

BAB III

TEORI DASAR

3.1 Sistem Penambangan Bawah Tanah

Tambang bawah tanah adalah sistem penambangan dimana seluruh aktivitas yang kerjanya tidak berhubungan langsung dengan udara luar dan seluruh aktivitas penambangannya dilakukan di bawah permukaan bumi.

Latar belakang yang mempengaruhi dipilihnya penambangan dengan sistem tambang bawah tanah adalah :

- Perbandingan SR yang besar dan tidak ekonomis untuk ditambang menggunakan sistem tambang terbuka karena terlalu banyak *overburden* yang harus dibongkar.
- Bentuk endapan yang secara spesifik harus ditambang menggunakan sistem tambang bawah tanah.
- Penambangan dengan sistem tambang bawah tanah tidak banyak merusak ekosistem yang ada di sekitar penambangan.

Pada prinsipnya, penambangan bawah tanah dengan menggunakan metoda tambang bawah tanah memerlukan 3 persyaratan teknis yang mutlak harus dipenuhi, yaitu :

- Pemahaman secara menyeluruh terhadap kondisi alam di lokasi yang akan ditambang.
- Teknologi penambangan yang sesuai dengan kondisi lapangan aman, ekonomis dan menghasilkan tingkat keterambilan bahan galian yang tinggi.
- Sumber daya manusia yang handal.

Data geologi yang cukup mengenai kondisi tersimpannya bijih emas seperti kedalaman lapisan, jumlah lapisan, tebal lapisan, kemiringan lapisan (*dip*) dan arahnya (*strike*), jumlah cadangan dan data pendukung lainnya seperti formasi batuan, kemudian ada tidaknya patahan (*fault*) atau lipatan (*fold*), akan sangat membantu untuk menentukan metoda pembukaan tambang, metoda pengambilan bijih emas, transportasi baik material atau bijih emas, penyanggaan (*support*), ventilasi, drainase dan lain-lain.

Faktor-faktor yang harus diperhatikan dalam pemilihan metoda penambangan bawah tanah antara lain :

- Dimensi (Ukuran Deposit)

Dimensi atau ukuran endapan adalah geometri dari endapan bahan galian, yang meliputi volume endapan dan bentuk endapan. Dimensi atau ukuran endapan dijadikan faktor yang harus diperhatikan dalam pemilihan metoda penambangan bawah tanah, karena dengan mengetahui ukuran endapan maka perancangan suatu tambang bisa dilakukan misalnya metoda yang digunakan untuk endapan dengan ukuran kecil akan berbeda dengan endapan ukuran besar, karena bila dilihat dari segi ekonomis, maka endapan dengan ukuran kecil kemungkinan tidak akan menggunakan penyangga sedangkan endapan berukuran besar kemungkinan akan menggunakan penyangga.

- Kedalaman Endapan Dari Permukaan

Kedalaman endapan bijih dari permukaan adalah jarak letak endapan yang diukur dari permukaan ke dalam bumi. Kedalaman sangat penting karena akan digunakan sebagai data pertimbangan dalam menentukan sistem penambangan maupun metoda penambangan yang cocok digunakan. Hal ini berkaitan dengan perhitungan *striking ratio* yaitu berapa *over burden*

yang dikupas untuk mendapatkan satu ton endapan bijih. Dari *striping ratio* ini dapat ditentukan sistem penambangan yang digunakan. Sedangkan hubungannya dengan metoda tambang bawah tanah adalah berhubungan dengan penggunaan penyanggaan, yakni untuk endapan yang tidak terlalu dalam, beban dari atas kemungkinan tidak besar sehingga dalam kegiatan penambangannya juga tidak terlalu membutuhkan kekuatan dan kekerasan batuan sampling serta bobot isi dari batuan di atasnya.

- Umur Tambang

Umur tambang adalah lamanya operasi penambangan atau waktu yang dibutuhkan untuk menambang suatu endapan bahan galian dari suatu kegiatan penambangan yang didapat dari pembagian jumlah cadangan endapan bahan galian yang ada dengan target produksi perusahaan tambang tersebut. Hal ini berpengaruh terhadap biaya yang akan digunakan, yakni semakin lama umur tambang maka biaya penambangan juga akan semakin besar. Selain itu akan berpengaruh terhadap penggunaan penyangga, misalnya untuk umur tambang yang lama kemungkinan akan menggunakan penyangga yang lebih tahan lama dan untuk umur tambang yang singkat jika melihat segi ekonomi, lebih baik menggunakan penyangga yang relatif sesuai dengan umur penambangan.

- Nilai Endapan

Nilai endapan adalah harga suatu endapan bijih di pasaran berdasarkan permintaan pasar. Dalam hal ini berhubungan dengan keuntungan yang akan diperoleh dari hasil penjualan suatu endapan setelah dikurangi dengan biaya penambangan, pengolahan sampai penjualan. Nilai endapan akan berpengaruh terhadap layak tidaknya suatu endapan untuk ditambang serta akan berpengaruh terhadap metode penambangan yang akan

diterapkan dengan memperhitungkan biaya pembuatan penyangga jika harus menggunakan penyangga.

