

# **PENGOLAHAN MINERAL**

---

# **BIOFLOTASI**

---

**Penulis:**

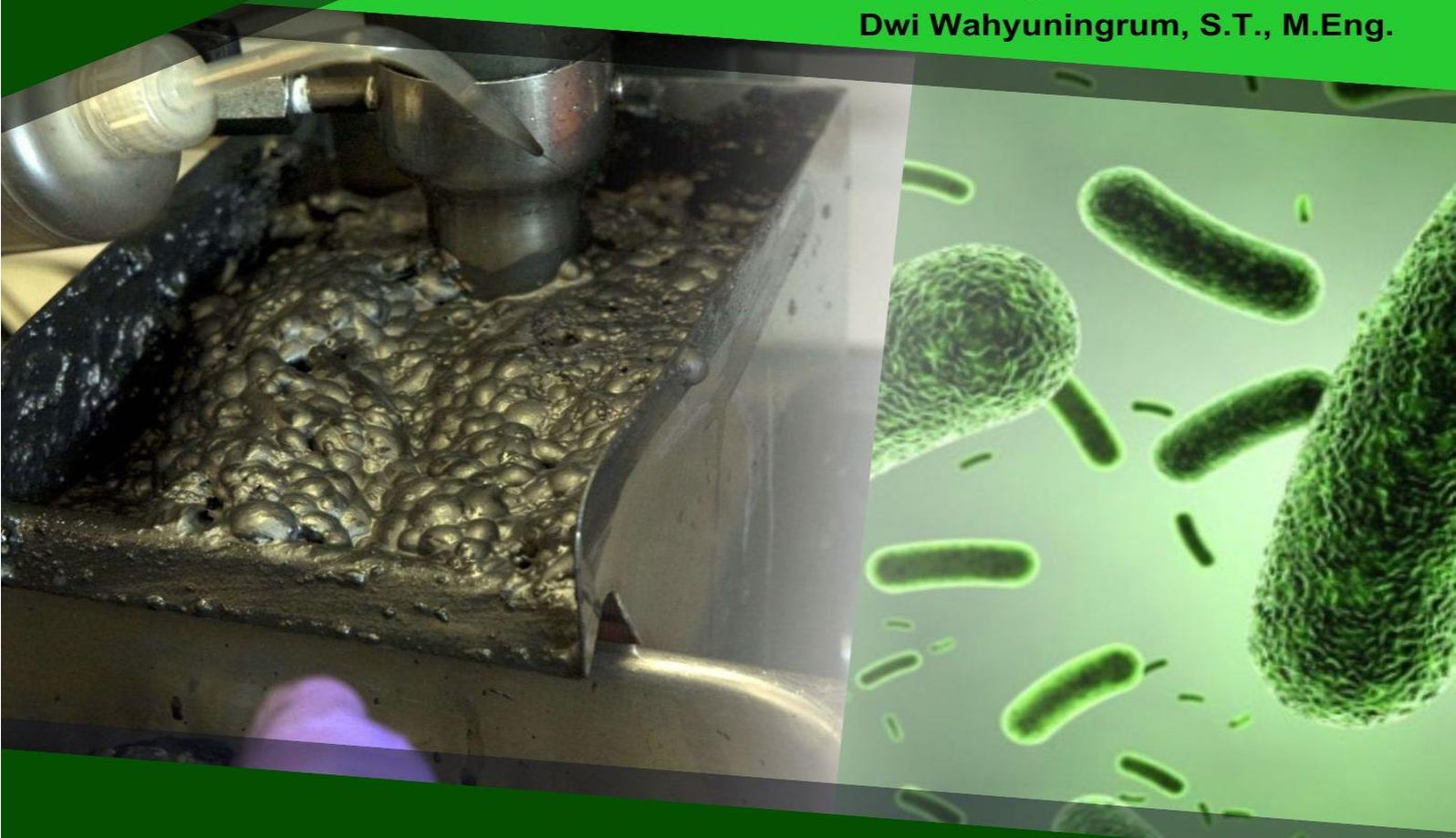
**Tri Wahyuningsih, S.T., M.T.**

**Ir. Untung Sukamto, M.T.**

**Wanidya Ni'immallaili H., S.T., M.T**

**Riria Zendy Mirahati, S.T., M.T.**

**Dwi Wahyuningrum, S.T., M.Eng.**



**PENINGKATAN KADAR LOGAM BERTAHAP  
DENGAN METODE FLOTASI MENGGUNAKAN  
REAGEN RAMAH LINGKUNGAN**

**Pengolahan Mineral Bioflotasi :**  
**Peningkatan Kadar Logam Berharga dengan Metode Flotasi**  
**Menggunakan Reagen Ramah Lingkungan**

**Tri Wahyuningsih, S.T., M.T.**  
**Ir. Untung Sukamto, M.T.**  
**Wanidya Ni'immallaili H., S.T., M.T.**  
**Riria Zandy Mirahati, S.T, M.T.**  
**Dwi Wahyuningrum, S.T., M.Eng**

ISBN 978-623-389-371-8



**Penerbit**  
**LPPM UPN Veteran Yogyakarta**  
**2024**

**Pengolahan Mineral Bioflotasi :  
Peningkatan Kadar Logam Berharga dengan Metode Flotasi  
Menggunakan Reagen Ramah Lingkungan**

Tri Wahyuningsih, S.T., M.T.

Ir. Untung Sukamto, M.T.

Wanidya Ni'immallaili H., S.T., M.T.

Riria Zandy Mirahati, S.T, M.T.

Dwi Wahyuningrum, S.T., M.Eng

Hak cipta dilindungi oleh undang-undang

Dilarang mengutip atau memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini dalam bentuk apapun, baik secara elektronik maupun mekanis, termasuk memfotocopy, merekam, atau dengan sistem penyimpanan lainnya, tanpa izin tertulis dari Penulis

Desain Sampul :

Aditya Ali Mashuda; Setyo Fajar Nurdjati; Joyvanka Dewa Saputra

Cetakan Pertama, 2024

ISBN: 9 786233 893718

Diterbitkan oleh:

Penerbit LPPM UPN Veteran Yogyakarta

Jl. SWK 104 (Lingkar Utara), Condongcatur , Yogyakarta, 55283

Telp. (0274) 486188,486733, Fax. (0274) 486400

Dicetak Oleh:

Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat

UPN Veteran Yogyakarta

Jl. SWK 104 (Lingkar Utara), Condongcatur , Yogyakarta, 55283

Telp. (0274) 486188,486733, Fax. (0274) 486400

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan buku ini yang berjudul “Pengolahan Mineral Bioflotasi: Peningkatan Kadar Logam Berharga dengan Metode Flotasi Menggunakan Reagen Ramah Lingkungan”. Buku ini adalah pengantar yang lengkap mengenai salah satu metode pengolahan mineral yang ramah lingkungan yaitu bioflotasi. Ditulis untuk mahasiswa atau siapa pun yang tertarik dalam dunia bioflotasi, buku ini menghadirkan prinsip-prinsip dasar metode pengolahan mineral.

Berbeda dengan metode flotasi konvensional yang menggunakan reagen kimia, bioflotasi menawarkan alternatif yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan. Bioflotasi memiliki potensi menjadi metode pengolahan mineral di masa depan. Dengan penelitian dan pengembangan yang berkelanjutan, serta dukungan dari industri dan pemerintah, bioflotasi dapat berkontribusi pada industri pertambangan yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan.

Mudah-mudahan buku ini dapat menjadi panduan tentang pengolahan mineral terkhusus bioflotasi. Selamat membaca dan akhir kata, semoga buku ini bermanfaat bagi para pembaca, khususnya bagi mereka yang tertarik pada bidang bioteknologi dan pengolahan mineral.

Yogyakarta, 10 November 2024

Penulis

## DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL.....	i
KATA PENGANTAR.....	iv
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR.....	vi
DAFTAR TABEL.....	viii
BAB I PENGOLAHAN MINERAL.....	1
BAB II KONSENTRASI.....	18
BAB III FLOTASI.....	30
BAB IV BIOFLOTASI.....	40
BAB V BAKTERI.....	51
BAB VI PREPARASI BAKTERI.....	65
BAB VII BIOFLOTASI PADA INDUSTRI.....	73
DAFTAR PUSTAKA.....	83

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1.1 Regangan Kristal Akibat Tegangan Tarik.....	4
Gambar 1.2 Konsentrasi Tegangan Pada Ujung Retakan .....	5
Gambar 1.3 Patahan yang Disebabkan Oleh <i>Crushing</i> .....	6
Gambar 1.4 Diagram Alir Proses <i>Crushing</i> .....	9
Gambar 1.5 Mekanisme dari Grinding (a) impact, (b) chipping, (c) abrasi.....	13
Gambar 1.6 Gerakan Muatan Dalam <i>Mill</i> .....	14
Gambar 1.7 Klasifikasi <i>Coloumn</i> .....	17
Gambar 2.1 Klasifikasi Pengendapan Mineral.....	23
Gambar 2.2 Mekanisme <i>Dense Medium Separation</i> .....	25
Gambar 2.3 Mekanisme <i>Humprey Spiral</i> .....	28
Gambar 2.4 Mekanisme <i>Shaking Table</i> .....	29
Gambar 3.1 Diagram Alir Flotasi .....	34
Gambar 3.2 Mesin Flotasi .....	36
Gambar 3.3 <i>Circuit Flotation</i> .....	38
Gambar 4.1 Mekanisme Sudut Kontak .....	43
Gambar 4.2 Mekanisme <i>Modifier</i> .....	44
Gambar 4.3 Grafik Kadar Zn & % <i>Recovery</i> .....	45
Gambar 4.4 (a) Grafik <i>Recovery vs Waktu</i> , (b) Grafik <i>Grade vs Recovery</i> .....	46
Gambar 4.5 Komposisi <i>Techtoid Acid</i> .....	48
Gambar 4.6 Mekanisme Kolonisasi Mikroba .....	50
Gambar 5.1 Struktur Sel Bakteri .....	51
Gambar 5.2 Bentuk-bentuk Bakteri Basil .....	59
Gambar 5.3 Bentuk-bentuk Bakteri Kokus .....	60
Gambar 5.4 Bentuk-bentuk Bakteri Spirilia.....	60
Gambar 5.5 Kurva Pertumbuhan Bakteri.....	64
Gambar 6.1 (a) Media Tumbuh LB Sebelum Diinokulas; (b) Kultur Bakteri <i>Citrobacter Youngae</i> Strain SKC-4 pada Fase Stasioner; (c) Hasil	

Photomicrograph Bakteri <i>Citrobacter Youngae</i> Strain SKC-4; (d) Koloni Bakteri <i>Citrobacter Youngae</i> Strain SKC-4 yang Ditumbuhkan pada Media Agar Plate LB Modifikasi Selama 24 jam pada Suhu 25oC .....	69
Gambar 6.2 Grafik Tegangan Permukaan.....	71
Gambar 6.3 Grafik Laju Pelepasan <i>Fluorescein</i> .....	72

## DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 4.1 Penelitian Terkait Bioflotasi .....	41

## **BAB I**

### **PENGOLAHAN MINERAL**

Pengolahan bahan galian atau "*ore dressing*" adalah proses mekanis yang bertujuan memisahkan mineral berharga dari mineral pengotor berdasarkan perbedaan sifat fisika atau sifat kimia-fisika dari permukaan mineral tersebut. Proses ini penting dalam mempersiapkan bahan tambang sebelum dilakukan penambangan dan pemrosesan lebih lanjut. Sebelum penambangan dilakukan, perhitungan *Cut-off Grade* (COG) sangat penting. COG adalah parameter yang digunakan untuk membedakan antara bijih yang layak ditambang dan limbah. Nilai COG memberikan batas kadar minimum dari suatu endapan mineral yang masih dapat memberikan keuntungan ekonomis jika ditambang. COG menentukan apakah endapan harus dicampur (*mixing/blending*) atau dapat ditambang secara langsung tanpa pencampuran.

Setelah proses penambangan, bijih yang diperoleh biasanya dikirim ke unit pengolahan untuk meningkatkan kadar mineralnya. Proses ini memberikan beberapa keuntungan utama, antara lain:

1. **Pengurangan Ongkos Transportasi:** Dengan mengurangi volume mineral pengotor melalui proses pengolahan, biaya transportasi dari lokasi tambang ke pabrik peleburan berkurang karena volume yang diangkut lebih kecil dan konsentrasi bijih lebih tinggi.
2. **Pengurangan Penggunaan *Flux* dalam Peleburan:** Bijih dengan kadar yang lebih tinggi membutuhkan lebih sedikit *flux* atau bahan imbuhan selama peleburan. Hal ini penting karena semakin sedikit flux yang digunakan, semakin sedikit pula metal berharga yang hilang bersama *slag*.
3. **Pengambilan Logam Tambahan:** Jika konsentrat yang dihasilkan mengandung lebih dari satu jenis mineral berharga, ada kemungkinan untuk mengekstraksi logam tambahan sebagai produk sampingan (*by-product*)

Bijih dari tambang biasanya berukuran besar dan mineral berharga di dalamnya belum terliberasi. Oleh karena itu, bijih perlu direduksi ukurannya dengan menggunakan alat peremuk (*crusher*) dan penggiling atau penggerus (*grinding mill*). Agar ukuran partikel yang dihasilkan seragam, dilakukan pengelompokan ukuran (*sizing*) melalui pengayakan (*screening*) atau klasifikasi (*classifying*). Pengolahan bahan galian melalui tahapan tersebut memungkinkan pemisahan yang lebih efisien dan peningkatan nilai ekonomis dari bijih yang ditambang, sehingga memaksimalkan keuntungan dan efisiensi dalam proses penambangan dan peleburan.

Sebagian besar mineral tersebar halus dan sangat erat terkait dengan bahan buangan (*gangue*), sehingga harus "dibebaskan" atau "dilepaskan" terlebih dahulu sebelum pemisahan dapat dilakukan. Proses ini dicapai melalui kominusi, di mana ukuran partikel bijih secara bertahap dikurangi sampai partikel mineral bersih dapat dipisahkan dengan metode yang tersedia. Kominusi pada tahap awal dilakukan untuk memudahkan penanganan material yang baru diekskavasi menggunakan penggaruk, konveyor, dan pembawa bijih. Dalam hal produk tambang, proses ini juga bertujuan untuk menghasilkan material dengan ukuran partikel yang terkontrol. Pada proses penambangan, bahan peledak digunakan untuk mengeluarkan bijih dari tempat asalnya, dan peledakan ini dapat dianggap sebagai tahap awal kominusi. Di pabrik pengolahan mineral, atau "*mill*", kominusi berlangsung dalam rangkaian proses penghancuran (*crushing*) dan penggilingan (*grinding*). Penghancuran mengurangi ukuran partikel bijih yang baru ditambang sampai ke tingkat di mana *grinding* bisa dilakukan hingga mineral dan gangue dihasilkan sebagai partikel yang terpisah secara substansial. *Crushing* dilakukan dengan menekan bijih ke permukaan yang kaku atau dengan benturan terhadap permukaan dalam jalur gerakan yang terkendali dengan kaku. Ini berbeda dengan *grinding* yang dilakukan melalui abrasi dan benturan bijih oleh gerakan bebas media yang tidak terhubung seperti batang, bola, atau kerikil.

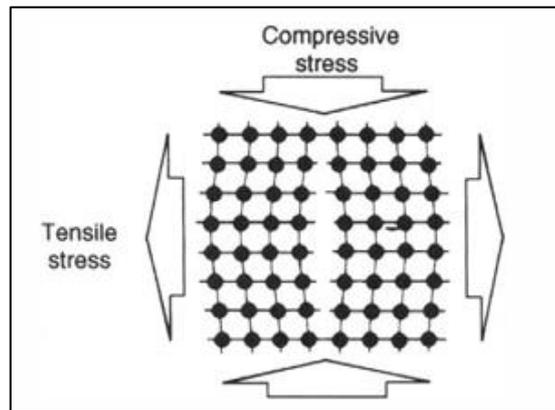
Proses menghancurkan biasanya dilakukan tanpa air (kering) dan dibagi menjadi beberapa tahap. Pada setiap tahap, ukuran bahan yang dihancurkan hanya menjadi sekitar sepertiga hingga seperenam dari ukuran awalnya. Ukuran akhir

yang dihasilkan dari setiap tahap penghancuran bisa dihitung dengan membandingkan ukuran terbesar bahan sebelum dan sesudah dihancurkan. Pada tahap akhir dari proses pengurangan ukuran, biasanya digunakan mesin yang berputar berisi batang baja atau bola untuk menghaluskan bahan. Proses ini sering dilakukan dengan menambahkan air (basah) agar bahan menjadi seperti lumpur, yang memudahkan proses pengolahan selanjutnya. Meskipun begitu, ada juga proses pengurangan ukuran yang dilakukan tanpa air. Ada beberapa ukuran bahan yang bisa dihancurkan atau dihaluskan dengan mesin yang sama. Berdasarkan beberapa penelitian, untuk menghaluskan bahan sampai ukuran tertentu, menggunakan mesin penghancur pada tahap akhir akan lebih hemat biaya dan energi dibandingkan menggunakan mesin penggiling.

Pabrik *grinding* kini sering digunakan dalam pengolahan mineral, meskipun telah ada di industri lain selama bertahun-tahun. Mewakili kategori luas dari pabrik yang menggunakan *grinding* untuk menggerakkan media baja, keramik, atau batu. Konfigurasi vertikal dan horizontal ada, dan karena alat dapat beroperasi dengan ukuran media yang lebih kecil, jauh lebih cocok untuk aplikasi *grinding* halus dari pada pabrik bola. Pabrik *grinding* diklaim lebih efisien energi (hingga 50%) dibandingkan dengan pabrik bola konvensional. Ini dianggap karena rentang energi yang diterapkan lebih sempit. Perangkat kominusi yang relatif baru, yaitu *High Pressure Grinding Rolls* (HPGR), memanfaatkan kerusakan kompresi pada lapisan partikel, di mana terjadi kerusakan antar-partikel yang efisien energi (Schnert, 1988). Rasio pengurangan yang diperoleh dalam satu kali lintasan melalui HPGR jauh lebih tinggi daripada yang diperoleh dalam penghancur gulungan konvensional. Ada juga laporan manfaat lebih lanjut seperti kekuatan *grinding* yang berkurang dan peningkatan kemampuan pelarutan karena retakan mikro. HPGR menawarkan potensi nyata untuk secara signifikan mengurangi kebutuhan energi kominusi yang dibutuhkan oleh pabrik berputar. Laporan telah menunjukkan bahwa HPGR antara 20 hingga 50% lebih efisien daripada penghancur dan pabrik konvensional.

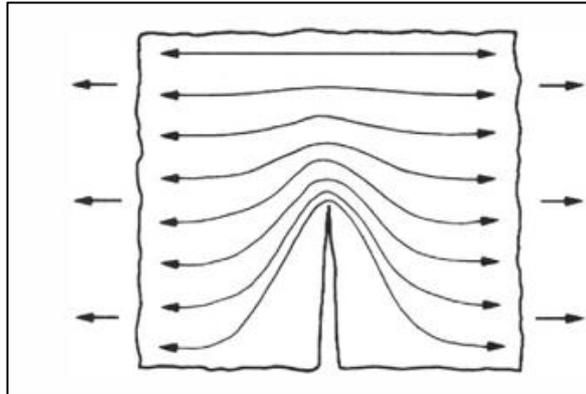
Sebagian besar mineral adalah bahan kristal di mana atom-atomnya tersusun secara teratur dalam pola tiga dimensi. Susunan atom-atom ini ditentukan oleh

ukuran dan jenis ikatan fisik serta kimia yang mengikat bersama. Dalam kisi kristal mineral, ikatan antar-atom ini efektif hanya dalam jarak yang sangat kecil dan dapat terputus jika diperpanjang oleh tegangan tarik. Tegangan seperti itu dapat dihasilkan oleh beban tarik atau kompresi.



Gambar 1.1 Regangan kristal akibat tegangan tarik

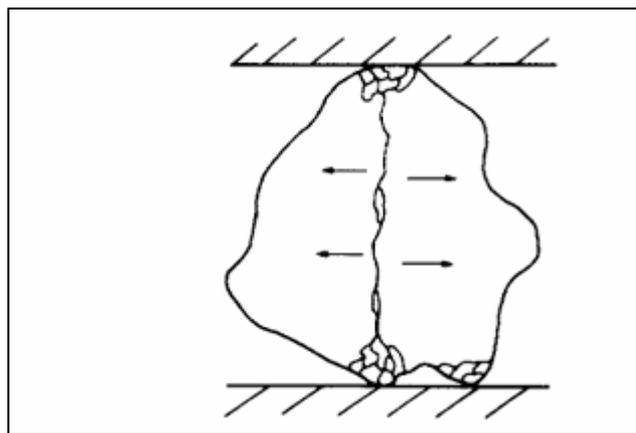
Bahkan ketika batuan menerima beban secara merata, tegangan internalnya tidak tersebar secara merata. Hal ini karena batuan terdiri dari berbagai mineral yang tersebar dalam bentuk butiran dengan berbagai ukuran. Distribusi tegangan ini bergantung pada sifat mekanis dari setiap mineral, tetapi yang lebih penting adalah kehadiran retakan atau cacat dalam matriks batuan, yang berfungsi sebagai titik konsentrasi tegangan. Telah dibuktikan bahwa peningkatan tegangan di titik-titik tersebut sebanding dengan akar kuadrat panjang retakan yang tegak lurus terhadap arah tegangan.



Gambar 1.2 Konsentrasi tegangan pada ujung retakan

Ada nilai kritis untuk panjang retakan pada tingkat tegangan tertentu di mana peningkatan tegangan pada ujung retakan cukup untuk memutuskan ikatan atom di titik tersebut. Pemutusan ikatan ini akan memperpanjang retakan, yang kemudian meningkatkan konsentrasi tegangan dan menyebabkan penyebaran retakan dengan cepat melalui matriks, sehingga menyebabkan patahan. Meskipun teori kominusi mengasumsikan bahwa material bersifat rapuh, kristal sebenarnya dapat menyimpan energi tanpa pecah dan melepaskan energi ini ketika tegangan dihilangkan, perilaku ini dikenal sebagai elastisitas. Ketika patahan terjadi, sebagian energi yang tersimpan diubah menjadi energi permukaan bebas, yaitu energi potensial atom pada permukaan baru yang terbentuk. Karena peningkatan energi permukaan ini, permukaan yang baru terbentuk sering kali menjadi lebih aktif secara kimia dan lebih mudah dipengaruhi oleh reagen flotasi serta lebih mudah teroksidasi. Griffith (1921) mengemukakan bahwa material akan patah melalui penyebaran retakan ketika secara energetik memungkinkan, yaitu ketika energi yang dilepaskan oleh relaksasi energi regangan lebih besar daripada energi permukaan baru yang terbentuk. Material yang rapuh mengurangi energi regangan terutama melalui penyebaran retakan, sementara material yang "kuat" dapat meredakan energi regangan tanpa penyebaran retakan melalui mekanisme aliran plastis, di mana atom atau molekul meluncur satu sama lain dan energi dikonsumsi dalam mendistorsi bentuk material. Penyebaran retakan juga dapat terhambat oleh pertemuan dengan retakan lain atau oleh batas kristal. Oleh karena itu, batuan

berbutir halus seperti taconite biasanya lebih kuat dibandingkan dengan batuan berbutir kasar. Energi yang dibutuhkan untuk kominusi berkurang di hadapan air dan dapat lebih jauh berkurang oleh zat kimia tambahan yang teradsorpsi pada padatan (Hartley et al., 1978). Ini mungkin disebabkan oleh penurunan energi permukaan saat adsorpsi, dengan syarat bahwa surfaktan dapat menembus ke dalam retakan dan mengurangi kekuatan ikatan di ujung retakan sebelum terjadi pecah. Partikel nyata memiliki bentuk yang tidak beraturan, dan pembebanan tidak seragam tetapi dicapai melalui titik-titik atau area kecil dari kontak. Pemecahan terutama dicapai melalui penghancuran, benturan, dan abrasi, dan ketiga mode patahan (kompresi, tarik, dan geser) dapat terlihat tergantung pada mekanika batuan dan jenis pembebanan.



Gambar 1.3 Patahan yang disebabkan oleh crushing

Dalam pemecahan melalui benturan, karena beban yang diterima partikel berlangsung dengan cepat, partikel mengalami tegangan rata-rata yang lebih tinggi selama mengalami regangan dibandingkan dengan tegangan yang dibutuhkan untuk mencapai patahan sederhana. Hal ini menyebabkan partikel cenderung pecah dengan cepat, terutama melalui kegagalan tarik, sehingga produk pecahannya sering kali serupa dalam ukuran dan bentuk. Sementara itu, gesekan (kegagalan geser) menghasilkan banyak material halus, yang mungkin tidak diinginkan tergantung pada tahap kominusi dan sektor industri. Gesekan terjadi terutama dalam praktik melalui interaksi antar-partikel (kominusi antar-partikel), yang bisa terjadi jika penghancur diberi umpan terlalu cepat. Partikel yang bersentuhan

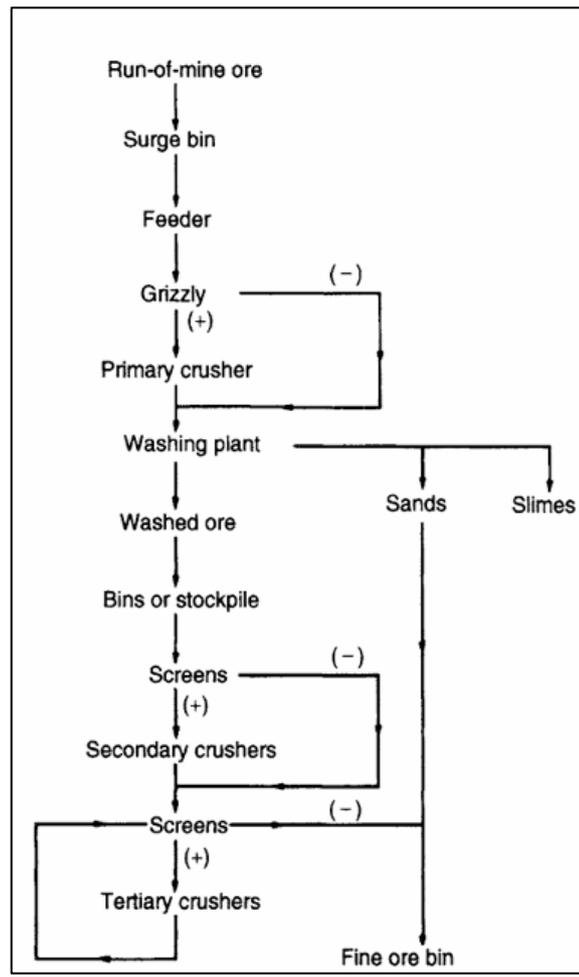
meningkatkan tingkat tegangan kompresi dan dengan demikian menyebabkan kegagalan geser.

