



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGARUH KONSENTRASI *LIXIVIAN*T DAN WAKTU
PELINDIAN BIJIH MALASIT DENGAN AMMONIUM
BIKARBONAT**

SKRIPSI

ACHMAD TAUFIQ SHIDQI

0806331374

**FAKULTAS TEKNIK
DEPARTEMEN TEKNIK METALURGI DAN MATERIAL
DEPOK
JULI 2012**



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGARUH KONSENTRASI *LIXIVIAN*T DAN WAKTU
PELINDIAN BIJIH MALASIT DENGAN AMMONIUM
BIKARBONAT**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

**ACHMAD TAUFIQ SHIDQI
0806331374**

**FAKULTAS TEKNIK
DEPARTEMEN TEKNIK METALURGI DAN MATERIAL
DEPOK
JULI 2012**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Skripsi ini adalah hasil karya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : Achmad Taufiq Shidqi

NPM : 0806331374

Tanda Tangan : 

Tanggal : 8 Juli 2012

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Achmad Taufiq Shidqi
NPM : 0806331374
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material
Judul Skripsi : Pengaruh Konsentrasi Lixiviant dan Waktu
Pelindian Bijih Malasit dengan Ammonium
Bikarbonat

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Metalurgi dan Material Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Johny Wahyuadi M. Soedarsono, DEA



Penguji : Dr. Ir. Sutopo MSc



Penguji : Dr. Rianti Dewi Sulamet-Ariobimo, S.T., M.Eng



Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 8 Juli 2012

KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirabbilamin, penulis mengucapkan syukur kepada Allah SWT karena berkat restu, nikmat dan ridhoNya, penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan berbagai macam hambatan yang ada. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka untuk memenuhi salah satu syarat untuk menggapai gelar Sarjana Teknik (S.T) jurusan Metalurgi dan Material di Departemen Teknik Metalurgi dan Material Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

Penulis menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan hingga penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi penulis untuk menyelesaikan masa perkuliahan dan skripsi ini. Oleh karena itu saya mengucapkan terima kasih kepada:

1. Orang tuaku Muflich Rafiuddin dan Uyun Yunani, orang tua terhebat nomor satu yang selalu memberikan motivasi terbaik kepada Penulis. Tak lupa pula untuk Kakak dan Adik Penulis. Penulis persembahkan skripsi ini untuk mereka.
2. Prof Johny Wahyuadi DEA, selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu dan pikiran untuk mengarahkan Penulis dalam penyusunan skripsi ini.
3. Badrul Munir, Ph.D, selaku Pembimbing Akademis Penulis selama menempuh studi di Teknik Metalurgi dan Material.
4. Teman-Teman Sarjana Tumbuk, Noval, Mbong, Pak Uwo, Doni, Gana, Erwin, David, Jennifer, Frendy, Andre Yosi dan Andreas yang telah membantu penulis.
5. Teman-Teman Teknik Metalurgi 2008 lainnya yang terlalu hebat, sulit untuk diungkapkan dengan kata pengantar yang sedikit ini. *See you at the top!*
6. Ferdian yang telah membantu Penulis dalam pengujian EDAX hingga larut malam.
7. Ibu Nita LPT UIN Syarif Hidayatullah yang telah membantu Penulis dalam pengujian AAS

8. Semua dosen beserta karyawan yang ada di Departemen Metalurgi dan Material FTUI, yang telah memberikan bimbingan dan support selama masa studi.
9. Pihak-pihak yang tidak dapat disebutkan satu-persatu.

Penulis menyadari bahwa, dalam penulisan skripsi ini terdapat banyak kekurangan dan kesalahan dikarenakan keterbatasan yang dimiliki penulis. Oleh karena itu, penulis menerima kritik dan saran yang dapat dijadikan perbaikan di masa depan. Semoga tulisan ini bermanfaat bagi pengembangan ilmu.

Jakarta, 8 Juli 2012

Penulis



HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Achmad Taufiq Shidqi
NPM : 0806331374
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material
Departemen : Teknik Metalurgi dan Material
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Skripsi

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul:

Pengaruh Konsentrasi *Lixiviant* dan Waktu Pelindian Bijih Malasit
dengan Ammonium Bikarbonat

berserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 8 Juli 2012

Yang menyatakan


(Achmad Taufiq Shidqi)

ABSTRAK

Nama : Achmad Taufiq Shidqi
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material
Judul : Pengaruh Konsentrasi *Lixiviant* dan Waktu Pelindian Bijih Malasit dengan Ammonium Bikarbonat

Tembaga merupakan salah satu mineral yang cukup penting dalam pertumbuhan ekonomi dan pembangunan bagi sebuah negara. Pada bijih jenis oksida yang berkisar 20% dari seluruh cadangan tembaga dunia, teknologi hidrometalurgi yang lebih ekonomis. Penggunaan alternatif *lixiviant* selain asam sulfat, misalnya ammonium bikarbonat, perlu diteliti lebih lanjut dengan parameter-parameter tertentu.

Penelitian ini menjelaskan mengenai pengaruh dari konsentrasi *lixiviant* dan waktu pelindian dengan menggunakan ammonium bikarbonat. Pada penelitian ini juga akan menganalisa mengenai pengaruh klasifikasi dengan menggunakan media air pada wadah bertingkat terhadap tren kecenderungan suatu unsur.

Hasil penelitian menunjukkan semakin tinggi konsentrasi maka akan semakin banyak pula kandungan PLS dan pengayaan yang dicapai. Sementara itu, Semakin lama waktu pelindian maka akan semakin banyak pula kandungan PLS dan pengayaan yang didapat. Kandungan PLS tertinggi dicapai pada konsentrasi 2.5 M dengan 4076 mg/L dan *recovery* sebesar 11.42 %. Pada waktu pelindian, kandungan tertinggi didapatkan pada waktu 120 menit dengan kandungan sebesar 2196 mg/L dan *recovery* sebesar 6.15%. Pengaruh klasifikasi dengan media air juga diteliti dalam percobaan ini dimana terjadi penurunan kadar pengotor dan kenaikan kadar tembaga.

Kata kunci: malasit, *pelindian*, ammonium bikarbonat, waktu *Leaching*, konsentrasi *lixiviant*

ABSTRACT

Nama : Achmad Taufiq Shidqi
Major : Metalurgi and Material Engineering
Title : Effect of Lixiviant Concentration and Leaching Time
Malachite Ore in Ammonium Bicarbonate

Copper is the one of important mineral for economic growth and the country development. Copper oxide ore which only 20% of total reserves in the world, hydrometallurgical technology is more economical process. Aside from sulfuric acid, alternative lixiviant such as ammonium bicarbonate need further investigation with specific parameters.

This study explain the effect of lixiviant concentration and leaching time using ammonium bicarbonate. This study also analys the effect of classification mineral using water with storay container toward the trend tendency of mineral.

The study shows the pregnant leach solution increased and more recovery gained with the increasing of lixiviant concentration. Also, the increasing of leaching time, pregnant leach solution and recovery increased. The highest PLS gained at 2.5 molar mass of ammonium bicarbonate with 4076 mg/L and 11.42% of recovery. The longest leaching time also gain 2196 mg/L and 6.15 % of recovery. The classification mineral show the decrease tendency of gangue and the increase tendency of copper.

Keywords: malachite, leaching, ammonium bicarbonate, leaching time, lixiviant concentration

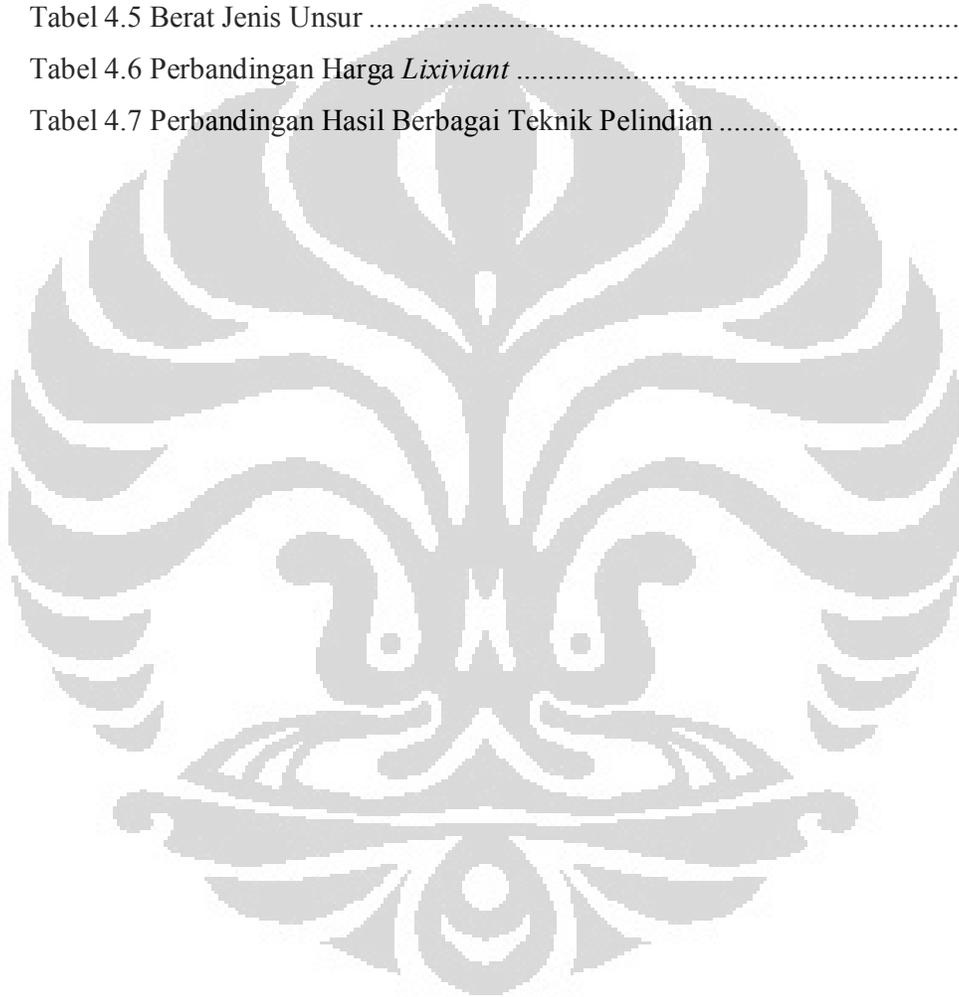
DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINILITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR GRAFIK	xiii
BAB 1 Pendahuluan	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Ruang Lingkup	3
1.4.1 Sampel Batuan Malasit	4
1.4.2 Pengujian Material	4
1.5 Sistematika Penulisan	4
BAB II Tinjauan Pustaka	6
2.1 Tembaga Secara Umum	6
2.2 Jenis Mineral Tembaga	6
2.3 Bijih Malasit	8
2.4 Pengolahan Mineral	9
2.4.1 Kominusi	9
2.4.2 Klasifikasi	11
2.4.3 Konsentrasi	12
2.5 Pengeringan	13
2.6 Hidrometalurgi Tembaga	13
2.6.1 Pendahuluan	13

2.6.2 Leaching.....	15
2.6.3 Zat Pelindian	17
2.6.4 Metode Pelindian.....	17
BAB III Metodologi Penelitian	20
3.1 Diagram Alir Penelitian.....	20
3.2 Alat dan Bahan.....	21
3.2.1 Alat	21
3.2.1 Bahan	21
3.3 Persiapan Sampel	21
3.3.1 Penghancuran dan Penggerusan.....	21
3.4 Proses Klasifikasi Air	22
3.5 Proses Pengeringan	23
3.6 Proses Pelindian	24
3.7 Pengujian EDX	25
3.8 Pengujian AAS.....	25
BAB IV Hasil dan Pembahasan	27
4.1 Data dan Karakterisasi Awal Bijih Malasit	27
4.2 Klasifikasi Air dengan Wadah Bertingkat.....	29
4.2.1 Data EDX Klasifikasi Air	29
4.2.2 Pengaruh Klasifikasi terhadap Tren Perubahan Unsur.....	31
4.3. Proses Pelindian Bijih Malasit dengan Ammonium Bikarbonat	33
4.3.1 Pengaruh Konsentrasi Lixiviant terhadap Kandungan Cu terlarut... 34	
4.3.2 Pengaruh Konsentrasi Lixiviant terhadap Pengayaan Cu.....	37
4.3.3 Pengaruh Waktu Pelindian terhadap Kandungan Cu Terlarut.....	38
4.3.4 Pengaruh Waktu Pelindian terhadap Pengayaan Cu	40
4.4 Analisa Ammonium Bikarbonat sebagai Alternatif Lixiviant.....	40
BAB V Kesimpulan	44
5.1 Kesimpulan	44
5.2 Saran.....	45
Daftar Pustaka	46
Lampiran	48

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Sifat-Sifat Penting Tembaga.....	6
Tabel 2.2 Jenis Bijih Tembaga Komersial	7
Tabel 4.1 ASTM E-11	27
Tabel 4.2 Kandungan Awal Bijih Malasit	28
Tabel 4.3 Distribusi Kandungan Unsur	31
Tabel 4.5 Berat Jenis Unsur	31
Tabel 4.6 Perbandingan Harga <i>Lixiviant</i>	42
Tabel 4.7 Perbandingan Hasil Berbagai Teknik Pelindian	42

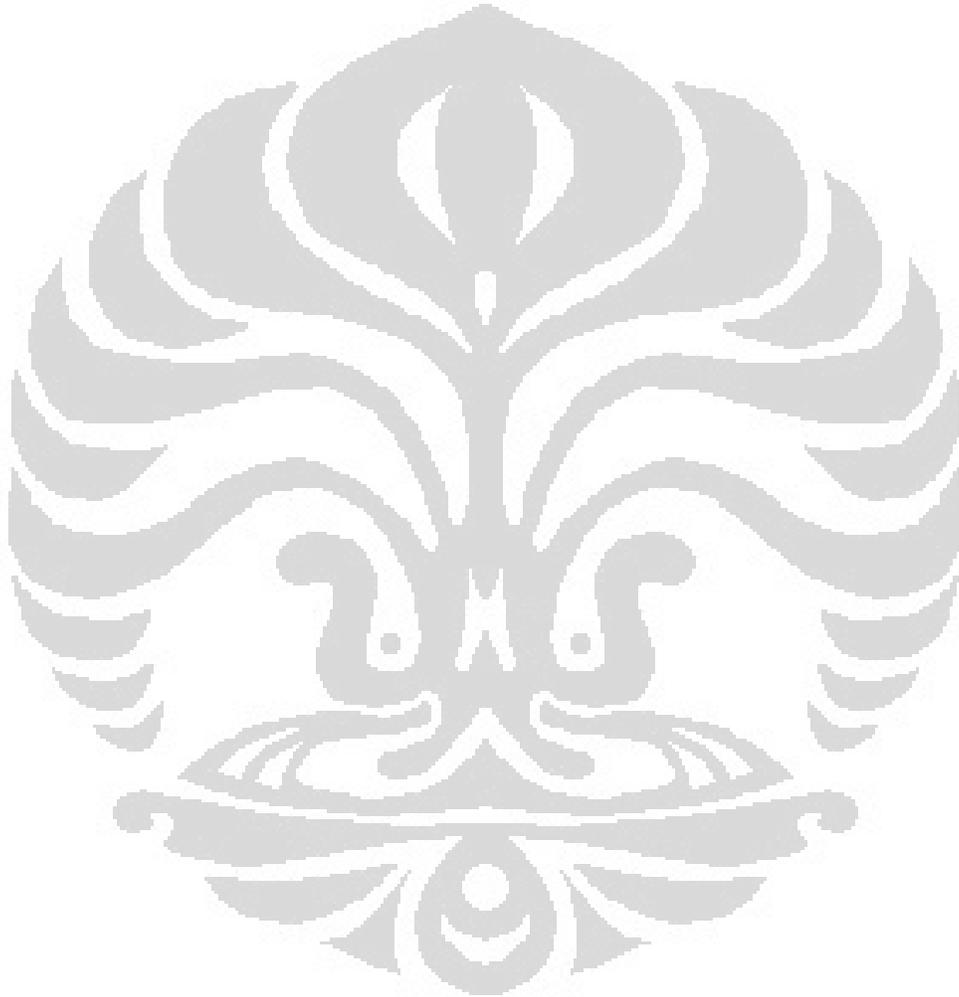


DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Konsumsi Tembaga di Dunia.....	6
Gambar 1.2 Penggunaan Tembaga di Dunia.....	6
Gambar 2.1 Dua Puluh Besar Produksi Penambangan Dunia	7
Gambar 2.2 Produksi Penambangan di Dunia	8
Gambar 2.3 Bijih Malasit/Azurit	9
Gambar 2.4 Proses Kominusi pada Tembaga	10
Gambar 2.5 <i>Gyratory Crusher</i>	10
Gambar 2.6 <i>Ball Mill</i>	11
Gambar 2.7 Proses Flotasi Bijih Tembaga Sulfida	12
Gambar 2.8 Alur Hidrometalurgi dan Pirometalurgi Tembaga	14
Gambar 2.9 Jenis-Jenis Metode Pelindian	17
Gambar 3.1 Bijih Hasil Penggerusan.....	22
Gambar 3.2 Skema Proses Klasifikasi Media Air	23
Gambar 3.3 Penggerusan Bijih yang Menggumpal.....	24
Gambar 3.4 Mesin <i>Atomic Absorbance Spectrometry</i>	26
Gambar 4.1 Proses Pelindian Bijih Malasit	33
Gambar 4.2 Proses Pengukuran pH	34
Gambar 4.3 Hasil Filtrasi Pelindian dengan Variabel Konsentrasi.....	35
Gambar 4.4 Hasil Filtrasi Pelindian dengan Variabel Waktu Pelindian	38