- **Modal Yang Tersedia**

Modal yang tersedia adalah modal yang dimiliki oleh suatu perusahaan pertambangan dalam membiayai semua kegiatan tambang, modal biasa berupa saham, pinjaman dan *obligasi*. Modal yang tersedia sangat berpengaruh dalam pemilihan metode penambangan bawah tanah, karena biaya untuk membuat suatu metode penambangan harus disesuaikan dengan biaya yang tersedia atau yang dimiliki perusahaan.

- **Letak atau Posisi Endapan**

Letak keberadaan suatu endapan bahan galian bijih di bawah permukaan bumi. Letak atau posisi endapan bijih akan menjadi dasar dalam pembukaan tambang. Karena yang mengetahui letak dan posisi akan mempermudah dalam menentukan metode penambangan yang tepat

- **Air Tanah**

Air tanah adalah air yang letaknya di antara butir-butir tanah atau lapisan pembawa air (*aquifer*) yang terdapat di dalam tanah membentuk suatu aliran air. Adanya air tanah menambah beban pada bukaan dan adanya tekanan *hidrostatik* terutama pada rekahan yang dapat menyebabkan kelongsoran, munculnya kebutuhan akan sistem penyaliran, sehingga perlu pertimbangan dalam pemilihan metode penambangan bawah tanah.

- **Biaya Penambangan**

Biaya penambangan adalah biaya yang dibutuhkan dalam menjalankan seluruh kegiatan penambangan. Biaya penambangan dihitung dan diperkirakan dalam perencanaan tambang sesuai dengan modal yang tersedia. Besarnya biaya yang akan digunakan pada penambangan akan

berpengaruh terhadap pemilihan metode yang akan diterapkan atau metode penambangan yang akan digunakan sangat tergantung pada biaya yang tersedia. Misalnya metode penambangan yang menggunakan penyangga akan membutuhkan biaya yang lebih besar jika dibandingkan dengan metode yang tidak menggunakan penyangga.

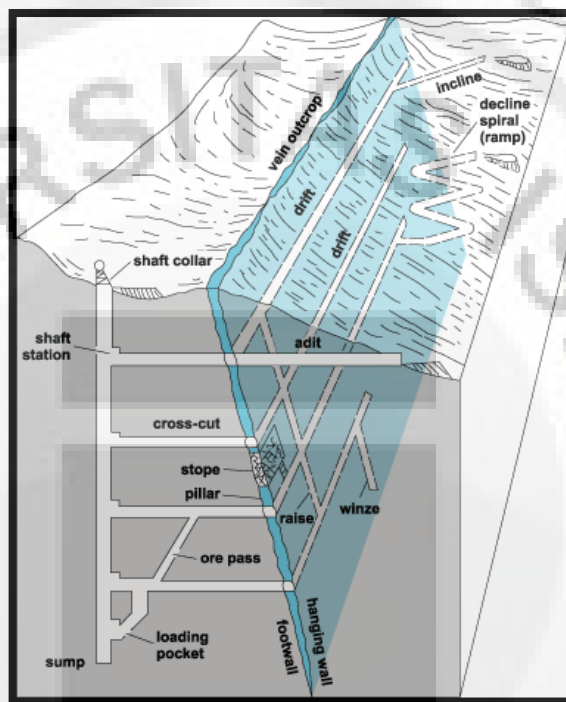
- Fasilitas Yang Tersedia

Besarnya biaya yang akan digunakan pada penambangan akan dipengaruhi oleh pemilihan metode yang akan diterapkan atau metode penambangan yang akan digunakan, akan sangat menentukan biaya yang dibutuhkan, misalnya metode penambangan yang menggunakan penyangga akan membutuhkan biaya yang lebih besar jika dibandingkan dengan metode yang tidak menggunakan penyangga. Untuk mencapai target produksi serta menjaga agar proses penambangan dapat berjalan sesuai dengan rencana, dengan biaya penambangan yang minimum dalam suatu kegiatan penambangan bawah tanah harus disesuaikan dengan fasilitas – fasilitas yang tersedia.

3.2 Metoda *Cut and Fill*

Cut and fill merupakan suatu cara penambangan yang menggali bagian demi bagian. Sebelum pengalian berikutnya dilakukan maka dilakukan pengisian material dari luar. Metode ini menggunakan material pengisi (*filling material*) disamping penyanggaan yang teratur. Keduanya membutuhkan biaya yang tinggi, oleh sebab itu cara penambangan ini menjadi mahal dan hanya endapan-endapan bijih yang bernilai tinggi saja yang dapat ditambang dengan cara ini. Fungsi material pengisi :

- Tempat berpijak dalam melakukan pemboran dan persiapan peledakan.
- Untuk penyangga batuan samping di tempat-tempat yang bijihnya sudah diambil.
- Untuk menghindari terjadinya amblesan (*surface subsidence*).



Gambar 3.1
Metoda Cut and Fill

Syarat Penambangan *Cut and Fill* adalah metode yang cocok untuk endapan-endapan bijih yang memiliki sifat-sifat sebagai berikut :

- Kekuatan bijih kuat dan keras tetapi di bagian tengah-tengahnya ada yang kurang kompak dan kadang-kadang memerlukan *temporary support*.
- Kekuatan batuan samping agak lemah atau kurang kompak.
- Bentuk endapan bijih tabular atau cebakan deposit dan batasnya kurang teratur atau banyak batuan kosong (*barren rock*) di antara endapan bijihnya.
- Kemiringan endapan 35° - 90° untuk yang berbentuk vein.

