

SKRIPSI

**STUDI BENEFISIASI BIJIH EMAS OKSIDA MENGGUNAKAN
METODE FLOTASI KOLOM DARI DAERAH ADOW,
KABUPATEN BOLAANG MONGONDOW SELATAN,
SULAWESI UTARA**

Disusun dan diajukan oleh:

**FIRSTCHO BAGUS MALVIANO
D111 19 1059**



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK PERTAMBANGAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2024**

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

STUDI BENEFISIASI BIJIH EMAS OKSIDA MENGGUNAKAN METODE FLOTASI KOLOM DARI DAERAH ADOW, KABUPATEN BOLAANG MONGONDOW SELATAN, SULAWESI UTARA

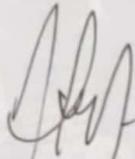
Disusun dan diajukan oleh

Firstcho Bagus Malviano
D111191059

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian
Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Pertambangan
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
Pada tanggal 16 Agustus 2024
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

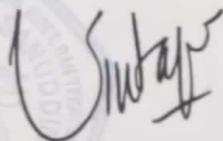
Menyetujui,

Pembimbing,



Dr. Ir. Sufriadin, S.T., M.T.
NIP 19660817 200012 1 001

Ketua Program Studi,



Dr. Ir. Aryanti Virtanti Anas, S.T., M.T.
NIP 19701005 200801 2 026

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Firstcho Bagus Malviano
NIM : D111 19 1059
Program Studi : Teknik Pertambangan
Jenjang : Sarjana (S1)

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul:

Studi Benefisiasi Bijih Emas Oksida Menggunakan Metode Flotasi Kolom
Dari Daerah Adow, Kabupaten Bolaang Mongondow
Selatan, Sulawesi Utara

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasi oleh Penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari Dosen Pembimbing.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 16 Agustus 2024

Yang Menyatakan



Firstcho Bagus Malviano

ABSTRAK

STUDI BENEFISIASI BIJIH EMAS OKSIDA MENGGUNAKAN METODE FLOTASI KOLOM DARI DAERAH ADOW, KABUPATEN BOLAANG MONGONDOW SELATAN, SULAWESI UTARA (dibimbing oleh Dr. Ir. Sufriadin, S.T., M.T.).

Flotasi adalah metode pemisahan mineral berharga dari mineral pengotor dengan memanfaatkan perbedaan sifat hidrofobik di antara keduanya. Flotasi bijih emas menggunakan reagen berupa minyak pinus sebagai *frother* dan *potassium ethyl xanthate* sebagai *collector*. Percobaan flotasi bertujuan untuk mengetahui komposisi mineral dan kimia dari bijih emas oksida, menganalisis pengaruh ukuran butir dan waktu flotasi serta untuk mengetahui perolehan yang dihasilkan dari proses flotasi kolom. Fraksi ukuran butir yang digunakan yaitu -212+150 μm , -150+75 μm dan -75 μm . Waktu yang digunakan dalam penelitian ini yaitu 15 menit, 20 menit dan 25 menit. Karakterisasi mineralogi melalui analisis mikroskopis dan XRD pada sampel batuan bijih emas dengan tekstur *massive* dan berongga secara lokal menunjukkan dominasi mineral gangue (kuarsa (SiO_2)) sebesar 64,2%, serta mineral lain seperti chamosite ($\text{Fe}^{2+}, \text{Mg}$)₅Al($\text{AlSi}_3\text{O}_{10}$)₈ sebesar 20,1%, muskovit ($\text{KAl}_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{F}, \text{OH})_2$) sebesar 13,3%, dan biotit ($\text{K}(\text{Mg}, \text{Fe})_3(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{F}, \text{OH})_2$) sebesar 2,4%. Komposisi kimia bijih emas meliputi Au: 20,63 ppm. Hasil penelitian menggunakan metode flotasi kolom menunjukkan peningkatan kadar Au tertinggi pada ukuran butir -150+75 μm dengan waktu flotasi 20 menit yaitu peningkatan kadar Au dari sampel awal 20,63 ppm menjadi 46,09 ppm dengan perolehan 6,0996% dengan *recovery* sebesar 58%. Hal ini mengindikasikan bahwa durasi dan ukuran butir secara signifikan mempengaruhi perolehan kadar Au selama proses flotasi.

Kata Kunci: Emas, flotasi kolom, kadar, ukuran butir, waktu flotasi.

ABSTRACT

BENEFICIATION STUDY OF OXIDIZED GOLD ORE USING COLUMN FLOTATION METHOD FROM ADOW AREA, SOUTH BOLAANG MONGONDOW REGENCY, NORTH SULAWESI (supervised by Dr. Ir. Sufriadin, S.T., M.T.)

Flotation is a method of separating valuable minerals from gangue minerals by exploiting differences in their hydrophobic properties. Gold ore flotation utilizes reagents such as pine oil as a frother and potassium ethyl xanthate as a collector. The flotation experiment aims to determine the mineralogical and chemical composition of the oxide gold ore, analyze the effects of grain size and flotation time, and ascertain the recovery obtained from the column flotation process. The grain size fractions used are -212+150 μm , -150+75 μm , and -75 μm . The flotation times employed in this study are 15 minutes, 20 minutes, and 25 minutes. The mineralogical characterization identified through microscopic and XRD analysis of gold ore rock samples with massive and locally porous textures shows a dominance of gangue minerals (quartz (SiO_2)) at 64,2%, chamosite ($(\text{Fe}^{2+}, \text{Mg})_5\text{Al}(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})_8$) at 20,1%, muscovite ($\text{KAl}_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{F}, \text{OH})_2$) at 13,3% and biotite ($\text{K}(\text{Mg}, \text{Fe})_3(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{F}, \text{OH})_2$) at 2,4%. The chemical composition of the gold ore includes Au: 20.63 ppm. The results of the study using the column flotation method showed the highest increase in Au content for the -150+75 μm grain size with a flotation time of 20 minutes, resulting in an increase in Au content from the initial 20.63 ppm to 46.09 ppm with a yield of 6.0996% and a recovery rate of 58%. This indicates that duration and grain size significantly affect the Au content yield during the flotation process.

Keywords: Gold, column flotation, grade, particle size, flotation time.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI.....	ii
PERNYATAAN KEASLIAN.....	iii
ABSTRAK	iv
<i>ABSTRACT</i>	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR LAMPIRAN.....	ix
DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL	x
KATA PENGANTAR	xi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
1.5 Ruang Lingkup.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Emas	5
2.2 Endapan Bijih Emas Epitermal	7
2.3 Bijih Emas Oksida.....	12
2.4 Pengolahan Bijih Emas.	14
2.5 Recovery pada Bijih Emas.	14
2.6 Metode Flotasi.....	17
BAB III METODE PENELITIAN.....	25
3.1. Lokasi Penelitian	25
3.2. Benda Uji dan Alat.....	26
3.3. Variabel Penelitian	27
3.4. Pengolahan dan Analisis Data.....	28
3.5. Teknik Pengumpulan Data	30
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	43
4.1. Karakterisasi Sampel Awal Bijih Emas	43
4.2. Benefisasi Au dari Proses Flotasi Kolom.....	46
4.3. <i>Recovery</i> Au dari Proses Flotasi Kolom.....	56
4.4. Analisis XRD hasil dari Flotasi Kolom.....	60
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	62
5.1. Kesimpulan.....	62
5.2. Saran.....	62
DAFTAR PUSTAKA	63
LAMPIRAN.....	67

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1	Skema pembentukan endapan epitermal	10
Gambar 2	Sudut kontak pada fasa padat cair dan udara	18
Gambar 3	Prinsip flotasi.....	19
Gambar 4	Klasifikasi kolektor	22
Gambar 5	Selektif Gelembung Udara untuk Partikel Hidrophobik	24
Gambar 6	Lokasi sampling.	25
Gambar 7	Lokasi <i>Sampling</i>	26
Gambar 8	Bagan alir penelitian.....	29
Gambar 9	Proses pengeringan sampel di <i>workshop</i>	30
Gambar 10	Proses pengeringan sampel menggunakan <i>oven</i>	31
Gambar 11	Penggerusan sampel menggunakan <i>jaw crusher</i>	32
Gambar 12	Penggerusan sampel menggunakan <i>agate mortar</i>	32
Gambar 13	Proses pengayakan sampel manual (<i>hand sieving</i>)	33
Gambar 14	Alat ayak yang digunakan	33
Gambar 15	Timbangan digital	34
Gambar 16	Penamaan kode sampel	35
Gambar 17	Proses memasukkan umpan dan <i>reagen</i> , proses <i>conditioning</i>	36
Gambar 18	Proses flotasi kolom dan hasil flotasi kolom.....	37
Gambar 19	Proses pengeringan hasil flotasi kolom.....	37
Gambar 20	Kertas Saring	38
Gambar 21	Analisis mikroskopis	39
Gambar 22	Alat XRD.....	40
Gambar 23	Alat AAS	40
Gambar 24	Difaktogram sampel awal bijih emas	43
Gambar 25	Hasil pengamatan mikroskopis dengan pembesaran 100 μ m.	45
Gambar 26	Grafik persentase produk flotasi kolom.	49
Gambar 27	Grafik persentase produk flotasi kolom	49
Gambar 28	Grafik persentase produk flotasi kolom	50
Gambar 29	Grafik hubungan kadar konsentrat terhadap fraksi ukuran butir.....	52
Gambar 30	Grafik hubungan kadar konsentrat terhadap waktu flotasi.....	55
Gambar 31	Grafik <i>recovery</i> Au berdasarkan fraksi ukuran butir.	58
Gambar 32	Grafik <i>recovery</i> Au berdasarkan waktu flotasi.	59
Gambar 33	Difaktogram sampel hasil flotasi kolom	61