DAFTAR GRAFIK

Grafik 4.1 Tren Klasifikasi Media Air.....	32
Grafik 4.2 Grafik Konsentrasi <i>Lixiviant</i> vs Pengayaan dan Kandungan PLS	35
Grafik 4.3 Grafik Waktu Pelindian vs Pengayaan dan Kandungan PLS.....	39



BAB 1

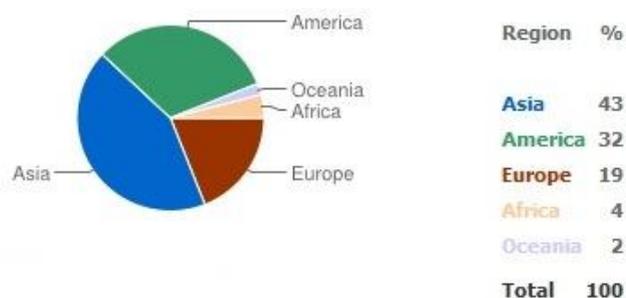
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Tembaga merupakan salah satu mineral yang cukup penting dalam pertumbuhan ekonomi dan pembangunan bagi negara berkembang maupun negara maju. Tercatat, tembaga merupakan mineral yang paling banyak dikonsumsi setelah baja dan aluminium. Permintaan dunia akan kebutuhan tembaga terus bertambah hampir 300% dalam 50 tahun terakhir^[1]. Prospek industri tembaga ke depan memang cukup cerah. Seiring membaiknya perekonomian dunia dan perkembangan teknologi, permintaan terhadap komoditas ini cenderung akan mengalami peningkatan.

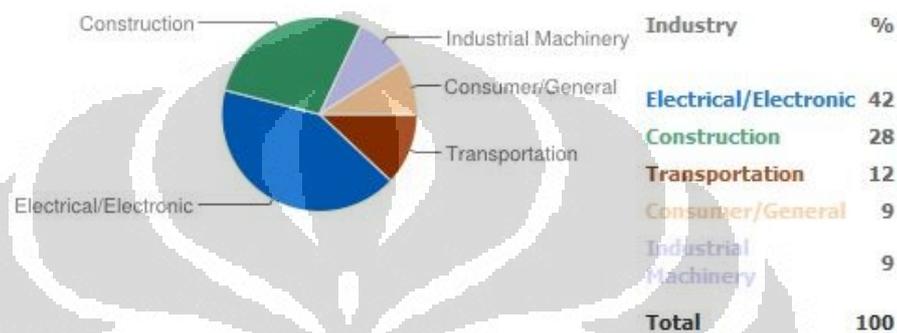
Bertambahnya permintaan akan tembaga akan terus berlanjut seiring dengan penemuan deposit baru dan perkembangan teknologi dalam dunia pertambangan. Penelitian yang dilakukan oleh *United States Geological Survey* pada tahun 1998 menyebutkan bahwa terdapat 550 juta ton cadangan tembaga yang sudah diidentifikasi dan belum dieksploitasi. Selain itu terdapat pula cadangan sejumlah 1.3 miliar ton tembaga dalam Pegunungan Andes di Amerika Selatan^[2].

Kawasan Asia merupakan pengguna tembaga paling banyak disusul oleh Kawasan Amerika, Kawasan Eropa, Kawasan Afrika dan Kawasan Oseania. China dan India merupakan negara yang cukup banyak mengkonsumsi tembaga untuk Kawasan Asia. Pertumbuhan ekonomi yang cepat dari kedua negara tersebut membuat kebutuhan konsumsi tembaga meningkat pesat.



Gambar 1.1 Konsumsi Tembaga di Dunia^[3].

Konduktivitas listrik dan panas yang cukup baik membuat tembaga lebih banyak digunakan dalam industri elektronik maupun konstruksi. Tembaga juga memegang peranan yang cukup penting dalam industri telekomunikasi dan informasi. Hampir seluruh kabel listrik maupun kabel telekomunikasi dunia masih menggunakan tembaga sebagai alternatif bahan baku yang murah.



Gambar 1.2 Penggunaan Tembaga di Dunia ^[4].

Beberapa bijih tembaga yang paling sering ditemukan dan merupakan cadangan yang penting di dunia antara lain kalkopirit (CuFeS_2), bornit (Cu_5FeS_4), kovelit (CuS) dan kalkosit (Cu_2S). Sementara itu bijih tembaga lainnya seperti malasit ($\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$), azurit ($2\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$), kuprit (Cu_2O), tenorit (CuO) merupakan bijih yang cadangannya tidak terlalu banyak namun dapat diolah lebih lanjut dan cukup ekonomis.

Sekitar 80% bijih tembaga di dunia khususnya bijih sulfida tidak mudah untuk dilarutkan dalam proses pelindian (pelindian). Proses yang banyak dijumpai pada di hampir seluruh ekstraksi tembaga umumnya menggunakan proses pirometalurgi. Namun demikian, penggunaan teknologi pirometalurgi pada bijih tembaga tidak selalu ekonomis. Pada bijih jenis oksida dan karbonat yang cadangan mineralnya tidak sebanyak bijih sulfida, teknologi hidrometalurgi lebih ekonomis^[5].

1.2 Perumusan Masalah

Bijih malasit merupakan bijih tembaga karbonat yang kelimpahannya tidak sebanyak bijih sulfida atau bijih oksida. Pengolahan mineral dan ekstraksi bijih tersebut harus diperhatikan faktor ekonomisnya agar tidak merugikan. Penggilingan dan penggerusan bijih yang diikuti proses klasifikasi dengan media air dan pelindian dengan ammonium bikarbonat merupakan salah satu metode sederhana yang perlu diteliti lebih lanjut. Metode sederhana tersebut tidak membutuhkan peralatan yang canggih dan energi yang besar namun dapat meningkatkan kadar *recovery* (pengayaan) tembaga.

Penelitian akan difokuskan pada konsentrasi *lixiviant* ammonium bikarbonat sebesar 0,5 M, 0.9 M, 1.5 M, 2 M dan 2.5 M. selain itu akan diteliti pula pengaruh waktu pelindian selama 5 menit, 30 menit, 60 menit dan 120 menit. Setelah itu, hasil pelindian akan difiltrasi dan diuji hasil pengayaan dengan menggunakan metode AAS

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan Penelitian ini antara lain

1. Mengetahui pengaruh klasifikasi dengan media air terhadap distribusi unsur dan tren suatu unsur
2. Mengetahui pengaruh konsentrasi amonium bikarbonat terhadap kandungan PLS dan pengayaan tembaga
3. Mengetahui pengaruh waktu pelindian amonium bikarbonat terhadap kandungan PLS dan pengayaan tembaga.

1.4 Ruang Lingkup

Pada penelitian ini ruang lingkup perlu dipersempit agar dapat memfokuskan penelitian yang akan dilakukan. Selain itu, diharapkan hasil pembahasan yang dihasilkan lebih mendalam dan komprehensif.

1.4.1 Sampel Batuan Malasit

Bijih tembaga yang digunakan merupakan bijih malasit yang tidak diketahui tempat pengambilan sampelnya. Penelitian difokuskan pada pengaruh konsentrasi *lixiviant* dan waktu pelindian terhadap % pengayaan maupun kandungan tembaga dalam PLS. Sebelum dilakukan proses pelindian, bijih digerus terlebih dahulu menggunakan palu dan juga cobek hingga mencapai ukuran 60 *mesh* atau setara dengan 250 mikronmeter.

1.4.2 Pengujian Material

Pengujian bijih dilakukan dengan beberapa teknik diantaranya.

1. Pengujian sampel awal hasil proses penggerusan dan pengayakan menggunakan mesin EDX
2. Pengujian hasil klasifikasi media air untuk mengetahui kecenderungan unsur yang terdistribusi dalam setiap wadah menggunakan EDX
3. Pengujian untuk mengetahui kandungan sampel dalam *lixiviant* ammonium bikarbonat menggunakan AAS
4. Pengujian untuk mengetahui kandungan tembaga dalam umpan yang digunakan menggunakan AAS dengan media pelarut aqua regia.

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika ini dibuat agar konsep penulisan tersusun secara berurutan sehingga didapatkan kerangka dan alur pemikiran yang mudah dan praktis. Sistematika tersebut digambarkan dalam bentuk bab-bab yang saling berkaitan satu sama lain. Adapun sistematika penulisan laporan ini adalah sebagai berikut :

Bab 1 : Pendahuluan

Pada bab ini dibahas mengenai latar belakang dari penelitian yang dilakukan, perumusan masalah, tujuan penelitian, ruang lingkup, dan sistematika penulisan laporan.

Bab 2 : Dasar Teori

Dalam bab ini dijelaskan tentang studi literatur yang berkaitan dengan penelitian tugas akhir ini.

Bab 3 : Metodologi Penelitian

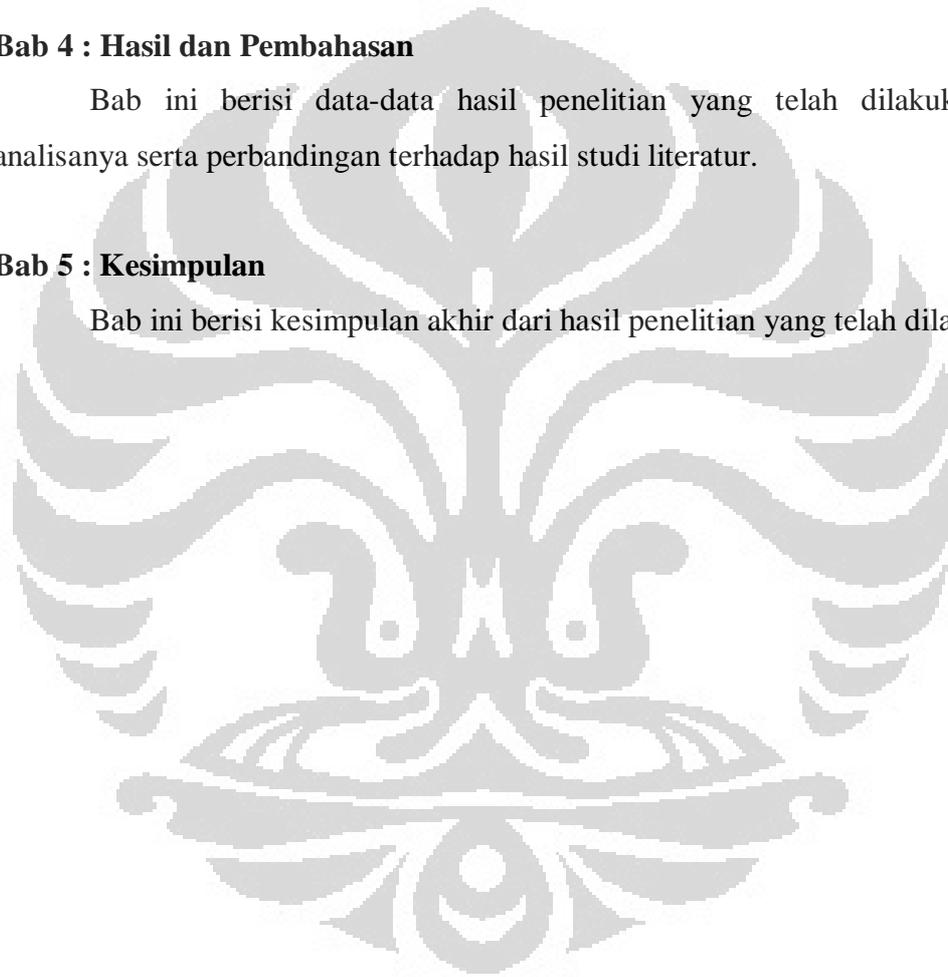
Bab ini menjelaskan langkah kerja, prosedur penelitian, prinsip pengujian, serta daftar alat dan bahan yang digunakan pada penelitian.

Bab 4 : Hasil dan Pembahasan

Bab ini berisi data-data hasil penelitian yang telah dilakukan dan analisisnya serta perbandingan terhadap hasil studi literatur.

Bab 5 : Kesimpulan

Bab ini berisi kesimpulan akhir dari hasil penelitian yang telah dilakukan.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tembaga Secara Umum

Tembaga adalah suatu unsur kimia dalam tabel periodik yang memiliki lambang Cu dan nomor atom 29. Lambangnya berasal dari bahasa Latin *Cuprum*. Tembaga merupakan konduktor panas dan listrik yang baik. Tembaga murni sifatnya halus dan lunak, dengan permukaan berwarna jingga kemerahan. Tembaga dapat dipadukan dengan timah untuk membuat perunggu. Tembaga juga dapat dipadukan dengan seng untuk membuat kuningan. Sifat –Sifat tembaga dapat dilihat pada Table 2.1.

Tabel 2.1 Sifat-Sifat Penting Tembaga ^[6].