Penghancuran (*crushing*) adalah tahap mekanis pertama dalam proses kominusi, yang bertujuan utama untuk membebaskan mineral berharga dari gangue (batuan pengotor). Umumnya, operasi ini dilakukan secara kering dan biasanya dilakukan dalam dua atau tiga tahap. Benjolan bijih yang baru ditambang bisa sebesar 1,5 meter dan di tahap *crushing* primer, ini dikurangi ukurannya menjadi 10-20 cm dengan mesin tugas berat. Dalam sebagian besar operasi, jadwal *crushing* primer mengikuti jadwal penambangan. Jika *crushing* primer dilakukan di bawah tanah, biasanya ini menjadi tanggung jawab departemen penambangan. Namun, jika dilakukan di permukaan, departemen penambangan biasanya mengirim bijih ke penghancur, dan departemen pemrosesan mineral akan menangani proses *crushing* dan *material handling* dari titik ini hingga ke unit operasi pengolahan bijih berikutnya. *Crushing* primer biasanya dirancang untuk beroperasi selama 75% dari waktu yang tersedia selama satu hari (24 jam), terutama karena seringnya terjadi gangguan yang disebabkan oleh kekurangan pasokan bijih ke penghancur dan keterlambatan mekanis di dalam *crushing* itu sendiri (Lewis et al., 1976).

Tahap *crushing* sekunder mencakup semua operasi mulai dari pengambilan produk penghancur primer dari penyimpanan bijih hingga pembuangan produk akhir dari *crushing*, yang biasanya berdiameter antara 0,5 dan 2 cm. Produk dari *crushing* primer untuk sebagian besar bijih logam dapat dihancurkan dan langsung dilakukan *screening*, dan pabrik sekunder umumnya terdiri dari satu atau dua tahap reduksi ukuran dengan *crushing* tergantung pada bijih yang diolah. Namun, jika bijih cenderung licin dan keras, tahap penghancuran tersier mungkin digantikan oleh *grinding* kasar di dalam *rod mill*. Di sisi lain, lebih dari dua tahap pengurangan ukuran mungkin diperlukan dalam penghancuran sekunder jika bijih sangat keras, atau dalam kasus khusus di mana penting untuk meminimalkan produksi material halus.

*Vibrating screen* terkadang ditempatkan di depan *crushing* sekunder untuk menyaring hasil output *crushing*, sehingga mempercepat proses *crushing* sekunder. Material yang lebih kecil cenderung mengisi celah-celah antara partikel besar di

ruang penghancuran dan dapat menyumbat *crusher*, menyebabkan kerusakan, karena massa batu yang terisi tidak dapat mengembang dalam volume saat dipecah. Proses *crushing* dapat dilakukan dalam sirkuit terbuka atau tertutup tergantung pada ukuran produk yang diinginkan. Pada *crusher* dengan sirkuit terbuka, material yang lebih kecil dari layar digabungkan dengan produk *crushing* dan kemudian diarahkan ke operasi berikutnya. Penghancuran sirkuit terbuka sering digunakan dalam tahap *crushing* antara, atau ketika pabrik *crushing* sekunder menghasilkan umpan untuk *rod mill*. Jika penghancur menghasilkan umpan untuk ball mill, maka praktik yang baik adalah menggunakan *crushing* sirkuit tertutup di mana material yang lebih kecil dari *screen* menjadi produk akhir. Produk dari *crusher* dikembalikan ke *screen* sehingga material yang terlalu besar akan berputar kembali ke *crusher*. Salah satu alasan utama untuk menutup sirkuit adalah untuk memberikan fleksibilitas yang lebih besar pada pabrik *crushing* secara keseluruhan. *Crusher* dapat dioperasikan dengan pengaturan yang lebih lebar jika diperlukan, sehingga mengubah distribusi ukuran produk, dan dengan melakukan *cutting screen*, produk akhir dapat disesuaikan untuk memenuhi spesifikasi yang diinginkan. Faktor tambahan lainnya adalah jika material tersebut basah atau lengket, maka mungkin diperlukan untuk membuka pengaturan *crusher* untuk mencegah kemungkinan pengisian yang berlebihan, dan dengan cara ini output mesin dapat ditingkatkan, yang akan mengkompensasi beban sirkulasi tambahan. Operasi sirkuit tertutup juga memungkinkan untuk mengkompensasi keausan yang terjadi selama proses penghancuran.



Gambar 1.4 Diagram alir proses *crushing*

*Crushing* adalah tahap mekanis pertama dalam proses pengolahan bijih, di mana tujuan utamanya adalah untuk memisahkan mineral berharga dari *gangue* (batuan pengotor). Proses ini umumnya dilakukan secara kering dan biasanya berlangsung dalam dua atau tiga tahap. Pada tahap *crushing* primer, benjolan bijih besar yang bisa mencapai ukuran 1,5 meter dikurangi menjadi ukuran 10-20 cm menggunakan mesin penghancur yang kuat. Pada kebanyakan operasi tambang, jadwal *crushing* primer disesuaikan dengan jadwal penambangan. Jika *crushing* primer dilakukan di bawah tanah, operasi ini biasanya menjadi tanggung jawab departemen penambangan. Namun, jika penghancuran dilakukan di permukaan, departemen penambangan biasanya mengirim bijih ke *crusher*, dan departemen pengolahan mineral akan menangani proses *crushing* dan penanganan bijih dari

titik ini hingga ke unit-unit proses pengolahan berikutnya. Crusher primer biasanya dirancang untuk beroperasi selama 75% dari waktu yang tersedia, terutama karena sering terjadi gangguan seperti kurangnya pasokan bijih ke *crusher* dan penundaan mekanis pada *crusher* itu sendiri. Untuk menjamin aliran bijih yang stabil ke penghancur, *surge bins* ditempatkan sebelum penghancur primer untuk menerima muatan yang diturunkan dari skip atau truk. *Surge bins* ini harus memiliki kapasitas penyimpanan yang cukup untuk menjaga aliran yang stabil ke penghancur. Biasanya, pabrik penghancur tidak beroperasi selama 24 jam sehari, karena pengangkutan dan transportasi bijih biasanya dilakukan dalam dua shift saja, dengan shift lainnya digunakan untuk pengeboran dan peledakan. Oleh karena itu, bagian penghancuran harus memiliki kapasitas per jam yang lebih besar daripada bagian pabrik lainnya, yang berjalan terus-menerus. Bijih selalu disimpan setelah melalui penghancur untuk memastikan pasokan yang terus-menerus ke bagian *Grinding*.

Pada proses crushing akan di bedakan menjadi 2 bagian yaitu :

1. **Primary Crushing**, adalah mesin berat yang digunakan untuk mengurangi bijih *run-of-mine* menjadi ukuran yang sesuai untuk transportasi dan pemberian makan penghancur sekunder atau pabrik AG/SAG. Primary Crushing selalu dioperasikan dalam rangkaian terbuka, dengan atau tanpa layar scalping berat (*grizzly*). Ada dua jenis utama penghancur primer dalam operasi metaliferous - penghancur rahang dan giratori - meskipun penghancur dampak memiliki penggunaan terbatas sebagai penghancur primer dan akan dipertimbangkan secara terpisah.
2. **Secondary Crushing**, memiliki kemampuan penghancur lebih kecil dari pada mesin primer yang kuat dan tangguh. Karena *secondary crushing* mengambil bijih yang sudah dihancurkan secara primer sebagai umpan, ukuran umpan maksimum biasanya kurang dari 15 cm dalam diameter, dan karena sebagian besar bahan berbahaya dalam bijih, seperti logam asing, kayu, lempung, dan lumpur, sudah dihilangkan, pengelolaannya menjadi lebih mudah. Demikian pula, pengaturan transportasi dan pemberian makan yang melayani penghancur tidak perlu sekuat pada tahap primer. *Crushing*

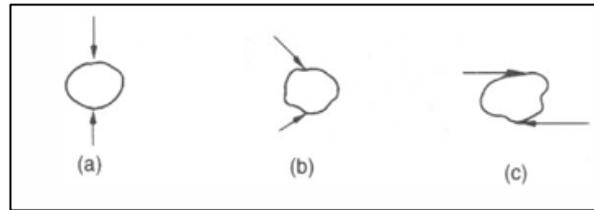
sekunder juga beroperasi dengan umpan kering, dan tujuannya adalah mengurangi ukuran bijih menjadi ukuran yang cocok untuk *grinding*. Di kasus-kasus di mana pengurangan ukuran dapat dilakukan lebih efisien dengan menghancurkan, mungkin ada tahap tersier sebelum material dilewatkan ke pabrik *grinding*.

- 3. *Crushing tersier***, dalam segala hal, memiliki desain yang sama dengan *crusher* sekunder, kecuali bahwa alat tersebut memiliki pengaturan yang lebih rapat. Sebagian besar *crusher* sekunder dari bijih metaliferus (memiliki banyak logam) dilakukan oleh *crusher* tersier, meskipun gulungan penghancur dan hammer mill digunakan untuk beberapa aplikasi.

*Grinding* merupakan tahap terakhir dalam proses kominusi di mana partikel-partikel dikurangi ukurannya dengan kombinasi dampak dan abrasi, baik dalam keadaan kering maupun dalam suspensi air. Proses ini dilakukan dalam tabung baja silinder yang berputar dan ditambahkan media penghancur seperti bola baja atau batang baja. Berdasarkan cara di mana gerakan diberikan kepada muatan, *grinding* umumnya diklasifikasikan menjadi dua jenis: *tumbling* dan *stirred*. Pada *tumbling*, selubung *grinder* diputar dan gerakan diberikan kepada muatan melalui selubung *grinder* itu sendiri. Medium penggiling dapat berupa batang baja, bola, atau batuan itu sendiri. *Tumbling* umumnya digunakan dalam industri mineral untuk proses *grinding* kasar, di mana partikel antara 5 hingga 250 mm dikurangi ukurannya menjadi antara 40 hingga 300 mikrometer. Pada *stirred*, selubung *grinder* dengan orientasi horizontal atau vertikal diam, dan gerakan diberikan kepada muatan oleh gerakan *stirrer* internal. Media *grinding* halus di dalam alat diaduk atau diputar oleh *stirrer*, yang biasanya terdiri dari poros sentral yang dilengkapi dengan pin atau cakram berbagai desain. Pabrik *stirred* digunakan dalam *grinding* halus (15-40 mikrometer) dan ultra-halus (<15 mikrometer).

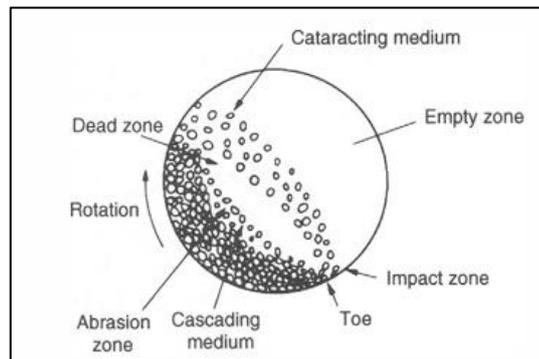
Semua bijih memiliki ukuran partikel optimum ekonomis, yang bergantung pada banyak faktor, termasuk sejauh mana nilai-nilai tersebar dalam *gangue*, dan proses pemisahan berikutnya yang akan digunakan. Tujuan dari bagian *grinding* adalah untuk mengontrol ukuran produk ini dengan cermat, dan karena itu, *grinding*

yang tepat sering dikatakan sebagai kunci dalam pemrosesan mineral yang baik. *Grinding* yang kurang dari optimal akan menghasilkan produk yang terlalu kasar dengan tingkat pembebasan yang terlalu rendah untuk pemisahan ekonomis, pemulihan yang buruk, dan rasio pengkayaan akan dicapai dalam tahap konsentrasi akan rendah. *Grinding* berlebihan yang tidak perlu mengurangi ukuran partikel utama yang kemudian dibebaskan (biasanya *gangue*) dan dapat mengurangi ukuran partikel konstituen minor (biasanya nilai mineral) di bawah ukuran yang diperlukan untuk pemisahan yang paling efisien. Terlalu lama melakukan *grinding* juga akan membuang energi yang diperlukan selama pengoperasian. Penting untuk diingat bahwa *grinding* adalah operasi yang paling boros energi dalam pemrosesan mineral. Diperkirakan bahwa 50% dari energi yang dikonsumsi di pabrik-pabrik pengolahan digunakan dalam kominusi. Pada survei energi yang dikonsumsi di sejumlah konsentrator tembaga Kanada, ditunjukkan bahwa konsumsi energi rata-rata dalam kWh-t-1 adalah 2,2 untuk *crushing*, 11,6 untuk *grinding*, dan 2,6 untuk flotasi (Joe, 1979). Karena *grinding* adalah biaya operasional tunggal terbesar, bijih tidak boleh digiling lebih halus daripada yang dibenarkan secara ekonomis. *Grinding* yang lebih halus tidak boleh dilakukan melebihi titik di mana NSR untuk pemulihan yang lebih tinggi menjadi kurang dari biaya operasional tambahan yang ditambahkan (Steane, 1976). Meskipun *tumbling* telah dikembangkan hingga tingkat efisiensi mekanik dan keandalan yang tinggi, alat ini sangat boros dalam hal energi yang dikeluarkan, karena bijih sebagian besar pecah sebagai hasil dari dampak-dampak acak yang berulang, yang memecahkan partikel yang dibebaskan maupun yang belum dibebaskan. Saat ini tidak ada cara praktis di mana dampak-dampak ini dapat diarahkan pada antarmuka antara butir mineral, yang akan menghasilkan pembebasan optimum, meskipun berbagai gagasan telah diajukan (Wills dan Atkinson, 1993). Meskipun derajat liberasi yang tinggi adalah tujuan utama *grinding* dalam pemrosesan mineral, perlakuan ini kadang-kadang digunakan untuk menghemat energi.



Gambar 1.5 Mekanisme dari *grinding*: (a) *impact*, (b) *chipping*, (c) *abrasion*

*Grinding* biasanya dilakukan dalam kondisi basah, meskipun dalam beberapa aplikasi digunakan penggilingan kering. Saat pabrik diputar, campuran dari media, bijih, dan air yang dikenal sebagai muatan pabrik, dicampur secara merata. Media tersebut mengkomunisi partikel-partikel dengan salah satu metode yang disebutkan sebelumnya tergantung pada kecepatan putaran pabrik dan struktur pelapisnya. Sebagian besar energi kinetik dari muatan yang berguling di dalam pabrik terdisipasi sebagai panas, kebisingan, dan kerugian lainnya, hanya sebagian kecil yang digunakan untuk benar-benar memecahkan partikel-partikel tersebut. Selain dari pengujian laboratorium, penggilingan dalam pemrosesan mineral adalah proses yang berkelanjutan, di mana material diberi *feed* dengan laju terkontrol dari bin penyimpanan ke satu ujung lain dan meluap dari ujung lainnya setelah waktu tinggal yang sesuai. Pengendalian ukuran produk dilakukan melalui jenis media yang digunakan, kecepatan putaran mesin, sifat umpan bijih, dan jenis sirkuit yang digunakan. Ciri khas dari *tumbling* adalah penggunaan badan *crusher* lepas, yang besar, keras, dan berat dibandingkan dengan partikel bijih, tetapi kecil dibandingkan dengan volume mesinnya, dan yang menempati sedikit kurang dari setengah volume mesin. Karena rotasi dan gesekan dari *shell*, media penggilingan diangkat sepanjang sisi naik mesin hingga mencapai posisi keseimbangan dinamis, di mana badan-badan tersebut jatuh dan berjatuhannya di permukaan bebas dari badan-badan lainnya, mengelilingi zona mati di mana sedikit pergerakan terjadi, hingga ke ujung bawah muatan *mill* (Gambar 1.6).



Gambar 1.6 Gerakan Muatan Dalam *Mill*

Kecepatan di mana sebuah pabrik (*mill*) dijalankan sangat penting, karena itu mempengaruhi sifat produk yang dihasilkan dan jumlah keausan pada pelapis (*liner shell*). Misalnya, pengetahuan praktis tentang lintasan yang diikuti oleh bola-bola baja dalam sebuah pabrik menentukan kecepatan yang harus dijalankan agar bola-bola yang jatuh tidak mengenai liner, yang bisa menyebabkan keausan liner yang cepat, tetapi mengenai bagian bawah muatan (*toe of the charge*). Gaya penggerak dari pabrik ditransmisikan melalui liner ke muatan. Pada kecepatan yang relatif rendah, atau dengan liner yang halus, media penggilingan cenderung bergulir turun ke bagian bawah pabrik dan terjadi penghancuran secara abrasi. Proses bergulir ini (*cascading*) menghasilkan penggilingan yang lebih halus, dengan peningkatan produksi lendir (*slimes*) dan peningkatan keausan liner. Pada kecepatan yang lebih tinggi, media penggilingan terlempar jelas dari muatan dan mengikuti serangkaian lintasan parabola sebelum mendarat di bagian bawah muatan. Proses ini disebut *cataracting* dan menghasilkan penghancuran melalui benturan serta produk akhir yang lebih kasar dengan keausan liner yang lebih sedikit. Pada kecepatan kritis pabrik, lintasan teoretis dari media penggilingan akan jatuh di luar shell. Dalam praktiknya, pada kecepatan ini terjadi sentrifugasi dan media penggilingan dibawa berputar dalam posisi yang pada dasarnya tetap terhadap *shell* pabrik.

Pemilahan industri (*industrial sizing*) digunakan secara luas untuk pemisahan ukuran dari 300 mm hingga sekitar 40  $\mu\text{m}$ , meskipun efisiensinya menurun dengan cepat seiring dengan kehalusan ukuran. Penyaringan kering

umumnya dibatasi untuk material dengan ukuran di atas sekitar 5 mm, sementara penyaringan basah umum digunakan hingga ukuran sekitar 250  $\mu\text{m}$ . Meskipun ada jenis *screen* yang mampu melakukan pemisahan ukuran yang efisien hingga 40  $\mu\text{m}$ , pemilahan di bawah 250  $\mu\text{m}$  biasanya dilakukan melalui klasifikasi. Pemilihan antara penyaringan dan klasifikasi dipengaruhi oleh fakta bahwa pemisahan yang lebih halus membutuhkan area permukaan penyaringan yang besar dan oleh karena itu bisa mahal dibandingkan dengan klasifikasi untuk aplikasi dengan throughput tinggi. Jenis peralatan penyaringan sangat banyak dan beragam. Demikian juga, ada berbagai tujuan penyaringan. Tujuan utama dalam industri mineral adalah:

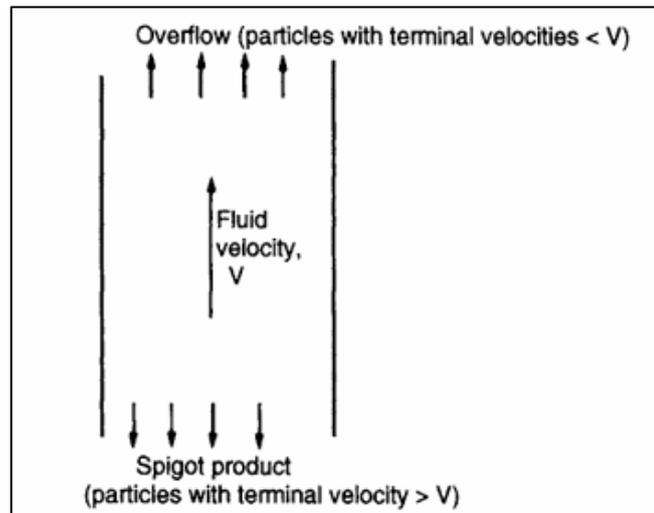
- a) ***Sizing of classifying***, untuk memisahkan partikel berdasarkan ukuran, biasanya untuk menyediakan unit proses hilir dengan rentang ukuran partikel yang sesuai untuk operasi unit tersebut.
- b) **Penyaringan Kasar (*Scalping*)**, untuk menghilangkan fraksi ukuran paling kasar dalam material umpan, biasanya agar dapat dihancurkan atau dihapus dari proses.
- c) ***Grading (Pengelompokan)***, untuk menyiapkan sejumlah produk dalam rentang ukuran tertentu. Ini penting dalam penggalian dan bijih besi, di mana ukuran produk akhir adalah bagian penting dari spesifikasi.
- d) **Pemulihan Media**, untuk mencuci media magnetik dari bijih dalam sirkuit media padat (*dense medium circuits*).
- e) **Pengeringan (*Dewatering*)**, untuk mengeringkan kelembaban bebas dari slurry pasir basah.
- f) **Penghilangan Lumpur atau Debu (*Desliming atau De-dusting*)**, untuk menghilangkan material halus, biasanya di bawah 0,5 mm dari umpan basah atau kering.
- g) **Penghilangan Sampah (*Trash Removal*)**, biasanya untuk menghilangkan serat kayu dari aliran slurry halus.

Pemahaman yang baik tentang berbagai teknik penyaringan dan klasifikasi ini sangat penting untuk meningkatkan efisiensi dan efektivitas dalam proses pengolahan mineral.

Klasifikasi adalah metode untuk memisahkan campuran mineral menjadi dua atau lebih produk berdasarkan kecepatan butiran jatuh melalui media fluida (Heiskanen, 1993). Dalam pengolahan mineral, media ini biasanya air, dan klasifikasi basah umumnya diterapkan pada partikel mineral yang dianggap terlalu halus untuk diurutkan secara efisien melalui penyaringan. Karena kecepatan partikel dalam media fluida bergantung tidak hanya pada ukuran, tetapi juga pada berat jenis dan bentuk partikel, prinsip-prinsip klasifikasi sangat penting dalam pemisahan mineral yang menggunakan konsentrator gravitasi. Klasifikator juga sangat mempengaruhi kinerja sirkuit penggilingan. Ketika partikel padat jatuh bebas di dalam ruang hampa udara, partikel tersebut mengalami percepatan konstan dan kecepatannya meningkat tanpa batas, serta tidak bergantung pada ukuran dan kepadatannya. Misalnya, sepotong timah dan bulu akan jatuh pada kecepatan yang sama. Namun, dalam media yang lebih kental seperti udara atau air, terdapat resistensi terhadap gerakan ini dan nilainya meningkat seiring dengan kecepatan. Ketika kesetimbangan tercapai antara gaya gravitasi dan gaya resistensi fluida, partikel mencapai kecepatan terminalnya dan kemudian jatuh pada kecepatan yang seragam.

Jenis resistensi ini tergantung pada kecepatan partikel yang turun. Pada kecepatan rendah, gerakan partikel halus karena lapisan fluida yang bersentuhan dengan partikel bergerak bersama partikel tersebut, sementara fluida yang berada pada jarak pendek dari partikel tetap diam. Di antara kedua posisi ini terdapat zona geser intens dalam fluida di sekitar partikel yang turun. Semua resistensi terhadap gerakan ini secara efektif disebabkan oleh gaya geser atau viskositas fluida, sehingga disebut resistensi viskos. Pada kecepatan tinggi, resistensi utama disebabkan oleh perpindahan fluida oleh partikel, dan resistensi viskos relatif kecil; ini dikenal sebagai resistensi turbulen. Baik resistensi viskos maupun turbulen, percepatan partikel dalam fluida menurun dengan cepat dan kecepatan terminalnya segera tercapai. Klasifikator pada dasarnya terdiri dari kolom pemisah di mana fluida naik pada kecepatan yang seragam. Partikel yang dimasukkan ke dalam kolom pemisah akan tenggelam atau naik tergantung pada apakah kecepatan terminalnya lebih besar atau lebih kecil dari kecepatan naiknya fluida. Oleh karena

itu, kolom pemisah ini memisahkan umpan menjadi dua produk-*overflow* yang terdiri dari partikel-partikel dengan kecepatan terminal lebih kecil dari kecepatan fluida, dan produk *underflow* atau *spigot* yang terdiri dari partikel-partikel dengan kecepatan terminal lebih besar dari kecepatan naiknya fluida.



Gambar 1.7 Klasifikasi *coloumn*

## **BAB II**

### **KONSENTRASI**

Konsentrasi merupakan salah satu tahapan dalam pengolahan mineral yang dilakukan setelah tahapan preparasi dan sebelum tahapan dewatering. Tahapan konsentrasi adalah tahapan penting dalam proses pengolahan mineral yang bertujuan untuk memisahkan mineral berharga (konsentrat) dari pengotornya (*tailing*). Konsentrat merupakan produk akhir dari proses konsentrasi dalam pengolahan mineral yang memiliki kandungan mineral berharga yang lebih tinggi dibandingkan dengan bijih mentah.

Konsentrasi dapat dilakukan dengan beberapa metode, seperti *magnetic separation*, *high tension separation*, *gravity concentration*, *dense medium separation*, flotasi, dan lain-lain. Berikut merupakan penjelasan secara singkat mengenai macam-macam metode konsentrasi.