DAFTAR TABEL

Tabel 1	Sifat fisik dan kimia emas (Mohsin, 2006).....	6
Tabel 2	Perbedaan Epitermal Sulfida Tinggi dan Epitermal Sulfida Rendah.....	10
Tabel 3	Fasa mineral bijih emas.....	44
Tabel 4	Hasil analisis awal komposisi kimia bijih.....	46
Tabel 5	Jumlah produk benefisiasi dengan metode flotasi	47
Tabel 6	Jumlah persen produk benefisiasi dengan metode flotasi	47
Tabel 7	Konsentrat kadar Au hasil flotasi.....	51
Tabel 8	Konsentrat kadar Au hasil flotasi.....	54
Tabel 9	<i>Tailing</i> kadar Au hasil flotasi.....	56
Tabel 10	<i>Recovery</i> Au hasil flotasi kolom.....	57
Tabel 11	Komposisi mineral produk hasil flotasi kolom	60

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 HASIL ANALISIS XRD.....	68
Lampiran 2 HASIL ANALISIS AAS	73
Lampiran 3 PERHITUNGAN <i>RECOVERY</i>	75
Lampiran 4 KARTU KONSULTASI TUGAS AKHIR	78

DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL

Lambang/Singkatan	Arti dan Keterangan
XRD	<i>X-ray diffraction</i>
XRF	<i>X-ray fluorescence spectrometry</i>
AAS	<i>Atomic Absorption Spectrometry</i>
Chl	<i>Chlorite</i>
Ms	<i>Muscovite</i>
Qz	<i>Quartz</i>
Py	<i>Pyrite</i>
Au	<i>Aurum</i>

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan judul "Studi Benefisiasi Bijih Emas Oksida Menggunakan Metode Flotasi Kolom Dari Daerah Adow, Kabupaten Bolaang Mongondow Selatan, Sulawesi Utara". Skripsi ini dilaksanakan di Laboratorium Analisis dan Pengolahan Bahan Galian Departemen Teknik Pertambangan.

Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik di Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji dan mengoptimalkan metode flotasi kolom dalam meningkatkan perolehan dan recovery emas dari bijih oksida di daerah Adow.

Dalam proses penyusunan skripsi ini, penulis telah menerima banyak bantuan, bimbingan, dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya terutama kepada orang tua, serta kepada Dr. Ir. Sufriadin, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing utama, dan Akmal Saputno, S.T., M.T. Tidak lupa, ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada teman-teman IGNEOUZ 2019 (Mahasiswa Teknik Pertambangan Universitas Hasanuddin angkatan 2019) serta kepada seluruh pihak yang tidak sempat disebutkan.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang konstruktif untuk perbaikan di masa mendatang. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis sendiri dan bagi perkembangan ilmu pengetahuan, khususnya di bidang Teknik Pertambangan.

Gowa, 16 Agustus 2024

Penyusun

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Emas (Au) merupakan logam yang bersifat lunak dan mudah ditempa, kekerasannya berkisar antara 2,5-3 (skala mohs), serta berat jenisnya tergantung pada jenis dan kandungan logam lain yang berpadu dengannya. Mineral pembawa emas biasanya berasosiasi dengan mineral ikatan (*gangue minerals*). Mineral sekunder tersebut umumnya kuarsa, karbonat, turmalin, fluorapatit, dan sejumlah kecil mineral non logam. Mineral pembawa emas juga berasosiasi dengan endapan sulfida yang telah teroksidasi. Mineral pembawa emas terdiri dari emas nativ, elektrum, emas telurida, sejumlah paduan dan senyawa emas dengan unsur-unsur belerang, antimon, dan selenium. Elektrum sebenarnya jenis lain dari emas nativ, hanya kandungan perak di dalamnya >20% (Bulatovic,1996).

Indonesia merupakan kepulauan yang berada pada zona pertemuan lempeng Eurasia dan lempeng Indonesia-Australia, berakibat munculnya jajaran busur magmatik. Busur magmatik tersebut meliputi Busur Besar Sunda Banda, Busur Sulawesi Utara, Busur Halmahera, dan Busur Papua (Briyantara dan Yulianto, 2015). Posisi geologis ini menjadikan Indonesia kaya akan sumberdaya mineral, salah satunya adalah mineral emas. Berdasarkan informasi dari Pusat Data dan Teknologi Informasi Energi dan Sumber Daya Mineral (2013), cadangan emas di Indonesia kira-kira 3.000 ton dengan sumber dayanya mencapai 6.000 ton sedangkan berdasarkan data dari United States Geological Survey (USGS) cadangan logam emas di seluruh dunia mencapai 57.000 ton (Jewell dan Kimball, 2017).

Proses pengolahan mineral berharga seperti emas dan tembaga dalam beberapa tahun terakhir pesat dilakukan oleh engineer untuk memperoleh hasil yang optimum. Proses ekstraksi mineral tersebut dapat dilakukan salah satunya dengan menggunakan metode flotasi. Flotasi adalah proses pemisahan mineral berharga berdasarkan perbedaan tegangan permukaan dari mineral di dalam air dengan cara mengapungkan mineral ke permukaan. Pada rangkaian proses flotasi, kondisi asam dan basa sangat berpengaruh terhadap kadar yang dihasilkan. Penambahan kapur saat flotasi dapat meningkatkan pH larutan. Kapur dapat digunakan sebagai pH regulator yang berfungsi sebagai agen pengontrol pH, untuk memastikan reaksi berjalan dengan baik di kondisi asam atau basa (Bahtiar dkk, 2021).

Berdasarkan hal penelitian ini bertujuan untuk mempelajari efektivitas metode flotasi dalam memulihkan emas dari bijih oksida. Beberapa faktor yang perlu dipertimbangkan dalam penelitian ini termasuk pemilihan agen pengumpul yang tepat, konsentrasi agen pengumpul, pH larutan, kecepatan pengadukan, dan waktu flotasi yang optimal. Dengan memahami dan mengoptimalkan metode flotasi untuk pemulihan emas bijih oksida, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan proses pengolahan bijih emas yang efisien dan ekonomis.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana komposisi mineralogi dan kimia dari dari bijih emas oksida?
2. Bagaimana pengaruh ukuran butir dan waktu flotasi terhadap peningkatan kadar emas pada proses flotasi kolom?
3. Bagaimana tingkat perolehan emas pada proses flotasi kolom?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui komposisi mineral dan kimia dari dari bijih emas oksida.
2. Menganalisis pengaruh ukuran butir dan waktu flotasi terhadap peningkatan kadar emas pada proses flotasi kolom.
3. Menganalisis tingkat perolehan emas pada proses flotasi kolom.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian yang akan dilakukan diharapkan menambah wawasan mengenai proses pemulihan emas bijih oksida menggunakan metode flotasi. *recovery* bijih emas merupakan tingkat atau persentase emas yang berhasil dipulihkan atau dipisahkan dari bijih atau bahan sumbernya setelah melalui proses pemisahan atau pemurnian. *Recovery* emas menggunakan metode flotasi bertujuan untuk mencapai pemulihan emas yang optimal dari bijih oksida atau batuan yang mengandung konsentrasi emas.

1.5 Ruang Lingkup

Penelitian dilakukan di *Laboratory Based Education* (LBE) Analisis dan Pengolahan Bahan Galian Galian Program Studi Teknik Pertambangan Universitas Hasanuddin. Penelitian dilakukan untuk melakukan percobaan peningkatan dan *recovery* emas menggunakan metode flotasi kolom dari bijih oksida yang di ambil pada daerah Adow, kabupaten Bolaang Mongondow Selatan, Sulawesi Utara dengan menggunakan reagen *potassium ethyl xanthate* (*collector*) dan minyak pinus (*frother*). Penelitian ini melibatkan pengambilan sampel pada lokasi sebelum dilakukannya proses flotasi. Proses flotasi akan dilakukan setelah sampel telah melewati tahapan preparasi sampel hingga menjadi ukuran $-212+150\ \mu\text{m}$, $-150+75\ \mu\text{m}$ dan $-75\ \mu\text{m}$. Proses setelah dilakukannya preparasi adalah *conditioning* selama 5 menit dengan reagen 160 mg *potassium ethyl xanthate* dan 40 mL minyak pinus. Proses flotasi membutuhkan waktu selama 15 menit, 20 menit dan 25 menit setiap fraksi. Jumlah sampel yang digunakan dalam penelitian ini berjumlah 200gr setiap sampel. Instrumen yang digunakan dalam penelitian ini yaitu mikroskop polarisasi tipe Nikon Eclipse LV100N POL untuk analisis mikroskopis, Shimadzu Maxima

X- 7000 untuk analisis XRD, dan AA 7000 Shimadzu untuk melakukan analisis AAS.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Emas

Manusia telah menemukan emas sejak tahun 5000 SM, ada beberapa catatan menyatakan bahwa bangsa Mesir dianggap sebagai penemunya. Emas, perak dan juga logam adalah salah satu logam pertama yang identifikasi oleh manusia. Sifat emas yang mudah untuk ditempa dan kekerasannya yang berkisar antara 2,5 hingga 3 skala Mohs membuatnya mempunyai nilai yang tinggi. Berat jenis dari emas dapat dipengaruhi oleh jenis dan kandungan logam lain yang tercampur dengan emas (Marsden dan House, 2006).