Atomic Number	29
Atomic Weight	63.546
Atomic Diameter	2.551×10^{-10} m
Melting Point	1356 K
Boiling Point	2868 K
Density at 293 K	8.94×10^{-3} kg/m ³
Electronic Structure	$3d^{10}4s$
Valence States	2,1
Fermi Energy	7.0 eV
Fermi Surface	spherical, necks at [111]
Half Coefficient	-5.12×10^{-11} m ³ /(A.S)
Magnetic State	diamagnetic
Heat of Fusion	134 J/g
Heat of Vaporization	3630 J/g
Heat of Sublimation @ 1299 K	3730 J/g

2.2 Jenis Mineral Tembaga dan Persebarannya

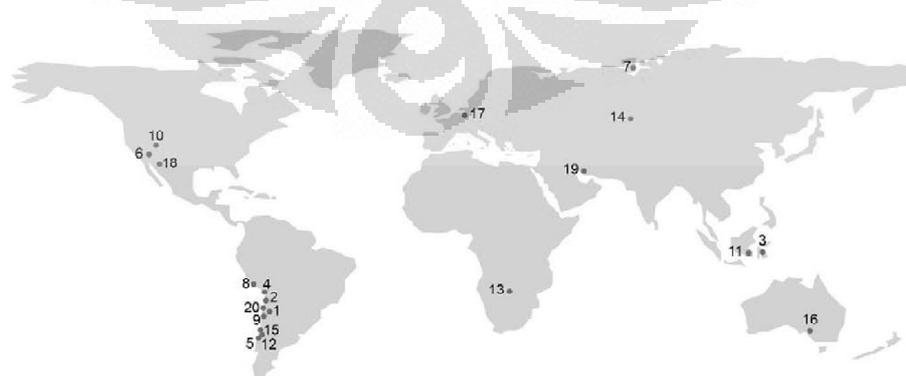
Unsur tembaga terdapat setidaknya di dalam 250 jenis batuan, namun hanya sedikit saja yang bernilai ekonomis. Jenis bijih sulfida merupakan batuan yang paling banyak ditemukan dan salah satu batuan yang bernilai ekonomis. Jenis batuan lainnya selain bijih sulfida antara lain bijih oksida dan bijih

bikarbonat. Berikut merupakan klasifikasi bijih mineral tembaga menurut Schlesinger et all [5].

Tabel 2.2 Jenis Bijih Tembaga Komersial^[5].

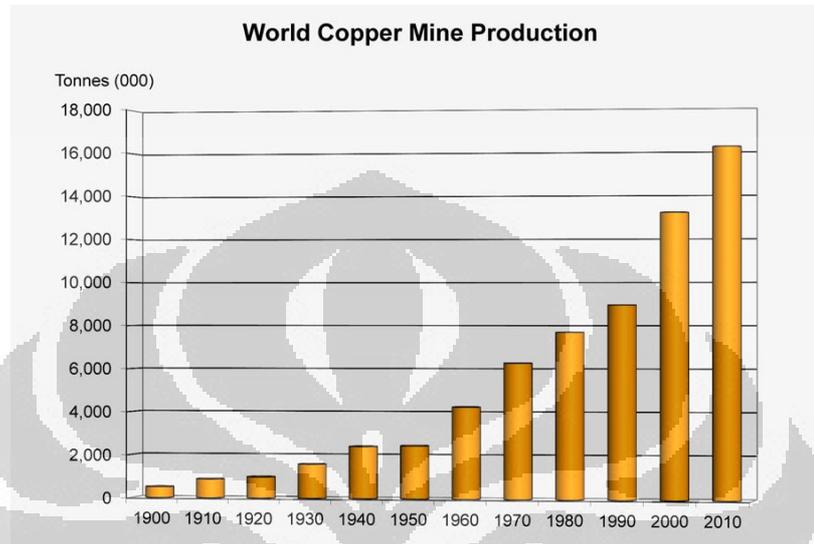
Type	Common minerals	Chemical formulas	Theoretical % Cu
Primary sulfide minerals			
Hypogene sulfides	Chalcopyrite	CuFeS ₂	34.6
	Bornite	Cu ₅ FeS ₄	63.3
Secondary minerals			
Supergene sulfides	Chalcocite	Cu ₂ S	79.9
	Covellite	CuS	66.5
	Digenite	Cu ₁₂ S	78.1
Native copper	Metal	Cu	100.0
Carbonates	Malachite	CuCO ₃ ·Cu(OH) ₂	57.5
	Azurite	(CuCO ₃) ₂ ·Cu(OH) ₂	55.3
Hydroxy-silicates	Chrysocolla	CuO·SiO ₂ ·2H ₂ O	36.2
Oxides	Cuprite	Cu ₂ O	88.8
	Tenorite	CuO	79.9
Sulfates	Anhydrite	CuSO ₄ ·2Cu(OH) ₂	53.7
	Bochamite	CuSO ₄ ·3Cu(OH) ₂	56.2

Deposit mineral tembaga didominasi oleh pegunungan bagian barat di Amerika Selatan. Hampir setengah dari cadangan tembaga dunia ada di wilayah ini. Chili merupakan negara yang memiliki cadangan tembaga dalam jumlah besar di dunia saat ini. Sementara itu, Indonesia juga memiliki cadangan mineral tembaga yang cukup melimpah. Kawasan Grasberg yang terletak di Provinsi Papua merupakan wilayah dengan deposit tembaga terbesar ketiga di dunia dan deposit emas terbesar pertama di dunia.



Gambar 2.1 Dua Puluh Besar Produksi Pertambangan Tembaga Dunia [5].

International Copper Study Group^[1] mencatat perkembangan penambangan tembaga yang cukup signifikan selama 50 tahun terakhir. Pada tahun 2010, hampir 16 ribu ton tembaga telah dikeruk dari perut bumi untuk memenuhi kebutuhan industri dunia.



Gambar 2.2 Produksi Penambangan Tembaga Dunia^[1]

2.3 Bijih Malasit

Malasit merupakan salah satu bijih sekunder tembaga yang memiliki rumus kimia $\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu(OH)}_2$. Bijih malasit memiliki kekerasan 3.5 – 4 skala mohs dan *specific gravity* 4.05^[7]. Bijih sekunder merupakan bijih yang diendapkan sebagai akibat perubahan komposisi dari bijih primer, Bijih malasit termasuk dalam batuan bikarbonat dan biasanya berwarna hijau. Terkadang bijih ini juga ditemukan bersamaan dengan azurit sehingga memiliki warna kebiruan. Di beberapa Pertambangan di Australia, Malasit seringkali berada bersama krisola, kuprit, tenorit dan kalkosit^[8]. Beberapa mineral pengotor yang umumnya terdapat dalam bijih malasit antara lain silika, tanah liat dan lainnya. Bijih sekunder ini banyak dijumpai di daratan afrika seperti di Republik Demokratik Kongo (dahulu Zaire), Namibia, Zambia dan lainnya.



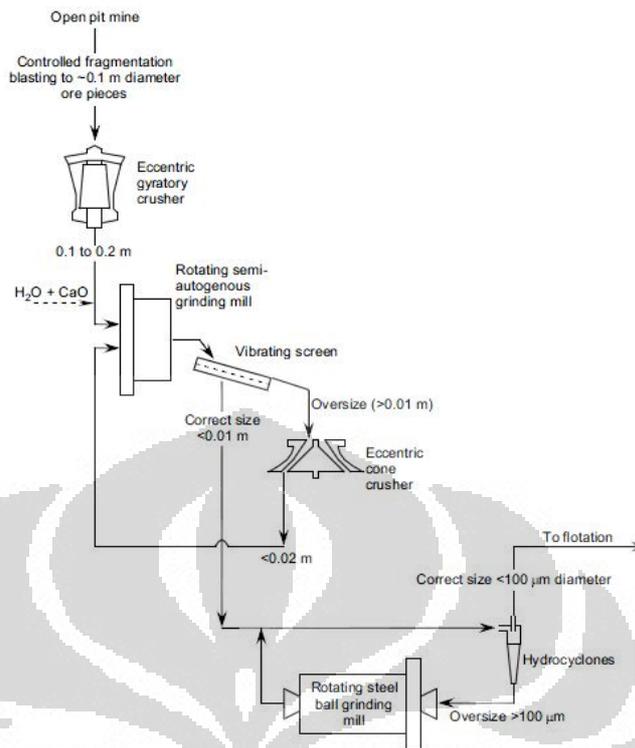
Gambar 2.3 Bijih Tembaga Malasit/Azurit

2.4 Pengolahan Mineral

Proses yang dilakukan selanjutnya setelah mineral ditambang ialah pengolahan mineral atau biasa disebut *mineral dressing*, *beneficiation* atau pengayaan bijih. Pengolahan mineral diharapkan dapat memisahkan bijih dari zat pengotor (*gangue materials*) sehingga dihasilkan konsentrat yang memiliki kadar mineral berharga yang lebih tinggi. Proses pengolahan mineral terdiri dari tiga proses utama yaitu:

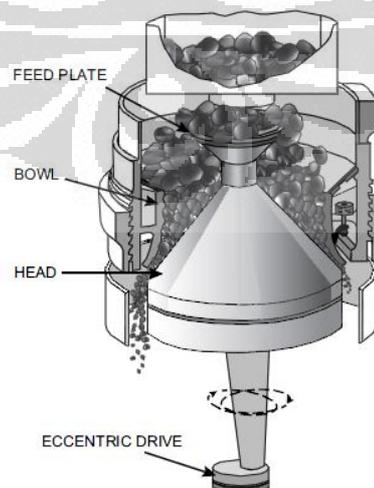
2.4.1 Kominusi (*Comminution*)

Kominusi adalah proses pembebasan mineral berharga dari pengotornya, dimana bijih akan digerus dan diperkecil ukurannya sehingga mineral berharga terpisah dari pengotornya dan mengoptimalkan proses selanjutnya^[9]. Salah satu tujuan dari kominusi ini ialah untuk meningkatkan luas permukaan dari mineral berharga sehingga proses selanjutnya berlangsung secara maksimal, contohnya proses hidrometalurgi. Kominusi bijih tembaga dibagi kedalam tiga tahapan^[5] yaitu peledakan batuan (*blasting*), penggerusan (*crushing*) dan penggilingan (*grinding*).



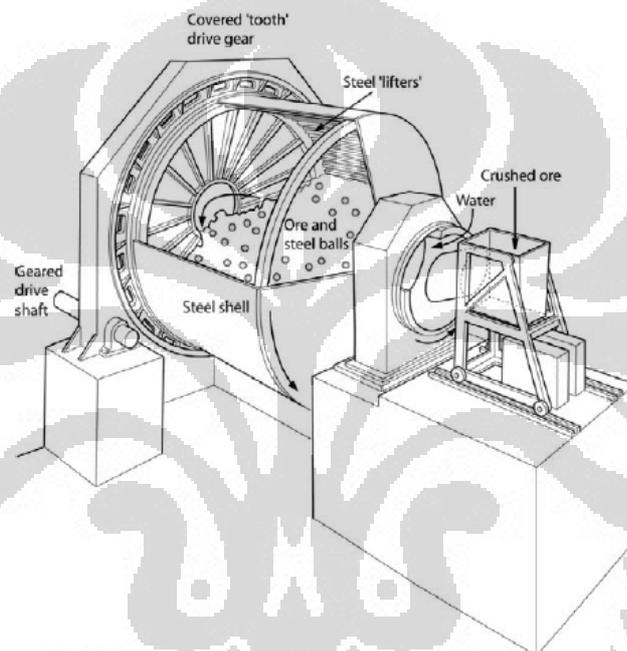
Gambar 2.4 Proses Kominusi pada Pertambangan Tembaga^[5]

Tahap pertama dari kominusi adalah peledakan atau biasa disebut *blasting*. Batuan yang terdapat mineral berharga dilubangi hingga kedalaman tertentu lalu diberi bahan peledak. Hasil batuan tersebut lalu dilakukan proses penggerusan awal (*crushing*). Beberapa mesin penggerus yang biasa digunakan dalam industri skala besar antara lain *gyratory crusher*, *cone crusher* dan lainnya.



Gambar 2.5 Gyratory Crusher^[5]

Setelah bijih melewati tahap penggerusan, bijih diproses penggilingan (*grinding*) untuk memperoleh ukuran lebih kecil lagi sehingga optimal pada proses selanjutnya. Pada pertambangan tembaga jenis sulfida, penggilingan selalu dilakukan dalam keadaan basah agar mempermudah proses flotasi. Mesin penggilingan yang biasa digunakan antara lain *semi autogenous (SAG)* atau *autogenous (AG) mill* dan juga *ball mill*. Sebuah sirkuit penggilingan biasanya terdiri dari satu buah *SAG* atau *AG mill* dan satu hingga dua buah *ball mill*.



Gambar 2.6 Ball Mill^[5]

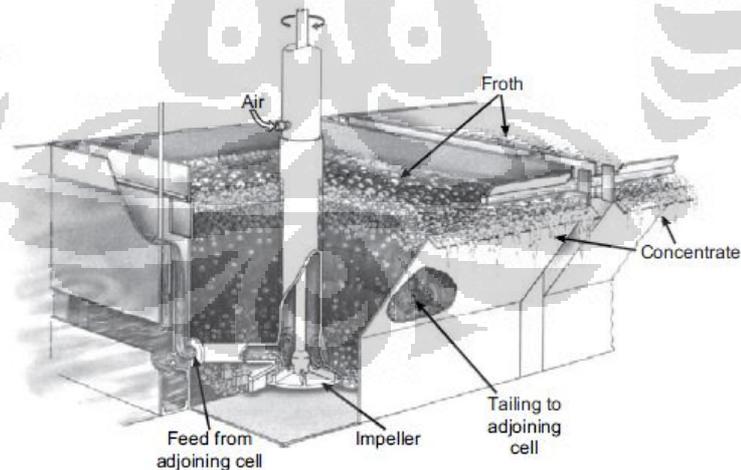
2.4.2 Klasifikasi (*Classification*)

Klasifikasi didefinisikan sebagai metode pemisahan campuran partikel mineral kedalam dua atau lebih produk. Pemisahan tersebut dapat menurut kecepatan pengendapannya dalam air, dalam udara atau dalam cairan lainnya^[10]. Klasifikasi dapat menggunakan ayakan *mesh* tertentu yang sudah diset sedemikian rupa. Bentuk pemisahan juga dapat menggunakan media air dan wadah bertingkat^[11]. Proses klasifikasi di dunia industri dapat dilakukan dengan berbagai tipe klasifikasi (*classifiers*), misalnya klasifikasi hidrolis, klasifikasi mekanik, dan *cyclones*.

Klasifikasi air dengan metode wadah bertingkat merupakan suatu teknik pemisahan yang sangat sederhana. klasifikasi bekerja berdasarkan prinsip bahwa partikel akan menunjukkan sifat berbeda satu sama lain, yaitu mengendap serta melawan aliran air secara yang bersamaan namun kedua proses tersebut berbeda karena setiap partikel tersebut memiliki berat jenis berbeda. Partikel – partikel yang memiliki ukuran dan kepadatan berat jenis lebih kecil akan terbawa oleh aliran air, dimana partikel yang lebih kasar dan berat akan mengendap dalam wadah pertama

2.4.3 Konsentrasi (*concentration*)

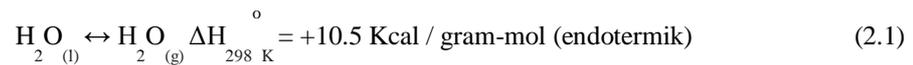
Konsentrasi merupakan proses pemisahan mineral berharga dari pengotornya. Konsentrasi bisanya dilakukan dengan menggunakan perbedaan sifat fisika atau kimia antar mineral berharga dengan pengotornya [9]. Jenis konsentrasi bermacam-macam seperti pemisahan gravitasi yang memanfaatkan perbedaan berat jenis, perbedaan sifat permukaan material, perbedaan sifat magnetik pada mineral. Teknik Konsentrasi yang paling umum digunakan dalam industri pertambangan tembaga ialah flotasi buih (*froth flotation*). Teknik tersebut sering diaplikasikan sebab bijih tembaga sulfida memiliki sifat hidrofobik maupun hidrofilik apabila ditambahkan beberapa reagen – reagen.



Gambar 2.7 Proses Flotasi Bijih Tembaga Sulfida

2.5 Pengerinan (*Drying*)

Pengerinan merupakan proses yang bertujuan untuk menghilangkan kandungan uap air (*moisture*) yang terdapat pada bijih atau konsentrat. Pengerinan dapat dilakukan pada tekanan atmosfer dengan memanaskan bijih atau konsentrat pada temperatur di atas titik penguapan air^[10].



