

PENGOLAHAN MINERAL I **KOMINUSI** & **BENEFISIASI** **MINERAL**

GYAN PRAMESWARA
FLAVIANA YOHANALA PRISTA TYASSENA
ANDI ARNINDA
HERLINA RAHIM
FRABOWO PRASETIA



PENERBIT
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS FAJAR

PENGOLAHAN MINERAL I
KOMINUSI DAN BENEFISIASI MINERAL

PENULIS

GYAN PRAMESWARA
FLAVIANA YOHANALA PRISTA TYASSENA
ANDI ARNINDA
HERLINA RAHIM
FRABOWO PRASETIA

PENERBIT

FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS FAJAR

PENGOLAHAN MINERAL I
KOMINUSI DAN BENEFISIASI MINERAL

Penulis : Gyan Prameswara, M.Eng.
Flaviana Yohanala Prista Tyassena, M.T.
Andi Arninda, M.Si.
Herlina Rahim, M.Si.

Cover : Frabowo Prasetia, M.T.I.

Penerbit : Fakultas Teknik Universitas Fajar

ISBN : ...

KATA PENGANTAR

Selamat datang dalam buku "Pengolahan Mineral I Proses Kominusi dan Benefisiasi Mineral." Buku ini adalah pengantar yang lengkap dan terperinci mengenai dua tahapan kunci dalam pengolahan mineral, yaitu kominusi dan benefisiasi. Ditulis khusus untuk mahasiswa tingkat Diploma 3 dan siapa pun yang tertarik dalam dunia menarik dan kompleks pengolahan mineral, buku ini akan membantu Anda memahami prinsip-prinsip dasar yang mendasari industri ini yang begitu vital.

Industri pengolahan mineral adalah tulang punggung ekonomi global, menyediakan bahan mentah yang diperlukan untuk berbagai sektor seperti pertambangan, metalurgi, dan konstruksi. Prosesnya yang kompleks dan teknologi canggih yang digunakan dalam pengolahan mineral sering kali membuat orang awam merasa terintimidasi. Namun, dengan penjelasan yang tepat dan pemahaman yang baik, topik ini menjadi lebih mudah dipahami.

Dalam buku ini, kami akan memandu Anda melalui perjalanan yang menarik tentang bagaimana bijih mineral yang mentah dapat diubah menjadi produk akhir yang bernilai ekonomi tinggi. Bab demi bab, Anda akan mendapatkan pemahaman yang lebih dalam tentang prinsip-prinsip kominusi dan benefisiasi, serta peran pentingnya dalam industri pengolahan mineral.

Kami akan mulai dari pengertian dasar tentang pengolahan mineral, melalui penjelasan mengenai jenis-jenis mineral, sifat-sifat fisik, dan kimia mineral, hingga memahami tujuan dan teknik kominusi serta benefisiasi yang digunakan dalam pengolahan mineral. Selain itu, kami akan menjelaskan pentingnya pengolahan mineral dalam industri modern, dan mengilustrasikan bagaimana struktur kimia dan kristalografi mineral memengaruhi proses pengolahan.

Selama perjalanan ini, kami akan menyediakan contoh-contoh dunia nyata, ilustrasi, dan penjelasan yang jelas untuk membantu Anda

menginternalisasi konsep-konsep yang kompleks. Selain itu, kami akan memastikan Anda memiliki pemahaman yang kuat tentang teknik-teknik kominusi dan benefisiasi yang digunakan dalam pengolahan bijih mineral berdasarkan studi kasus dan aplikasi industri.

Kami berharap bahwa buku ini akan menjadi panduan yang berharga dalam pembelajaran Anda tentang pengolahan mineral. Pemahaman yang mendalam tentang kominusi dan benefisiasi akan membuka pintu menuju berbagai peluang karir dalam industri ini yang berkembang pesat.

Terima kasih telah memilih buku ini sebagai sumber belajar Anda. Kami yakin bahwa Anda akan menikmati perjalanan ini dan mengambil manfaat besar dari pengetahuan yang akan Anda peroleh. Selamat membaca dan selamat mengeksplorasi dunia yang menarik dari pengolahan mineral.

Salam hangat,

Gyan Prameswara

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	iii
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR TABEL	ix
BAB I PENGANTAR PENGOLAHAN MINERAL.....	1
1.1. Definisi Pengolahan Mineral	1
1.2. Pentingnya Pengolahan Mineral dalam Industri	2
1.3. Tinjauan Proses Pengolahan Mineral	3
BAB II SIFAT-SIFAT MINERAL	6
2.1. Struktur dan Kristalografi Mineral	6
2.2. Sifat Fisik Mineral	14
BAB III PENGENALAN PROSES KOMINUSI.....	18
3.1. Kominusi vs. Benefisiasi	18
3.2. Tujuan Kominusi.....	20
3.3. Teknik-Teknik Kominusi.....	22
BAB IV PERALATAN DAN MESIN KOMINUSI	26
4.1. <i>Crusher</i>	26
4.2. <i>Grinder</i>	36
BAB V SAMPLING	43
5.1. <i>Moisture Sampling</i>	43
5.2. <i>Assay Sampling</i>	44
5.3. Sistem Sampling.....	46
5.4. <i>On-line analysis</i>	47
5.5. Metode Pemisahan Sampel	49
BAB VI DISTRIBUSI PARTIKEL	51
6.1. Ukuran dan bentuk partikel.....	51
6.2. Analisis menggunakan Sebaran Ukuran Partikel Menggunakan Sieve 54	
6.3. Hasil Analisis Ukuran Partikel.....	55
6.4. Analisis Ukuran Partikel Menggunakan Instrumen (Mikroskopik, Laser diffraction)	60
BAB VII SEPARASI FISIK.....	62
7.1. <i>Screening</i>	62
7.2. Klasifikasi	67
7.3. <i>Gravity Concentration</i>	73
7.4. <i>Dense Medium Concentration</i>	81
7.5. Pemisahan secara Magnetik dan Elektrikal	83
BAB VIII <i>FROTH</i> FLOTASI	87
8.1. Prinsip Flotasi	87
8.2. Klasifikasi mineral	89
8.3. Kolektor	90
8.4. <i>Frother</i>	92

8.5.	Aktivator.....	94
8.6.	Peran pH.....	94
8.7.	Peran bubble.....	95
DAFTAR PUSTAKA.....		97
BIODATA PENULIS.....		98

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Kristal kubik (Sumber: Mindat.org 2023)	7
Gambar 2.2 Kristal tetragonal (Sumber: Mindat.org 2023)	8
Gambar 2.3 Kristal ortorombik (Sumber: Mindat.org 2023)	8
Gambar 2.4 Kristal rombohedral/trigonal (Sumber: Mindat.org 2023)	9
Gambar 2.5 Kristal monoklinik (Sumber: Mindat.org 2023)	9
Gambar 2.6 Kristal heksagonal (Sumber: Mindat.org 2023)	10
Gambar 2.7 Kristal triklinik (Sumber: Mindat.org 2023)	10
Gambar 2.8 Perhitungan indeks <i>Miller</i>	11
Gambar 2.9 Mineral magnetit (Sumber: Mindat.org 2023).....	12
Gambar 2.10 Mineral galena (Sumber: Mindat.org 2023)	13
Gambar 2.11 Native emas (Sumber: Mindat.org 2023)	13
Gambar 2.12 Mineral apatit (Sumber: Mindat.org 2023).....	14
Gambar 3.1 Kominusi dan benefisi (Sumber: Saramak 2021)	18
Gambar 3.2 Mineral ter liberasi dari <i>gangue</i> (Sumber: Bacchuwar et al. 2020) .	20
Gambar 3.3 Proses <i>crushing</i> mineral (Sumber: Michaud 2015).....	22
Gambar 3.4 Proses <i>grinding</i> mineral (Sumber: Wang et al. 2020).....	23
Gambar 3.5 Perbedaan teknik kominusi (Sumber: Michaud 2015)	24
Gambar 4.1 Klasifikasi <i>jaw crusher</i> berdasarkan pergerakan rahangnya	26
Gambar 4.2 <i>Cross section</i> dari sebuah <i>jaw crusher</i>	28
Gambar 4.3 Komponen <i>gyratory crusher</i> (Sumber: Napier-Munn 2005)	28
Gambar 4.4 <i>Cross section gyratory crusher</i> (Sumber: Gupta and Yan 2016)	30
Gambar 4.5 Perbedaan antara (a) <i>Gyratory crusher</i> dan (b) <i>Cone crusher</i>	30
Gambar 4.6 <i>Cross section cone crusher</i> (Sumber: Napier-Munn 2005).....	32
Gambar 4.7 <i>Hammer mill</i> sebagai salah satu contoh <i>impact crusher</i>	32
Gambar 4.7 Profil bahan yang dimasukkan ke dalam <i>hammer mill</i>	34
Gambar 4.8 <i>Roll crusher</i> (Sumber: Napier-Munn 2005)	34
Gambar 4.9 Diagram skematis <i>roll crusher</i> (Sumber: Gupta and Yan 2016)	35
Gambar 4.10 Contoh beberapa jenis <i>crusher</i> (Sumber: Michaud 2015).....	36
Gambar 4.2 <i>Ball mill</i> (Sumber: Alves et al. 2017).....	38
Gambar 4.3 <i>SAG mill</i> (Sumber: Royston 2007).....	39
Gambar 4.4 <i>Rod mill</i> (Sumber: David 2017).....	41
Gambar 5.1 <i>Free fall discharge sampling</i>	44
Gambar 5.2 Sistem sampling secara umum.....	46
Gambar 5.3 <i>Vezein sampler</i>	47
Gambar 5.4 Prinsip <i>On-line analysis</i>	48
Gambar 5.6 Teknik <i>coning and quartering</i>	49
Gambar 5.7 <i>The jones riffle</i>	50
Gambar 6.1 Bentuk-bentuk <i>irregular</i> (tak beraturan).....	53
Gambar 6.3 <i>woven-wire</i> (a) <i>plain weave</i> (b) <i>twilled weave</i>	56
Gambar 6.4. Grafik distribusi frekuensi ukuran partikel	58
Gambar 6.5 Distribusi frekuensi	58
Gambar 6.6 Jenis-jenis distribusi frekuensi (a) <i>normal</i> (b) <i>skewed</i> dan (c) <i>bimodal</i>	59
Gambar 6.7 Perubahan distribusi ukuran.	59

Gambar 6.8 Analisis ukuran partikel menggunakan mikroskop/MLA.	61
Gambar 7.1 Neraca massa sebuah <i>screen</i>	63
Gambar 7.2 Kurva partisi.	65
Gambar 7.3 Distribusi partikel pada sebuah <i>screen</i>	65
Gambar 7.4 <i>Vibrating screen</i>	66
Gambar 7.5 Klasifikasi menggunakan <i>sorting colomn</i>	68
Gambar 7.6 Klasifikasi menggunakan (a) <i>free settling</i> (b) <i>hindered settling</i>	72
Gambar 7.7 Hidraulic classifier.	72
Gambar 7.8 Prinsip mechanical classifier.	73
Gambar 7.9 rentang paling efektif untuk masing-masing alat separasi.	74
Gambar 7.10 <i>Hand jig</i>	75
Gambar 7.11 Perbedaan percepatan awal partikel.	76
Gambar 7.12 Proses jiging ideal.	76
Gambar 7.13 Basic jig.	77
Gambar 7.14 Haraz jig.	77
Gambar 7.15 Denver mineral jig.	77
Gambar 7.16 Baum jig.	78
Gambar 7.17 Pemisahan pada spiral concentrator.	79
Gambar 7.18 Unit spiral concentrator.	79
Gambar 7.19 Pergerakan pada <i>shaking table</i>	80
Gambar 7.20 <i>Shaking table</i>	80
Gambar 7.21 Distribusi partikel pada <i>table</i> dan sebaran partikel pada masing-masing riffle.	81
Gambar 7.22 Prinsip pemisahan pada DMS.	82
Gambar 7.23 drum <i>separator</i> dengan prinsip DMS.	83
Gambar 7.24 <i>Drum-magnetic separator (low intensity)</i>	84
Gambar 7.25 Belt-magnetic <i>separator (low intensity)</i>	84
Gambar 7.26 <i>Induced roll separator</i>	85
Gambar 7.27 Prinsip <i>electrical separator</i>	86
Gambar 7.28 Pengaturan <i>electrical separator</i>	86
Gambar 8.1 Prinsip dari <i>froth</i> flotasi.	88
Gambar 8.2 Klasifikasi kolektor.	91
Gambar 8.3 Adsorpsi oleh kolektor pada permukaan mineral.	91
Gambar 8.4 <i>Frother</i>	93
Gambar 8.5 Relasi antara konsentrasi dari sodium diethyl dithiophosphate dan nilai pH kritisnya.	94
Gambar 8.6 k vs Sb untuk orde 1 untuk pilot dan rougher cell.	96

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Skala kekerasan mineral.....	15
Tabel 6.1 Bentuk-bentuk partikel.....	51
Tabel 6.2 Beberapa metode untuk analisis ukuran partikel.....	52
Tabel 6.3 Nomor mesh dan ukurannya.....	55
Tabel 6.4 Hasil analisis sieve tes.....	56
Tabel 6.5 Analisis hasil ayakan menggunakan frekuensi.....	57
Tabel 7.1 Medium pada DMS.....	82
Tabel 8.1 klasifikasi mineral polar.....	89
Tabel 8.2 Kolektor dan berbagai kegunaannya.....	91

BAB I PENGANTAR PENGOLAHAN MINERAL

1.1. Definisi Pengolahan Mineral

Pengolahan mineral adalah suatu rangkaian proses teknik dan fisik yang digunakan untuk mengubah bijih mineral mentah menjadi produk bernilai tinggi yang siap digunakan dalam industri. Proses ini melibatkan sejumlah tahap penting yang bertujuan untuk memisahkan mineral berharga dari material yang tidak diinginkan atau buangan, meningkatkan konsentrasi mineral berharga, dan menghasilkan produk akhir yang memenuhi persyaratan kualitas dan spesifikasi tertentu.

Dalam pengolahan mineral, bijih mentah dapat berupa berbagai jenis material, termasuk logam (seperti emas, tembaga, dan besi), mineral industri (seperti pasir silika dan batu kapur), serta mineral energi (seperti batu bara dan minyak bumi). Proses ini menjadi sangat penting dalam mendukung berbagai sektor industri, termasuk pertambangan, metalurgi, konstruksi, dan manufaktur.

Tujuan utama dari pengolahan mineral adalah untuk menghasilkan produk akhir yang memenuhi persyaratan kualitas, keberlanjutan, dan ekonomi. Proses ini dapat mencakup sejumlah operasi seperti kominusi (penghancuran dan pengecilan ukuran), benefisiasi (pemisahan dan pemurnian mineral berharga), pengendalian ukuran butir, dan manajemen limbah untuk memaksimalkan nilai dari bijih mineral yang diolah dan mengurangi dampak lingkungan yang mungkin timbul.

Selama beberapa dekade terakhir, teknologi dan praktik pengolahan mineral telah berkembang pesat, memungkinkan industri ini untuk lebih efisien dalam ekstraksi dan penggunaan sumber daya mineral alam. Oleh karena itu, pemahaman yang mendalam tentang pengolahan mineral menjadi kunci dalam memahami bagaimana mineral berperan dalam mendukung perkembangan ekonomi global dan bagaimana industri ini berkontribusi pada keberlanjutan lingkungan.

Dalam bab-bab berikutnya, kita akan menjelajahi lebih dalam berbagai aspek pengolahan mineral, termasuk teknik kominusi, proses benefisiasi, serta dampak lingkungan dan masalah-masalah terkait yang menjadi perhatian utama dalam industri ini.

1.2. Pentingnya Pengolahan Mineral dalam Industri

Industri pengolahan mineral memainkan peran yang sangat penting dalam ekonomi global dan mendukung berbagai sektor industri lainnya. Pentingnya pengolahan mineral tidak hanya terbatas pada ekstraksi mineral dari bumi, tetapi juga melibatkan transformasi mineral mentah menjadi berbagai produk bernilai tinggi yang digunakan dalam kehidupan sehari-hari dan produksi industri. Berikut adalah beberapa alasan mengapa pengolahan mineral memiliki peran sentral dalam industri:

- **Sumber Daya Mineral Yang Tak Terbarukan:** Banyak mineral yang digunakan dalam industri, seperti logam dan mineral energi, adalah sumber daya yang terbatas dan tidak dapat diperbaharui. Oleh karena itu, pengolahan mineral menjadi kunci dalam mengoptimalkan pemanfaatan sumber daya mineral alam ini.
- **Mendukung Industri Manufaktur:** Bahan baku mineral digunakan dalam berbagai industri manufaktur untuk menghasilkan produk jadi. Contohnya, baja memerlukan bijih besi sebagai bahan baku utama, dan elektronik membutuhkan logam-logam seperti tembaga dan aluminium. Tanpa pengolahan mineral yang efisien, produksi barang-barang ini akan terhambat.
- **Industri Konstruksi:** Banyak material konstruksi, seperti batu kapur, pasir silika, dan granit, berasal dari hasil pengolahan mineral. Mereka digunakan dalam pembangunan infrastruktur, bangunan, jalan, dan proyek konstruksi lainnya.
- **Energi dan Bahan Bakar:** Mineral energi seperti batu bara, minyak bumi, dan gas alam adalah sumber daya penting dalam memenuhi kebutuhan

energi dunia. Pengolahan mineral diperlukan untuk mengekstraksi, memproses, dan mendistribusikan sumber daya energi ini.

- **Keberlanjutan Sumber Daya:** Pengolahan mineral juga melibatkan pemurnian dan pengelolaan limbah, yang penting untuk menjaga lingkungan dan mendukung keberlanjutan sumber daya. Praktik-praktik pengolahan mineral yang bertanggung jawab dapat membantu mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan.
- **Pertumbuhan Ekonomi:** Industri pengolahan mineral memberikan kontribusi signifikan terhadap pertumbuhan ekonomi suatu negara. Ini menciptakan lapangan pekerjaan, meningkatkan pendapatan nasional, dan mendukung pembangunan infrastruktur.
- **Inovasi Teknologi:** Pengolahan mineral mendorong inovasi dalam teknologi ekstraksi, pemisahan, dan pengolahan. Hal ini membuka peluang untuk pengembangan teknologi baru dan peningkatan efisiensi proses.

Pentingnya pengolahan mineral dalam industri menjadi dasar untuk memahami bagaimana sumber daya mineral berperan dalam memenuhi kebutuhan manusia dan mendukung berbagai aspek kehidupan modern. Dalam bab-bab berikutnya, kita akan menjelajahi lebih mendalam berbagai teknik dan proses yang digunakan dalam pengolahan mineral untuk menghasilkan produk yang kita butuhkan sehari-hari.

1.3. Tinjauan Proses Pengolahan Mineral

Pengolahan mineral adalah serangkaian tahapan yang kompleks dan terstruktur yang bertujuan untuk mengubah bijih mineral mentah menjadi produk bernilai tinggi yang memenuhi kebutuhan industri. Proses ini melibatkan berbagai operasi yang diterapkan secara berurutan atau bersama-sama, tergantung pada jenis bijih mineral, kandungan mineral yang diinginkan, dan persyaratan produk akhir. Dalam sub-bab ini, kami akan memberikan tinjauan singkat tentang beberapa tahapan umum yang terlibat dalam proses pengolahan mineral:

- **Ekstraksi:** Proses dimulai dengan ekstraksi bijih mineral dari lokasi penambangan. Ini bisa berupa tambang terbuka, tambang bawah tanah, atau sumber daya mineral alam lainnya. Pemilihan metode ekstraksi tergantung pada karakteristik geologi dan ekonomi dari deposit bijih.
- **Kominusi:** Setelah bijih diekstraksi, tahap pertama dalam pengolahan mineral adalah kominusi. Ini melibatkan penghancuran bijih menjadi ukuran yang lebih kecil. Proses ini bertujuan untuk memudahkan pemisahan mineral dari batuan induknya dan meningkatkan luas permukaan yang tersedia untuk proses selanjutnya.
- **Benefisiasi:** Tahap berikutnya adalah benefisiasi, di mana bijih yang dihancurkan diproses untuk memisahkan mineral berharga dari material yang tidak diinginkan atau buangan. Metode-metode seperti flotasi, gravitasi, dan elektrostatik digunakan untuk mencapai pemisahan ini.
- **Pengendalian Ukuran Butir:** Pada tahap ini, ukuran butir mineral diatur dengan menggunakan teknik seperti pengayakan, hidrosiklon, dan spiral. Hal ini diperlukan untuk memenuhi persyaratan produk akhir dan mengoptimalkan efisiensi proses.
- **Pemurnian:** Pemurnian mineral berharga sering kali diperlukan untuk menghilangkan impuritas yang tersisa dan meningkatkan kemurnian produk akhir. Ini melibatkan berbagai proses kimia dan fisik seperti pelindian, elektrolisis, atau pencucian.
- **Pengeringan dan Penyimpanan:** Setelah pemrosesan selesai, produk akhir dikeringkan dan disimpan dalam kondisi yang sesuai untuk pengiriman atau penggunaan lebih lanjut.
- **Manajemen Limbah:** Pengelolaan limbah adalah aspek penting dalam proses pengolahan mineral. Limbah yang dihasilkan selama proses harus dikelola secara bertanggung jawab untuk mengurangi dampak lingkungan.
- **Pengiriman dan Distribusi:** Produk akhir yang telah diolah dikirimkan ke pelanggan atau digunakan dalam berbagai industri sesuai dengan kebutuhan.

Setiap tahap dalam proses pengolahan mineral memiliki tantangan teknis dan lingkungan tersendiri yang perlu diatasi. Keberhasilan dalam pengolahan mineral tergantung pada pemahaman yang mendalam tentang karakteristik bijih, penerapan teknik dan teknologi yang tepat, serta pematuhan terhadap standar lingkungan dan keselamatan yang berlaku.

Dalam buku ini, kami akan menjelajahi setiap tahap ini dengan lebih rinci, menyediakan pengetahuan yang komprehensif tentang teknik-teknik yang digunakan dalam pengolahan mineral dan bagaimana mereka berkontribusi pada industri dan ekonomi global.

BAB II SIFAT-SIFAT MINERAL

2.1. Struktur dan Kristalografi Mineral

Mineral adalah materi alam yang memiliki sifat-sifat kimia dan fisika yang unik. Untuk memahami bagaimana mineral berperilaku dan bagaimana mereka diproses dalam industri pengolahan mineral, kita perlu memahami dasar-dasar struktur kimia dan kristalografi mineral.

2.1.1. Struktur Kimia Mineral:

- **Atom dan Ion:** Mineral terdiri dari atom atau ion yang terikat bersama dalam suatu susunan tertentu. Atom adalah bagian terkecil dari materi yang masih mempertahankan sifat-sifat kimianya. Ion adalah atom yang memiliki muatan positif (kation) atau muatan negatif (anion) karena kehilangan atau mendapatkan elektron. Contohnya, mineral seperti halit (garam dapur) terdiri dari ion natrium (Na^+) dan ion klorida (Cl^-).
- **Pola Kisi Kristal:** Kebanyakan mineral memiliki struktur kristal, yang berarti bahwa atom atau ion dalam mineral tertata dalam pola kisi yang teratur dan berulang-ulang. Ini menciptakan susunan tiga dimensi yang terorganisir dengan baik. Pola kisi kristal ini adalah apa yang memberikan mineral sifat-sifat uniknya. Misalnya, berlian dan grafit memiliki struktur kristal yang berbeda yang menghasilkan sifat-sifat fisik yang sangat berbeda.
- **Komposisi Kimia:** Komposisi kimia mineral ditentukan oleh jenis dan jumlah atom atau ion yang ada dalam struktur kristal. Sebagai contoh, kuarsa (SiO_2) terdiri dari atom silikon (Si) dan oksigen (O) yang terikat bersama dalam pola kisi kristal yang khas. Komposisi kimia mineral memengaruhi warna, kekerasan, dan reaktivitas kimia mereka.