Emas ditandai dengan simbol kimia Au dan nomor atomnya adalah 79. Emas merupakan sebuah unsur logam yang kokoh, berwarna kuning, dan memiliki kilau alami. Sifatnya yang stabil membuatnya tidak mengalami oksidasi ketika terpapar udara atau air. Keistimewaannya yang tidak mudah berkarat dan memiliki konduktivitas listrik yang tinggi menjadikannya pilihan yang disukai dalam industri elektronik (Nengsih, 2018). Emas adalah logam yang memiliki sifat mudah ditempa dan keberadaannya sangat berharga secara ekonomis. Ketersediaan emas saat ini terbatas dan nilainya sangat tinggi. Teknologi dalam penambangan emas terus berkembang untuk meningkatkan efisiensi dan efektivitas dalam berbagai aspek pertambangan, termasuk pengeluaran biaya, waktu, dan tenaga (Wulandari dkk, 2015). Mineral emas terbentuk ketika larutan fluida hidrotermal naik ke permukaan melalui retakan-retakan dalam batuan. Setelah itu, proses diferensiasi dan pengendapan terjadi untuk membentuk mineral emas (Sukandarrumidi, 2009). Secara alami, emas seringkali ditemukan dalam bentuk logam murni yang muncul sebagai nugget atau flakes, yang seringkali terletak dalam urat yang menembus batuan. Selain dalam bentuk logam murni, emas juga dapat ditemukan dalam mineral *tellurides* yang terkait dengan kuarsa dan pirit. (Kamiludin dan Darlan, 2005).

Emas termasuk dalam kelompok unsur murni, dengan sedikit kandungan perak, tembaga, atau besi. Sebagai logam transisi (trivalen dan univalen), emas memiliki sifat lunak dan dapat ditempa dengan mudah, dengan tingkat kekerasan

berkisar antara 2,5 hingga 3 pada skala Mohs. Emas bisa diubah menjadi lembaran yang sangat tipis sampai tembus pandang. Karakteristiknya termasuk sifat sectile (lunak, elastis, mudah dibentuk), warna menarik (kuning, berkilau, tidak mudah memudar), berat, tahan lama, tahan terhadap panas tinggi, dan memiliki daya konduktivitas listrik yang baik serta ketahanan terhadap oksidasi (anti-korosi), sehingga emas memiliki berbagai aplikasi yang luas (Mohsin dan Yulianton, 2006).

Tabel 1 Sifat fisik dan kimia emas (Mohsin, 2006)

Sifat	Nilai
Nomor Atom	79
Massa Atom	196,966 g/mol
Konfigurasi elektron	[Xe] 4f14 5d10 6s1
Fase	Padat
Massa jenis (pada 273 K)	19,3 gr/cm ³
Titik lebur	1337,33 K (1064,18°C)
Titik didih	3081 K (2808°C)
Kalor peleburan	12,55 kJ/mol
Kalor penguapan	324 kJ/mol
Struktur kristal	Oktahedron dan dodecahedron
Warna Logam	Kuning
Sifat magnetik	Diamagnetik

Mineral yang mengandung emas biasanya berhubungan dengan mineral pembawa lainnya (*gangue minerals*). *Gangue minerals* ini umumnya terdiri dari kuarsa, karbonat, turmalin, fluorpar, dan beberapa mineral non-logam lainnya. Mineral yang mengandung emas juga sering kali terkait dengan endapan sulfida yang sudah teroksidasi. Mineral pembawa emas dapat mencakup emas natif, electrum, emas telurida, serta beberapa paduan dan senyawa emas dengan belerang, antimon, dan selenium. Di PT. ANTAM (Persero) Tbk. Unit Bisnis Penambangan Emas (UBPE) Pogkor, jenis mineral pembawa emas yang umum adalah electrum. Electrum sebenarnya adalah varian dari emas natif, hanya saja kandungan perak di dalamnya lebih dari 20% (Mohsin dan Yulianton, 2006).

2.2 Endapan Bijih Emas Epitermal

Indonesia berada di antara tiga zona subduksi lempeng tektonik, yaitu lempeng Eurasia, lempeng Hindia-Australia, dan lempeng Pasifik. Akibat suhu dan tekanan tinggi di zona subduksi tersebut, sebagian batuan mengalami pelelehan parsial menjadi magma. Magma ini kemudian keluar melalui zona-zona lemah berupa rekahan-rekahan. Jika magma tersebut mencapai permukaan, ia akan membentuk gunung api. Namun, jika tidak mencapai permukaan, ia akan membentuk batuan beku intrusi yang dalam kondisi tertentu dapat menghasilkan mineral logam seperti emas (Au), perak (Ag), tembaga (Cu), seng (Zn), dan timbal (Pb), yang biasanya terdapat bersamaan dengan batuan beku intrusi intermediet hingga asam (Purnamawati dan Tapilatu, 2012).

Pembentukan atau genesis mineral-mineral logam berkaitan dengan naiknya larutan sisa magma ke permukaan, yang dikenal sebagai larutan hidrotermal. Proses pembentukan cebakan bijih melalui hidrotermal melibatkan tiga tahap: diferensiasi, migrasi, dan akumulasi (pengendapan). Salah satu jenis endapan yang terbentuk dari proses ini adalah endapan hidrotermal. Endapan hidrotermal terbentuk pada suhu antara 350°C dan 450°C, di mana larutan sisa magma sangat encer. Dalam kondisi ini, tekanan gas menurun dengan cepat, dan ketika suhu mencapai titik kritis air (372°C), mulai terbentuk cebakan hidrotermal. Proses pembentukan mineral ini terus berlangsung hingga semua larutan sisa magma membeku pada suhu antara 50°C dan 100°C. (Frimmel, 2002).

Bentuk cebakan hidrotermal sering kali mengikuti bentuk rekahan yang diisinya, dan kadang-kadang melibatkan proses substitusi atau penggantian. Klasifikasi bentuk endapan didasarkan pada bentuk rekahan yang diisinya, dengan bentuk urat yang sering ditemukan pada batuan beku intrusi. Pada batugamping dan dolomit, bentuk endapan sering menunjukkan substitusi, sedangkan pada batupasir dan tufa sering terlihat sebagai impregnasi. Bentuk urat dan impregnasi dapat digolongkan sebagai proses pengisian rongga, sementara bentuk lainnya dikategorikan sebagai substitusi atau alterasi. Dalam cebakan yang mengisi rekahan (pengisian rongga), dua proses dapat terjadi: pembentukan rekahan dan pengisian dengan larutan mineral. Kedua proses ini bisa berlangsung secara bersamaan atau dipisahkan oleh interval waktu (Frimmel, 2002).

Klasifikasi jenis endapan hidrotermal didasarkan pada cara pembentukannya, kedalaman tempat terbentuknya, serta perbedaan temperatur yang mempengaruhi proses tersebut. Menurut Sumardi (2009) jenis endapan hidrotermal dibagi menjadi tiga kategori utama yaitu:

1. Endapan hipotermal

Endapan hipotermal memiliki ciri-ciri sebagai berikut:

- a. Tekanan dan temperatur pembentukannya relatif tinggi yaitu 500°C-600°C dan pada kedalaman > 3,6 km.
- b. Endapan berupa urat-urat atau dike yang berasosiasi dengan intrusi mempunyai kedalaman yang besar
- c. *Wall rock alteration* dicirikan oleh proses replacement yang kuat
- d. Asosiasi mineralnya berupa sulfida, misalnya pirit, kalkopirit, dan galena
- e. Pada intrusi granit sering berupa endapan mineral logam emas, timbal, dan seng.

2. Endapan mesotermal

Endapan mesotermal memiliki ciri-ciri sebagai berikut:

- a. Tekanan dan temperatur yang berpengaruh lebih rendah dari endapan hipotermal yaitu 200°C-500°C pada kedalaman 2-3,6 km.
- b. Endapannya berasosiasi dengan batuan beku asam sampai intermediet dan dekat dengan permukaan bumi.
- c. Tekstur akibat *cavity filling* jelas terlihat, sekalipun sering mengalami proses *replacement*, antara lain banding.
- d. Asosiasi mineralnya berupa sulfida, misalnya emas, tembaga, perak, dan seng oksida.
- e. Proses pengayaan (*supergeneenrichment*) sering terjadi.