Bila pengerinan (atau dapat disebut *roasting*) malasit dilakukan pada kisaran di atas 360 °C, maka malasit akan mengalami proses *thermal decomposition* menjadi tembaga oksida. Hasil dari dekomposisi tersebut ialah gas karbon dioksida, uap air dan juga perubahan warna dari malasit^[18]. Tembaga oksida memiliki laju disolusi yang lebih rendah daripada tembaga bikarbonat, oleh sebab itu temperatur dari pengerinan sampel perlu dijaga agar laju disolusi tidak menurun^{[19][20]}.

2.6 Hidrometalurgi Tembaga

Hidrometalurgi merupakan salah satu cabang dari ilmu ekstraksi mineral. Hidrometalurgi merupakan suatu proses mendapatkan suatu mineral dengan menggunakan suatu larutan. Pada umumnya, proses ini biasa digunakan pada mineral yang memiliki kadar rendah seperti

2.6.1 Pendahuluan

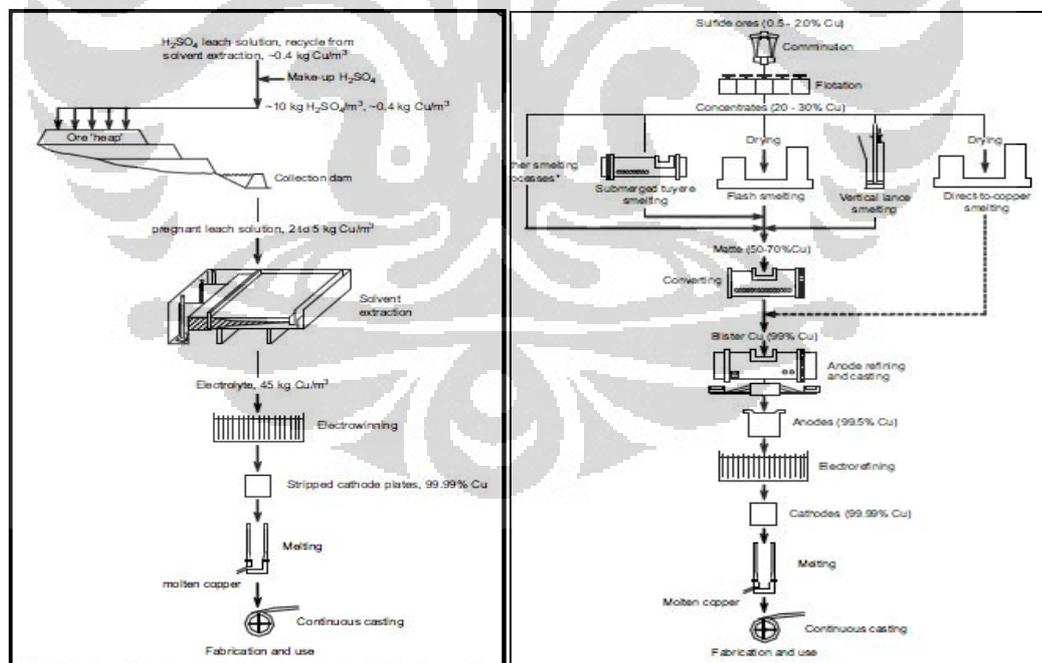
Secara umum, Bijih tembaga dapat diolah melalui dua cara yaitu melalui proses hidrometalurgi maupun proses pirometalurgi. Umumnya bijih tembaga sulfida di seluruh dunia menggunakan proses pirometalurgi. Sedangkan untuk bijih oksida dan bikarbonat lebih sering menggunakan proses hidrometalurgi. Hidrometalurgi merupakan ekstraksi bijih mineral yang terkonsentrasi pada pelindihan bijih, konsentrat dan *calcine* dalam larutan untuk melarutkan dan mendapatkan material yang berharga^[10]. Pada tahun 2010, produksi tembaga yang dihasilkan dari proses hidrometalurgi mencapai hampir 4.5 juta ton per

tahun, jumlah tersebut akan semakin bertambah seiring dengan meningkatnya pertambangan yang ingin meningkatkan nilai dari *low grade ore* nya [5].

Proses hidrometalurgi dapat dibagi ke dalam dua proses utama yaitu:

1. Mendapatkan mineral yang diinginkan dari bijih atau konsentrat dengan melarutkannya kedalam larutan. Contohnya adalah pelindian (*leaching*).
2. Mendapatkan mineral yang diinginkan dengan cara mengeluarkannya dari larutan. Contohnya adalah *solvent extracton*, *ion exchange*, *adsorption* dan *precipitation*

Pada proses hidrometalurgi bijih tembaga, proses pelindian akan diikuti oleh proses *solvent extraction* lalu diakhiri oleh proses *electrowinning* untuk menghasilkan lembaran katoda tembaga dengan kemurnian hingga 99,99% Cu [5]. Sementara pada proses pirometalurgi, bijih tembaga yang sudah berupa konsentrat akan *dismelting*, lalu *diconverting* lalu dilakukan proses *electrorefining*. Konsentrat tembaga yang akan dilakukan proses *smelting* harus memiliki kadar tembaga mendekati 30% agar proses *smelting* berjalan efektif dan efisien.



Gambar 2.8 Alur Hidrometalurgi dan Pirometalurgi Tembaga [5].

Proses ekstraksi logam menggunakan metode hidrometalurgi pada saat ini terus berkembang dan bersaing dengan proses pirometalurgi. Keuntungan dari proses hidrometalurgi adalah:

1. Logam dapat langsung diperoleh dalam bentuk murni dari larutan.
2. Pengotor silikon yang terkandung dalam *ore* tidak mempengaruhi proses pelindian.
3. Proses ini cocok untuk mengolah bijih berkadar rendah.
4. Konsumsi energi lebih kecil dibanding proses pirometalurgi

Namun demikian pengolahan bijih menggunakan metode hidrometalurgi memiliki hambatan juga seperti sulit untuk memisahkan pengotor yang tidak larut dalam larutan, proses hidrometalurgi relatif lebih lambat karena biasanya dilakukan pada temperatur ruang.

2.6.2 Pelindian

Pelindian merupakan proses pengambilan logam berharga secara selektif dari bijih dengan zat pelindian sehingga didapatkan suatu larutan kaya. pelindian juga bertujuan menaikkan kadar dari bijih. pelindian juga dapat diartikan proses melarutkan satu atau lebih mineral tertentu dari suatu bijih, konsentrat atau produk metalurgi lainnya (*calcine, matte, scrap alloys, anodic slimes, dll*) Laju proses pelindian dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya yaitu ^[12]

1. Ukuran partikel

Laju pelindian akan meningkat dengan berkurangnya ukuran dari bijih karena semakin kecil partikel maka luas permukaan per unit berat semakin besar sehingga reaksi akan semakin mudah terjadi.

Dari hasil penelitian Bingol et all ^[13], pengayaan bijih malasit dapat mencapai 99% pada ukuran partikel 45 mikronmeter. Sementara pada ukuran 841 hingga 212 mikronmeter, pengayaan hanya mampu mencapai 75 %. Penelitian ini menggunakan parameter konsentrasi ammonia 5 M $\text{NH}_4\text{OH}+0.3 \text{ M } (\text{NH}_4)_2\text{CO}$ dalam temperatur ruang selama 180 menit

2. Konsentrasi

Semakin meningkatnya konsentrasi zat pelindian maka jumlah dari mineral berharga yang larut akan semakin bertambah. Hal ini disebabkan konsentrasi yang lebih tinggi dapat mempercepat proses yang terjadi. Namun demikian, terdapat konsentrasi yang optimum pada setiap larutan pelindian dan bijih yang akan dilindi.

Oudenne et all ^[14] melakukan penelitian pelindian bijih malasit dengan *lixiviant* (pelarut) ammonium bikarbonat dengan variasi konsentrasi 0.47 M, 0.95 M, 1.89 M dan 2.84 M pada temperatur 40°C selama 0 hingga 150 menit. Hasilnya, laju proses laju disolusi meningkat seiring dengan meningkatnya konsentrasi *lixiviant*.

3. Temperatur.

Semakin meningkat temperatur pelindian, umumnya proses pelindian akan semakin cepat terjadi. Temperatur yang umum digunakan dalam proses pelindian tembaga oleh asam sulfat ialah 30°C ^[5].

Hasil penelitian Bingol et all ^[13] menyatakan bahwa pengayaan malasit optimum pada 65 C. Pada waktu 5 menit awal pengayaan malasit mencapai 73 % dan setelah 120 menit pengayaan malasit mencapai 99%

4. Waktu

Seiring dengan meningkatnya waktu pelindian, maka akan semakin banyak proses yang terjadi. Namun, waktu kontak yang berlebihan antara pelarut dengan bijih dapat menyebabkan peningkatan persentase pengotor yang ada dalam larutan.

Bingol et all ^[13] melakukan studi pengaruh waktu pelindian bijih malasit dengan *lixiviant* ammonia/ammonium bikarbonat pada temperatur 25 °C. Pada 5 menit awal, terjadi peningkatan pengayaan yang sangat signifikan yaitu mencapai 49%. Namun setelah 30 menit, peningkatan pengayaan bijih malasit menurun secara perlahan. Waktu optimum menurut penelitian tersebut ialah 120 menit

2.6.3 Zat Pelindian

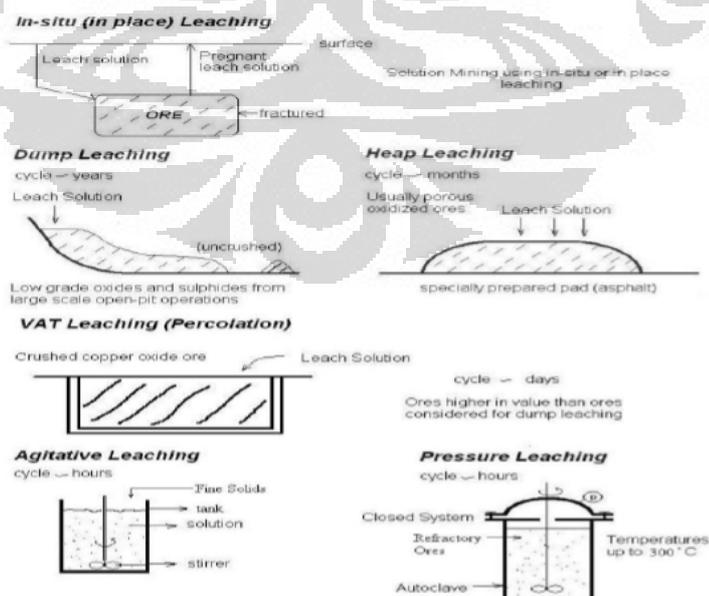
Menurut Ramachandra Rao^[15] ada beberapa hal penting yang perlu diperhatikan dalam pemilihan zat pelindian yang digunakan yaitu:

1. Sifat fisika dan kimia dari mineral yang akan dilindi.
2. Pelindian *agents* sebaiknya dapat diregenerasi agar bernilai ekonomis
3. Aksi korosi yang mungkin ditimbulkan pada konstruksi pelindian
4. Selektivitas zat pelindian pada mineral tertentu

Zat pelindian (*lixiviant*) yang sering digunakan dalam hidrometalurgi tembaga antara lain asam sulfat, ammonia, ammonia dan ammonium karbonat, ammonium klorida dan lainnya.. Meskipun hasil pengayaan ammonia/ammonium karbonat tidak sebaik menggunakan asam sulfat, *lixiviant* ini memiliki kelebihan yaitu lebih tidak korosif dan konsumsi yang lebih sedikit bila digunakan pada bijih tembaga karbonat yang mengandung kapur^[13]

2.6.4 Metode Pelindian

Kualitas bijih dan penggunaan reagen tertentu untuk melarutkan mineral merupakan faktor yang menentukan dalam pemilihan metode pelindian. Metode-metode pelindian yang ada adalah sebagai berikut:



Gambar 2.9 Jenis – Jenis Metode Pelindian^[10]

1. *Leaching in place (in situ)*

Biasa juga disebut *solution mining*, proses ini secara umum yaitu menginjeksikan zat pelindian ke dalam bijih. Teknik ini umumnya digunakan untuk bijih dengan kadar rendah dan biasa diaplikasikan pada logam emas, perak, tembaga maupun uranium ^[12]

2. *Heap Leaching*

Timbunan bijih disiram dengan asam sulfat kemudian ditinggalkan dalam jangka waktu yang lama agar bijih bereaksi dengan udara, air, dan *ferric salt*, sampai sebagian besar tembaga berubah menjadi tembaga sulfat^[16]

3. *Percolation* atau *Vat Leaching*.

Bijih yang akan dilindi ditempatkan dalam suatu tangki yang dilengkapi dengan dasar tangki buatan yang ditutup dengan saringan. Pelarut kemudian ditambahkan dari atas tangki dan mulai untuk melarutkan bijih. Biasa digunakan dalam tembaga kadar rendah dan juga mineral bikarbonat dimana kinetika pelindian berjalan dengan cepat dan waktu kontak lebih sedikit ^[5].

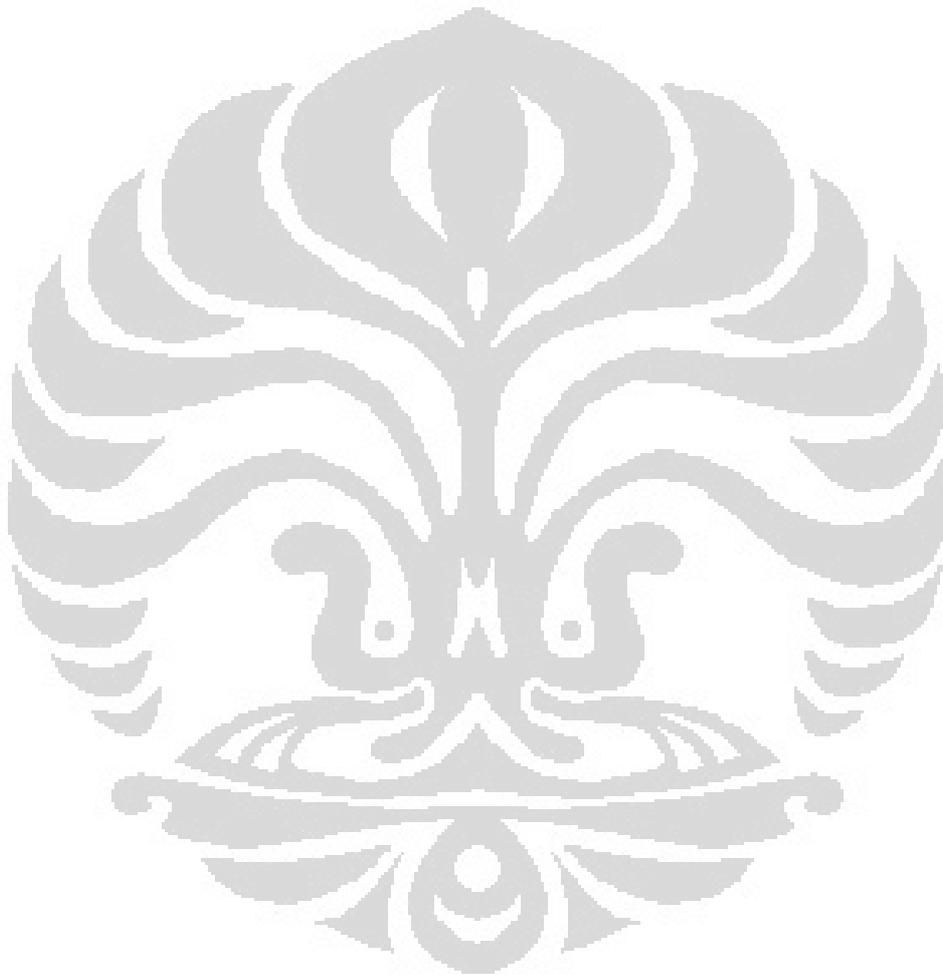
4. *Leaching* agitasi.

larutan pelindian diaduk baik secara mekanik atau dengan menggunakan tekanan udara. Umpan bijih yang akan dilindi dengan metode ini harus dihaluskan (*grinding*) terlebih dahulu. Metode ini dapat menghasilkan pengayaan hingga mendekati 100% dalam hitungan jam ^[5]. Proses pelindian dengan teknik ini cukup mahal sebab berteknologi tinggi

5. *Pressure Leaching*.