2.1.2. Kristalografi Mineral:

Sistem Kristal: Mineral dapat diklasifikasikan ke dalam sistem kristal berdasarkan simetri dan tipe pola kisi kristal mereka. Terdapat tujuh sistem kristal utama, seperti sistem kubik, sistem ortorombik, sistem heksagonal, dan

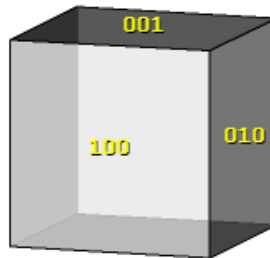
lainnya. Masing-masing sistem kristal memiliki aturan simetri tertentu yang mempengaruhi sifat-sifat mineral.

Terdapat tujuh sistem kristal utama yang membentuk dasar bagi lebih dari 90% mineral yang diketahui. Setiap sistem kristal memiliki karakteristik simetri yang berbeda, yang mempengaruhi sifat-sifat mineral, seperti pemecahan cahaya, bentuk kristal, dan tata letak atom atau ion dalam kisi kristal. Berikut adalah penjelasan rinci tentang tujuh sistem kristal utama:

1. Sistem Kristal Kubik (Isometrik):

Simetri Kristal: Sistem kubik memiliki simetri tinggi. Semua panjang sisi dan sudut antara sisi-sisi dalam mineral kubik adalah sama. Ini menciptakan bentuk kristal dengan wajah-wajah yang berbentuk segi empat sama panjang dan sudut-sudut 90 derajat.

Contoh Mineral: Contoh mineral kubik termasuk galena, pirit, dan kalsit. Kristal berlian juga termasuk dalam sistem kubik.

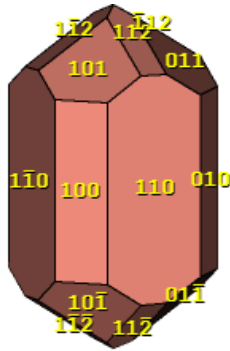


Gambar 2.1. Kristal kubik (Sumber: Mindat.org 2023)

2. Sistem Kristal Tetragonal:

Simetri Kristal: Sistem tetragonal memiliki simetri tinggi dengan panjang dua sisi yang sama dan sudut antara sisi-sisi yang berbentuk segi empat sama panjang adalah 90 derajat, sedangkan panjang sisi ketiga berbeda.

Contoh Mineral: Mineral seperti scheelite dan zirkon memiliki struktur kristal tetragonal.

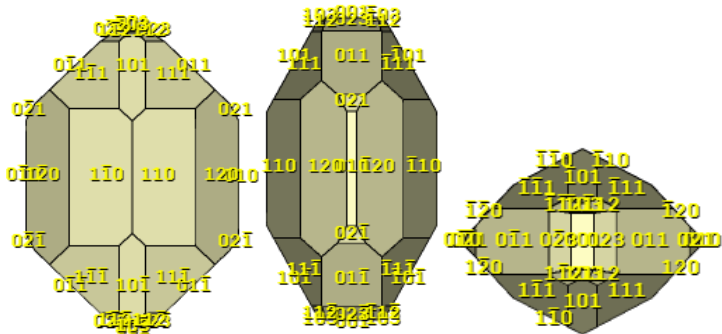


Gambar 2.2 Kristal tetragonal (Sumber: Mindat.org 2023)

3. Sistem Kristal Ortorombik:

Simetri Kristal: Sistem ortorombik memiliki tiga panjang sisi yang berbeda dan sudut antara sisi-sisi yang berbentuk segi empat sama panjang adalah 90 derajat.

Contoh Mineral: Contoh mineral ortorombik meliputi olivin, topaz, dan anhidrit.

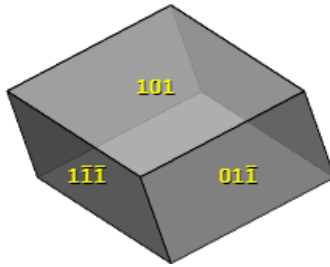


Gambar 2.3 Kristal ortorombik (Sumber: Mindat.org 2023)

4. Sistem Kristal Rombohedral (Trigonal):

Simetri Kristal: Sistem rombohedral memiliki tiga panjang sisi yang sama dan sudut antara sisi-sisi adalah 60 derajat, tetapi tidak ada sudut yang tepat (90 derajat).

Contoh Mineral: Mineral rombohedral termasuk kalsit dan dolomit.



Gambar 2.4 Kristal rombohedral/trigonal (Sumber: Mindat.org 2023)

5. Sistem Kristal Monoklinik:

Simetri Kristal: Sistem monoklinik memiliki tiga panjang sisi yang berbeda dan dua sudut antara sisi-sisi yang berbentuk segi empat sama panjang adalah 90 derajat, sementara sudut ketiga tidak 90 derajat.

Contoh Mineral: Gypsum dan orthoclase adalah contoh mineral monoklinik.

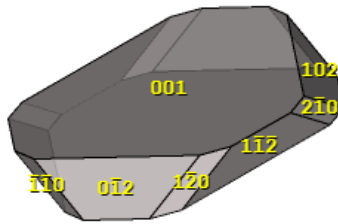


Gambar 2.5 Kristal monoklinik (Sumber: Mindat.org 2023)

6. Sistem Kristal Trigonal (Heksagonal):

Simetri Kristal: Sistem trigonal memiliki tiga panjang sisi yang sama, dengan sudut antara sisi-sisi yang berbentuk segi empat sama panjang adalah 60 derajat.

Contoh Mineral: Kuarsa dan hematit memiliki struktur kristal trigonal.

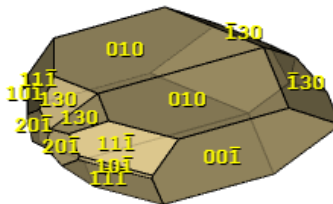


Gambar 2.6 Kristal heksagonal (Sumber: Mindat.org 2023)

7. Sistem Kristal Triklinik:

Simetri Kristal: Sistem triklinik adalah sistem kristal dengan tiga panjang sisi yang berbeda dan tiga sudut yang semuanya berbeda, yaitu tidak ada sudut yang sama atau sudut yang tepat.

Contoh Mineral: Mikroclin dan axinite termasuk dalam sistem triklinik.

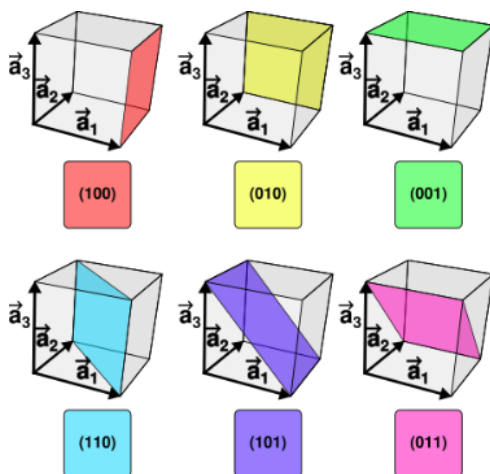


Gambar 2.7 Kristal triklinik (Sumber: Mindat.org 2023)

Bidang Kristal dan Simetri: Kristalografi mineral juga melibatkan studi bidang kristal, yang merupakan bidang imajiner yang memotong kristal dalam berbagai arah. Mineral memiliki tingkat simetri yang berbeda-beda, dan ini memengaruhi bagaimana mineral memecah cahaya, pemisahan kristal, dan sifat optik lainnya. Contohnya, mineral seperti kuarsa dapat memecah cahaya menjadi dua sinar, sementara berlian tidak memiliki sifat pemecahan ini.

Indeks Miller: Indeks *Miller* adalah sistem untuk mengidentifikasi dan menjelaskan orientasi bidang kristal dalam mineral. Ini membantu dalam pemahaman bagaimana mineral akan membelah ketika terkena tekanan atau

cahaya. Indeks *Miller* dinyatakan dalam notasi numerik yang mengacu pada tiga sumbu kristal yang saling tegak lurus.



Gambar 2.8 Perhitungan indeks *Miller*

Pemahaman tentang struktur kimia dan kristalografi mineral adalah kunci dalam mengidentifikasi, mengklasifikasikan, dan memahami sifat-sifat mineral. Hal ini juga penting dalam proses pengolahan mineral karena pengolahan sering kali melibatkan pemisahan mineral berdasarkan sifat-sifat kimia dan fisik mereka. Dalam bab-bab berikutnya, kami akan melanjutkan dengan mendalami bagaimana pengetahuan ini diterapkan dalam praktik pengolahan mineral.

Contoh beberapa kegunaan dari jenis-jenis mineral

1. Mineral Oksida:

Contoh: Magnetit (Fe_3O_4)

Struktur Kimia: Magnetit terdiri dari ion besi (Fe) yang bermuatan positif dan ion oksida (O) yang bermuatan negatif. Struktur magnetit adalah campuran dari ion Fe^{2+} dan Fe^{3+} yang membentuk kristal dengan rumus kimia Fe_3O_4 . Dalam struktur ini, dua ion besi dengan muatan yang berbeda bergabung bersama-sama dengan ion oksida.

Penjelasan: Magnetit adalah salah satu mineral oksida yang penting. Ia memiliki sifat magnetik karena adanya ion besi dengan muatan berbeda dalam struktur kristalnya. Mineral ini sering digunakan sebagai bijih besi dan juga memiliki aplikasi dalam industri magnet, kompas, dan teknologi terkait.



Gambar 2.9 Mineral magnetit (Sumber: Mindat.org 2023)

2. Mineral Sulfida:

Contoh: Galena (PbS)

Struktur Kimia: Galena terdiri dari ion plumbum (Pb) yang bermuatan positif dan ion sulfida (S) yang bermuatan negatif. Struktur galena adalah pola kisi kristal dengan rumus kimia PbS, di mana atom Pb dan atom S terikat bersama dalam susunan berulang-ulang.

Penjelasan: Galena adalah salah satu bijih utama plumbum (timbal). Ia memiliki warna abu-abu kehitaman dan memiliki kilap logam. Galena telah digunakan oleh manusia sejak zaman kuno untuk memperoleh timbal dan digunakan dalam pembuatan baterai, senjata, dan produk-produk logam lainnya.



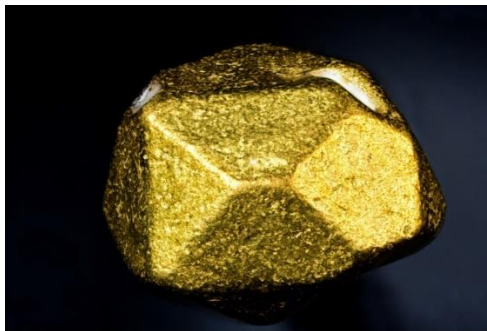
Gambar 2.10 Mineral galena (Sumber: Mindat.org 2023)

3. Mineral Native:

Contoh: Emas (Au)

Struktur Kimia: Mineral emas adalah salah satu mineral native, yang berarti bahwa ia terdiri dari unsur kimia murni tanpa ikatan dengan unsur lain. Struktur kimia emas adalah unsur tunggal dengan simbol Au.

Penjelasan: Emas ditemukan dalam bentuk murni sebagai bijih aluvial atau dalam batuan. Mineral ini memiliki kilap kuning khas dan merupakan salah satu logam berharga yang paling dihargai dalam sejarah manusia untuk pembuatan perhiasan, uang, dan aplikasi teknologi lainnya.



Gambar 2.11 Native emas (Sumber: Mindat.org 2023)

4. Mineral Fosfat:

Contoh: Apatit $[(Ca_5(PO_4)_3(F, Cl, OH))]$

Struktur Kimia: Mineral apatit adalah mineral fosfat yang memiliki rumus kimia kompleks $(Ca_5(PO_4)_3(F, Cl, OH))$. Ini berarti bahwa mineral apatit terdiri dari kation-kation kalsium (Ca^{2+}) yang terikat dengan ion fosfat (PO_4) yang bermuatan negatif. Ion-fluorida (F^-), ion-klorida (Cl^-), atau ion-hidroksil (OH^-) dapat menggantikan ion-fluorida dalam struktur apatit.

Penjelasan: Apatit adalah mineral fosfat yang umum di alam. Ini adalah komponen utama dalam pembentukan batuan fosfat dan juga ditemukan dalam gigi dan tulang vertebrata. Apatit juga digunakan dalam industri pupuk dan dalam produksi fosfor, yang digunakan dalam berbagai aplikasi kimia dan pertanian.



Gambar 2.12 Mineral apatit (Sumber: Mindat.org 2023)

Ini adalah beberapa contoh struktur kimia mineral dari berbagai kelompok mineral. Setiap kelompok mineral memiliki karakteristik kimia dan struktur kristal yang unik, yang mempengaruhi sifat-sifat fisik dan aplikasinya dalam industri dan kehidupan sehari-hari.

2.2. Sifat Fisik Mineral

Sifat fisik mineral adalah karakteristik yang dapat diamati atau diukur tanpa memerlukan perubahan kimia dalam mineral tersebut. Pengetahuan tentang sifat fisik mineral sangat penting dalam mengidentifikasi dan memahami mineral

serta dalam proses pengolahan mineral. Beberapa sifat fisik mineral yang paling umum termasuk:

1. Kekerasan Mineral:

Kekerasan mineral mengukur sejauh mana mineral dapat menahan goresan atau penyikatan oleh benda keras lainnya.

Mineral umumnya diuji menggunakan skala kekerasan Mohs, di mana mineral diberi peringkat dari 1 hingga 10, dengan 1 menjadi mineral yang paling lunak (seperti talk) dan 10 menjadi mineral yang paling keras (seperti berlian).

Tabel 2.1 Skala kekerasan mineral

Mineral	Hardness (lower = softer)	Mineral	Hardness (lower = softer)
Talc	1	Orthoclase	6
Gypsum	2	Kuarsa	7
Calcite	3	Topaz	8
Fluorite	4	Corundum	9
Apatite	5	Diamond	10

Contoh, mineral seperti kuarsa memiliki kekerasan Mohs sekitar 7, sehingga bisa menggores mineral yang memiliki peringkat kekerasan yang lebih rendah.

2. Kepadatan Mineral:

Kepadatan mineral adalah berat per unit volume mineral dan dapat membantu mengidentifikasi mineral berdasarkan karakteristik beratnya.

Kepadatan mineral diukur dalam satuan gram per sentimeter kubik (g/cm^3). Misalnya, galena memiliki kepadatan sekitar $7,5 \text{ g/cm}^3$, yang relatif tinggi dibandingkan dengan banyak mineral lain.

3. Warna Mineral:

Warna mineral adalah tampilan visual mineral ketika dilihat dalam bentuk padat.

Meskipun warna sering digunakan sebagai petunjuk dalam mengidentifikasi mineral, ini bisa tidak cukup akurat karena beberapa mineral dapat memiliki berbagai variasi warna.

Sebagian besar mineral dapat memiliki warna yang bervariasi tergantung pada impuritas atau zat lain yang hadir di dalamnya.

4. Kilap Mineral:

Kilap mineral mengacu pada seberapa bersinar atau berkilau mineral ketika permukaannya menghadap cahaya.

Mineral dapat memiliki kilap yang berbeda, seperti kilap logam, kilap non logam, atau kilap seperti kaca.

Contohnya, berlian memiliki kilap seperti kaca yang sangat tinggi, sementara grafit memiliki kilap yang tumpul.

5. Pemecahan Cahaya:

Pemecahan cahaya adalah kemampuan mineral untuk memecah cahaya saat melewati kristalnya.

Beberapa mineral, seperti kalsit, memiliki sifat pemecahan cahaya yang jelas, menghasilkan efek ganda gambar ketika dilihat melalui kristal.

Pemecahan cahaya bergantung pada struktur kristal mineral dan indeks biasnya.

6. Bentuk Kristal:

Bentuk kristal mengacu pada tampilan fisik mineral ketika mereka tumbuh sebagai kristal. Bentuk kristal dapat sangat bervariasi, seperti kubus, prisma, atau bentuk yang lebih kompleks.

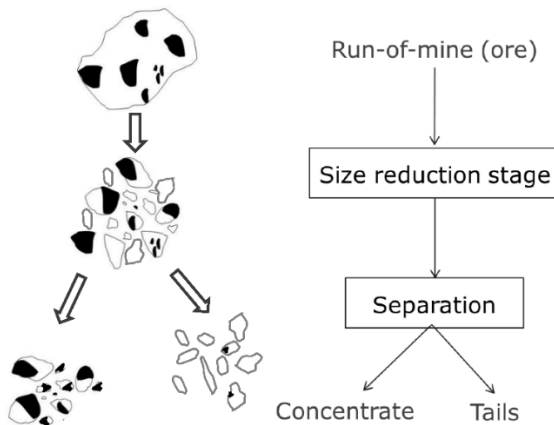
Bentuk kristal dapat memberikan petunjuk tambahan dalam mengidentifikasi mineral.

Sifat fisik mineral adalah alat penting dalam pengidentifikasian mineral dalam lapangan atau dalam laboratorium. Dengan memeriksa sifat-sifat ini, geologis dan mineralogis dapat memperoleh petunjuk yang berguna tentang identitas mineral, yang merupakan langkah awal dalam pengolahan mineral dan pemahaman karakteristik mineral secara lebih mendalam.

BAB III PENGENALAN PROSES KOMINUSI

3.1. Kominusi vs. Benefisiasi

Dalam proses pengolahan mineral, kominusi dan benefisiasi adalah dua tahapan utama yang memiliki peran kunci dalam memproses bijih mineral mentah menjadi produk akhir yang bernilai. Meskipun keduanya terdengar serupa, mereka memiliki tujuan dan metode yang berbeda. Dalam sub-bab ini, kita akan menjelaskan perbedaan antara kominusi dan benefisiasi serta mengapa keduanya penting dalam pengolahan mineral.



Gambar 3.1 Kominusi dan benefisiasi (Sumber: Saramak 2021)

3.1.1. Kominusi:

Definisi: Kominusi adalah tahap awal dalam pengolahan mineral yang melibatkan penghancuran bijih mineral mentah menjadi ukuran yang lebih kecil. Tujuan utama dari kominusi adalah untuk memfasilitasi pemisahan mineral berharga dari batuan pengotor (*gangue*) yang mengelilingi mereka dan meningkatkan luas permukaan butir mineral.

Metode: Kominusi dapat dicapai melalui berbagai teknik seperti penghancuran (*crushing*) dan penggilingan (*grinding*) menggunakan peralatan seperti *jaw crusher*, *cone crusher*, *ball mill*, atau *SAG mill*.

Hasil: Hasil dari kominusi adalah bijih mineral yang telah dipecah menjadi butiran yang lebih kecil. Ukuran butir bijih ini dapat bervariasi tergantung pada persyaratan proses selanjutnya.

3.1.2. Benefisiasi:

Definisi: Benefisiasi adalah tahap berikutnya setelah kominusi yang melibatkan pemisahan mineral berharga dari material pengotor (*gangue*) dan peningkatan kadar mineral berharga dalam bijih. Ini bertujuan untuk menghasilkan konsentrat mineral yang memiliki nilai ekonomi tinggi.

Metode: Benefisiasi melibatkan berbagai teknik seperti flotasi, gravitasi, pemisahan magnetik, dan proses kimia seperti pelindian (*leaching*) atau elektrolisis. Teknik yang digunakan tergantung pada sifat-sifat mineral dan komposisi bijih.

Hasil: Hasil dari benefisiasi adalah konsentrat mineral yang kaya akan mineral berharga, serta limbah atau *tailing* yang mengandung material pengotor. Konsentrat ini dapat digunakan dalam berbagai industri atau diproses lebih lanjut untuk menghasilkan produk akhir.

Perbedaan Utama:

Tujuan: Kominusi bertujuan untuk menghancurkan bijih mineral menjadi ukuran yang lebih kecil, sementara benefisiasi bertujuan untuk memisahkan mineral berharga dari material pengotor dan meningkatkan kualitas mineral.

Metode: Kominusi melibatkan penghancuran fisik bijih, sementara benefisiasi melibatkan teknik pemisahan berdasarkan sifat-sifat kimia atau fisik mineral.

Hasil: Hasil kominusi adalah bijih yang lebih kecil, sedangkan hasil benefisiasi adalah konsentrat mineral yang lebih kaya akan mineral berharga.

Urutan: Kominusi biasanya dilakukan sebelum benefisiasi, karena bijih harus dipecahkan sebelum proses pemisahan dan peningkatan kualitas.

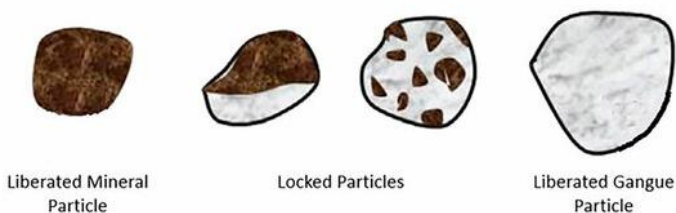
Kominusi dan benefisiasi adalah dua tahapan yang saling melengkapi dalam pengolahan mineral. Kominusi memungkinkan bijih mineral untuk diolah lebih lanjut dalam tahapan benefisiasi, yang pada gilirannya menghasilkan produk akhir yang lebih berkualitas dan bernilai ekonomi tinggi. Keduanya merupakan bagian integral dari industri pertambangan dan pengolahan mineral.

3.2. Tujuan Kominusi

Kominusi adalah tahap awal dalam proses pengolahan mineral, dan memiliki tujuan utama yang sangat penting dalam mengubah bijih mineral mentah menjadi butiran yang lebih kecil. Tujuan-tujuan ini menjelaskan mengapa kominusi sangat diperlukan dalam industri pertambangan dan pengolahan mineral:

1. Memfasilitasi Pemisahan Mineral Berharga dari *Gangue*:

Salah satu tujuan utama kominusi adalah memungkinkan pemisahan mineral berharga dari material pengotor (*gangue*). Mineral berharga seperti emas, perak, atau tembaga sering tertanam dalam batuan pengotor yang mengelilinginya. Dengan menghancurkan bijih menjadi ukuran yang lebih kecil, memungkinkan pemisahan mineral berharga dari *gangue* dengan lebih efektif melalui proses-proses selanjutnya seperti flotasi atau pemisahan gravitasi.



Gambar 3.2 Mineral ter liberasi dari *gangue* (Sumber: Bacchuwar et al. 2020)

2. Meningkatkan Luas Permukaan Butir Mineral:

Kominusi juga meningkatkan luas permukaan butir mineral. Semakin kecil ukuran butir bijih, semakin besar luas permukaan yang terbuka untuk

berinteraksi dengan reagen kimia atau udara dalam proses-proses benefisiasi. Ini memungkinkan reagen kimia untuk lebih efektif mengikat atau mengapungkan mineral berharga.