3. Endapan epitermal

Endapan epitermal memiliki ciri-ciri sebagai berikut:

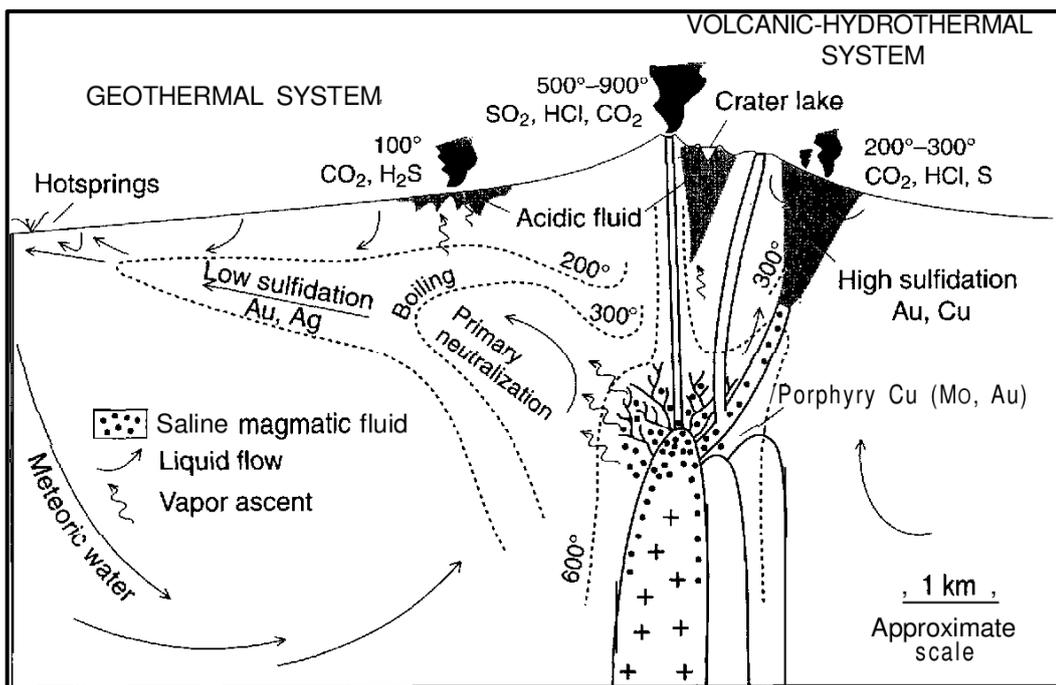
- a. Tekanan dan temperatur yang berpengaruh paling rendah yaitu 50°C-200°C pada kedalaman < 2 km.
- b. Tekstur *replacement* tidak khas, jarang terjadi
- c. Endapan bisa dekat atau pada permukaan bumi

- d. Kebanyakan teksturnya berlapis (*banded*) atau berupa *fissure-vein*
- e. Struktur khas sering berupa struktur pembungkusan (*cockade structure*)
- f. Asosiasi mineral logamnya berupa Au dan Ag dengan mineral gangue berupa kalsit, zeolit, dan kuarsa.

Terdapat berbagai jenis emas bergantung pada cara terbentuknya. Mayoritas endapan emas di Indonesia berasal dari proses epitermal. Eksplorasi emas di Indonesia masih terbatas karena tekniknya yang kompleks, seperti pemetaan geologi, parit uji, dan analisis geokimia tanah atau endapan sungai, yang bertujuan untuk memahami geologi setempat, mengidentifikasi penyebaran, dan menafsirkan model pembentukan emas di wilayah tersebut (Wulandari dkk, 2015). Secara geologis, endapan epitermal relatif mudah ditemukan karena secara genetik, endapan ini memiliki kadar tinggi dan keberadaannya sudah umum diketahui. Karena alasan genetik dan ekonomis, endapan epitermal ini penting, meskipun cadangannya masih tergabung dengan cadangan berkadar tinggi yang sudah ada (Tun et al., 2014). Endapan epitermal logam dasar dan mulia memiliki berbagai jenis, yang mencerminkan perbedaan dalam kondisi tektonik, jenis batuan beku, dan posisi strukturnya saat terbentuk. Pembentukan endapan ini melibatkan banyak proses. Sebagian besar endapan epitermal terbentuk di lapisan dangkal kerak bumi, di mana perubahan mendadak dalam kondisi fisik dan kimia menghasilkan endapan logam yang seringkali disertai dengan alterasi hidrotermal (Tun et al., 2014).

Endapan epitermal muncul pada kedalaman yang dangkal dalam sistem hidrotermal yang beroperasi pada suhu tinggi, biasanya terjadi di dalam busur vulkanik. Endapan ini merupakan sumber dari berbagai logam dasar dan logam berharga (Simmons dkk., 2005). Informasi dari penelitian inklusi fluida menunjukkan bahwa endapan epitermal terbentuk dalam rentang suhu antara $<150^{\circ}\text{C}$ hingga 300°C , mulai dari permukaan hingga kedalaman 1-2 km. Sistem endapan epitermal dibagi menjadi dua jenis, yaitu epitermal sulfida tinggi (high sulphidation) dan epitermal sulfida rendah (low sulphidation). Kedua tipe ini dibedakan berdasarkan sifat kimia fluida serta alterasi dan mineraloginya. Sistem epitermal sulfida rendah ditandai oleh larutan hidrotermal yang netral dan mengisi celah-celah batuan. Mineral yang berasosiasi dengan sistem ini adalah kuarsa, karbonat, dan serisit (White dan Hedenquist, 1995).

Berikut dibawah ini Gambar 1 yang menjelaskan skema pembentukan endapan emas epitermal (White dan Hedenquist, 1995):



Gambar 1 Skema pembentukan endapan epitermal sulfidasi tinggi dan epitermal sulfidasi rendah (White dan Hedenquist, 1995)

Sistem epitermal sulfida tinggi terbentuk melalui reaksi antara batuan induk dengan magma asam, dengan fluida yang bergerak secara vertikal. Pergerakan fluida ini dipengaruhi oleh adanya zona sesar atau rekahan, yang memungkinkan fluida mengalir cepat dan bercampur dengan air meteorik, menghasilkan larutan dengan kondisi asam (Arribas, 1995). Berikut tabel yang menjelaskan perbedaan sistem epitermal sulfida tinggi dan sulfida rendah (White dan Hedenquist, 1995):

Tabel 2 Perbedaan Epitermal Sulfida Tinggi dan Epitermal Sulfida Rendah (White dan Hedenquist, 1995)

Kriteria	Low Sulphidation	High Sulphidation
Mineral Logam	Au + Ag, Pb, Zn, Cu, As, Hg,	Au + Cu, As, Te
Ekonomis	Sb	
Mineral Asosiasi	Kandungan Pirit rendah, Galena, Sfalerit, dan Kalkopirit	Kandungan Pirit tinggi

Alterasi	Illit – Argilik – Propilitik, urat di dominasi oleh kuarsa + karbonat	Kuarsa residual (<i>vuggy</i>) – Alunit – mineral Kaolinit – mineral Illit - Propilitik
Bentuk Endapan	Urat dominan, <i>stockwork</i> umum hadir, sedikit diseminasi atau penggantian	Urat <i>subordinate</i> , diseminasi dominan, penggantian umum hadir, <i>stockwork</i> sedikit.
Mineral <i>Gangue</i>	Kuarsa, Kalsedon, Kalsit, Illit	Kuarsa, Kaolinit, Pirofilit, Diaspor, Alunit, Barit
Tekstur	Kuarsa <i>crustiform</i> dan urat Kalsedon	Kuarsa <i>vuggy</i> , setempat terdapat urat dan breksi

Daerah yang menunjukkan kesamaan dalam penyebaran himpunan mineral hasil alterasi disebut zona alterasi. Zona alterasi hidrotermal dapat dibagi menjadi beberapa zona, antara lain (Purwanto dan Verdiansyah, 2013):

1. Argilik, merupakan zona yang ditandai oleh pembentukan mineral lempung seperti kaolinit, mormorilonit, dan illit. Zona ini terbentuk pada suhu relatif rendah, di bawah 200°C, dengan pH antara 4 dan 5.
2. Argilik Lanjut (*Advance Argilic*) adalah zona alterasi yang terbentuk dalam lingkungan fluida yang bersifat asam, dengan pH kurang dari 4. Mineral yang secara khas ditemukan adalah silika dan kelompok mineral alunit.
3. Potasik adalah zona alterasi yang terletak dekat dengan intrusi, dengan suhu fluida hidrotermal melebihi 300°C dan tingkat salinitas yang tinggi.
4. Skarn adalah zona yang terletak di sekitar titik kontak antara intrusi larutan hidrotermal dan batuan kapur. Zona ini terbentuk pada suhu berkisar antara 300°C hingga 700°C. Mineral-mineral yang khas ditemukan di dalamnya meliputi garnet, magnesit, wollastonit, scapolite, epidot, amfibol, dan kalsit.
5. Filik adalah zona alterasi yang dicirikan oleh keberadaan mineral hasil alterasi seperti serisit, kuarsa, pirit, dan anhidrit. Zona ini terbentuk pada pH yang mirip dengan Zona Argilik, tetapi dengan sedikit kenaikan suhu, berkisar antara 200°C hingga 250°C. Biasanya zona ini terbentuk di daerah yang permeabel dan dekat dengan jalur urat.
6. Propilitik adalah zona alterasi yang terbentuk dalam rentang pH netral hingga alkali, dengan suhu kurang dari 200°C. Mineral-mineral khas yang

terdapat di dalamnya meliputi epidot dan klorit. Selain itu, mineral-mineral lain yang sering ditemukan adalah kuarsa, adularia, serisit, dan anhidrit.