Pada metode ini proses pelindian dibantu dengan menggunakan tekanan yang berasal dari tekanan udara atau dari tekanan larutan. Untuk menghasilkan tekanan maka bijih diletakkan kedalam suatu bejana tertutup

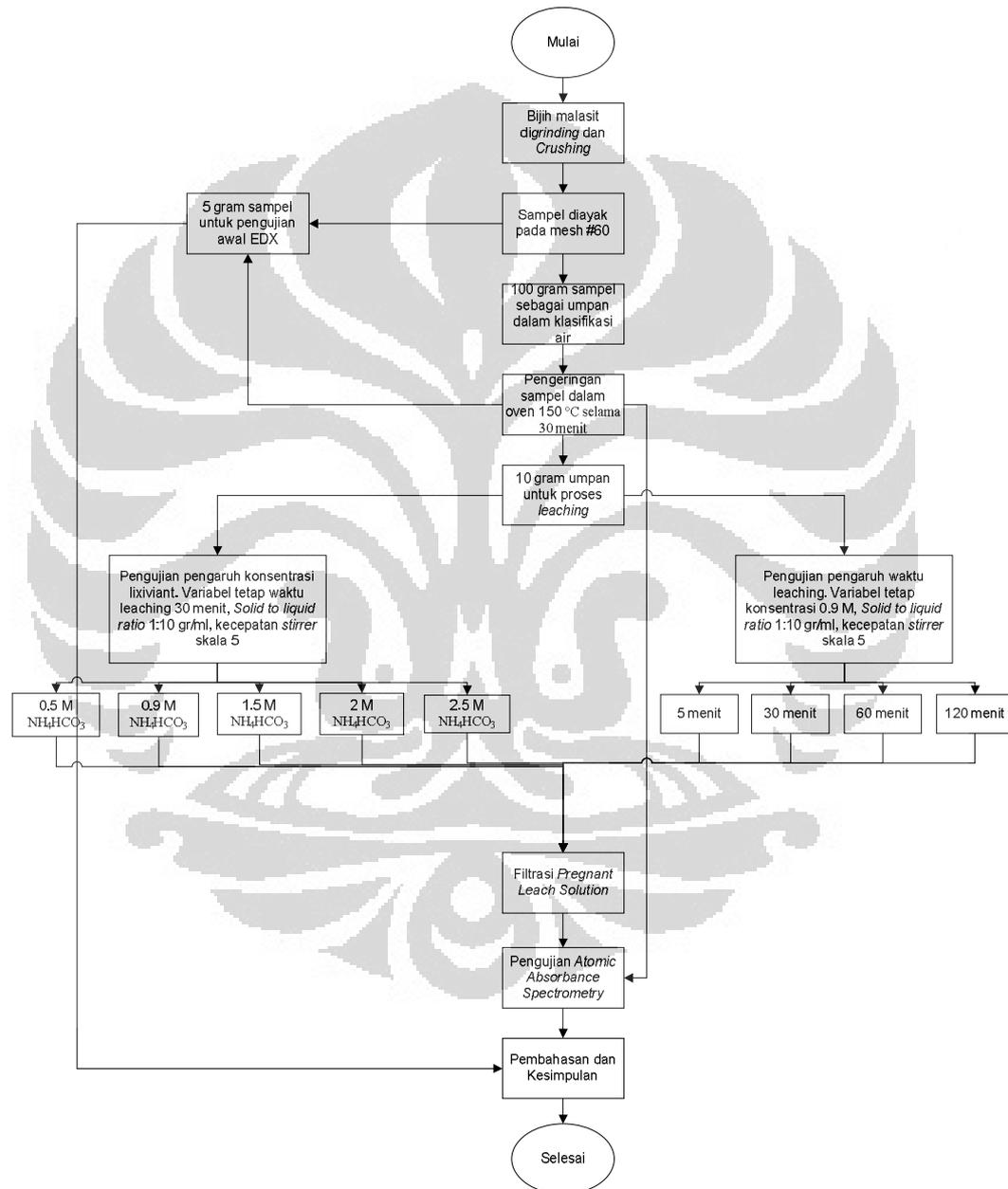
atau otoklaf. Tekanan yang digunakan bukan tekanan total melainkan tekanan parsial dari oksigen atau udara^[12]



BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Pembuatan diagram alir dalam penelitian ini dimaksudkan agar skema umum penelitian dapat dilihat secara ringkas dan menyeluruh.



3.2 Alat dan Bahan

Berbagai alat dan bahan sederhana yang digunakan dalam dimaksudkan agar penelitian ini dapat berjalan maksimal namun tetap ekonomis.

3.2.1 Alat

1. Palu
2. Mesin ayak
3. 4 wadah, seperti toples kue dan botol minuman plastik
4. Kertas saring
5. Plastik klip
6. Corong gelas
7. Magnet Pengaduk
8. Oven
9. Mesin EDX
10. Mesin AAS Parkin Elmer
11. Beaker glass 500 ml

3.2.2 Bahan

1. Biji Malasit
2. Fluida air / aquades

3.2.3 Persiapan Sampel

Tahapan yang penting sebelum memasuki tahap klasifikasi dan pelindian, persiapan sampel perlu dilakukan agar perolehan pengayaan tembaga dapat optimal. Proses persiapan sampel dimulai dari penggilingan dan penggerusan biji sampai ukuran tertentu.

3.2.4 Penghancuran dan Penggilingan

Sampel yang masih berukuran batuan besar harus dikedikan hingga ukuran tertentu dan seragam. Alat yang digunakan pada kedua proses ini adalah palu dan

tatakan besi. Awalnya palu yang ukuran besar digunakan untuk menghancurkan batuan yang berukuran besar. Kemudian ukuran yang $< 20\text{mm}$ akan dihaluskan dengan palu yang lebih kecil. Proses ini dilakukan di atas sebuah tatakan besi. Setelah itu bijih malasit diayak manual hingga mencapai *mesh* 60.



Gambar 3.1 Bijih Hasil Crushing

3.3 Proses Klasifikasi Air

Bila sampel telah melalui proses penggerusan dan mencapai ukuran tertentu, dilakukan proses klasifikasi. Proses ini pada prinsipnya ialah partikel yang melayang di dalam air memiliki gerakan naik dan turun yang relatif terhadap partikel. Partikel-partikel yang memiliki ukuran dan kepadatan lebih kecil akan terbawa oleh aliran air, dimana partikel yang lebih kasar dan berat akan mengendap ^[11]. Proses klasifikasi dilakukan menggunakan media air secara bertingkat, dalam 4 tahapan air mengalir dari beaker glass menuju ke kolom I yang berisi bijih malasit, kemudian memenuhi kolam dan menuju kolom II yang berada dibawahnya. Material ringan akan menuju kolom II seiring aliran air, bersamaan dengan pengotor yang larut dalam air. Sementara material berat tetap berada di kolom I. Hal ini terjadi terus menerus hingga kolom IV berisi material yang paling ringan serta paling bersih, dimana air yang berada di kolom IV akan terlihat lebih jernih dibanding kolom sebelumnya. Skema dari proses klasifikasi dengan media air terlihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Skema Proses Klasifikasi dengan Media Air

3.4 Proses Pengeringan

Apabila proses pemisahan dengan medium air dan wadah bertingkat telah dilakukan, kertas penyaring dидiamkan beberapa saat lalu dimasukkan ke dalam oven selama 30 menit pada temperatur 150 °C. Proses ini diharapkan dapat menghilangkan kandungan air setelah proses pemisahan sebelumnya.

Ketika proses pengeringan selesai dilakukan, sampel kembali dilakukan proses penumbukan. Hal ini dilakukan agar partikel yang menggumpal akibat proses klasifikasi dapat kembali terpisah menjadi ukuran semula seperti tampak pada Gambar 3.3. Terpisahnya gumpalan menjadi partikel diharapkan dapat meningkatkan hasil proses pelindian yang akan dilakukan.



Gambar 3.3 Penggerusan Bijih yang Menggumpal

3.5 Proses Pelindian

Bijih *lixiviant* malasit hasil klasifikasi air digunakan sebagai umpan ke dalam ammonium bikarbonat. Sebanyak 10 gr umpan akan dimasukkan kedalam ammonium bikarbonat dengan *solid to liquid* rasio sebesar 1 : 10 gr/mL. Temperatur akan dijaga pada temperatur ruang dan untuk mempercepat reaksi yang terjadi digunakan magnet pengaduk. Konsentrasi *lixiviant* dan waktu terhadap % pengayaan tembaga akan dianalisis melalui uji AAS

Pembuatan larutan *lixiviant* dibuat dengan cara memasukkan sejumlah ammonium bikarbonat serbuk kedalam aquades hingga mencapai *lixiviant* dengan molaritas tertentu. Setelah itu 10 gr umpan ditimbang dan diumpankan kedalam beaker glass 500 ml yang berisi 100ml *lixiviant*. Beaker glass yang telah diumpankan bijih malasit diletakkan di atas magnet pengaduk dengan kecepatan skala 5. *Stopwatch* digunakan untuk mengetahui waktu pelindian yang digunakan. larutan pelindian segera difiltrasi ketika waktu pelindian sudah selesai. Ada dua variabel yang diamati dalam penelitian ini. Variabel pertama ialah variabel konsentrasi dengan variabel tetap antara lain temperatur ruang, kecepatan pengaduk, dan waktu pelindian 30 menit. Variabel kedua yang diamati ialah

variabel waktu. Pada variabel ini variabel tetap antara lain konsentrasi 0.9 M, kecepatan pengaduk, dan temperatur ruang.

3.6 Proses Pengujian *Energy Dispersive X-Ray*

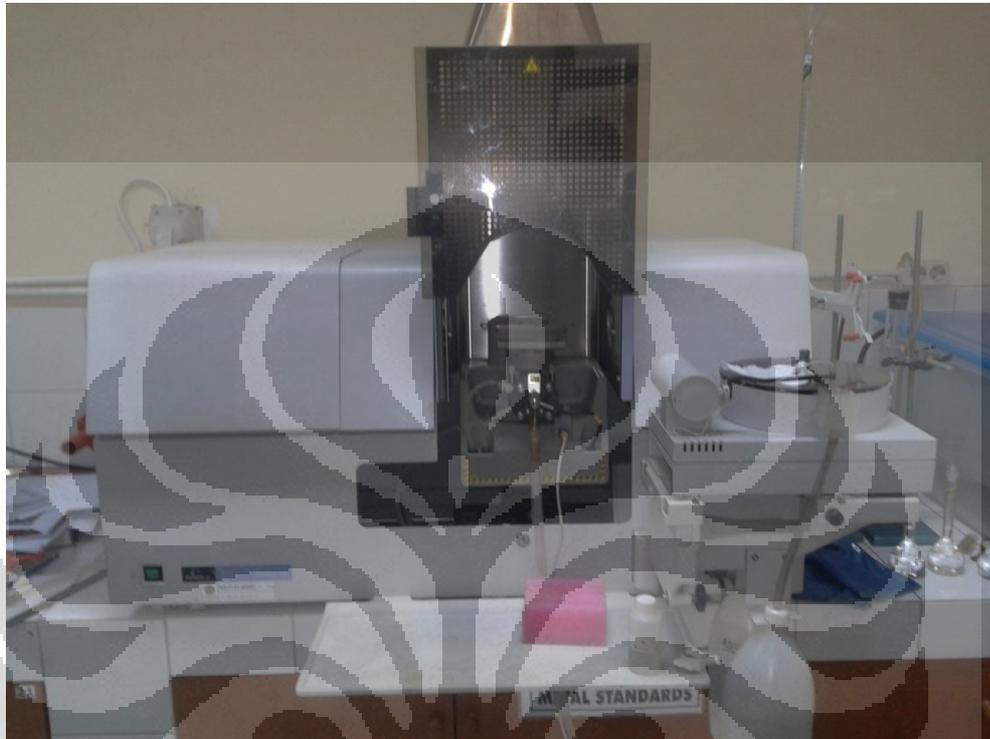
Sampel awal yang telah mengalami proses kominusi akan diuji kandungan yang terkandung di dalamnya. EDX (*Energy Dispersive X-Ray*) sebuah teknik analisis kualitatif yang digunakan untuk karakterisasi kimia elemental dari sebuah sample padatan. Prinsip dari alat ini ialah elektron ditembakkan pada permukaan sampel, yang kemudian akan memancarkan *X-Ray*. Energi tiap-tiap photon *X-Ray* yang akan ditangkap detektor EDX, kemudian secara otomatis akan menunjukkan puncak-puncak dalam distribusi energi sesuai dengan unsur yang terdeteksi^[17]. Proses pengujian EDX yang hanya scanning permukaan dan menembakkan sinar x pada beberapa titik dapat mengurangi tingkat keakurasian dari proses pengujian tersebut.

Selain sampel awal, sampel hasil klasifikasi juga diuji dengan pengujian EDX. Pada proses klasifikasi, pengujian tersebut dapat digunakan untuk melihat kecenderungan sebuah unsur dalam proses klasifikasi. Unsur yang memiliki berat jenis lebih besar diharapkan dapat tertahan dalam wadah pertama mesteki dialiri air. Sementara untuk unsur yang memiliki berat jenis lebih kecil, diharapkan dapat terbawa oleh aliran air hingga wadah terakhir. Kecenderungan dari tiap-tiap unsur yang terbawa aliran air diharapkan dapat mengurangi pengotor dan mineral lain yang tidak diharapkan dalam proses pelindian sehingga dapat meningkatkan efisiensi proses pelindian.

3.7 Proses Pengujian *Atomic Absorbance Spectrometry*

Atomic Absorbance spectrometry merupakan sebuah teknik analisa kuantatif untuk menentukan kandungan unsur dalam suatu larutan. Prinsip dari pengujian AAS ialah absorpsi cahaya oleh atom. Unsur yang terdapat dalam larutan akan dijadikan atom oleh alat atomizer. Atom-atom tersebut kemudian akan dibakar oleh burner dan kemudian akan menyerap cahaya yang berasal dari lampu katoda pada panjang gelombang tertentu. Penyerapan energi oleh atom

terjadi pada panjang gelombang tertentu sesuai dengan konsentrasi unsur dalam sebuah larutan. Lampu katoda yang digunakan dalam proses pengujian ini ialah lampu katoda tembaga. Lampu katoda ini mampu menangkap panjang gelombang Cu sepanjang 324.8 nm,



Gambar 3.4 Mesin *Atomic Absorbance Spectrometry*

Beberapa persiapan yang harus dilakukan dalam proses pengujian AAS ini antara lain pembuatan larutan standar. Pembuatan larutan standar untuk AAS dalam pengujian logam dapat dibuat dalam konsentrasi ppm atau ppb. Berdasarkan teori, semakin kecil konsentrasi yang dibuat semakin besar akurasi. Larutan standar ini dibuat dengan melarutkan logam yang akan diuji dengan air demineralisasi ataupun aquades dengan kandungan tertentu. Pada penelitian ini larutan standar yang digunakan yaitu larutan standar 5 ppm, 10 ppm, 25 ppm, 75 ppm dan 100 ppm. Setelah proses pembuatan larutan standar telah selesai dibuat *pregnant leach solution (PLS)* yang merupakan hasil penyaringan pelindian kemudian dianalisis kandungan tembaga dengan menggunakan mesin AAS. PLS tersebut sebelumnya telah di encerkan hingga 100 kali pengenceran. Output dari mesin AAS ini berupa konsentrasi unsur tembaga dalam satuan ppm (mg/l).

