

## BAB II

### LANDASAN TEORI

#### 2.1 MINERAL MONAZITE

Mineral *monazite* merupakan mineral yang berwarna coklat kemerah-merahan yang merupakan persenyawaan fosfat. Mineral ini mengandung unsur-unsur logam tanah jarang di dalamnya. Merupakan salah satu mineral yang penting dalam menghasilkan logam-logam *thorium*, *lanthanum* dan *cerium* sebagai unsur-unsur logam utamanya. Dapat terjadi karena adanya kristal-kristal kecil yang terisolasi.

Ada beberapa jenis *monazite*, yang komposisi kimianya tergantung terhadap kandungan unsur-unsur logam di dalamnya, adapun contoh-contohnya adalah sebagai berikut <sup>[2]</sup>:

- *Monazite* –Ce (Ce, La, Pr, Nd, Th, Y)PO<sub>4</sub>
- *Monazite* –La (La,Ce,Nd,Pr)PO<sub>4</sub>
- *Monazite* –Nd (Nd,La,Ce,Pr)PO<sub>4</sub>
- *Monazite* –Pr (Pr,Nd,Ce,La)PO<sub>4</sub>

Unsur-unsur yang diluar tanda kurung adalah kandungan unsur logam utamanya, sedangkan yang di dalam kurung merupakan unsur-unsur yang lain dalam skala minor. Disamping memiliki kandungan unsur-unsur logam utamanya, *monazite* juga mengandung silikat (SiO<sub>2</sub>) dalam jumlah tertentu.

Selain mengandung silikat, mineral *monazite* ini, seperti juga dengan kebanyakan mineral-mineral logam tanah jarang yang lain, juga mengandung unsur-unsur radioaktif, seperti *uranium*, *thorium* dalam jumlah yang kecil <sup>[2]</sup>.

Keberadaan mineral ini tersebar di beberapa negara seperti Malaysia, Australia, India, Brazil, Afrika Selatan, Madagaskar dan tentu saja Indonesia (Propinsi Bangka-Belitung). Kekerasannya mencapai 5,0 – 5,5 *Mosh* dan memiliki berat jenis sekitar 4,6 – 5,7 g/cm<sup>3</sup> <sup>[2]</sup>.

Dengan adanya kandungan *thorium* atau *uranium* inilah yang menyebabkan mineral *monazite* ini bersifat radioaktif, sehingga pada prosesnya, ketika mineral ini dipisahkan dengan *magnetic separator* pada pengolahan mineral *cassiterite*, *monazite* ini harus disimpan terpisah, dijauhkan dari mineral-

mineral ikutan yang lain, karena apabila tidak dipisahkan akan menyebabkan material yang lain terdegradasi karena pengaruh radiasinya <sup>[2]</sup>.



**Gambar 2.1** Serbuk *Monazite* <sup>[2]</sup>

## 2.2 DASAR-DASAR PENGOLAHAN MINERAL

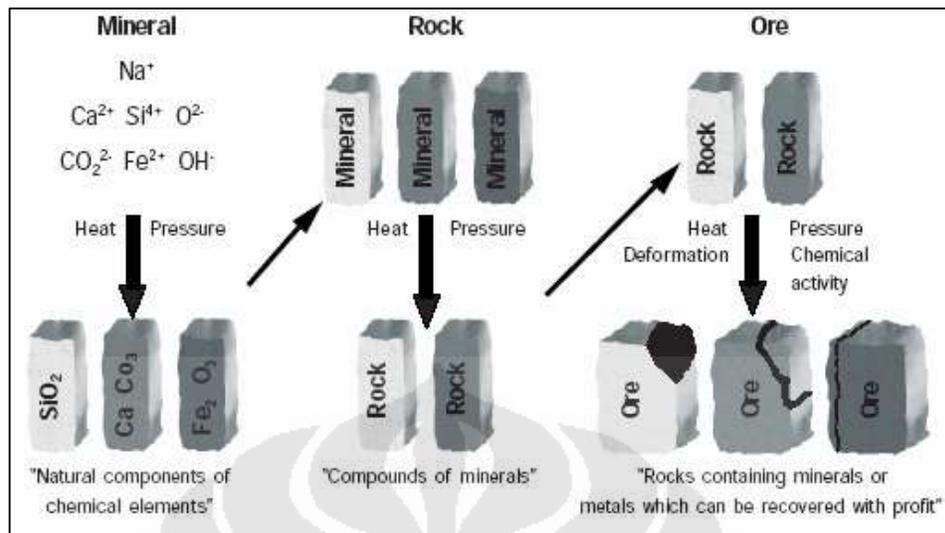
Dasar-dasar pengolahan meliputi proses bagaimana mineral-mineral tersebut didapatkan dari kerak bumi (*earth crust*) lalu teknik dan bagaimana cara memproses mineral-mineral tersebut, yang di dalamnya terdapat beberapa persyaratan, tahapan, dan hubungan tertentu dengan beberapa hal, terkait dengan proses pelaksanaannya. Sebelum kita masuk ke dalam mekanisme dari dasar-dasar pengolahan mineral tersebut, akan lebih baik kita mengetahui terminologi dasar dari pengolahan mineral tersebut yakni tentang mineral, batuan, dan bijih itu sendiri.

Mineral merupakan komponen yang terbentuk secara alami melalui mekanisme panas dan tekanan, tersusun atas unsur-unsur kimia di dalamnya, seperti  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Si}^{4+}$ ,  $\text{O}^{2-}$ ,  $\text{CO}_2^{2-}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{OH}^-$  dan lain sebagainya <sup>[3]</sup>.

Batuan merupakan persenyawaan dari mineral-mineral yang terbentuk akibat panas dan tekanan juga <sup>[3]</sup>.

Sedangkan bijih merupakan batuan yang mengandung mineral-mineral ataupun logam-logam di dalamnya, terbentuk akibat adanya perubahan panas serta tekanan yang menyebabkan terjadinya aktivitas kimiawi di dalamnya, sehingga bijih ini bisa diolah lebih lanjut <sup>[3]</sup>.

Untuk memperjelasnya diberikan ilustrasi sebagai berikut :

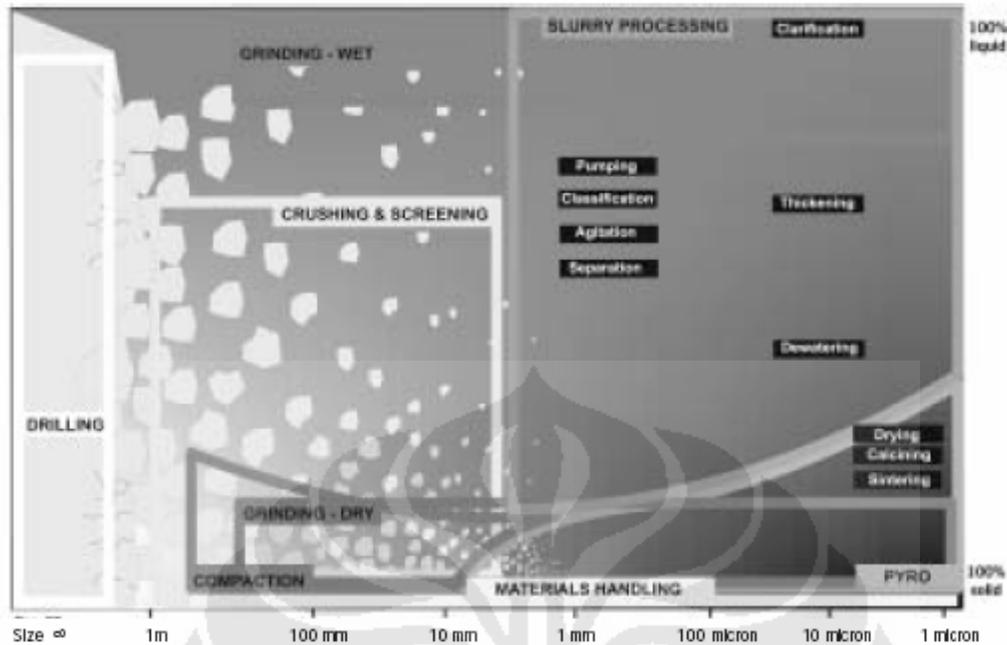


**Gambar 2.2** Ilustrasi Pengertian dari Mineral, Batuan, Bijih <sup>[3]</sup>

Sehingga berdasarkan terminologi di atas didapatkanlah suatu definisi dari pengolahan mineral, yaitu suatu rangkaian proses dari pemrosesan mineral yang bertujuan untuk meningkatkan mutu atau kualitas dan kegunaan dari suatu material dasar. Hasil pemrosesan yang dilakukan bisa berupa bongkahan-bongkahan mineral dengan ukuran dan bentuk tertentu, bisa berupa pasir-pasir *alluvial*, ataupun hasil pengayaan kandungan logam secara maksimum <sup>[3]</sup>.

Yang mana dalam proses peningkatan kadar material (logam) dasar yang diinginkan ini dilakukan secara fisis-mekanis, artinya tanpa mengubah sifat-sifat yang dibawa oleh mineral material (logam) tersebut <sup>[4]</sup>.

Suatu hal penting juga yang harus diketahui adalah kita harus menentukan kerangka pemrosesan mineral seperti apa yang akan kita lakukan yang digolongkan berdasarkan ukuran produk serta cara pemrosesannya (secara kering atau basah). Berikut ini coba ditampilkan ilustrasi dari kerangka pemrosesan mineral.



**Gambar 2.3** Ilustrasi Kerangka Pemrosesan Mineral <sup>[3]</sup>

Dari kerangka pemrosesan mineral di atas dapat dijelaskan beberapa tahapan dalam pengolahan mineral, diantaranya adalah sebagai berikut :

*Drilling* (pengeboran) merupakan teknologi untuk mendapatkan pemisahan pertama mineral dari tempat atau lokasi awal mineral tersebut berasal di alam. Pengeboran ini merupakan tahap awal dari semua tahap pemrosesan mineral, kecuali untuk mineral yang keberadaannya di alam dalam bentuk pasir atau tanah <sup>[3]</sup>.

*Crushing* (Peremukan) dan *screening* (Pengayakan) merupakan tahap pertama dari reduksi ukuran mineral yang dilakukan secara terkendali <sup>[3]</sup>.

*Grinding* (Penghalusan) merupakan tahap lanjutan dari reduksi ukuran mineral (dilakukan baik secara basah maupun kering) <sup>[3]</sup>.

Reduksi ukuran mineral yang terjadi dalam proses grinding ini bahkan sudah bisa memisahkan kandungan-kandungan yang terdapat dalam mineral itu sendiri <sup>[3]</sup>.

Proses *Slurry* merupakan teknologi pemisahan mineral dengan cara basah. Sedangkan proses *pyro* merupakan teknologi untuk meningkatkan derajat pemisahan mineral dengan cara pengeringan, kalsinasi, maupun *sintering* <sup>[3]</sup>.