#### **1. *Magnetic Separation***

Merupakan metode konsentrasi dengan pemisahan berdasarkan sifat kemagnetan antara mineral berharga dengan mineral pengotornya. Pada pengertiannya yang lain, *magnetic separation* merupakan proses pemisahan satu mineral atau lebih dengan mineral lainnya yang memanfaatkan perbedaan sifat kemagnetan dari mineral-mineral tersebut. Mineral mineral yang terdapat dalam bijih akan memberikan respon terhadap medan magnet sesuai dengan sifat kemagnetan yang dimilikinya. Mineral yang akan tertarik oleh medan magnet dikelompokkan sebagai mineral *magnetic*, sedangkan yang tidak tertarik oleh medan magnet dikelompokkan sebagai mineral *non-magnetic*. Berdasarkan sifat kemagnetannya mineral-mineral *magnetic* terbagi menjadi tiga, yaitu:

- *Ferromagnetic*, merupakan sifat mineral yang memiliki daya tarik magnet yang tinggi. Mineral-mineral yang memiliki sifat kemagnetan ini, dapat di tarik oleh magnet dengan kekuatan yang rendah. Contoh mineral yang

memiliki sifat kemagnetan ini antara lain magnetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), ilmenit ( $\text{FeTiO}_3$ ), dan fraklinit ( $[\text{Zn},\text{Fe}^{2+}][\text{Fe}^{3+}]_2\text{O}_4$ ).

- *Paramagnetic*, merupakan sifat mineral yang memiliki daya tarik magnet yang rendah. Mineral-mineral yang memiliki sifat kemagnetan ini, dapat di tarik oleh magnet dengan kekuatan yang tinggi. Contoh mineral yang memiliki sifat kemagnetan ini antara lain hematit ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), pirotit, dan limonit ( $\text{FeO}[\text{OH}].n\text{H}_2\text{O}$ ).
- *Diamagnetic*, merupakan mineral yang tidak memiliki sifat kemagnetan. Mineral-mineral yang memiliki sifat kemagnetan ini, tidak dapat di tarik oleh magnet dengan kekuatan yang tinggi maupun yang kecil. Contoh mineral yang memiliki sifat kemagnetan ini antara lain garnet ( $\text{AlB}_2[\text{SiO}_4]_3$ ), kuarsa ( $\text{SiO}_2$ ), kalsit ( $\text{CaCO}_3$ ), dan mineral-mineral *non-magnetic* lainnya.

Proses *magnetic separation* dilakukan dengan alat yang bernama *magnetic separator*. *Magnetic separator* adalah alat yang digunakan untuk memisahkan material kering maupun basah dengan menggunakan prinsip gaya magnet dan gaya gravitasi. Material dalam keadaan kering, diusahakan ukurannya tidak terlalu halus agar tidak menghambat proses kerja. Jika ukuran material terlalu halus, maka biasanya pemisahan dilakukan dengan cara basah agar debu yang dihasilkan menjadi berkurang. *Magnetic separator* juga digunakan untuk memisahkan material kering maupun basah dengan menggunakan prinsip gaya magnet, gaya gravitasi, gaya hambatan hidrodinamis, gaya gesek dan gaya sentrifugal. Untuk alat pemisah kering (*dry magnetic separator*) yang memisahkan material yang relatif besar, maka gaya magnet harus cukup untuk menahan material terhadap gaya hambatan. Untuk alat pemisah basah (*wet magnetic separator*) yang memisahkan material yang relatif kecil, maka gaya magnet harus lebih besar dari gaya gesek material.

Pada pengolahan basah pada *magnetic separation*, biasanya menggunakan alat pemisah *Low Wet Intensity Magnetic Separator (LWIMS)* yang terdiri lagi dari tiga tipe model atau jenis. Ketiga jenis ini dibedakan dari cara

pengumpulan, arah aliran fluida yang membawa tailing dan distribusi ukuran bijih yang akan diolah. Ketiga tipe model tersebut adalah:

- *Magnetic separator type concurrent*, tipe ini digunakan untuk bijih berukuran kasar, biasanya kurang daripada 10 mm dengan ukuran halus, ukuran kurang daripada 75 mikron tidak lebih daripada 10 persen. Separator ini biasa dioperasikan pada persen solid antara 30 sampai 50 persen dan dapat memisahkan mineral magnetic dan non magnetic maksimum 160 ton/jam atau setara 350 m<sup>3</sup>/jam.
- *Magnetic separator type counter current*, tipe ini digunakan untuk bijih yang berukuran kurang daripada satu milimeter dengan ukuran halus, kurang daripada 75 mikron bisa lebih daripada 50 persen. Separator ini biasanya dioperasikan dengan persen solid antara 25 sampai 35 persen dan mampu mengolah bijih - mineral hingga kapasitas maksimum 120 ton/jam atau setara dengan 350 m<sup>3</sup>/jam.
- *Magnetic separator type counter-rotation*, tipe ini digunakan untuk pemisahan bijih yang berukuran kurang dari 8 mm, dengan ukuran halus, kurang daripada 75 mikron tidak lebih daripada 50 persen. Separator ini biasa dioperasikan dengan persen solid 30 sampai 50 persen dan mampu mengolah bijih sampai kapasitas maksimum 80 ton/jam atau setara 350 m<sup>3</sup>/jam.

Berdasarkan kekuatan atau daya magnet yang dimiliki, *magnetic separator* digolongkan menjadi:

- *Low-intensity magnetic separator*, daya pada *magnetic separator* ini cukup rendah. Daya yang dimiliki *low intensity magnetic separator* bertujuan untuk menarik material dengan sifat *ferromagnetic*.
- *High-intensity magnetic separator*, daya pada *magnetic separator* ini cukup tinggi. Daya yang dimiliki mampu menarik partikel bersifat *paramagnetic* seperti kalkopirit dan marmatit.
- *High-gradient magnetic separator*, *magnetic separator* ini mampu memisahkan mineral paramagnetik dalam kondisi *magnetic susceptibility* yang rendah. *High-Gradient Magnetic Separator* biasa digunakan pada

industri kaolin untuk menghilangkan pengotor berupa besi berukuran mikro.

- *Superconducting magnetic separator*, daya medan magnet yang dihasilkan oleh alat ini dapat bernilai di atas 2T hingga mencapai 15T. Digunakan komposit untuk menghasilkan rangkaian magnet yang bersifat *superconductive*.

Pada suatu proses konsentrasi dalam pengolahan mineral, *magnetic separating* dilakukan dalam sirkuit rangkaian *magnetic separator* dengan daya magnet yang berbeda beda. Pengaturan rangkaian alat dilakukan sesuai dengan tujuan output yang diinginkan. Terdapat 3 skema pengaturan sesuai dengan hasil yang diinginkan, yakni:

- Output kualitas, ketika konsentrat yang diinginkan dalam proses konsentrasi menggunakan *magnetic separation* memiliki kualitas yang relatif tinggi. Maka rangkaian alat *magnetic separation* disusun dari *magnetic separator* berdaya magnet rendah ke daya magnet tinggi.
- Output kuantitas, ketika konsentrat yang diinginkan dalam proses konsentrasi menggunakan *magnetic separation* diutamakan kuantitas/jumlahnya. Maka, rangkaian alat *magnetic separation* disusun dari *magnetic separator* berdaya tinggi ke daya magnet rendah.
- Output kuantitas-kualitas, merupakan penggabungan dari rangkaian kuantitas dan kualitas.

## **2. Gravity Concentration**

*Gravity concentration* merupakan proses pemisahan dengan mendasarkan pada gaya gravitasi dan perbedaan berat jenis antara mineral-mineral dalam suatu bijih. Secara umum, prinsip kerja dari metode ini dimana partikel tertahan akan sedikit terasing sehingga partikel dapat melakukan pergerakan relative dengan partikel lain dan terpisah.

Kemudahan penggunaan metode *gravity concentration* dapat dilihat dari nilai/harga kriteria konsentrasi. Secara umum nilai kriteria konsentrasi dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

- $CC \geq 2,50$  : Pemisahan mudah dilakukan dalam semua ukuran partikel, dari partikel yang kasar hingga partikel yang halus.
- $CC \geq 1,75$  : Pemisahan mungkin dilakukan secara ekonomis sampai dengan ukuran 10 – 100 mesh (2,000 mm – 0,149 mm).
- $CC \geq 1,50$  : Pemisahan sulit dilakukan, tetapi diaplikasikan untuk ukuran 10 – 20 mesh (2,000 mm – 0,814 mm).
- $CC \geq 1,25$  : Pemisahan sangat sulit dilakukan dan tidak ekonomis.
- $CC < 1,25$  : Pemisahan tidak mungkin dilakukan sehingga perlu menggunakan reaksi kimia.

Berdasarkan prinsip kerjanya, metode *gravity concentration* dikelompokkan menjadi *vertical flow*, dan *horizontal flow*.

### 3. *Gravity Concentration : Vertical Flow*

Pemisahan mineral berharga dari pengotornya yang berdasarkan perbedaan berat jenis dari mineral-mineral tersebut dengan arah aliran air secara vertikal. Metode ini dapat dilakukan dengan beberapa macam proses, seperti *jigging*, dan *dense medium separation*.

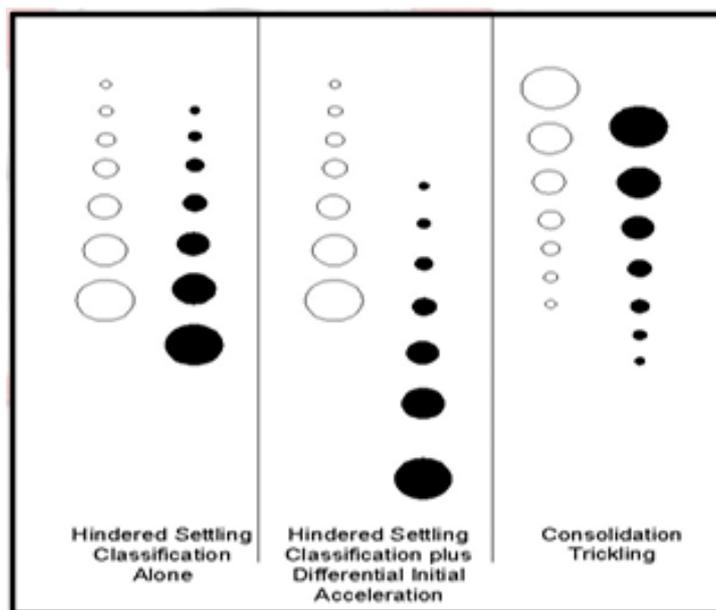
#### a. *Jigging*

*Jigging* adalah proses pemisahan mineral berharga dengan pengotornya berdasarkan pada perbedaan berat jenis mineral tersebut dengan memanfaatkan aliran fluida vertikal. Pada proses *jigging* terjadi statifikasi dikarenakan partikel memiliki berat jenis yang berbeda-beda. Umpan (*feed*) dalam bentuk pulp akan dituangkan ke dalam alat yang pada bagian bawahnya dilapisi ayakan (*screen*). Pada ayakan tersebut terdapat bola baja yang disebut *jig bed*. Dalam *jigging* terdapat tiga peristiwa, yaitu:

- *Differential acceleration*, merupakan faktor perbedaan kecepatan jatuh partikel mineral ke bed, karena adanya gerakan yang terjadi pada alat jig. Hal ini akan menyebabkan material yang memiliki berat jenis besar akan memiliki kecepatan jatuh yang lebih besar daripada material dengan berat jenis kecil.
- *Hindered settling classification*, merupakan faktor dimana kecepatan jatuh setelah mineral mencapai kecepatan akhir atau setelah mengendap

pada bed, dimana partikel mineral terangkat dan turun pada saat terjadi pultion dan suction mengalami kesulitan melalui media pemisah didalam jig. Jadi dapat dikatakan faktor pengaturan kerapatan bed. Pada proses ini material dengan berat jenis kecil akan terlempar dan material dengan berat jenis besar akan mengendap.

- *Consolidation trickling*, pada tahap akhir dari *suction*, partikel mineral berat dengan ukuran kecil mempunyai kesempatan untuk menerobos celah celah lapisan bed, karena partikel tersebut cukup kecil bila dibandingkan dengan mineral yang ringan dan kecil. Agar ketiga peristiwa ini bisa terjadi berulang-ulang dan untuk membantu proses pemisahan, maka pada alat ini dilengkapi dengan peralatan penimbul *pultion* (dorongan) dan *suction* (isapan). Peralatan pembantu ini dapat berupa plunger, diaphragma, pulsator maupun air pulsator. Akibat dari adanya ketiga peristiwa dan gaya di atas, maka mineral berat akan terletak di bawah dan mineral ringan terletak di bagian atas dengan pemisah berupa screen yang ada *jig* bed-nya. Pada umumnya *jig* bed ini mempunyai berat jenis diantara mineral berat dan ringan sehingga kecepatan mengendapnya di antara mineral berat dan ringan.



Gambar 2.1 Klasifikasi Pengendapan Mineral

Terdapat beberapa persyaratan untuk *jig*, yaitu :

- Pengatur *stroke*
- Pengatur *underwater*
- Pengatur umpan
- *Screen* dan *ragging* disesuaikan

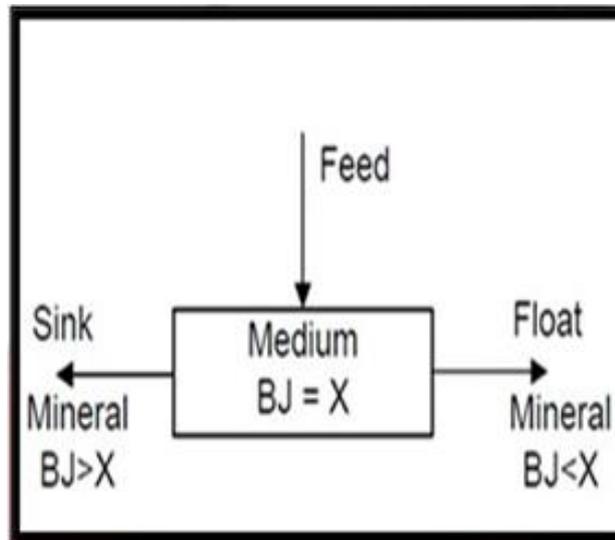
Terdapat beberapa persyaratan untuk *jig bed* atau *ragging*, yaitu:

- Mempunyai kecepatan mengendap antara mineral berat dan ringan
- Tidak mudah hancur
- Ukuran partikel *jig bed* harus lebih besar dari *screen*
- Fluktasi ukuran butir kecil

b. *Dense Medium Separation*

*Dense Medium Separation* merupakan operasi pemisahan yang mendasarkan atas perbedaan berat jenis dengan menggunakan cairan media yang mempunyai berat jenis diantara mineral berat dan ringan. Bila media yang digunakan adalah cairan berat asli, maka operasi ini disebut *heavy liquid separation* (HLS), sedangkan bila yang digunakan adalah cairan berat tiruan/semu (*pseudo liquid*), maka operasi ini disebut *heavy media separation* (HMS). Operasi ini tidak akan berhasil untuk mineral yang berukuran sangat halus, sebab mineral tersebut akan selalu dalam suspensi, sehingga mineral berat tidak dapat dipisahkan dengan mineral ringan. Oleh karena itu pada operasi HLS dan HMS, umpan harus diayak terlebih dahulu.

*Dense medium separation* (DMS) merupakan proses konsentrasi yang bertujuan memisahkan mineral berat dari pengotornya, biasanya mineral ringan dengan menggunakan media pemisahan yang tidak hanya terdiri dari air saja. Dua produk yang dihasilkan berupa apungan (*float*) dan endapan (*sink*). Secara skematik pemisahan pada proses DMS ini dapat digambarkan sebagai berikut.



Gambar 2.2 Mekanisme Dense Medium Separation

*Dense medium separation* dapat menggunakan tiga larutan, seperti larutan garam dan air, *organic liquid*, dan suspensi antara *solid* dan air.

Secara umum media pemisahan yang akan digunakan harus memiliki syarat-syarat sebagai berikut:

- Stabil atau tidak bereaksi
- Mudah diperoleh kembali (*di-recovery*)
- Mudah dipisahkan dari produk *sink* atau *float*

Media pemisahan ini bisa berupa campuran antara air dengan mineral-mineral (padatan) tertentu yang mempunyai berat jenis cukup tinggi dan berukuran sangat halus sehingga membentuk suspensi atau berupa larutan berat yang mempunyai berat jenis yang juga cukup tinggi.

#### 4. *Gravity Concentration : Horizontal Flow*

Metode ini didasarkan pada perbedaan berat jenis mineral yang dipisahkan dan dilakukan dengan menggunakan aliran air yang tipis. Pemisahan mineral akan dipengaruhi oleh gaya gesek antara mineral dengan dasar meja (*deck*), gaya dorong air terhadap partikel gaya gravitasi maupun gaya sentripetal (untuk *humprey spiral*). Gaya gesek lebih dominan pada partikel atau mineral berat, sedangkan gaya dorong air akan dominan terhadap mineral ringan dan gaya gravitasi akan mengenai pada mineral berat maupun ringan. Akibat

pengaruh gaya-gaya, maka mineral yang berat, kecil dan bentuknya datar atau pipih akan didapatkan pada hulu dari suatu aliran, sedangkan partikel ringan, kasar dan bentuknya membulat akan didapatkan di bagian hilir, dengan kata lain bahwa mineral ringan akan lebih jauh diangkut oleh air daripada mineral berat.. Metode ini dapat dilakukan dengan beberapa macam proses, seperti *humprey spiral*, dan *shaking table*.

a. *Humprey Spiral*

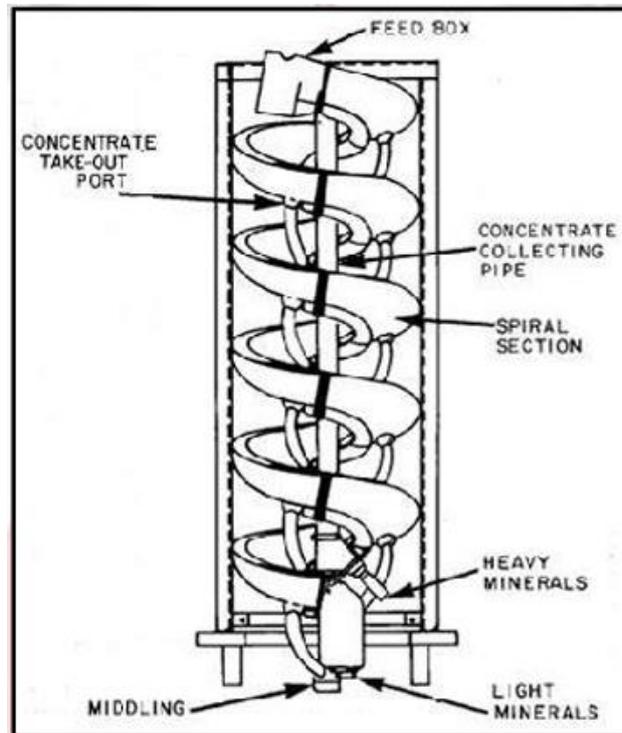
*Humprey Spiral* merupakan salah satu contoh alat *spiral concentration*. Pada spiral concentration, mineral berat dan mineral ringan dipisahkan pada alat yang berbentuk spiral dengan menggunakan gaya sentrifugal (memutar) yang memutar semua komponen dalam umpan dan mengkombinasikannya dengan efek *sluicing* (peluncuran). Media konsentrasi yang digunakan pada alat ini adalah medium air. *Humprey spiral* berdasarkan fungsinya merupakan suatu alat pemisah bijih. Secara prinsip, pemisahan mineral-mineral dengan menggunakan *humprey spiral* dasar utamanya adalah dari aliran fluida yang horizontal. Di samping itu, *specific gravity* (berat jenis) dari mineral yang sangat menentukan terhadap keberhasilan dari operasi tersebut. Terdapat gaya-gaya yang bekerja pada proses ini, yaitu:

- Gaya dorong air, berperan untuk mendorong *feed* sehingga seluruh bagian spiral terbasahi oleh air (sampai bagian dalamnya).
- Gaya gesek, timbul akibat adanya gesekan antara partikel mineral dengan permukaan spiral, untuk itu gaya gesek perlu dikurangi dengan mengalirkan air pada alat. Sehingga, partikel mineral dapat turun dan terpisah.
- Gaya gravitasi, gaya ini kemudian dikurangi dengan memperbanyak jumlah spiral pada alat. Dengan begitu, gaya sentrifugal akan lebih banyak berperan. Sehingga, partikel dikenai gaya sentrifugal lebih lama dan dapat terpisah dengan baik.
- Gaya sentrifugal, timbul akibat bentuk alat yang spiral. Gaya ini bekerja dengan mengarah ke luar pusat lingkaran.

*Humprey spiral* menggunakan gaya gerak serta dibantu aliran air untuk memisahkan *concentrate* dengan *tailing*. Di mana material yang mempunyai berat jenis lebih besar akan berada pada bagian dalam aliran serta material yang mempunyai berat jenis ringan akan berada pada bagian luar aliran, sedangkan biasanya material yang berada di tengah tengah aliran itu merupakan material yang memiliki berat yang sedang. Prinsip kerja dari alat ini adalah umpan dimasukkan kedalam kotak penampung umpan. Kemudian dengan menggunakan pompa air, larutan umpan dipompa ke atas spiral. Larutan umpan akan terlebih dahulu melewati *hydrocyclon*. Pada *hydrocyclon* umpan dipisahkan menjadi mineral berat dan mineral ringan. Mineral berat akan keluar dari *hydrocyclon* melalui pipa bagian bawah, sedangkan mineral ringan keluar dari pipa bagian atas. Umpan memasuki saluran spiral dalam bentuk campuran yang hampir homogen. Ketika larutan air beserta umpan mengalir mengelilingi jalur spiral, pemisahan terjadi pada bidang vertikal. Pemisahan biasanya terjadi sebagai hasil perpaduan dari *hindered settling* dan *interstitial trickling*. Pada daerah berkecepatan rendah diletakkan spliter, yaitu lubang yang didesain dan berfungsi sebagai menampung mineral berat atau dalam hal ini adalah mineral berharga. Konfigurasi dan letak (posisi) dari *spliter* dapat diatur sesuai dengan konsentrat yang akan dihasilkan. Hasil akhir yang didapat pada pemisahan dengan menggunakan metode *humprey spiral* adalah konsentrat, *middling* dan *tailing*.

Bentuk *humprey spiral* berupa *lounder* yang melingkar membentuk spiral, semakin panjang *lounder* maka konsentrat yang dihasilkan akan semakin tinggi kadarnya. Terjadinya pemisahan di dalam *humprey spiral* yakni *feed* dimasukkan ke dalam *feed tank*, melalui pompa *feed* dihisap masuk ke dalam *cyclone*. Di dalam *cyclone* cairan yang kental dipisahkan, selanjutnya yang encer dialirkan ke atas ke dalam *lounder* sebagai *wash water*, sedangkan *pulp* yang kental melalui *lounder* dialirkan ke atas menuju *feed box* sebagai umpan. Karena bentuk *lounder* ini melingkar seperti spiral dari atas ke bawah, maka terjadi gerak arus sentrifugal,

sehingga material yang ringan sebagai tailing akan terletak dibagian luar sedangkan yang berat ada di dalam sebagai konsentrat. Mineral- mineral berat akan mengalir terus dan masuk ke dalam *port*.

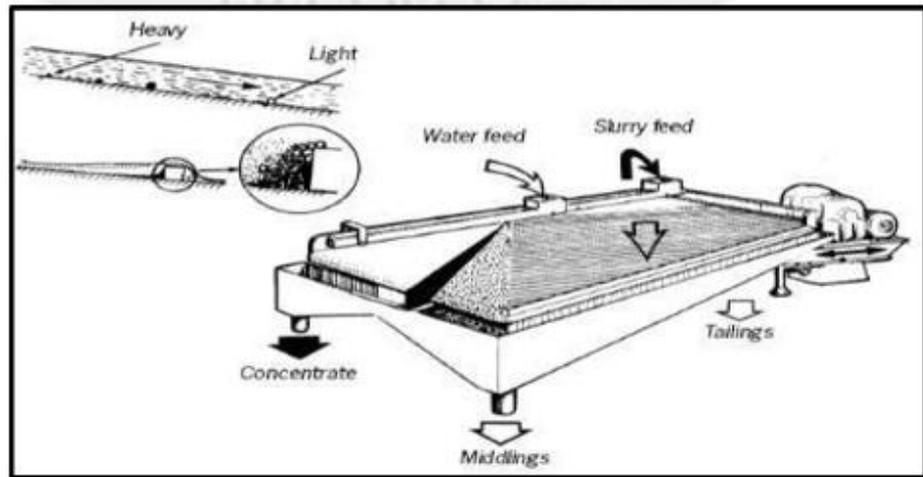


Gambar 2.3 Mekanisme *Humprey Spiral*

b. *Shaking Table*

*Tabling* adalah suatu proses konsentrasi untuk memisahkan antara mineral berharga dengan tak berharga berdasarkan pada perbedaan berat jenis dari mineral melalui aliran fluida tipis. Oleh karena itu proses ini termasuk dalam *flowing film concentration*. Alat yang digunakan adalah shaking table. Terdapat beberapa gaya yang bekerja dalam *tabling*, yaitu:

- Gaya gesek antara partikel dengan dek
- Gaya dorong air
- Gaya gravitasi



Gambar 2.4 Mekanisme *Shaking Table*

## 5. Flotasi

Flotasi merupakan suatu cara konsentrasi kimia fisika untuk memisahkan mineral berharga dengan mendasarkan atas sifat permukaan mineral yaitu suka atau tidaknya terhadap udara. Pada proses flotasi terdapat 3 fase yaitu, padat, cair, dan gas. Secara umum terdapat dua jenis mineral, yaitu :

- Polar (*aerophobic/hydrophilic*), yaitu mineral yang bersifat tidak suka dengan udara tetapi suka dengan air.
- Non-Polar (*aerophilic/hydrophobic*), yaitu mineral yang bersifat suka dengan udara tetapi tidak suka dengan air.