2.3 Bijih Emas Oksida

Bijih emas oksida merupakan salah satu jenis bijih emas yang terbentuk melalui proses oksidasi alami dari mineral sulfida yang mengandung emas. Proses ini biasanya terjadi di permukaan atau dekat permukaan bumi, di mana kondisi lingkungan memungkinkan terjadinya oksidasi dan pelapukan mineral sulfida menjadi mineral oksida. Mineralogi bijih emas oksida sering kali melibatkan mineral oksida seperti goethite, hematite, dan limonite, yang merupakan hasil oksidasi dari mineral sulfida seperti pirit. Bijih ini biasanya lebih mudah diolah karena emas tidak terperangkap dalam struktur sulfida yang kompleks (Adams, 2016).

Bijih emas oksida pada umumnya terdapat pada daerah yang dekat permukaan dan telah mengalami proses oksidasi yang lama. Beberapa mineral yang mencirikan keterdapatannya bijih emas oksida yang diketahui melalui analisis petrografi dan XRD diantaranya; kuarsa, *mica group* (muskovit, biotit, *lepidolite*, dan *phlogopite*), talk, kaolinit-*serpentine group*, dolomit, plagioklas, alunite, jarosite, *rutile group*, *goethite*, hematit, *natroalunite*, dan magnetit. Beberapa metode yang dapat digunakan dalam proses ekstraksi terkhusus bijih emas oksida dari mineral pembawa emas diantaranya; *gravity concentration* dan *heap leaching* (sianida, *ammoniacal thiosulfate*, *tiourea*, *iodide/iodine*) (Baghalha, 2012; Mohammadi et al., 2017; Oraby et al., 2020; Rapele dkk., 2022; Xinhai Mining, 2023; Roostaei et al., 2023).

Dalam konteks pengolahan bijih emas, bijih oksida seringkali dianggap lebih menguntungkan dibandingkan bijih sulfida. Hal ini disebabkan oleh kemudahan ekstraksi emas dari bijih oksida, di mana emas lebih tersedia untuk diekstraksi melalui metode pelindian sianida. Proses pelindian emas dari bijih oksida lebih efisien karena tidak adanya penghalang sulfida yang menghalangi akses larutan sianida ke emas. Di samping itu, mereka menekankan pentingnya kontrol pH dan konsentrasi oksigen dalam larutan pelindian untuk memastikan tingkat ekstraksi emas yang optimal (Marsden dan House, 2006).

Proses pengolahan bijih emas oksida biasanya dilakukan melalui metode heap leaching, di mana bijih yang telah dihancurkan ditumpuk dan kemudian disiram dengan larutan sianida. Emas yang terlarut dalam larutan tersebut kemudian diambil menggunakan karbon aktif atau metode adsorpsi lainnya. Metode ini tidak hanya lebih sederhana tetapi juga lebih murah dibandingkan dengan pengolahan bijih sulfida, sehingga menjadi pilihan utama dalam industri pengolahan emas (Adams, 2016).

Bijih emas oksida umumnya memiliki kandungan mineral yang lebih mudah untuk diproses dibandingkan dengan bijih sulfida karena tidak adanya sulfida yang harus dioksidasi sebelum leaching. Oleh karena itu, proses sianidasi sering lebih efektif dalam mengekstraksi emas dari bijih ini. Selain itu, bijih oksida biasanya memiliki kandungan karbonat yang dapat berinteraksi dengan larutan sianida, sehingga proses pengolahan memerlukan pengendalian yang hati-hati untuk menghindari pemborosan reagen (Oraby et al., 2020). Penggunaan thiosulfat amoniak pada bijih oksida dari tambang Sarigunay di Iran menghasilkan tingkat perolehan emas yang signifikan. Hasil ini menunjukkan bahwa proses pelindihan ini dipengaruhi oleh berbagai parameter, seperti pH, konsentrasi thiosulfat, konsentrasi amoniak, dan suhu leaching (Mohammadi et al., 2017).

Selain itu, metode flotasi kolom juga dapat digunakan dalam pengolahan bijih emas oksida, terutama ketika bijih tersebut memiliki komponen mineral gangue yang signifikan. Menjelaskan bahwa flotasi kolom menawarkan keuntungan dalam hal peningkatan pemulihan emas dan kualitas konsentrat, meskipun penerapan spesifik pada bijih emas oksida memerlukan modifikasi dan penyesuaian teknis tergantung pada karakteristik bijih (Finch dan Dobby, 1990).

Teknologi pengolahan mineral terus berkembang, dan metode-metode yang lebih efisien terus dikembangkan untuk menangani bijih dengan kompleksitas mineralogi yang tinggi, termasuk bijih emas oksida. Mereka menunjukkan bahwa inovasi dalam pengolahan mineral, seperti peningkatan teknik flotasi dan metode pelindihan, sangat penting untuk memaksimalkan pemulihan logam berharga dari bijih yang lebih sulit diolah (Wills dan Finch, 2016).

2.4 Pengolahan Bijih Emas.

Bijih emas umumnya diklasifikasikan oleh ahli metalurgi terdiri dalam dua kategori utama, yaitu (Zhou dkk, 2004):

1. *Free-Milling*

Free-milling adalah jenis bijih yang memiliki kadar emas yang tinggi, biasanya lebih dari 90%, dan bisa diproses menggunakan metode konvensional seperti penggunaan larutan sianida.

2. *Refractory Ore*

Refractory Ore adalah bijih yang memiliki kadar emas yang sulit diekstraksi dan membutuhkan penggunaan reagen tertentu untuk mengekstraksi emas, yang mengakibatkan proses pengolahan yang rumit.

Secara umum tahapan pengolahan bijih emas adalah sebagai berikut (Dorey dkk, 1986):

1. *Ore Preparation*

Ore Preparation merupakan langkah pertama dalam proses, di mana dilakukan pembebasan partikel emas, penyesuaian ukuran partikel bijih untuk tahap berikutnya, konsentrasi partikel bijih secara fisik, dan proses pengolahan melalui oksidasi bijih.

2. *Gold Extraction*

Pada tahap *gold extraction*, dilakukan proses untuk mengambil emas dari bijihnya dan mengubahnya menjadi larutan yang terkonsentrasi..

3. *Gold Purification*

Pada langkah ini, dilakukan penyaringan atau peningkatan konsentrasi larutan emas dari konsentratnya.

4. *Gold Production*

Pada tahapan *gold, production* dilakukan proses *recovery* emas dari larutan konsentratnya untuk memproduksi batangan emas (*bullion bar*).

2.5 Recovery pada Bijih Emas.

Berikut adalah beberapa jenis teknologi pengolahan emas tanpa merkuri yang lebih efisien dan mampu memberikan hasil *recovery* emas yang jauh lebih tinggi (Insiani dan Nugroho, 2020):

1. Teknologi Pengolahan Emas untuk Jenis Endapan Emas Primer

a. Teknologi Pelindian (*Leaching*) Sianidasi

Salah satu metode pengolahan emas tanpa menggunakan merkuri adalah melalui proses sianidasi yang umumnya dilakukan oleh penambang emas skala kecil. Proses ini melibatkan langkah-langkah seperti penghancuran bijih emas dan penghalusan hingga mencapai ukuran 200 *mesh* dengan menggunakan ball mill. Setelah itu, bijih yang telah dihomogenkan direaksikan dengan larutan sianida dalam sebuah tangki selama 48 jam dengan penambahan udara dan pengadukan, sambil menjaga pH lingkungan antara 10,5 hingga 11 dengan menggunakan kapur. Langkah selanjutnya adalah proses adsorpsi dengan menambahkan karbon aktif. Emas yang tertarik pada karbon tersebut kemudian dipisahkan melalui proses pembakaran. Abu hasil pembakaran kemudian dicampur dengan boraks dan dilebur pada suhu 1000 hingga 1200°C.

b. Teknologi Pelindian (*Leaching*) Thiourea

Salah satu cara pengolahan emas tanpa menggunakan merkuri adalah melalui proses leaching tiourea. Tahap awalnya adalah menghancurkan bijih menggunakan Jaw Crusher dan menghaluskannya hingga mencapai ukuran 200 *mesh* menggunakan Ball mill untuk mencapai homogenitas. Kemudian bijih tersebut akan melalui proses leaching dengan menggunakan tiourea. Tiourea digunakan sebagai opsi pengganti sianida, terutama untuk batuan primer dan yang memiliki kandungan sulfida rendah. Salah satu keunggulan tiourea adalah bahwa bahan ini relatif tidak beracun dan dianggap aman bagi lingkungan.

