisa menghasilkan reaksi peledakan yang sempurna, seperti hal nya pada solar (*diesel oil*). Kesempurnaan reaksi peledakan ini tergantung dari kualitas oli bekas yang dimanfaatkan dalam campuran bahan peledak. Sehingga aspek kontrol kualitas menjadi hal yang dijadikan topik utama pada permasalahan dalam perbaikan ini. Kulaitas oli bekas ini juga menjadi concern pada aspek peraturan, dikarenakan adanya kontrol dan kelola kepada reaksi oli bekas sebagai limbah B3 kepada beberapa unsur lingkungan (hara/tanah, udara, dan air) (Bellico, 2020).