3. Memfasilitasi Proses Penggilingan dan Penghalusan Selanjutnya:

Setelah kominusi awal, bijih mungkin perlu mengalami tahap-tahap penggilingan (*grinding*) lebih lanjut untuk mencapai ukuran yang diinginkan. Tahap-tahap ini mungkin melibatkan penggunaan *ball mill*, *SAG mill*, atau teknik penggilingan lainnya. Kominusi awal mempersiapkan bijih untuk proses-proses ini.

4. Menghemat Energi dalam Proses Penggilingan:

Dengan menghancurkan bijih menjadi ukuran yang lebih kecil dalam tahap kominusi, proses penggilingan (*grinding*) selanjutnya dapat lebih efisien dan menghemat energi. Bijih yang sudah dipecahkan memerlukan daya yang lebih rendah untuk menggilingnya menjadi ukuran yang lebih halus.

5. Meminimalkan Kerugian selama Transportasi dan Penyimpanan:

Bijih yang dipecahkan menjadi ukuran yang lebih kecil juga lebih mudah diangkut dan disimpan. Ini dapat mengurangi kerugian dan kerusakan selama transportasi dan penyimpanan, mengingat bijih yang besar dan tidak terpecahkan dapat lebih rentan terhadap pecahan atau kerusakan.

6. Mengoptimalkan Efisiensi Operasi Pabrik:

Kominusi yang tepat dapat membantu mengoptimalkan efisiensi operasi pabrik. Dengan memahami sifat fisik bijih dan mengatur ukuran butir yang sesuai, pabrik dapat bekerja lebih efisien dalam menghasilkan konsentrat mineral yang berkualitas tinggi.

Dengan demikian, tujuan kominusi adalah menciptakan bijih mineral dalam bentuk yang lebih sesuai untuk tahap-tahap selanjutnya dalam proses pengolahan

mineral. Hal ini memungkinkan pemisahan mineral berharga dari *gangue*, meningkatkan efisiensi operasi pabrik, dan akhirnya menghasilkan produk mineral yang lebih berkualitas dan bernilai ekonomi tinggi.

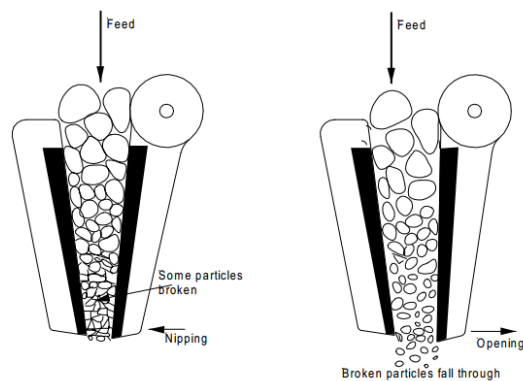
3.3. Teknik-Teknik Kominusi

Teknik-teknik kominusi adalah metode-metode yang digunakan untuk menghancurkan bijih mineral menjadi ukuran yang lebih kecil dalam tahap kominusi. Pilihan teknik kominusi dapat bervariasi tergantung pada jenis bijih, tujuan pengolahan, dan karakteristik operasional. Berikut adalah beberapa teknik kominusi yang umum digunakan:

1. Penghancuran (*Crushing*):

Deskripsi: Penghancuran adalah teknik kominusi yang menggunakan tekanan mekanis untuk menghancurkan bijih menjadi ukuran yang lebih kecil. Ini dapat mencakup penggunaan *jaw crusher*, *gyratory crusher*, *cone crusher*, atau *impact crusher*.

Aplikasi: Penghancuran digunakan ketika bijih awal memiliki ukuran yang besar dan perlu dipecahkan menjadi ukuran yang lebih kecil sebelum melanjutkan ke tahap benefisiasi. Ini umumnya digunakan untuk bijih keras seperti bijih emas, bijih besi, dan bijih tembaga.

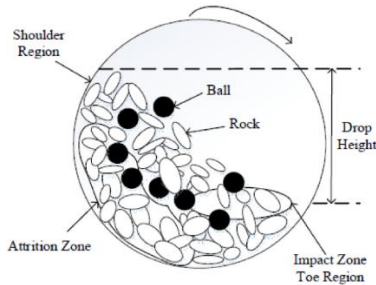


Gambar 3.3 Proses *crushing* mineral (Sumber: Michaud 2015)

2. Penggilingan (*Grinding*):

Deskripsi: Penggilingan adalah teknik kominusi yang melibatkan penggunaan peralatan seperti *ball mill*, *SAG mill*, atau *rod mill* untuk menghancurkan bijih menjadi ukuran yang lebih kecil dengan bantuan bola atau batang baja yang berputar dalam tabung.

Aplikasi: Penggilingan digunakan untuk menghaluskan bijih yang telah dihancurkan melalui tahap penghancuran. Ini diperlukan untuk mencapai ukuran butir yang lebih halus sebelum proses-proses benefisiasi seperti flotasi.



Gambar 3.4 Proses *grinding* mineral (Sumber: Wang et al. 2020)

3. Pemecahan (*Comminution*):

Deskripsi: Pemecahan adalah istilah umum yang mencakup baik penghancuran maupun penggilingan. Ini adalah tahap umum dalam pengolahan mineral yang bertujuan mengurangi ukuran butir bijih menjadi ukuran yang lebih kecil.

Aplikasi: Pemecahan digunakan dalam berbagai situasi dalam pengolahan mineral, dari tahap awal penghancuran hingga tahap penggilingan halus. Metode yang digunakan akan bergantung pada persyaratan spesifik bijih dan proses pengolahan.

4. Pemotongan (*Cutting*):

Deskripsi: Pemotongan adalah teknik kominusi yang melibatkan penggunaan pisau atau gigi pemotong untuk memotong bijih menjadi ukuran yang lebih kecil.

Aplikasi: Teknik ini umumnya digunakan dalam pengolahan mineral untuk bijih yang lebih lembut atau elastis, seperti bijih garam atau bijih gipsum.

5. Pemecahan Tertekan (*Compression Crushing*):

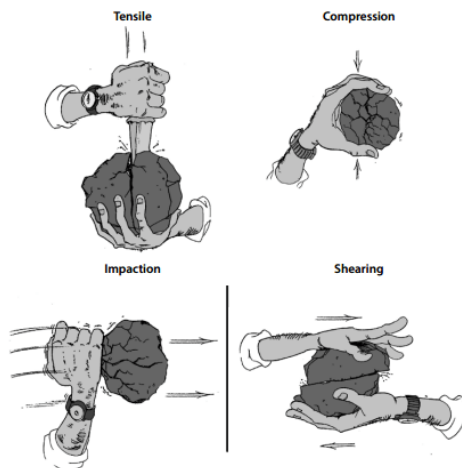
Deskripsi: Pemecahan tertekan adalah metode penghancuran yang melibatkan penggunaan tekanan eksternal untuk menghancurkan bijih antara dua permukaan padat. Contoh peralatan yang digunakan termasuk *jaw crusher* dan *gyratory crusher*.

Aplikasi: Teknik ini umum digunakan dalam penghancuran bijih yang keras dan tahan aus, seperti bijih granit atau batu kapur.

6. Pemecahan *Impact* (*Impact Crushing*):

Deskripsi: Pemecahan *impact* adalah metode penghancuran yang menggunakan energi kinetik untuk memecahkan bijih melalui tumbukan dengan benda keras seperti palu atau rotor berputar.

Aplikasi: Pemecahan *impact* sering digunakan dalam penghancuran bijih seperti bijih fosfat atau bijih batu bara.



Gambar 3.5 Perbedaan teknik kominusi (Sumber: Michaud 2015)

Pilihan teknik kominusi yang tepat sangat penting dalam pengolahan mineral karena dapat mempengaruhi efisiensi, konsumsi energi, dan kualitas produk akhir. Penggunaan teknik kominusi yang sesuai akan memastikan bahwa bijih

diolah dengan efisien dan menghasilkan kualitas konsentrat yang diinginkan untuk tahap-tahap selanjutnya dalam proses pengolahan mineral.

BAB IV PERALATAN DAN MESIN KOMINUSI

4.1. *Crusher*

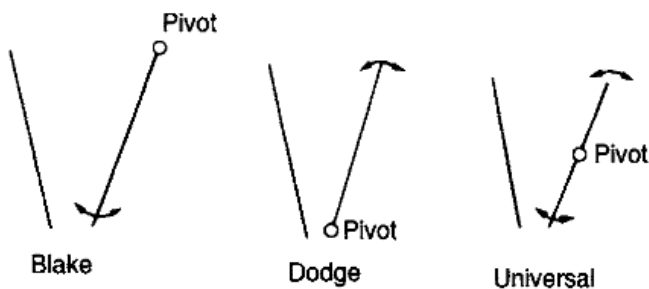
Crusher adalah peralatan yang digunakan dalam proses penghancuran atau pemecahan bijih mineral menjadi ukuran yang lebih kecil. Peralatan ini memiliki peran penting dalam tahap kominusi dan pengolahan mineral. Ada berbagai jenis *crusher* yang digunakan tergantung pada jenis bijih, ukuran butir yang diinginkan, dan tujuan pengolahan. Berikut adalah penjelasan lebih lanjut tentang *crusher*:

Jenis-jenis *Crusher*:

4.1.1. *Jaw Crusher*:

Deskripsi: *Jaw crusher* adalah tipe *crusher* yang paling umum digunakan dalam penghancuran primer. Ini memiliki dua rahang (*jaw*) yang bergerak, satu di antaranya tetap dan yang lainnya bergerak ke depan dan ke belakang. Material bijih dimasukkan ke dalam rongga di antara dua rahang dan dihancurkan saat rahang bergerak satu sama lain.

Aplikasi: *Jaw crusher* cocok untuk menghancurkan bijih keras dan menengah seperti bijih besi, bijih tembaga, dan granit.



Gambar 4.1 Klasifikasi *jaw crusher* berdasarkan pergerakan rahangnya (Sumber: Napier-Munn 2005)

Prinsip Kerja *Jaw Crusher*:

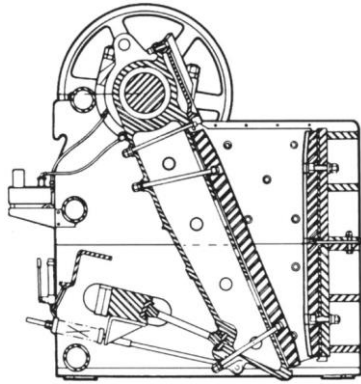
- Bahan yang akan dihancurkan dimasukkan melalui hopper ke dalam rongga antara rahang tetap dan rahang bergerak.
- Ketika motor penggerak diaktifkan, lengan eksentrik mulai berputar, yang kemudian menggerakkan rahang bergerak maju-mundur.
- Bahan dihancurkan ketika rahang bergerak mendekat satu sama lain selama fase kompresi dan ketika mereka menjauh satu sama lain selama fase pengurangan.
- Ukuran hasil akhir dari penghancuran ditentukan oleh jarak antara dua rahang selama fase pengurangan. Jarak ini dapat diatur menggunakan perangkat pengaturan jika tersedia.
- Aplikasi *Jaw Crusher*:
- *Jaw crusher* digunakan untuk menghancurkan berbagai jenis bahan, termasuk bijih mineral, batu, batu kapur, granit, beton, kerikil, dan banyak lagi.
- Ini digunakan dalam berbagai industri, termasuk pertambangan, konstruksi, metalurgi, industri kimia, dan lain-lain.

Keuntungan *Jaw Crusher*:

- Mudah dalam perawatan dan pemeliharaan.
- Mampu menghancurkan bahan keras dengan efisien.
- Menghasilkan partikel dengan bentuk yang seragam.

Keterbatasan *Jaw Crusher*:

- Tidak cocok untuk menghancurkan bahan yang sangat keras atau tahan aus.
- Kapasitas penghancuran terbatas oleh ukuran rongga antara rahang.

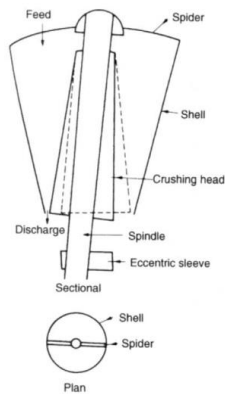


Gambar 4.2 *Cross section* dari sebuah *jaw crusher* (Sumber: Napier-Munn 2005)

4.1.2. *Gyratory Crusher:*

Deskripsi: *Gyratory crusher* adalah tipe *crusher* yang memiliki rahang berbentuk kerucut yang berputar. Ini memberikan hasil hancuran yang lebih seragam daripada *jaw crusher*, dan sering digunakan dalam penghancuran primer.

Aplikasi: *Gyratory crusher* biasanya digunakan untuk bijih keras seperti bijih emas atau bijih tembaga.



Gambar 4.3 Komponen *gyratory crusher* (Sumber: Napier-Munn 2005)

Prinsip Kerja *Gyratory Crusher:*

- Bahan mentah dimasukkan melalui bukaan (*feed inlet*) ke dalam rongga di antara mantel pemecah dan concave liners.

- Ketika motor listrik diaktifkan, lengan eksentrik berputar, yang pada gilirannya menggerakkan kepala *gyratory crusher*.
- Saat kepala berputar, bahan mentah dihancurkan saat berinteraksi dengan mantel pemecah. Ini terjadi karena bahan dijepit di antara mantel pemecah dan *concave liners* selama putaran kepala.
- Hasil akhir dari penghancuran adalah ukuran yang lebih kecil dan seragam dari bahan mentah yang dimasukkan.
- Ukuran hasil akhir dapat diatur dengan mengatur jarak antara kepala dan mantel, yang dapat dilakukan dengan mengganti *liner* atau dengan menggunakan perangkat pengaturan jika tersedia.

Aplikasi *Gyratory Crusher*:

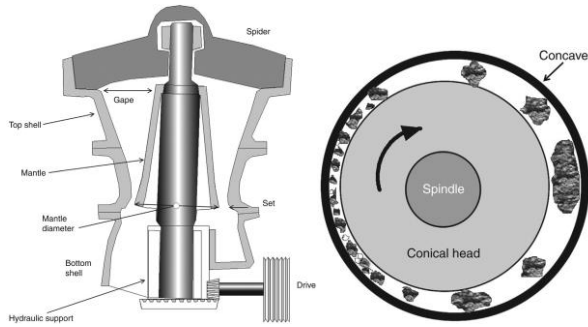
- *Gyratory crusher* sering digunakan sebagai *primary crusher* dalam penghancuran bijih mineral, seperti bijih tembaga, bijih besi, bijih emas, dan bijih logam lainnya.
- Ini juga digunakan dalam industri pertambangan batu bara, konstruksi, dan industri yang membutuhkan penghancuran dengan kapasitas besar.

Keuntungan *Gyratory Crusher*:

- Dapat menghancurkan bahan dengan ukuran besar dan keras dengan efisien.
- Memiliki kapasitas penghancuran yang tinggi dan dapat menghancurkan bahan dengan laju aliran tinggi.

Keterbatasan *Gyratory Crusher*:

- *Gyratory crusher* memiliki ukuran fisik yang besar dan memerlukan ruang yang lebih besar untuk instalasi.
- Perawatan dan pemeliharaan mungkin memerlukan waktu dan biaya yang signifikan.

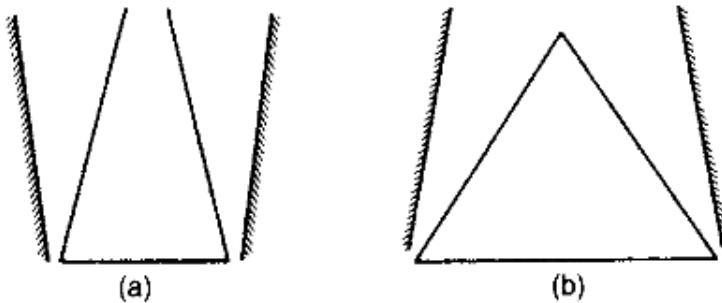


Gambar 4.4 *Cross section gyratory crusher* (Sumber: Gupta and Yan 2016)

4.1.3. *Cone Crusher:*

Deskripsi: *Cone crusher* menggunakan kerucut yang bergerak ke dalam dan ke luar untuk menghancurkan bijih. Ini sering digunakan dalam penghancuran sekunder atau tersier.

Aplikasi: *Cone crusher* cocok untuk menghancurkan bijih menengah hingga keras seperti bijih besi, bijih tembaga, dan bijih batu bara.



Gambar 4.5 Perbedaan antara (a) *Gyratory crusher* dan (b) *Cone crusher* (Sumber: Napier-Munn 2005)

Prinsip Kerja *Cone Crusher*:

- Bahan mentah dimasukkan melalui bukaan (*feed inlet*) ke dalam rongga di antara mantel dan kerucut bagian dalam.

- Ketika motor listrik diaktifkan, poros pusat mulai berputar, yang pada gilirannya menggerakkan mantel.
- Saat mantel bergerak maju-mundur, bahan dihancurkan saat berinteraksi dengan permukaan penghancuran yang terdiri dari mantel dan kerucut bagian dalam.
- Hasil akhir dari penghancuran adalah ukuran yang lebih kecil dan seragam dari bahan mentah yang dimasukkan.
- Ukuran hasil akhir dapat diatur dengan mengatur jarak antara mantel dan kerucut bagian dalam, yang dapat dilakukan dengan mengganti *liner* atau dengan menggunakan perangkat pengaturan jika tersedia.

Aplikasi *Cone Crusher*:

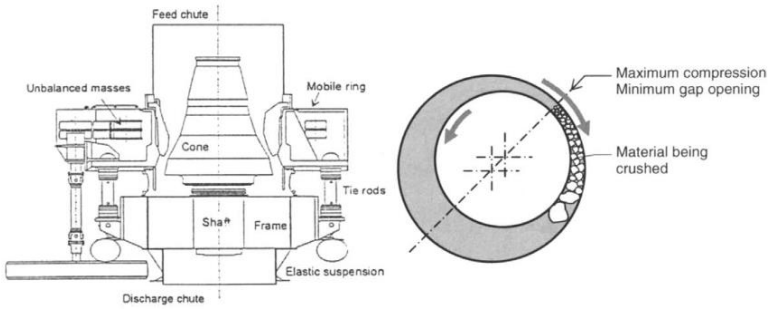
- *Cone crusher* digunakan dalam berbagai industri, termasuk pertambangan, metalurgi, konstruksi, industri kimia, dan banyak lagi.
- Ini sering digunakan sebagai *primary crusher* untuk menghancurkan bahan mentah yang lebih besar sebelum penghancuran sekunder atau tersier.

Keuntungan *Cone Crusher*:

- Dapat menghancurkan bahan dengan efisien dalam berbagai ukuran dan tingkat kekerasan.
- Menghasilkan partikel dengan bentuk yang seragam.

Keterbatasan *Cone Crusher*:

- Tidak cocok untuk menghancurkan bahan yang sangat keras atau tahan aus.
- Kapasitas penghancuran terbatas oleh ukuran rongga antara mantel dan kerucut bagian dalam.

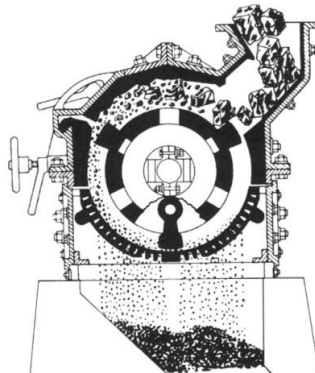


Gambar 4.6 *Cross section cone crusher* (Sumber: Napier-Munn 2005)

4.1.4. Impact Crusher:

Deskripsi: *Impact crusher* menggunakan tumbukan dengan benda keras seperti palu atau rotor berputar untuk menghancurkan bijih. Ini sering digunakan dalam penghancuran sekunder atau tersier.

Aplikasi: *Impact crusher* sering digunakan dalam penghancuran bijih seperti bijih fosfat atau bijih batu kapur.



Gambar 4.7 *Hammer mill* sebagai salah satu contoh *impact crusher* (Sumber: Napier-Munn 2005)

Prinsip Kerja *Impact Crusher*:

- Bahan yang akan dihancurkan dimasukkan melalui bukaan ke dalam rongga penghancuran.

- Rotor berputar dengan kecepatan tinggi, dan palu-palu penghancur yang terpasang pada rotor bergerak dengan gaya sentrifugal.
- Ketika bahan bertabrakan dengan palu-palu penghancur, energi dampak yang tinggi dihasilkan, menyebabkan penghancuran bahan.
- Hasil akhir dari penghancuran adalah ukuran yang lebih kecil dan seragam dari bahan mentah yang dimasukkan.
- Ukuran hasil akhir dapat diatur dengan mengatur jarak antara palu-palu penghancur dan lapisan pelindung, yang dapat dilakukan dengan menggunakan sistem pengaturan jika tersedia.

Aplikasi Impact Crusher:

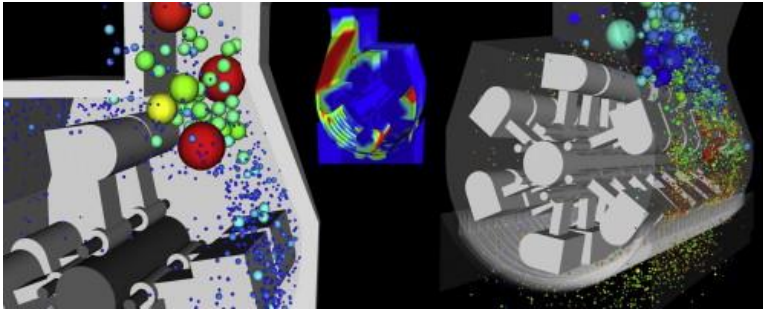
- *Impact crusher* digunakan untuk menghancurkan batu, batu kapur, beton, dan material keras lainnya.
- Ini sering digunakan dalam industri konstruksi untuk menghancurkan material bangunan bekas dan limbah konstruksi.
- Juga digunakan dalam pertambangan untuk menghancurkan bijih mineral seperti bijih emas, bijih tembaga, dan lain-lain.

Keuntungan Impact Crusher:

- Dapat menghancurkan bahan dengan cepat dan efisien dengan energi dampak tinggi.
- Cocok untuk menghancurkan material keras yang mungkin sulit dihancurkan oleh peralatan lain.

Keterbatasan Impact Crusher:

- Tidak selalu cocok untuk menghancurkan bahan yang sangat tahan aus atau tahan panas.
- Hasil akhir mungkin memiliki bentuk yang kurang seragam dibandingkan dengan peralatan penghancuran lainnya.

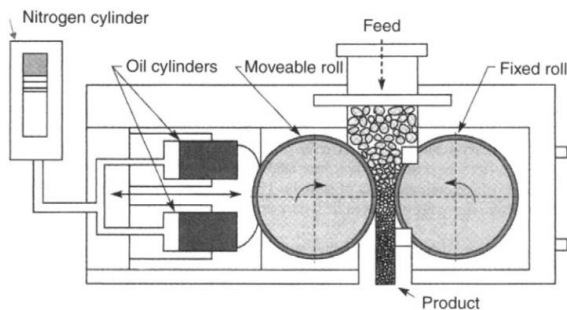


Gambar 4.7 Profil bahan yang dimasukkan ke dalam *hammer mill* (Sumber: Sinnott and Cleary 2015)

4.1.5. *Roll Crusher*:

Deskripsi: *Roll crusher* menggunakan dua *roll* berputar yang berlawanan arah untuk menghancurkan bijih antara mereka. Ini menghasilkan hancuran dengan ukuran yang seragam.