Teknologi Penanganan Material merupakan teknologi yang digunakan untuk melancarkan aliran pemrosesan mineral yang antara lain mulai dari pemuatan material, sistem transportasi, penyimpanan, sampai pada sistem pengumpanan mineral untuk diproses lebih lanjut.

Penentuan tingkat kekerasan dari jenis mineral juga perlu diperhatikan, dimana dari setiap deposit mineral, batuan, ataupun bijih masing-masing mempunyai karakteristik kekerasan yang berbeda-beda, tergantung dari komposisi kimia dan kondisi geologisnya.

Klasifikasi mineral berdasarkan kekerasannya yang paling sederhana adalah dengan menggunakan skala *Mohs* <sup>[3]</sup>.

**Tabel 2.1** Tingkat Kekerasan Mineral berdasarkan Skala Mohs <sup>[3]</sup>

<b>Skala Mohs</b>	<b>Tingkat Kekerasan</b>	<b>Contoh Mineral</b>
<i>Talc</i>	Hancur oleh kuku jari	<i>Graphite, Sulphur, Gold</i>
<i>Gypsum</i>	Tergores oleh kuku jari	<i>Dolomite</i>
<i>Calcite</i>	Tergores oleh paku besi	<i>Magnesite</i>
<i>Fluorite</i>	Mudah digores oleh pisau	<i>Magnetite</i>
<i>Apatite</i>	Tergores oleh pisau	<i>Granite, Pyrite</i>
<i>Feldspar</i>	Sulit digores oleh pisau	<i>Basalt</i>
<i>Quartz</i>	Menggores kaca	<i>Beryl</i>
<i>Topaz</i>	Menggores <i>quartz</i>	
<i>Corundum</i>	Tergores oleh <i>diamond</i>	
<i>Diamond</i>	Tidak dapat digores	

Mineral *monazite* ini jika dikelompokkan dalam skala Mohs, memiliki tingkat kekerasan sekitar 5,0-5,5 <sup>[2]</sup>.

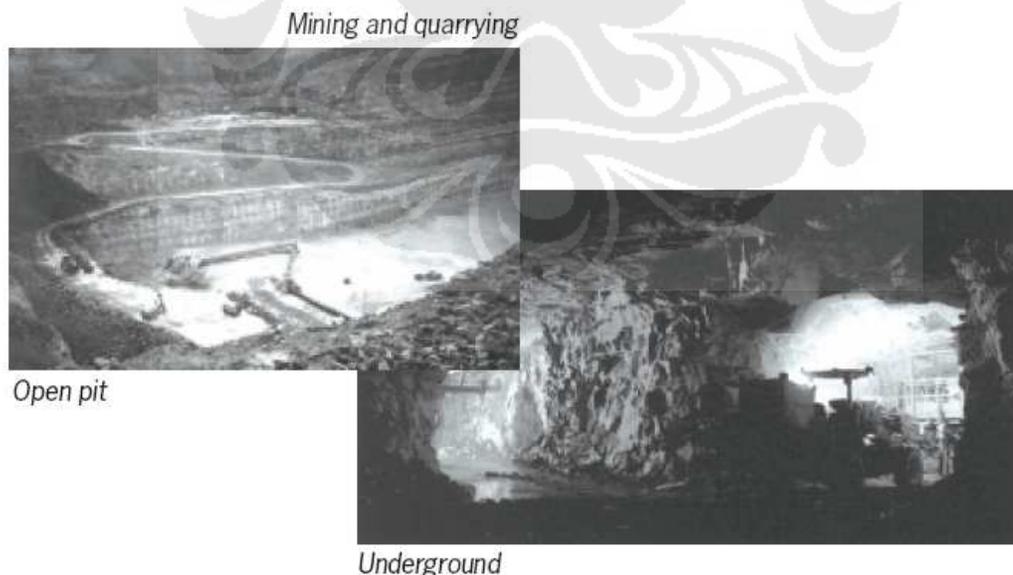
### 2.3 TAHAPAN OPERASI PADA PENGOLAHAN MINERAL

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, prinsip dari pengolahan mineral itu adalah untuk mendapatkan kandungan bijih (*ore*) dengan kemurnian yang tinggi, yang didapat dari proses *liberation*, pemisahan kandungan bijih yang murni dari pengotor-pengotornya (*gangue*). Dimana tahapan-tahapan dari

proses ini tidak menghilangkan identitas kimia serta sifat fisik dari material-material yang terkandung dalam bijih tersebut. Dari sini nantinya kita akan dapat menentukan, menggunakan proses apa kita dalam mengolah mineral tersebut (kering atau basah).

### 2.3.1 Penambangan & *Quarry Fronts*

Penambangan dan *quarry fronts* merupakan titik awal untuk mendapatkan batuan dan mineral yang berharga dari deposit yang terdapat pada permukaan ataupun yang berada di dalam kerak bumi, hal ini dimungkinkan dengan dilakukannya pola-pola penggalian mineral, karena perbedaan bentang alam dan juga keadaan deposit mineral tersebut, seperti berupa bongkahan-bongkahan batuan besar (dalam gunung batu), *alluvial*, *glacial*, ataupun *marine sand*. Secara umum pola-pola untuk mendapatkan mineral tambang (penambangan) tersebut dengan cara melakukan penambangan terbuka (*open pit mining*) ataupun penambangan tertutup (*underground mining*) bergantung dari bentang alam dan jenis-jenis deposit yang terdapat di alamnya. Penambangan *open pit* dan *underground* dapat dilihat melalui ilustrasi gambar di bawah ini.<sup>[3]</sup>



**Gambar 2.4** Penambangan dengan *Open Pit & Underground*<sup>[3]</sup>

Pada deposit mineral yang terdapat di gunung-gunung batu seperti penambangan tembaga & emas di daerah PT Freeport McMoran Indonesia, hal-hal yang perlu dilakukan adalah dengan cara melakukan penambangan tertutup (*underground*). Lain halnya dengan deposit mineral yang berupa tanah aluvial, pada daerah tersebut penambangan yang dilakukan adalah dengan menambang di bagian permukaannya dengan cara membuka lahannya (*open pit*).

Berikut ini disajikan gambar penambangan pada tanah alluvial di Kepulauan Bangka-Belitung<sup>[5]</sup>.



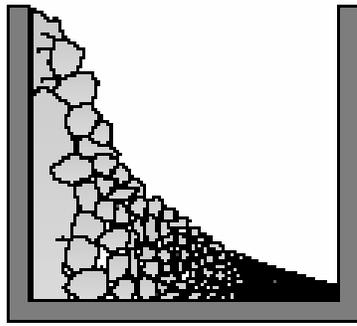
**Gambar 2.5** Penambangan Tanah *Alluvial* di Kepulauan Bangka-Belitung<sup>[5]</sup>

### **2.3.2 Operasi –operasi dalam Pengolahan Mineral**

Yang dimaksud dengan jenis-jenis operasi pengolahan mineral ini adalah untuk mengidentifikasi pada kondisi apa nantinya kita akan melakukan proses pengolahan mineral. Berdasarkan literatur, proses operasi pengolahan mineral meliputi proses operasi secara kering atau proses operasi secara basah.

#### **2.3.2.1 Operasi Secara Kering**

Operasi secara kering disini adalah kondisi operasi yang harus kering, tidak diperlukan atau membutuhkan air dalam pemrosesannya serta tidak diperkenankan atau diizinkan menggunakan air selama pemrosesannya. Dapat dilihat pada gambar di bawah ini<sup>[3]</sup>.



**Gambar 2.6** Operasi Kering <sup>[3]</sup>

### 2.3.2.2 Operasi Secara Basah

Operasi secara basah sangat memungkinkan sekali dilakukan, karena pada proses ini berbagai macam keuntungan dapat diperoleh yakni, penggunaan air adalah untuk efisiensi proses, instalasi yang lebih lengkap, serta tidak menghasilkan emisi debu sebagai hasil dari prosesnya. Dapat juga dilihat pada gambar di bawah ini <sup>[3]</sup>.



**Gambar 2.7** Operasi Basah <sup>[3]</sup>

### 2.3.3 Reduksi Ukuran (*Size Reduction*)

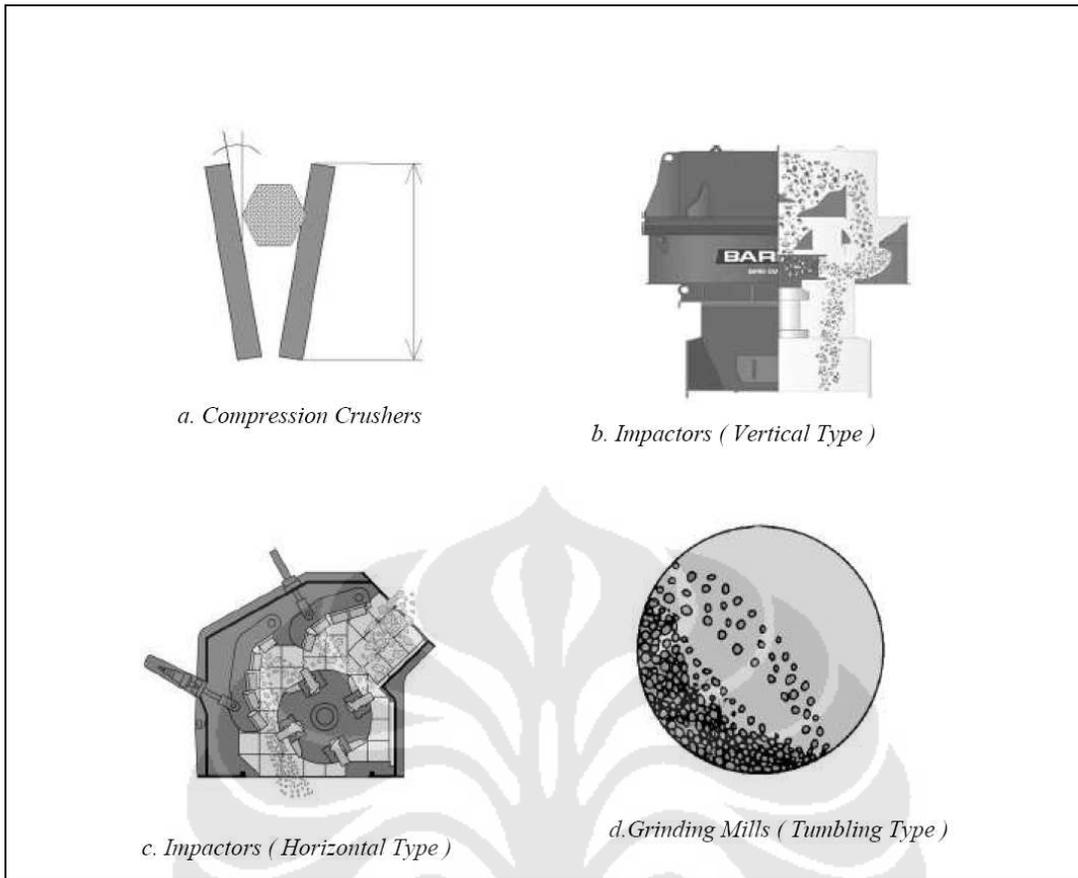
Proses reduksi ukuran merupakan salah satu dari pelbagai tahapan dalam pengolahan mineral yang terbesar. Tahapan ini dikenal juga dengan nama proses *comminution* yang terdiri dari *crushing* (peremukan) dan *grinding* (penggerusan) bijih dan mineral. Dalam tahapan proses ini, tujuan yang ingin dicapai adalah untuk mendapatkan batuan atau fraksi mineral berharga yang terpisah dari batuan induknya. Umumnya parameter khas yang digunakan adalah ukuran, kekuatan serta bentuknya. Reduksi ukuran biasanya dalam batas antara 100-10 mikron <sup>[3]</sup>.