## **BAB III**

### **FLOTASI**

Flotasi merupakan salah satu proses pemisahan suatu mineral berharga dari mineral pengotornya pada suatu cairan/larutan berdasarkan perbedaan sifat permukaan dari zat yang akan dipisahkan, dimana zat yang bersifat hidrofilik/aerofobik tetap berada pada fasa air sedangkan zat yang bersifat hidrofobik/aerofilik akan terikat pada gelembung udara dan akan terbawa ke permukaan larutan dan membentuk buih yang kemudian dapat dipisahkan dari cairan tersebut. Secara umum flotasi melibatkan 3 fase yaitu cair (sebagai media), padat (partikel yang terkandung dalam cairan) dan gas (gelembung udara).

Metode flotasi dipergunakan untuk mengolah bijih kompleks dengan ukuran yang sangat halus serta hasil tailing hasil dari metode konsentrasi lainnya yang sebelumnya dipertimbangkan tidak ekonomis untuk diolah. Dalam kegiatan konsentrasi terdapat salah satu metode yang melibatkan sifat kimia fisika permukaan dari suatu mineral, yaitu metode flotasi. Metode flotasi sendiri merupakan salah satu metode konsentrasi dengan memanfaatkan perbedaan sifat permukaan suatu mineral yang akan diolah. Flotasi melibatkan 3 fasa, yaitu padat, cair, dan gas. Flotasi menggunakan perbedaan tegangan permukaan antar partikel-partikel mineral berharga dan pengotor dengan cara mengapungkan manggukan gelembung udara. Proses ini juga dibantu oleh reagen-reagen dalam prosesnya. Didalam proses flotasi terdapat 3 pilar penting yaitu kimia (reagen), fisika (derajat liberasi), dan mesin (*cell flotation*) (Subandrio, 2021).

Reagen adalah bagian terpenting dalam keberhasilan proses flotasi. Proses flotasi dapat berlangsung optimal bergantung pada reagen-reagen yang digunakan. Reagen yang akan digunakan bergantung pada mineral apa yang akan diolah. Reagen tersebut memiliki masing masing kegunaan yang akan saling melengkapi antar reagensnya. Klasifikasi reagen dalam flotasi dibedakan menjadi 3, yaitu:

## 1. *Collector*

Reagen *collector* adalah senyawa organik yang menyebabkan permukaan mineral menjadi *hydrophobic* dengan menyerap ion atau molekul pada permukaan mineral, mengurangi kestabilan dari lapisan hidrat yang memisahkan permukaan mineral dan gelembung udara sehingga permukaan mineral akan mampu menempel pada gelembung udara. *Collector* yang ditambahkan dalam larutan akan menyebabkan terjadinya penyerapan kimia atau ikatan ion antara gugus polar dengan mineral atau ion pada permukaan mineral. Sedangkan gugus non-polar akan mengelilingi partikel mineral dan membuat mineral tersebut bersifat *hydrophobic* sehingga akan menempel pada gelembung udara. *Collector* akan membuat lapisan tipis pada permukaan mineral yang bersifat *hydrophobic*. Klasifikasi reagen *collector*:

### a. *Anionic collector*:

- *Oxhydril collector*, contohnya *oleic acid sodium oleate, synthetics fatty acid, tall oils*.
- *Sulphydryl collector*, contohnya *xantates, dithiophosphates*.

### b. *Cationic collector*:

- Amine (NH<sub>2</sub>)

## 2. *Modifier*

Reagen *modifier* digunakan sebagai bahan kimia yang mengontrol interaksi dari reagen *collector*. Dengan menggunakan reagen *modifier*, dapat ditingkatkan/dikurangi selektifannya. Reagen *modifier* dapat berupa:

### a. Pengatur pH

Reagen ini merupakan senyawa alkali dan asam yang berfungsi untuk mengatur kondisi pH sehingga reagen *collector* dapat bekerja secara optimum. Contoh pengatur pH asam yaitu asam sulfat, asam klorida. Sedangkan contoh pengatur pH basa yaitu kapur, soda abu, dan soda kaustik.

b. Aktivator

Reagen ini berfungsi untuk membantu *collector* dalam meningkatkan selektifitas partikel yang akan dibuat *hydrophobic*. Contoh activator  $\text{CuSO}_4$ ,  $\text{Na}_2\text{S}$ ,  $\text{Na}_2\text{CS}_3$ .

c. *Depressant*

Reagen ini akan menekan atau menghalangi interaksi *collector* sehingga tidak terjadi pengadsorpsian *collector* dimana permukaan partikel mineral menjadi *hydrophilic* kembali dan tidak ikut terapungkan. Contohnya  $\text{NaCN}$  untuk  $\text{ZnS}$ , pirit, Au, Ag.

d. *Dispersant*

Reagen ini digunakan agar partikel tidak terjadi penggumpalan kembali sehingga partikel dapat berinteraksi dengan *collector* dan gelembung udara dengan lebih baik. Contohnya sodium silikat.

e. *Frother*

Reagen *frother* digunakan untuk membantu membentuk dan menstabilkan gelembung udara dengan cara menurunkan tegangan permukaan air. Apabila permukaan molekul *frother* bereaksi dengan air, maka air akan segera bergabung dengan gugus polar, tetapi tidak dengan gugus nonpolar yang akan cenderung bergabung dengan gelembung udara. Contoh reagen *frother* yaitu, *pine oil*, *methyl amy alcohol*, *methyl isobutyl carbinol*.

Secara umum, mineral memiliki 2 sifat permukaan yaitu:

1. Mineral *hydrophilic / aerophobic* (polar)

Mineral ini adalah jenis mineral yang suka terhadap air namun sukar terhadap udara. Contohnya: Kalsit ( $\text{CaCO}_3$ ) dan kuarsa ( $\text{SiO}_2$ )

2. Mineral *hydrophobic / aerophilic* (non-polar)

Mineral ini adalah jenis mineral yang sukar terhadap air namun suka terhadap udara. Contohnya: galena ( $\text{PbS}$ ) dan Sphalerit ( $\text{ZnS}$ ). Dengan adanya sifat permukaan mineral tersebut, sehingga dapat terjadi proses konsentrasi pada mineral. (Wahyuningsih. Et al, 2020)

Dalam proses flotasi terdapat beberapa syarat yang akan mempengaruhi proses flotasi yaitu:

1. Diameter partikel harus sesuai dengan butiran mineral, yang dimaksud yakni ukuran partikel mineral baiknya disesuaikan dengan derajat liberasi dari tiap mineral yang akan dilakukan proses pemisahan dengan flotasi.
2. Persen solid baiknya pada angka 25%-45% dimana jika persen solid terlalu kecil atau terlalu besar akan berpengaruh terhadap keefektifan proses yang dilakukan,
3. Sudut kontak yang terbentuk antara mineral dengan gelembung udara efektifnya sekitar 60-90 derajat agar adhesi yang timbul dapat lebih besar sehingga dapat membuat mineral terapung,
4. pH larutan disesuaikan dengan mineral yang akan dijadikan sampel misalkan galena dan chalcophyrite dapat mengapungkan chalcophyrite dari galena pada pH 7 – 9, galena dari pyrite pada pH 4 – 6 dan chalcophyrite dari pyrite pada pH 4 – 9.

Proses flotasi dapat dibedakan menjadi 2, yaitu:

1. *Directional flotation*  
Yaitu proses flotasi dimana mineral berharga akan terangkat keatas membentuk buih yang mengapung dipermukaan *pulp*
2. *Reverse flotation*  
Merupakan proses flotasi dimana partikel mineral pengotor/*tailing* akan mengapung dan partikel mineral berharga akan mengendap didasar cell flotation.

Secara sederhana, urutan kerja dari proses flotasi sebagai berikut:

1. Liberasi  
Pada tahapan ini bijih yang akan digunakan dalam proses flotasi akan dilakukan proses kominusi atau pengecilan ukuran mineral dengan proses *crushing and grinding* serta dilakukan proses sieving atau pengayakan dengan tujuan untuk mendapatkan ukuran partikel mineral yang seragam serta diperoleh derat liberasi yang tinggi. Selanjutnya dilakukan analisis

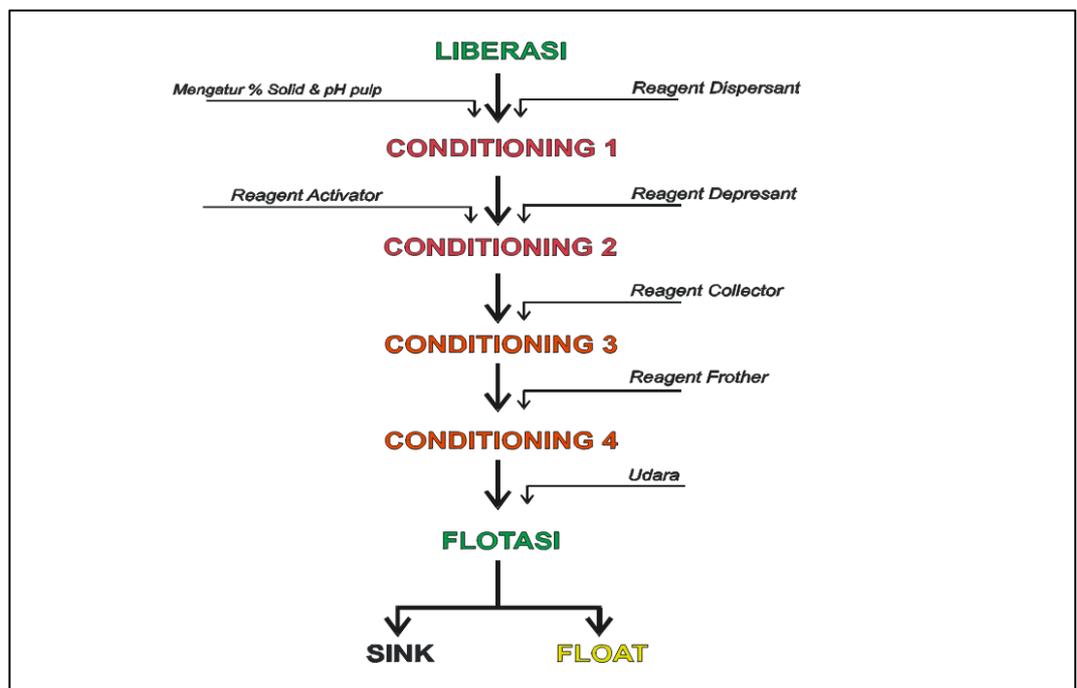
sehingga dapat diketahui derajat liberasinya serta dilakukan proses *desliming*.

## 2. Conditioning

Pada tahap ini dilakukan pembuatan *pulp/slurry*, dimana umpan ditambahkan air sehingga berbentuk *pulp/slurry* serta dilakukan penambahan reagen *collector*, *modifier*, dan frother secara berurutan.

## 3. Flotasi

Pada tahap ini dilakukan penambahan gelembung udara dalam *cell flotation* dan terjadi proses pemisahan, dimana mineral hidrofobik/aerofilik mengendap dan mineral hidrofilik/aerofobik mengapung bersama buih.



Gambar 3.1 Diagram Alir Flotasi

Pada proses flotasi terdapat beberapa variabel yang dapat mempengaruhi hasil proses flotasi dalam memisahkan mineral, yaitu:

1. Tipe reagen *collector*

Reagen *collector* yang digunakan pada proses flotasi memiliki selektivitas yang beragam tergantung pada jenis senyawanya. Misalnya reagen *xanthates* yang bersifat optimal dalam pemisahan mineral sulfida.

2. Dosis reagen *collector*

Dosis reagen perlu disesuaikan dengan jumlah bijih yang digunakan. Penentuan dosis reagen harus diperhitungkan sebaik mungkin agar %*recovery* yang diperoleh optimal tanpa menimbulkan kerugian.

3. Distribusi ukuran

Ukuran partikel akan berkaitan dengan liberasi partikel tersebut. Bijih perlu direduksi ukuran hingga pada ukuran partikel mineral berharganya terliberasi. Ukuran partikel yang lebih halus juga mampu memberikan efek pembentukan gelembung yang lebih stabil.

4. Laju aliran udara

Laju aliran udara berpengaruh pada pembentukan gelembung pada sel flotasi. Gelembung udara yang terbenak akan membawa mineral bersifat *hydrophobic* terangkat dan terpisah dari mineral *hydrophilic*.

5. Densitas *pulp*

Densitas *pulp* akan berpengaruh terhadap selektivitas pemisahan mineral dalam proses flotasi. Pada proses flotasi %*solid* yang optimal umumnya pada nilai 20%.

6. Laju *wash water*

*Froth* pada flotasi merupakan hal yang sangat penting dan berpengaruh pada nilai % *recovery*. *Wash water* dialirkan untuk meningkatkan kadar mineral berharga dengan menghilangkan partikel atau mineral pengotor yang ikut terbawa pada gelembung udara.

(Ucurum, 2007)

Dalam proses flotasi menghasilkan produk, yaitu:

- a. Konsentrat, merupakan mineral berharga yang memiliki kadar yang tinggi.
- b. Tailing, merupakan pengotor-pengotor yang harus dibuang untuk meningkatkan kadar mineral.

Jenis-jenis proses flotasi antara lain, yaitu :

1. Flotasi ruah (*bulk flotation*)

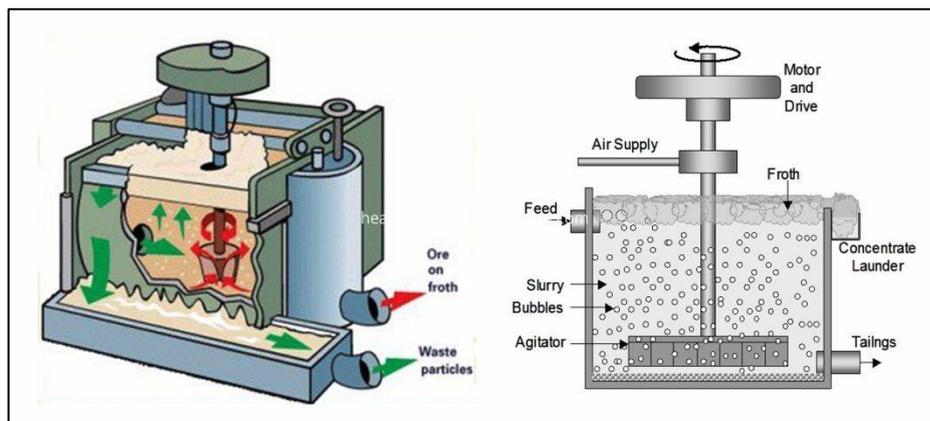
Flotasi ruah merupakan proses flotasi yang mengapungkan sekelompok mineral. Produknya berupa konsentrat dan *tailing*. Sebagai contoh adalah bijih kompleks Pb-Cu-Zn. Jika pada bijih kompleks ini dilakukan flotasi ruah maka akan didapatkan konsentrat dan *tailing*. Konsentrat tetap mengandung Pb-Cu-Zn tetapi dengan kadar yang lebih tinggi.

2. *Differential flotation*

Pada *differential flotation*, dilakukan proses flotasi secara bertahap terhadap konsentrat dari flotasi ruah. Flotasi tahap pertama akan dihasilkan apungan berupa misalnya konsentrat Pb dan endapan yang masih banyak mengandung Cu dan Zn. Pada tahap kedua, endapan diolah (dilakukan proses flotasi) untuk menghasilkan apungan berupa konsentrat Cu dan endapan yang masih banyak mengandung Zn. Pada tahap ketiga dilakukan proses flotasi pada endapan yang masih banyak mengandung Zn, dihasilkan apungan berupa konsentrat Zn dan endapan yang merupakan *tailing* akhir.

3. *Selective flotation*

Pada *selective flotation*, dilakukan proses flotasi seperti pada proses *differential flotation* tetapi tanpa dilakukan proses flotasi ruah terlebih dahulu. Berbeda dengan *differential flotation*, pada *selective flotation* pada setiap tahapnya dilakukan dalam jumlah yang besar sehingga peralatan yang dipakai juga lebih banyak.



Gambar 3.2 Mesin Flotasi

Adapun peralatan/bagian yang digunakan dalam mesin flotasi yaitu :

1. *Vacuum (suction) filters* yang terdiri dari :
  - a. *Intermitten* (misalnya *Moore leaf filter*).
  - b. *Continuous, Continuous* ada beberapa tipe, yaitu :
    - Bentuk silindris atau tromol (*drum type*), misalnya adalah *Oliver filter* dan *Dorrco filter*.
    - Bentuk cakram (*disk type*) berputar, contohnya : *American filter*.
    - Bentuk lembaran berputar (*revolving leaf type*), contohnya *Oliver filter*.
    - Bentuk meja (*desk type*), misalnya adalah *Caldecott sand table filter*.
2. *Pressure filter*, misalnya yaitu :
  - *Merrill plate and frame filter*
  - *Kelly pressure filter*
  - *Burt revolving filter*

### 3. Sel flotasi

Sel flotasi berfungsi untuk menerima *pulp* dan dilakukan proses flotasi. Jenis sel mendasarkan atas pemasukan udara, yaitu :

#### 1. *Agitation Cell*

Alat ini jarang digunakan, sebab adanya perkembangan dengan diketemukannya *sub aeration cell*. Udara masuk ke dalam *cell* flotasi karena putaran pengaduk.

#### 2. *Sub Aeration Cell*

Udara masuk akibat hisapan putaran pengaduk. Alat ini paling praktis sehingga banyak digunakan.

#### 3. *Pneumatic Cell*

Alat ini jarang sekali digunakan, karena prinsipnya udara langsung dihembuskan ke dalam *cell*.

#### 4. *Vacum and Pressure Cell*

Udara masuk karena tangki dibuat vakum oleh pompa penghisap dan udara dimasukkan oleh pompa injeksi.

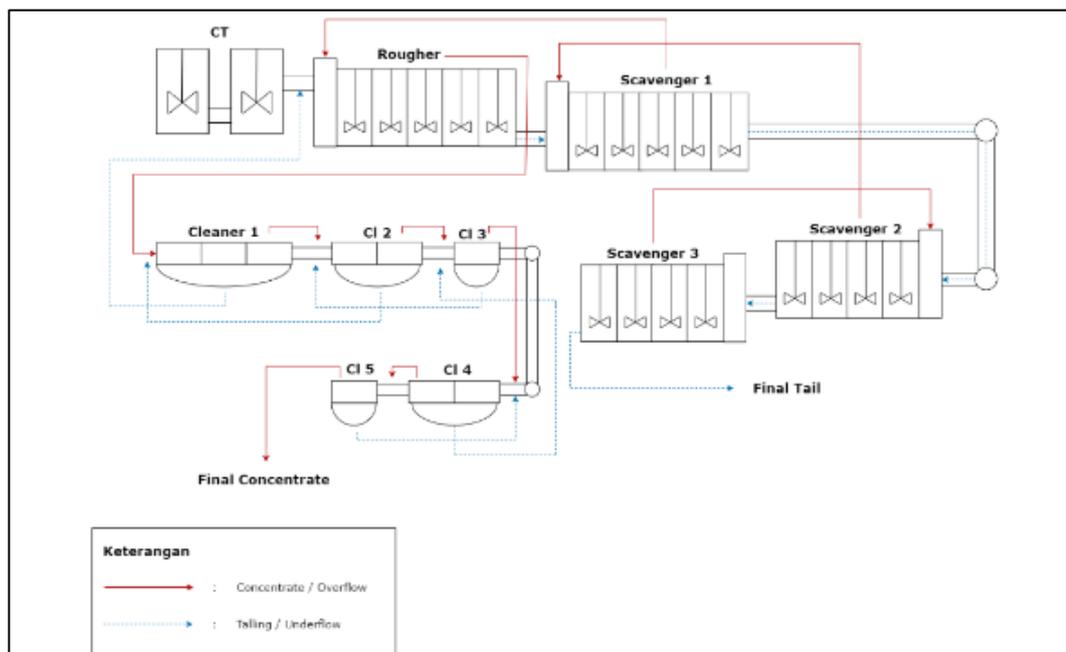
## 5. Cascade Cell

Udara masuk karena jatuhnya mineral.

Syarat *cell* adalah :

- *Pulp* tidak mengendap (dilengkapi dengan alat agitasi)
- Ada pengatur tinggi *pulp*
- Ada daerah yang relatif tenang sehingga butiran yang menempel gelembung udara mudah naik ke permukaan
- Konstruksi dibuat sehingga tidak terjadi *short circuit*
- Mempunyai resirkulasi dan pengeluaran *middling*
- Harus mempunyai penerimaan pulp dan pengeluaran busa yang menumpuk
- Mempunyai permukaan bebas untuk gelembung-gelembung yang sudah mengandung mineral, sehingga tidak mempengaruhi agitasi
- Harus dilengkapi dengan pengeluaran *froth*.

Sirkuit flotasi :



Gambar 3.3 *Circuit Flotation*

Sirkuit flotasi terbagi menjadi tiga tahapan utama, yaitu:

1. *Rougher Flotation*

Tahapan ini digunakan untuk memisahkan mineral berharga dari mineral pengotor yang lebih besar. Biasanya dilakukan dengan menggunakan reagen kimia yang sesuai dan ukuran partikel yang sesuai.

2. *Scavenger Flotation*

Tahapan ini digunakan untuk memisahkan mineral berharga yang masih tercampur dengan mineral pengotor yang lebih kecil. Biasanya dilakukan dengan menggunakan reagen kimia yang sesuai dan ukuran partikel yang sesuai.

3. *Cleaner Flotation*

Tahapan ini digunakan untuk memisahkan mineral berharga yang masih tercampur dengan mineral pengotor yang sangat kecil. Biasanya dilakukan dengan menggunakan reagen kimia yang sesuai dan ukuran partikel yang sesuai.

Dalam sirkuit flotasi, tahapan-tahapan ini dapat diulangi beberapa kali untuk meningkatkan kualitas konsentrat.

## **BAB IV**

### **BIOFLOTASI**

Pengembangan lebih lanjut terus dilakukan untuk memperoleh metode dan/ atau reagen flotasi yang lebih efektif dan selektif untuk proses pengolahan bijih kompleks dan berkadar rendah. Seiring dengan pengembangan ini, tuntutan untuk melakukan proses pengolahan yang ramah lingkungan juga menjadi acuan dalam pemilihan metode dan reagen yang tepat, sehingga berkembanglah penggunaan mikroorganisme sebagai agen yang membantu proses pengolahan mineral yang disebut juga dengan bioteknologi (Pecina E. T., dkk., 2009., Fazaelpoor dkk., 2009). Penerapan bioteknologi dalam pengolahan mineral telah membuka kemungkinan besar untuk menghasilkan konsentrat yang lebih bersih yang memiliki kadar dan *recovery* yang dapat diterima. Bioflotasi merupakan proses pengolahan mineral untuk memisahkan mineral berharga dari mineral pengotornya dengan memanfaatkan sifat permukaan mineral dengan menggunakan bakteri sebagai reagen flotasi yang memfasilitasi pemisahan mineral secara selektif (Vasanthakumar B., dkk., 2012). Penggunaan bioreagen sebagai kolektor memunculkan beberapa aspek antarmuka dari bahan biologis dan geologis yang saling berinteraksi, yaitu sifat fisikokimia permukaan mineral, seperti struktur atomik dan elektronik, muatan/potensial, sifat-sifat muatan, sifat asam-basa dan hidrofobisitas mineral (Vasanthakumar B., dkk., 2012).

Bioflotasi menawarkan beberapa keunggulan dibandingkan dengan metode flotasi konvensional yang menggunakan senyawa kimia sintetis. Pertama, bioflotasi umumnya lebih ramah lingkungan karena menggunakan mikroorganisme hidup atau produk metabolitnya sebagai agen pemisah, yang secara alami terurai di lingkungan setelah digunakan. Kedua, bioflotasi memiliki potensi untuk meminimalkan penggunaan senyawa kimia beracun dalam proses pemisahan mineral, sehingga mengurangi dampak negatif terhadap kesehatan manusia dan ekosistem. Selain itu, mikroorganisme yang digunakan dalam bioflotasi dapat

diadaptasi dengan lebih baik terhadap variasi lingkungan dan kondisi operasional, sehingga meningkatkan fleksibilitas proses flotasi. Terakhir, bioflotasi dapat meningkatkan efisiensi pemulihan mineral tertentu dengan memanfaatkan interaksi mikroba-mineral yang spesifik, sehingga menghasilkan produk akhir yang lebih murni (Hanumantha & Subramanian, 2007).

Meskipun memiliki beberapa kelebihan, bioflotasi juga memiliki beberapa kekurangan yang perlu dipertimbangkan. Pertama, bioflotasi sering kali memerlukan waktu yang lebih banyak untuk mencapai target yang diinginkan dibandingkan dengan flotasi konvensional karena ketergantungan pada aktivitas biologis mikroorganisme. Kedua, bioflotasi membutuhkan kondisi operasional yang lebih spesifik dan kontrol yang lebih ketat terhadap parameter lingkungan seperti pH, suhu, dan nutrisi untuk mendukung pertumbuhan dan aktivitas mikroorganisme yang optimal. Selain itu, beberapa jenis mikroorganisme yang digunakan dalam bioflotasi memerlukan nutrisi tambahan, seperti nitrogen dan fosfor, yang dapat meningkatkan biaya operasional (Dwyer & Bruckard, 2012). Terakhir, ada risiko kontaminasi lingkungan yang terjadi jika mikroorganisme yang digunakan dalam bioflotasi tidak dikelola dengan baik atau jika ada kebocoran sistem.