Aplikasi: *Roll crusher* sering digunakan untuk menghancurkan bijih seperti bijih garam atau bijih fosfat.



Gambar 4.8 *Roll crusher* (Sumber: Napier-Munn 2005)

Prinsip Kerja *Roll Crusher*:

- Bahan yang akan dihancurkan dimasukkan melalui bukaan ke dalam rongga di antara dua rol.
- Rol bergerak berputar, sedangkan rol tetap tidak bergerak.
- Saat bahan melewati rongga di antara dua rol, tekanan besar diterapkan padanya karena rol bergerak meremas atau menggilas bahan tersebut.

- Hasil akhir dari penghancuran adalah ukuran yang lebih kecil dan seragam dari bahan mentah yang dimasukkan.
- Ukuran hasil akhir dapat diatur dengan mengatur jarak antara dua rol, yang dapat dilakukan dengan menggunakan sistem pengaturan jika tersedia.

Aplikasi *Roll Crusher*:

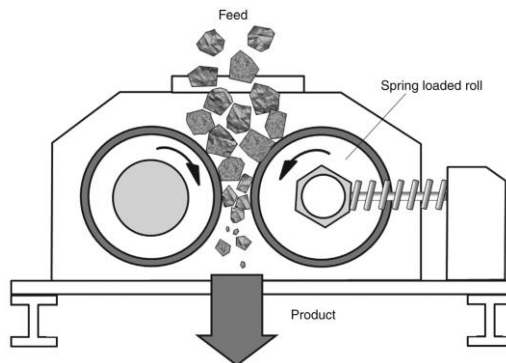
- *Roll crusher* digunakan dalam berbagai industri, terutama dalam penghancuran batu bara, bijih mineral, batu, dan material keras lainnya.
- Ini sering digunakan dalam pertambangan untuk menghancurkan bijih mineral sebelum proses pengolahan selanjutnya.

Keuntungan *Roll Crusher*:

- Dapat menghancurkan bahan dengan efisien dalam berbagai ukuran dan tingkat kekerasan.
- Menghasilkan partikel dengan bentuk yang seragam.

Keterbatasan *Roll Crusher*:

- *Roll crusher* mungkin kurang efektif dalam menghancurkan bahan yang sangat keras atau tahan aus.
- *Roll crusher* cenderung memproduksi lebih banyak material halus atau serbuk dibandingkan dengan beberapa jenis peralatan penghancuran lainnya.

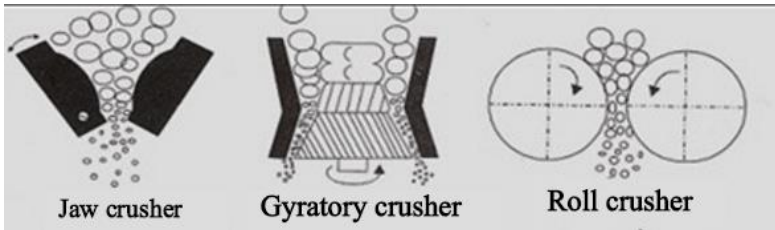


Gambar 4.9 Diagram skematis *roll crusher* (Sumber: Gupta and Yan 2016)

Fungsi dan Aplikasi *Crusher*:

Crusher digunakan untuk mengubah ukuran bijih mineral menjadi ukuran yang sesuai untuk tahap-tahap selanjutnya dalam pengolahan mineral, seperti penggilingan (*grinding*) atau proses pemisahan.

Mereka juga digunakan untuk mempersiapkan bijih sebelum pengangkutan, penyimpanan, atau pengiriman.



Gambar 4.10 Contoh beberapa jenis *crusher* (Sumber: Michaud 2015)

Pemilihan jenis *crusher* yang tepat tergantung pada sifat bijih, ukuran butir yang diinginkan, dan persyaratan pengolahan khusus.

Pemahaman tentang berbagai jenis *crusher* dan bagaimana mereka berfungsi adalah penting dalam industri pertambangan dan pengolahan mineral. Pemilihan dan penggunaan *crusher* yang tepat dapat berdampak signifikan pada efisiensi dan produktivitas dalam proses pengolahan mineral.

4.2. *Grinder*

Grinder adalah peralatan yang digunakan dalam tahap penggilingan (*grinding*) dalam proses pengolahan mineral. Peralatan ini bertujuan mengubah bijih mineral yang telah dihancurkan menjadi ukuran yang lebih kecil dan halus, sehingga mempersiapkannya untuk tahapan selanjutnya dalam proses pengolahan. Berikut adalah penjelasan lebih rinci tentang *grinder*:

Deskripsi *Grinder*:

Grinder adalah peralatan yang umumnya menggunakan bola atau batang baja yang bergerak dalam tabung untuk menghancurkan dan menggiling bijih mineral

menjadi butiran yang lebih halus. *Grinder* dapat beroperasi dalam keadaan basah atau kering, tergantung pada kebutuhan proses.

Prinsip Kerja:

Pengisian Bahan: Biji mineral yang telah dihancurkan dari tahap kominusi sebelumnya dimasukkan ke dalam *grinder* bersama dengan media penggilingan seperti bola atau batang baja. Media ini akan menggiling bijih saat bergerak dalam tabung.

Penggilingan: Saat *grinder* berputar, media penggilingan akan menghancurkan bijih secara bertahap. Efek gesekan dan tumbukan antara media penggilingan dan bijih menghasilkan pengurangan ukuran butir bijih.

Pengeluaran Produk: Produk hasil penggilingan akan keluar melalui bagian bawah *grinder*, dan ukuran butirnya akan tergantung pada ukuran bukaan keluaran dan waktu penggilingan.

Jenis-jenis *Grinder*:

Ball Mill:

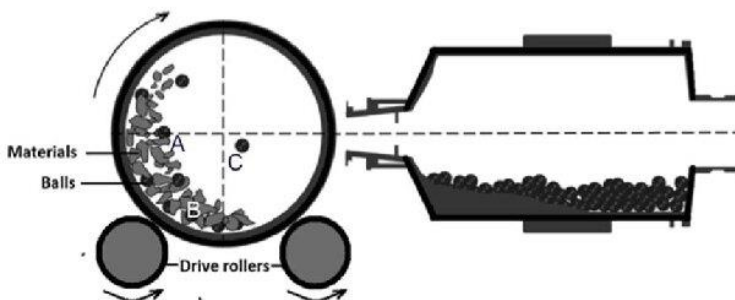
Ball mill adalah *grinder* yang menggunakan bola baja sebagai media penggilingan. Ini sangat umum digunakan dalam industri pertambangan dan pengolahan mineral.

Ball mill dapat beroperasi dalam keadaan basah atau kering dan dapat digunakan untuk menggiling bijih keras maupun bijih yang lebih lembut.

Ball mill adalah peralatan yang digunakan dalam proses penggilingan (*grinding*) dalam industri pengolahan mineral, metalurgi, kimia, dan industri terkait lainnya. Peralatan ini berfungsi untuk menghancurkan bijih mineral atau bahan lainnya menjadi butiran yang lebih kecil dengan menggunakan bola baja sebagai media penggilingan.

Komponen *Ball Mill*:

- Tabung (*Cylinder*): *Ball mill* memiliki tabung berbentuk silinder yang terbuat dari baja atau bahan lain yang tahan aus. Tabung ini biasanya berputar pada poros horizontal.
- Media Penggilingan (*Grinding Media*): Media penggilingan dalam *ball mill* biasanya berupa bola-bola baja atau batang-batang baja. Ukuran dan jenis media penggilingan dapat bervariasi tergantung pada tujuan penggilingan dan sifat bijih yang diolah.
- Bukaan Masuk (*Feed Inlet*): Ini adalah tempat dimasukkannya bijih atau bahan yang akan digiling ke dalam *ball mill*.
- Bukaan Keluar (*Discharge Outlet*): Produk akhir dari penggilingan keluar dari *ball mill* melalui bukaan ini.
- *Drive Unit*: *Ball mill* dilengkapi dengan *drive unit* yang menggerakkan tabung berputar. *Drive unit* ini bisa berupa motor listrik, *gearbox*, dan perangkat lainnya.



Gambar 4.2 *Ball mill* (Sumber: Alves et al. 2017)

SAG Mill (*Semi-autogenous Grinding Mill*):

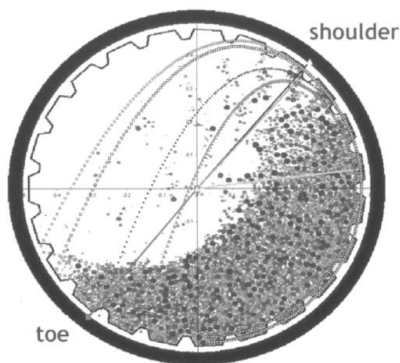
SAG mill adalah *grinder* yang sering digunakan dalam penggilingan bijih yang sangat keras. Ini menggabungkan penghancuran dan penggilingan dalam satu peralatan.

SAG mill menggunakan bola baja dan bagian dari bijih itu sendiri sebagai media penggilingan.

SAG mill, atau *Semi-autogenous Grinding Mill*, adalah jenis peralatan penggilingan yang digunakan dalam industri pertambangan dan pengolahan mineral. Ini adalah varian dari *ball mill* yang lebih besar dan lebih kuat. Nama "*semi-autogenous*" merujuk pada kenyataan bahwa *SAG mill* menggunakan campuran bola-bola baja dan sebagian bijih itu sendiri sebagai media penggilingan. Berikut adalah penjelasan lebih rinci tentang *SAG mill*:

Komponen *SAG Mill*:

- Tabung (*Cylinder*): *SAG mill* memiliki tabung berbentuk silinder yang biasanya lebih besar dan lebih panjang daripada *ball mill*. Tabung ini terbuat dari baja tahan aus dan biasanya berputar pada poros horizontal.
- Media Penggilingan (*Grinding Media*): Selain bola-bola baja yang digunakan dalam *ball mill*, *SAG mill* juga menggunakan sebagian bijih itu sendiri sebagai media penggilingan. Ini dapat mengurangi konsumsi bola baja dan mengoptimalkan proses penggilingan.
- Bukaan Masuk (*Feed Inlet*): Seperti *ball mill*, *SAG mill* memiliki bukaan masuk tempat bijih atau bahan yang akan digiling dimasukkan ke dalamnya.
- Bukaan Keluar (*Discharge Outlet*): Produk akhir dari penggilingan keluar dari *SAG mill* melalui bukaan ini.
- *Drive Unit*: Seperti *ball mill*, *SAG mill* juga dilengkapi dengan *drive unit*, seperti motor listrik dan *gearbox*, yang menggerakkan tabung berputar.



Gambar 4.3 *SAG mill* (Sumber: Royston 2007)

Keuntungan SAG Mill:

- SAG mill memiliki kapasitas penggilingan yang lebih besar daripada ball mill, sehingga dapat menggiling lebih banyak bijih dalam waktu yang lebih singkat.
- Menggunakan sebagian bijih itu sendiri sebagai media penggilingan dapat mengurangi biaya operasional dan konsumsi bola baja.

Rod Mill:

Rod mill menggunakan batang baja panjang sebagai media penggilingan. Ini sering digunakan dalam penggilingan bijih yang lebih keras dan memiliki ukuran butir yang lebih kasar.

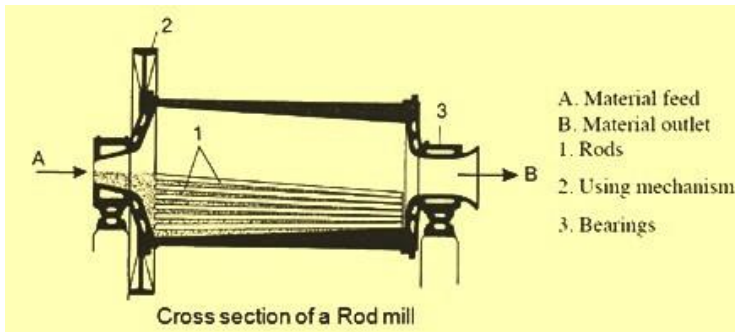
Rod mill juga dapat beroperasi dalam keadaan basah atau kering.

Rod mill, juga dikenal sebagai pemecah batang, adalah jenis peralatan penggilingan yang digunakan dalam industri pertambangan dan pengolahan mineral. Peralatan ini sering digunakan dalam penggilingan bijih dengan ukuran butir kasar. Rod mill menggunakan batang baja panjang sebagai media penggilingan dan beroperasi dengan prinsip penghancuran oleh tumbukan dan gesekan. Berikut adalah penjelasan lebih rinci tentang rod mill:

Komponen Rod Mill:

- Tabung (*Cylinder*): Rod mill memiliki tabung berbentuk silinder yang terbuat dari baja tahan aus. Tabung ini biasanya lebih panjang daripada ball mill tetapi lebih pendek daripada SAG mill. Tabung ini berputar pada poros horizontal.
- Media Penggilingan (*Grinding Media*): Rod mill menggunakan batang-batang baja panjang sebagai media penggilingan. Batang-batang ini biasanya memiliki diameter yang lebih kecil daripada bola-bola baja yang digunakan dalam ball mill.

- *Bukaan (Feed Inlet)*: Seperti pada peralatan penggilingan lainnya, bijih atau bahan yang akan digiling dimasukkan melalui bukaan.
- *Bukaan Keluaran (Discharge Outlet)*: Produk akhir dari penggilingan keluar dari rod mill melalui bukaan ini.
- *Drive Unit*: Rod mill dilengkapi dengan *drive* unit yang menggerakkan tabung berputar. *Drive* unit ini dapat berupa motor listrik dan *gearbox*.



Gambar 4.4 Rod mill (Sumber: David 2017)

Keuntungan Rod Mill:

- Rod mill lebih efisien dalam menggiling bijih kasar daripada *ball mill* atau *SAG mill*.
- Batang-batang baja yang digunakan sebagai media penggilingan memiliki tingkat aus yang rendah.

Aplikasi Grinder:

Grinder umumnya digunakan dalam penggilingan bijih mentah setelah tahap kominusi, seperti penghancuran oleh *jaw crusher* atau *gyratory crusher*.

Hasil penggilingan dari *grinder* adalah konsentrat mineral yang memiliki ukuran butir yang lebih halus, yang lebih cocok untuk proses pemisahan dan benefisiasi berikutnya.

Grinder memiliki peran kunci dalam mengubah bijih mineral menjadi ukuran yang lebih halus dan siap untuk tahapan selanjutnya dalam pengolahan mineral.

Penggunaan *grinder* yang tepat dapat mempengaruhi efisiensi proses dan kualitas produk akhir yang dihasilkan.

BAB V SAMPLING

Persiapan Sampel Mineral (Sampling) adalah tahap penting dalam proses pengujian analisis mineral. Tujuan preparasi sampel umumnya adalah untuk produksi sub-sampel yang homogen, dan representatif yang akan diteruskan ke laboratorium pengujian. Persiapan yang benar sangat penting untuk mendapatkan hasil analisis yang akurat. Sangat penting untuk memisahkan setidaknya 5% dari total berat ore sebagai sampel utama yang diperlukan untuk akurasi yang dapat diterima

5.1. *Moisture Sampling*

Perhitungan metalurgi memerlukan informasi yang akurat mengenai total massa kering dari material yang akan diolah, material yang diambil dari lokasi penambangan mungkin masih mengandung *moisture* yang akan mempengaruhi proses pengolahan selanjutnya. Idealnya, sampel *moisture* dan sampel *assay* (siap uji) harus disiapkan dari jumlah bahan yang sama, keduanya diambil dari titik pengambilan sampel yang sama. Dengan penanganan yang tepat, kesalahan akibat pembasahan atau pengeringan berikutnya dapat dikurangi hingga tingkat yang sangat rendah.

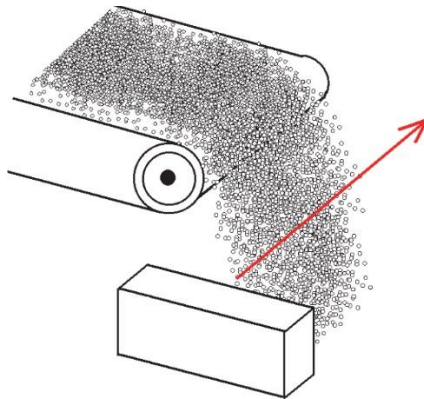
Dengan metode ini, sejumlah kecil material dipilih secara acak dari berbagai titik di sampel *bulk*, yang sebelumnya sudah di *mixing*. Sampel diambil dengan berat tertentu kemudian di taruh di dalam wadah tertutup. Berat *moisture* dapat diekspresikan sebagai berikut:

$$\%moisture = \frac{\text{berat basah} - \text{berat kering}}{\text{berat basah}} \times 100$$

Pengolahan selanjutnya adalah pengeringan material. Namun, temperatur pengeringan harus tidak terlalu tinggi yang bisa menyebabkan properti fisik dan kimia dari mineral-mineral nya. Contohnya mineral-mineral sulfida akan kehilangan sulfur dioksida jika dipanaskan pada temperatur lebih dari 105°C.

5.2. Assay Sampling

Sampling merupakan kegiatan untuk mengambil sejumlah kecil material dari tumpukan material yang akan diolah. Sampel yang diambil tersebut harus dapat merepresentasikan secara akurat dari total material yang akan diolah. Pada praktiknya, metode paling akurat untuk meminimalisir perubahan dalam aliran umpan pengolahan mineral seperti ukuran partikel yang bervariasi, pengendapan dalam sampel pulp dll. adalah dengan melakukan sampling material pada saat masih berada pada suatu aliran ketika material sedang dalam gerakan jatuh bebas (*free fall discharge*), kemudian dilakukan *cutting*/pengambilan sampel secara berkala pada saat itu. Teknik sampling ini tersaji pada Gambar 5.1.



Gambar 5.1 *Free fall discharge sampling*

Sampling bergantung pada probabilitas, dan semakin sering pengulangan proses sampling maka semakin akurat data dari material yang didapat. Persamaan berikut menunjukkan kebutuhan sampel untuk memberikan derajat keakuratan yang ditentukan.

$$\frac{ML}{L - M} = \frac{Cd^3}{s^2}$$

Dimana M = berat minimum sampel yang dibutuhkan untuk sampling (g), L = berat kotor dari material yang akan disampling (g), C = konstanta sampling

untuk material tertentu (g/cm^3), d = dimensi dari material paling besar yang ada pada sampel (cm), dan s = statistik eror. Statistik eror proses sampling dapat ditentukan dengan persamaan berikut.

$$S_f^2 = s^2 + s_s^2 + s_a^2$$

Dimana s_s (sampling) dan s_a (assay). Sedangkan konstanta sampling bervariasi untuk setiap material, bergantung pada konten mineral dan derajat kebebasannya.

$$C = f g l m$$

Dimana f = shape faktor (0.5 untuk gold), g = faktor yang bergantung pada rentang ukuran partikel, l = faktor liberasi, yang memiliki nilai 0 untuk material yang homogen dan 1 untuk heterogen, faktor liberasi bervariasi untuk masing-masing sampel. Jika 95% berat sampel mengandung partikel dengan ukuran lebih kecil dari d cm, dan 95% lebih besar dari d' cm, maka.

$$d/d' > 4 \quad g = 0.25$$

$$d/d' \text{ pada rentang } 2-4 \quad g = 0.5$$

$$d/d' < 2 \quad g = 0.75$$

$$d/d' = 1 \quad g = 1$$

$$l = \left(\frac{L}{d}\right)^{1/2}$$

d/L	<1	1-4	4-10	10-40	40-100	100-400	>400
l	1	0.8	0.4	0.2	0.1	0.05	0.02

Sedangkan m = komposisi mineral yang dapat dihitung dari persamaan berikut.

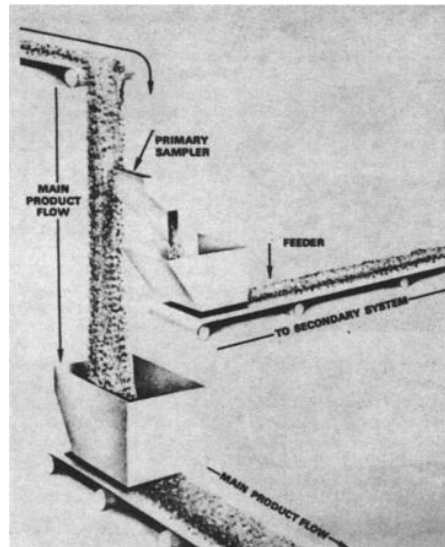
$$m = \frac{1-a}{a} [(1-a)r + at]$$

Dimana r dan t adalah densitas rata-rata dari mineral, a = fraksi rata-rata dari konten mineral

5.3. Sistem Sampling

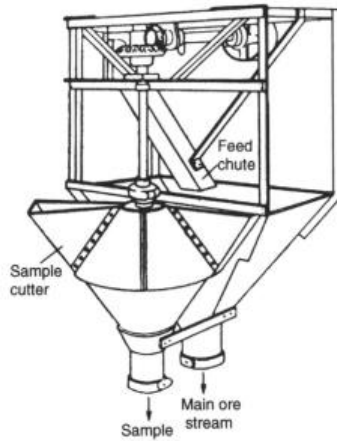
Kebanyakan sistem sampling otomatis beroperasi dengan menggerakkan peralatan secara teratur untuk mengoleksi / mengambil sampel yang berada pada keadaan jatuh bebas dari belt / pipa. Sangat penting untuk :

- Permukaan dari peralatan pengkoleksi (*sampler*) sampel berada pada sudut yang tepat
- Peralatan pengkoleksi dapat mencakup seluruh aliran
- Bergerak dengan kecepatan yang konstan
- Peralatan harus cukup besar untuk menyapu sampel



Gambar 5.2 Sistem sampling secara umum

Semua sistem sampling memerlukan sampler utama atau *cutter*, dan sebuah sistem untuk mengangkat material yang disampling ke sebuah lokasi untuk proses *crushing* dan ke divisi sampling lebih lanjut. Terdapat banyak perbedaan dari sebuah sampler / *cutter*. Tipe sampler Vezin secara luas digunakan untuk sampel *free falling ore* (Gambar 5.3).