Maka untuk mendapatkan bijih yang memiliki tingkat ukuran yang maksimal atau baik, maka penggunaan *crushing* dan *grinding* secara serempak akan sangat berpengaruh terhadap proses, tentu saja dengan menggunakan variasi model dari peralatan yang akan digunakan.

Agar mendapatkan kualitas nilai ukuran yang baik, maka kualitas reduksi ukuran ini (*comminution*) sangat dipengaruhi oleh beberapa hal, diantaranya adalah *degree of liberation* (derajat kebebasan) serta *reduction ratio* (rasio reduksi). Derajat kebebasan adalah perbandingan antara jumlah partikel bebas dengan jumlah partikel total. Sedangkan rasio reduksi adalah perbandingan ukuran partikel yang masuk ke dalam proses (*opening*) dibanding dengan ukuran partikel yang keluar dari proses (*discharge*)<sup>[4]</sup>.

**Tabel 2.2** *Reduction Ratio* vs Jenis Peralatan<sup>[3]</sup>

<b>Jenis Peralatan</b>	<b><i>Reduction Ratio</i></b>
<i>Compression Crushers</i>	
➤ <i>Jaw Crusher</i>	3-4
➤ <i>Gyratory Crusher</i>	3-4
➤ <i>Cone Crusher</i>	4-5
<i>Impactors (Vertical Type)</i>	3-8
<i>Impactors (Horizontal Type)</i>	10-15
<i>Grinding Mills (Tumbling type)</i>	
➤ <i>Rod Mill</i>	100
➤ <i>Ball Mill</i>	1000
➤ <i>AG dan SAG Mill</i>	5000



**Gambar 2.8** Contoh Peralatan untuk *Comminution* <sup>[3]</sup>

2.3.3.1 *Crushing*

*Crushing* dapat didefinisikan sebagai serangkaian operasi dalam sebuah *plant mineral dressing* yang memiliki upaya untuk mengecilkan bongkahan-bongkahan mineral menjadi pecahan-pecahan yang lebih kecil. Proses ini bertujuan untuk mendapatkan ukuran hasil akhir yang relatif halus, sekitar 100 mikron (150 mesh) <sup>[3]</sup>.

*Crushing* pada umumnya dilakukan dengan menggunakan prinsip tekanan pada permukaan bijih dengan media yang kaku ataupun dengan beban impak dalam suatu wadah kaku yang dipaksa <sup>[6]</sup>.

*Crushing* biasanya dilakukan pada kondisi kering (*dry condition*) dan terdiri dari beberapa tahap, dengan *reduction ratio* yang kecil berkisar antara 3 sampai 6 untuk tiap tahap <sup>[6]</sup>.

Secara umum *crusher* dapat diklasifikasikan dalam beberapa kelompok sebagai berikut : <sup>[6]</sup>

1. Untuk *primary breaking (coarse)*

Mesin yang sering digunakan adalah *jaw crusher* dan *gyratory crusher*.

## 2. Untuk *secondary breaking (intermediate)*

Untuk kelompok ini terdapat jenis mesin seperti *reduction gyratory crusher*, *cone crusher*, *gyradisc crusher*, *spring rolls*.

## 3. Untuk *fine crushing*.

Untuk kelompok ini salah satu mesin yang dikenal adalah *gravity stamp mills*.

## 4. Untuk penggunaan khusus

Ada beberapa mesin yang digunakan untuk penggunaan khusus seperti *toothed crushing mills*, *crushing rolls* dan *hammer mills* yang digunakan untuk material lembut (lunak).

Jenis-jenis *crusher* yang digunakan dalam proses bisa bervariasi tergantung dari kebutuhan, jenis bijih, dan efisiensi yang diinginkan.

### 2.3.3.1.1 *Crushing Primer*

*Crushing* primer merupakan salah satu dari kelompok besar *crushing* yang memiliki ukuran umpan sampai 1,5 m serta ukuran produk 10-20 cm<sup>[4]</sup>.

Karakteristik yang paling umum dari *crushing* primer adalah sebagai berikut<sup>[4]</sup>:

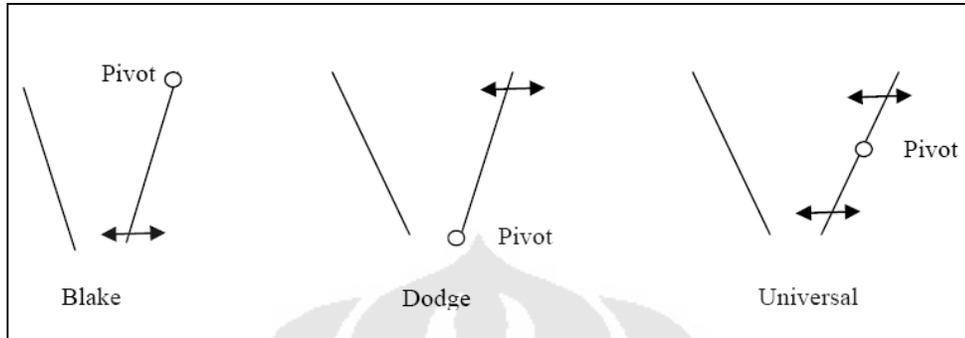
- Merupakan mesin dengan beban berat (*heavy duty machine*)
- Gerakan *breaker* (aplikasi energi) lambat
- Material ada pada dua permukaan yang tidak paralel, yang salah satu permukaannya bergerak dengan amplitudo kecil
- Kedua permukaan tidak saling bersentuhan

Jenis-jenis *Crusher* primer :

#### 1. *Jaw Crusher*

*Jaw crusher* terdiri dari dua bidang penghancur atau *jaw* yang salah satunya diam, yang diletakkan secara kaku dalam bingkai *crusher*, dan bagian yang bergerak bolak-balik terhadap permukaan bagian yang diam. *Jaw crusher* dapat diklasifikasikan berdasarkan amplitudo gerakan minimum pada bagian yang bergerak dan berdasarkan arah gerakan dari bagian bergerak (poros)<sup>[7]</sup>.

Prinsip kerja dari *jaw crusher* yaitu, partikel dipecahkan antara dua pelat, dimana posisi salah satu pelat adalah tetap (*fixed*) dan posisi pelat yang lain bergerak pada titik sumbunya <sup>[4]</sup>.

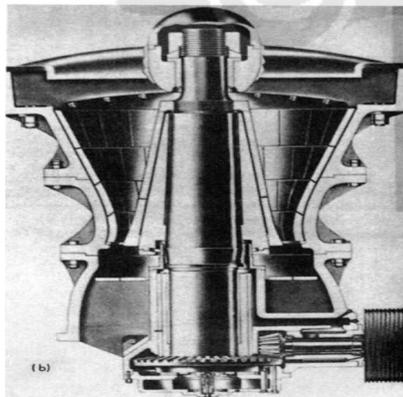


**Gambar 2.9** Jenis *Jaw Crusher* <sup>[4]</sup>

## 2. *Gyratory Crusher*

Merupakan jenis *crusher* yang paling sering dikembangkan dibandingkan *jaw crusher* dengan tujuan menambahkan kapasitas didalam prosesnya. *Gyratory crusher* terdiri dari dua *conical shell vertical* yang terpotong bagian atasnya, *shell* bagian luar memiliki puncak ke bawah dan *shell* dalam memiliki puncak ke atas. *Shell* bagian luar statis, dan bagian dalam dibuat untuk berputar, jadi bolak-balik mundur dan mencapai semua puncak pada keliling shell bagian luar <sup>[7]</sup>.

Karena merupakan *crusher* yang kontinu, ketika umpan masuk, maka dia akan terjepit diantara *head* dan *shell*. Oleh karena gerakan eksentrik dari sumbunya, umpan turun dan tertekan hingga pecah lalu keluar sebagai produk <sup>[4]</sup>.



**Gambar 2.10** *Gyratory Crusher* <sup>[6]</sup>

*Gyratory crusher* memiliki keuntungan yang lebih besar (untuk kapasitas produksi yang besar) daripada *jaw crusher*. Hal ini dikarenakan *gyratory* menghancurkan secara berkesinambungan (kontinu), sementara *jaw crusher* bekerja terputus-putus (siklus). Dalam pemilihannya, yakni untuk pemasangan tergantung dari beberapa hal, yaitu kapasitas dan efisiensi. *Gyratory crusher* terkadang lebih sering dipilih karena kapasitas yang besar dan prosesnya yang berkesinambungan <sup>[6]</sup>.

#### 2.3.3.1.2 *Crushing Sekunder*

*Crushing* sekunder itu sendiri merupakan kelanjutan dari tahapan proses *crushing* yang mana pada jenis *crushing* ini ukuran umpan yang dapat masuk berkisar antara 15-20 cm serta ukuran produk yang dihasilkan berkisar antara 5-7,5 cm. Tujuan dari *secondary crusher* adalah untuk mereduksi ukuran bijih sehingga akan lebih mudah untuk masuk ke tahap *grinding* <sup>[6]</sup>.

Karakteristik umumnya adalah sebagai berikut <sup>[4]</sup>:

- Umpan berasal dari *crusher* primer, bahan pengganggu seperti logam, kayu, tanah liat, dan lumpur dihilangkan.
- Konstruksi lebih ringkas dari *crusher* primer.

Jenis *crushing* sekunder :

##### 1. *Cone Crusher*

*Cone crusher* adalah alat yang digunakan pada *secondary crusher*, dimana kerjanya lebih ringan dari *primary crusher*. Umpan *secondary crusher* berasal dari hasil *primary crusher* sehingga ukuran diameternya kurang dari 15 cm, dan karena elemen-elemen perusak dan pengotor seperti kayu, *clay*, dan lumpur telah dihilangkan proses ini lebih mudah dilakukan <sup>[6]</sup>.

Prinsip kerja dari *Cone crusher* ini sama dengan *gyratory crusher* karena alat ini adalah modifikasi dari *gyratory crusher* yang berbentuk kerucut (konus). Perbedaan yang mendasar terdapat pada *spindle* yang lebih pendek, tidak digantung seperti pada *gyratory crusher*, akan tetapi ditopang dalam cekungan, yang merupakan penahan tekanan besar <sup>[6]</sup>.