Tabel 4.1 Penelitian Terkait Bioflotasi

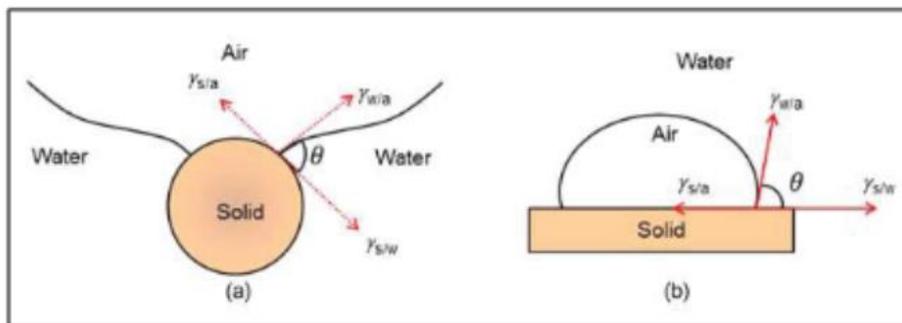
Mikroorganisme	Flotasi	Hasil	Referensi
<i>Rhodococcus opacus</i>	Flotasi <i>malachite-silica</i> dengan menggunakan <i>R.opacus</i> sebagai biokolektor dan <i>DowFroth-250</i> sebagai <i>frother</i>	<i>Recovery</i> lebih dari 90% dengan waktu flotasi 5 menit, <i>pulp density</i> pada pH 7	Kim., dkk (2015)
<i>Rhodococcus opacus</i>	Mikroflotasi <i>apatite</i> dan <i>quartz</i> dengan menggunakan <i>R.opacus</i> sebagai biokolektor dan <i>biofrother</i>	<i>Recovery</i> 90% <i>apatite</i> dengan menggunakan pH 5, konsentrasi bakteri 0.15 g/l dalam 5 menit	Merma., dkk (2013)
<i>Rhodococcus opacus</i>	Mikroflotasi <i>calcite</i> dan <i>magnesite</i> menggunakan <i>R.opacus</i> sebagai biokolektor	<i>Recovery magnesite</i> mencapai 93% pada pH 5	Botero., dkk (2007)
<i>Rhodococcus ruber</i>	<i>R. Ruber</i> sebagai biokolektor pada flotasi hematite	<i>Recovery hematite</i> 84%, pada pH 3	Lopez., dkk (2015)

<i>Leptosirillum ferrooxidans</i>	Flotasi kalkopirit dan pirit menggunakan <i>Hallimund tube</i> , <i>Leptosirillum ferrooxidans</i> sebagai depresan dan potassium isopropyl xanthate sebagai kolektor	<i>Recovery</i> Kalkopirit menurun dari 95% menjadi 25%, sedangkan pirit menurun dari 100% menjadi 67%	Vilinska dan Rao (2008)
<i>Stenotrophomonas</i>	Bakteri <i>Stenotrophomonas</i> digunakan sebagai biokolektor	<i>Recovery hematite</i> 75% pada pH 6 dengan konsentrasi bakteri 60 mg/l	Yang (2014)
<i>Escherichia coli</i>	<i>Escherichia coli</i> digunakan sebagai biokolektor dalam flotasi quartz menggunakan Hallimond tube	Bakteri menurunkan <i>recovery</i> pirit hingga 14%	Farahat, dkk (2009)
<i>Ferroplasma acidiphilum</i>	<i>Ferroplasma acidiphilum</i> digunakan sebagai depresan untuk pirit dan menggunakan sodium isopropyl xanthate sebagai kolektor pada pH 3.8	<i>Recovery</i> pirit dari 99% menjadi 16%	Farahat dan Hirajima (2012)
<i>Bacillus subtilis</i>	<i>Bacillus subtilis</i> sebagai depresan batubara	Penurunan kadar abu dan sulfur hingga 70%	El-Midany dan Abdel Khalek (2014)
<i>Staphylococcus carnosus</i>	<i>Staphylococcus carnosus</i> sebagai biokolektor batubara	<i>Recovery</i> 90% <i>organic matter</i> pada pH 6 selama 6 menit	Ramos-Escobedo, dkk (2016)

Pada proses bioflotasi mikroorganisme atau hasil metabolisme mikroba (protein, surfaktan, dan EPS) digunakan sebagai pengganti reagen kimia yang digunakan pada proses flotasi untuk mengubah sifat permukaan. Mikroorganisme memiliki kecenderungan untuk menempel pada permukaan yang padat karena bakteri umumnya memiliki protein maupun struktur polisakarida pada membran sel yang berpengaruh terhadap penempelan pada permukaan mineral (Behera dan Mulaba., 2017, Kinnunen dkk., 2020). Tabel dibawah ini menunjukkan beberapa contoh penggunaan mikroorganisme pada proses bioflotasi.

Pemisahan mineral menggunakan metode bioflotasi memiliki mekanisme kerja yang sama seperti proses flotasi konvensional yang mana memiliki prinsip dasar suatu proses konsentrasi dengan cara memisahkan mineral berharga dan mineral pengotor dengan memanfaatkan sifat permukaan mineral yaitu hidrofobik (suka udara) dan hidrofilik (suka air) dengan mengapungkan salah satu mineral.

(Wills dan Napier-Munn, 2007). Proses flotasi menggunakan perbedaan sifat permukaan dalam memisahkan mineral pengotor dan mineral berharga. Partikel mineral dapat menempel pada gelembung udara dengan syarat sifat permukaan adalah hidrofobik. Dari Gambar 4.1 dibawah ini, menunjukkan bahwa semakin tinggi sudut kontak yang terbentuk yang menggambarkan permukaan hidrofobik, maka semakin banyak jumlah mineral yang menempel pada gelembung udara. Namun, hidrofobisitas suatu mineral tidak hanya dilihat dari nilai sudut kontak mineral tetapi dari berbagai factor lain yang mempengaruhi keberhasilan flotasi.



Gambar 4.1 Mekanisme Sudut Kontak

Dalam flotasi istilah hidrofobisitas dan *floatability* digunakan secara bergantian. Hidrofobisitas merupakan kondisi yang dibutuhkan agar terjadi perlekatan partikel dan gelembung udara sehingga partikel dapat diapungkan sedangkan *floatability* meliputi factor-faktor lain yang akan mempengaruhi keberhasilan proses flotasi tidak hanya mengacu pada nilai dari sudut kontak. Salah satu faktor yang paling mempengaruhi proses flotasi adalah penggunaan reagen flotasi yang mampu mengubah sifat permukaan mineral. Penambahan reagen dilakukan pada tahapan pertama dalam flotasi yaitu pada proses *conditioning*, dimana diciptakan suatu kondisi lingkungan flotasi sehingga proses berjalan dengan baik. Reagen flotasi terbagi atas tiga kelompok:

1. Kolektor

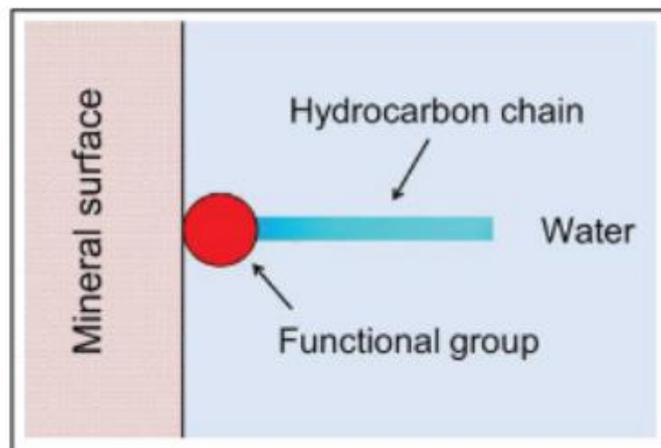
Kolektor merupakan reagen kimia yang berfungsi untuk mengubah sifat permukaan mineral yang awalnya hidrofilik menjadi hidrofobik, kolektor umumnya selektif terhadap suatu kelompok mineral.

## 2. *Frother*

*Frother* merupakan pembuih atau ditambahkan guna membantu menstabilkan gelembung agar tidak mudah pecah sehingga proses *recovery* berjalan dengan baik.

## 3. Modifier

Modifier ditambahkan untuk membantu kinerja dari kolektor dan menciptakan lingkungan flotasi yang baik sehingga kolektor semakin selektif. Modifier dapat dibagi menjadi tiga yaitu *activator*, depressan, dan pH modifier.



Gambar 4.2 Mekanisme *Modifier*

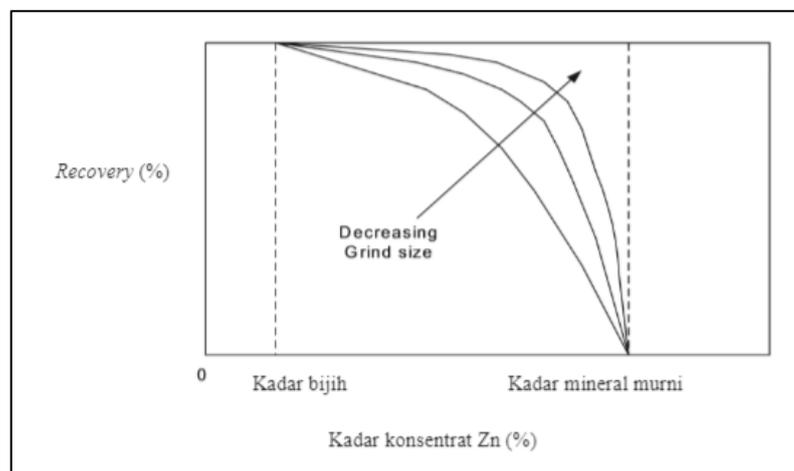
Selain itu, pada proses bioflotasi juga perlu memperhatikan faktor-faktor yang dapat mempengaruhi proses bioflotasi diantaranya adalah:

### 1. Ukuran Partikel

Ukuran partikel yang terlalu kasar menyebabkan kemungkinan adanya mineral berharga yang terjebak pada mineral pengotor. Hal ini menyebabkan penurunan kadar konsentrat. Sebaliknya, semakin halus ukuran partikel menyebabkan ketidakmampuan mineral untuk bertumbukan dan menempel dengan gelembung air yang juga menyebabkan penurunan kadar konsentrat. Ukuran partikel yang digunakan adalah ukuran partikel optimum dimana tidak terlalu halus namun terliberasi dengan baik (Sinclair., 2005).

## 2. Persen Padatan

Persen padatan yang tinggi menyebabkan rendahnya kadar konsentrat namun memiliki *recovery* yang tinggi. Persen padatan yang tinggi menurunkan kemampuan bioreagen untuk mengubah sifat permukaan suatu mineral dan menghambat gelembung udara untuk saling bertumbukan dengan partikel hidrofobik. Hal ini menyebabkan mineral tidak memiliki kesempatan yang sama untuk diapungkan. Pada umumnya persen padatan yang digunakan adalah 25-40% padatan, namun persen padatan terendah mencapai 8% dan tertinggi 55% (Wills dan Finch., 2015).



## 3. Konsentrasi Mikroorganismen

Konsentrasi mikroorganismen mempengaruhi perolehan konsentrat. Penggunaan bakteri yang optimum berdasarkan hasil penelitian Govender dan Gericken (2011) yaitu 5-10% (v/v) pada mineral kalkopirit. Namun konsentrasi bakteri yang digunakan setiap bakteri dan jenis mineral lain bervariasi berdasarkan hasil optimum *scale lab test*.

## 4. Adaptasi Bakteri

Bakteri memiliki kemampuan untuk beradaptasi terhadap lingkungan sekitarnya. Konsentrasi sel bakteri, biosurfaktan, dan waktu interaksi dengan mineral ditetapkan sebagai faktor pengontrol yang menentukan hidrofobisitas permukaan mineral (Vasanthakuma dkk., 2017).

## 5. Waktu Kontak (*conditioning time*)

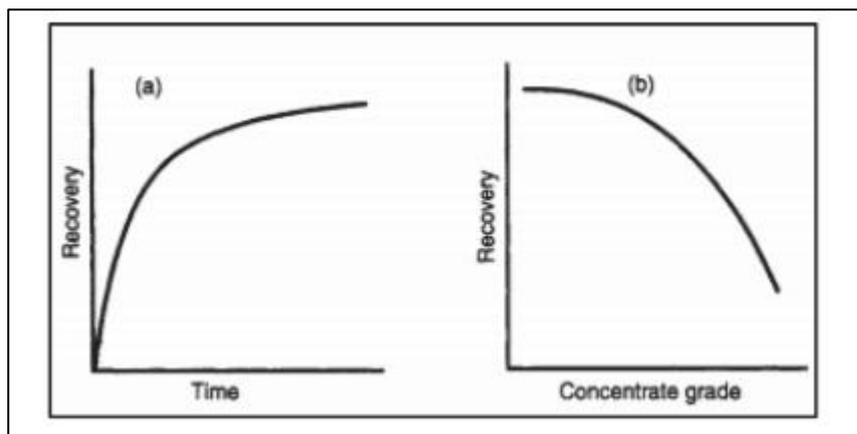
Waktu kontak pada mineral yaitu proses dimana bakteri atau reagen dan mineral dilakukan proses agitasi tanpa adanya udara yang masuk. Hal ini bertujuan agar sifat permukaan mineral berubah. Contohnya waktu kontak pada sfalerit adalah 60 menit dengan menggunakan bakteri *T.thiooxidans* dimana *recovery* mencapai 96% pada pH 2-2.5 tanpa penambahan reagen kimia (Santhiya dkk., 2001).

#### 6. pH Slurry

pH slurry mempengaruhi kondisi permukaan dari mineral maupun bakteri, penggunaan bakteri sebagai pengganti reagen kimia umumnya berada pada pH asam (Santhiya, 2001). Sebagai contoh, interaksi hasil metabolisme *B.Polymyxa* pada pH 3,2-3,4 menghasilkan *recovery* sfalerit mencapai 90,4% (Subramanian dkk., 2003). Hal ini disebabkan oleh perlekatan *polysaccharide* yang menyebabkan sfalerit lebih hidrofilik pada pH range 6-7 sedangkan perlekatan protein yang menyebabkan sfalwrit lebih hidrofobik paling tinggi pada pH 6 (Rao dan Subramanian., 2007).

#### 7. Waktu Flotasi

Waktu flotasi yang semakin lama akan meningkatkan berat konsentrasi namun kemungkinan banyak pengotor yang terapungkan sehingga dibutuhkan waktu flotasi optimum yaitu konsentrasi dan kadar yang tinggi. (Yuce dkk., 2006).



Gambar 4.4 (a) Grafik *Recovery* vs Waktu, (b) Grafik *Grade* vs *Recovery*

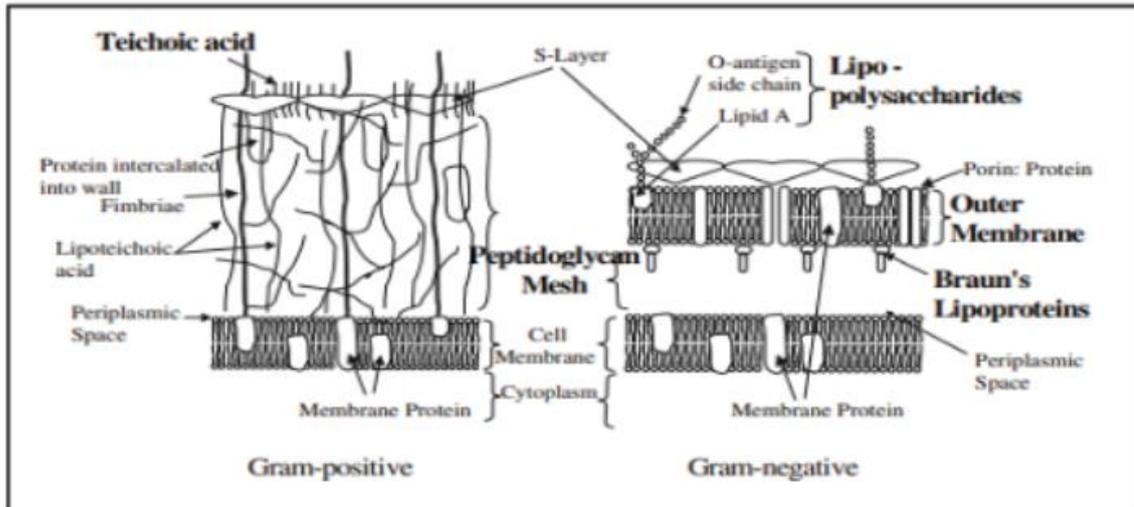
#### 8. Kecepatan Putar Impeller

Kecepatan impeller saat proses conditioning mempengaruhi kondisi pulp, dimana setiap mineral memiliki kesempatan yang sama untuk diapungkan sehingga dibutuhkan kecepatan yang optimum dimana mikroorganisme sebagai pengganti reagen kimia dapat menempel pada permukaan mineral dan mengubah sifat permukaan mineral. Pada penelitian Kim dkk., (2015) menunjukkan kemungkinan bakteri dapat terlepas akibat proses agitasi dari permukaan mineral yang disebabkan oleh kecepatan aliran fluida yang tinggi. Hal ini disebabkan karena terbentuknya aliran turbulensi sehingga menurunkan *floatability* mineral.

#### 9. Air flow rate

*Air flow rate* merupakan tekanan udara yang diperlukan saat proses aerasi, Kondisi tekanan udara yang terlalu tinggi menghasilkan gelembung udara yang besar sehingga mengurangi volume efektif dari sel flotasi, pengurangan tekanan udara pada Zn-cyaner bank menghasilkan jumlah partikel pengotor yang mengikuti aliran air (netrainment) (Cooper dkk., 2004)

Bakteri diklasifikasikan menjadi 2 kelompok yaitu bakteri gram positif dan gram negatif. Struktur permukaan sel terdiri dari selbung sel, dinding sel, membran sel, dan pelengkap permukaan seperti flagela, pili, fimbriae, dan lain-lain. Perbedaan antara bakteri gram positif dan gram negatif adalah membran lapisan paling luar yaitu peptidoglikan. Peptidoglikan adalah penyusun utama dinding sel, pada bakteri gram negatif, sel bakteri gram negatif memiliki peptidoglikan yang lebih tipis namun strukturnya lebih kompleks, lapisan peptidoglikan mencapai 40% - 90% dari dinding sel dan komposisi lainnya yaitu *techoic acid* dan *teichunoric acid*.



Gambar 4.5 Komposisi *Teichoic Acid*

Pada bakteri gram negatif, membran luar mengandung lipopolisakarida (LPS) bersifat hidrofilik dan protein diluar lapisan LPS mengarah kepermukaan bersifat hidrofobik. Seluruh permukaan sel bakteri membawa muatan negatif yang berasal dari fosfat, karboksilat, dan kelompok sulfat (Hancock., 1991). Karakteristik permukaan bakteri ini yang mempengaruhi proses pelekatan mikroorganisme dan terhadap permukaan mineral.

Perlekatan mikroorganisme pada permukaan mineral bergantung pada karakteristik permukaan yaitu hidrofobisitas dari permukaan mineral dan mikroorganisme. Hidrofobisitas permukaan bakteri menggambarkan sifat hidrofobik pada sel bakteri oleh permukaan terluar sedangkan hidrofobisitas permukaan mineral menggambarkan sifat hidrofobik suatu mineral. Hidrofobisitas permukaan bakteri diproduksi oleh berbagai komponen permukaan. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa protein, *lipoteichoic acids*, dan lipid merupakan komponen utama yang membawa sifat hidrofobisitas pada bakteri gram positif (Hancock.m 1991). Beberapa penelitian telah menunjukkan adanya potensi mikroorganisme digunakan sebagai bioflotasi, Penggunaan mikroorganisme digunakan sebagai pengganti reagen kimia. Penggunaan mikroorganisme sebagai depresan ataupun kolektor yaitu bakteri dan hasil sekresi melekat pada permukaan mineral sehingga menyebabkan mineral menjadi lebih hidrofilik atau hidrofobik (Smith dan Misra., 1991).

Pengolahan mineral menggunakan mikroorganisme melibatkan aksi kompleks antara mikroorganisme pada permukaan mineral. Terdapat 3 mekanisme berbeda yang dapat terjadi yaitu perlekatan sel mikroba ke permukaan mineral, reaksi oksidasi dan adsorpsi atau reaksi kimia dengan biosurfaktan (EPS) (Rao dan Subramanian., 2007). Secara umum, bakteri dapat mempengaruhi permukaan mineral dengan direct mechanism (kontak langsung) atau indirect mechanism (kontak tidak langsung). Direct mechanism berinteraksi fisik langsung antara mikroorganisme dan permukaan mineral. Perlekatan pada permukaan mineral diikuti dengan produksi EPS yang memungkinkan terjadinya adhesi, EPS mengubah muatan bakteri ataupun permukaan mineral. Sedangkan indirect mechanism produksi hasil oksidasi atau hasil metabolisme sekresi (EPS) yang dilepaskan pada larutan ruah yang bertindak sebagai katalisator sehingga mempengaruhi permukaan mineral.

Perlekatan sel mikroba pada permukaan mineral terjadi karena kondisi fisik permukaan bakteri yang membawa muatan negatif dan bersamaan dengan adanya gaya elektrostatis, hidrofobik, entropik, asam-basa, interaksi *van der Waals* dan ikatan H penting pada perlekatan bakteri (Blake dkk., 1994). Berdasarkan penelitian Van Loosdrecht dkk (1987) menjelaskan mengenai transportasi sel ke permukaan pada terdiri dari 4 tahap, yaitu:

1. *Primary attachment*

Perlekatan bakteri pada permukaan padat dipengaruhi oleh mekanisme transpor difusi, transpor konvektif dan gerakan aktif.

2. *Film attachment*

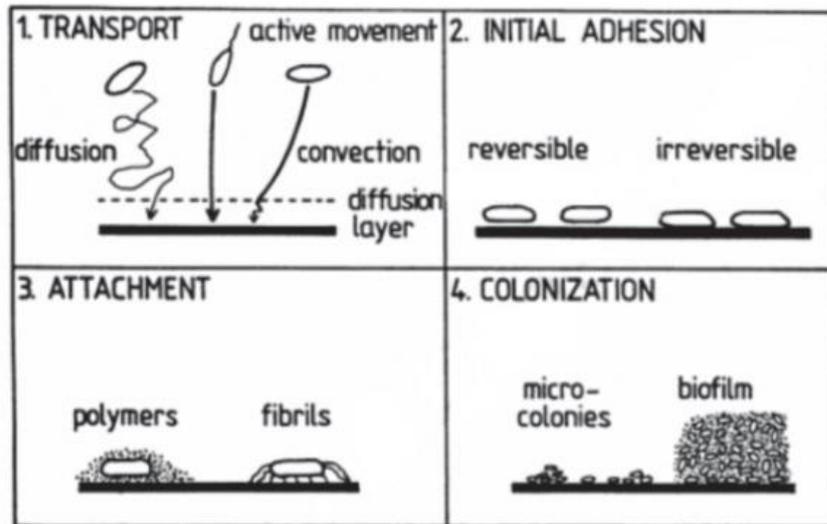
Proses selanjutnya yang melibatkan permukaan sel protein atau ekskresi polimer sehingga memperkuat perlekatan antara sel dan permukaan padat.

3. *Extracellular polymeric substance (EPS)*

Proses perlekatan meningkat yaitu komposisi EPS mempengaruhi hidrofobisitas dan muatan permukaan sehingga perlekatan menjadi lebih kuat karena EPS mengubah muatan selubung bakteri atau permukaan mineral.

4. Kolonisasi mikroba pada permukaan padat

Tahap akhir dimana sel yang melkat kuat tumbuh, membentuk koloni, dan *biofilm*.



Gambar 4.6 Mekanisme Kolonisasi Mikroba

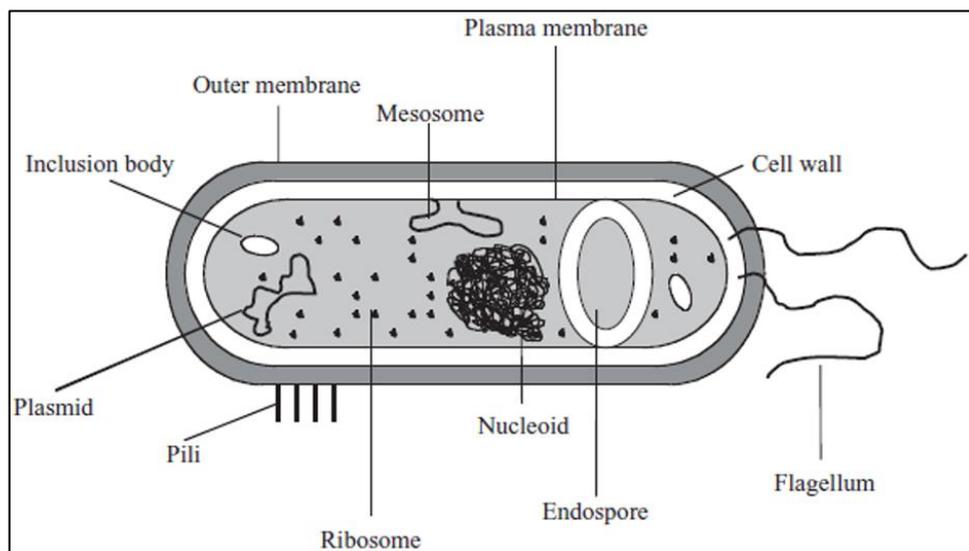
Perlekatan bakteri pada permukaan mineral tidak hanya dipengaruhi oleh bakteri itu saja tetapi dipengaruhi oleh biosurfaktan yang dihasilkan oleh bakteri. Biosurfaktan merupakan senyawa yang diproduksi mikroorganisme baik secara langsung pada permukaan sel mikroba atau secara ekstraselular (Joy sam dkk, 2017; Chen dkk, 2007). Biosurfaktan yang dihasilkan mikroba adalah molekul organik tunggal antifilik yang memiliki kelompok kepala hidrofilik dan ekor yang bersifat hidrofobik (Mawgoud dkk, 2010; Vijayakumar dan Saravan, 2015). Kepala hidrofilik sendiri terkandung karbohidrat, protein, fosfat, hidroksil atau kelompok ester sedangkan ekor hidrofobik terdiri dari rantai hidrokarbon (Plociniczak dkk, 2011). Struktur dari biosurfaktan ini memungkinkan untuk membentuk misel dan menunjukkan kemampuan sebagai *detergency*, emulsifikasi, pelumas, *foamingability*, pelarut dan pendispersi fase (Banat dkk., 2000). Peran fisiologis biosurfaktan yaitu meningkatkan luas permukaan hidrofobik substrat dengan mengurangi tegangan permukaan dan tegangan antarmuka antar dinding sel dan substrat, menghilangkan senyawa hidrofobik dari permukaan dengan meningkatkan kelaurtannya, memodifikasi membran seperti meningkatkan hidrofobisitas dengan mengurangi kandungan lipopolisakarida dalam sel dinding (Aparna dkk., 2011).