- Ukuran endapan 4 - 40 m, tetapi yang umumnya adalah 10 - 12 m.
- Kadar bijih nilainya tinggi.
- Kedalamannya dangkal atau dalam.

Pada kebanyakan *cut and fill*, kemajuan penambangan dilakukan naik sepanjang badan bijih miring. Kemajuan penambangan dilakukan didalam suatu siklus yang meliputi tahapan aktivitas sebagai berikut :

- Pemboran dan peledakan untuk batuan berlapis dengan ketebalan 3 m dilakukan pada atap *stope*.
- *Scaling* dan penyanggaan meliputi pemindahan *loose* material dari atap dan dinding *stope* serta cara penempatan penyanggaan.
- Pemuatan dan pengangkutan bijih, dimana bijih secara mekanis dipindahkan dari dalam *stope* ke *ore pass*, kemudian jatuh ke jalan pengangkutan oleh gravitasi.
- Pengisian kembali (*back filling*) *stope* yang telah kosong di isi kembali dengan material *filling*.

Kelebihan metode penambangan *cut and fill* ini antara lain :

- Termasuk metode yang luwes, karena metode ini bisa menambang endapan-endapan yang tidak teratur bentuknya, diubah ke metode penambangan yang lain tidak begitu sulit, memungkinkan untuk dilakukannya *selective mining*, walaupun terbatas.
- Akibat dari sifat metode ini maka dapat diusahakan *mining recovery* yang tinggi.
- Dari *front* atau lombong dapat sekaligus dilakukan *prospecting* dan eksplorasi.
- Batuan samping yang secara tidak sengaja pecah dapat dipakai sebagai *filling* material sehingga tidak perlu diangkut ke luar tambang.

- Karena memakai material pengisi maka penyangga kayu bisa dikurangi, *surface subsidence* dapat dicegah, kemungkinan kebakaran dan pembusukkan juga berkurang.
- Penambangan bisa dilakukan di beberapa lombong sekaligus sehingga produksi bisa diatur besar kecilnya.

Kekurangan metode penambangan *cut and fill* antara lain :

- Selain harus menambang bijihnya, juga harus mengurus material pengisi sehingga diperlukan lebih banyak karyawan terutama jika material pengisi harus diambil lebih jauh.
- Untuk bentuk endapan bijih yang tidak teratur, maka batuan samping harus sering digali.
- Setiap kali akan dilakukan peledakan, maka harus mempersiapkan alat untuk memisahkan material pengisinya dari bijih, berarti ada ongkos tambahan.
- Ongkos penambangannya mahal, Jadi hanya endapan bijih dengan nilai tinggi bisa ditambang dengan metode ini.
- Endapan bijih yang tipis tetapi perlu penambangan yang lebar untuk mendapatkan ruang kerja yang leluasa dan enak. Jika ditambang selebar *ore body* tidak mungkin jadi terpaksa diperlebar dengan konsekuensi *country rock* harus diambil lebih dulu, batuan samping diambil sebagian untuk filling dan sebagian dibuang.

3.3 Lubang Bukaan Bawah Tanah

Lubang bukaan dipersiapkan untuk penambangan yang direncanakan akan ditambang dengan sistem penambangan *cut and fill*. Ukuran lubang bukaan yang akan direncanakan harus dapat mencakup masalah :

- Jumlah produksi, pekerja dan “*mine supples*” yang akan di lewati
- Jumlah udara yang dialirkan kedalam tambang
- Jumlah air tanah yang akan dilakukan dari tambang
- Jenis alat yang akan digunakan

Ada beberapa macam bentuk lubang bukaan yang sering digunakan dalam pekerjaan pembuatannya, yaitu :

- Bentuk lingkaran
- Bentuk segi empat
- Bentuk trapesium
- Bentuk tapal kuda
- Bentuk poligon

Ada beberapa metode pembuatan lubang bukaan dengan cara penggalian yaitu metode *full face* dan *heading and bench*. Dalam penelitian ini metode pembuatan lubang bukaan dengan cara penggalian menggunakan metode *full face*.

Metode *full face* merupakan metoda dimana seluruh penampang terowongan digali secara bersamaan. Metode ini sangat cocok untuk terowongan dengan penampang melintang kecil hingga terowongan dengan diameter 3 meter.

Keuntungan dari metode ini, yaitu :

- Dengan menggali seluruh penampang lubang bukaan, maka dapat mempercepat pekerjaan.
- Lintasan untuk pembuangan hasil peledakan dapat langsung dipasang bersamaan pada saat proses penggalian berikutnya.
- Proses *tunneling* dapat dilakukan secara berkelanjutan.

Kerugian dari metode ini, yaitu :

- Membutuhkan alat-alat mekanis dalam jumlah besar.
- Tidak dapat digunakan pada kondisi batuan atau tanah yang tidak stabil.

- Terbatas untuk terowongan yang memiliki lintasan pendek.

Lubang bukaan bawah tanah dikelompokkan menjadi lubang bukaan vertikal, horizontal dan miring. Pada penelitian ini lubang bukaan termasuk dalam lubang bukaan horizontal.