Energi disalurkan dari sumber ke *countershaft* melalui *v-belt* atau *drive* langsung. *Countershaft* memiliki ujung sayap *bevel* yang ditekan dan dikunci ke *countershaft*, dan mendorong *gear* ke dalam rangkaian unik. Rangkaian tersebut

memiliki bagian runcing, penyeimbang, dan membuat head dan *main shaft* mengikuti jalur unik selama tiap putaran proses <sup>[6]</sup>.

*Cone crusher* memiliki sudut *head* lebih besar dari *gyratory* sehingga kapasitas yang dimiliki juga lebih besar dalam perbandingan diameter *head* yang sama. *Cone crusher* memiliki kolom dengan batas ukuran 559 mm sampai 3,1 m dan memiliki kapasitas sampai 1100 t/h dengan umpan sebesar 19 mm <sup>[6]</sup>.

Pelembaran *Cone crusher* dapat mencapai lima kali lipat dari *primary crusher* sehingga harus menahan tekanan yang lebih besar. Di dalam *Cone crusher* material dihantam dengan palu, tidak seperti pada *gyratory* yang ditekan dengan *head* yang bergerak secara lambat. Pergerakan yang cepat membuat partikel bergerak bebas di dalam *crusher*, dan lebarnya *head* menciptakan bukaan yang besar di antara *head* dan *bowl* ketika pada posisi bukaan penuh <sup>[6]</sup>.

Hal tersebut membuat butiran yang dihancurkan diisi secara cepat dan membuat ruang tambahan untuk umpan selanjutnya. *Cone crusher* yang sering digunakan adalah tipe *Symons cone crusher* <sup>[6]</sup>.

Jenis-jenis *Cone Crusher* : <sup>[4]</sup>

- a. *Symons Crusher*
- b. *Gyradisc Crusher*

### 2.3.3.2 *Grinding*

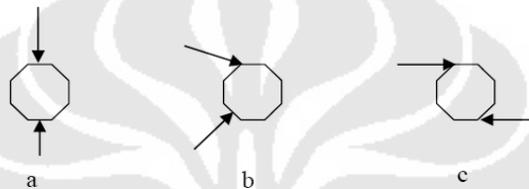
*Grinding* adalah proses terakhir dari *comminution* dimana proses kerjanya menggunakan prinsip gabungan dari dampak (tumbukan) dan abrasi. Pada bijih dengan gerakan bebas dari media yang tidak terhubung dengan sesuatu, seperti *rod*, bola pejal, ataupun *pebble* <sup>[6]</sup>.

Pada proses *grinding* partikel direduksi dari 5 sampai 250 mm menjadi 10 sampai 300  $\mu\text{m}$ , *grinding* biasanya dilakukan pada kondisi basah (*wet condition*) untuk mendapatkan *slurry* yang akan diumpangkan pada proses *concentration*, meskipun ada beberapa keadaan dari *grinding* yang dilakukan pada kondisi kering (*dry condition*) namun dilakukan pada aplikasi yang terbatas <sup>[6]</sup>.

Tiap bijih memiliki *mesh grinding* optimum ekonomis yang bergantung pada <sup>[6]</sup>:

- Tingkat nilai yang terkandung dalam *gangue*
- Proses pemisahan selanjutnya yang digunakan

Mekanisme kerja dari *grinding* ini adalah dengan memanfaatkan gaya-gaya yang bekerja untuk memecah umpan, gaya-gaya tersebut antara lain impact, kompresi, robek, dan abrasi (gesek) yang terjadi dalam suatu silinder berputar yang berisi bijih yang diolah dengan atau tanpa media grinding <sup>[4]</sup>.



**Gambar 2.11** Gaya-gaya yang Bekerja pada Proses *Grinding*. a) impact (*compression*), b) *chipping*, c) *abrasion* <sup>[4]</sup>

Gaya-gaya tersebut antara lain:

- Impact atau penekanan, dimana gaya diberikan hampir ke seluruh permukaan partikel
- *Chipping*, dimana gaya memiliki sudut tertentu
- Abrasi, dimana gaya paralel terhadap permukaan partikel

Media grinding antara lain sebagai berikut : <sup>[4]</sup>

- Silinder (*rods*) baja, dengan ukuran panjang hampir sama dengan panjang *mill* itu sendiri
- *Grinding balls*, berupa bola-bola baja ataupun bahan lainnya dengan kekerasan tertentu
- *Pebbles*, yaitu media yang terbuat dari batuan keras dari bahan natural (alam)

**Tabel 2.3** Jenis-jenis Grinding Mill <sup>[4]</sup>

<i>Grinding Mill</i>	<i>Rod</i>	<i>Ball</i>	<i>Autogenous</i>
1. Media	Batang	Bola	Bijih (+ <i>Pebble</i> )
2. Kondisi Bijih	Basah + Kering	Basah	Basah + Kering
3. Ukuran Umpan	~ 50 mm	Primer: 50-100 mm Sekunder: 20-50 mm	~ 200 mm
4. Ukuran Produk	~ 500 $\mu$ m	~ 45 $\mu$ m	0,1-2,5 mm
5. Rasio Panjang:Diameter Mill	1,5 – 2,5	1-1,5 3-5 ( <i>Tube Mill</i> )	< 1

### 1. Rod Mill

Disebut juga mesin *fine crusher* atau *coarse grinding*. Umpan yang dapat masuk berukuran 50 mm dan menghasilkan produk sebesar 300  $\mu$ m. Ciri khusus dari *rod mill* adalah panjang *shell* silinder antara 1,5 sampai 2,5 kali diameternya, perbandingan ini sangat penting agar batang (*rod*), yang panjangnya beberapa *centimeter* lebih pendek dari *shell*, harus dicegah dari pembengkokan agar dapat mendesak diameter silinder, perbandingan tidak boleh terlalu besar untuk diameter maksimum *shell* dalam penggunaannya karena akan mengakibatkan *rod* berubah bentuk dan patah <sup>[6]</sup>.

*Rod mill* diklasifikasikan berdasarkan sifat keluaran produknya, dengan didasarkan pada suatu konsep bahwa semakin dekat keluaran produk dengan batas luar *shell* maka akan semakin cepat material melewati proses *grinding* sehingga kelebihan material hasil *grinding* akan lebih sedikit terjadi <sup>[6]</sup>.

Ada tiga jenis *rod mill* yaitu *centre peripheral discharge mills*, *end peripheral discharge mills*, dan *overflow mills*. Perbedaan dari ketiga *mill* tersebut adalah pada jalur pengumpanan (*opening*) dan pengeluaran (*discharge*) <sup>[6]</sup>.

Pada *center peripheral discharge mill* umpan dimasukkan melalui *trunnion* pada kedua sisi *mill* dan pengeluaran dilakukan pada bagian bawah melalui lubang di tengah *shell*, *mill* ini bisa digunakan untuk *grinding* basah dan kering dan menghasilkan lebih banyak partikel kasar daripada halus <sup>[6]</sup>.

*End peripheral discharge mill* memiliki jalur pengumpanan pada satu sisi *trunnion* dan pengeluaran dilakukan pada bagian bawah *shell* di seberang sisi pengumpanan, biasanya digunakan untuk *grinding* kering dan lembab <sup>[6]</sup>.

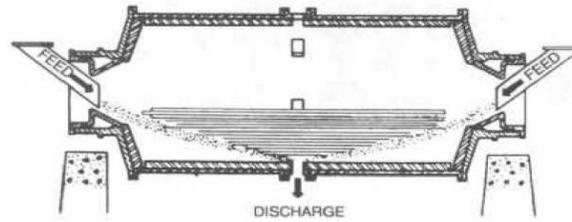
Dan yang paling banyak digunakan adalah *overflow (trunnion) mill* dimana pengumpanan dilakukan melalui salah satu *trunnion* dan pengeluaran dilakukan melalui *trunnion* lainnya, biasanya *mill* ini digunakan untuk *grinding* basah dan fungsinya untuk konversi dari produk *crusher* menjadi umpan untuk *ball-mill* <sup>[6]</sup>.

*Rod mill* menggunakan *rod* selektif yang ukurannya ditentukan sehingga nantinya akan didapatkan *grinding* yang optimum, biasanya *rod* terbuat dari high *carbon steel* dengan diameter berukuran 25 sampai 150 mm, semakin kecil diameter *rod* maka *surface area* (luas permukaan sentuhnya) lebih luas sehingga didapat efisiensi *grinding* yang lebih besar <sup>[6]</sup>.

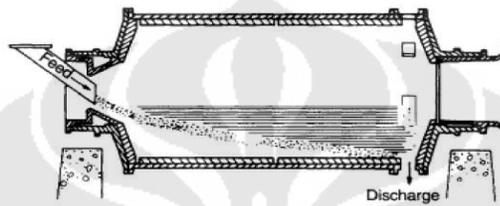
Untuk perawatan mesin biasanya *rod* harus diganti jika diameter telah menjadi kurang dari 25 mm. Kecepatan *grinding* optimum dicapai dengan *rod* yang baru, pada saat volum umpan sebesar 35% dari volum *shell* <sup>[6]</sup>.

Jika terjadi *overcharging*, biasanya akan membuat kinerja mesin *grinding* tidak efisien, akibatnya akan meningkatkan *liner* dan konsumsi *rod*, konsumsi *rod* dipengaruhi oleh umpan *mill*, kecepatan *mill*, panjang *rod*, dan ukuran produk itu sendiri <sup>[6]</sup>.

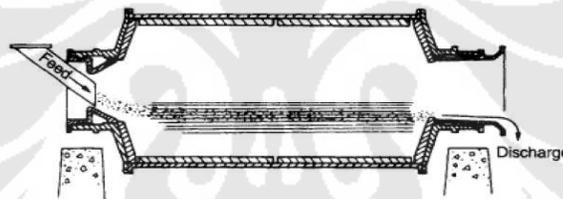
Biasanya sekitar 0,1-1,0 kg baja per ton umpan pada kondisi basah, dan akan berkurang jika digunakan pada *grinding* kering, dan kecepatan *grinding* optimum biasanya pada 50-65% kecepatan *grinding* kritis, namun ada beberapa dari jenis *grinding* menggunakan kecepatan sampai 80% tanpa adanya catatan kegagalan aus yang berarti (berarti mesin ini memiliki tingkat efisiensi yang tinggi) <sup>[6]</sup>.



a. Central Peripheral Discharge Mill



b. End Peripheral Discharge Mill

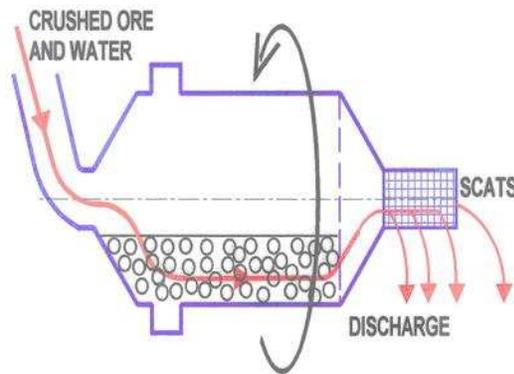


c. Overflow Mill

**Gambar 2.12** Jenis-jenis Rod Grinding Mill <sup>[6]</sup>

## 2. Ball Mill

Bagian akhir dari *comminution* dilakukan dalam *tumbling mill* dengan menggunakan *medium grinding* berupa bola-bola baja yang disebut *ball mill*. Karena *balls* (bola-bola) memiliki memiliki luas permukaan per unit berat lebih besar dari *rod*, maka *balls* lebih baik untuk untuk hasil akhir yang bagus (halus), *ball mill* memiliki perbandingan panjang terhadap diameter sebesar 1,5 sampai 1 atau lebih kecil lagi. Jika perbandingan antara 3 sampai 5 maka disebut *tube mill*.<sup>[6]</sup>



**Gambar 2.13** Mekanisme Kerja *Ball Mill* <sup>[8]</sup>

Prinsip kerja *ball mill* adalah memutar silinder yang berisi bola-bola *grinding* yang terbuat dari baja dan material (bijih) di dalamnya, proses *grinding* terjadi dengan pergerakan bola-bola seperti pada gambar dimana *balls* berputar di dalam dan menggerus bijih. Semakin besar diameter silinder maka kecepatan rotasi akan semakin lambat. Jika kecepatan terlalu besar maka akan terjadi gaya sentrifugal pada silinder sehingga *balls* akan menempel pada tepi silinder dan proses *grinding* akan menjadi tidak optimum.