## BAB V

### BAKTERI

Bakteri adalah salah satu mikroba yang dapat hidup di semua tempat kehidupan di dunia ini. Ada yang menguntungkan, merugikan bahkan sebagian besar belum diidentifikasi sehingga tidak diketahui manfaatnya. Bakteri sering dikenal atau diberi nama berdasarkan produk dominan yang dihasilkannya. Berbagai mikroba telah lama digunakan sebagai bahan dan alat (mesin biologi) untuk memproduksi obat-obatan, pengendalian hama dan penyakit, pangan dan pakan, juga detoksifikasi dan biokonversi limbah serta digunakan dalam bioteknologi seperti rekayasa genetika.

Struktur sel bakteri secara umum terdiri dari membran sel sebagai selaput yang dilindungi oleh dinding sel sebelah luarnya. Sitoplasma dengan ribosom, nukleoid dan beberapa granula/vesicula, Kapsul, flagella, dan pili bagian luar sebagai embelan sel. Ilustrasi dari struktur sel bakteri dapat dilihat pada Gambar X di bawah ini.



Gambar 5.1 Struktur Sel Bakteri

Mikroorganisme atau mikroba adalah organisme yang berukuran kecil atau organisme bersel tunggal yang hanya dapat dilihat dengan menggunakan mikroskop. Mikroba dapat dikelompokkan menjadi 5 jenis yakni protozoa, alga, jamur, bakteri dan virus. Bergey's Manual of Determinative Bacteriology Prokariota dibagi menjadi 4 divisi utama, berdasarkan karakteristik dinding sel adalah:

1. *Gracilicutes* : Bakteri Gram Negatif
2. *Firmicutes*: Bakteri Gram Positif
3. *Tenericutes*: Bakteri tanpa dinding sel
4. *Archaeobacteria*

Pembagian grup atau kelompok bakteri berdasarkan buku Bergey's manual dapat digolongkan menjadi:

#### **A. Bakteri Kokus (bulat)**

- Bakteri Kokus Gram Positif Aerobik: Micrococcus, Staphylococcus, Streptococcus, Leuconostoc Anaerobik: Methanosarcina, Thiosarcina, Sarcina, Ruminococcus
- Bakteri Kokus Gram Negatif  
Aerobik: Neisseria, Moraxella, Acinetobacter, Paracoccus

#### **B. Bakteri Batang**

- Bakteri Gram Positif
  1. Bakteri Gram Positif Tidak Membentuk Spora (grup 16)  
Aerobik: Lactobacillus, Caryophanon. Listeria, Erysipelothrix,
  2. Bakteri Coryneform Dan Actinomycetes (grup 17)  
Aerobik Coryneform: Corynebacterium, Arthrobacter, Brevibacterium, Cellulomonas, Propionibacterium, Eubacterium, Bifidobacterium.  
Aerobik Actinomycetes: Mycobacterium, Nocardia, Actinomyces, Frankia, Actinoplanes, Dermatophilus, Micromonospora, Microbispora, Streptomyces, Streptosporangium.
  3. Bakteri Pembentuk Endospora (grup 15)

Aerobik: Bacillus, Thermoactinomyces Sporolactobacillus, Sporosarcina

Anaerobik: Clostridium, Desulfotomaculum, Oscillospira.

- Bakteri Gram Negatif

1. Bakteri Gram Negatif Aerobik (grup 7)

Aerobik: Pseudomonas, Xanthomonas, Zoogloea, Gluconobacter, Acetobacter, Azotobacter, Azomonas, Beijerinckia, Derxia, Rhizobium, Alcaligenes, Brucella, Legionella, Thermus Agrobacterium

2. Bakteri Gram Negatif Aerobik Khemolitotrofik (Grup 12)

Aerobik: Nitrobacter, Nitrospira, Nitrococcus, Nitrosomonas, Nitrosospira, Nitrosococcus, Nitrosolobus. Bakteri ini umumnya berfungsi pada proses nitrifikasi di dalam tanah. Contohnya Thiobacillus, Sulfolobus, Thiobacterium, Thiovolum yang merupakan bakteri yang berperan dalam proses oksidasi sulfur di alam.

3. Bakteri Berselubung (Grup 3)

Aerobik: Sphaerotilus, Leptothrix, Cladothrix, Crenothrix. Bakteri Sphaerotilus biasanya hidup di saluran-saluran air. Leptothrix dan Cladothrix merupakan bakteri yang mampu mengoksidasi besi atau penyebab korosi.

4. Bakteri Gram Negatif Fakultatif Anaerobik (Grup 8)

Fakultatif anaerobik: Escherichiacoli, Klebsiella, Enterobacter, Salmonella, Shigella, Proteus, Serratia, Erwinia, Yersinia, Vibrio, Aeromonas, Photobacterium.

5. Bakteri Gram Negatif Anaerobik (Grup 9)

Anaerobik: Bacteroides, Fusobacterium, Leptotrichia

6. Bakteri Methanogens Dan Arkaebakteria (Grup 13)

Anaerobik: Methanobacterium, Methanothermus, Methanosarcina, Methanotherrix, Methanococcus. Bakteri ini merupakan pembentuk metan (CH<sub>4</sub>) dari hasil perombakan bahan organik secara anaerobik.

Aerobik: Halobacterium, Halococcus, Thermoplasma. Bakteri ini ada yang tahan hidup pada kadar garam tinggi dan ada yang tahan pada suhu tinggi.

Anaerobik: Thermoproteus, Pyrodictium, Desulfurococcus.

### C. Bakteri Lengkung

- Bakteri Gram negative Spiril dan lengkung (Grup 6)  
Aerobik: Spirillum, Aquaspirillum, Azospirillum, Oceanospirillum, Campylobacter, Bdellovibrio, Microcycilus, Pelosigma.
- Bakteri Gram Negatif Lengkung Anaerobik (Grup 9)  
Anaerobik: Desulfovibrio, Succinivibrio, Butyrivibrio, Selenomonas.
- Spirochaeta (Grup 5)  
Aerobik dan anaerobik: Spirochaeta, Cristispira, Treponema, Borrelia, Leptospira. Bakteri ini berbentuk benang tipis dan terulir. Dinding sel tipis dan lentur. Bakteri ini dapat bergerak dengan cara kontraksi sel menurut garis sumbu sel-nya. Selnya berukuran 0,1-3  $\mu\text{m}$  x 4-8  $\mu\text{m}$ .

### D. Bakteri yang Termasuk Kelompok Khusus

- Bakteri Merayap (Grup 2)  
Bakteri ini dapat merayap walaupun tidak berflagela. Bakteri ini selalu bersifat gram negatif. Dalam kelompok ini termasuk beberapa ganggang biru, beberapa bakteri khemoorganotrof dan beberapa bakteri belerang (sulfur). Kelompok bakteri yang menjadi anggota bakteri merayap (meluncur) sebagai berikut :
  1. Bakteri yang mengandung sulfur intraselular, berbentuk benang.  
Contoh: Beggiatoa, Thiolithrix, Achromatium.
  2. Bakteri bebas sulfur, membentuk trikoma (bulu).  
Contoh: Vitreoscilla, Leucothrix, Saprospira.
  3. Bakteri uni selular, bentuk batang pendek.  
Contoh: Cytophaga, Flexibacter, Myxobacteria.
  4. Bakteri fototrof yang bergerak merayap.  
Contoh: Chloroflexus
  5. Cyanobacteria yang bergerak merayap.

Contoh: Oscillatoria

- Bakteri Bertangkai atau Bertunas (Grup 4)  
Bakteri ini mempunyai struktur mirip tangkai atau tunas yang merupakan tonjolan dari sel, atau hasil pengeluaran lendir. Contoh: Hypomicrobium, Caulobacter, Prosthecomicrobium, Ancalomicrobium, Gallionella, Nevskia.
- Bakteri Parasit Obligat : Rickettsiae dan Chlamydiae (Grup 18)  
Merupakan bakteri yang berukuran paling kecil, tetapi lebih besar dari virus, yaitu  $0,3 \times 2 \mu$ . Bentuk sel pleomorfik, dapat berupa batang, kokus, atau filamen. Bakteri ini cara hidupnya sebagai parasite sejati (parasite obligat) di dalam sel jasad lain dan bersifat patogen. Hidupnya intraselular di dalam sitoplasma dan inti sel Binatang dan manusia. Oleh karena itu bakteri kelompok ini merupakan penyebab penyakit, yang biasanya ditularkan oleh vector serangga. Contoh: Rickettsia prowazekii, Chlamydia trachomatis, Coxiella burnetii.
- Mycoplasma (klas Mollicutes) (Grup 19)  
Mycoplasma disebut juga PPLO (Pleuropneumonia Like Organisms). Cirinya yaitu tidak mempunyai dinding sel, atau merupakan bentuk L dari bakteri sejati (Eubacteria) atau bentuk speroplas sel eubakteria, sehingga sifatnya mirip bakteri sejati. Mycoplasma berukuran  $0,001-7 \mu$ . Contoh: Mycoplasma mycoides, M.homonina, M. orale, Acholeplasma, Spiroplasma.
- Bakteri Anaerobik Anoksigenik Fototrofik (Grup1)  
Bakteri ini mempunyai ciri berpigmen fotosintetik. Ada yang berbentuk kokus, batang, dan lengkung. Berdasarkan sifat fisiologinya dapat dibagi menjadi:
  - a) Familia Thiorhodaceae (bakteri sulfur ungu).  
Contoh: Thiospirillum sp., Chromatium sp.
  - b) Familia Athiorhodaceae / Rhodospirillaceae (bakteri sulfur non-ungu).  
Contoh: Rhodospirillum, Rhodopseudomonas.

c) Familia Chlorobiaceae (bakteri sulfur hijau).

Contoh: Chlorobium, Chloropseudomonas, Chlorochromatium.

- Bakteri Aerobik Oksigenik Fototrofik : Cyanobacteria (Grup 20)  
Bakteri ini termasuk Myxophyceae atau Cyanophyceae. Sifatnya yang mirip bakteri adalah dinding sel nya terdiri mukokompleks, tidak berdinding inti, tidak ada mitokondria dan kloroplas. Sifatnya yang berbeda adalah dapat berfotosintesa mirip tumbuhan Tingkat tinggi, dan menghasilkan O<sub>2</sub>. Bakteri ini mempunyai klorofila dan fikobilin (fikosianin dan fikoeritrin). Bentuk selnya Tunggal (uniselular), koloni, dan benang-benang (filamen). Selnya dapat bergerak meluncur tetapi sangat lambat (250 μ/menit), meskipun tidak berflagela. Cara hidupnya bebas, dan berasosiasi simbiosis. Contoh: Gloeobacter, Gloeocapsa, Dermocarpa, Spirulina, Nostoc, Anabaena, Oscillatoria, Calothrix, Cyindrospermum.

Untuk mengidentifikasi bakteri bisa dilakukan pemeriksaan secara langsung yaitu dengan:

a) Pemeriksaan mikroskopis

Pemeriksaan bertujuan mengamati pergerakan, pembelahan, bentuk dan ukuran sel.

b) Pewarnaan

Mengamati reaksi sel bakteri terhadap zat pewarna dan sistem pewarnaannya. Tujuan dilakukan pewarnaan Gram adalah untuk mengetahui bakteri Gram positif dan bakteri Gram negatif. Jika untuk mengetahui bakteri Tuberculosis menggunakan pewarnaan tahan asam. Untuk melihat struktur bakteri dapat menggunakan pewarnaan flagella, kapsul, spora, granula.

c) Aktivitas biomikria bakteri.

Mikroba memiliki suatu karakteristik yang khas, yang dapat dilihat dari karakteristik biokimianya.

Dalam kehidupan sehari-hari, mikroorganisme ini seringkali dimanfaatkan dalam berbagai bidang, beberapa diantaranya sebagai berikut :

1. Pemanfaatan mikroba dalam proses-proses pembuatan makanan dan minuman, contoh khamir untuk membuat anggur dan roti, bakteri asam laktat untuk yogurt dan kefir, bakteri asam asetat untuk vinegar, jamur *Aspergillus* sp. untuk kecap, dan jamur *Rhizopus* sp. untuk tempe.
2. Pemanfaatan mikroba untuk memproduksi antibiotik contohnya yaitu penisilin oleh jamur *Penicillium* sp., streptomisin oleh actinomycetes *Streptomyces* sp.
3. Pemanfaatan mikroba untuk proses-proses yang modern contohnya karotenoid dan steroid oleh jamur, asam glutamate oleh mutan *Corynebacterium glutamicum*, pembuatan enzim amilase, proteinase, pektinase, dan lain-lain.
4. Pemanfaatan mikroba pada teknik genetika modern seperti pemindahan gen dari manusia, binatang, atau tumbuhan ke dalam sel mikroba, penghasilan hormon, antigen, antibodi, dan senyawa lain contohnya insulin, interferon, dan lain-lain.
5. Pemanfaatan mikroba pada bidang pertanian, contohnya pupuk hayati (biofertilizer), sebagainya.
6. Pemanfaatan mikroba pada bidang pertambangan, seperti untuk proses *leaching* di tambang emas, desulfurisasi batubara, maupun untuk proses penambangan minyak bumi.
7. Pemanfaatan mikroba pada bidang lingkungan contohnya untuk mengatasi pencemaran limbah organik maupun anorganik termasuk logam berat dan senyawa xenobiotik.

Di alam ini sering kali juga didapati mikroorganisme yang dapat merugikan, satu diantaranya adalah bakteri patogen (berbahaya) yakni bakteri yang dapat menyebabkan penyakit pada manusia, hewan, dan tumbuhan.

1. Bentuk kokus Gram-positif: *Streptococcus pyogenes* penyebab nyeri tenggorokan dan demam reumatik, *Streptococcus agalactiae* penyebab meningitis pada neonatus dan pneumonia.
2. Bentuk kokus Gram negatif: *Neisseria meningitidis* penyebab meningitis dan septikemia, *N. Gonorrhoeae* merupakan agen penyebab urethritis.

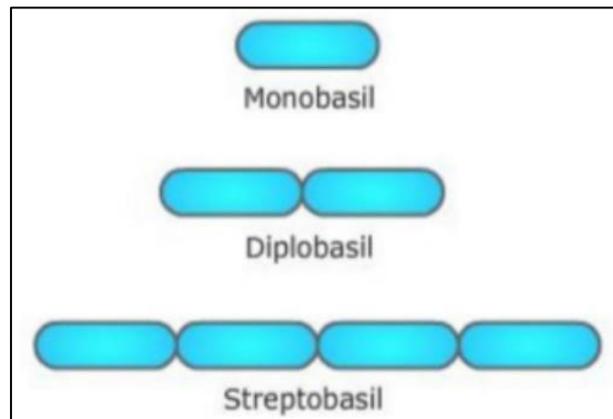
3. Bentuk Bacillus Gram positif: *Bacillus anthracis* penyebab penyakit anthraks, dan clostridia penyebab gangrene, tetanus, colitis pseudomembranosa dan botulism.
4. Bakteri perusak makanan. Beberapa spesies pengurai dapat tumbuh pada makanan. Bakteri pengurai mengubah makanan dan mengeluarkan hasil metabolisme yang berupa toksin (racun). Mengakibatkan bahaya bagi kesehatan bila manusia mengkonsumsi makanan yang telah rusak dan mengandung racun. Misalnya: *Clostridium botulinum*, menghasilkan racun botulinin, sering terdapat pada makanan kalengan. *Pseudomonas cocovenenans*, menghasilkan asam bongkrek, terdapat pada tempe bongkrek. *Leuconostoc mesenteroides*, penyebab pelendiran makanan.

Beberapa bentuk dari bakteri terbagi menjadi 3, yakni berbentuk batang, bulat, dan spiral.

a. Bakteri bentuk batang

Bakteri berbentuk batang dikenal sebagai basil. Kata basil berasal dari *bacillus* yang berarti batang. Bentuk basil dibedakan atas :

1. Basil tunggal yaitu bakteri yang hanya berbentuk satu batang tunggal, misalnya *Salmonella typhi*, penyebab penyakit tipus.
2. Diplobasil yaitu bakteri berbentuk batang yang bergandengan dua-dua.
3. Streptobasil yaitu bakteri berbentuk batang yang bergandengan memanjang membentuk rantai misalnya *Bacillus anthracis* penyebab penyakit antraks.

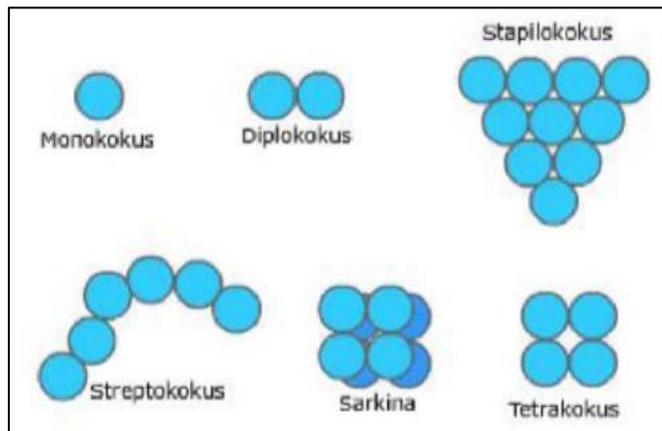


Gambar 5.2 Bentuk-bentuk Bakteri Basil

b. Bakteri bentuk bulat (coccus)

Bakteri berbentuk bulat dikenal sebagai Coccus, bakteri ini dibedakan atas:

1. Monokokus, yaitu bakteri berbentuk bulat tunggal, misalnya *Neisseria gonorrhoeae*, penyebab penyakit kencing nanah.
2. Diplokokus, yaitu bakteri berbentuk bulat yang bergandengan dua-dua, misalnya *Diplococcus pneumonia* penyebab penyakit pneumonia atau radang paru-paru.
3. Sarkina, yaitu bakteri berbentuk bulat yang berkelompok empat-empat sehingga bentuknya mirip kubus.
4. Streptokokus yaitu bakteri bentuk bulat yang berkelompok memanjang rantai.
5. Stafilokokus yaitu bakteri berbentuk bulat yang berkoloni membentuk sekelompok sel tidak teratur sehingga bentuknya mirip kumpulan buah anggur.

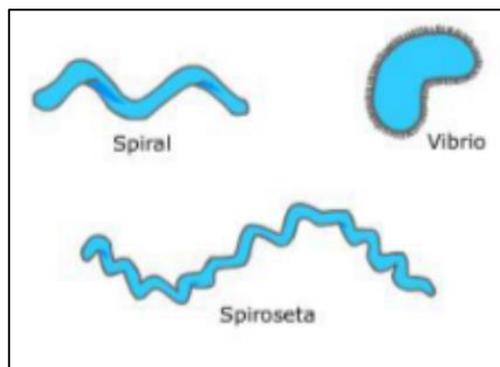


Gambar 5.3 Bentuk-bentuk Bakteri Kokus

c. Bakteri bentuk spiral

Ada tiga macam bentuk spiral diantaranya sebagai berikut:

1. Spiral, yaitu golongan bakteri yang bentuknya seperti spiral misalnya *Spirillum*.
2. Vibrio, ini dianggap sebagai bentuk spiral tak sempurna, misalnya *Vibrio cholera* penyebab penyakit kolera.
3. Spiroseta yaitu golongan bakteri berbentuk spiral yang bersifat lentur. Pada saat bergerak, tubuhnya dapat memanjang dan mengerut.



Gambar 5.4 Bentuk-bentuk Bakteri Spirilia

## **Pertumbuhan Bakteri**

Pertumbuhan bakteri merupakan proses dimana suatu organisme bertambah dalam ukuran, zat, atau massa. Seseorang dapat dikatakan tumbuh ketika tubuhnya bertambah tinggi, besar atau berat. Namun, pada organisme uniseluler, pertumbuhan diartikan sebagai pertumbuhan suatu koloni. Jumlah koloni bertambah, ukuran koloni bertambah, dan jumlah mikroorganisme di dalam koloni bertambah. Pengertian pertumbuhan mikroba adalah bertambahnya jumlah sel dalam suatu mikroorganisme. Pengertian koloni adalah kumpulan beberapa mikroorganisme yang memiliki karakteristik serupa seperti bentuk dan susunan permukaan. Faktor lingkungan dapat mempengaruhi pertumbuhan mikroba. Perubahan lingkungan dapat mempengaruhi morfologi dan fisiologi mikroorganisme. Pertumbuhan mikroba dipengaruhi oleh banyak faktor, diantaranya :

### **1. Suhu/temperatur**

Suhu merupakan salah satu faktor penting di dalam mempengaruhi dan pertumbuhan mikroorganisme. Setiap bakteri memiliki temperatur optimal dimana mereka dapat tumbuh sangat cepat dan memiliki rentang temperatur dimana mereka dapat tumbuh. Suhu untuk pertumbuhan terdiri atas suhu minimum, suhu optimum, dan suhu maksimum. Suhu minimum yaitu suhu terendah tetapi mikroba masih dapat hidup. Suhu optimum yaitu suhu paling baik untuk pertumbuhan mikroba. Suhu maksimum yaitu suhu tertinggi untuk kehidupan mikroba.

### **2. pH**

pH medium biakan mempengaruhi kecepatan pertumbuhan, untuk pertumbuhan bakteri juga terdapat rentang pH dan pH optimal. Pada bakteri patogen pH optimalnya 7,2 – 7,6. Meskipun medium pada awalnya dikondisikan dengan pH yang dibutuhkan untuk pertumbuhan tetapi, secara bertahap besarnya pertumbuhan akan dibatasi oleh produk metabolit yang dihasilkan mikroorganisme tersebut.

- a. Asidofil, tumbuh pada kisaran pH 2-5
- b. Neutrofil, tumbuh pada kisaran pH 5,5-8

c. Alkalofil, tumbuh pada kisaran pH 8,4-9,5

### **3. Kelembaban**

Mikroorganisme mempunyai nilai kelembaban optimum. Mikroba dapat tumbuh pada media yang basah dan udara lembab. Nilai kadar air bebas didalam larutan untuk bakteri pada umumnya antara 0,90 sampai 0,999.

### **4. Ketersediaan Oksigen**

Berdasarkan kebutuhan oksigennya mikroba dikelompokkan menjadi:

- a) Aerobik : hanya dapat tumbuh apabila ada oksigen bebas.
- b) Anaerob : hanya dapat tumbuh apabila tidak ada oksigen bebas.
- c) Anaerob fakultatif : dapat tumbuh baik dengan atau tanpa oksigen bebas.
- d) Mikroaerofilik : dapat tumbuh apabila ada oksigen dalam jumlah kecil.

### **5. Tekanan Osmosis**

Tekanan osmosis sangat mempengaruhi bakteri. Jika tekanan osmosis lingkungan lebih besar (hipertonis) sel akan mengalami plasmolisis (keluarnya cairan dari sel bakteri melalui membran sitoplasma). Jika tekanan osmosis lingkungan hipotonis akan menyebabkan sel membengkak serta mengakibatkan rusaknya sel. Oleh karena itu, dalam mempertahankan hidupnya sel bakteri harus berada pada tingkat tekanan osmosis yang sesuai walaupun sel bakteri memiliki daya adaptasi, perbedaan tekanan osmosis dengan lingkungannya tidak boleh terlalu besar.

### **6. Nutrisi**

Nutrisi diperlukan oleh mikroba untuk sebagai sumber energi dan pertumbuhan selnya. Unsur-unsur dasar tersebut adalah : karbon, nitrogen, hidrogen, oksigen, sulfur, fosfor, zat besi dan sejumlah kecil logam lainnya. Kekurangan sumber-sumber nutrisi ini dapat mempengaruhi pertumbuhan mikroba hingga pada akhirnya dapat menyebabkan kematian.

### **7. Ion-ion lain**

Untuk pertumbuhannya bakteri membutuhkan unsur-unsur kimia seperti C, H, N, S, dan P. selain itu juga membutuhkan unsur mikro seperti, Zn, Fe, dan Cu. Sedangkan logam berat seperti Hg, Ag, Cu, Au, dan Pb pada kadar rendah dapat bersifat meracun (toksin). Logam berat memiliki daya oligodinamik

yaitu daya bunuh logam berat pada kadar rendah. Selain logam berat ada juga ion-ion lain yang dapat mempengaruhi kegiatan fisiologi mikroba antara lain ion sulfat, tartrat, klorida, nitrat, dan benzoat. Ion-ion ini dapat mengurangi pertumbuhan mikroba tertentu. Oleh sebab itu ion-ion ini dapat digunakan untuk mengawetkan suatu bahan

## 8. Radiasi

Radiasi yang berbahaya bagi mikroorganisme yaitu radiasi pengionisasi yang memiliki arti radiasi dari gelombang panjang yang sangat pendek dan berenergi sehingga atom kehilangan elektron (ionisasi). Ditingkat rendah radiasi pengionisasi dapat menyebabkan mutasi dan lama-kelamaan dapat menyebabkan kematian.