Cara kerja reaktor tiourea melibatkan sirkulasi lumpur bersama larutan tiourea di dalam reaktor, dengan penambahan larutan H_2SO_4 dan $FeSO_4$. Jika hanya menggunakan tiourea sebagai pelarut, itu tidak akan cukup untuk melarutkan emas. Demikian pula, penggunaan H_2SO_4 sendiri hanya akan berhasil melarutkan emas dalam jumlah terbatas. Oleh karena itu, proses pelarutan emas bisa berhasil dengan penambahan campuran tiourea dan H_2SO_4 (Potgieter dkk, 2004). Kemudian dilakukan pemisahan filtrat dengan proses adsorpsi. Adsorban yang digunakan dalam industri

pertambangan emas adalah karbon aktif resin. Kemudian emas yang terserap di karbon aktif dilakukan proses pembakaran dan selanjutnya dilebur dengan temperature 1.000 – 1.200°C dengan penambahan reagent berupa boraks ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$).

c. Teknologi Pelindian (*Leaching*) Thiosulfat

Ada dua jenis garam tiosulfat yang tersedia secara komersial, yakni natrium tiosulfat (hypo) dan amonium tiosulfat. Kedua senyawa tersebut mampu melarutkan emas dan perak, namun dengan tingkat kelarutan yang bervariasi. Amonium tiosulfat merupakan bagian dari tiosulfat yang memiliki tingkat kelarutan emas paling cepat (Wahyudi dan Zaki, 2016). Bijih dipecah dengan menggunakan *jaw crusher* kemudian dihaluskan sampai 200 *mesh* dengan *ball mill* sampai homogen. Bijih akan dilakukan proses leaching dengan menggunakan tiosulfat.

Penggunaan tiosulfat sebagai reagen untuk *leaching* emas memiliki beberapa keunggulan. Salah satunya adalah tingkat toksisitas yang sangat rendah, memungkinkan proses leaching bijih dengan berbagai jenis termasuk yang kompleks dan pregrobbing. Selain itu, proses ini memberikan tingkat pemulihan yang tinggi serta kinetika yang lebih cepat dibandingkan dengan proses sianidasi (Marsden dan House, 2006). Menurut Alymore dan Muir (2001), ekstraksi emas dari bijih tipe sulfida dalam larutan tiosulfat dapat mencapai 90% dalam waktu 1 jam. Sementara itu, untuk proses sianidasi, dibutuhkan minimal 24 jam untuk mencapai 50% ekstraksi emas dari bijih yang sama.

d. Flotasi

Flotasi adalah metode pemisahan zat dari zat lainnya dalam sebuah cairan atau larutan berdasarkan perbedaan sifat permukaan antara zat yang ingin dipisahkan. Zat yang memiliki sifat hidrofilik akan tetap berada dalam fase air, sementara zat yang bersifat hidrofobik akan menempel pada gelembung udara dan naik ke permukaan larutan, membentuk buih yang dapat dipisahkan dari cairan. Secara umum, proses flotasi melibatkan tiga fase, yaitu fase cair (sebagai media), fase padat (partikel yang terlarut

dalam cairan), dan fase gas (gelembung udara). Variabel-variabel yang memengaruhi proses flotasi:

- a) Ukuran partikel
- b) Kekentalan lumpur (persen padatan)
- c) Gelembung udara
- d) Permukaan partikel
- e) pH *pulp* dan karakteristik air
- f) Reagen flotasi
- g) Kecepatan putaran pengadukan dan laju pengaliran udara

2. Teknologi Pengolahan Emas untuk Bijih Emas Aluvial

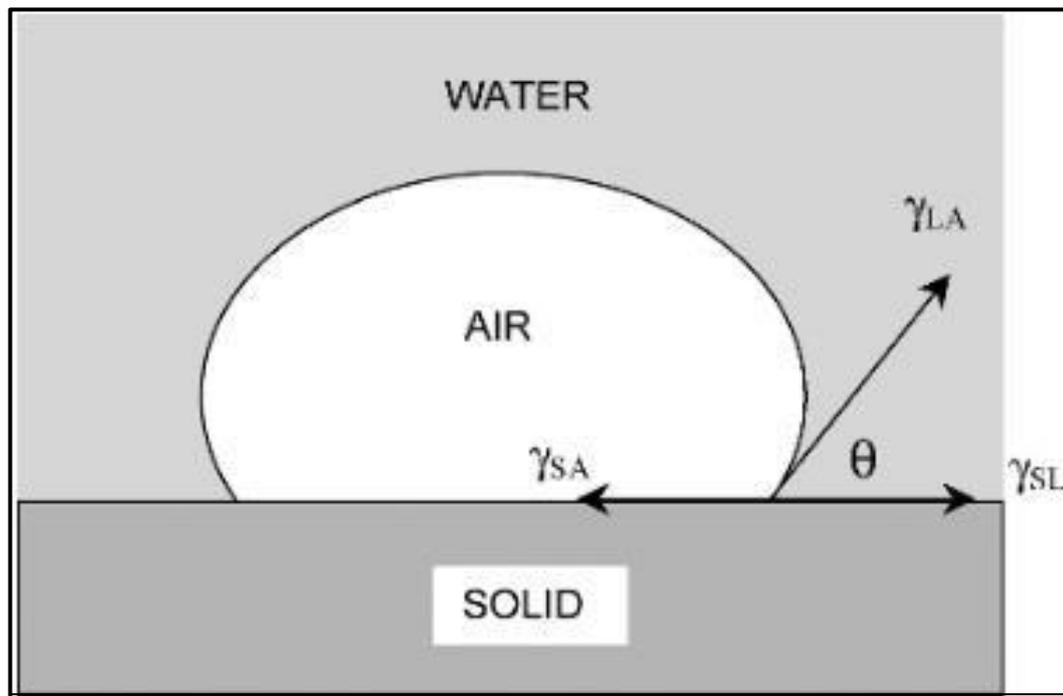
a. Konsentrasi Gravitasi

Konsentrasi gravitasi adalah metode pengolahan emas yang memanfaatkan perbedaan berat jenis antara emas dan mineral-mineral pengotornya. Proses ini biasanya dilakukan dalam air, di mana emas dengan berat jenis tinggi akan terkonsentrasi di bagian bawah, sementara mineral-mineral pengotor yang berat jenisnya lebih ringan akan berada di bagian atas. Pengolahan emas dengan teknik ini sering tidak memerlukan bahan kimia tambahan dan cocok untuk bijih dengan partikel emas berukuran lebih dari 100 μm . Metode konsentrasi gravitasi umumnya melibatkan penggunaan shaking table, sluice box, dan dulang.

2.6 Metode Flotasi

Flotasi merupakan proses pemisahan mineral dari mineral pengotor dengan memanfaatkan perbedaan dalam sifat hidrofobik antara mineral berharga dan mineral pengotor. Perbedaan ini dapat diperbesar dengan penambahan surfaktan. Pemisahan mineral secara selektif melalui flotasi mempermudah ekstraksi mineral logam yang kompleks. Proses ini umumnya diterapkan pada pemisahan bijih sulfida, karbonat, dan oksida untuk proses pemurnian lebih lanjut (Desiasni dkk, 2019). Flotasi tergantung pada perbedaan dalam sifat permukaan antara mineral berharga yang cenderung hidrofobik dan mineral pengotor yang cenderung hidrofilik. Ketika fase padat, cair, dan gas berada dalam kontak, terjadi

kesetimbangan antara tegangan antarmuka padat-udara, padat-cair, dan cair-udara, γ_{SA} , γ_{SL} , dan γ_{LA} seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2 (Subandrio dkk, 2022).



Gambar 2 Sudut kontak pada fasa padat cair dan udara (Kelly, 1982)

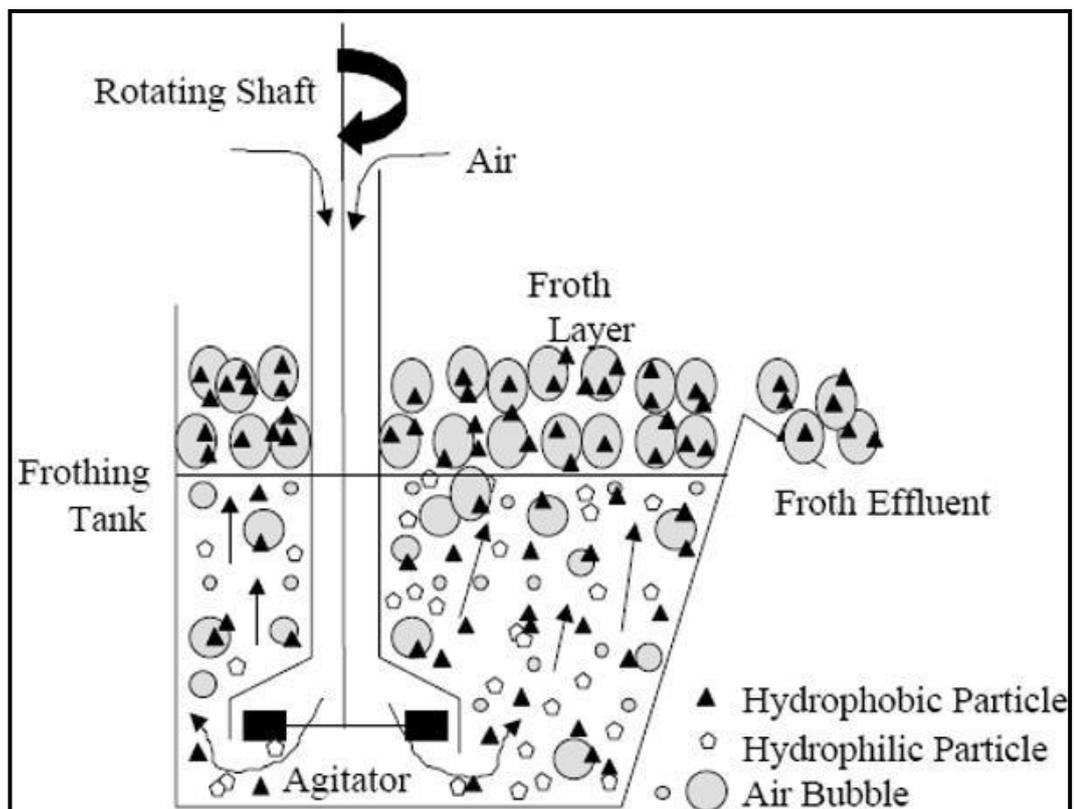
Menurut sifat permukaannya, mineral dapat dibedakan menjadi dua golongan, yaitu (Gaudin, 1939):

1. Hidrofilik merupakan mineral yang permukaannya mempunyai lapisan polar, sehingga sukar dibasahi air, tetapi mudah melekat pada gelembung udara.
2. Hidrofobik merupakan mineral yang permukaannya mempunyai lapisan non-polar, sehingga mudah untuk dibasahi air, tetapi sukar untuk melekat pada gelembung udara.