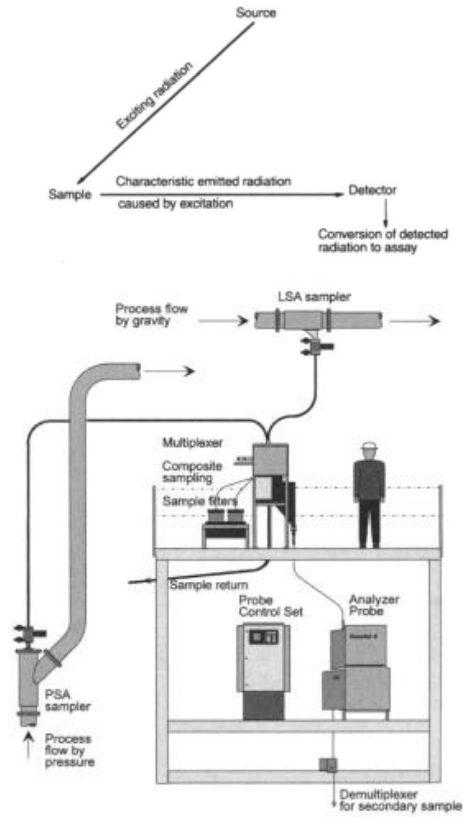


Gambar 5.3 Vezein sampler

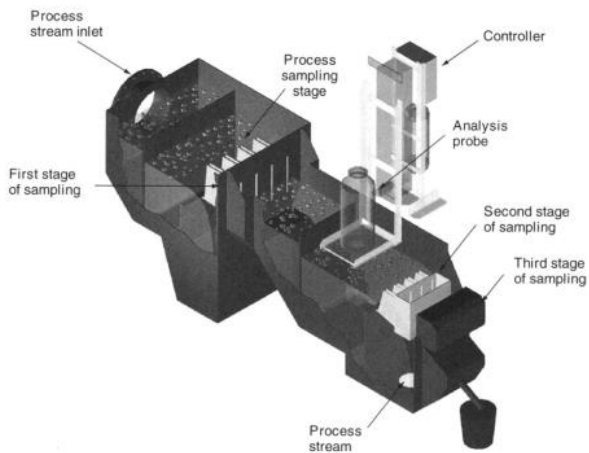
5.4. *On-line analysis*

On-line analysis memungkinkan untuk mendeteksi adanya perubahan pada kualitas material dan dengan adanya *on-line analysis* perubahan tersebut dapat ditindaklanjuti dengan cepat dan berkala, teknik ini juga dapat mengurangi *delay* / keterlambatan karena pengujian yang harus dilakukan di laboratorium (testing dilakukan di tempat). Teknik ini tidak memerlukan para pekerja yang memiliki kemampuan tinggi untuk melakukan pengujian, sehingga dapat mengerjakan pekerjaan penting lain pada bidang sampling.

Secara dasar teknik ini terdiri dari sumber radiasi yang dapat di absorb dari sampel dan oleh karena itu material / sampel akan mengeluarkan radiasi karakteristik (dasar pengujian menggunakan XRF). Prinsip *on-line analysis* tersaji pada Gambar 5.4.



Gambar 5.4 Prinsip On-line analysis



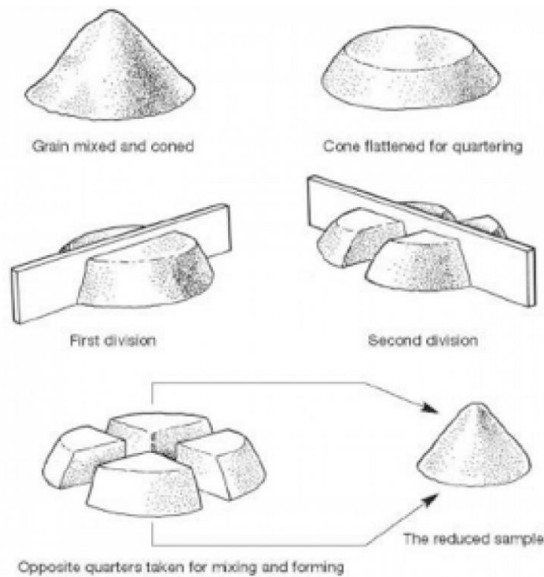
Gambar 5.5 *On-stream analysis*

5.5. Metode Pemisahan Sampel

Beberapa teknik untuk pemisahan sampel adalah sebagai berikut:

Coning and quartering

Metode ini digunakan untuk material dengan jumlah besar, misal >20 kg. Teknik ini terdiri dari beberapa tahapan yaitu memaparkan material pada tempat yang rata sehingga membentuk bentuk *cone*. Selanjutnya tumpukan tersebut diratakan dengan ketebalan tertentu dan dibagi menjadi empat bagian yang simetris. Satu bagian dari empat bagian tersebut diambil sebagai sampel yang diasumsikan dapat merepresentasikan keseluruhan sampel. Teknik ini dipaparkan pada Gambar 5.6.

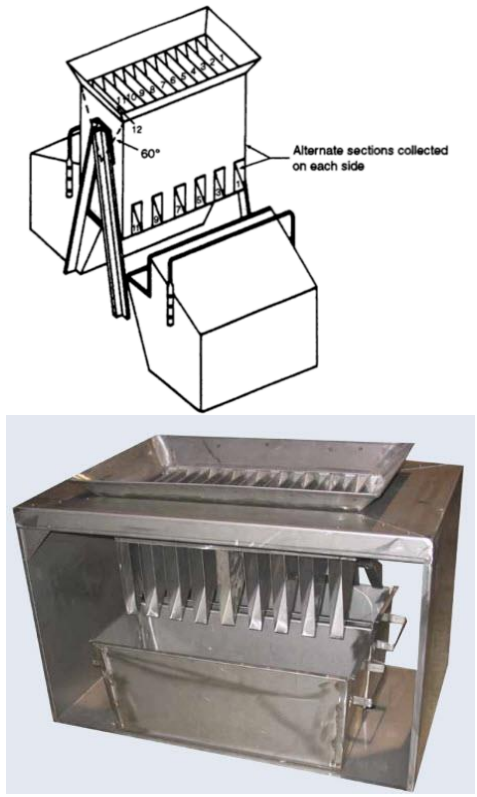


Gambar 5.6 Teknik *coning and quartering*.

The Jones Riffle

Teknik ini menggunakan sebuah peralatan yang berfungsi untuk membagi sampel secara merata. Peralatan ini berbentuk V yang terbuka yang terdiri dari

banyak box yang akan membagi sampel menjadi beberapa bagian. Peralatan ini juga sering dilengkapi dengan penggetar untuk mendapatkan hasil sampling yang representatif. Teknik ini tersaji pada Gambar 5.7.



Gambar 5.7 The jones riffle.

BAB VI DISTRIBUSI PARTIKEL

Analisis ukuran dari bermacam produk konsentrator memainkan peran penting dalam prosedur pengujian material. Sangat penting untuk menentukan kualitas dari proses *grinding* dan untuk menentukan derajat kebebasan dari mineral (derajat liberasi) yang bernilai dari pengotornya pada berbagai ukuran partikel. Pada tahap pemisahan fisik, analisis ukuran dari produk digunakan untuk menentukan ukuran optimum dari umpan untuk memaksimalkan efisiensi proses dan untuk menentukan pada rentang ukuran yang mana yang dapat menyebabkan kerugian pada proses, sehingga kekurangan tersebut dapat dikurangi.

Tahapan ini sangat penting, sehingga sampel yang akan dianalisis ukurannya harus sudah melalui tahapan sampling yang tepat. Sampel harus representatif dari keseluruhan material yang akan diolah. Teknik ini telah dibahas pada BAB sebelumnya.

6.1. Ukuran dan bentuk partikel

Fungsi utama untuk analisis partikel yang presisi adalah untuk memperoleh data kuantitatif tentang ukuran dan distribusi ukuran dari partikel pada material. Namun bagaimanapun ukuran sebenarnya dari partikel irregular tidak dapat diukur. Ukuran dari partikel berbentuk bola dapat ditentukan dari diameternya, partikel yang berbentuk kubus dapat diukur berdasarkan sisi-sisinya, namun pada irregular partikel pernyataan ukuran ini biasanya dikenal dengan “diameter ekuivalen”. Pernyataan diameter ekuivalen didasari dari diameter bentuk bola yang dapat berperilaku pada bentuk irregular partikel tertentu (Vignes 2013).

Data dari bentuk-bentuk irregular partikel dapat membantu para pekerja untuk mengklasifikasikan bentuk partikel. Tabel 6.1 menunjukkan bentuk-bentuk irregular dari partikel.

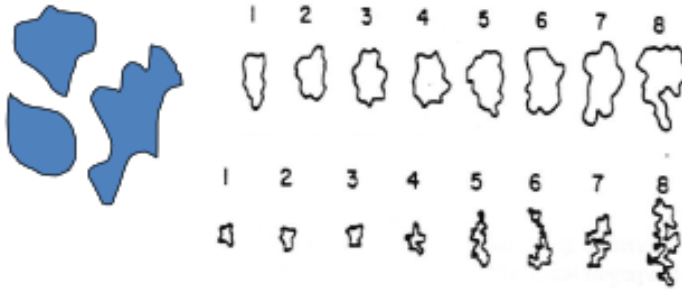
Tabel 6.1 Bentuk-bentuk partikel

Bentuk	Deskripsi
Acicular	Berbentuk seperti jarum
Angular	Mempunyai bentuk runcing atau dapat juga berbentuk polihedral
Kristalin	Biasanya dapat dikenali dari bentuk geometrisnya, yang terdiri dari permukaan datar dengan orientasi karakteristik yang spesifik.
Dendritic	Mempunyai cabang dari bentuk kristalin
Fibrous	Bentuk yang tidak teratur (menyerupai benang)
Flaky	Seperti plat
Granular	Memiliki bentuk equidimensional irregular
Irregular	Tidak simetris
Modular	Berbentuk bulat namun irregular
Spherical	Berbentuk bola

Terdapat bermacam-macam instrumen dan metode lain untuk analisis ukuran partikel yang tersedia. Sieving tes merupakan metode yang paling banyak digunakan untuk analisis ukuran partikel. Pada Tabel 6.2 tersaji berbagai macam metode untuk menganalisis ukuran partikel.

Tabel 6.2 Beberapa metode untuk analisis ukuran partikel

Metode	Basah/ke ring	Sampel fraksinasi	Rentang ukuran (mikron)
Sieving tes	keduanya	iya	5-100000
Laser Difraksi	keduanya	tidak	0.1-2000
Optikal mikroskop	Kering	tidak	0.2-50
Elektron mikroskop	Kering	Tidak	0.005-100
Elutriasi (cyclosizer)	Basah	Iya	5-45
Sedimentasi (gravitasi)	Basah	Iya	1-40
Sedimentasi (sentrifugasi)	Basah	Iya	0.005-5



Gambar 6.1 Bentuk-bentuk irreguler (tak beraturan)

Diameter ekuivalen

Diameter ekuivalen merupakan diameter bola yang menyerupai volume sama dengan volume partikel tersebut.

$$d_p = \left(\frac{6V_p}{\pi}\right)^{\frac{1}{3}}$$

Sphercity

Dapat didefinisikan sebagai luas bola yang mempunyai volume yang sama dengan volume partikel dibagi dengan luas permukaan tersebut.

$$\phi_s = \frac{6V_p}{d_p S_p}$$

Dimana V_p = volume satu partikel, S_p = luas permukaan satu partikel, d_p = diameter ekuivalen partikel.

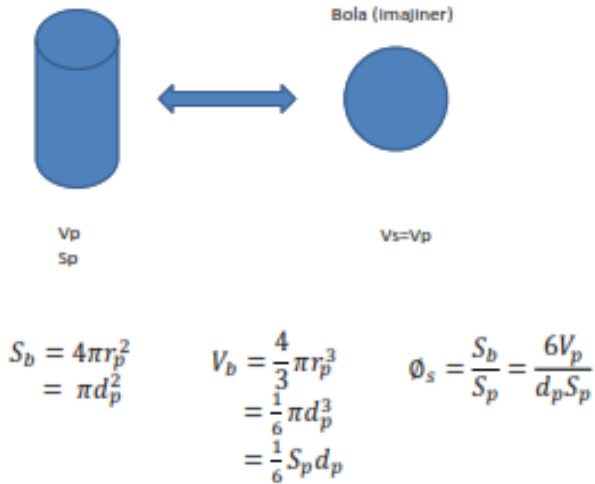
Approximate diameter

Surface diameter (d_s) ke volume ekuivalen diameter (d_p)

$$d_s = \phi^{-0.5} d_p$$

Ukuran sieve (ukuran partikel berdasar ukuran lubang ayakan, d_{sieve}) ke volume ekuivalen diameter (d_p)

$$d_{sieve} = \phi \cdot d_p$$



Gambar 6.2 Ukuran ekuivalen.

Latihan



6.2. Analisis menggunakan Sebaran Ukuran Partikel Menggunakan Sieve

Analisis menggunakan sieve merupakan metode paling lama untuk analisis ukuran partikel. Analisis ini dilakukan dengan melewatkan partikel ke berbagai ukuran sieve diurut dari ukuran aperture (lubang saringan) yang paling

besar hingga yang paling halus. Kemudian, analisis dilakukan dengan melakukan penimbangan partikel yang tertahan dari masing-masing sieve. Sieving dapat dilakukan dengan material basah atau kering dan biasanya sieve digerakkan menggunakan sebuah *shaking* (alat penggetar) untuk mengaduk material di dalamnya. Sieving sedikit tidak efisien ketika diaplikasikan untuk partikel dengan bentuk irregular. Partikel dengan ukuran yang dapat lolos dari ukuran aperture hanya akan lolos ketika berada pada posisi bawah partikel yang lebih besar / berada pada permukaan dasar sieve. Sehingga dibutuhkan durasi tertentu untuk melakukan proses sieving. Permasalahan juga muncul ketika ada partikel yang memiliki besar hampir menyerupai lubang aperture. Sehingga akan menyebabkan partikel dengan ukuran tersebut akan menyumbat lubang aperture.

Proses sieving bisa dibagi menjadi dua bagian: pertama, eliminasi partikel yang dianggap memiliki ukuran lebih kecil dari aperture, yang mana harus dilakukan dengan cepat. Kedua, pemisahan partikel yang dianggap memiliki ukuran serupa dengan ukuran aperture. Efektifitas ini dapat dicapai dengan memperhatikan jumlah partikel yang akan disaring dan tipe gerakan yang harus diberikan kepada sieve (gerakan pengayakan).

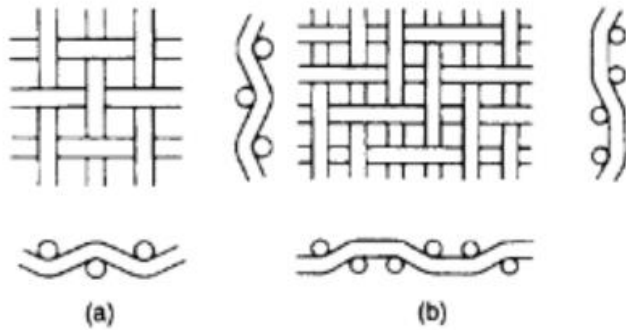
6.3. Hasil Analisis Ukuran Partikel

Sieve tes didesain berdasarkan ukuran aperture. Woven-wire (anyaman kawat) merupakan salah satu desain tes sieve yang biasanya diukur dalam satuan mesh. Mesh merupakan jumlah lubang aperture dalam inch² (Napier-Munn 2005).

Tabel 6.3 Nomor mesh dan ukurannya.

Nomor mesh	Ukuran dalam aperture (μm)	Nomor mesh	Ukuran dalam aperture (μm)
3	5600	36	425
3.5	4750	44	355

4	4000	52	300
5	3350	60	250
6	2800	72	212
7	2360	85	180
8	2000	100	150
10	1700	120	125
12	1400	150	106
14	1180	170	90
16	1000	200	75
18	850	240	63
22	710	300	53
25	600	350	45
30	500	400	38



Gambar 6.3 woven-wire (a) plain weave (b)twilled weave

Analisis hasil ayakan

Terdapat beberapa cara untuk mentabulasikan sieving tes (Tabel 6.4) yaitu dengan mencari fraksi massa pada masing-masing sieve, mengetahui ukuran aperture, dan mencari nilai % kumulatif nya.

Tabel 6.4 Hasil analisis sieve tes.

Rentang ukuran sieve (μm)	Fraksi massa tertahan		Ukuran aperture (μm)	% kumulatif	
	Berat (g)	Berat (%)		undersize	oversize
+250	0.02	0.1	250	99.9	0.1

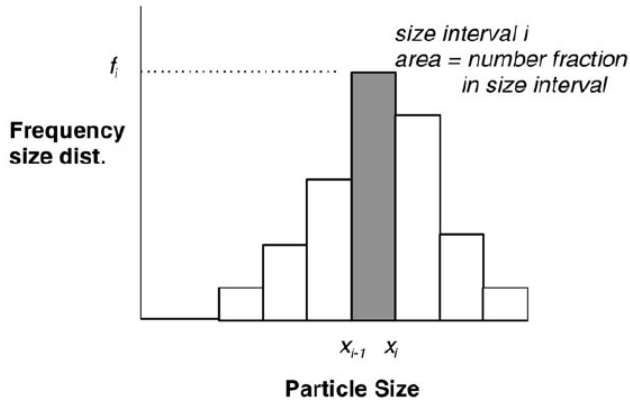
-250+180	1.32	2.9	180	97.0	3.0
-180+125	4.23	9.5	125	87.5	12.5
-125+90	9.44	21.2	90	66.3	33.7
-90+63	13.10	29.4	63	36.9	63.1
-63+45	11.56	26.0	45	10.9	89.1
-45	4.87	10.9			

Mesh Size	d	Fraksi Massa Tertahan (Fo)	Fraksi Massa Lolos (Fu)
3	6,68	x_1	$1 - x_1$
4	4,699	$x_1 + x_2$	$1 - (x_1 + x_2)$
6	3,327	$x_1 + x_2 + x_3$	$1 - (x_1 + x_2 + x_3)$
...			
20		$\sum_1^6 x_i$	$1 - \sum_1^6 x_i$

Atau pengolahan data analisis hasil ayakan dapat juga dinyatakan dengan frekuensi dari setiap rentang ukuran seperti pada Tabel 6.5 atau dengan grafik frekuensi seperti pada Gambar 6.4.

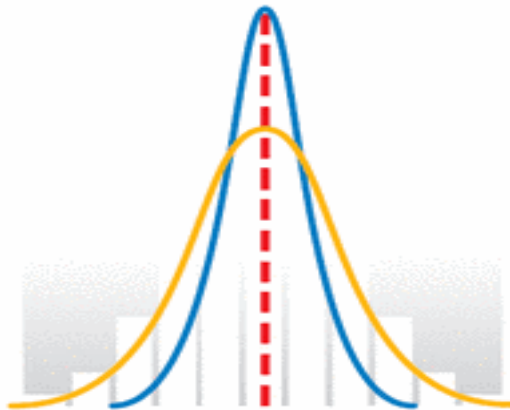
Tabel 6.5 Analisis hasil ayakan menggunakan frekuensi.

Mesh Size	Rentang Ukuran (Δd) _i , mm	Ukuran rata-rata (d_i), mm	Fraksi Massa (x_i)	Frekuensi $f_i = \frac{x_i}{(\Delta d)_i}$
+3	>6.68	6.68	$x_1 = \frac{W_1}{W_T}$	$f_1 = \frac{x_1}{(\Delta d)_1}$
-3+4	(6.68-4.699)	$(6.68 - 4.699) \frac{1}{2}$	$x_2 = \frac{W_2}{W_T}$	$f_2 = \frac{x_2}{(\Delta d)_2}$
-4+6	(4.699-3.327)	$(4.699 - 3.327) \frac{1}{2}$	$x_3 = \frac{W_3}{W_T}$	$f_3 = \frac{x_3}{(\Delta d)_3}$
-6+8	...	...	...	...
-8+14	...	...	...	...
-14+20	...	...	...	...
-20	<0.893	...	...	...
$\sum x_i = 1$				

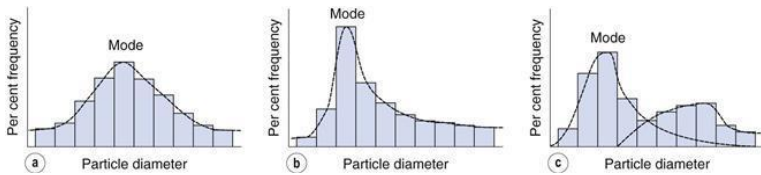


Gambar 6.4. Grafik distribusi frekuensi ukuran partikel.

Dari jenis distribusi frekuensi dapat diketahui homogenitas/heterogenitas ukuran partikel pada sebuah sampel. Jika grafik distribusi frekuensi menunjukkan grafik yang mengerucut pada 1 ukuran partikel tandanya ukuran partikel pada sampel tersebut lebih homogen, begitu sebaliknya, jika melandai menandakan ukuran partikel pada sampel tersebut heterogen. Jenis-jenis distribusi frekuensi juga dapat dibagi menjadi tiga macam, yaitu normal, skewed, dan bimodal. Bimodal menandakan ukuran partikel tersebar pada dua atau lebih ukuran mayoritas partikel.

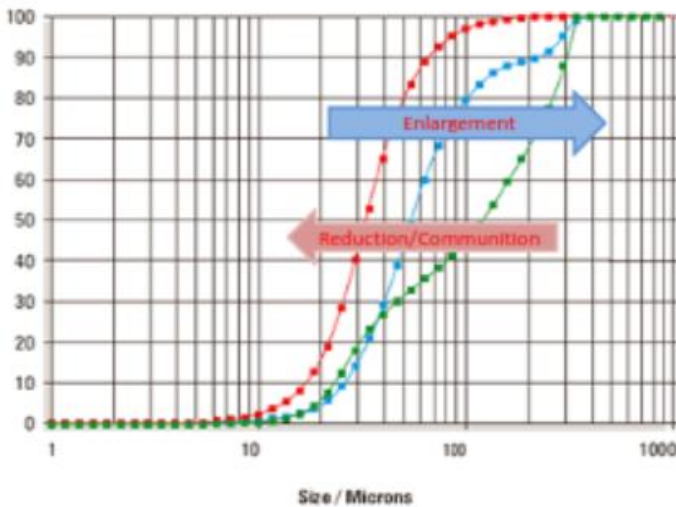


Gambar 6.5 Distribusi frekuensi



Gambar 6.6 Jenis-jenis distribusi frekuensi (a) normal (b) skewed dan (c) bimodal.

Perubahan distribusi ukuran dapat dianalisis/dilihat menggunakan grafik %kumulatif undersize/oversize. Jika grafik bergeser ke arah ukuran yang lebih besar maka telah terjadi pembesaran ukuran partikel (biasa terjadi pada produk proses sedimentasi, aglomerasi dll.), sebaliknya jika grafik bergeser ke arah ukuran yang lebih kecil maka telah terjadi pengecilan ukuran partikel (seperti produk proses *grinding*, *crushing* dll.).



Gambar 6.7 Perubahan distribusi ukuran.

Tahapan dalam analisis distribusi partikel

- 1) Harus menyertakan rentang ukuran sieve yang dipakai
- 2) Berat material / partikel pada masing-masing rentang ukuran
- 3) Berat material / partikel diekspresikan ke dalam persentase

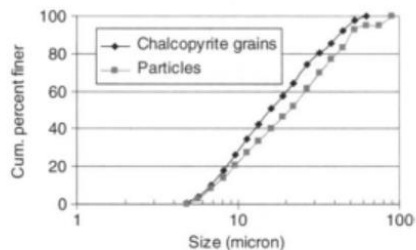
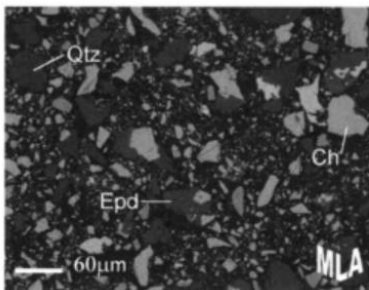
- 4) Persentase kumulatif dari material yang melewati sieve
- 5) Persentase kumulatif material yang tertahan di sieve

Hasil analisis harus selalu diplotkan dalam grafik untuk keperluan perhitungan signifikansinya. Grafik biasanya memuat hubungan antara ukuran partikel dengan % kumulatif baik oversize atau undersize.