Lubang bukaan horizontal atau hampir horizontal ini dibuat baik sebagai jalan masuk utama ataupun sebagai lubang penghubung antara bukaan-bukaan di bawah tanah dengan *orebody*. Contoh lubang bukaan horizontal yaitu *drift* dan *cross cut*. *Drift* adalah lubang bukaan horizontal yang dibuat pada badan bijih atau didekat badan bijih searah strike dari badan bijih, sedangkan *cross cut* adalah lubang bukaan yang dibuat menembus badan bijih. Biasanya dibuat untuk menghubungkan shaft ataupun *drift* dengan badan bijih.

3.4 Siklus Produksi

3.4.1 Pemboran (*Drilling*)

Kegiatan pemboran untuk produksi menggunakan alat *Jumbo Drill*. *Jumbo drill* memiliki satu atau lebih *boom* yang berguna untuk melakukan segala aktivitas penambangan bawah tanah seperti pemboran lubang ledak, aktivitas penyanggaan, dan sebagainya. Semakin banyak *boom* yang dipakai maka akan semakin baik produktivitas yang dihasilkan oleh alat bor tersebut, *jumbo drill* ini selalu menjadi andalan dalam melakukan aktivitas penambangan bawah tanah. Metode *rotary - percussive drilling (Down The Hole Hammer)* merupakan metode yang dilakukan oleh *Jumbo Drill* dimana metode tersebut melakukan aksi tumbukan yang dihasilkan didalam lubang bor yang dialirkan langsung ke mata bor, sedangkan aksi putarannya dihasilkan diluar mata bor yang kemudian ditransmisikan melalui batang bor menuju mata bor. Komponen utama dalam metode ini yaitu *percussion*, *rotary*,

feed, flushing. Faktor pendukung dalam kegiatan pemboran pada alat *Jumbo Drill* ini yaitu diantaranya faktor tekanan udara, air, listrik.

Pola pemboran yang dilakukan di PT Cibaliung Sumberdaya yaitu pola pemboran *Burn-cut*. *Burn cut* disebut juga dengan *cylinder cut*. Pola ini sangat cocok untuk batuan yang keras dan regas seperti batu pasir (*sandstone*) atau batuan beku. Pola ini tidak cocok untuk batuan berlapis, namun demikian dapat disesuaikan dengan berbagai variasi. Ciri-ciri pola *Burn cut*, antara lain:

- Lubang bor dibuat sejajar, sehingga dapat memberi lebih dalam dibanding jenis *cut* lainnya.
- Lubang tertentu dikosongkan untuk membuat bidang bebas mini, sehingga pelepasan gelombang kompresi menjadi tarik dapat berlangsung efektif. Sedangkan untuk lubang kosong berperan sebagai ruang terbuka tempat batuan terlempar karena muatan bahan peledak.

Untuk pola pemboran dengan menggunakan alat *Jumbo Drill* dilakukan dengan menggunakan pola *square* dimana jarak antar lubang bor yang sama sehingga memiliki pola berbentuk bujur sangkar.

Untuk pola pemboran yang dilakukan pada tambang bawah tanah perlu diadakannya suatu *empty hole* atau *cut hole* yang bertujuan untuk membuat bidang bebas atau *free face* sehingga lubang ledak dapat meledak dengan baik, baik tidaknya suatu peledakan tergantung dari pada *cut hole* yang dibuat serta didukung dengan pola pemboran yang baik sehingga material hasil bongkaran akan sesuai dengan keinginan. Untuk penempatan *cut hole* yang dilakukan oleh alat jumbo drill diletakan pada posisi tengah agak ke samping ini ditujukan untuk hasil dari arah lemparan pada saat peledakan sehingga material dari hasil peledakan mengarah ke samping kiri dari *stope*. Untuk *cut hole* pada alat *Jumbo Drill* digunakan dengan mempergunakan *reamer*.

Waktu edar yang dibutuhkan untuk membuat satu lubang yaitu waktu pindah posisi (PT), waktu hambatan (DT), waktu pemboran (BT) dan waktu pembersihan lubang (FT). Dari waktu edar tersebut didapat rumus atau formula untuk menentukan waktu edar pemboran dalam pembuatan satu lubang bor.

$$CT = PT + DT + BT + FT$$

Keterangan:

CT = Waktu edar (menit)

PT = Waktu pindah ke lubang yang lain, dan mempersiapkan alat bor hingga siap untuk melakukan pemboran (menit)

DT = Waktu untuk mengatasi hambatan (menit)

BT = Waktu pemboran (menit)

FT = Waktu melepas batang bor serta waktu pembersihan lubang (menit)

Produksi pemboran tergantung kecepatan pengeboran mesin bor, volume setara, dan penggunaan efektif mesin bor. Produksi tersebut dinyatakan dalam m³/jam, maka persamaan produksi pengeboran adalah:

$$P = V_{eq} \times GDR \times EK \times 60$$

Keterangan:

P = Produksi alat bor (m³/jam)

V_{eq} = Volume setara (m³/m)

EK = Efisiensi kerja pengeboran (%)

GDR = Kecepatan pemboran (meter/menit)

60 = Konversi dari menit ke jam

3.4.2 Peledakan (*Charging and Blasting*)

Apabila seluruh lubang ledak dibor maka tahapan selanjutnya yaitu pengisian bahan peledak. Sebelum pengisian bahan peledak biasanya dilakukan pembersihan terlebih dahulu terhadap lubang ledak. Bahan peledak diisi ke dalam lubang ledak beserta primer. Kemudian semua lubang dirangkai dan diatur *delay* masing-masing lubang ledak dan dihubungkan dengan detonator listrik. Kabel bantu yang menghubungkan detonator listrik kemudian dipasang ke *blasting machine*. Setelah semua terangkai, maka *face* siap untuk diledakan.