Pada proses flotasi yang menjadi media pemisahan adalah air dan gelembung udara. Proses pengapungan mineral berharga dilakukan dengan menggunakan gelembung udara. Pemisahan terjadi ketika mineral berharga yang bersifat hidrofobik menempel pada gelembung dan mengapung ke permukaan air. Sedangkan mineral pengotor (*gangue*) yang bersifat hidrofilik tidak menempel dan tetap di dalam fasa air. Flotasi tidak diragukan lagi sebagai teknik pengolahan mineral yang sangat penting. Banyak peneliti yang telah mendefinisikan arti flotasi. Salah satunya adalah A.M. Gaudin yang mendefinisikan flotasi sebagai proses pengonsentrasian berdasarkan pelekatan partikel ke udara didalam *pulp* dan bersamaan terjadi pelekatan dari partikel lain ke air. Selain itu, flotasi dapat

didefinisikan sebagai proses konsentrasi untuk memisahkan butiran-butiran mineral yang sangat halus dengan memanfaatkan perbedaan sifat fisika-kimia dari permukaan butiran mineral-mineral tersebut. Pemisahan tersebut dapat terjadi karena permukaan mineral tertentu menempel pada gelembung udara yang ditambahkan sehingga mengapung, sedangkan mineral yang lain tetap tinggal dalam cairan *pulp* seperti terlihat pada Gambar 3 (Gaudin, 1939).

Partikel yang mempunyai sifat *hydrophilic* akan tetap terlarut dalam larutan. Perbedaan dalam kepadatan antara gelembung udara dan air akan menyebabkan partikel yang bersifat *hydrophobic* akan terangkat ke permukaan, memungkinkan untuk dipisahkan. Flotasi gelembung sering digunakan untuk memisahkan partikel yang memiliki kepadatan dan ukuran yang hampir sama. Proses flotasi ini juga berguna untuk memisahkan partikel yang sangat kecil, kurang dari 150 *mesh*, yang terlalu kecil untuk dipisahkan dengan metode gravitasi seperti jigging atau tabling. Partikel dengan ukuran terkecil yang dapat dipisahkan menggunakan proses flotasi adalah 400 *mesh* (Zakiyuddin, 2009).



Gambar 3 Prinsip flotasi (Gupta, 2003)

Umpan yang akan diolah berupa *pulp* atau lumpur dimasukkan ke dalam tangki atau sel flotasi. Tangki dilengkapi dengan agitator atau pengaduk yang

terintegrasi dengan pipa untuk menginjeksikan udara, sehingga timbul gelembung udara di dalam *pulp*. Mineral yang bersifat hidrofobik akan menempel pada gelembung udara kemudian terangkat menuju permukaan menjadi buih sedangkan mineral hidrofilik tetap tinggal di dalam *pulp* (Gupta, 2003).

Beberapa jenis partikel yang tercampur dapat dipisahkan salah satu jenisnya dari campurannya atau bila memungkinkan dan dapat terpisah keseluruhan jenis sehingga dapat terkonsentrasi dari tiap-tiap jenis. Pemisahan dari partikel-partikel dalam flotasi ini ditunjukkan oleh penentuan kontak antara tiga fasa yaitu fasa partikel padat yang akan diapungkan, larutan aqua elektrolit dan gas (biasanya dipakai udara) hampir semua zat anorganik dapat dibasahi oleh fasa aqua. Oleh karena itu, langkah pertama dalam flotasi adalah menggantikan sebagian dari antar fasa padat-cair menjadi antara fasa padat-gas. Sebagian hasilnya didapat bahwa permukaan partikel akan menjadi hidrofobik (Gupta, 2003).

Kelebihan dari proses pengapungan (flotasi) adalah pada umumnya cukup efektif pada bijih dengan ukuran yang cukup kasar (*28 mesh*) yang berarti bahwa biaya penggilingan bijih dapat diminimalkan. *Froth flotation* sering digunakan mengkonsentrasi emas bersama-sama dengan logam lain seperti tembaga, timah dan seng. Partikel emas dari batuan oksida biasanya tidak merespon dengan baik namun efektif terutama bila dikaitkan dengan emas sulfide seperti pyrite, metode flotasi mampu memecahkan bijih yang tidak dapat diolah dengan menggunakan metode pengolahan mineral konvensional (Gupta, 2003).

Kekurangan dari metode flotasi ini adalah tingginya biaya investasi infrastruktur, biaya produksi juga lebih tinggi. Perkiraan bahwa hukum segregasi investasi dalam infrastruktur adalah sekitar dua kali pabrik flotasi dari kapasitas yang sama, biaya produksi akan menjadi 2 sampai 3 kali lebih tinggi. Segregasi dalam pengobatan bijih tembaga oksida tahan api, tembaga kelas dalam bijih harus lebih besar dari 2% untuk mendapatkan hasil yang lebih baik ekonomi (Gupta, 2003).

Sekarang ini proses flotasi mulai banyak digunakan dan dikembangkan oleh perusahaan yang bergerak dibidang pertambangan. Hal ini dikarenakan banyak mineral berharga yang ingin diperoleh tetapi kandungannya hanya sedikit dari bijih yang diperoleh. Dengan dilakukan proses flotasi, maka akan diperoleh peningkatan

yang lebih tinggi dari kandungan mineral yang ingin kita dapatkan (Bulatovic, 2007).

Proses flotasi yang dilakukan dapat dibedakan menjadi dua, yaitu *directional flotation* dan *reverse flotation*. *Directional flotation* yaitu proses flotasi dimana mineral berharga akan terangkat ke atas membentuk buih yang mengapung di permukaan *pulp*. Sedangkan *reverse flotation* adalah proses flotasi dimana partikel mineral yang diapungkan merupakan mineral pengotor (*gangue*) (Bulatovic, 2007).

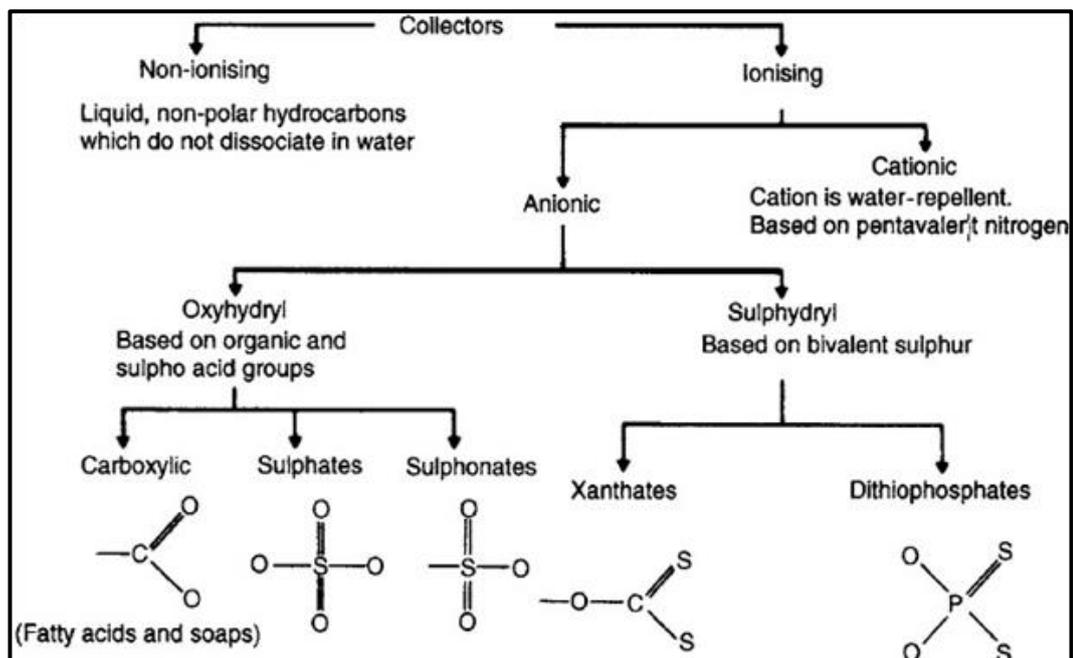
Secara sederhana urutan kerja dari flotasi buih adalah sebagai berikut. Biji yang akan di flotasi dihancurkan atau digerus sampai sesuai ukuran yang diinginkan, lalu dicampur dengan air sampai diperoleh *pulp* dengan ukuran yang sesuai. Setelah *pulp* siap, maka ditambahkan reagen-reagen yang akan digunakan. *Collector* ditambahkan sesuai ukuran yang dipakai sambil diaduk agar merata. Lalu ditambahkan frother sesuai ukuran sambil diaduk juga. Setelah itu dilakukan penyesuaian pH dengan menambahkan pH regulator. Setelah semua reagen tercampur, maka dilakukan proses flotasi dalam mesin flotasi. Setelah selesai, maka akan diperoleh buih dan endapan yang nantinya akan di siapkan untuk di uji (Bulatovic, 2007).