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data dan Karakterisasi Awal Bijih Malasit

Bijih malasit yang berwarna hijau kebiruan (biasanya juga terdapat bijih azurite) digerus menggunakan peralatan sederhana seperti palu dan wadah cobek hingga mesh #60. Proses ini bertujuan untuk meningkatkan derajat liberasi mineral sehingga dapat memisahkan suatu mineral dengan mineral ikutannya. Ukuran partikel dapat meningkatkan % pengayaan dari suatu mineral berharga. Ukuran partikel yang diayak dapat dikonversi dengan menggunakan ASTM E11 seperti pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 ASTM E11

U.S. Std (Mesh)	Micron	Model
No. 8	2360	H-4335F8
No. 10	2000	H-4335F10
No. 12	1700	H-4335F12
No. 14	1400	H-4335F14
No. 16	1180	H-4335F16
No. 20	850	H-4335F20
No. 25	710	H-4335F25
No. 30	600	H-4335F30
No. 35	500	H-4335F35
No. 40	425	H-4335F40
No. 45	355	H-4335F45
No. 50	300	H-4335F50
No. 60	250	H-4335F60
No. 70	212	H-4335F70

Pada mesh tersebut artinya partikel bijih yang lebih kecil sama dengan 250 mikron akan jatuh kebawah sementara partikel di atas 250 mikron akan tertahan pada ayakan tersebut. Setelah bijih malasit diayak menggunakan mesh #60, Sampel tersebut diuji kandungan unsur dengan menggunakan EDS/EDX. Prinsip Pengujian EDX ialah menembakkan electron pada permukaan sampel yang kemudian sampel tersebut akan memancarkan *X-Ray*. Energi tiap-tiap photon X-

Ray yang akan ditangkap detektor EDX untuk dideteksi jenis unsurnya. Berikut hasil Pengujian sampel awal bijih malasit.

Tabel 4.2 Kandungan Awal Bijih Malasit

Sampel	Kandungan Unsur (%)					
	C	O	Al	Si	Fe	Cu
Sampel Awal	1.48	34.08	7.44	12.37	6.95	37.54

Dari Tabel 4.2, terlihat bahwa kandungan Cu dalam bijih malasit masih berada di bawah kandungan teoritis. Kandungan tembaga dalam malasit diketahui secara teoritis sebesar 57.5 %. Nilai kandungan teoritis Cu dalam bijih malasit dapat diketahui melalui persamaan berikut.

$$\text{Teoritis Cu} = \frac{\text{Molar Mass Cu (gram/mol)}}{\text{Molar Mass Malachite (gram/mol)}} \times 100 \% \quad (4.1)$$

$$\text{Teoritis Cu} = \frac{2 \times 63.546}{221.1} \times 100 \%$$

$$\text{Teoritis Cu} = 57.5 \%$$

Perbedaan tersebut dapat diakibatkan beberapa hal seperti penggunaan alat uji kandungan unsur dalam bijih yang kurang representatif untuk bahan galian dan tambang maupun adanya mineral pengotor yang lebih banyak seperti silika dan lainnya. Selain uji EDX, sampel yang berasal dari wadah 1 hasil proses klasifikasi dengan media juga diteliti kandungannya dengan menggunakan metode AAS. Sampel padatan sejumlah 1.03 gram dilarutkan dalam 100ml aqua regia selama beberapa jam hingga beberapa unsur seperti Cu, Fe, Al larut. Sementara itu, pasir silika yang berada dalam larutan perlu dilakukan treatment khusus dengan melarutkannya dalam asam florida. Hasil pengujian kandungan Cu dengan metode AAS menghasilkan kandungan Cu sebesar 35.7%. sementara kandungan unsur lainnya tidak diuji dalam penelitian ini. Perhitungan Cu dalam larutan aqua regia didapatkan dari persamaan berikut

$$\text{Cu dalam AAS} = \frac{\text{Kandungan AAS} \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) \times \text{Pengenceran AAS} \times \text{Volume(L)}}{\text{Berat sampe Awal (mg)}} \times 100 \% \quad (4.2)$$

$$\text{Cu dalam AAS} = \frac{36,75 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times 100 \times 0.1 \text{ L}}{1030 \text{ mg}} \times 100 \%$$

$$\text{Cu dalam AAS} = 35,7 \%$$

Perbedaan antara kandungan Cu dalam pengujian AAS dengan pengujian EDX dapat disebabkan beberapa hal diantaranya pengujian EDX merupakan penembakan sinar x pada permukaan sampel sebanyak tiga kali sehingga ada kemungkinan unsur tidak tersebar secara merata. Sementara pengujian dengan metode AAS dilakukan dengan larutan standar 5 hingga 75 ppm. Padahal untuk mendapatkan ketelitian yang tinggi satuan yang digunakan dalam pembuatan larutan standar adalah *part per billion* namun hal tersebut cukup sulit dilakukan.

4.2 Klasifikasi Air dengan Wadah bertingkat.

Proses klasifikasi menggunakan media air dengan wadah bertingkat merupakan modifikasi dari klasifikasi hidrolis. Proses ini merupakan proses sederhana dan murah untuk digunakan. Proses ini memanfaatkan prinsip partikel yang melayang di dalam air memiliki gerakan naik dan turun yang relatif terhadap aliran air. Partikel-partikel yang memiliki ukuran dan kepadatan lebih kecil akan terbawa oleh aliran air, dimana partikel yang lebih kasar dan berat akan mengendap dalam wadah bertingkat. Dengan membandingkan data awal sebelum proses klasifikasi dan setelah proses klasifikasi, kita dapat mengetahui pengaruh klasifikasi dalam pengolahan mineral bijih malisit

4.2.1 Data EDX Klasifikasi Air dengan Media Wadah Bertingkat

Proses klasifikasi diharapkan dapat memisahkan unsur-unsur berdasarkan berat jenis dengan memanfaatkan gerak relatif mineral terhadap aliran air. Sebanyak 100 gr bijih diumpankan kedalam wadah pertama untuk diberi turbulensi dan air hingga seluruh wadah terenuhi oleh air. Setelah klasifikasi dengan media air selesai dilakukan, setiap wadah disaring menggunakan kertas saring dan dikeringkan dalam oven dalam temperatur 130C selama 30 menit.

Hasil klasifikasi yang sudah mengering lalu ditimbang untuk mengetahui distribusi dari tiap wadah. Apabila ada hasil saringan yang menjadi gumpalan, maka digerus dengan cawan keramik. Tabel 4.3 di bawah berisi data perbandingan unsur dalam setiap wadah klasifikasi yang disusun secara bertahap.

Table 4.3 Distribusi berat dengan proses klasifikasi air

Wadah 1	Wadah 2	Wadah 3	Wadah 4	total
60.43 gr	29.60 gr	7.28 gr	0.86 gr	98.17 gr

Dari 100 gr bijih yang diumpangkan dan dilakukan proses klasifikasi media air, distribusi bijih terbesar terdapat pada wadah pertama sebesar 63.43 gr dan distribusi terkecil terdapat dalam wadah terakhir sebesar 0.86 gr. Hal tersebut terjadi sebab umpan bijih diberi turbulensi dan air melalui wadah pertama dan perlahan menuju wadah terakhir. Penurunan distribusi bijih hasil klasifikasi terbesar terjadi pada wadah ke tiga yaitu 7.28 gr, padahal pada wadah sebelumnya berat bijih yang didapat sebesar 29.60 gr. Wadah ke tiga tidak mendapatkan distribusi bijih yang cukup banyak sebab hasil turbulensi dan aliran air yang membawa mineral terfokus pada wadah pertama sebagai sumber turbulensi air dan wadah ke dua sebagai daerah yang mengalami aliran langsung hasil dari turbulensi wadah pertama yang cukup kuat. Sementara wadah ke tiga dan ke empat tidak mengalami turbulensi dan aliran air secara langsung dari wadah pertama. Berat total dari seluruh wadah juga mengalami pengurangan dari berat total sebesar 1.83 gr selama proses klasifikasi, hal tersebut terjadi sebab masih terdapatnya sedikit mineral yang sulit untuk dikeluarkan maupun menempel pada kertas saring maupun wadah bertingkat. Berdasarkan table 4.3, wadah yang direkomendasikan untuk dapat digunakan dalam proses pelindian adalah wadah pertama dan kedua. Kedua wadah tersebut mencakup 90% dari berat bijih yang diumpangkan kedalam proses klasifikasi dengan media air. Lebih lanjut, hasil pengujian EDX menunjukkan kandungan tembaga tertinggi berada pada wadah pertama dan kedua.

Pengujian EDX dilakukan pada analisis unsur dalam setiap wadah dalam proses klasifikasi. Meskipun data yang dihasilkan oleh pengujian tersebut belum

representatif, namun kecenderungan atau tren kenaikan maupun penurunan dari setiap unsur dapat diketahui dan dianalisis

Tabel 4.4 Distribusi Kandungan Unsur

Sampel	Kandungan Unsur (%)					
	C	O	Al	Si	Fe	Cu
Wadah 1	0.96	13.38	1.47	4.88	12.46	66.86
Wadah 2	0.72	14.40	3.13	5.13	11.85	64.77
Wadah 3	1.04	17.82	3.44	8.38	12.80	56.51
Wadah 4	0.86	19.60	5.66	7.21	16.08	50.49

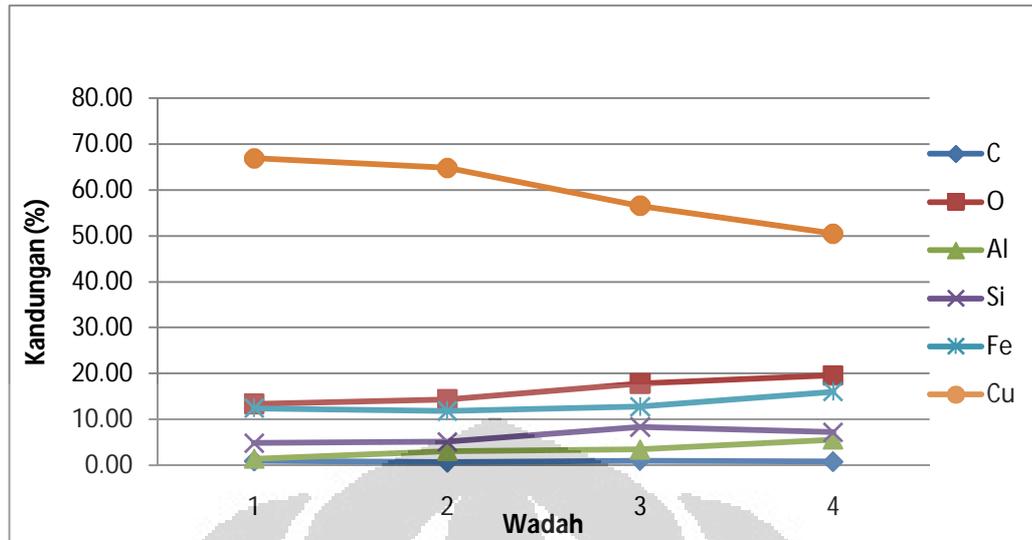
4.2.2 Pengaruh Klasifikasi terhadap Tren Perubahan Kadar Unsur

Perubahan kadar unsur dalam proses klasifikasi dapat terjadi akibat adanya mineral-mineral yang ikut terbawa bersama aliran air. Mineral-mineral tersebut dapat terbawa bersama aliran air akibat gaya relatif partikel dan juga berat jenis dari mineral itu sendiri.

Tabel 4.5 Berat Jenis unsur

Unsur	Berat Jenis
C	2.26
Al	2.70
Fe	7.90
Si	2.33
Cu	8.94

Berdasarkan informasi berat jenis pada Tabel 4.5, kecenderungan dari tiap-tiap unsur untuk terbawa aliran air maupun tetap berada dalam wadahnya dapat diprediksi. Mineral yang memiliki berat jenis lebih besar akan cenderung lebih sulit terbawa oleh aliran air dan akhirnya akan mengendap pada wadah awal. Sementara mineral dengan berat jenis lebih kecil akan cenderung lebih mudah terbawa aliran air dan akhirnya mengendap pada wadah terakhir.



Grafik 4.1 Tren Klasifikasi dengan Media air

Dari Grafik 4.1 dan Tabel 4.4, terlihat bahwa mineral tembaga yang memiliki berat jenis yang paling besar cenderung berada dalam wadah pertama dan perlahan-lahan turun ke wadah terakhir. Sementara aluminium yang memiliki berat jenis lebih ringan cenderung terbawa aliran air menuju wadah terakhir. Hasil yang sama juga dialami oleh O (oksida) dan Si. Hasil yang sedikit tidak menemukan tren pada setiap wadahnya ialah unsur Fe dan C. hal tersebut dapat dimungkinkan akibat pemberian turbulensi yang tidak konstan dalam proses tersebut.

Menurut Elizabeth Wening^[11], klasifikasi dengan menggunakan media air yang sederhana tersebut dapat dikatakan berhasil dengan pencapaian beberapa parameter berikut.

1. Mineral berharga yaitu tembaga dapat terpisahkan dari pengotornya.
2. Adanya peningkatan kadar dari mineral berharga sementara mineral pengotor semakin berkurang
3. Lebih efektif dan efisien dalam proses pengolahan mineral lainnya

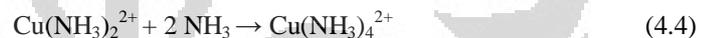
Bila proses klasifikasi bijih malasit dalam penelitian ini dibandingkan dengan beberapa parameter di atas, mineral berharga yaitu tembaga cenderung terpisahkan dari pengotornya seperti Al, Si, O (oksida), secara perlahan pada setiap wadahnya. Selain itu mineral tembaga pada wadah pertama dan kedua memiliki kecenderungan kadar yang tinggi dibanding wadah ke tiga dan ke

empat. Pengolahan mineral seperti pengerusan dan pengayakan dalam proses klasifikasi bijih malasit ini juga lebih sederhana dan murah dibanding proses pengolahan mineral lainnya. Berdasarkan beberapa parameter di atas, maka proses klasifikasi media air dengan empat wadah bertingkat sederhana cenderung dapat dikatakan telah memenuhi persyaratan sebuah proses klasifikasi

4.3 Proses Pelindian Bijih Malasit dengan Ammonium Bikarbonat

Proses pelindian dalam penelitian ini menggunakan bijih malasit sebanyak 10 gram yang dilarutkan dalam 100 ml larutan ammonium bikarbonat NH_4HCO_3 . Larutan ammonium bikarbonat dengan konsentrasi tertentu dibuat dengan melarutkan sejumlah ammonium bikarbonat dalam 100ml aquades.

Reaksi kimia yang kemungkinan besar terjadi dalam proses pelindian ini yaitu



Gambar 4.1 Proses Pelindian Bijih Malasit

Ion kompleks $\text{Cu(NH}_3)_2^{2+}$ merupakan hasil dari pelarutan malasit dalam ammonium bikarbonat. Ion kompleks tersebut terlihat dari warna larutan yang kebiruan. Bila dilarutkan dalam *lixiviant* dengan konsentrasi pekat maka akan terbentuk $\text{Cu(NH}_3)_4^{2+}$ yaitu ion kompleks tetraaminokuprat(II) yang memiliki

warna biru pekat^[21]. Ion kompleks tetraaminokuprat(II) juga dapat terbentuk pada akhir reaksi akibat produk antara yaitu ion $\text{Cu}(\text{NH}_3)_2^{2+}$ yang bereaksi kembali dengan ammonia^[22].