Analisis distribusi partikel sangat penting dalam mengasesmen performa proses *grinding*. Ukuran produk standar yang diinginkan biasanya diterangkan dengan 80% *passing size* (ukuran dimana sebanyak 80% dari partikel lolos (P_{80})). Singkatnya, jika produk *grinding* mensyaratkan nilai $P_{80} = -250 \mu\text{m}$, maka jika hasil analisis distribusi partikel memperlihatkan bahwa hanya 50% dari sampel berukuran $-250 \mu\text{m}$ maka produk *grinding* masih terlalu kasar, kemudian tindak lanjut harus dilakukan untuk mencapai nilai P_{80} yang diinginkan.

6.4. Analisis Ukuran Partikel Menggunakan Instrumen (Mikroskopik, Laser diffraction)

Mikroskop dapat digunakan sebagai metode absolut untuk menganalisis ukuran partikel dikarenakan metode ini dapat mengobservasi individual material. Gambar yang dihasilkan dari mikroskop merupakan gambar 2D yang kemudian dari gambar ini ukuran partikel dapat diestimasi. Pengukuran menggunakan mikroskop dilakukan dengan membandingkan area dimana sekelompok partikel berada dengan area referensi yang telah diketahui luasnya. Mikroskop optikal dapat diaplikasikan untuk rentang ukuran partikel 0.8-150 μm .



Gambar 6.8 Analisis ukuran partikel menggunakan mikroskop/MLA.

BAB VII SEPARASI FISIK

7.1. *Screening*

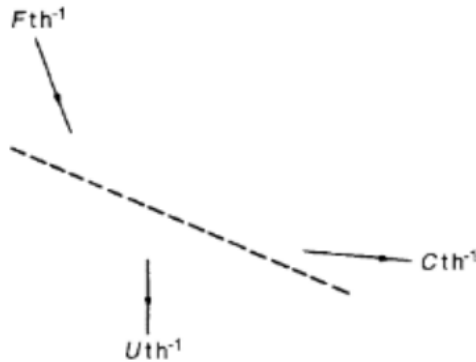
Screening/penyaringan merupakan suatu proses penting dalam pengklasifikasian material. Proses ini dilakukan untuk memisahkan partikel yang lebih besar dari ukuran *screen* (*oversize*) dengan partikel yang memiliki ukuran lebih kecil (*undersize*) dari *screen*. Proses ini biasanya dilakukan dengan material kering atau basah. *Screening* dengan material kering biasanya dilakukan untuk material yang memiliki ukuran lebih besar dari 5 mm sedangkan *screening* dengan material basah bisa dipakai untuk ukuran sampai 250 μm .

Terdapat berbagai macam tipe peralatan *screening*. Tipe ini biasanya dipengaruhi/berdasarkan tujuannya. Tujuan utama *screening* dalam proses pengolahan mineral adalah sebagai berikut:

- a) Sizing/klasifikasi, untuk memisahkan partikel berdasarkan perbedaan ukurannya, biasanya dipakai pada unit proses paling akhir pada pengolahan mineral sebelum diolah lebih lanjut dengan proses hidro/pirometalurgi.
- b) Scalping, untuk menghilangkan/mengeliminasi material yang memiliki fraksi ukuran yang lebih kasar pada material umpan, sehingga material yang dipisahkan tersebut dapat di *crushing* terlebih dahulu atau dibuang.
- c) Grading, untuk menyiapkan beberapa jenis produk dengan spesifikasi ukuran partikel berbeda-beda.
- d) Rekoveri medium, untuk mencuci media magnetik dari ore pada unit operasi dense medium *separator*
- e) Dewatering, untuk mengeringkan *moisture* bebas dari slurry pasir yang basah.
- f) Desliming, untuk memisahkan material yang lebih halus, biasanya <0.5 mm dari umpan

- g) Pemisahan sampah, biasanya digunakan untuk memisahkan sampah pada air yang akan diproses melalui WWTP.

Efisiensi proses *screening* dapat ditentukan dengan mengalkulasikan melalui neraca massa berikut (Fuerstenau and Han 2009):



Gambar 7.1 Neraca massa sebuah *screen*.

$$F = C + U$$

Dimana F = umpan, C = oversize dan U = undersize. Maka, neraca massa untuk material oversize menjadi,

$$Ff = Cc + Uu$$

Dimana f , c , dan u merupakan fraksi massa diatas cut point untuk umpan, oversize dan undersize. Sedangkan neraca massa untuk material oversize adalah sebagai berikut,

$$F(1 - f) = C(1 - c) + U(1 - u)$$

Sehingga,

$$\frac{C}{F} = \frac{f - u}{c - u}$$

Dan,

$$\frac{U}{F} = \frac{c - f}{c - u}$$

Sehingga rekoveri untuk material oversize adalah,

$$\frac{Cc}{Ff} = \frac{c(f - u)}{f(c - u)}$$

Dan rekoveri untuk material undersize adalah,

$$\begin{aligned} &= \frac{U(1 - u)}{F(1 - f)} \\ &= \frac{(c - f)(1 - u)}{(c - u)(1 - f)} \end{aligned}$$

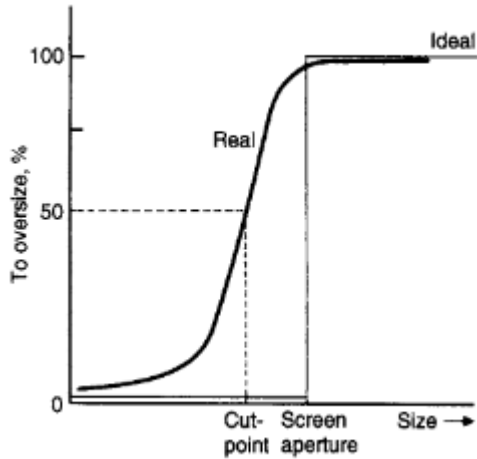
Persamaan rekoveri undersize dan oversize di atas digunakan untuk mengukur keefektifan *screen* dalam memisahkan material yang kasar/memiliki ukuran besar dari underflow, begitu pula sebaliknya. Keefektifan gabungan/overall dari proses penyaringan dinyatakan dengan E, yaitu gabungan dari dua persamaan sebelumnya.

$$E = \frac{c(f - u)(1 - u)(c - f)}{f(c - u)^2(1 - f)}$$

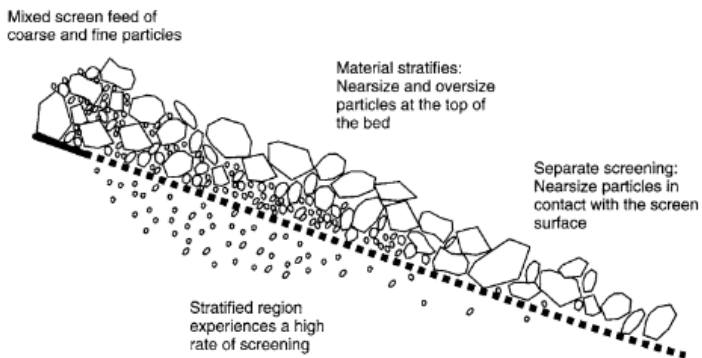
Untuk *screen* dimana ukuran aperture dengan cut point nya sama (juga tidak ada kerusakan pada lubang aperture), jumlah material *coarse*/kasar/besar pada underflow biasanya sangat rendah. Efisiensi dari proses *screen* merupakan simplifikasi dari persamaan sebelumnya dengan asumsi bahwa $u=0$.

$$E = \frac{c - f}{c(1 - f)}$$

Formula ini umumnya digunakan untuk material *coarse* sepenuhnya masuk ke overflow.



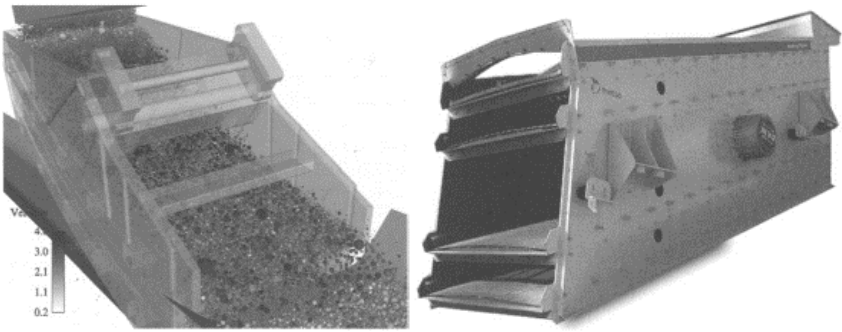
Gambar 7.2 Kurva partisi.



Gambar 7.3 Distribusi partikel pada sebuah *screen*.

Tipe-tipe *screen*

Terdapat berbagai macam jenis dan tipe *screen* pada industri saat ini. Tipe yang paling dominan dan paling banyak dipakai adalah *vibrating screen*. *Vibrating screen* memiliki permukaan *screen* persegi panjang. Biasanya *screen* jenis ini dapat memisahkan material dengan rentang ukuran 300 mm sampai dengan 45 μm dan digunakan pada banyak jenis grading, sizing, sclapping, dewatering, dan washing.

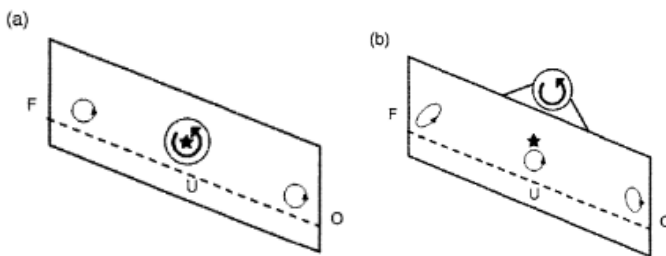


Gambar 7.4 *Vibrating screen.*

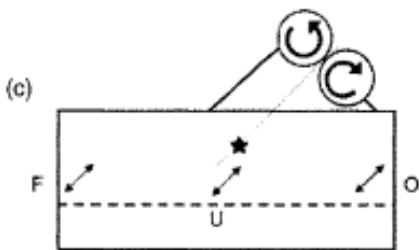
Screen Vibration

Ada berbagai macam motion/gerakan yang biasanya diberikan kepada *screen* untuk mengoptimalkan proses penyaringan. Gerakan-gerakan *screen* dapat dibagi menjadi beberapa tipe yaitu:

Circular motion



Linear vibration



Oval motion



7.2. Klasifikasi

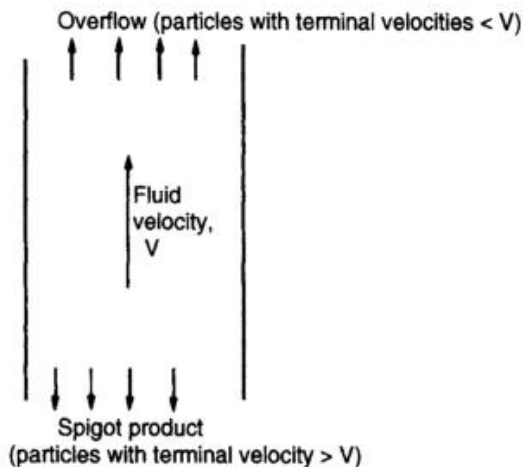
Klasifikasi merupakan sebuah metode untuk memisahkan campuran dari mineral menjadi dua atau lebih produk dengan basis kecepatan partikel jatuh pada medium fluida. Di dalam pengolahan mineral medium ini biasanya adalah air, dan klasifikasi basah (*wet classification*). Proses klasifikasi juga dilakukan untuk material yang terlalu halus (ukuran partikel kecil) yang tidak bisa dipisahkan lagi menggunakan *screen*. Dikarenakan kecepatan partikel pada sebuah medium fluida tidak hanya dipengaruhi oleh ukurannya, tapi juga pada gravitasi spesifik dan bentuk dari partikel, prinsip klasifikasi sangat penting pada pemisahan mineral menggunakan *gravity concentrator*. Klasifikasi juga sangat mempengaruhi performa dari proses *grinding*.

Prinsip

Ketika sebuah partikel padat jatuh bebas di dalam sebuah kondisi vakum, partikel tersebut akan memiliki akselerasi konstan dan kecepatannya akan meningkat terus menerus, terlepas dari ukuran dan densitasnya. Maka dari itu besi dan selembar bulu akan jatuh pada kecepatan yang sama. Pada sebuah medium seperti udara dan air, terdapat resistansi pada pergerakan ini dan nilainya akan bertambah dengan meningkatnya kecepatan. Ketika kesetimbangan tercapai diantara gaya gravitasi dan gaya resistansi fluida, partikel akan mencapai kecepatan terminal nya (*terminal velocity*) dan kemudian akan jatuh pada kecepatan yang sama.

Sorting colomn

Contoh yang paling tepat untuk menggambarkan proses klasifikasi adalah dengan *sorting colomn* dimana fluida akan naik pada kecepatan yang seragam. Partikel dimasukkan pada bagian atas alat ini. Kemudian ada sebagian partikel yang akan tenggelam dan sebagian akan mengapung dikarenakan kecepatan terminal partikel lebih besar atau lebih kecil dari kecepatan fluida yang naik. Kemudian peralatan *sorting colomn* ini akan memisahkan dua produk yaitu overflow product yang berisi partikel dengan kecepatan terminal yang lebih kecil dibanding kecepatan terminal air yang naik dan product underflow atau biasa disebut dengan produk spigot dari partikel yang memiliki kecepatan terminal yang lebih besar dibandingkan kecepatan fluida.



Gambar 7.5 Klasifikasi menggunakan *sorting colomn*.

Free settling

Free settling dapat diartikan dengan pergerakan jatuh dari partikel pada sebuah fluida dengan volume yang sangat besar dibanding volume partikel itu sendiri.

Free settling akan terjadi ketika persentase berat padatan lebih kecil dari 15%.

Jika sebuah partikel sphere dengan diameter d dan densitas D_s jatuh pada sebuah medium fluida dengan densitas D_f dibawah kondisi *free settling*. Partikel akan mengalami 3 gaya yaitu gaya gravitasional ke arah bawah, gaya Bouyant ke arah atas dan gaya drag (drag force) D ke arah atas, persamaan tersebut akan menjadi seperti berikut.

$$mg - m'g - D = \frac{mdx}{dt}$$

Dimana m = massa partikel, m' = massa fluida, x = kecepatan partikel, dan g = akselerasi gravitasi. Ketika kecepatan terminal partikel telah tercapai, $dx/dt=0$, maka

$$D = (m - m')g$$

$$D = \left(\frac{\pi}{6}\right)gd^3(D_s - D_f)$$

Stokes (1891) mengasumsikan bahwa gaya drag pada partikel spherical sepenuhnya dikarenakan resistan viskos.

$$D = 3\pi d\eta v$$

Dimana η = viskositas dan v = kecepatan terminal. Sehingga persamaan ini dapat disubstitusikan pada persamaan sebelumnya menjadi,

$$3\pi d\eta v = \left(\frac{\pi}{6}\right)gd^3(D_s - D_f)$$

Dan

$$v = \frac{gd^2(D_s - D_f)}{18\eta}$$

Atau

$$v = kd^2(D_s - D_f)$$

Dimana k = konstanta.

Persamaan ini biasa dikenal dengan hukum Stoke.

Dari persamaan di atas dapat diketahui bahwa:

- Jika dua partikel memiliki densitas yang sama, kemudian partikel dengan diameter yang lebih besar memiliki kecepatan terminal lebih besar
- Jika dua partikel memiliki diameter yang sama, kemudian partikel yang lebih berat akan memiliki kecepatan terminal lebih besar.

Jika ada dua mineral dengan densitas D_a dan D_b serta diameter d_a dan d_b , jatuh pada fluida dengan densitas D_f pada kecepatan *settling* yang sama. Kecepatan terminal nya akan sama, menjadi

$$d_a^2(D_a - D_f) = d_b^2(D_b - D_f)$$

$$\frac{d_a}{d_b} = \left(\frac{D_b - D_f}{D_a - D_f} \right)^{1/2}$$

Persamaan ini kemudian dikenal dengan persamaan rasio *free settling* dari 2 mineral.

Contoh: jika campuran galena (densitas 7.5) dan kuarsa (densitas 2.65) akan diklasifikasikan di dalam medium air. Untuk partikel yang kecil, persamaannya akan menjadi

$$\left(\frac{7.5 - 1}{2.65 - 1} \right)^{1/2} = 1.99$$

Partikel galena dengan ukuran kecil akan mengendap/jatuh pada kecepatan yang sama dengan kuarsa yang memiliki diameter 1.99 lebih besar.

Hindered Settling

Ketika proporsi partikel padat meningkat pada pulp, efek partikel crowding akan muncul dan kecepatan jatuh partikel akan menurun. Sistem akan mulai

berperilaku sebagai “*heavy liquid*” yang mana densitasnya lebih besar dari “*carrier liquid*”, saat ini lah kondisi *hindered-settling* tercapai. Modifikasi dari hukum Newton dapat digunakan untuk menentukan kecepatan jatuh dari partikel.

$$v = k[d(D_s - D_p)]^2$$

Dimana D_p = densitas pulp.

Semakin rendah densitas partikel, semakin besar efek reduksi dari densitas efektif ($D_s - D_p$), dan semakin besar pengurangan/reduksi kecepatan jatuh. Hal yang sama terjadi untuk partikel yang lebih besar. Hal ini dapat diilustrasikan dengan contoh: campuran partikel kuarsa dan galena mengendap di dalam sebuah pulp dengan densitas 1.5. rasio *hindered-settling* dapat diturunkan dari persamaan di atas.

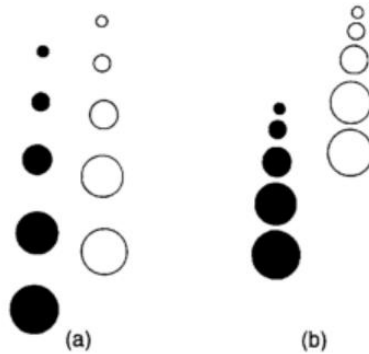
$$\frac{d_a}{d_b} = \frac{D_b - D_p}{D_a - D_p}$$

Sehingga,

$$\frac{d_a}{d_b} = \frac{7.5 - 1.5}{2.65 - 1.5} = 5.22$$

Partikel galena akan jatuh di dalam pulp pada kecepatan yang sama dengan partikel kuarsa yang memiliki diameter 5.22 lebih besar.

Klasifikasi menggunakan *hindered-settling* biasanya digunakan untuk meningkatkan efek dari densitas pada proses separasi, sedangkan klasifikasi menggunakan *free-settling* digunakan untuk meningkatkan efek ukuran pada separasi.

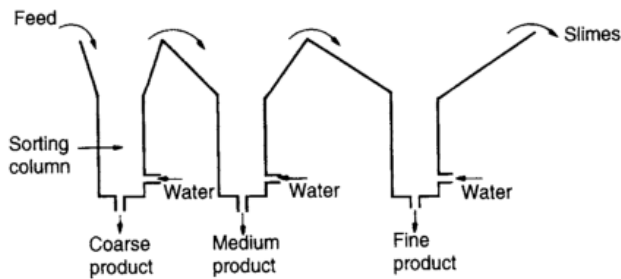


Gambar 7.6 Klasifikasi menggunakan (a) *free settling* (b) *hindered settling*.

Tipe-tipe klasifikasi

Hidraulic classifier

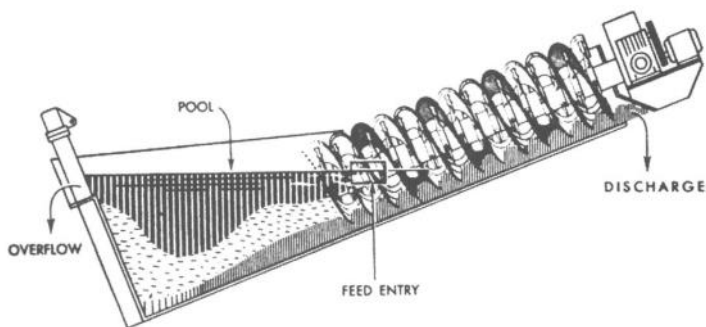
Peralatan ini menggunakan penambahan air pada umpan pulp, ditambahkan pada arah yang berlawanan dengan arah *settling* partikel.



Gambar 7.7 Hidraulic classifier.

Mechanical classifier

Beberapa bentuk klasifikasi dimana material dengan kecepatan *settling* lebih rendah akan berada pada produk overflow dan material dengan kecepatan *settling* lebih tinggi akan berada pada bagian bawah peralatan, disinilah peran *mechanical classifier*, yaitu untuk membawa produk underflow dengan gerakan mekanik melawan alur liquid.



Gambar 7.8 Prinsip mechanical classifier.

7.3. Gravity Concentration

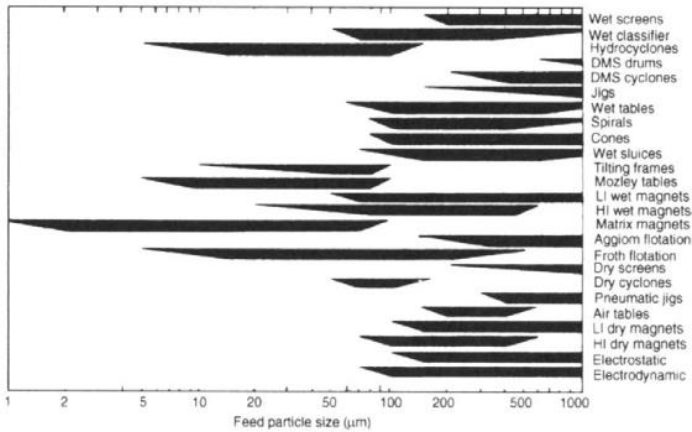
Metode gravity concentrator memisahkan mineral-mineral berdasarkan perbedaan gravitasi spesifik oleh pergerakan relatif partikelnya. Material biasanya akan terpengaruh oleh pergerakan medium nya (fluida viskos) seperti air atau udara.

Hal yang sangat diperlukan dalam separasi yang efektif adalah adanya perbedaan antara densitas antara mineral dan *gangue* (pengotor). Beberapa ide separasi dapat dilakukan dengan kriteria konsentrasi.

$$\frac{D_h - D_f}{D_l - D_f}$$

Dimana D_h = gravitasi spesifik dari mineral yang lebih berat, D_l = gravitasi spesifik dari mineral yang lebih ringan, dan D_f = gravitasi spesifik dari media fluida.

Ketika rasio dari persamaan diatas lebih besar dari 2.5 baik positif maupun negatif, maka separasi menggunakan perbedaan gravitasi spesifik relatif mudah untuk dilakukan, efisiensi dari separasi menurun seiring dengan menurunnya nilai rasio persamaan di atas. Beberapa peralatan separasi fisik yang cocok tersaji pada Gambar 7.9.



Gambar 7.9 rentang paling efektif untuk masing-masing alat separasi.