Pada proses flotasi, reagen kimia digunakan untuk menciptakan suatu kondisi agar proses flotasi berlangsung dengan baik. Setiap reagen kimia yang ditambahkan mempunyai fungsi yang spesifik. Ada tiga kelompok utama reagen kimia yang biasa digunakan dalam proses flotasi yaitu kolektor, *frother* (pembuih), dan *modifier*.

2.5.1. Kolektor

Kolektor merupakan substansi yang selektif melapisi mineral-mineral tertentu dan membuatnya menjadi penolak air (hidrofobik) 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 (Wills dan Munn, 2006). Kolektor utama yang digunakan dalam flotasi bijih nikel adalah xanthate dan pada tingkat lebih rendah, *dithiophosphate* dan *mercaptans* (Bulatovic, 2007). Kolektor

dapat diklasifikasikan seperti pada Gambar 4. Kolektor dapat dibagi dalam 2 grup besar, yaitu kolektor anionik dan kolektor kationik.



Gambar 4 Klasifikasi kolektor (Wills dan Munn, 2006)

Kolektor anionik dapat dibedakan berdasarkan struktur formulanya menjadi *oxyhydril collector* dan *sulphydryl collector*. Kolektor anionik ditentukan oleh adanya adanya ion dari hidrokarbon grup dimana ion yang efektif adalah anion. Kolektor anionik merupakan kolektor yang paling banyak digunakan dalam flotasi mineral. Kolektor anionik dapat dibagi menjadi dua jenis, *oxyhydril collector* dan *sulphydryl collector*. Kolektor kation adalah kolektor dimana ion yang efektif adalah kation. Sifat menolak airnya dihasilkan dari kation yang grup polarnya berdasarkan pentavalen nitrogen, biasanya digunakan senyawa amina. Anion yang digunakan berupa halida atau hidroksida yang tidak beraksi secara aktif dengan mineral.

Pada *oxyhydril collector*, *organic acid* dan asam sulfo (*sulpho-acid*) sebagai grup polar. Dimana *acid hydrogen* (equivalent metal) dihubungkan dengan rantai hidrokarbon oleh satu atom oksigen. Contoh dari *oxyhydril* adalah *carboxylates* (*fatty acid*), *sulphate* dan *sulphonate*. *Carboxylates* adalah *oxyhydril collector* yang luas digunakan di industri. Anggota dari *carboxylates* antara lain *oleic acid*, *sodium oleate*, *synthetic fatty acids*, dan *tall oils*. *Oleic acid* [$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$] adalah contoh dari unsaturated fatty acids yang mana lebih

penting dibandingkan saturated fatty acids (seperti stearic dan palmitic acid) karena lebih selektif (Bulatovic, 2007).

Jenis kolektor anionik yang lain adalah *sulphydryl collector*. *Sulphydryl collector* merupakan jenis yang paling banyak digunakan. Polar grupnya berisi *bivalent sulphur (thio compound)* dan *acid hydrogen* (atau *equivalent metal*) dihubungkan melalui atom belerang (bivalent). Jenis ini sangat kuat dan sangat selektif dalam flotasi mineral- mineral sulfida. Kolektor thiol yang paling banyak digunakan adalah *xanthogenates* atau secara teknis disebut dengan *xanthates* dan *dithiophosphates*. *Xanthates* merupakan kolektor yang penting untuk mineral sulfida (Wills dan Munn, 2006).

Kolektor kationik memiliki karakteristik dimana penolakan air dilakukan oleh kelompok polar yang didasarkan pada pentavalen nitrogen, amina. Anion dari kolektor tersebut biasanya halida, atau lebih jarang hidroksida, yang tidak mengambil bagian dalam reaksi dengan mineral. Kolektor kationik sangat sensitif terhadap pH medium. Kolektor jenis ini digunakan untuk pengapungan oksida, karbonat, silikat, dan logam alkali tanah seperti barit, karnalit dan silit.

2.5.2. *Frother*

Frother ditambahkan untuk menstabilkan pembentukan gelembung dalam fase *pulp* dan untuk meningkatkan kinetika flotasi. Pentingnya fase buih untuk kinerja flotasi menjadi faktor yang mempengaruhi stabilitas buih yang secara ekstensif diteliti (Wills dan Munn, 2006).

Pada flotasi mineral sulfida reagen pembuih yang biasa digunakan adalah jenis organik yang heteropolar yang umum diterapkan pada flotasi mineral-mineral lainnya, dimana sebagai gugus polar umumnya adalah hidroksil (OH⁻). Pilihan frother dalam flotasi bijih nikel juga tergantung pada sifat bijih serta pada mineral *gangue* yang ada.

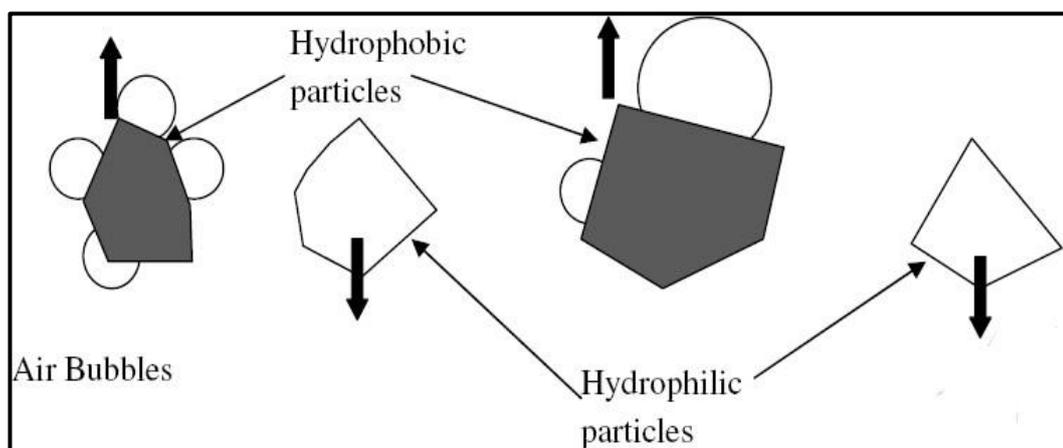
Secara umum, tipe alkohol *frother*, seperti *methyl-isopropyl carbonol* (MIBC) telah digunakan secara komersial. Sedangkan alkohol siklik (minyak pinus) dalam campuran dengan frother tipe glikol memberikan hasil metalurgi yang baik. *Frother* tipe glikol biasanya digunakan dalam kasus di mana ada masalah buih yang disebabkan oleh viskositas *pulp* yang tinggi (Bulatovic, 2007).

2.5.3. *Modifier/Regulator*

Modifier/Regulator digunakan secara luas pada proses flotasi untuk memodifikasi kolektor, baik dengan mengintensifkan atau mengurangi penolak airnya yang memiliki pengaruh terhadap permukaan mineral. Dengan demikian modifier/Regulator dapat menjadikan kolektor lebih selektif terhadap mineral tertentu. Regulator dapat digolongkan sebagai aktivator, depresan, atau pengubah pH (Wills dan Munn, 2006).

Dalam proses flotasi yang mengandung bijih tembaga-nikelsulfida, mineral serpentin secara signifikan mengurangi kinerja flotasi tembaga-nikel sulfida. Studi yang dilakukan pada flotasi Yanbian *copper-nickel ore* menggunakan dispersant berupa natrium phitat sangat efektif untuk mengontrol MgO dalam pengapungan bijih tembaga-nikel. Studi menunjukkan *grade* dan *recovery* dari 6,86% Ni dan 69,01% menjadi 8,03% Ni dan 71,44% sedangkan MgO mengalami penurunan dari 9,07% menjadi 5,78% (Zhao dkk., 2020).

Bagian yang terpenting dalam proses flotasi adalah penggunaan reagen. Efisiensi proses flotasi sangat bergantung pada jenis-jenis reagen yang digunakan, yang bervariasi tergantung pada jenis mineral yang diinginkan untuk dipisahkan. Penggunaan reagen flotasi ini menciptakan skema termodinamika flotasi di mana interaksi antara gelembung udara, partikel hidrofobik, dan partikel hidrofilik diperlihatkan seperti dalam Gambar 5. Dalam skema ini, lampiran selektif gelembung udara terhadap partikel hidrofobik dan daya apung dari gelembung membawa partikel-partikel tersebut ke permukaan, meninggalkan partikel hidrofilik di belakang (Permana, 2011).



Gambar 5 Selektif Gelembung Udara untuk Partikel Hidrofobik (Permana, 2011)