*Ball mill* bekerja dengan kecepatan yang lebih tinggi yaitu sekitar 70-80% dari kecepatan kritis <sup>[6]</sup>.

Seperti halnya *rod mill*, *ball mill* juga diklasifikasikan berdasarkan sifat keluaran produknya. Terbagi menjadi tiga jenis yaitu, *peripheral discharge mill*, *overflow mill*, dan *grate mill* <sup>[6]</sup>.

Pada *peripheral discharge mill* umpan melewati *screen* sepanjang silinder, bisa digunakan pada *grinding* kering maupun basah, sedangkan pada *overflow mill* prinsipnya sama dengan prinsip kerja *rod mill*, dan yang terakhir adalah *grate mill* dimana *mill* ini paling sering digunakan <sup>[6]</sup>.

Kinerja mesin *ball mill* dinilai berdasarkan tenaga bukan berdasarkan kapasitas, diameter *mill* bisa mencapai 5,5 m dan panjang 7,3 m dan didorong dengan motor bertenaga sebesar 4 MW <sup>[6]</sup>.

Efisiensi *ball mill* dipengaruhi beberapa faktor, diantaranya adalah diameter dari *ball mill* akan mempengaruhi energi (daya) yang diberikan, waktu

diam mesin, ukuran umpan, kemampuan adaptasi dari persamaan Bond (dikenal dengan *work index*), berat jenis (kerapatan) *pulp* <sup>[6]</sup>.

Berat jenis (kerapatan) *pulp* menjadi faktor paling mungkin. Hal ini dikarenakan *balls* akan diselimuti oleh lapisan pada bijih, sehingga akan meningkatkan tumbukan antar *balls* dan konsumsi *balls* akan semakin besar juga. Faktor lain adalah luas permukaan dari *medium grinding*. *Balls* harus sekecil mungkin dan umpan harus digolongkan sehingga *ball* terbesar cukup berat untuk menggerus partikel terbesar dan terberat.

*Grinding balls* biasanya terbuat dari baja, baik itu baja karbon tinggi, baja tempa, baja paduan, atau baja cor-coran dan konsumsinya berkisar antara 0.1 sampai 1.0 kg per ton bijih tergantung dari kekerasan bijih, kehalusan gerus, dan kualitas medium. Pengisian dilakukan sebesar 40-50% dari volum mill, dan sekitar 40% adalah ruang kosong <sup>[6]</sup>.

### 3. SAG Mill

*Semi Autogenous Grinding (SAG) mill* adalah peralatan/sirkuit grinding yang paling sering diminati dibandingkan dengan sirkuit konvensional dikarenakan memiliki beberapa keuntungan-keuntungan, seperti biaya yang lebih rendah, kemampuan menangani material basah dan lengket, *flowsheet* yang lebih sederhana, peralatan berukuran besar, kebutuhan operator yang sedikit, dan konsumsi *medium grinding* yang sedikit <sup>[6]</sup>.

*SAG mill* menggunakan metode *grinding* dengan kombinasi *medium grinding* dan partikel bijih itu sendiri. Sedangkan *Autogenous mill* bekerja berdasarkan metode *grinding* yang hanya menggunakan partikel-partikel bijih itu sendiri sebagai media untuk melakukan kominusi <sup>[6]</sup>.

Berdasarkan data riset yang ada, *SAG mill* dengan *balls* sebagai medium terbukti paling efektif pada 6-10% volum *mill* <sup>[6]</sup>.

Ukuran terbesar dari *SAG* adalah dengan diameter 11 m dan panjang 4,3 m dengan berat 1100 ton <sup>[6]</sup>.

Untuk mengendalikan sirkuit *grinding* diperlukan beberapa variabel yang harus diketahui antara lain <sup>[6]</sup>:

- Perubahan laju umpan baru dan *circulating load*
- Distribusi ukuran dan kekerasan bijih

- Laju penambahan air pada sirkuit
- Interupsi operasi dalam sirkuit, seperti pemberhentian karena pengumpanan media *grinding* baru atau pembersihan *choke cyclone*.

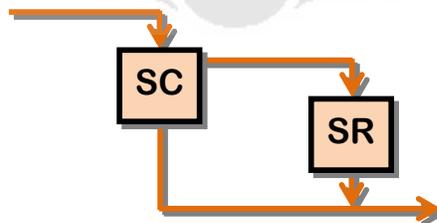
#### 2.3.4 Kontrol Ukuran (*Size Control*)

Tahapan selanjutnya dalam pengolahan mineral (*mineral dressing*) adalah pengontrolan ukuran. Ada satu hal yang dapat kita pahami disini, bahwa proses pemisahan padatan menjadi dua atau lebih produk terpisah dilakukan berdasarkan ukuran mineralnya. Pengontrolan ukuran ini penting adanya dalam tahapan pengolahan mineral, karena seperti telah dijelaskan sebelumnya bahwa mesin *crusher* maupun *grinder* keduanya tidak bisa menghasilkan padatan dengan ukuran-ukuran yang tepat, sesuai dengan yang diinginkan.

Dengan pengendalian ukuran yang optimum, kualitas akhir produk hasil *crushing* dan *grinding* bisa ditingkatkan. Pengendalian ukuran tersebut bisa dilakukan dengan mempertimbangkan kapasitas, bentuk serta ukuran partikel. Terlebih lagi pengendalian ukuran (*size control*) dapat dilakukan pada kondisi kering atau basah.

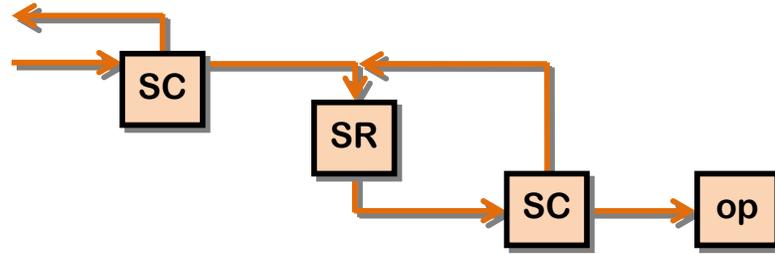
Pengontrolan ukuran (*size control*) ini dipahami secara garis besar ada dua, yaitu pengontrolan berdasarkan tugasnya (operasional) serta pengontrolan berdasarkan metodenya. Pengontrolan berdasarkan tugasnya (operasional) ada tiga, yaitu <sup>[3]</sup> :

- Mencegah adanya partikel *undersize* dalam umpan yang dapat menghambat tahapan reduksi ukuran (*scalping*)



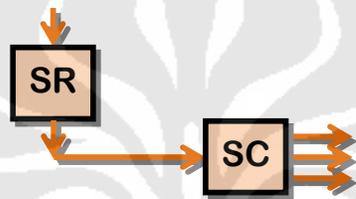
Gambar 2.14 Scalping <sup>[3]</sup>

- Mencegah partikel *oversize* masuk ke dalam tahap reduksi ukuran atau tahap operasi selanjutnya (*circuit sizing*)



**Gambar 2.15** *Circuit sizing* <sup>[3]</sup>

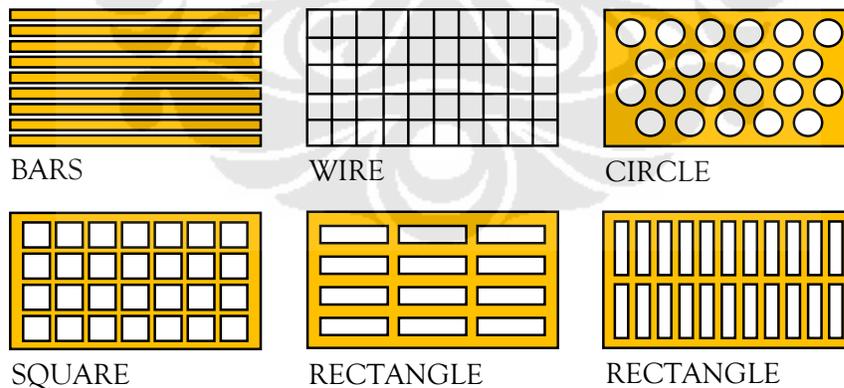
- Menyeleksi produk akhir dengan range ukuran tertentu (*product sizing*)



**Gambar 2.16** *Product sizing* <sup>[3]</sup>

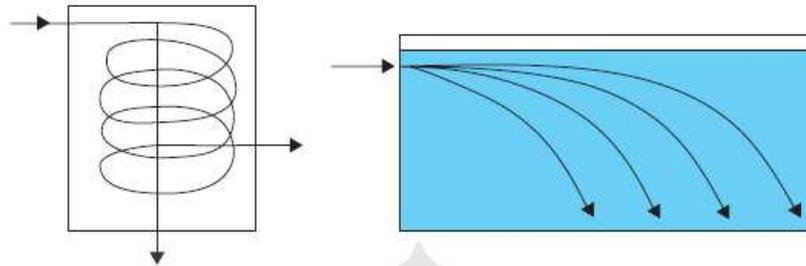
Pengontrolan ukuran berdasarkan metodenya ada dua yang sering digunakan pada prosesnya, diantaranya adalah sebagai berikut <sup>[3]</sup> :

- *Screening* (Pengayakan). Pengendalian ukuran dengan menggunakan sebuah pola geometris tertentu.



**Gambar 2.17** Jenis-jenis Permukaan *Screen* <sup>[3]</sup>

- *Classification* (klasifikasi), metode pengendalian ukuran dengan memanfaatkan pergerakan partikel.



**Gambar 2.18** Pola Pergerakan Partikel <sup>[3]</sup>

#### 2.3.4.1 Screening

*Screening* pada prinsipnya menggunakan pola geometri untuk mengontrol ukuran, secara umum digunakan untuk mengontrol ukuran mencapai ukuran 250  $\mu\text{m}$ , *sizing* yang lebih halus biasanya dilakukan dengan *classification* <sup>[6]</sup>.