Tingkat keasaman yang terukur pada saat sebelum dan sesudah pelindian berkisar pada range pH 7.7 hingga pH 7.9. Pengujian tersebut dilakukan dengan kertas pH universal dan pH Indikator seperti tampak pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Pengukuran pH

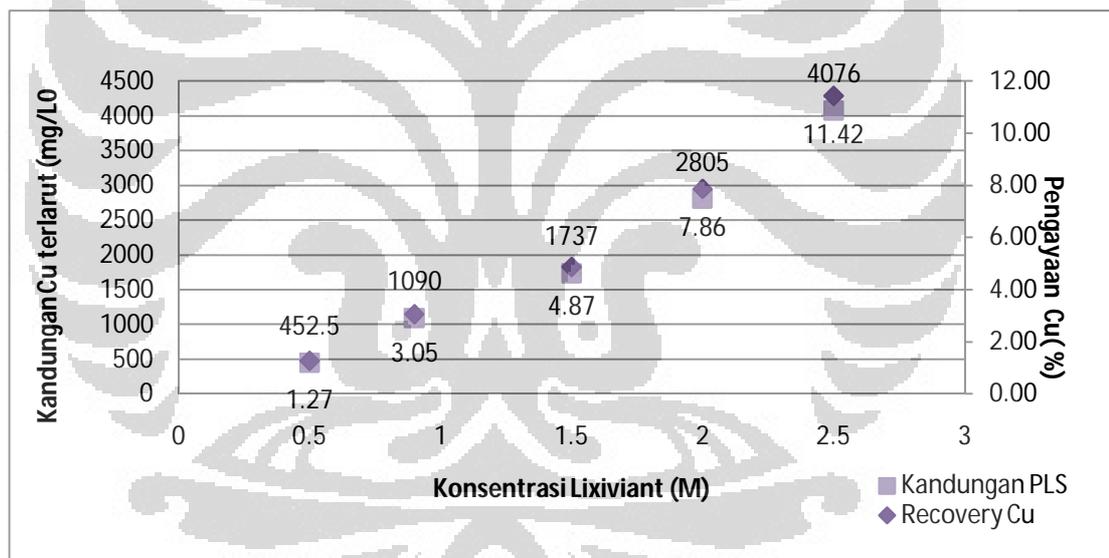
4.3.1 Pengaruh Konsentrasi *Lixiviant* terhadap Kandungan Cu terlarut

Pada penelitian ini, konsentrasi *lixiviant* yang diamati yaitu 0.5 M, 0.9 M, 1.5 M, 2 M dan 2.5 M. Variabel yang tetap antara lain temperatur ruang, *solid to liquid ratio* 1:10 gram/ml, kecepatan pengaduk skala 5 dan waktu pelindian selama 30 menit. Umpan yang digunakan berasal dari wadah 1 hasil proses klasifikasi dengan media air.

Dari Grafik 4.2, semakin tinggi konsentrasi *lixiviant*, kandungan Cu dalam PLS akan semakin meningkat. Hal tersebut terjadi karena semakin banyak Cu yang bereaksi dengan ammonium bikarbonat. Secara visual, larutnya Cu dalam *lixiviant* dapat dilihat dari perubahan warna larutan PLS seperti tampak pada Gambar 4.3. Pada konsentrasi 0.5 M hingga 1.5 M larutan PLS berwarna biru dan selebihnya berwarna biru tua.



Gambar 4.3 Hasil Filtrasi pelindian dengan variabel konsentrasi



Grafik 4.2 Grafik Konsentrasi *Lixiviant* vs Pengayaan dan Kandungan PLS

Pada konsentrasi *lixiviant* 0.5 M, hasil kandungan PLS yang didapat ialah 452.2 ppm selanjutnya kandungan PLS perlahan meningkat pada konsentrasi 0.9 M sebesar 1090 ppm. Peningkatan kandungan PLS paling signifikan terjadi pada konsentrasi 2 M menuju 2.5 M. Pada kondisi tersebut, kandungan Cu meningkat dari 2805 ppm menjadi 4076 ppm.

Semakin besar konsentrasi *lixiviant* maka akan semakin banyak bijih malasit yang bereaksi membentuk ion kompleks $\text{Cu}(\text{NH}_3)_2^{2+}$ yang kemudian akan menjadi ion kompleks tetraaminokuprat (II) yang lebih stabil pada konsentrasi

lixiviant yang pekat. Bila dikaitkan secara umum dengan persamaan laju reaksi atau laju perubahan hasil reaksi per satuan waktu, maka dengan waktu yang sama akan didapatkan kenaikan jumlah konsentrasi Cu yang terlarut seiring dengan kenaikan *lixiviant*. Misal reaksi kimia yang terjadi seperti berikut



maka persamaan laju reaksinya adalah

$$v = k [A]^m [B]^n \quad (4.6)$$

keterangan:

v = laju reaksi

k = konstanta laju reaksi

m = orde reaksi zat A

n = orde reaksi zat B

m+n = orde reaksi keseluruhan

Bila konsentrasi A (bijih malasit) dibuat konstan dan konsentrasi B (ammonium bikarbonat) dibuat meningkat dalam waktu pelindian yang sama maka kandungan *pregnant leach solution* (PLS) atau hasil reaksi dalam pelindian tersebut akan meningkat pula. Habashi^[15] juga menyebutkan bahwa konsentrasi *lixiviant* merupakan salah satu faktor yang dapat mempengaruhi laju reaksi pelindian. Konsentrasi *lixiviant* harus seoptimal mungkin agar proses pelindian tetap ekonomis.

Menurut oudenne et all^[14], pada proses pelindian malasit menggunakan ammonium karbonat, reaksi pelindian terbagi menjadi 2 tahap utama. Tahap 1 merupakan tahap dimana bijih malasit bereaksi dengan cepat. Tahap ini berada pada tahap 10% bijih malasit bereaksi. Tahap 2 merupakan tahap dimana bijih malasit bereaksi secara lambat, hal ini terjadi apabila 90% bijih telah bereaksi secara sempurna membentuk ion kompleks dalam larutan PLS. Pada penelitian ini reaksi yang terjadi masih dalam tahap pertama, dimana reaksi pembentukan ion kompleks terjadi dengan cepat. Tahapan kedua belum dapat diamati karena data

yang didapat belum representative. Sementara pada percobaan Bingol^[13], laju disolusi atau kecepatan perubahan dari bentuk padat menjadi terlarut dalam media tertentu setiap waktunya meningkat hingga molaritas ammonia mencapai 5 M dan perlahan menurun pada kenaikan molaritas selanjutnya.

4.3.2 Pengaruh Konsentrasi *Lixiviant* terhadap % Pengayaan Cu

Dalam skala industri, pengayaan suatu mineral merupakan hal yang perlu diperhatikan. Pengayaan suatu material berkaitan dengan seberapa efektif suatu *lixiviant* dapat melarutkan bijih. Pada Grafik 4.2 terlihat bahwa semakin tinggi konsentrasi *lixiviant* maka pengayaan Cu akan semakin meningkat.

Persamaan untuk mengetahui pengayaan Cu menggunakan prinsip kandungan Cu yang terlarut dalam PLS dan dibandingkan terhadap kandungan Cu dalam bijih yang digunakan seperti pada Persamaan 4.7. Kandungan Cu dalam bijih yang digunakan didapat dari melarutkan sejumlah bijih dengan molaritas pelarut yang sama dalam aqua regia hingga seluruh mineral larut dalam larutan tersebut lalu dihitung kandungannya dengan metode *atomic absorbance spectrometry*.

$$\text{Pengayaan Aktual Cu} = \frac{\text{Kandungan PLS dalam ammonium bikarbonat (mg/L)}}{\% \text{Cu} \times \text{Berat sampel Feed } \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right)} \quad (4.7)$$

Pada table terlihat bahwa pengayaan Cu terendah dihasilkan sebesar 1.27% pada konsentrasi 0.5 M. Sementara pengayaan Cu terbesar dihasilkan sebesar 11.42% pada konsentrasi 2.5 M. Semakin pekat konsentrasi *lixiviant*, maka akan semakin mempermudah dalam melarutkan bijih malasit sehingga pengayaan yang didapatkan semakin tinggi. Bila dikaitkan dengan persamaan umum laju reaksi pada persamaan 4.6 dan persamaan 4.7, maka pengayaan Cu juga akan meningkat seiring dengan bertambahnya konsentrasi *lixiviant*.

Penelitian yang dilakukan oleh Freeman Ntuli, Ishmael Ramatsa et all^[23] dengan menggunakan variabel konsentrasi ammonia 1.5 M, 2 M, 2,5 M dan 3 M pada waktu pelindian 130 menit menunjukkan tren kecenderungan yang sama, dimana pengayaan tertinggi dicapai pada konsentrasi terbesar yaitu ammonia 3 M

sebesar 33% . Demikian pula dengan penelitian yang dilakukan oleh Liu Wei, Tang Mo Tang et all ^[24] , tembaga yang diperoleh perlahan meningkat hingga lebih dari 60% seiring dengan konsentrasi ammonia dan konsentrasi ammonium klorida. Konsentrasi ammonia dan konsentrasi ammonium klorida yang optimal dalam penelitian tersebut ialah 2 M dan 3 M.

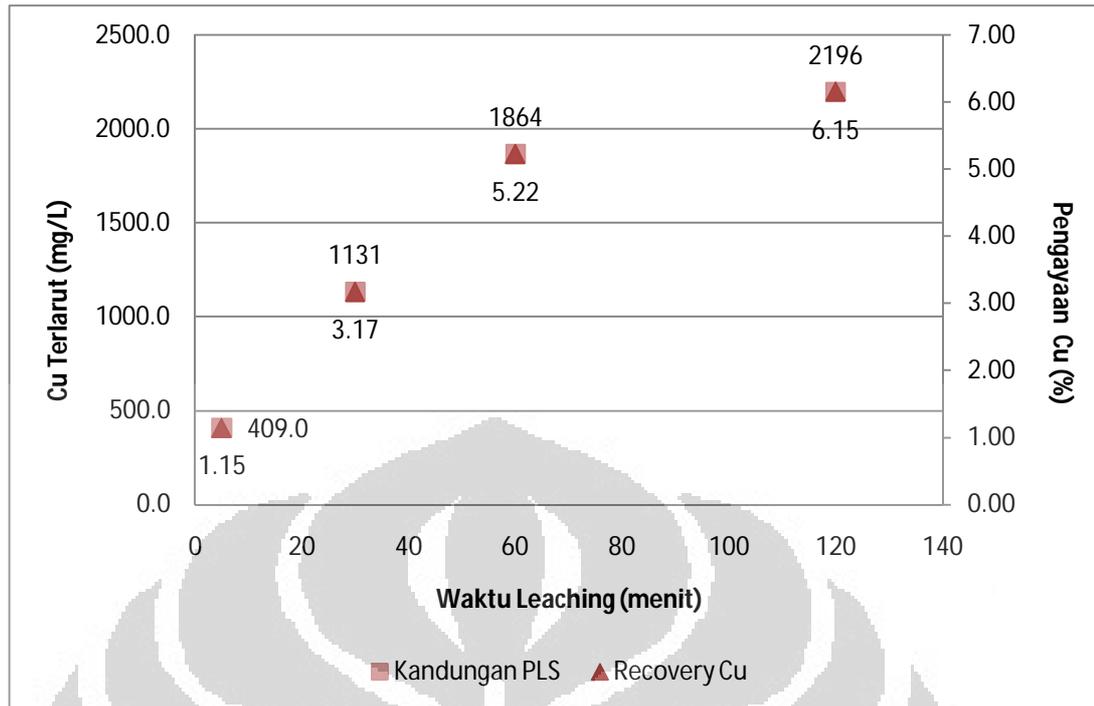
Namun, menurut Schlesinger^[5], hasil pengayaan yang baik dan ekonomis pada proses hidrometalurgi tembaga minimal sebesar 35% yaitu pada metode *dump leaching*. Pada metode tersebut, hasil pengayaan Cu berada pada kisaran 35% sebab bijih batuan yang masih belum mengalami proses penggerusan dan penggilingan lebih lanjut langsung ditambun dengan menggunakan *lixiviant*.

4.3.3 Pengaruh Waktu Perlindian terhadap Kandungan Cu terlarut

Salah satu faktor yang mempengaruhi kandungan PLS dan pengayaan Cu adalah variabel waktu. Penelitian difokuskan pada variabel waktu yang bervariasi mulai dari 5 menit hingga 120 menit. Variabel yang dijaga tetap yaitu konsentrasi *lixiviant* 0.9 M, *solid to liquid ratio* 1:10 gram/ml, kecepatan pengaduk skala 5 dan temperatur ruang.



Gambar 4.4 Hasil Filtrasi Pelindian dengan Variabel Waktu



Grafik 4.3 Grafik Waktu pelindian vs Pengayaan dan Kandungan PLS

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa semakin lama waktu pelindian, maka Kandungan PLS akan semakin bertambah. Hal tersebut terjadi karena semakin banyaknya waktu kontak antara *lixiviant* dengan bijih malasit sehingga bijih yang terlarut semakin banyak. Pada menit ke 5, kandungan PLS mencapai 409 mg/L. Pada menit ke 30, kandungan PLS menjadi 1131 mg/L selanjutnya kembali meningkat pada menit ke 60 sebesar 1864 mg/L dan menit ke 120 menjadi 2196 mg/L. Namun bila ditinjau dari laju peningkatan kandungan PLS dalam setiap menitnya, peningkatan signifikan laju kandungan PLS terjadi pada 5 menit pertama sementara pada menit ke 5 hingga 120 laju peningkatan kandungan PLS semakin menurun.

Pada Gambar 4.4 dapat terlihat perbedaan kandungan Cu yang terlarut dalam setiap kenaikan waktu pelindian. Pada waktu pelindian 5 menit dan 30 menit, PLS berwarna biru muda. Namun, pada waktu pelindian 60 menit dan 120 menit, PLS berwarna biru tua. Hal tersebut disebabkan oleh semakin banyaknya hasil antara yaitu ion kompleks $\text{Cu}(\text{NH}_3)_2^{2+}$ yang bereaksi kembali dengan ammonia sehingga membentuk ion kompleks yang lebih stabil yaitu ion kompleks

$\text{Cu}(\text{NH}_3)_4^{2+}$ yang berwarna biru tua. Semakin lama waktu pelindian, maka akan semakin banyak bijih malasit yang bereaksi dan ion kompleks yang terbentuk.

4.3.4 Pengaruh Waktu Perlindian terhadap % Pengayaan Cu

Pada Grafik 4.3 terlihat pengayaan Cu meningkat seiring dengan waktu pelindian. Pada 5 menit pertama, pengayaan Cu yang dihasilkan sebesar 0,35% setelah 30 menit selanjutnya, pengayaan meningkat menjadi 0.97% diikuti dengan 1.58 % dan 1.85 % pada waktu pelindian 60 dan 120 menit. Semakin lama waktu pelindian maka akan semakin banyak bijih yang bereaksi dengan *lixiviant* menjadi PLS.

Penelitian yang pernah dilakukan oleh Bingol^[13] dalam *lixiviant* ammonia/ammonium carbonat menunjukkan bahwa pengayaan Cu dapat mencapai 49% dalam waktu 5 menit. Setelah waktu pelindian mencapai 30 menit, pengayaan Cu perlahan melambat dan akhirnya mencapai 80% dalam 240 menit. Sementara itu, pada penelitian menggunakan *lixiviant* asam sulfat, Bingol memperoleh hasil pengayaan 77% dalam waktu 5 menit dan mencapai pengayaan 97% dalam waktu 210 menit. Penelitian Oudenne^[14] menunjukkan bahwa kecepatan perubahan dari bentuk padat menjadi terlarut dalam medianya setiap waktu tertentu atau biasa disebut laju disolusi malasit mencapai sempurna hanya dalam waktu 10 menit apabila disetting pada temperatur 50°C.