Setelah semuanya sudah siap, rangkaian peledakan serta pengisian bahan peledak sudah dilakukan semua maka peledakanpun dilakukan. Peledakan dilakukan bertujuan untuk menghasilkan batuan atau ruangan. Biasanya sebelum peledakan dilakukan semua *miner* yang bekerja menjauhi dari tempat peledakan dan juga peledakan dilakukan pada jam istirahat atau akhir shift kerja.

3.4.3 Pembersihan Asap (*Smoke Clearing*)

Apabila peledakan sudah selesai maka terdapat efek tersendiri setelah peledakan tersebut dilakukan. Biasanya terdapat asap, debu, serta gas-gas berbahaya yang bertebaran di lokasi peledakan. Debu tersebut dapat mengganggu proses selanjutnya. Agar debu tersebut dapat hilang maka dilakukannya pembersihan asap (*Smoke Clearing*). Pembersihan asap itu sendiri biasanya dibuang melalui ventilasi yang dihisap dengan menggunakan *auxillary fan* dan dihembuskan keluar dari lokasi peledakan.

3.4.4 Penjatuhan Batu Gantung (*Scaling*)

Kegiatan ini bertujuan untuk menjatuhkan batuan yang menggantung di atap, termasuk batuan yang mungkin akan jatuh bila disekitar batuan tersebut diganggu seperti dilakukannya pemboran pada tahap selanjutnya. *Scaling*

dilaksanakan setelah tahap pembersihan area dari gas-gas hasil peledakan (*smoke clearing*).

3.4.5 Penyanggaan (*Supproting*)

Tujuan utama penyanggaan adalah untuk memperkuat batuan agar tidak runtuh. Selain itu penyanggaan juga berfungsi untuk menghindari adanya jatuhnya akibat dari bidang lemah, baik itu akibat dari aktivitas peledakan maupun bidang lemah yang terjadi secara alami, sehingga proses produksi dapat berjalan dengan aman dan lancar. Sistem penyanggaan yang sering digunakan yaitu *rockbolt*, *wire mesh*, *shotcrete*, *concrete* dan *H-Beam*.

3.4.6 Pemuatan (*Loading*)

Pemuatan adalah proses lanjutan dari suatu tahapan kegiatan penambangan dimana proses tersebut adalah proses pemindahan atau pemuatan material hasil pembongkaran baik dengan peledakan maupun melalui metode mekanis serta semi mekanis dari lokasi penambangan ke alat angkut untuk dipindahkan dari lokasi penambangan ke *rompand* atau langsung ke tempat pengolahan. Kegiatan pemuatan ini biasanya lebih banyak dilakukan dengan bantuan alat mekanis karena memerlukan tenaga yang cukup besar, sehingga jarang menggunakan cara tradisional atau semi mekanis.

Loading Hauling Dump (LHD) adalah suatu alat angkut pada tambang bawah tanah yang bisa sekaligus melakukan pemuatan, pengangkutan dan *dumping*. Mesinnya bergerak dengan kecepatan sederhana dan terdiri dari komponen internal dan eksternal. Bagian internal dari LHD terdiri dari *bucket*, mesin kecil, emisi knalpot, *profler* panjang dan sempit, diesel knalpot perangkat perawatan, ban dan aksesoris ban, dan sistem ventilasi. LHD dimodelkan sesuai dengan ketinggian tertentu dan disesuaikan dengan daerah sempit di dalam tambang. Ini terdiri dari *profler* panjang, rendah dan sempit, yang membuatnya

mudah beradaptasi dengan tambang dari semua ukuran. Karena ukurannya, *manuver* LHD agak lambat tetapi bermanfaat karena dapat mengangkut material dalam jumlah banyak karena memiliki *bucket* yang besar.

Perincian waktu untuk edar alat muat (*loading hauling dump*) adalah sebagai berikut :

$$Ct = t_1 + t_2 + t_3 + t_4$$

Keterangan :

CT = waktu edar (menit)

t_1 = waktu garu (detik)

t_2 = waktu kembali penuh (detik)

t_3 = waktu tuang (detik)

t_4 = waktu kembali kosong (detik)

Dari nilai *cycle time* yang dicari maka akan didapat produktivitas alat muat secara teoritis berdasarkan kapasitas *bucket*. Dengan rumus sebagai berikut :

$$Pm = \frac{Hm \times FFm \times Em \times SF \times 3600}{Cm}$$

Keterangan :

Pm : Produksi Alat Muat (ton/jam)

Hm : Kapasitas *Bucket* (m^3)

FFm : *Fill Factor*

Em : Efisiensi Kerja (%)

SF : *Swell Factor* (ton/ m^3)

Cm : Waktu Edar Alat Muat (menit)

3.4.7 Pengangkutan (*Hauling*)

Pengangkutan yaitu proses pemindahan material hasil pembongkaran atau pemberaian dari lokasi penambangan yang sebelumnya dimuat, kemudian

ditransportasikan dengan menggunakan metode tradisional maupun mekanis. Penggunaan alat angkut ini biasanya tergantung kepada jarak angkut dan jenis material yang ditambang. Truk atau *Mine Truck* yang digunakan pada tambang bawah tanah hampir sama pada tambang terbuka.