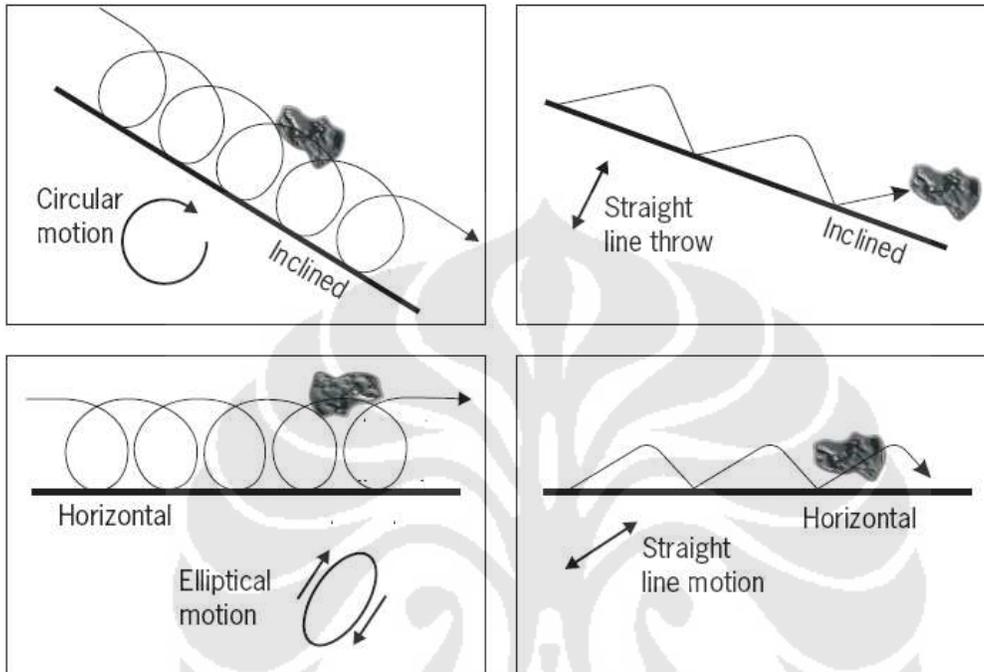
Batas antara dua metode tersebut bergantung dari beberapa faktor, seperti jenis bijih, perencanaan *plant*, dan lain-lain. Performa dari *screening* ini ditentukan oleh tiga parameter, yaitu *motion* (pergerakan), *inclination* (kemiringan), dan media *screen* <sup>[6]</sup>.

Tujuan utama *screening* di dalam industri mineral adalah <sup>[6]</sup> :

- Mencegah masuknya *undersize* ke dalam mesin *crushing*, sehingga meningkatkan kapasitas dan efisiensi,
- Mencegah material *oversize* lewat ke tahap selanjutnya pada sirkuit
- Mempersiapkan umpan dengan ukuran presisi ke dalam proses *gravity concentration* tertentu
- Untuk menghasilkan produk dengan ukuran presisi. Hal ini penting dalam pertambangan, dimana ukuran produk akhir adalah sebuah bagian penting dalam spesifikasi.

Kinerja *screen* dipengaruhi oleh beberapa hal antara lain adalah permukaan *screen*. Geometri permukaan *screen* akan mempengaruhi kinerja *screen* tersebut. Ada beberapa jenis permukaan *screen* yang sering digunakan

dalam industri mineral, seperti permukaan dengan bentuk geometri *bar*, kabel/kawat, lingkaran, persegi, dan persegi panjang <sup>[3]</sup>.

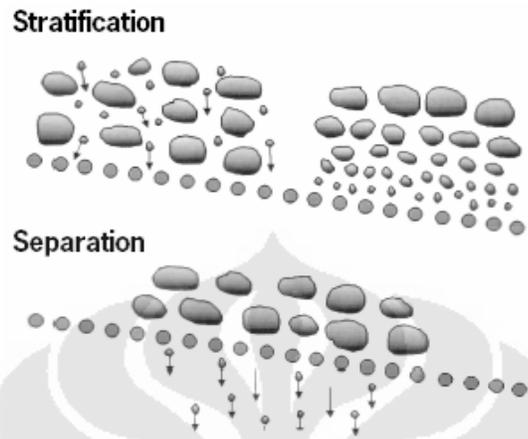


**Gambar 2.19.** Pola Pergerakan *Screen* <sup>[3]</sup>

#### 2.3.4.1.1 Media Jatuhnya Biji *Screen*

##### 2.3.4.1.1.1 *Screening* Susun.

Dengan menyusun material bijih pada *screen*, kondisi material bijih akan terbagi dalam tingkatan-tingkatan. Pada saat *screen* digerakkan akan terjadi perbedaan gaya gesek antara permukaan material, yang akan menyebabkan menurunnya gaya gesek internal antar material. Dengan demikian berarti partikel yang memiliki ukuran lebih kecil akan dapat melewati rongga antar partikel yang ukurannya lebih besar, sehingga akan terjadi proses pemisahan secara signifikan.<sup>[3]</sup>



**Gambar 2.20** *Screening Susun* <sup>[3]</sup>

#### 2.3.4.1.1.2 *Screening Free Fall*

Kalau kita menggunakan tipe *screening* sebelumnya (yakni *screening* susun) akan tetapi dengan menaikkan sudut kemiringannya (yakni dari 10-15 menjadi 20-30 derajat), maka untuk penggunaan *screening* jenis ini dinamakan *screening* jatuh bebas (*free fall*), karena dalam keadaan yang demikian tidak ada lapisan partikel bijih yang menumpuk di atas *screen* <sup>[3]</sup>.

Pada metode ini yang berperan utama dalam memisahkan partikel bijih yang kecil dengan yang besar adalah media *screen* itu sendiri, sehingga kapasitasnya semakin bertambah, tetapi pemisahan yang terjadi tidak signifikan (distribusi ukuran masih bervariasi). Penggunaan media jenis ini disarankan untuk partikel bijih dalam jumlah besar dengan distribusi ukuran rata-rata sudah baik (hampir seragam) sehingga pemisahan ini akan terjadi dengan cepat dan optimal.

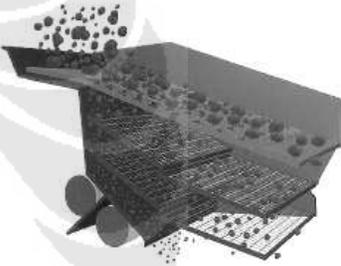
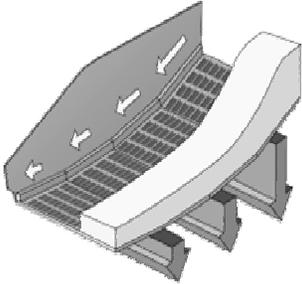


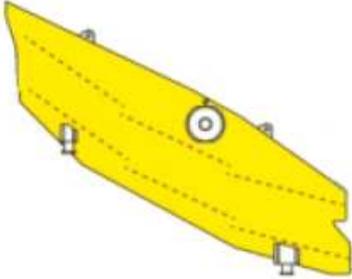
**Gambar 2.21** *Screening Free Fall* <sup>[3]</sup>

#### 2.3.4.1.2 Jenis-jenis Screening

Ada banyak jenis-jenis *screen*, tetapi secara umum jenis *screen* dibedakan menjadi empat jenis, seperti yang terlihat pada gambar di bawah ini.. Dari keempat jenis *screen* tersebut, yang paling banyak digunakan di seluruh dunia (sekitar 80% pengguna) adalah *screen* dengan jenis *single inclination*, untuk media jatuh *stratifications screen*. Jenis yang lainnya adalah *double inclination*, *triple inclination*, atau *multiple inclination*, yang mana penggunaan *screen* dengan metode jatuhnya bijih yakni dengan *stratification* (susun) maupun *free fall* (jatuh bebas) dikombinasikan untuk jenis-jenis aplikasi yang berbeda. <sup>[3]</sup>

**Tabel 2.4** Jenis-jenis *Screen* <sup>[3]</sup>

No	Jenis <i>Screen</i>	Karakteristik	Gambar
1	<i>Single Inclination</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ <i>Screen</i> Susun</li> <li>➤ Gerakan <i>Circular</i> (15 derajat)</li> <li>➤ Gerakan <i>Linear</i> (0-5 derajat)</li> <li>➤ Selektifitas tinggi</li> </ul>	
2	<i>Double Inclination</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ <i>Screen</i> Jatuh Bebas</li> <li>➤ Padat – untuk kapasitas besar tetapi selektifitas rendah</li> <li>➤ Digunakan pada sirkuit <i>screening</i></li> </ul>	
3	<i>Triple Inclination</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Gabungan dari kapasitas dan selektifitas</li> <li>➤ Digunakan untuk produk fraksi bijih yang tinggi</li> </ul>	

4	<i>Multiple Inclination</i> ( <i>Banana Screen</i> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Efektif untuk <i>screen</i> “lembaran yang tipis”</li> <li>➤ Sangat populer untuk digunakan pada tambang mineral dan batubara</li> </ul>	
---	---	---	---

#### 2.3.4.2 Classification

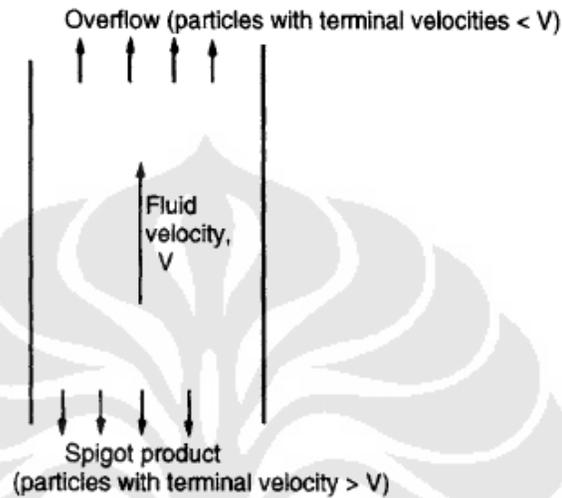
*Classification* (klasifikasi) merupakan salah satu metode untuk memisahkan campuran mineral menjadi dua atau lebih produk berdasarkan pada kecepatan aliran fluida (bisa air ataupun udara), sehingga nantinya akan didapatkan butiran-butiran yang jatuh di dalam medium fluida tersebut <sup>[6]</sup>.

Dalam pengolahan mineral biasanya media yang digunakan adalah air (pada klasifikasi basah). Hal demikian diterapkan pada pengolahan mineral karena bertujuan untuk mendapatkan kandungan mineral yang lebih halus agar dapat dipisahkan secara efisien. Kecepatan partikel dalam medium ini tidak hanya tergantung pada ukuran, akan tetapi juga tergantung pada berat jenis serta bentuk dari partikelnya. Penggunaan prinsip-prinsip klasifikasi ini juga sangat penting pada pengolahan mineral, contohnya saja jika kita ingin menggunakan *gravity concentrator* pada pabrik konsentrat.