Operasi pemisahan yang efisien tidak terlepas dari proses preparasi yang baik. Proses *grinding* sangat penting dalam proses liberasi/pelepasan mineral dari mineral pengotornya. Proses *screening* juga krusial untuk memisahkan material dengan ukuran besar. Peralatan-peralatan yang memakai prinsip *gravity separation* adalah:

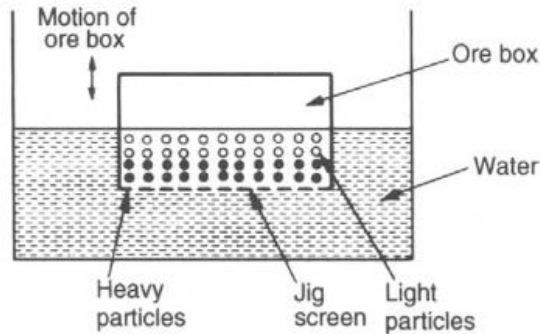
- Jigs
- Cones
- Spiral
- Dense Medium *Separation*

Jigs

Jigging merupakan salah satu metode paling tua untuk *gravity concentrator*, dan merupakan peralatan yang menerapkan prinsip dasar dari *gravity separator*. Jig normalnya digunakan untuk mengonsentrasikan material *coarse* (kasar) dan jika umpan berukuran 3-10 mm.

Konstruksi Jigs biasanya terdiri dari dua peralatan utama yaitu jig dan wadah medium air. Jig merupakan sebuah box dengan *screen*/lubang di bagian bawahnya. Box jig ini kemudian digerakkan sesuai arah gerakan (naik-turun)

atau pada jenis jig yang lain jig terpasang statis sedangkan medium air yang memberikan tekanan hidrostatik pada jig. Hasil dari pergerakan tersebut akan menyebabkan mineral yang memiliki gravitasi spesifik yang lebih berat akan berkumpul di bagian bawah, dan yang memiliki gravitasi spesifik lebih kecil akan berada pada bagian atas. Prinsip ini mirip dengan prinsip *hindered settling* (*sorting column*).



Gambar 7.10 Hand jig.

Telah ditunjukkan pada sub bab sebelumnya persamaan untuk motion/pergerakan partikel yang mengalami *settling* pada sebuah fluida viskos adalah

$$mg - m'g - D = \frac{m dx}{dt}$$

Dimana m = massa partikel mineral, dx/dt = akselerasi/percepatan, g = percepatan gravitasi, m' = massa fluida dan D = resistansi fluida terhadap pergerakan partikel di dalam nya.

Pada permulaan pergerakan partikel, nilai kecepatan x nya sangat kecil, D dapat diabaikan karena merupakan fungsi kecepatan. Sehingga,

$$\frac{dx}{dt} = \left(\frac{m - m'}{m} \right) g$$

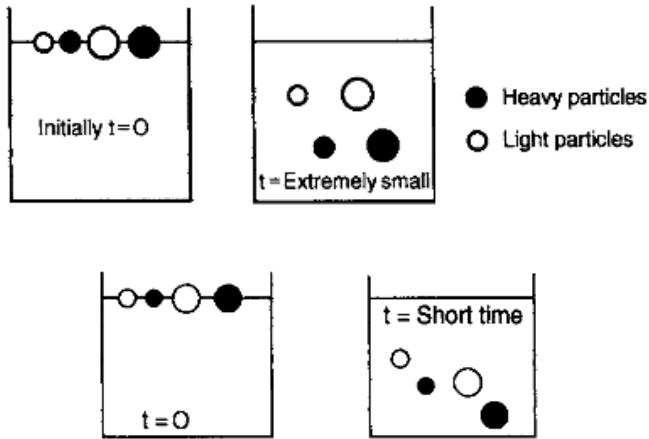
Atau dapat dinyatakan sebagai,

$$\frac{dx}{dt} = \left(\frac{D_s - D_f}{D_s} \right) g$$

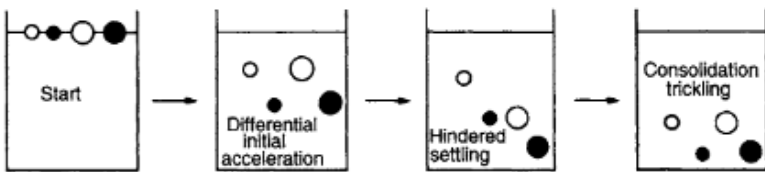
$$= \left(\frac{1 - D_f}{D_s} \right) g$$

Dimana D_s dan D_f merupakan gravitasi spesifik dari partikel solid dan fluida.

Percepatan/pergerakan inisial dari partikel mineral bergantung hanya pada ukuran dan densitas partikel dan fluida. Secara teoritis, jika durasi jatuh bebas partikel sangat singkat dan frekuensi pengulangan tinggi, pergerakan partikel akan lebih banyak dipengaruhi pada perbedaan percepatan dan kemudian densitas dan kemudian kecepatan terminalnya terakhir dari ukurannya.

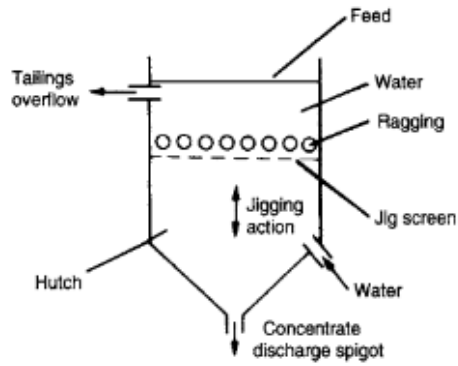


Gambar 7.11 Perbedaan percepatan awal partikel.

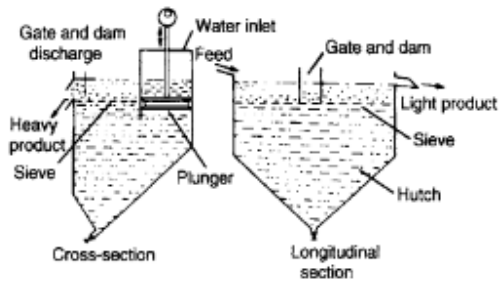


Gambar 7.12 Proses jiggling ideal.

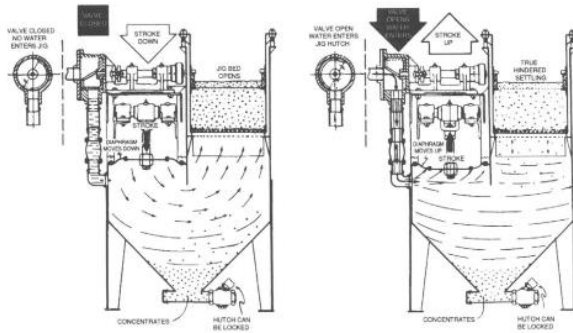
Tipe-tipe jig yang sudah banyak diaplikasikan adalah basic jig, harz jig, denver mineral jig dan baum jig. Berikut konstruksi dari masing-masing jig.



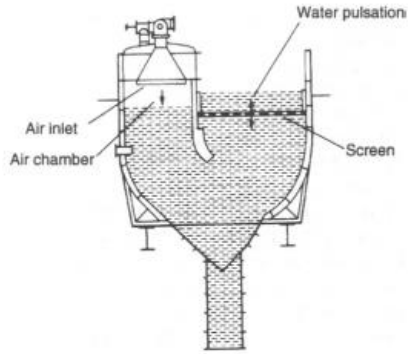
Gambar 7.13 Basic jig.



Gambar 7.14 Haraz jig.



Gambar 7.15 Denver mineral jig.

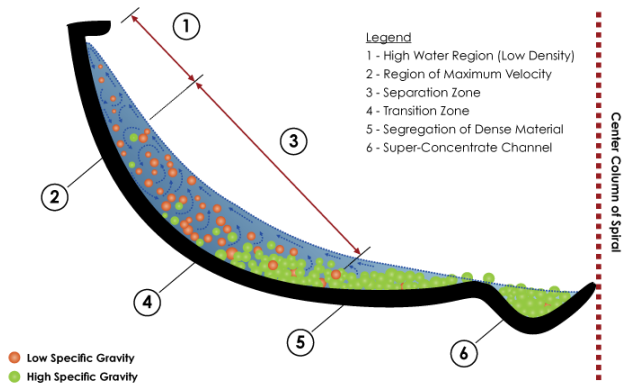


Gambar 7.16 Baum jig.

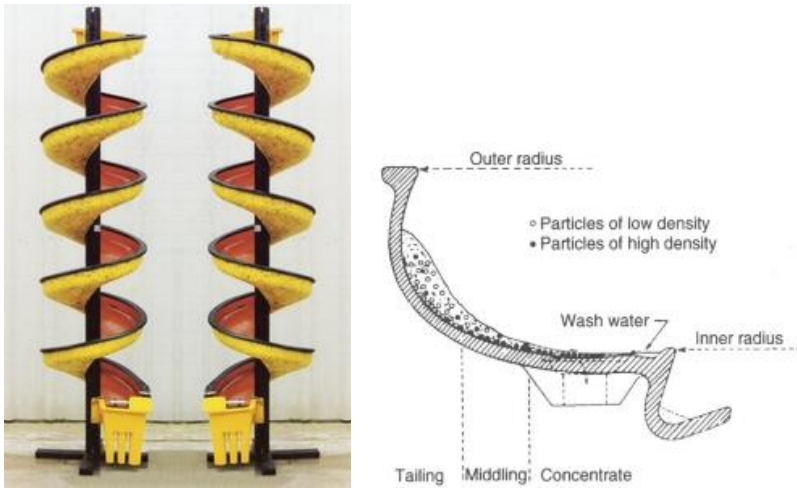
Spiral concentrator

Spiral concentrator banyak digunakan pada proses-proses pengolahan berbagai macam mineral. Penggunaan peralatan ini terutama pada pengolahan “*heavy mineral sand*” seperti *ilmenite*, *rutile*, zirkon, dan monasit serta pada pengolahan batu bara.

Spiral concentrator berbentuk saluran heliks dengan penampang semi-sirkular. Umpan pulp terdiri dari 15-45% wt. solid untuk rentang ukuran 3 mm – 75 μm yang dimasukkan pada bagian atas spiral. Ketika material bergerak mengikuti aliran spiral, partikel akan mengalami pengklasifikasian dikarenakan perbedaan gaya sentrifugal untuk masing-masing mineral, perbedaan kecepatan *settling*, dan efek interstisial tickling. Mekanisme dari spiral konsentrator agak sedikit kompleks, lebih banyak dipengaruhi dari densitas campuran dan ukuran partikel.



Gambar 7.17 Pemisahan pada spiral concentrator.

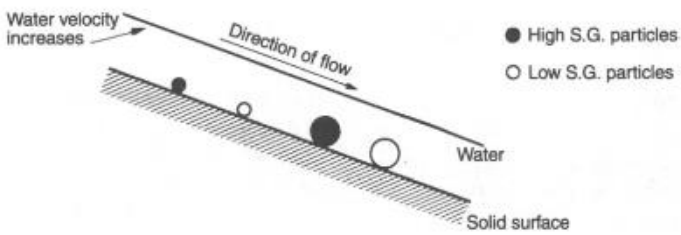


Gambar 7.18 Unit spiral concentrator.

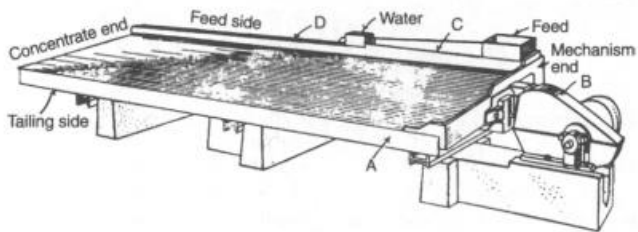
Shaking table

Ketika sebuah lapisan air yang mengalir pada sebuah permukaan yang datar, lapisan air yang berdekatan dengan permukaan padatan cenderung akan tertahan dikarenakan friksi (gaya gesek) dari air yang di absorpsi pada permukaan solid. Jika partikel mineral dimasukkan pada lapisan medium air tersebut, partikel yang lebih kecil tidak akan bergerak secepat partikel yang lebih besar. Partikel dengan gravitasi spesifik lebih besar juga akan bergerak lebih

lambat dibandingkan yang memiliki gravitasi spesifik lebih kecil, oleh karena itu perpindahan lateral akan terjadi.

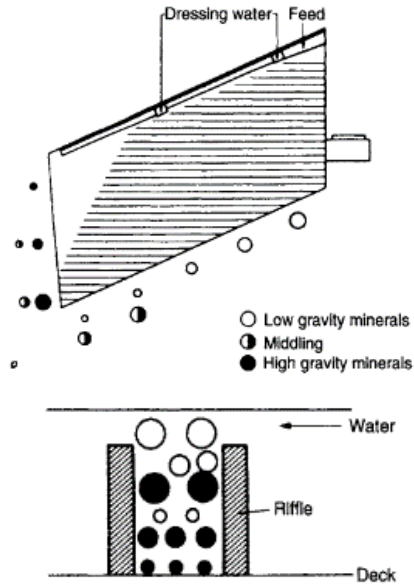


Gambar 7.19 Pergerakan pada *shaking table*.



Gambar 7.20 *Shaking table*.

Umpan masuk pada titik A, karakteristik umpan biasanya 25% wt. padatan. Air dialirkan dari titik D, kemudian *table* digetarkan secara longitudinal menggunakan mekanisme pada titik B.



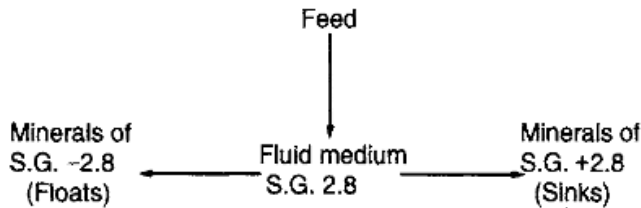
Gambar 7.21 Distribusi partikel pada *table* dan sebaran partikel pada masing-masing riffle.

Ukuran partikel memainkan peran penting pada separasi menggunakan *shaking table*, ketika rentang ukuran partikel pada *table* meningkat, efisiensi proses separasi akan berkurang. Dikarenakan *shaking table* efektif untuk memisahkan partikel yang kasar dan ringan (*coarse light*) dari partikel yang halus dan berat (*fine dense*), maka diperlukan pengklasifikasian terlebih dahulu sebelum dipisahkan menggunakan *shaking table*. *Grinding* mungkin diperlukan untuk preparasi sampel sebelum masuk ke *shaking table*. Dengan adanya proses *grinding*, liberasi mineral akan semakin tinggi, sehingga mineral terpisah dengan mineral-mineral lain yang memiliki properti fisik berbeda.

7.4. Dense Medium Concentration

Dense medium separator (DMS) atau *heavy medium separator* (HMS) atau proses *sink-and-float* merupakan proses *separator* yang digunakan pada tahap pre-konsentrasi mineral misalnya digunakan pada *gangue* mineral yang merupakan produk samping *grinding* untuk liberasi akhir.

Prinsipnya, peralatan ini merupakan peralatan paling simpel pada proses *gravity separation* dan metode nya sudah sejak lama dipakai untuk memisahkan mineral. “Heavy liquid” dengan densitas yang sesuai digunakan sebagai medium pemisahan, sehingga mineral yang memiliki densitas lebih kecil akan terapung dan yang lebih tinggi densitasnya dibanding medium “heavy liquid” akan tenggelam.



Gambar 7.22 Prinsip pemisahan pada DMS.

Medium liquid yang digunakan biasanya merupakan suspensi atau pulp atau campuran heavy solid pada air yang berperilaku seperti heavy liquid.

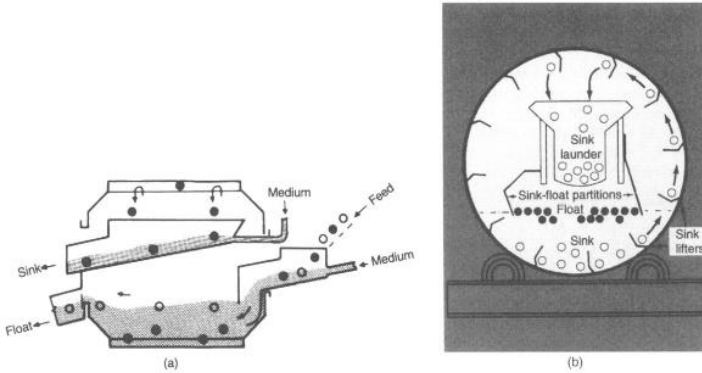
Proses pemisahan dengan cara ini memiliki beberapa keuntungan dibanding dengan proses *gravity separation* yang lain yaitu mampu untuk melakukan proses separasi secara tepat dengan adanya perbedaan densitas. Efisiensi tinggi juga dapat dicapai pada pemisahan dengan rentang densitas yang sangat kecil. Proses DMS dapat diaplikasikan kepada semua ore yang mana sudah melalui proses *crushing*. Proses secara garis besar dapat diaplikasikan ketika adanya perbedaan densitas pada ukuran partikel yang besar (*coarse particle*) atau diameter > 4 mm, pada berbagai kasus pemisahan ini sangat efektif untuk material yang memiliki gravitasi spesifik < 0.1.

Liquid yang sering kali dipakai sebagai medium adalah sebagai berikut dengan gravitasi spesifik

Tabel 7.1 Medium pada DMS.

Liquid	Gravitasi Spesifik
Tetrabromoethane (TEB)	2.96

Carbon tetrachloride	1.58
bromoform	2.89
diiodomethane	3.3



Gambar 7.23 drum *separator* dengan prinsip DMS.

7.5. Pemisahan secara Magnetik dan Elektrikal

Magnetik *separation*

Magnetik *separator* mengeksploitasi adanya perbedaan properti magnetik antara beberapa mineral dan biasanya digunakan untuk memisahkan mineral berharga dari *gangue* non-magnetik seperti pemisahan magnetit (Fe_3O_4) dari kuarsa (SiO_2) atau memisahkan kontaminan magnetik dari mineral non-magnetik yang bernilai contoh nya adalah pemisahan mineral yang berikatan dengan timah (kasiterit) dari magnetit atau wolframit.

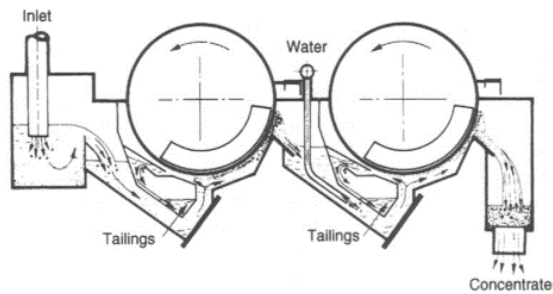
Semua material yang terpengaruhi dengan berbagai cara pada medan magnetis, walaupun pada sebagian material pengaruhnya tidak signifikan untuk dideteksi. Material dapat dibagi menjadi 2 macam yaitu:

Diamagnetik, adalah material akan tertolak (replled) ketika melalui medan magnetis.

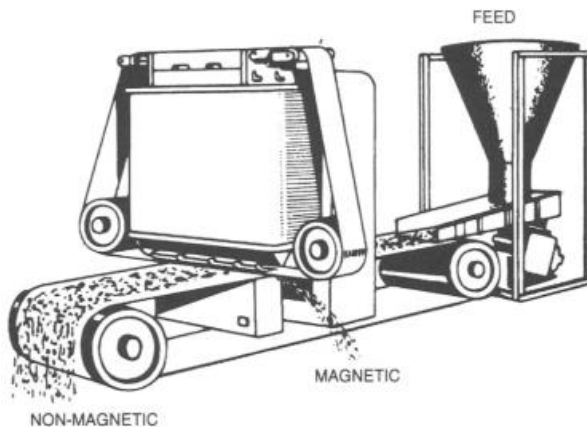
Paramagnetis, merupakan material yang akan tertarik jika dilewatkan pada medan magnetis. Contoh material paramagnetis adalah ilmenite (FeTiO_3), rutile (TiO_2), wolframite ($(\text{Fe}, \text{Mn})\text{WO}_4$), monasit (REE-PO_4), siderit (FeCO_3),

pyrrhotite (FeS), chromite (FeCr_2O_4), hematit (Fe_2O_3) dan mineral-mineral mangan (Mn-mineral). Sebagian elemen memiliki sifat paramagnetik seperti logam-logam Ni, Co, Mn, Cr, Ce, Ti, O dan Pt, tapi pada banyak kasus, properti paramagnetik mineral sangat dipengaruhi oleh kehadiran besi dengan bentuk ferromagnetik.

Satuan pengukuran dari fluks magnetik atau induksi magnetik adalah tesla (T). gaya magnetis yang menginduksi material dikenal dengan field intensity (H) atau ampere per meter ($1 \text{ Am}^{-1} = 4\pi \times 10^{-7} \text{ T}$). Magnetik *separator* juga dapat dibedakan menjadi 2 macam dalam pengaplikasiannya menggunakan beberapa jenis peralatan (drum, belt).

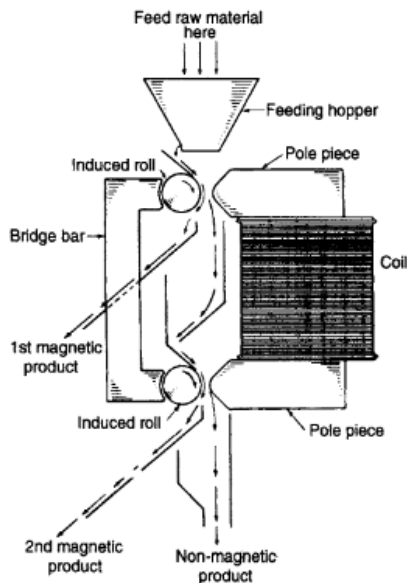


Gambar 7.24 *Drum-magnetic separator (low intensity)*.



Gambar 7.25 *Belt-magnetic separator (low intensity)*.

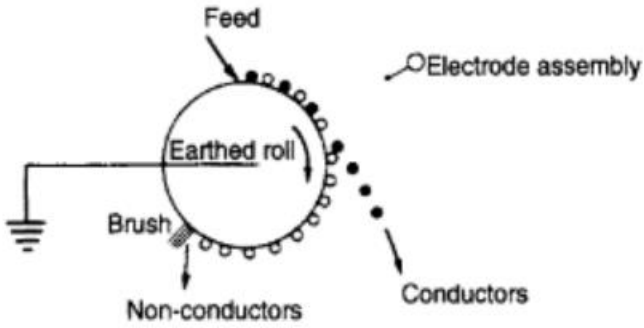
Berdasarkan intensitas induksi magnetis nya dapat dibedakan menjadi 2 macam yaitu *low intensity magnetic separator* dan *high intensity magnetic separator*. *Low intensity* biasanya digunakan untuk sampel dengan preparasi kering dan memiliki properti magnetik yang sangat kuat sehingga pemisahan dapat langsung terjadi. Sedangkan *high intensity* biasanya dilakukan untuk material dengan properti magnetik yang kecil sehingga dapat dijadikan pemisahan magnetik parsial.



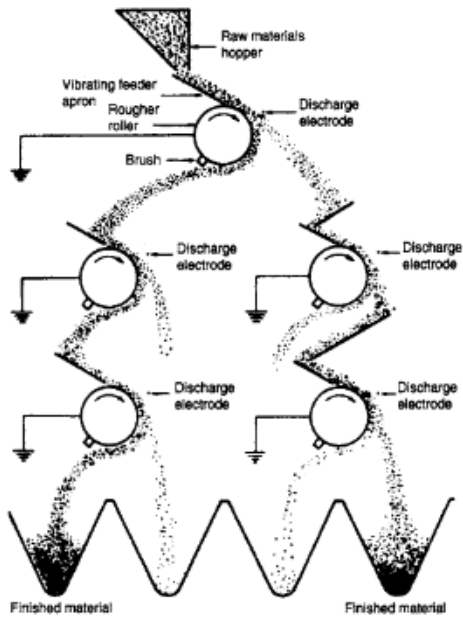
Gambar 7.26 *Induced roll separator*.