Keuntungan menggunakan truk atau *mine truck*

- Jarak angkut bias mencapai 2 km.
- Fleksibel dalam menambah alat tanpa mengganggu produksi.
- Kecepatan relatif tinggi.

Kerugian menggunakan truk yaitu :

- Kondisi jalan harus baik dan tidak licin.
- Jumlah operator banyak.
- Ventilasi harus baik.
- Jalan harus lebar dan tidak boleh menyudut

Perincian waktu untuk edar alat angkut (*mine truck*) adalah sebagai berikut:

$$Ct = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5$$

Keterangan :

CT = waktu edar (menit)

t_1 = waktu (*heading – rompand*) (menit)

t_2 = waktu (*rompand – heading*) (menit)

t_3 = waktu timbangan satu ke *stock ore* (menit)

t_4 = waktu *dumping ore* (menit)

t_5 = waktu *stock ore* ke timbangan dua (menit)

Produksi alat angkut per jam secara teoritis dapat dihitung dengan persamaan :

$$P_a = \frac{n_{isi} \times H_a \times E_a \times SF \times FF_a \times 3600}{C_a}$$

Keterangan :

P_m : Produksi Alat Angkut (tonjam)

n_{isi} : Jumlah Pengisian (kali)

H_a : Kapasitas *Bucket* (m^3)

E_a : Efisiensi Kerja (%)

SF : *Swell Factor* (ton/ m^3)

FF_m : *Fill Factor*

C_a : Waktu Edar Alat Angkut (menit)

3.4.8 Pengisian Ulang (*Backfilling*)

Material pengisi mengacu pada material buangan apapun yang ditempatkan ke dalam rongga bawah tanah yang telah ditambang dengan tujuan pembuangan dan untuk melaksanakan beberapa fungsi rancang bangun. Material buangan yang digunakan meliputi batu buangan hasil *development*, hasil pengentalan lumpur, *tailing* hasil pengolahan mineral dan *agregat* pecahan batuan.

Material buangan umumnya ditempatkan dengan semen atau bahan pengikat lainnya untuk meningkatkan kekuatan material tersebut. Tujuan penempatan material pengisi adalah selain sebagai landasan kerja, bertujuan untuk menjaga kestabilan massa batuan dengan mengisi rongga kosong pada lombong, sehingga dapat mencegah terjadinya *surface subsidence*. Hal ini mengarah kepada meningkatnya kondisi tanah di dalam tambang dan juga meningkatkan operasi penambangan dan keselamatan kerja.

3.5 Karakteristik Umum Klasifikasi Massa Batuan

Klasifikasi massa batuan digunakan sebagai alat dalam perancangan model lubang bukaan (terowongan). Namun demikian klasifikasi massa batuan tidak digunakan sebagai pengganti untuk rancangan rekayasa, tetapi harus digunakan bersama-sama dengan metode lainnya, yaitu metode analitik maupun metode observasi agar dapat diperoleh hasil rancangan yang komprehensif yang sesuai dengan tujuan rancangan dan kondisi geologi di lapangan.

Pada hakekatnya suatu klasifikasi massa batuan dibuat untuk memenuhi hal-hal berikut ini (Bieniawski, 1989) :

- Mengelompokkan massa batuan tertentu pada kelompok yang mempunyai perilaku yang sama tetapi memiliki kelas massa batuan dengan kualitas yang berbeda.
- Lebih mudah dalam memahami karakteristik dari masing-masing kelompok massa batuan
- Melengkapi cara dalam berkomunikasi tentang klasifikasi massa batuan (*Rock Mass Rating*) dengan para ilmuwan terutama para ahli geoteknik dan geologi.
- Menghasilkan data kuantitatif sebagai pedoman dalam melakukan rancangan lubang bukaan.

Agar dapat dipergunakan dengan baik dan cepat (praktis), maka klasifikasi massa batuan harus mempunyai beberapa sifat seperti :

- Sederhana, mudah diingat dan dimengerti.
- Terminologi yang dihasilkan dapat dimengerti secara luas oleh *geologist* dan *miner*.
- Parameternya dapat diukur dan dilakukan dengan pengujian yang cepat dan murah di lapangan.

- Sistem pembobotan (*rating*) yang dilakukan disesuaikan dengan pengelompokan massa batuan yang dihasilkan.
- Berfungsi sebagai penyedia data kuantitatif untuk rancangan penyangga batuan.

3.5.1 Pembobotan Massa Batuan (*Rock Mass Rating*)

Rock Mass Rating (RMR) dibuat pertama kali oleh *Bieniawski* (1973), Sistem klasifikasi ini telah dimodifikasi beberapa kali (terakhir 1989). Modifikasi selalu dengan data yang baru agar dapat digunakan untuk berbagai kepentingan dan disesuaikan dengan standar internasional. Terdapat parameter untuk mengklasifikasikan massa batuan menggunakan sistem RMR yaitu :

- Kuat tekan atau *Uniaxial Compressive Strength* (σ_c)

Pengukuran parameter UCS ditujukan untuk mengetahui kuat tekan batuan utuh (*Intact Rock*) dari sampel batuan.