4.4 Analisa Ammonium Bikarbonat sebagai Alternatif *Lixiviant*

Proses pelindian merupakan proses melarutkan suatu mineral atau lebih sehingga mineral tersebut larut dalam *lixiviant* atau pelarut pelindian. Dalam penelitian ini, 10 gram bijih malasit diumpankan kedalam ammonium bikarbonat dengan variabel konsentrasi dan waktu tertentu menggunakan *magnet* pengaduk dengan kecepatan skala 5 dan temperatur ruang.

Penulis belum pernah menemukan penelitian pelindian tembaga oksida maupun tembaga hidroksi karbonat dengan ammonium bikarbonat. Penelitian serupa tapi tidak sama namun masih terkait antara lain berikut.

- a) Bingol ^[13] dalam penelitiannya mengenai pelindian malasit dalam *lixiviant* ammonia/ammonium karbonat dan asam sulfat. Parameter yang digunakan antara lain konsentrasi *lixiviant*, *solid to liquid ratio*, temperatur, kecepatan pengaduk, pH dan waktu pelindian. Penelitian tersebut dapat mencapai pengayaan hingga pengayaan 97 % dalam waktu 210 menit dalam *lixiviant* asam sulfat dan mampu mencapai 80 % dalam waktu 240 menit dalam *lixiviant* ammonia/ammonium karbonat
- b) Oudene et all ^[14] yang meneliti penggunaan ammonium karbonat pada pelindian bijih malasit. Parameter yang digunakan antara lain konsentrasi *lixiviant*, *solid to liquid ratio*, temperatur, kecepatan pengaduk, dan waktu pelindian. Hasil penting yang didapatkan antara lain penggunaan ammonium karbonat cukup efektif dimana proses pelindian dapat terjadi sempurna pada temperatur 50 °C dalam waktu hanya 10 menit.
- c) Ekmekyapar, R. Oya, dan A, Künkül ^[22] dengan *lixiviant* ammonium klorida. Beberapa parameter yang diteliti antara lain konsentrasi *lixiviant*, *solid to liquid ratio*, temperatur, ukuran partikel dan waktu pelindian. Dalam akhir penelitian tersebut, tidak ditemukan adanya unsur Fe yang terkandung dalam PLS sehingga *lixiviant* ammonium klorida layak digunakan dalam proses *solvent extraction* dan *electrowinning*.
- d) Osman Nuri Atadan Sabri Đolak ^[25] dalam penelitian pelindian bijih malasit menggunakan asam sulfat. Parameter yang diteliti antara lain lain konsentrasi *lixiviant*, *solid to liquid ratio*, temperatur, kecepatan pengaduk, ukuran partikel dan waktu pelindian. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa parameter yang menentukan kelarutan tembaga adalah kecepatan pengaduk dan ukuran partikel, sementara parameter yang menentukan kelarutan Fe adalah konsentrasi asam sulfat, temperatur dan *solid to liquid* rasio.

Kelebihan dari penggunaan ammonium bikarbonat sebagai alternatif *lixiviant* bijih malasit terletak kepada harganya yang relatif yang kompetitif

mengacu pada harga yang tertera dalam situs merckmilipore Indonesia. Selain itu ammonium bikarbonat juga mudah dijumpai di pasaran. Kekurangan dari ammonium bikarbonat terletak pada baunya yang sangat menyengat seperti air seni dan tidak boleh terhirup dalam waktu yang lama. Penelitian lebih lanjut dan komprehensif perlu dilakukan agar komparasi yang dilakukan lebih representatif dan akurat.

Tabel 4.6 Perbandingan Harga *Lixiviant*^[26]

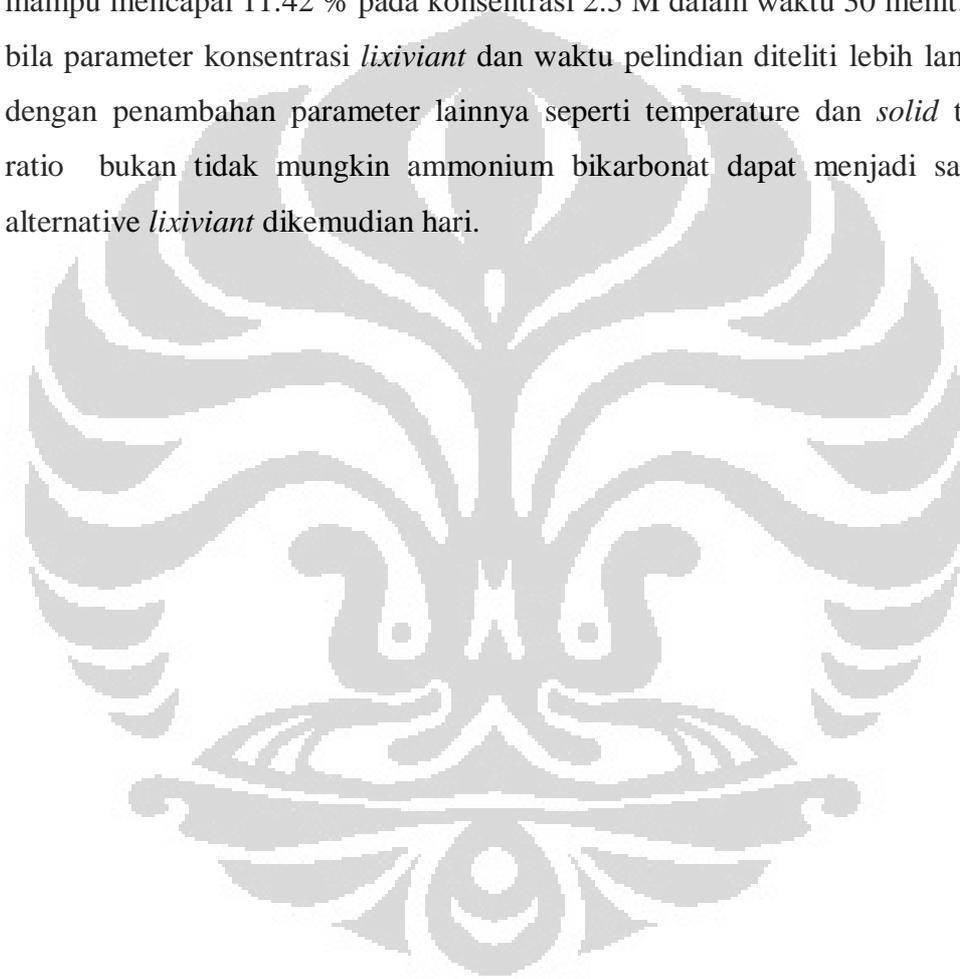
No	<i>Lixiviant</i>	Harga
1	Amonium klorida	Rp 33.000.000 / 50 kg
2	Amonium karbonat	Rp 8.700.000 / 50 kg
3	Asam sulfat 98%	Rp 226.000 / liter
4	ammonium bikarbonat	Rp 1.800.000 / 5 kg

Dalam industri ekstraksi mineral, proses pelindian akan diikuti oleh proses *solvent extraction* dan *electrowinning* untuk mendapatkan logam berharga. Hasil dari proses pelindian disebut *pregnant leach solution (PLS)*. Kandungan Cu yang ekonomis untuk dilanjutkan dalam proses *solvent extraction* berbeda-beda tergantung dari jenis proses pelindian.

Tabel 4.7 Perbandingan Hasil dalam Berbagai Teknik Pelindian^[5]

Parameter	Dump	Heap	Vat	Agitation	Agitation	Pressure
Material treated	ROM, oxide, or secondary sulfide	Oxides, secondary sulfides, tailings, usually milled, agglomerated, and acid cured, bacteria-assisted	Oxides, secondary sulfides, secondary leach of tailings, agglomerated and acid cured	Oxides and tailings	Sulfides	Primary and secondary sulfides, refractory flotation concentrates
Cu grade, %	0.1–0.4	0.3–2.3	>0.8	0.8–5.0	>6	Up to 25
Particle size, mm	Up to 1000	12–50	0.5–2	0.1–0.2	0.1–0.2	0.01–0.75
Leach time	Years	Months to years	Weeks	Days	Days	Hours
Cu in PLS, g/L	0.5–3	1.5–8	6–40	2–30	12–25	25–80
Cu recovery	35–75	Up to 90%	>90	85–100	95–98	>96

Berdasarkan data di atas pada dasarnya larutan hasil pelindian menggunakan ammonium bikarbonat telah mampu mencapai batas minimum kandungan PLS untuk proses solvent extraction. Pada penelitian ini, kandungan tembaga dalam hasil filtrasi sudah mampu mencapai 0.5 g/L atau 500 mg/L. Namun bila dilihat dari segi pengayaan yang dicapai, *lixiviant* tersebut belum cukup ekonomis untuk dilanjutkan dalam skala industri. Pengayaan Cu hanya mampu mencapai 11.42 % pada konsentrasi 2.5 M dalam waktu 30 menit. Namun bila parameter konsentrasi *lixiviant* dan waktu pelindian diteliti lebih lanjut serta dengan penambahan parameter lainnya seperti temperature dan *solid to liquid ratio* bukan tidak mungkin ammonium bikarbonat dapat menjadi salah satu alternative *lixiviant* dikemudian hari.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang berfokus pada pengaruh konsentrasi *lixiviant* dan waktu pelindian bijih malasit dengan ammonium bikarbonat diperoleh kesimpulan sebagai berikut.

1. Proses klasifikasi dengan media air dengan umpan sebanyak 100 gr menghasilkan distribusi berat terbesar pada wadah 1 dan 2 yaitu sebanyak 60.43 gr dan 29.60 gr. Kedua wadah tersebut melingkupi 90% distribusi berat total. Unsur Cu, O dan Si cenderung mengalami tren penurunan kadar dalam setiap wadah. Sementara Al cenderung mengalami kenaikan kadar dalam setiap wadah. Unsur Fe dan C tidak ditemukan tren yang baik akibat pemberian turbulensi yang tidak konstan dalam proses. Dengan demikian, Hasil proses klasifikasi dapat dikatakan berhasil sebab meningkatkan kadar tembaga dan cenderung menurunkan unsur pengotor. Selain itu proses ini juga lebih sederhana dan relatif murah dibanding proses klasifikasi lainnya
2. Semakin tinggi konsentrasi *lixiviant*, semakin banyak pula tembaga yang terlarut dalam PLS. Kandungan tembaga tertinggi terdapat pada 2.5 M dengan kandungan 4076 mg/L dan Kandungan tembaga terendah terdapat pada konsentrasi 0.5 M sebesar 1.27 mg/L. Pengayaan Cu terendah dihasilkan sebesar 1.27% pada konsentrasi 0.5 M. Sementara pengayaan Cu terbesar dihasilkan sebesar 11.42% pada konsentrasi 2.5 M.
3. Seiring dengan meningkatnya waktu pelindian maka semakin banyak bijih malasit yang bereaksi dengan ammonium bikarbonat sehingga kandungan PLS juga. Pada menit ke 5, kandungan PLS mencapai 409 mg/ sementara pada menit ke 120 menjadi 2196 mg/L. Laju peningkatan tertinggi terjadi pada 5 menit pertama. Ditinjau dari segi pengayaan, lima menit pertama, pengayaan Cu yang dihasilkan sebesar 1.15 % setelah 30 menit

selanjutnya, pengayaan meningkat menjadi 3.17 % diikuti dengan 5.22 % dan 6.15 % pada menit 60 dan menit 120.

5.2 Saran

Berdasarkan data dan penelitian tersebut, penelitian lebih lanjut ammonium bikarbonat sebagai salah satu alternatif *lixiviant* bijih tembaga perlu dilakukan. Berbagai aspek yang perlu diteliti lebih lanjut antara lain konsentrasi optimum, temperatur optimum, *solid to liquid ratio*, ukuran partikel dan lainnya. Diharapkan dengan penelitian lebih komprehensif tersebut dapat ditemukan suatu parameter yang tepat dalam hidrometalurgi tembaga menggunakan ammonium bikarbonat.



Daftar Pustaka

1. International Copper Study Group. 2010. *World Copper Fact Book 2010*. Lisboa : portugal.
2. Daniel L. Edelstein. .2011. *Mineral Commodity Summaries*. U.S. Geological Survey : United states
3. World Bureau of Metal Statistics. 2007. *World Metal Statistics Yearbook*. United States
4. Standard CIB Global Research Report Year 2007.
5. Schlesinger, Mark et all. 2011. *Extractive Metallurgy of Copper 5th Edition*. Elsevier:Netherland
6. N.J. Simon, E.S. Drexler, and R.P. Reed. 1992. *Properties of Copper and Copper Alloys at Cryogenic Temperatures*. National Institute of Standards and Technology
7. *Dictionary of Geology and Mineralogy second Edition*. 2003. Mc Graw-Hill
8. Roger Taylor. 2011. *Gossans and Leached Cappings*. Springer : New York
9. Wills, B.A. 2006. *Mineral Processing Technology : An Introduction To The Practical Aspects Of Ore Treatment And Mineral Recovery*. Elsevier: The University Of Queensland.
10. Topkaya, Yavuz A. 2005. *Lecture Notes : Chemical Principles of Material Production*. Jepang
11. Wening, Elisabet. 2009. *Studi Pengaruh Klasifikasi Dengan Media Air Pada Bauksit Kabupaten Tayan, Kalimantan Barat*. Departemen Teknik Metalurgi dan Material FTUI : Depok.
12. Chiranjib Kumar Gubta. 2003. *Chemical Metallurgy: Principles and Practices*. Weinheim: WILEY-VCH
13. Bingol, D., Canbazog˘lu, M., 2004. *Dissolution kinetics of malachite in ammonia/ammonium carbonate*. Hydrometallurgy 72, 159–165..
14. Oudenne, P.D., Olson, F.A., 1983. *Leaching kinetics of malachite in ammonium carbonate solutions*. Metallurgical Transactions 14, 33– 40.

15. Ramachandra Rao. 2006. *Resource Recovery And Recycling from Metallurgical Wastes*. Elsevier
16. Habashi, Fathi. 1970. *Principles of Extractive Metallurgy Volume 2*. Gordon & Breach : New York
17. Fandrich, R., Ying Gu, Debra Burrows, Kurt Moeller. 2006. *Modern SEM based mineral liberation analysis*. Elsevier
18. Brown et all. 1983. *Thermal decomposition of the basic copper carbonates malachite and azurite*. Volume 75, Issues 1–2, 15 April 1984, Pages 23–32. Elsevier
19. Frost et all. 2003. *Thermal stability of azurite and malachite in relation to the formation of mediaeval glass and glazes*. *Thermochimica Acta*, 2002. 390(1-2): p. 133-144. Elsevier
20. Yartasi dan Copur. 1996. *Dissolution kinetics of copper oxide in ammonium chloride solutions* . *Minerals Engineering*, 9(6): 639–698.
21. Shevla G. 1990. *Buku Teks Analisis Anorganik Kualitatif Makro Dan Semimikro Bagian I*. PT Kalman Media Pusaka: Jakarta.
22. A. Ekmekyapar, R. Oya, and A, Künkül . 2002. *Dissolution Kinetics of an Oxidized Copper Ore in Ammonium Chloride Solution*. *Department of Chemical Engineering*, Faculty of Engineering İnönü University 44069 Malatya :Turkey
23. Freeman Ntuli, Edison Muzenda, Ishmael Ramatsa et all. 2011. *The Effect of Leaching Time and Ammonia Concentration on the Atmospheric Leaching of Copper*. Faculty of Engineering and the Built Environment, Department of Chemical Engineering, University of Johannesburg : South Africa.
24. Liu Wei, Tang Mo-tang, Tang Chao-bo et all. 2009. *Dissolution kinetics of low grade complex copper ore in ammonia-ammonium chloride solution*. School of Metallurgical Science and Engineering, Central South University, Changsha 410083 : China
25. Ata Osman Nuri et all. 2001. *Determination of the optimum conditions for leaching of malachite ore in H₂SO₄ solution*. Wiley-VCH
26. <http://www.merckmillipore.co.id> diakses 17 Juni 2012