Electrical separation

Separasi yang mengandalkan perbedaan pada konduktivitas listrik diantara berbagai macam mineral pada ore. Pada praktiknya, pengaplikasian metode ini sangat terbatas, khusus dipakai untuk memisahkan mineral-mineral yang ditemukan pada heavy sand dari pantau atau stream placer. Material yang diumpankan harus benar-benar kering merupakan salah syarat pengaplikasian metode ini. Kelemahan lain juga terdapat pada kapasitasnya yang kecil yang mana material umpan tidak boleh bertumpuk satu sama lain.



Gambar 7.27 Prinsip *electrical separator*.



Gambar 7.28 Pengaturan *electrical separator*.

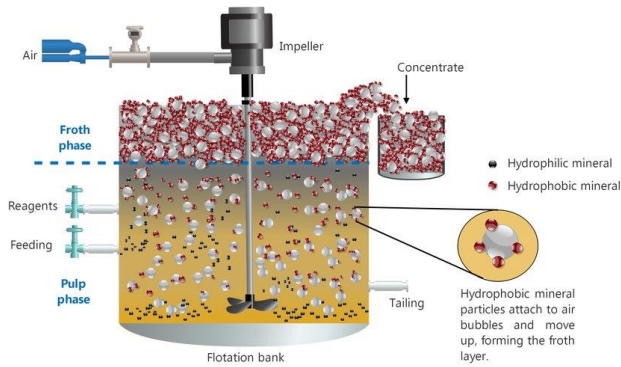
BAB VIII FROTH FLOTASI

8.1. Prinsip Flotasi

Flotasi merupakan teknik pengolahan mineral paling penting. Kegunaan dan aplikasinya secara berkelanjutan dikembangkan untuk mengolah berbagai macam mineral dan peningkatan kapasitas. Flotasi merupakan proses “*physico-chemical separation*” yang memanfaatkan perbedaan *surface properties* dari mineral berharga dan *gangue* mineral. Teori dari flotasi agak sedikit kompleks mengingat adanya partisipasi dari 3 fase pada proses nya. Rekoveri material dari proses pemisahan ini dapat dibagi menjadi 3 mekanisme, yaitu.

- 1) Pengikatan selektif dari mineral ke gelembung udara (“*true flotation*”)
- 2) Proses *entrainment* melalui larutan menuju ke *froth* (terapung pada bagian atas tangki flotasi)
- 3) Pengikatan fisik antara partikel solid yang terdapat pada *froth* (“agregasi”)

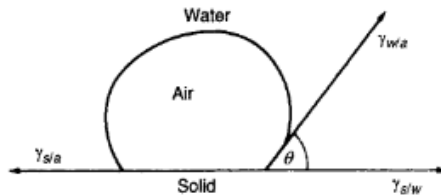
Mekanisme pertama merupakan proses yang paling penting dan merepresentasikan keseluruhan partikel yang terekoveri ke konsentrat. Efisiensi dari proses separasi menggunakan flotasi juga tergantung pada derajat *entrainment* dan pengikatan fisik pada *froth*. Tidak seperti *true flotation*, yang secara kimiawi selektif terhadap properti permukaan mineral, *gangue* dan mineral berharga yang serupa dalam terekoveri/terambil ke bagian *froth* dan terjebak di konsentrat. Drainase dari mineral-mineral ini kemudian terdapat pada fase *froth* dan mengontrol stabilitas fase ini sangat penting untuk mendapatkan separasi yang baik. Biasanya terdapat beberapa stage flotasi (disebut “sirkuit”) yang dibutuhkan untuk menghilangkan *gangue* mineral yang terikat ke konsentrat pada proses flotasi yang pertama.



Gambar 8.1 Prinsip dari *froth* flotasi.

Proses flotasi hanya bisa diaplikasikan kepada material dengan ukuran partikel yang halus, dikarenakan ukuran partikel yang terlalu besar akan menyebabkan adhesi antara *bubble* dan partikel akan menjadi lebih kecil dibandingkan dengan berat partikel nya, sehingga *bubble* akan menjatuhkan mineral/partikel yang menempel. Terdapat rentang ukuran optimum untuk menjalankan proses flotasi. Aktifitas mineral dengan *reagent* flotasi bergantung pada beberapa gaya yang mempengaruhi. Pada keadaan setimbang,

$$\gamma_{s/a} = \gamma_{s/w} + \gamma_{w/a} \cos\theta$$



Dimana $\gamma_{s/a}$, $\gamma_{s/a}$, dan $\gamma_{s/a}$ adalah energi permukaan (*surface energy*) antara solid dan udara, solid dan air, serta air dan udara sedangkan θ merupakan sudut kontak.

Gaya yang dibutuhkan untuk meningkatkan ikatan partikel-*bubble* dikenal dengan *work of adhesion* ($W_{s/a}$).

$$W_{s/a} = \gamma_{w/a} + \gamma_{s/w} - \gamma_{s/a}$$

Atau,

$$W_{s/a} = \gamma_{w/a} (1 - \cos\theta)$$

Dapat dilihat dari persamaan ini bahwa semakin besar sudut kontak, maka semakin besar *work of adhesion* antara partikel dan *bubble* dan *hydrophobicitas* partikel akan meningkat.

Partikel dari mineral hanya bisa menempel pada *bubble* apabila mereka memiliki sifat *hydrophobic (water-repellent)*. *Bubble* hanya bisa mendorong mineral ke bagian *froth*, selebihnya kestabilan *froth* menjadi perhatian, karena jika *froth* tidak stabil mineral yang menempel pada *bubble* akan jatuh kembali ke dalam larutan. Untuk mencapai kondisi seperti ini sangat penting untuk menggunakan komponen kimia dikenal sebagai *flotation reagents*.

8.2. Klasifikasi mineral

Semua mineral diklasifikasikan menjadi tipe polar atau non-polar berdasarkan karakteristik permukaannya (*surface characteristic*). Mineral non-polar dikarakterisasikan sebagai mineral yang memiliki ikatan molekul yang lemah. Mineral-mineral nya terdiri dari molekul kovalen yang tergabung bersama oleh gaya Van Der Waals, dan permukaan non-polar tidak terikat dengan dipol air, dengan kata lain hydrophobic. Mineral-mineral ini adalah seperti grafit, sulfur, molybdenite, diamond, batu bara, dan talc. Mineral-mineral ini tidak membutuhkan perlakuan kimia menggunakan reagent sebelum proses flotasi. Untuk meningkatkan sifat hydrophobicnya, ditambahkan hydrocarbon oil atau *frothing agent*.

Tabel 8.1 klasifikasi mineral polar.

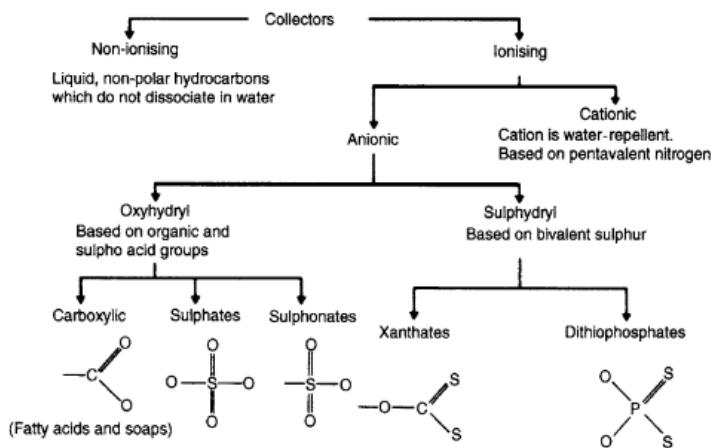
Grup 1	Grup 2	Grup 3(a)	Grup 4	Grup 5
Galena	Barite	Cerrusite	Hematit	Zircon
Covellite	Anhydrite	Malachite	Magnetite	Willemite
Bornite	Gypsum	Azurite	Geothite	Hemimorphite

Grup 1	Grup 2	Grup 3(a)	Grup 4	Grup 5
Chalchocite	Angelsite	Wulfenite	Chromite	Beryl
Chalcopyrite		Grup 3(b)	Ilmenite	Feldspar
Stibnite		Fluorite	Corondum	Sillimanite
Argentite		Calcite	Pyrolusite	Garnet
Bismuthinite		Witherite	Limonite	Kuarsa
Millerite		Magnesite	Borax	
Cobalite		Dolomite	Wolframite	
Arsenopyrite		Apatite	Columbite	
Pyrite		Scheelite	Tantalite	
Sphalerite		Smithsonite	Rutile	
Orpiment		Rhodochrosite	Cassiterite	
Pentlandite		Siderite		
Reaglar		Monazite		
Native Au, Ag, Pt, Cu				

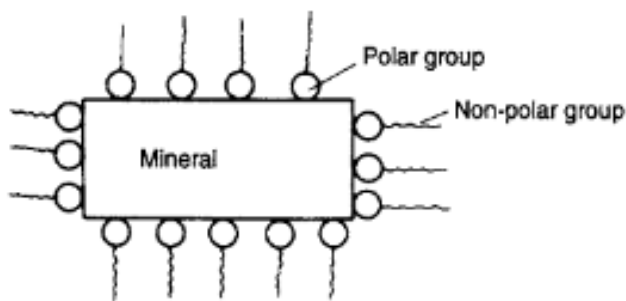
Mineral dengan ikatan kovalen kuat atau ionic *surface* yang kuat biasa dikenal sebagai tipe polar. Dan menghasilkan energi bebas yang tinggi. Polar *surface* bereaksi sangat kuat dengan molekul air, sehingga mineral-mineral ini dikenal sebagai hydrophilic. Polaritas grup mineral meningkat dari 1 ke 5, grup mineral 3(a) dapat dikategorikan sebagai hydrophobic dengan adanya tambahan proses sulfidasi mineral pada meduim alkaline. Pada umumnya derajat polaritas meningkat dari mineral sulfida --> sulfate --> karbonat --> halite --> fosfat --> ... --> oksida-hidroksida --> silika dan kuarsa.

8.3. Kolektor

Sifat hidrofobik harus diterapkan kepada setiap mineral apabila ingin terjadi proses flotasi. Dalam rangka untuk menghasilkan ini, surfaktan yang dikenal sebagai “kolektor” ditambahkan ke dalam pulp (campuran larutan + solid) dan didiamkan beberapa waktu untuk terjadinya proses adsorption oleh partikel solid selama pengadukan yang dikenal juga sebagai periode pengkondisian. Kolektor merupakan senyawa organik yang memberikan sifat hidrofobik karena telah meng-adsorpsi mereka. Kolektor juga dapat dibagi menjadi 2 yaitu non-ionising dan ionising.



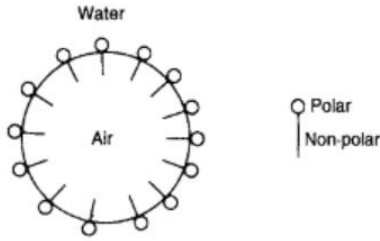
Gambar 8.2 Klasifikasi kolektor.



Gambar 8.3 Adsorpsi oleh kolektor pada permukaan mineral.

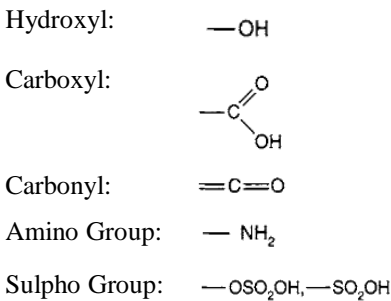
Tabel 8.2 Kolektor dan berbagai kegunaannya.

Reagent	Formula	pH	Kegunaan utama
O-alkyl dithiocarb onates (xanthates)	$\text{R}-\text{O}-\text{C} \begin{array}{l} \text{S} \\ \text{S} \end{array} \text{---K}^+$ <p style="text-align: center;">(or Na⁺)</p>	8-13	Flotasi sulfida, mineral oksidan seperti malachite, cerrusite dan logam elemental



Gambar 8.4 *Frother*.

Frother memiliki kemampuan untuk mengabsorb pada interface udara-air dikarenakan oleh aktivitas *surface* nya dan untuk mereduksi *surface* tension, sehingga dapat menstabilkan bubble udara. *Frother* harus memiliki batas tertentu untuk larut dalam air, jika tidak maka akan terdistribusi tidak merata di dalam larutan aqueous dan propertis *surface*-active nya tidak akan efektif. *Frother* paling efektif termasuk di dalam beberapa grup berikut



Acid, amina, dan alkohol merupakan *frother* paling solubel. Alkohol (-OH) paling banyak digunakan, dikarenakan tidak memiliki properti-properti kolektor. Keberadaan reagen kolektor dan *frother* akan menyebabkan selektif flotasi sulit terjadi. *Frother* paling banyak dipakai saat ini adalah methyl isobutyl carbinol (MIBC).

Regulator

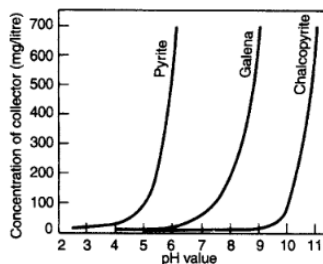
Regulator atau modifier biasanya digunakan secara ekstensif pada flotasi untuk memodifikasi keefektifan kolektor, baik dengan mengintensifkan atau dengan mereduksi efek “water-repellent” pada permukaan mineral. Hal ini akan dapat menyebabkan kolektor bisa lebih selektif terhadap beberapa mineral. Regulator dapat juga diklasifikasikan sebagai aktivator, depressan atau pH modifier.

8.5. Aktivator

Reagen ini bertugas untuk mengubah sifat kimia alami dari permukaan mineral sehingga bisa menjadi hidrophobic dikarenakan aksi dari kolektor. Aktivator biasanya garam yang larut yang mana dapat mengionisasi di dalam larutan, ion-ion tersebut kemudian akan bereaksi dengan permukaan mineral.

8.6. Peran pH

Sudah terbukti bahwa alkalinitas pulp memainkan peran penting dan kompleks pada flotasi. Pada praktiknya, selektifitas pada proses pemisahan yang kompleks sangat bergantung pada kesetimbangan antara konsentrasi reagen dan pH. Flotasi dapat terjadi kebanyakan pada medium alkaline, sebagaimana kebanyakan kolektor, termasuk xanthate, sangat stabil pada kondisi seperti ini. Alkalinitas dikontrol oleh penambahan lime, natrium karbonat (soda ash), dan sedikit natrium hidroksida atau amonia. Asam sulfat biasanya digunakan untuk menurunkan pH.



Gambar 8.5 Relasi antara konsentrasi dari sodium diethyl dithiophosphate dan nilai pH kritisnya.

8.7. Peran bubble

Pada ilmu mengenai flotasi, salah satu komponen paling kritis selama proses adalah peran dari bubble. Didapatkan bahwa konstanta kecepatan orde 1 (k) didapatkan pada berbagai macam cell flotasi di industri yang bekerja pada berbagai macam tipe dan ukuran. Kecepatan impeler dan kedalaman *froth* bergantung pada floatability ore umpan (P), *surface* area dari bubble (S_b) yang teregenerasi pada cell dan rekovery selama pada fase *froth* (R_f), dikaitkan pada satu persamaan berikut,

$$k = P \cdot S_b \cdot R_f$$

Dimana k = konstanta kecepatan (rate) (s^{-1}), P = floatability (dimensionless), S_b = fluks bubble *surface* area (s^{-1}), dan R_f = *froth* rekovery (fraksi).

Floatability dari sebuah partikel di pengaruhi oleh derajat hidropobisitas, *surface* area dari fluks bubble adalah kunci pada zona pulp, serta untuk *froth* rekovery. Nilai S_b bisa dicari melalui persamaan berikut.

$$S_b = \frac{6J_g}{d_b}$$

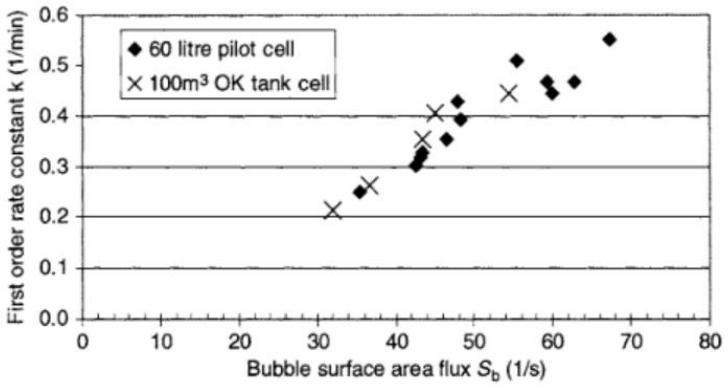
Dimana J_g = kecepatan gas superficial (m/s) dan d_b = diamter bubble rata-rata.

Keduanya, J_g dan d_b merupakan dua besaran yang dapat diukur melalui bubble size analyzer dan probe kecepatan gas superficial. S_b juga dapat diprediksi menggunakan korelasi berikut.

$$S_b = 123 J_g^{0.75} N_s^{0.44} A_s^{-0.1} P_{80}^{-0.42}$$

Dimana N_s = kecepatan putar impeler (rpm), A_s = aspek rasio impeler (lebar/tinggi), P_{80} = 80% passing dari ukuran partikel umpan (μm).

Beberapa peneliti telah mencari hubungan antara fluks bubble *surface* area vs konstanta kecepatan untuk orde 1, seperti tersaji pada gambar berikut.



Gambar 8.6 k vs S_b untuk orde 1 untuk pilot dan rougher cell.

DAFTAR PUSTAKA

- Alves, Helton José et al. 2017. "Effect of Shrimp Shells Milling on the Molar Mass of Chitosan." *Polímeros* 27(1): 41–47.
http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-14282017000100041&lng=en&tlng=en.
- Bacchuwar, S. S. et al. 2020. "X-Ray Computed Tomography for 3D Analysis of Gangue Mineral Rejection by Gravity Preconcentration of Sulfidic Gold Ores." *Mineral Processing and Extractive Metallurgy* 129(1): 49–63.
<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/25726641.2019.1643133>.
- David, D. 2017. "Ball Mills vs Rod Mills." *911 Metallurgist*.
<https://www.911metallurgist.com/ball-mills-vs-rod-mills/>.
- Fuerstenau, Maurice C., and Kenneth N. Han. 2009. *Mineral Beneficiation Principles of Mineral Processing*. 1st ed. Colorado: Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc.
- Gupta, Ashok, and D. Yan. 2016. *Mineral Processing Design and Operations*. Elsevier. <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/C20140012361>.
- Michaud, L. D. 2015. "Crushing in Mineral Processing." *911 Metallurgist*.
<https://www.911metallurgist.com/blog/crushing>.
- Mindat.org. 2023. "Mineral Data." mindat.org (September 21, 2023).
- Napier-Munn, Tim. 2005. *Wills' Mineral Processing Technology Wills' Mineral Processing Technology*. 7th ed. Queensland: Elsevier.
- Royston, D. 2007. "Semi-autogenous Grinding (SAG) Mill Liner Design and Development." *Mining, Metallurgy & Exploration* 24(3): 121–32.
<http://link.springer.com/10.1007/BF03403206>.
- Saramak, Daniel. 2021. "Challenges in Raw Material Treatment at the Mechanical Processing Stage." *Minerals* 11(9): 940.
<https://www.mdpi.com/2075-163X/11/9/940>.
- Sinnott, Matthew D., and Paul W. Cleary. 2015. "Simulation of Particle Flows and Breakage in Crushers Using DEM: Part 2 – Impact Crushers." *Minerals Engineering* 74: 163–77.
<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S089268751400394X>.
- Vignes, Alain. 2013. *Extractive Metallurgy 1 Extractive Metallurgy 1*.
- Wang, Xiaoli, Jie Yi, Ziyu Zhou, and Chunhua Yang. 2020. "Optimal Speed Control for a Semi-autogenous Mill Based on Discrete Element Method." *Processes* 8(2): 233. <https://www.mdpi.com/2227-9717/8/2/233>.

BIODATA PENULIS

Gyan Prameswara, M.Eng.



NIP: 199410262020121003

Program Studi: Teknik Kimia Mineral

Institusi: Politeknik ATI Makassar

Minat Penelitian: Mineral processing

Flaviana Yohanala Prista



NIP: 199009112018012001

Program Studi: Teknik Kimia Mineral

Institusi: Politeknik ATI Makassar

Minat Penelitian: Mineral processing

Tyassena, M.T.

Andi Arinda, M.Si.



NIP: 197710302006042001

Program Studi: Teknik Kimia Mineral

Institusi: Politeknik ATI Makassar

Minat Penelitian: Mineral processing

Herlina Rahim, M.Si.



NIP: 197606262001122003

Program Studi: Teknik Kimia Mineral

Institusi: Politeknik ATI Makassar

Minat Penelitian: Mineral processing

Frabowo Prasetya, S.Kom., M.T.I



NIP: 199608232022021003

Program Studi: Teknik Kimia Mineral

Institusi: Politeknik ATI Makassar

Minat Penelitian: Sistem kontrol dan Simulasi proses

Buku "Pengolahan Mineral I Kominusi dan Benefisiasi Mineral" yang ditulis oleh Gyan Prameswara, Flaviana Yohanala Prista Tyassena, Andi Arninda, dan Herlina Rahim adalah panduan komprehensif untuk memahami proses pengolahan mineral yang esensial dalam industri pertambangan. Buku ini memberikan wawasan mendalam tentang proses kominusi dan benefisiasi mineral yang merupakan tahap kunci dalam mengubah bahan mentah tambang menjadi produk bernilai tinggi.

Buku ini dimulai dengan pengenalan kepada pembaca tentang pentingnya pengolahan mineral dalam industri pertambangan modern. Kemudian, buku ini memandu pembaca melalui proses kominusi, di mana bahan mentah yang besar dihandurkan menjadi ukuran yang lebih kecil melalui berbagai teknik seperti jaw crusher, gyratory crusher, cone crusher, dan lainnya. Penjelasan rinci tentang prinsip kerja dan aplikasi peralatan kominusi membantu pembaca memahami bagaimana material bahan mentah diolah dan dipecahkan.

Selanjutnya, buku ini menjelaskan proses benefisiasi mineral, di mana mineral berharga dipisahkan dari material buangan (tailing) melalui berbagai metode seperti flotasi, gravitasi, pemisahan magnetik, dan lain-lain. Pembaca akan diajak untuk memahami bagaimana proses pemisahan mineral yang cermat dan efisien dapat meningkatkan hasil produksi dan nilai tambang.

Pengarang menyajikan konten ini dengan bahasa yang mudah dipahami, didukung oleh ilustrasi, grafik, dan studi kasus yang membantu memvisualisasikan setiap tahap proses.

"Pengolahan Mineral I Kominusi dan Benefisiasi Mineral" adalah panduan komprehensif yang menggabungkan pengetahuan teoritis dengan aplikasi praktis, memberikan wawasan yang mendalam tentang proses penting dalam industri pertambangan. Buku ini menggambarkan dengan jelas peran penting kominusi dan benefisiasi.