Dalam kehidupannya, bakteri memiliki beberapa fase pertumbuhan. Proses tahapan pertumbuhan mikroorganisme dari awal pertumbuhan hingga kematian di gambarkan dengan kurva pertumbuhan. Tahapan pertumbuhan bakteri terdiri atas empat 52 fase antara lain fase lag, fase eksponensial, fase stasioner, fase kematian.

### a. Fase *lag*

Dinamakan juga fase adaptasi. Pada fase ini perubahan bentuk dan pertumbuhan jumlah individu belum terlihat jelas. Mikroba beradaptasi untuk menyesuaikan diri dengan substrat dan kondisi lingkungan sekitar. Waktu yang dibutuhkan untuk beradaptasi sekitar 5 menit hingga berjam-jam. Pada fase ini belum atau tidak ada sumber nutrisi untuk mikroba, belum terjadi pembelahan sel karena enzim belum disintesis.

### b. Fase *eksponensial*

Pada fase ini mulai terjadi perubahan bentuk, pembelahan sel dengan cepat dan peningkatan jumlah sel secara maksimum.

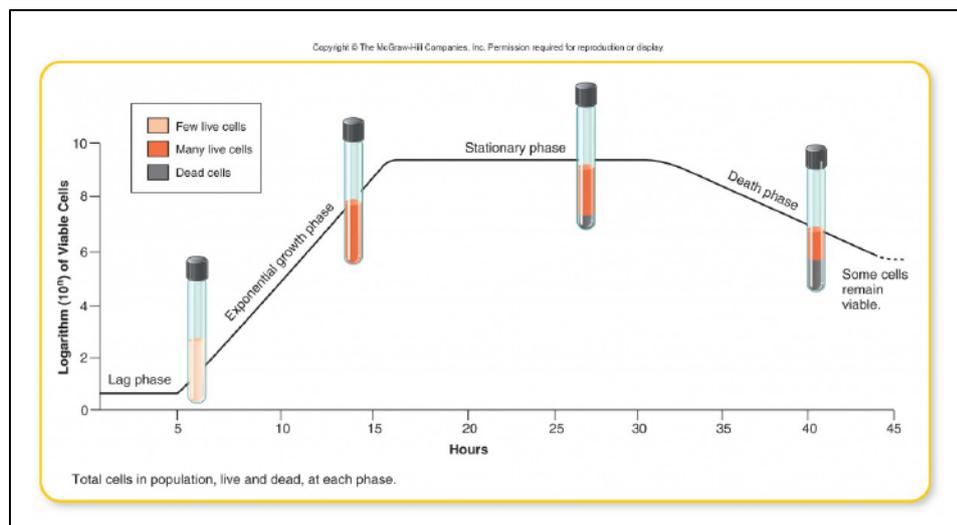
### c. Fase *stasioner*

Fase stasioner merupakan fase keseimbangan antara pertumbuhan dan kematian sel. Pada fase ini sumber nutrisi mulai berkurang. Mikroba tidak bisa melakukan aktivitas pertumbuhannya karena nutrisi untuk mikroba mulai habis sehingga akan terbentuk produk-produk beracun yang dapat

mengakibatkan pertumbuhan sel melambat sehingga jumlah sel hidup seimbang dengan jumlah sel yang mati.

d. Fase kematian

Pada fase ini nutrisi sudah habis, energi cadangan di dalam sel habis, proses metabolisme berhenti, laju kematian meningkat dan ada kemungkinan sel – sel dihancurkan oleh pengaruh enzim yang berasal dari sel itu sendiri (autolisis) sehingga mikroba tidak mampu lagi bertahan hidup dan mengalami kematian.



Gambar 5.5 Kurva Pertumbuhan Bakteri

## **BAB VI**

### **PREPARASI BAKTERI**

Tahapan persiapan bakteri atau tumbuhan untuk dijadikan reagen bioflotasi meliputi beberapa langkah berikut:

#### 1) Isolasi Bakteri

Isolasi bakteri merupakan proses pengambilan bakteri dari medius atau lingkungan asalnya, dan menumbuhkan pada medium buatan sehingga diperoleh biakkan atau kultur murni hasil isolasi tersebut. Populasi bakteri dapat dissolasi menjadi biakkan atau kultur murni, terdiri dari satu jenis bakteri yang dapat dipelajari morfologi, sifat, dan kemampuan biokimianya. Dalam memindahkan I bakteri dari satu tempat ke tempat lain harus menggunakan prosedur aseptik. Aseptik dalam hal ini berarti bebas dari sepsis, yaitu kondisi terkontaminasi karena terdapat mikroorganisme lain yang tidak dikehendaki. Teknik aseptik ini sangat penting apabila bekerja dengan bakteri, selain melindungi laboran juga menghindari kontaminasi mikroorganisme lain. Teknik kultur untuk mendapatkan biakkan murni terbagi menjadi uga macam teknik, yaitu cara penuangan, cara penggoresan, dan cara penyebaran.

##### a) Penuangan

Isolasi bakteri dengan cara pemangan bertujuan untuk menentukan perkiraan jumlah bakteri hidup dalam suatu cairan. Hasil Perhitungan jumlah bakteri pada cara penuangan dinyatakan dalam koloni.

$$\frac{\text{jumlah koloni dalam plate}}{\text{Luas plate}} = \frac{\text{Luas plate}}{\text{luas kotak (wilayah)}} \times \text{jumlah koloni dalam kotak}$$

b) Penggoresan

Isolasi bakteri dengan cara penggoresan bertujuan membuat garis sebanyak mungkin pada permukaan medium pembiakan, dengan jarum ose yang terlepas pada garis-garis tersebut semakin lama semakin sedikit, sehingga pada garis terakhir koloni yang terbentuk akan terpisah agak jauh. Cara penggoresan dilakukan dengan menuangkan terlebih dahulu medium agar pada cawan petri steril. Jarum ose yang digunakan dipanaskan dahulu hingga memijar, setelah itu disentuh pada koloni bakteri yang akan diisolasi, kemudian digoreskan pada medium yang tersedia. Menginkubasi selama 2x24 jam pada suhu ruang, lalu melakukan pengamatan.

c) Penyebaran

Tujuan dari isolasi bakteri dengan penyebaran serupa dengan isolasi bakteri cara penuangan. Hal yang membedakan kedua teknik tersebut adalah teknik penuangan suspensi sampel dan medium. Isolasi dengan cara penyebaran diawali dengan pengenceran sampel. Pengenceran sampel dilakukan sama seperti pada cara penuangan. Medium yang telah dipersiapkan dituangkan ke dlm cawan petri steril tunggu hingga memadat, setelah itu suspensi sampel dituangkan diatas permukaan agar. Penyebaran suspensi sampel dilakukan dengan menyebarkan suspensi dengan batang drugalsky yang telah dipanaskan terlebih dahulu.

2) Identifikasi Bakteri

Identifikasi dan determinasi suatu biakkan murni bakteri yang diperoleh dari hasil isolasi dapat dilakukan melalui pengamatan ciri-ciri morfologi koloni tersebut serta pengujian fisiologi dan biokimianya. Bakteri

dapat diidentifikasi dengan mengetahui reaksi biokimia tersebut. Dengan menanam bakteri pada medium, maka akan diketahui sifat suatu koloni bakteri. Sifat metabolisme bakteri dalam un biokimia dapat dilihat dari interaksi metabolit-metabolit yang dihasilkan dengan reagen kimia yang digunakan. Dalam mengidentifikasi suatu bakteri dapat dilakukan dengan mengamati karakteristik makroskopis, mikroskopis, dan uji biokimia bakteri tersebut. Karakteristik makroskopis yang dapat diamati meliputi bentuk koloni yaitu berbentuk titik, bulat, tidak teratur, seperti akar, dan filamen atau berbenang, serta kumparan. Tapi koloninya dapat berbentuk utuh, berombak, berbelah, bergerigi, berbenang, dan keriting. Warna koloni terdiri dari keputihan, kekuningan, kemerahan, coklat, jingga, orange, pink, hijau, dan ungu. Elevasi koloni meliputi rata, timbul datar, melengkung, dan cembung.

Struktur koloninya halus mengkilat, kasar, berkerut, atau kering seperti bubuk. Selain itu, tukurannya pun beragam dapat dilakukan dengan mengukur diameter dari koloni bakteri yang tumbuh. Karakteristik mikroskopis yang dapat diamati meliputi bentuk sel, ukuran sel, dan pewarnaan. Bentuk sel bakteri seperti berbentuk batang (basil, bulat (kokus), dan spiral dengan masing-masing kombinasinya. Pengukuran sel bakteri secara mikroskopis dapat dilakukan dengan mikrometer serta pewarnaan yang dilakukan meliputi pewarnaan Gram dan pewarnaan endospora. Uji biokimia dilakukan untuk mengetahui karakteristik dan spesifik dari bakteri dengan melihat aktifitas enzimatisnya, serta memperkuat data-data yang diperoleh sehingga mudah diidentifikasi. Beberapa un biokimia yang diterapkan antara lain uji produksi indol, uji fermentasi karbohidrat, uji penggunaan substrat uji methyl red, uji Voges-Proskauer, uji urease, katalase, dan uji H<sub>2</sub>S.

Pengambilan Sampel yang digunakan untuk isolasi bakteri *Bacillaceae* berasal dari sampel tanah dan susu. Sampel tanah yang diambil berada 30 cm di dekat tanaman dengan kedalaman 5-10 cm. Sebanyak 40 gram sampel tanah diambil dan disimpan dalam botol steril. Isolasi Bakteri

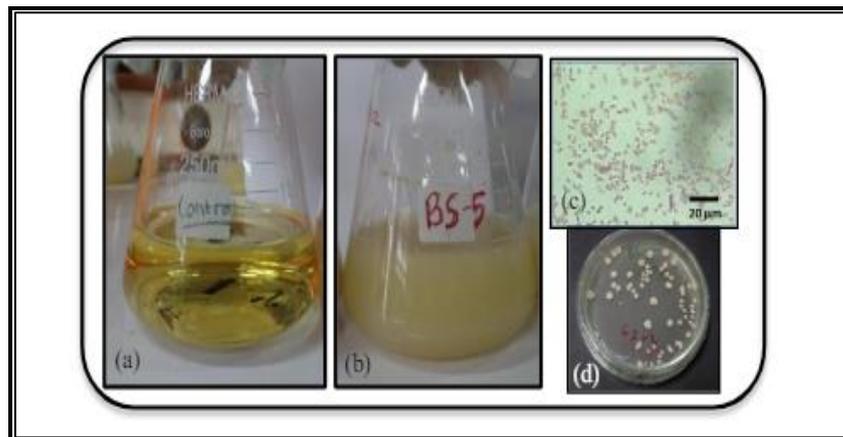
Empat puluh gram sampel tanah dicampur dengan 360 ml larutan NaCl 0,85% (faktor pengenceran  $10^{-1}$ ). Dibuat pengenceran berseri hingga faktor pengenceran  $10^{-4}$ . Isolasi dilakukan dengan metode sebar pada medium Nutrient Agar (NA)(oksid) untuk pengenceran  $10^{-2}$  hingga  $10^{-4}$ . Sampel susu diisolasi dengan metode yang sama. Inkubasi dilakukan pada suhu  $30^{\circ}\text{C}$  selama 24 jam. Koloni tunggal yang tumbuh diinokulasi ulang dengan metode gores pada medium NA hingga diperoleh kultur murni. Identifikasi Bakteri Kultur murni yang didapat ditumbuhkan di medium NA miring pada tabung reaksi. Diinkubasi pada suhu ruang selama 24 jam. Dilakukan pewarnaan gram terhadap semua isolat. Isolat yang berbentuk batang dan gram positif dilakukan pengamatan morfologi koloni di NA miring, uji katalase dan hidrolisis pati sesuai dengan metode dari Cappuccino & Welsh dan diidentifikasi secara molekuler melalui pengurutan DNA bakteri (gen 16S rRNA) di PT. Genetika Science Indonesia.

### 3) Penggunaan Bakteri sebagai Bioreagen

Bakteri yang digunakan adalah bakteri *Gram-negatif Citrobacter youngae strain SKC-4* yang diisolasi dari air panas Kawah Domas. Bakteri ini selain dapat memproduksi biosurfaktan juga dapat mengoksidasi sulfur. Media untuk pertumbuhan bakteri menggunakan modifikasi media LB (Luria Broth) dengan komposisi 10 g/L peptone; 5 g/L yeast ekstrak; 10 g/L NaCl; 0,25 g/L  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ; 0,5 g/L  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ . Inkubasi perbanyak bakteri menggunakan rotary shaker pada 150 rpm; pada  $27^{\circ}\text{C}$  selama 3 hari pada kondisi aerob. Penggunaan bakteri sebagai reagen bioflotasi mineral tembaga sulfida dilakukan setelah bakteri berada pada fase stasioner. Untuk bijih mineral tembaga sulfida yang mengandung pirit, dengan penambahan media tumbuh, kultur bakteri dan aquades disesuaikan sehingga 25% solid (w/v) tercapai. Selanjutnya, penambahan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  atau NaOH digunakan untuk mengontrol pH yang diinginkan. Percobaan dan pengujian bioflotasi selanjutnya dalam skala laboratorium menggunakan sel flotasi Denver kapasitas 1,5 L yang dilengkapi dengan digital pH meter Lutron tipe pH-208 untuk mengetahui tingkat keasaman larutan. Kecepatan

impeler 1000 rpm; conditioning time 60 menit; flotation time 12 menit; konsentrasi bakteri  $9,1 \times 10^{12}$  cfu/ml. Proses bioflotasi menghasilkan froth yang melimpah.

Penggunaan bakteri sebagai reagen pada proses bioflotasi dilakukan setelah bakteri mencapai fase stasioner pada pertumbuhannya, yaitu didapatkan setelah masa inkubasi 3 hari ditandai dengan semakin keruhnya media (Gambar 1 (a,b)). Pengamatan bakteri *Gram-negatif Citrobacter youngae strain SKC-4* dengan mikroskop didapatkan warna merah (Gambar 1 (c)) yang menunjukkan bahwa dinding sel bakteri mengandung peptidoglikan dan outer membran. Sedangkan pengamatan pada media agar plate (Gambar 1 (d)) didapatkan bahwa bakteri *Citrobacter youngae strain SKC-4* menunjukkan koloni yang hidup sangat banyak dan diperoleh jumlah koloni bakteri sebanyak  $9,1 \times 10^{12}$  cfu/ml.



Gambar 6.1 (a) Media Tumbuh LB Sebelum Diinokulasi Bakteri; (b) Kultur Bakteri *Citrobacter Youngae Strain SKC-4* pada Fase Stasioner; (c) Hasil Photomicrograph Bakteri *Citrobacter Youngae Strain SKC-4*; (d) Koloni Bakteri *Citrobacter Youngae Strain SKC-4* yang Ditumbuhkan pada Media Agar Plate LB Modifikasi Selama 24 jam pada Suhu  $25^{\circ}\text{C}$  .

#### 4) Penggunaan Biosurfaktan

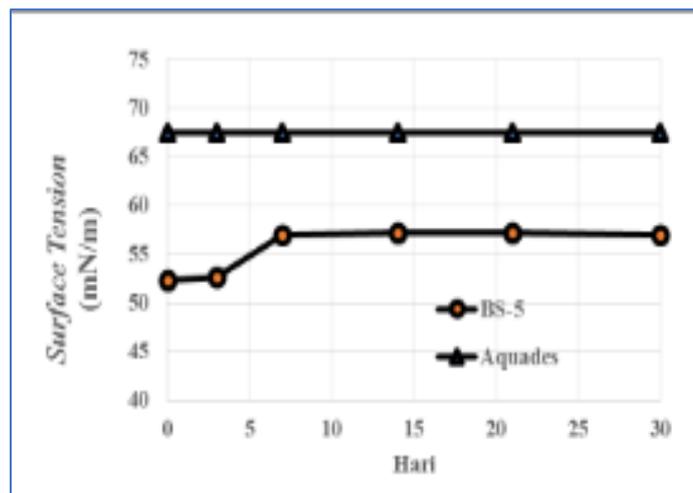
Bakteri yang digunakan adalah bakteri Gram negatif strain baru *Citrobacter sp* dengan kode isolat bakteri BS-5 yang dapat hidup pada daerah yang mempunyai kandungan sulfur tinggi. Selain dapat

memproduksi biosurfaktan, bakteri ini juga dapat mengoksidasi sulfur. Media tumbuh bakteri *Citrobacter sp.* adalah media Luria-Bertani Broth (LB broth) dengan komposisi 10 g/L peptone, 5 g/L yeast extract, 10 g/L NaCl yang ditambah dengan 0,25 g/L FeSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O dan 0,5 g/L Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.5H<sub>2</sub>O. Media LB yang akan diinokulasi bakteri dilakukan sterilisasi dengan autoclave (tekanan 1,5 Psi, suhu 120°C, selama 15-20 menit) yang bertujuan untuk membunuh organisme yang ada. Setelah media dingin dilakukan inokulasi bakteri murni (5% v/v) dan selanjutnya dilakukan inkubasi selama 3-5 hari dengan Erlenmeyer rotary shaker (kondisi aerob, 150 rpm, suhu ruang). Setelah 3 hari inkubasi, pertumbuhan bakteri mencapai 80% fase eksponensial dan bakteri siap untuk digunakan pada proses interaksi dengan mineral.

Pengukuran surface tension bertujuan untuk mengetahui adanya indikasi biosurfaktan yang terbentuk akibat reaksi interaksi dengan bakteri, dimana kehadiran biosurfaktan ini mampu berpotensi sebagai frothing agent yang membuat tegangan permukaan larutan menjadi lebih rendah dan lebih stabil (gelembung yang dihasilkan tidak mudah pecah pada saat flotasi). Adanya zat terlarut pada cairan dapat menaikkan atau menurunkan tegangan permukaan. Zat-zat yang berfungsi memperkecil tegangan permukaan cairan disebut surfaktan. Surfaktan yang larut dalam air banyak digunakan sebagai zat pembasah, zat pembusa (detergen), zat pengemulsi, reagen flotasi, pencegah korosi, dan lain-lain. Surfaktan menurunkan tegangan permukaan air dengan mematahkan ikatan-ikatan hidrogen pada permukaan. Hal ini dilakukan dengan menaruh gugus hidrofiliknya pada permukaan air dan gugus hidrofobiknya menjauhi permukaan air, sehingga surfaktan merupakan suatu molekul yang sekaligus memiliki gugus hidrofilik dan gugus hidrofobik.

Aktifitas surfaktan diperoleh karena sifat ganda dari molekulnya. Nilai surface tension larutan kultur interaksi mineral pirit dengan bakteri *Citrobacter sp.* menghasilkan nilai yang lebih kecil daripada nilai larutan pembanding awal yang diukur dengan aquades (67 mN/m). Semua nilai

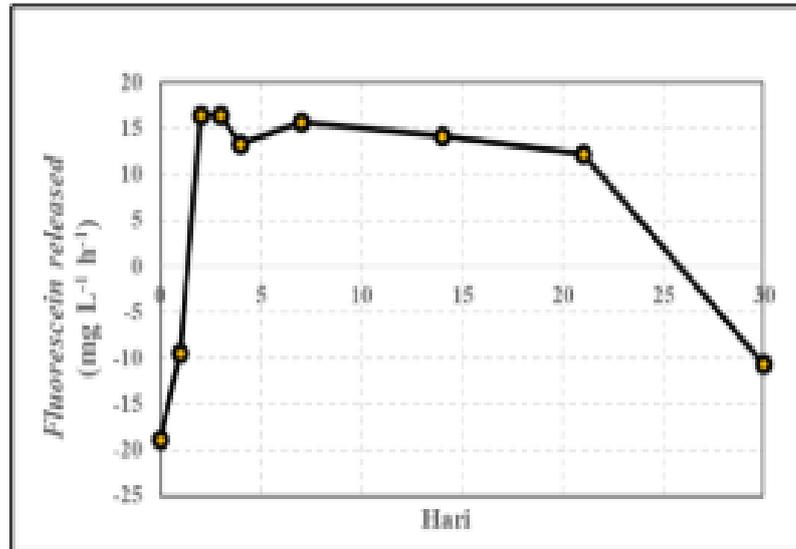
surface tension larutan kultur interaksi menghasilkan nilai yang lebih kecil dari surface tension air (71 mN/m). Hal ini membuktikan bakteri *Citrobacter sp.* dan hasil metabolitnya berpotensi mampu menurunkan tegangan permukaan air dan dapat diaplikasikan sebagai reagen flotasi (biofrother). Dari hasil yang diperoleh dapat diketahui bahwa selama proses interaksi dengan mineral, bakteri mampu menghasilkan senyawa kimia yang bertindak sebagai biosurfaktan. Nilai tegangan permukaan paling kecil (52 mN/m) dihasilkan pada saat awal proses interaksi, sedangkan bakteri pada awal interaksi dengan pirit hampir tidak ada yang hidup. Hal ini menandakan peranan biosurfaktan hasil metabolisme bakteri lebih berpengaruh pada kestabilan nilai tegangan permukaan daripada pengaruh bakteri itu sendiri.



Gambar 6.2 Grafik Tegangan Permukaan

Pengukuran *fluorescein diacetate* (FDA) memberikan informasi tentang aktivitas enzimatik mikroba. Nilai FDA ( $\text{mg L}^{-1} \text{h}^{-1}$ ) hasil aktivitas enzimatik mikroba pada kultur interaksi mineral pirit dengan bakteri *Citrobacter sp.* tinggi pada hari ke 2, 3, dan 4. Pada saat awal inokulasi semua bakteri menunjukkan aktivitas enzim yang rendah, hal ini karena banyaknya bakteri yang mati akibat dari konsentrasi pirit yang tinggi. Bakteri *Citrobacter sp.* yang mati dan tertinggal pada kultur menyebabkan adanya aktivitas enzim semakin meningkat sehingga hal ini yang

menyebabkan nilai FDA pada kultur menjadi tinggi. Meskipun demikian, didalam kultur interaksi masih terdapat beberapa bakteri hidup yang mampu melakukan aktivitas perbanyakan sel. Kecenderungan turunnya nilai FDA setelah hari ke-21 disebabkan oleh jumlah bakteri yang semakin sedikit (Gambar 6.3).



Gambar 6.3 Grafik Laju Pelepasan *Fluorescein*

## **BAB VII**

### **BIOFLOTASI PADA INDUSTRI**

Permintaan industri akan bahan mentah yang terus meningkat menyebabkan menipisnya sumber daya yang berharga dan bermutu tinggi. Oleh karena itu, cadangan bijih saat ini memiliki kadar yang lebih rendah, dan mineralnya disebarluaskan secara halus, sehingga membuat pengolahan mineral menjadi lebih kompleks dan mahal. Selain itu, industri pengolahan dan manfaat mineral menimbulkan dampak lingkungan yang cukup besar dengan menggunakan reagen kimia dan memproduksi logam berat. Salah satu contoh khusus proses benefisi yang umum diterapkan adalah flotasi buih. Salah satu kelemahan utama teknik ini adalah toksisitas dan dampak reagen terhadap lingkungan. Selain itu, sebagian besar reagen ini tidak dapat terurai secara hayati, sehingga dapat menyebabkan bioakumulasi, dan hal yang sama juga berlaku pada produk sampingannya. Misalnya, pengendalian busa dalam banyak proses flotasi industri, terutama flotasi fosfat, memerlukan minyak dalam jumlah berlebihan.

Meskipun banyak bahan bakar minyak yang digunakan untuk mengendalikan pembusaan, banyak pabrik masih mengalami masalah dengan pembusaan yang berlebihan, yang mengakibatkan hilangnya asam lemak secara signifikan. Seperti bahan bakar minyak, sebagian besar reagen flotasi menunjukkan perilaku beracun yang dapat berdampak buruk terhadap lingkungan dan proses hilir (Webb, Ruber, dan Leduc 1976). Oleh karena itu, terdapat kebutuhan mendesak akan metode pemrosesan inovatif untuk secara efisien memanfaatkan bijih kualitas rendah dengan cara yang ekonomis dan ramah lingkungan. Dalam konteks ini, bioteknologi menghadirkan peluang besar karena manfaatnya dalam berbagai aspek. Selama beberapa dekade terakhir, penggunaan bioteknologi di pertambangan dan industri metalurgi meningkat. Tidak terkecuali industri pengolahan mineral dan telah menggunakan banyak mikroorganisme.

Bioflotasi merupakan bidang baru dan secara logis memiliki lebih banyak tantangan yang harus diatasi. Salah satunya adalah menempelnya bakteri pada permukaan mineral. Meskipun telah dilakukan penelitian ekstensif, terdapat banyak hipotesis mengenai hal ini. Misalnya, beberapa orang menyatakan bahwa bakteri dapat menyerap mineral melalui proses fisik (secara elektrostatis atau melalui interaksi *van der Waals*) atau kimia; Namun, pengaruh bakteri terhadap adsorpsi reagen masih diperdebatkan. Dalam hal ini, ketidakjelasan mekanisme adsorpsi organisme hidup dipadukan dengan kimia permukaan yang rumit dalam pulp, menjadikan pemahaman bioflotasi menjadi lebih rumit dan menantang. Selain interaksi kimia yang rumit, tidak stabil, kompetitif serta karakteristik dan komposisi mikroorganisme yang kompleks, banyak interaksi elektrostatis dan elektrokimia juga terjadi pada antarmuka larutan-mineral. Oleh karena itu, bidang lain yang perlu dieksplorasi lebih lanjut adalah antarmuka mineral-bakteri. Studi yang lebih rinci diperlukan untuk mengevaluasi seluruh fenomena antarmuka, seperti sensitivitas status fisiologis mikroba, reaksi metabolik, dan intervensi invasif. Sampai saat ini, bakteri belum digunakan dalam proses flotasi komersial. Salah satu tantangan terbesar dalam hal ini adalah pertumbuhan dan adaptasi bakteri dalam media kultur serta keberadaan mineral dan reagen flotasi. Proses ini tidak hanya mahal tetapi juga memakan waktu dan dapat memakan waktu berbulan-bulan. Selain itu, bakteri sangat sensitif terhadap variasi kondisi seperti pH, ukuran partikel, kandungan padat, dll. Mengubah parameter ini dapat menyebabkan disfungsi bakteri dan kematian. Oleh karena itu, diperlukan lebih banyak penelitian mengenai berbagai aspek proses ini.