- *Rock Quality Designation (RQD)*.

Salah satu indikator dari bidang lemah adalah *Rock Quality Designation (RQD)* yang dikembangkan oleh *Deere* (1964) merekomendasikan kegiatan pengukuran kekar dan dapat digunakan untuk mengukur Intensitas kekar dibidang singkapan massa batuan. Sehingga RQD adalah suatu penilaian kualitas massa batuan berdasarkan kerapatan kekar.

- Jarak atau spasi bidang *diskontinyu*

Pengukuran jarak kekar adalah pengukuran jarak tegak lurus dari dua bidang kekar yang terdekat. Pengukuran ini dilakukan pada tiap-tiap garis pengukuran kekar (*scan-line*) pada setiap sisi lereng dan panjang garis pengukuran disesuaikan dengan panjang lereng pada setiap blok.

- Kondisi kekar atau *Condition of discontinuities*

Kondisi kekar dapat diamati langsung dengan melihat parameter kekasaran (*roughness*), lebar celah (*aperture* atau *separation*) dan ketebalan bahan pemisah atau pengisi celah (*infilling*). Selanjutnya: menentukan tingkat pelapukan (*weathering*) berdasarkan kelasnya, dan terakhir menentukan kemenerusan kekar (*extentions*).

- Orientasi bidang *discontinuity* (*Orientation of discontinuities*).

Kegiatan ini dilakukan pada saat pengukuran parameter RMR yang ditemukan di sepanjang garis pengukuran kekar (*scan line*) pada tiap blok di setiap lereng tambang. Alat yang digunakan adalah kompas geologi, meteran 5m dan 50m, kalkulator, alat tulis. Kondisi air tanah (*Groundwater*).

Tabel 3.1
Kelas Massa Batuan menurut Bobot Total *Beniawski*

Bobot Total	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	< 20
Nomor Kelas	I	II	III	IV	V
Deskripsi Batuan	Sangat Baik	Baik	Sedang	Buruk	Sangat Buruk

Sumber : *Beniawski 1973*

3.6 Parameter Geomekanik Batuan

Sifat-sifat batuan yang penting dalam melakukan pengamatan terhadap lubang bukaan antara lain :

- Sifat fisik material : kekerasan terhadap goresan, kekerasan terhadap pukulan/tekanan, kekerasan terhadap kikisan/abrasi, densitas atau kerapatan massa (bobot isi batuan (γ)), porositas, permeabilitas, cepat rambat gelombang dan

- lain-lain.
 - Bobot isi adalah perbandingan antara berat batuan dengan volume batuan.
 - *Specific gravity* adalah perbandingan antara bobot isi dengan bobot isi air.
 - Porositas adalah perbandingan volume pori-pori (yaitu volume yang ditempati oleh fluida) terhadap volume total batuan.
 - Angka pori adalah perbandingan antara volume pori-pori dalam batuan dengan volume batuan.
 - Derajat kejenuhan adalah perbandingan antara kadar air asli dengan kadar air jenuh.
 - Permeabilitas adalah parameter yang memvisualisasikan kemudahan suatu fluida untuk mengalir pada media berpori.
- Sifat mekanis material : kuat tekan (*compressive strength*), kuat tarik (*tensile strength*), kuat geser (*shear strength*), sudut geser dalam (*internal friction angle* = Φ), kohesi (*cohesion* = c) dan lain-lain.
 - Uji kuat tekan adalah untuk menekan sampel batuan yang berbentuk silinder dari satu arah.
 - Modulus young ditentukan sebagai perbandingan antara selisih tegangan aksial ($\Delta\tau$) dengan selisih regangan aksial ($\Delta\epsilon_0$).
 - *Possion's ratio* perbandingan antara regangan lateral dan regangan aksial.
 - Kuat tarik tak langsung dilakukan untuk mengetahui kuat tarik (*tensile strength*) dari percontoh batu berbentuk silinder secara tidak langsung.

- Kuat geser yaitu gaya tahanan internal yang bekerja per satuan luas massa batuan untuk menahan keruntuhan atau kegagalan sepanjang bidang runtuh dalam massa batuan tersebut.
- Sudut geser dalam yaitu sudut yang dibentuk dari hubungan antara tegangan normal dan tegangan geser di dalam material tanah atau batuan.
- Kohesi adalah gaya tarik menarik antara partikel dalam batuan.

3.7 Teori Dasar Pemodelan dengan Metode Elemen Hingga

Prinsip dasar pemodelan adalah memilah dan membagi-bagi suatu masalah yang kompleks menjadi sejumlah aspek yang lebih kecil dan sederhana yang disebut dengan elemen. Permasalahan kemudian di analisis pada masing-masing bagian yang sederhana ini, lalu bagian-bagian ini dirangkai kembali menjadi kompleks seperti awalnya. Dalam pemodelan proses ini dikenal dengan istilah *discretize* (diskretisasi).

Metode elemen hingga (*finite elements method*) merupakan salah satu metode analisis numerik yang menggunakan pendekatan diferensial. Metode ini dapat dipakai untuk menganalisis kondisi tegangan dan regangan pada suatu struktur batuan.