Klasifikasi dapat digunakan untuk mengontrol ukuran partikel dengan kehalusan lebih kecil dari 1 mm, dimana untuk kategori seperti ini proses *screening* tidak dapat lagi digunakan. Prinsip kerja dari *classifier* adalah dengan memanfaatkan hukum-hukum fisika tentang gerak, dan aliran <sup>[6]</sup>.

Dalam *classification*, partikel dengan beragam ukuran, bentuk, dan *specific gravity* (berat jenis) dipisahkan dengan cara diendapkan pada fluida, disini akan terlihat bahwa butiran yang lebih kasar, berat, dan bulat akan mengendap lebih cepat daripada butir yang lebih halus, ringan, dan memiliki sudut <sup>[6]</sup>.

Fluida tersebut bergerak membawa butiran-butiran yang mengendap dengan perlahan tadi (yakni butiran dengan butir yang lebih halus, ringan dan bersudut) sementara dengan cara yang bersamaan butiran yang mengendap lebih cepat tadi dipindahkan dari *classifier* <sup>[6]</sup>.



**Gambar 2.22** Prinsip Kerja *Classifier* <sup>[6]</sup>

Air atau udara digunakan sebagai fluida, dan ukuran dimana pemisahan dilakukan berkisar antara 20 sampai 300 mesh. Terkadang pemisahan juga bisa terjadi pada sekitar 400 sampai 600 mesh, atau bisa lebih halus lagi, akan tetapi sangat jarang sekali bisa tercapai <sup>[6]</sup>.

Berdasarkan media fluidanya *classifier* dibagi menjadi tiga kelas, yaitu <sup>[7]</sup>:

- *Sorting classifier*, menggunakan suspensi larutan dengan rapat relatif sebagai media fluida.
- *Sizing classifier*, menggunakan suspensi larutan terlarut relatif sebagai media fluida.
- *Sizing classifier*, menggunakan air sebagai media fluida.

Dalam *sorting classifier*, Pemisahan yang dicapai adalah *sorting*, yakni *sizing* dimodifikasi dengan *specific gravity* dan bentuk tertentu, biasanya digunakan untuk produk-produk yang kasar, *classifier* tipe ini antara lain adalah *Evans classifier*, *Richards hindered-settling classifier*, dan *Fahrenwald sizer* <sup>[7]</sup>.

*Sizing classifier* tidak memerlukan tambahan air lagi karena telah menggunakan suspensi larutan terlarut relatif sebagai media. *Sizing classifier* dapat dibagi menjadi *settling cone* yang tidak memiliki bagian yang bergerak dan *mechanical classifier* yang memiliki bagian yang bergerak <sup>[7]</sup>.

Berdasarkan arah aliran arus yang membawa partikel, *classifier* dibagi menjadi dua kelas, yaitu *horizontal current classifier* seperti *mechanical classifier* yang pada dasarnya tipe *free-settling* yang menekankan pada fungsi *sizing*-nya; dan *vertical current* atau *hydraulic classifier* yang biasanya adalah tipe *hindered-settling* yang meningkatkan pengaruh kerapatan dalam pemisahan <sup>[7]</sup>.

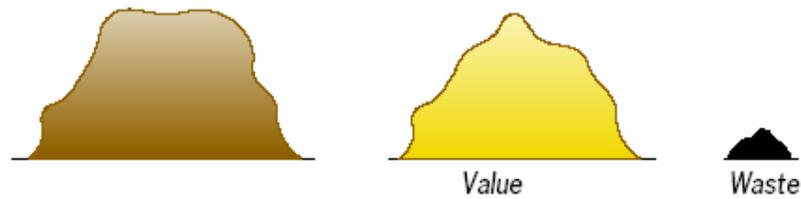
Sedangkan berdasarkan metodenya *classifier*, dibedakan menjadi tiga jenis, antara lain <sup>[3]</sup>:

- Klasifikasi dalam kondisi basah dengan *hydrocyclone*, proses pemisahan partikel dengan memanfaatkan gaya sentrifugal. Kisaran ukuran partikel yang dihasilkan dari 100 – 10 mikron.
- Klasifikasi dalam kondisi basah dengan *spiral classifier*, proses pemisahan partikel dengan memanfaatkan gaya gravitasi. Kisaran ukuran partikel yang dihasilkan dari 100 – 1000 mikron.
- Klasifikasi dalam kondisi kering, memanfaatkan gaya sentrifugal dengan kisaran ukuran partikel produk sebesar 150 – 5 mikron.

### 2.3.5 Pengayaan (*Enrichment*)

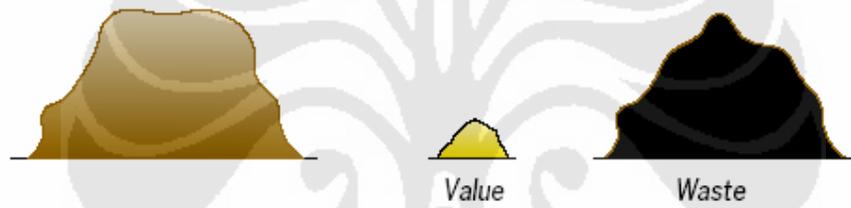
Pengayaan (*enrichment*) dapat dipahami sebagai proses untuk meningkatkan nilai ekonomis dari suatu batuan atau mineral dengan memisahkannya dari pengotor (*gangue*). Proses pengayaan (*enrichment*) ini dapat dilakukan antara lain dengan <sup>[3]</sup>:

- Pencucian (*washing*), umum digunakan dalam proses pengayaan pada industri mineral, batubara, aggregate, pasir dan gravel, dengan produk akhir berbentuk padatan (ukuran  $\pm 1$  mm dan lebih kasar)



**Gambar 2.23** Ilustrasi dari proses pencucian (*washing*)<sup>[3]</sup>

- Pemisahan (*separation*), umum digunakan dalam proses pengayaan mineral logam dan mineral berharga, biasanya produk yang dihasilkan dalam bentuk partikel (ukuran = 1 mm dan lebih kecil)



**Gambar 2.24** Ilustrasi dari proses pemisahan (*separation*)<sup>[3]</sup>

#### 2.3.5.1 Pencucian (*Washing*)

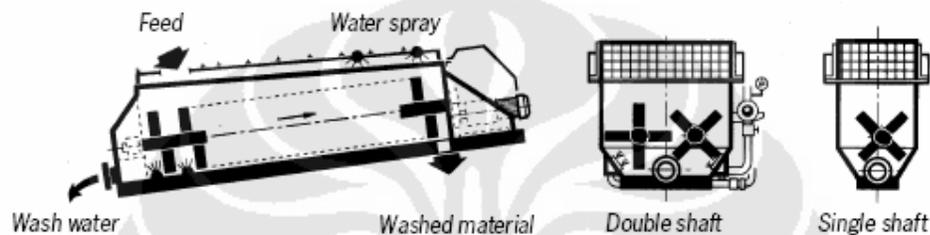
*Washing* digunakan untuk proses *enrichment* pada industri mineral, batu bara, agregat, pasir dan kerikil, umumnya produk dalam bentuk padatan (digunakan untuk partikel berukuran 1 mm dan atau lebih kasar). Metode yang biasa digunakan untuk *washing* antara lain (semua dalam kondisi basah)<sup>[3]</sup>:

Beberapa jenis peralatan yang bisa digunakan antara lain sebagai berikut<sup>[3]</sup>:

1. *Log washers* → untuk kerikil
2. *Wet screens* → menggunakan semprotan air untuk semua material
3. *Aquamator separators* → untuk kerikil, *chipping*, dan puing-puing.
4. *Tumbling scrubbers* → untuk batuan, kerikil, dan mineral dengan kandungan *clay* tinggi dan sangat kotor.
5. *Attrition scrubbers* → untuk pasir silika (gelas) dan pasir cor (ukuran di bawah 10 mm)

### 1. Log Washers

*Log washers* terdiri dari satu atau dua *shaft* yang biasanya digunakan untuk mencuci *gravel*. Umpan dimasukkan dari bagian bawah dan diteruskan ke bagian atas oleh gerakan *blade* yang menyebabkan friksi antar material. Sisa proses dalam bentuk *slurry* dibuang lewat *overflow*. Tipikal kapasitas dari *log washers* ini 40 – 350 ton/jam (untuk versi dua *shaft*)<sup>[3]</sup>.

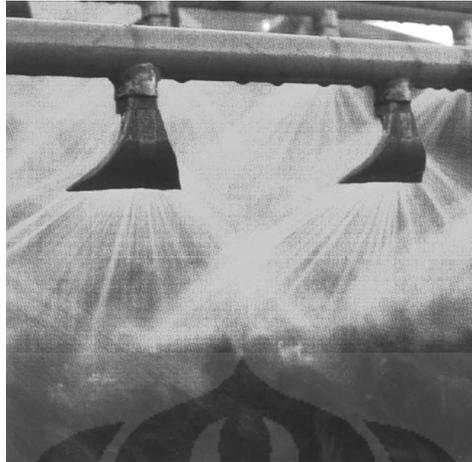


**Gambar 2.25** *Log Washers*<sup>[3]</sup>

### 2. Wet Screens

Penyemprotan dengan air bisa digunakan untuk mencuci material pada *screen* dengan tidak mempertimbangkan ukuran lubang dari media *screening*. Jika lubang berukuran 20 mm atau lebih kecil, penyemprotan air ini akan meningkatkan kapasitas (berbanding terbalik dengan ukuran lubang). Tipikal kebutuhan air untuk proses ini dalam m<sup>3</sup> / jam pada tekanan rendah (3 – 6 bar) dan tekanan tinggi (diatas 70 bar) adalah sebagai berikut<sup>[3]</sup>:

	<i>Low</i>	<i>High</i>
1. Sand dan gravel	1,0	0,8
2. Aggregates – hard rock	0,5	0,4
3. Mining- raw ore	0,5	0,4
4. Recycling (concrete)	0,2	0,15

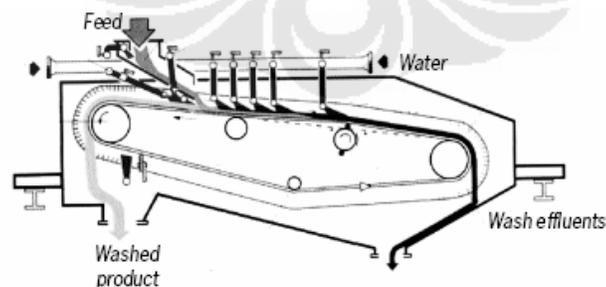


**Gambar 2.26** *Wet Screens* <sup>[3]</sup>

### 3. *Aquamator Separators*.

*Aquamator separators* dikembangkan untuk efisiensi pencucian dari *waste material* dengan densitas yang rendah seperti batubara, kayu, dll. Peralatan ini khususnya digunakan untuk *gravel*, *chipping* dan *demolition rubble* <sup>[3]</sup>.