Adapun aspek aspek yang perlu dikaji terlebih dahulu sebelum penerapan bioflotasi ini yaitu:

1. Studi komprehensif tentang sifat dan sifat mikroorganisme serta metabolitnya yang bertanggung jawab atas bioflotasi selektif mineral yang diinginkan dalam suatu campuran.
2. Studi kelayakan semacam ini dapat menjadi langkah awal untuk pemanfaatan, produksi, dan pemurnian bakteri dan metabolitnya secara ekonomis untuk rencana besar dan industri.

3. Kemungkinan penerapan bio-molekul seperti protein, EPS, DNA sebagai bioreagen untuk flotasi berbagai mineral.
4. Pemanfaatan teknologi DNA rekombinan rekayasa genetika untuk menghasilkan keanekaragaman mikroorganisme nonpatogenik dengan hasil tinggi yang sesuai untuk aplikasi industri.
5. Karena perbedaan peran mikroorganisme, kemungkinan penggunaan beberapa spesies berbeda dalam satu proses belum diteliti.
6. Potensi penggunaan mikroorganisme dan biosurfaktan secara simultan dalam satu proses belum diteliti.
7. Meskipun ada perbedaan struktural mendasar antara monorhamnolipid dan dirhamnolipid, belum ada penelitian yang meneliti dan membandingkan sifat permukaan dan antarmuka kedua biosurfaktan ini.
8. Belum ada studi ekonomi yang dilakukan pada berbagai aspek proses bioflotasi, seperti persiapan dan adaptasi bakteri, produksi biosurfaktan, modal, serta biaya operasional dan pemeliharaan.
9. Belum dilakukan studi perbandingan untuk mengevaluasi keekonomian bioflotasi dan flotasi konvensional, yang nantinya dapat menjadi dasar studi kelayakan penerapan bioflotasi dalam skala komersial.
10. Menyelidiki efek dan interaksi biofilm atau sel bakteri mati dalam bioflotasi langsung dan proses selanjutnya atau pertumbuhan sel-sel yang tidak diinginkan dalam bioflotasi tidak langsung dapat menjadi topik yang menjanjikan untuk penelitian di masa depan.

Meskipun penelitian laboratorium telah menerapkan penggunaan mikroorganisme di berbagai bidang biobenefisiensi mineral, salah satu tantangan utamanya adalah kelayakan penerapan proses ini di industri. Hal ini dapat diatasi dengan menambah pengetahuan tentang variabel proses. Misalnya saja, pembiakan dan pengendalian mikroorganisme atau metabolitnya secara signifikan mempengaruhi kemungkinan penerapan mikroorganisme dalam industri dalam

biobenefisiasi. Terutama dalam proses seperti desulfurisasi batubara, bioflotasi dapat bersaing dengan proses bioleaching dan bahkan menggantikannya karena, tidak seperti proses bioleaching, bioleaching, bakteri hanya memerlukan waktu beberapa menit untuk teradsorpsi pada permukaan pirit dan memisahkannya dari batubara (Hoÿda dan Mÿynarczykowska 2014). Bidang lain yang menjanjikan adalah pemisahan mineral sulfida. Saat ini, sebagian besar produksi tembaga industri dilakukan melalui pengolahan mineral sulfida seperti kalkopirit. Salah satu masalah utama yang dihadapi kawasan ini adalah keberadaan mineral lain seperti pirit.

Penelitian ekstensif telah dilakukan untuk menghilangkan mineral ini, seperti peningkatan pH dengan kapur, konsumsi bahan kimia dosis tinggi, kominusi tinggi, dll. Namun, tidak satu pun dari metode ini yang ideal dari sudut pandang ekonomi atau penghematan energi. Selain itu, kekhawatiran mengenai dampak lingkungan dari surfaktan yang digunakan dan kemampuan terurainya semakin meningkat, terutama karena penggunaannya yang beragam dan luas. Oleh karena itu, perlu dicari alternatif pengganti surfaktan sintetik yang efisien dan ramah lingkungan.

Anggota *Pseudomonas*, *Bacillus*, dan *Rhamnolipids* merupakan spesies yang paling umum dalam produksi berbagai jenis biosurfaktan. Penjualan biosurfaktan mikroba di seluruh dunia bernilai US\$ 16,5 juta pada tahun 2022. Analisis industri terperinci mengumumkan bahwa pasar biosurfaktan mikroba global diperkirakan akan melebihi US\$ 24,3 juta pada tahun 2032, dan tumbuh pada tingkat pertumbuhan tahunan gabungan (CAGR) sebesar 3,9% (Fact.Mr 2022), menunjukkan meningkatnya kebutuhan dan produksi biosurfaktan. Selain itu, biosurfaktan mirip dengan reagen flotasi dan memiliki keterbatasan operasional yang jauh lebih sedikit dibandingkan penggunaan langsung bakteri, sehingga penggunaan bahan-bahan ini lebih mudah dan fleksibel pada skala industri. Namun, meskipun terdapat keberhasilan yang dicapai dalam bidang ini, banyak permasalahan, seperti ekonomi, korosi, pencemaran lingkungan, dan lain-lain, yang menghalangi penerapan proses-proses ini di industri saat ini.

Namun, sebagian besar masalah dan keterbatasan berasal dari flotasi langsung dan penggunaan bakteri secara langsung dalam flotasi. Secara keseluruhan, biobenefisiasi adalah salah satu metode paling menjanjikan untuk pemurnian dan pemisahan berbagai mineral, terutama mineral berkadar rendah. Terlepas dari keuntungan yang signifikan ini, hingga kini penerapan teknik ini dalam skala besar dan industri belum teramati. Penyebab utama keterbatasan ini mungkin adalah pengetahuan yang parsial dan tidak lengkap tentang sifat dan sifat bioreagen yang bertanggung jawab atas flotasi selektif mineral yang diinginkan. Pemahaman seperti itu akan menjadi langkah awal dalam menghasilkan penerapan bioreagen dalam skala besar dan komersial dalam flotasi mineral. Namun, terdapat hal-hal lain yang tidak jelas dan keterbatasan dalam penggunaan biobenefisiasi secara industri dan berkelanjutan, seperti lamanya adaptasi dan pertumbuhan bakteri, serta kemungkinan matinya mikroorganisme yang ada, meskipun masalah ini dapat diselesaikan dengan budidaya dan budidaya. membekukan sumber bakteri tambahan kemudian menyegarkannya dan menggunakannya jika diperlukan. Namun, prosedur ini sendiri memerlukan studi ekonomi untuk dapat dilaksanakan. Meskipun penyelidikan dan informasi mengenai bioflotasi telah dilakukan, belum ada penelitian yang dilakukan untuk mengkaji aspek ekonomi dari proses ini, baik dengan mempertimbangkan biaya operasional maupun modal. Oleh karena itu, perlu dicari alternatif pengganti surfaktan sintetik yang efisien dan ramah lingkungan. Biaya operasional mencakup biaya yang ditimbulkan selama pengoperasian, seperti tenaga kerja, air, listrik, reagen kimia, dll. Namun, biaya yang disebabkan oleh pertumbuhan dan adaptasi bakteri atau produk metaboliknya (biosurfaktan) sulit untuk ditentukan. Di sisi lain, biaya modal mencakup peralatan manufaktur dan operasional, seperti tangki pengkondisian dan lonjakan, sel flotasi, konveyor dan pompa, pipa pencampur dan pencampuran, peralatan pengambilan sampel, dan peralatan pemantauan online. Selain itu, ada biaya terkait bakteri lainnya, termasuk inkubator, media kultur bakteri, nutrisi, dan sumber energi. Media kultur bakteri dan nutrisi dapat terdiri dari berbagai bahan, seperti besi, belerang, sumber karbon, nutrisi utama dan jejak, fermentor, dan ekstrak ragi, tergantung pada jenis bakterinya. Lebih lanjut, diperlukan investigasi untuk

membandingkan biaya flotasi konvensional atau bioleaching dengan bioflotasi. Perbandingan ini dapat dilakukan dalam berbagai aspek, antara lain biaya dan ketersediaan peralatan, bahan dan perlengkapan, bakteri, dan kebutuhan nutrisi. Misalnya, untuk bakteri autotrofik (diterapkan dalam flotasi mineral sulfida) biayanya harus sama dengan biaya biooksidasi dan bioleaching. Sedangkan pada bakteri heterotrofik, biaya bakteri bergantung pada biaya sumber karbon dan nutrisi, mayor dan trace.

Oleh karena itu, hal ini sangat bergantung pada ketersediaan sumber karbon yang berbiaya rendah dan mungkin berupa limbah. Namun, satu hal yang dapat menunjukkan keunggulan ekonomi bioflotasi dibandingkan metode tradisional adalah terkait dengan ketergantungan bahan kimia pada produsen tertentu, senyawa tertentu, dan bahkan negara tertentu, dan terkadang negara lain terpaksa membeli bahan kimia tersebut dan menimbulkan biaya tinggi untuk itu. mentransfer dan mengimpornya. Sedangkan bahan kimia yang dibutuhkan untuk budidaya bakteri jauh lebih sederhana dan murah. Namun, hal-hal seperti konsumsi energi dalam budidaya bakteri masih belum jelas dan memerlukan penelitian lebih lanjut. Yang terakhir, peluang harus dijajaki untuk menghasilkan nutrisi yang lebih murah bagi bakteri dari bahan limbah sehingga dapat menurunkan biaya keseluruhan.

Adapun penelitian yang dilakukan mengenai bioflotasi ini yaitu:

a. Bioflotasi Hematit Menggunakan *Strain Bacillus Subtilis Gram-Positif* Sebagai Bioreagent

Literatur terbaru telah mengungkap potensi penggunaan strain mikroba dalam bioproses mineral. Penelitian ini menyajikan penggunaan bakteri Gram positif (*Bacillus subtilis*) sebagai bioreagen untuk flotasi hematit. Bakteri ini memiliki kemampuan untuk mengubah sifat permukaan mineral (mobilitas elektroforesis dan hidrofobisitas). Telah dipelajari perilaku elektrokinetik partikel hematit, sebelum dan sesudah interaksi dengan sel bakteri. Hasilnya menunjukkan pergeseran titik isoelektrik (IEP) hematit setelah interaksi dengan sel bakteri, menunjukkan adanya mekanisme adsorpsi kimia. Selain itu, setelah pengkondisian bakteri, kurva potensial zeta hematit menunjukkan nilai tinggi pada kisaran pH basa. Permukaan hematit dan bakteri menunjukkan nilai

sudut kontak masing-masing sekitar 27,4° dan 41,0°. Berdasarkan hasil, strain *B. subtilis* mampu memodifikasi permukaan hematit; dan setelah interaksi permukaan hematit menunjukkan nilai sudut kontak sekitar 46,0°. Uji flotasi dilakukan dalam tabung Hallimond yang dimodifikasi. Percobaan menunjukkan peningkatan yang signifikan dalam kemampuan mengapung hematit menggunakan strain Gram positif sebagai bioreagen. Pengujian menunjukkan perolehan maksimum hematit pada konsentrasi 600 mg/L dan pH 5. Oleh karena itu, hasil penelitian ini menunjukkan potensi penggunaan strain *Bacillus subtilis* sebagai biokolektor untuk flotasi hematit, dan kemungkinan penerapannya dalam industri flotasi mineral.

b. Bio-flotasi Kalkopirit Menggunakan Bakteri *Halofilik* Secara Terpisah dan Kombinasinya Sebagai *Bio-Depresan* Pirit

Karena meningkatnya konsumsi kapur dalam proses flotasi untuk meningkatkan pH sistem dan menciptakan lingkungan basa, serta peningkatan biaya secara bertahap, perhatian para peneliti dialihkan untuk melakukan operasi flotasi di lingkungan netral. Bakteri halofilik berpotensi menggantikan zat pereduksi flotasi seperti kapur karena flotasi dapat dilakukan dengan bantuannya pada pH netral juga. Selain itu, karena adanya efek penyangga air laut, yang merupakan media terpilih untuk bioflotasi, penggunaan metode bioflotasi mengurangi penggunaan air minum, dan juga mengurangi konsumsi bahan kimia. Dalam penelitian ini, lima jenis bakteri halofilik dipelajari untuk biodepresi pirit dan flotasi kalkopirit. Percobaan bio-flotasi dilakukan dengan menggunakan tabung *Hallimond*, dan bakteri *Halobacillus sp.*, *Alkalibacillus almallahensis*, dan *Alkalibacillus sp.* memiliki kinerja yang lebih baik dalam depresi pirit dan flotasi kalkopirit dibandingkan bakteri lain. Pemulihan depresi pirit ketika menggunakannya masing-masing adalah 30,9, 30,3, dan 34,0 %, dan perolehan kembali flotasi kalkopirit masing-masing sebesar 52,9, 68,6, dan 55,7, yang menunjukkan tingginya selektivitas bakteri ini dalam flotasi. Selain pengujian di atas, pengaruh kombinasi ketiga jenis bakteri ini terhadap depresi pirit dan flotasi kalkopirit juga dipelajari. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa pada uji kombinasi (campuran) ketiga jenis bakteri (33,3% dari masing-

masing jenis), penurunan pirit lebih baik dibandingkan pengujian lainnya, dan perolehannya sebesar 27,5%, lebih rendah dibandingkan pengujian bakteri tunggal. Selain itu, pengaruh kombinasi ketiga jenis bakteri ini terhadap flotasi kalkopirit juga diselidiki, dan perolehannya sebesar 72,6%, lebih tinggi dibandingkan pengujian bakteri tunggal. Sebaliknya, mengingat perolehan kalkopirit pada uji kombinasi tiga bakteri lebih tinggi dibandingkan uji bakteri tunggal dan dua bakteri, maka dapat disimpulkan bahwa kombinasi ketiga bakteri tersebut dapat menimbulkan sinergisme yang lebih baik dan meningkatkan kualitas kinerja mereka dalam tes mikroflotasi.

c. Pengaruh Biosurfaktan Pada Sifat Permukaan Hematit

Penerapan mikroorganisme sebagai pengubah permukaan telah memusatkan perhatian kita belakangan ini. Adsorpsi biosurfaktan dapat menjadi salah satu cara untuk memodifikasi permukaan padat. Dalam penyelidikan ini rhamnolipid yang dihasilkan oleh *Pseudomonas aeruginosa* digunakan untuk membuat modifikasi permukaan hematit. Percobaan dilakukan dengan mineral hematit murni. Dalam makalah ini, pengaruh penambahan biosurfaktan terhadap stabilitas dan flotabilitas suspensi hematit telah dipelajari secara rinci. Percobaan stabilitas dilakukan dengan menggunakan peralatan Turbiscan LAB, pada kondisi pH dan jumlah mineral konstan. Percobaan flotasi dilakukan dengan menggunakan tabung Hallimond. Isoterm adsorpsi biosurfaktan ke partikel hematit juga ditentukan. Percobaan dilakukan dengan kaldu dan rhamnolipid murni.

d. Evaluasi Efisiensi Flotasi Konsentrat Besi Menggunakan Biosurfaktan *Rhamnolipid* Sebagai Reagen Frother

Pengaruh biosurfaktan *rhamnolipid* yang dihasilkan oleh strain *Pseudomonas aeruginosa* MA01 terhadap desulfurisasi konsentrat besi dipelajari. Pengukuran tegangan permukaan dan karakterisasi buih menunjukkan aktivitas permukaan dan kemampuan berbuisa rhamnolipid lebih baik dibandingkan dengan *metil isobutil karbinol* (MIBC) sebagai operating frother. Uji flotasi terbalik menggunakan rhamnolipid baik sebagai single frother maupun dicampur dengan MIBC, menunjukkan bahwa proses

desulfurisasi lebih efisien pada pH 4,5 dan konsentrasi rhamnolipid tinggi dengan adanya MIBC. Namun pada kondisi ini perolehan air menurun akibat perubahan morfologi agregat rhamnolipid. Hasil dari penelitian ini tampaknya menjanjikan untuk memperkenalkan biosurfaktan dari *Pseudomonas aeruginosa* sebagai bahan frother baru.

- e. Bio-flotasi selektif sfalerit dari galena menggunakan strain *Bacillus subtilis* yang beradaptasi dengan mineral

Dalam penelitian ini, pengaruh adaptasi *B. subtilis* terhadap sfalerit dan galena terhadap flotasi selektif sfalerit dari campuran sintetik sfalerit-galena telah diteliti. Perubahan muatan permukaan mineral dan bakteri, komponen dinding sel dan profil protein yang disekresi dibahas. Profil protein sel yang belum beradaptasi dan beradaptasi ternyata berbeda secara nyata, baik secara kualitatif maupun kuantitatif, yang berdampak pada flotasi selektif sfalerit dan galena. Pengukuran elektrokinetik menunjukkan pergeseran titik iso-listrik tidak hanya pada *B. subtilis* tetapi juga mineral terpilih setelah adaptasi. Selain itu, potensi zeta *B. subtilis* menjadi kurang negatif setelah adaptasi bakteri terhadap mineral sulfida yang dipilih, sementara itu menunjukkan peningkatan besarnya muatan negatif permukaan setelah berbagai perlakuan enzimatik. Perubahan morfologi permukaan dan komponen dinding sel seperti fosfat, asam uronat dan gula asetat spesies bakteri selama adaptasi terhadap sfalerit dan galena telah dinilai. Uji flotasi selektif pada campuran sintetik galena dan sfalerit memastikan bahwa sfalerit dapat diapungkan secara istimewa dari galena dengan adanya fraksi tak larut dari sel *B. subtilis* yang telah dilisiskan yang awalnya beradaptasi dengan sfalerit, dengan indeks selektivitas yang tinggi.

- f. Pengaruh biotreatment dengan *Thiobacillus ferrooxidans* terhadap daya apung sfalerit dan galena

Bakteri *Thiobacillus ferrooxidans* memicu modifikasi permukaan mineral sulfida untuk memberikan hidrofilisitas atau hidrofobisitas untuk flotasi sfalerit dan galena. Pengaruh konsentrasi sel awal, periode biotreatment dan kepadatan pulp terhadap daya apung mineral dibahas. Dengan galena,

peningkatan flotasi yang diperoleh melalui pengolahan asam sulfat terhambat oleh biotreatment pada semua konsentrasi sel karena efek kimia. Penurunan tersebut terjadi pada sfalerit hanya pada konsentrasi sel yang cukup tinggi untuk perlekatan bakteri pada permukaan mineral. Variabel yang mempengaruhi modifikasi permukaan (dan, dengan demikian, respon flotasi mineral) meliputi konsentrasi sel yang digunakan untuk pengkondisian bakteri, periode *biotreatment* dan kepadatan pulp. Meskipun pertumbuhan bakteri selama biotreatment diamati bahkan tanpa adanya nutrisi, pertumbuhan tersebut lebih sering terjadi pada suspensi sfalerit dibandingkan suspensi galena. Estimasi protein sel menunjukkan bahwa lebih banyak sel yang menempel pada galena dibandingkan pada sfalerit.

## DAFTAR PUSTAKA

- Amelia, Trisna. 2017. *Buku Ajar Mikrobiologi*. Umrah Press: Tanjungpinang
- Aparna, A., Srinikethan, G., dan Hedge, S. (2011). Effect of addition of biosurfactant produced by *Pseudomonas* ssp, on biodegradation of crude oil. *Internasional proceedings of Chemical, Biological & Environmental Engineering*,6, 71-75.
- Asgari, K., Huang, Q., Khoshdast, H., & Hassanzadeh, A. (2024). A review on bioflotation of coal and minerals: classification, mechanisms, challenges, and future perspectives. *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review*, 45(1), 46-76.
- Banut, I, M., Makkar, R. S., dan Cameotra, S. S. (2000). Potential commercialo applications of microbial surfactants. *Applied microbiology and biotechnology*, 53(5), 495-508.
- Barry A. Wills. & James, A. (2016). *Wills' Mineral Processing Technology (8th ed)*.
- Campbell, et all. 2002. *Biologi edisi 5 jilid 1*. Jakarta: Erlangga.
- Cappuccino, J. G., & Welsh, C. T. (2019). *Microbiology: A Laboratory Manual*. Pearson Education.
- Colmer, A. R., and M. E. Hinkle. 1947. The role of microorganisms in acid mine drainage: A preliminary report. *Science* 106 (2751):253–56
- Cooper, M., Scott, D., Dahlike, R., Finch, J. A., dan Gomez, C. O. (2004). Impact of air distribution profil eon banks in a Zn cleaning circuit. *Proceedings of the 36th Annual Meeting of the Canadian Mineral Processors Conference, CIM, Ottawa, ON, Canada, pp. 52-540*.
- Darkuni, Noviar. 2001. *Mikrobiologi (Bakteriologi, Virologi dan Mikologi)*. Malang: Universitas Negeri Malang.
- Dwyer, R., Bruckard, W.J., Rea, S., dan Holmes, R.J., 2012, Bioflotation and bioflocculation re-view: microorganisms relevant for mineral

benefication. *Miner Process Extractive Metall. (Trans Inst Minner Metall C) 121*, 65-71.

Fact.Mr. 2022. Microbial biosurfactants market. Report. Chemical & Materials, 170. FACT7333MR.

<https://www.factmr.com/report/microbial-biosurfactants-market>

Firmansyah, I. (2009). *Penggunaan kolektor asam oleik dan frother minyak pinus pada proses flotasi bijih nikel limonit*. Depok: Laporan Skripsi Fakultas Teknik Program Studi Metalurgi dan Material Universitas Indonesia.

Hancock, R. E. W. (1991). *Bacterial outters membranes: evolving concepts. ASM American Society of Microbiology News, 57(4)*, 175-182.

Hołda, A., and A. Młynarczykowska. 2014. Bioflotation as an alternative method for desulphurization of fine coals - Part I. *Inzynieria Mineralna 15 (2)*:263–68.

Martinez, B. A., Stratton, J., & Bianchini, A. (2017). *Isolation and genetic identification of spore-forming bacteria associated with concentrated-milk processing in Nebraska. Journal of dairy science, 100(2)*, 919–932.

Nasrollahzadeh, A., Jahani Chegeni, M., Moghooeinejad, A., & Manafi, Z. (2022). Bio-flotation of Chalcopyrite using Halophilic Bacteria Separately and Their Combination as Pyrite bio-Depressant. *Journal of Mining and Environment, 13(4)*, 1119-1138.

Pelczar, Michael. 2008, *Dasar-Dasar Mikrobiologi*. Jakarta: UI Press.

Ristiati, Ni Putu. 2000. *Pengantar Mikrobiologi Umum*. Jakarta: Departemen Pendidikan Nasional.

Santhiya, D., Subramanian, S., dan Natarajan, K. A. (2002). Surface chemical studies on sphalerite and galena using extracellular polysaccharides isolated from *Bacillus polymyxa*. *Journal of Colloid and Interface Science, 256(2)*, 237-248.

Sanwani, E., Wahyuningsih, T., Chaerun, S.K. (2015). *A biosurfactant-producing and sulfur-oxidizing bacterium: its potential as eco-friendly*

*bioreagents for bioflotation*. Proceedings of Colloquium R & D Centre for Mineral and Coal Technology (Tekmira), Bandung.

Setiyo Rini, C., dan Rochmah, J. 2020. *Buku Ajar Kuliah Bakteriologi Dasar*. Umsida Press: Sidoarjo.

Sis, H., and S. Chander. 2003. Reagents used in the flotation of phosphate ores: A critical review. *Minerals Engineering* 16 (7):577–85.

Sura, N. K., & Hiremath, L. (2019). *Isolation of Bacillus megaterium and its Commercial Importance*. *International Journal of ChemTech Research*, 12(4), 30-36.

Suryadi, B. F., Yanuwiadi, B., Ardyati, T., & Suharjono (2015). *Isolation of Bacillus sphaericus from Lombok Island, Indonesia, and Their Toxicity against Anopheles aconitus*. *International journal of microbiology*, 2015, 854709.

Uçurum, M., & Bayat, O. (2007). *Effects of operating variables on modified flotation parameters in the mineral separation*. *Separation and Purification*

Van Loosdrecht, M. C., Lyklema, J., Norde, W., Schraa, G., dan Zehnder, A. J. 1990. Influence of Interfaces on Microbial Activity. *Microbiological reviews*, 54, 75-87.

Vardanyan, A., N. Vardanyan, A. Khachatryan, R. Zhang, and W. Sand. 2019. Adhesion to mineral surfaces by cells of leptospirillum, acidithiobacillus and sulfobacillus from armenian sulfide ores. *Minerals* 9 (2):69

Wahyuningsih, T., Chaerun, S. K., & Sanwani, E. (2020, July). *Characterization of interaction of biosurfactant-producing bacteria with pyrite minerals as an alternative to depressant reagents in the bioflotation process of copper sulfide minerals that are more environmentally friendly*. In *AIP Conference Proceedings (Vol. 2245, No. 1)*. AIP Publishing.

Webb, M., H. Ruber, and G. Leduc. 1976. *The toxicity of various mining flotation reagents to rainbow trout (Salmo gairdneri)*. *Water Research* 10 (4):303–06.

Yelloji Rao, M. K., P. Somasundaran, K. M. Schilling, B. Carson, and K. P. Ananthapadmanabhan. 1993. Bacterial adhesion onto apatite minerals — electrokinetic aspects. *Colloids and Surfaces: A, Physicochemical and Engineering Aspects* 79 (2–3):293–300