Tahapan dasar dalam analisis dengan menggunakan metode elemen hingga adalah sebagai berikut :

- Membagi media yang akan dianalisis menjadi sejumlah elemen (yang disebut elemen hingga). Tahapan ini disebut dengan tahap diskretisasi.
- Pemilihan fungsi perpindahan.
- Pendefinisian hubungan deformasi dengan perpindahan.
- Pendefinisian hubungan tegangan atau regangan dengan deformasi.

- Pembentukan matriks kekakuan tiap elemen.
- Pembentukan matriks kekakuan sistem.
- Pemasukan kondisi batas berupa tegangan atau gaya atau perpindahan.
- Pemecahan sistem persamaan.

Jenis-jenis elemen yang dipakai dalam analisis dengan metode elemen hingga dapat dibedakan menjadi :

- Elemen 1 dimensi, atau disebut juga dengan elemen garis.
- Elemen 2 dimensi, atau disebut juga elemen bidang yang dapat berupa bidang segitiga atau segiempat.
- Elemen 3 dimensi, atau disebut juga elemen ruang yang dapat berupa prisma segienam.

3.7.1 Pemodelan Dengan Metode Elemen Hingga

Analisis pemodelan dengan metode elemen hingga memerlukan pemodelan-pemodelan yang meliputi pemodelan bentuk lubang bukaan dan bentuk bijih, pemodelan statika, pemodelan material dan pemodelan pembebanan.

3.7.1.1 Pemodelan Bentuk Lubang Bukaan dan Bentuk Biji

Pemodelan bentuk lubang bukaan adalah representasi alamiah lubang bukaan yang akan di analisis dengan memasukkan faktor geometri lubang bukaan dan bentuk biji sesuai yang ada di lapangan, jenis-jenis batuan, batas-batas penggalan, data sifat fisik dan sifat mekanik batuan.

3.7.1.2 Pemodelan Sistem Statika

Pemodelan sistem statika adalah pemodelan sistem struktur lubang bukaan bawah tanah. Dalam pemodelan ini di presentasikan penggambaran keadaan sistem struktur penampang lubang bukaan tambang bawah tanah (yang disimulasikan), kondisi massa batuan di lapangan dengan melibatkan geometri lubang bukaan, kondisi batas konfigurasi jenis dan sifat-sifat batuan, kondisi

keheterogenan material, struktur geologi, gaya-gaya yang bekerja dan kondisi-kondisi batas struktur tersebut, struktur geologi massa batuan dan geometri lubang bukaan itu sendiri. Pemodelan sistem statika dalam hal ini menggunakan kaidah analisis regangan bidang (*plane strain*), atau model analisis dalam dua dimensi (arah sumbu X dan sumbu Y).

3.7.1.3 Pemodelan Material

Pemodelan material adalah pemodelan perilaku hubungan antara tegangan dan regangan pada massa batuan yang ditinjau. Dalam penelitian ini hubungan tersebut diasumsikan memenuhi hubungan tegangan-regangan pada material plastis.

3.7.1.4 Pemodelan Pembebanan

Pemodelan pembebanan adalah pemodelan beban-beban yang diterima sistem statika yang ditinjau. Jenis-jenis beban menurut penyebabnya adalah tegangan awal (akibat *overburden*), beban statika (seperti adanya bangunan permanen), beban akibat air dan beban akibat gempa. Dalam pemodelan beban-beban yang diterima model dibatasi oleh kondisi tegangan/gaya atau perpindahan pada batas-batas model karena gaya gravitasi.

3.7.2 Perhitungan Faktor Keamanan

Faktor keamanan = FK (*safety factor = SF*) ditentukan dengan menggunakan perhitungan numerik berupa metode elemen hingga (*finite elements methods*), *software phase²*. Kriteria analisis kestabilan lubang bukaan berdasarkan faktor keamanan (FK) yang digunakan dapat dinyatakan bahwa, bila :

- $FK > 1,00$, artinya lubang bukaan stabil
- $FK = 1,00$, artinya lubang bukaan kritis
- $FK < 1,00$, artinya lubang bukaan tidak stabil (ambruk)

3.8 Program Phase2

Phase2 adalah merupakan program penggalian bawah tanah atau permukaan batu atau tanah yang kuat. Hal ini dapat digunakan untuk berbagai proyek rekayasa dan termasuk desain dukungan, stabilitas lereng, elemen hingga, rembesan air tanah dan analisis probabilistik. Program Phase2 lebih cocok digunakan untuk material keras, ada kekar dan berlapis.

Elemen Liner dapat diterapkan dalam pemodelan *shotcrete*, beton, sistem set baja, dinding penahan, tumpukan, liners multi-layer komposit, geotekstil dan banyak lagi. Alat desain termasuk kapasitas dukungan yang memungkinkan untuk menentukan faktor keamanan liners diperkuat. Salah satu fitur utama dari Phase2 adalah analisis stabilitas lereng elemen hingga menggunakan metode reduksi kekuatan geser. Pilihan ini sepenuhnya otomatis dan dapat digunakan dengan baik dengan menggunakan *Mohr-Coulomb* atau parameter kekuatan *Hoek-Brown*. Model kemiringan dapat diimpor atau diekspor antara Slide dan Phase2.