Air dan umpan membentuk *bed* atau lapisan dengan densitas yang cukup tinggi (*specific gravity* berkisar dari 1,2–1,6 g/cm<sup>3</sup>) yang menyebabkan material ringan mengapung. Tipikal ukuran umpan lebih besar dari 2 mm sampai 32 mm. Tipikal kapasitas dari alat ini 10 – 180 ton/jam <sup>[3]</sup>.



**Gambar 2.27** *Aquamator Separators* <sup>[3]</sup>

#### 4. *Tumbling Scrubbers*

Batuan, gravel, ataupun mineral yang mengandung kadar *clay* yang tinggi sehingga harus dihilangkan, aplikasi *wet screening* biasanya kurang efektif. Drum pencuci dengan kecepatan medium untuk proses *scrubbing* padatan terhadap padatan merupakan pilihan proses untuk mengurangi kadar *clay* tersebut. Kebutuhan air per ton umpan dari proses ini sama dengan kebutuhan air pada *wet screening*. Tipikal kapasitasnya adalah 8 – 120 ton/jam<sup>[3]</sup>.



**Gambar 2.28** *Tumbling Scrubbers*<sup>[3]</sup>

#### 5. *Attrition Scrubbers*

*Scrubbers* jenis ini utamanya digunakan untuk proses pencucian material dengan ukuran lebih kecil dari 10 mm. Dengan energi yang sangat tinggi, alat ini bisa digunakan untuk mencuci pasir *silica* untuk proses pembuatan gelas dan pembersihan pasir cor. Mesin ini juga cocok untuk aplikasi *clay blunging* dan *lime slacking*<sup>[3]</sup>.

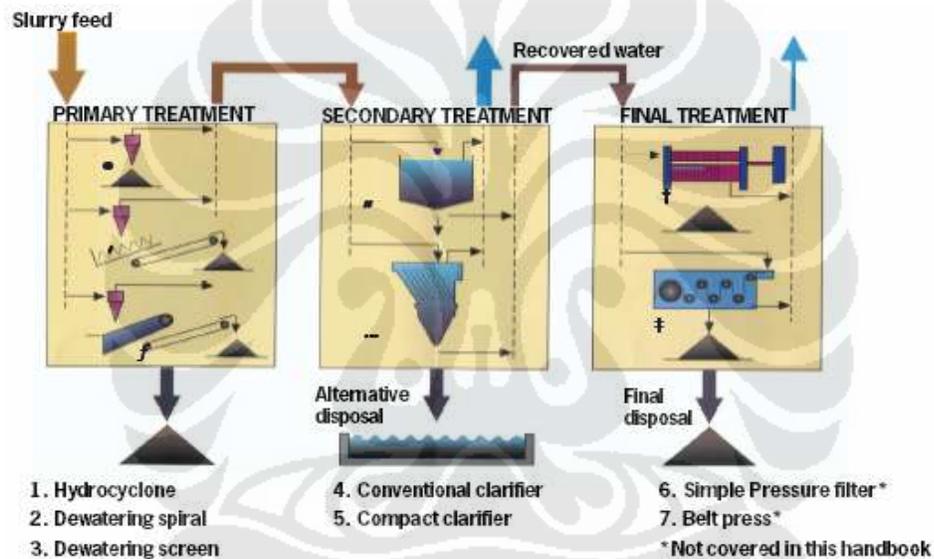


**Gambar 2.29** *Attrition Scrubbers*<sup>[3]</sup>

## 6. Treatment Air Pencuci.

Penggunaan air pada operasi pencucian tidak hanya memakan biaya yang relatif tinggi, tetapi juga air sisa mengandung limbah pencucian baik partikel yang kasar maupun halus, oleh karena itu limbah pencucian tersebut harus diproses lagi untuk proses *recovery* air dan material yang berukuran kasar, proses ini selain untuk mendapatkan material yang masih berharga pada limbah juga dilakukan untuk menjaga kelestarian lingkungan<sup>[3]</sup>.

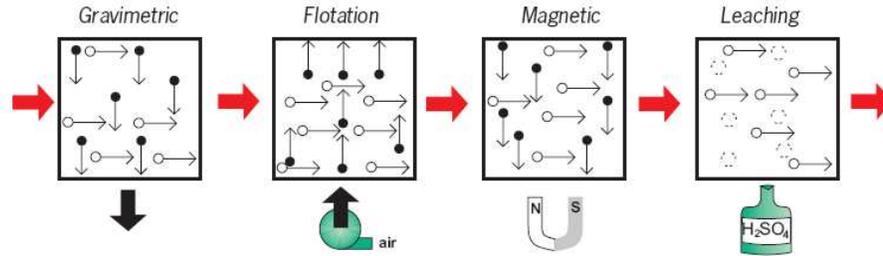
Tahapan-tahapan treatment itu sangat tergantung dari kondisinya, kemungkinan dibutuhkan satu, dua, atau tiga tahapan treatment<sup>[3]</sup>.



Gambar 2.30 Tahapan-tahapan Treatment<sup>[3]</sup>

### 2.3.5.2 Pemisahan (*Separation*)

*Separation* digunakan pada proses *enrichment* mineral logam, setelah proses perolehan mineral dari batuan atau bijih dengan proses grinding maupun proses alam (pasir pantai). Teknologi yang digunakan sesuai dengan karakteristik dari masing – masing jenis mineral, metoda klasik proses pemisahan (*separation*) terlihat pada gambar dibawah ini<sup>[3]</sup>.



**Gambar 2.31** Metode *Separation* yang telah dikenal <sup>[3]</sup>

1. *Gravity Separation (kondisi basah)*

Proses pemisahan ini menggunakan perbedaan berat jenis antara dua mineral atau fraksi batuan. Ada dua cara dalam melakukan pemisahan berdasarkan berat jenis tersebut, diantaranya <sup>[3]</sup>:

- Pemisahan dalam air (*gravity concentration*)
- Pemisahan dalam media berat (DMS : *dense medium separation* / HMS : *heavy medium separation*)

2. *Magnetic Separation (kondisi kering dan basah)*

Prinsip dari *magnetic separation* adalah pemisahan melalui perbedaan sifat magnetis dari dua atau lebih mineral. Proses ini diaplikasikan pada material yang bersifat magnetis dimana material magnetis akan dipisahkan dengan material yang non-magnetis <sup>[3]</sup>.

3. *Froth Flotation (kondisi basah)*

Flotasi digunakan dalam pemisahan mineral dan dilakukan pada mineral-air *slurry*. Permukaan dari mineral dibuat hidrofobik (menolak air) yang dikondisikan oleh *reagent* selektif. Partikel hidrofobik tersebut menjadi tertarik ke gelembung udara yang dimasukkan ke dalam *pulp* dan dibawa ke lapisan yang terapung di atas *slurry* lalu dipisahkan dari partikel yang hidrofilik (basah) <sup>[3]</sup>.

4. *Electrical separation (High Tension Separation – HTS)*

Proses ini didasarkan atas perbedaan konduktivitas listrik antara mineral dalam umpan. Prinsip yang digunakan tidak jauh berbeda dengan *magnetic separation* dimana material dengan konduktivitas listrik bagus akan dipisahkan dengan material yang konduktivitas listriknya rendah atau bahkan tidak memiliki.

Secara teori, proses ini sangat bagus dimana setiap material pasti akan memiliki konduktivitas listrik yang berbeda-beda, namun aplikasi yang dimiliki sangat terbatas dan sangat banyak digunakan pada pemisahan pasir berat dari pantai atau *stream placer*.

Partikel dipastikan harus kering dan kelembaban lingkungan harus diatur sedemikian rupa, karena hampir semua pergerakan dalam elektron dielektrik terjadi di permukaan dan lapisan lembab akan mengubah perilaku material seutuhnya [3].

#### 5. *Sorting separation*

Pemisahan ini didasarkan pada sifat optik dan radioaktif, biasanya dilakukan untuk mineral *high-grade*. Salah satu cara yang paling umum digunakan adalah *electronic sorting*, dimana sinyal dari peralatan akan memisahkan mineral berharga dari kelompoknya contohnya adalah *laser beam scanning* [6].

#### 2.3.6 Peningkatan Mutu (*Upgrading*)

Proses *upgrading* merupakan suatu proses lanjut yang dipahami sebagai produk akhir dari tahapan *enrichment* (pengayaan). Hal ini sangat penting dalam proses pengolahan mineral karena dengan adanya proses ini akan diketahui seberapa banyak mineral berharga (konsentrat) yang dihasilkan dibandingkan dengan mineral yang sisa (*tailing*). Dari segi produk mineral, proses *upgrading* dapat meningkatkan nilai dari produk tersebut dengan mempermudah kemampuan transport konsentrat dalam keadaan yang kering. Proses kemudian dapat dilanjutkan ke tahapan kalsinasi dan *sintering*. Proses *upgrading* dari segi material sisa (*tailing*) juga dapat meningkatkan perlindungan terhadap lingkungan dengan adanya penanganan terpadu terhadap material sisa tersebut untuk kemudian masih dapat digunakan kembali atau menjadi bahan-bahan yang tidak berbahaya. [3]

Metode-metode yang umum dilakukan dalam *upgrading* diantaranya adalah sebagai berikut : [3]

- *Sedimentation*
  - *Clarification / thickening* (konvensional)
  - *Clarification / thickening* (singkat)
- *Thermal Drying*

- *Langsung*
- *Tak langsung*
- *Mechanical Dewatering*
  - *Gravity*
  - *Low Pressure*
  - *Medium Pressure*
  - *High Pressure*
- *Thermal Processing*
  - *Calcinig*
  - *Sintering (pelletizing)*

### 2.3.7 Penanganan Material (*Materials Handling*)

Dengan penanganan material secara baik dan benar kita bisa mengerti teknologi untuk memindahkan proses dengan gangguan seminimal mungkin terhadap aliran dan kapasitas. Teknik– teknik penanganan material tersebut diantaranya adalah <sup>[3]</sup> :

- *Loading dan Unloading*
- *Storing (penyimpanan)*
- *Feeding (pengumpanan)*
- *Transportasi*

Untuk proses *storing* (penyimpanan) dilakukan untuk menyimpan material sementara atau untuk waktu yang lama, tujuan dari *storing* adalah untuk menjaga proses tetap berlanjut, dimana untuk tiap proses dalam *mineral processing* dijalankan dalam kecepatan proses yang berbeda sehingga *ore* tidak akan mengalami penundaan atau percepatan masuk ke proses selanjutnya. Transportasi bisa diartikan dua macam yaitu transportasi *ore* antar proses atau untuk masuk ke bagian *shipping*. Transportasi *ore* dari *mine* ke *crushing plant* biasanya menggunakan truk atau *conveyor* (jika dekat), sementara untuk antar proses digunakan *conveyor* (untuk *ore* kering) atau *pipa* (untuk *slurry*). *Feeding* dilakukan untuk mengatur masuknya umpan ke dalam sirkuit. Jenisnya tergantung dari ukuran *ore* yang akan diumpangkan, kecepatan dan kapasitas mesin yang akan diumpangkan.